

APLIKASI METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER UNTUK MENGIDENTIFIKASI LITOLOGI BATUAN BAWAH PERMUKAAN DAN FLUIDA PANAS BUMI WAY RATAI DI AREA MANIFESTASI PADOK DI KECAMATAN PADANG CERMIN KABUPATEN PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG

Wilyan Pratama¹, Rustadi², Nandi Haerudin³

^{1,2,3}Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung 35145
Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Corresponding author: wilyanp37@gmail.com

Manuscript received: June 21, 2018; revised: August 22, 2018;

Approved: November 29, 2018; available online: March 1, 2019

Abstrak - Daerah penelitian terletak di Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. Manifestasi di area penelitian berbentuk kolam air panas dengan suhu permukaan mencapai 90°C. Akuisisi data pengukuran dilakukan dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger berjumlah 5 lintasan. Lintasan 1, lintasan 4 serta lintasan 5 memiliki panjang lintasan 280 meter. Lintasan 2 memiliki panjang lintasan 240 meter dan lintasan 3 memiliki panjang lintasan 320 meter dengan spasi elektroda setiap lintasan pengukuran yaitu 5 meter. Penelitian ini bertujuan (1) Meneliti kandungan geokimia dan jenis fluida, (2) Mengidentifikasi fluida panas bumi berdasarkan analisis data resistivitas 2D dan 3D dan (3) Mengidentifikasi lapisan batuan manifestasi Padok berdasarkan penampang bawah permukaan resistivitas 2D dan 3D. Litologi batuan bawah permukaan daerah penelitian secara umum dibagi menjadi 4 bagian yaitu fluida air panas memiliki nilai resistivitas rata-rata 1 Ωm sampai dengan 3 Ωm . Berdasarkan data geokimia jenis fluida daerah penelitian adalah air klorida. Nilai resistivitas 6 Ωm sampai dengan 50 Ωm diidentifikasi sebagai endapan permukaan diantaranya endapan rawa, dan endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut. Nilai resistivitas 50 Ωm sampai dengan 100 Ωm diidentifikasi sebagai kerakal, kerikil, pasir dan lempung. Batuan lava (andesit-basalt) memiliki nilai resistivitas diatas 100 Ωm .

Abstract - Research area is located in Padang Cermin Sun-District, Pesawaran Regency, Lampung Province. Manifestation in research area is hot water pool with surface temperatures reach 90°C. Data acquisition has been done by Wenner-Schlumberger configuration with 5 acquisition line. Line 1, line 4 and line 5 have 280 meters length. Line 2 have 240 meters length and line 3 have 320 meters length with a spacing of each electrodes in each lines is every 5 meters. The objective of this research are (1)examining the geochemical contaminant and fluid types, (2)identifies the geothermal fluid based on 2D and 3D resistivity data analysis, also (3)identifies the layer of rock in Padok manifestation area based on 2D and 3D subsurface resistivity section. Subsurface lithology in research area generally divides into 4 parts. Which is hot water fluid with mean resistivity value between 1 Ωm into 3 Ωm and based on geochemistry data the fluid type is chloride water; surface sediment with resistivity value between 6 Ωm into 50 Ωm and identified as swamp sediment and alluvium sediment divides into gravels, pebbles, sands, clay and peat; Gravels, pebbles, sands, clay and peat with resistivity value between 50 Ωm into 100 Ωm ; and igneous rock (andesite-basalt) with resistivity value more than 100 Ωm .

Keywords: Geoelectric, Hot Water Fluid, Padok manifestation, Resistivity, Wenner-Schlumberger

How to cite this article:

Pratama, W., Rustadi, dan Haerudin, N. 2019. Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* Untuk Mengidentifikasi Litologi Batuan Bawah Permukaan Dan Fluida Panas Bumi Way Ratai Di Area Manifestasi Padok Di Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5 (1) p.30-44.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya panas bumi terbesar di dunia. Potensi panas bumi yang terkandung di Indonesia mencapai 40 persen dari total cadangan panas bumi dunia. Jumlah sebanyak itu sebagian besar berada di Sumatera, Jawa dan Sulawesi (Saptadji, 2009).

Panas bumi Way Ratai memiliki banyak daerah manifestasi diantaranya manifestasi Padok terletak di Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. Survei pendahuluan yang telah dilakukan ditemukan beberapa manifestasi kolam air panas yang memiliki temperatur tinggi mencapai 90⁰ C.

Metoda resistivitas digunakan untuk mempelajari keadaan bawah permukaan dengan cara mempelajari sifat aliran listrik di dalam batuan di bawah permukaan bumi (Santoso, 2002). Metoda resistivitas dalam eksplorasi panas bumi telah digunakan dalam beberapa penelitian, diantaranya dilakukan oleh Widodo dkk (2005), Rakhmanto dkk, (2011), Widodo dan Mustang (2009) dan Haerudin dkk (2009).

Penelitian geolistrik dalam eksplorasi panas bumi menghasilkan nilai resistivitas berbeda untuk batuan penutup dan batuan reservoir. Pemahaman terhadap geologi lokal daerah penelitian dapat membantu interpretasi data geolistrik.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah meneliti kandungan geokimia dan jenis fluida manifestasi padok, mengidentifikasi fluida panas bumi berdasarkan analisis data resistivitas 2D dan 3D di area manifestasi Padok, mengidentifikasi lapisan batuan di wilayah panas bumi Way Ratai area manifestasi Padok berdasarkan penampang bawah permukaan resistivitas 2D dan 3D.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di Desa Padang Cermin Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Propinsi Lampung, di paparkan pada **Gambar 1**. Gambar adanya manifestasi di daerah penelitian diperlihatkan pada **Gambar 2** terletak pada kordinat UTM X 515280, UTM Y 9383175 dengan temperatur 900C dan UTM 515195, UTM Y 9383291 dengan Temperatur 85°C.

Keberadaan panas bumi di daerah penelitian berdasarkan peta geologi Lembar Tanjung Karang terletak di sebelah tenggara Gunung Ratai dan sebelah selatan sesar Menanga. Batuan yang tersingkap di daerah penelitian yang ditunjukkan oleh kotak berwarna merah **Gambar 3** didominasi oleh batuan gunung api muda diantaranya adalah batu lava (andesit-basal), breksi dan tuf, dan batuan endapan permukaan diantaranya adalah endapan rawa, dan endapan aluvium.

Berdasarkan peta geologi Lembar Tanjungkarang, menjelaskan mengenai urutan stratigrafi daerah penelitian yaitu: batuan tertua berada pada zaman paleozoikum (*paleozoic*) dan jenisnya yaitu batuan malihan (*metamorphic rocks*) diantaranya adalah batuan sekis pelitan dan sedikit gnes, juga mencakup kuarsit dengan sisipan sekis-kuarsa serisit dan batu pualam, sekis amfibol hijau, amfibol orthogenes dioritan, campuran granitoid dan sekis atau gnes dan diterobos oleh urat granit pegmatit dari Gunung Kasih (Pzg). Batuan termuda yaitu berada pada zaman holosen (*holocene*) dengan memiliki 2 variasi jenis batuanya yaitu batuan gunung api muda; diantaranya adalah batu lava (andesit-basal), breksi dan tuf, dan batuan endapan permukaan, diantaranya adalah endapan rawa, dan endapan alluvium.

2.2 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi tersusun oleh batuan penutup, reservoir, sumber panas dan daerah resapan **Gambar 4**. Air hujan (*rain water*) akan merembes ke dalam tanah melalui saluran pori-pori atau rongga-rongga diantara butir-butir batuan, sehingga air dengan leluasa menerobos turun ke batuan panas (*hot rock*). Air tersebut terakumulasi dan terpanaskan oleh batuan panas (*hot rock*), akibatnya suhu air meningkat. Tekanan yang terus meningkat menyebabkan air panas naik ke atas melalui celah, retakan dan pori-pori (Suharno, 2010).

Keberadaan suatu sistem panas bumi biasanya dicirikan oleh adanya manifestasi di permukaan, yaitu berupa:

1. Mata air panas (*hot spring*)

Batuan dalam dapur magma dapat menyimpan panas sampai ribuan tahun. Air tanah yang turun dan bersentuhan dengan magma akan terpanaskan dan cenderung naik ke permukaan melalui rekahan-rekahan pada batuan dan membentuk sumber mata air panas.

2. *Fumarola dan solfatara*

Merupakan lubang asap tempat dikeluarkannya gas-gas yang dihasilkan oleh gunung api. Sedangkan solfatara merupakan fumarola yang mengeluarkan gas belerang (*sulfur*), seperti SO_2 , H_2S , dan S.

3. *Geyser*

Adalah air tanah yang tersembur keluar sebagai kolam uap dan air panas, terbentuk oleh adanya celah yang terisi air dari kawah.

4. Uap Tanah (*Steaming Ground*)

Di beberapa daerah lapangan panas bumi sering ditemukan tempat-tempat yang mengeluarkan uap panas (*steam*) nampak keluar dari permukaan tanah. Manifestasi seperti ini biasa disebut uap tanah (*steaming ground*).

5. Lumpur panas

Merupakan manifestasi panas bumi di permukaan, umumnya mengandung uap panas yang tidak terlalu banyak dan gas

CO_2 yang tidak mudah menjadi cair (mengembun).

6. Kawah (*crater*)

Puncak atau daerah sekitar puncak gunung api terdapat kawah, yaitu suatu bentuk depresi berbentuk corong terbuka ke atas yang merupakan tempat disembarkannya tepra gas-gas, lava dan gas-gas.

7. Batuan Alterasi

Batuan alterasi terjadi karena proses interaksi antara batuan asal dengan fluida panas bumi. Batuan alterasi terjadi karena beberapa faktor, antara lain suhu, tekanan, jenis batuan, komposisi fluida, pH dan lamanya interaksi (Suharno, 2010).

2.3 Data Geokimia

Analisis geokimia perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan jenis dari daerah panas bumi. Geokimia panas bumi biasanya berisikan komposisi unsur, pH dan suhu. Jenis jenis fluida berdasarkan kandungan kimia:

- a. Air Sulfat (SO_4)
- b. Air Klorida (Cl)
- c. Air Bikarbonat (HCO_3)

2.4 Hubungan Resistivitas Dengan Akuifer

Hubungan antara nilai resistivitas dengan jenis batuan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1. Batuan sedimen yang lepas akan mempunyai nilai resistivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan batuan sedimen kompak.
2. Kesarangan/porositas batuan. Batuan yang porous mempunyai nilai resistivitas lebih rendah dari pada batuan yang tidak porous.
3. pH dari air dalam rongga batuan. pH rendah menunjukkan batuan yang asam dengan nilai resistivitas rendah.
4. Resistivitas batuan akan bervariasi dari satu tempat ke tempat lain dan tergantung pada lingkungan pengendapan setempat.

5. Resistivitas dapat berbeda secara mencolok, tidak saja dari satu lapisan kelapisan yang lain tetapi dalam satu lapisan batuan.
6. Temperatur air tinggi (air panas) mempunyai nilai resistivitas rendah dibandingkan dengan temperatur air lebih rendah (segar).
7. *Permeabilitas* atau keasnggupan suatu batuan yang mempunyai pori-pori untuk mengalirkan cairan.
8. Kesarangan (porositas) batuan adalah perbandingan antara volume rongga dengan volume batuan seluruhnya $V_r/V \times 100 \%$, kesarangan besar berarti volume air yang tersimpan besar (Daulay, 2017).

2.5 Penelitian Panas Bumi Terdahulu Menggunakan Metode Geolistrik

Metoda resistivitas dalam eksplorasi panas bumi telah digunakan dalam beberapa penelitian. Metode resistivitas dalam eksplorasi panas bumi diantaranya dilakukan oleh Minarto (2011) di daerah panas bumi Mataloko menggunakan metoda geolistrik konfigurasi *Schlumberger* menunjukkan bahwa terdapat lapisan yang bersifat konduktif dengan resistivitas $< 5 \Omega m$ diperkirakan sebagai lapisan penutup dan lapisan yang bersifat agak resistif ($10 \Omega m - 100 \Omega m$) diperkirakan sebagai reservoir dari sumber panas bumi daerah Mataloko.

Apostolopoulos (2005) dapat memberikan informasi bawah permukaan pada daerah *Sperchios River Valley, Central Greece*. Suhendra (2008) melakukan penelitian di daerah prospek panas bumi Air Koprass, Bengkulu. Nilai tahanan jenis bawah permukaan yang dapat diinterpretasikan sebagai sumber panas bumi berkisar antara $0,00308 \Omega m Wm - 3,55 \Omega m$.

Daerah panas bumi Suwawa, berdasarkan penelitian Widodo dkk, (2005) memiliki lapisan yang diduga sebagai lapisan penutup dengan kedalaman puncak lapisan antara 200 – 800 m dan tebal 150 –

350 m. Prospek panas bumi daerah panas bumi Suwawa berada di sekitar mata air panas Libungo seluas $\geq 7 km^2$.

Rakhmanto dkk, (2011) memberikan nilai resistivitas rendah ($< 15 \Omega m$ dan 15 sampai $< 40 \Omega m$) untuk batuan penutup dan resistivitas sedang (40 sampai $< 200 \Omega m$) untuk reservoir. Haeruddin dkk, (2009) memberikan nilai resistivitas $\leq 35 \Omega m$ untuk reservoir dan $< 10 \Omega m$ untuk batuan penutup.

Widodo dan Mustang (2009) memberikan nilai resistivitas rendah sampai sedang ($25 - 40 \Omega m$) untuk batuan penutup dan resistivitas tinggi ($> 90 \Omega m$) untuk reservoir.

3. TEORI DASAR

3.1 Prinsip Dasar Kelistrikan Bumi

Metode geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu alternatif yang digunakan untuk eksplorasi dangkal. Metode ini memanfaatkan kontras sifat resistivitas (tahanan jenis) dari lapisan batuan di dalam bumi sebagai media/alat untuk mempelajari keadaan geologi bawah permukaan.

Aliran arus listrik di dalam batuan/mineral dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu :

1. Konduksi elektronik
Konduksi ini adalah tipe normal dari aliran arus listrik dalam batuan/mineral.
2. Konduksi elektrolitik
Konduksi jenis ini banyak terjadi pada batuan/mineral yang bersifat porous dan pada pori-pori tersebut terisi oleh larutan elektrolit.
3. Konduksi dielektrik
Konduksi ini terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit bahkan tidak ada sama sekali (Hendrajaya dan Arif, 1990).

3.2 Potensial Listrik Pada Bumi

Potensial listrik alam atau potensial diri disebabkan karena terjadinya kegiatan

elektrokimia mekanik. Faktor pengontrol dari semua kejadian ini adalah air tanah. Potensial alam ini dapat dikelompokkan menjadi 4 yaitu :

1. Potensial elektrokinetik
Potensial ini disebabkan bila suatu larutan bergerak melalui suatu pipa kapiler atau medium yang berpori
2. Potensial difusi
Potensial ini disebabkan bila terjadi perbedaan mobilitas dari ion dalam larutan yang mempunyai konsentrasi berbeda.
3. Potensial Nerust
Potensial ini timbul bila suatu elektroda dimasukkan ke dalam larutan homogen.
4. Potensial mineralisasi
Potensial ini timbul bila dua elektroda logam dimasukkan kedalam larutan homogen.

3.2.1. Dasar Perumusan Potensial Geolistrik Metode Resistivitas

Bumi diasumsikan sebagai medium yang *homogen isotropis* diperlihatkan perjalanan arus yang kontinu pada medium bumi. Anggapan bumi sebagai medium homogen isotropis dimana bumi memiliki simetri bola, sehingga potensial merupakan fungsi jarak (r) saja. Maka persamaan potensial dalam bumi berbentuk:

$$V = V(r) \tag{3.1}$$

$$\frac{d^2V(r)}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV(r)}{dr} = 0 \tag{3.2}$$

$$V(r) = \frac{C_1}{r} + C_2 \tag{3.3}$$

dengan C_1 dan C_2 adalah konstanta sembarang. Untuk menentukan kedua konstanta tersebut diterapkan syarat batas yang harus dipenuhi potensial $V(r)$ yaitu: untuk jarak (r) tak terhingga ($r = \infty$) atau jarak yang sangat jauh $V(r \rightarrow \infty) = 0$ sehingga $C_2 = 0$ dan persamaan (3.3) akan menjadi:

$$V(r) = \frac{C_1}{r} \tag{3.4}$$

(Hendrajaya dan Arif, 1990).

3.2.2. Satu titik arus di permukaan

Sumber arus listrik titik yang berada di permukaan bumi akan merambat ke segala arah secara radial berbentuk setengah permukaan bola. Persamaan potensial listrik dapat dirumuskan:

$$V(r) = \frac{I\rho}{2\pi r} \tag{3.5}$$

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \tag{3.6}$$

dengan adalah nilai resistivitas bahan/ benda dalam satuan ohm.m (Telford et al, 1976).

3.2.3. Dua titik arus dipermukaan

Dua elektroda untuk mengalirkan arus C_1 dan C_2 beda potensialnya diukur antara 2 titik dengan dua elektroda potensial P_1 dan P_2 . Besarnya tahanan jenis semu adalah

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} 2\pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \tag{3.7}$$

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \tag{3.8}$$

Dimana:

ΔV = beda potensial antara P_1 dan P_2 (volt)
 I = besarnya arus yang diinjeksikan melalui elektroda C_1 dan C_2 (ampere).

r_1 = jarak antara C_1 dan P_1 (meter)

r_2 = jarak antara C_2 dan P_2 (meter)

r_3 = jarak antara C_1 dan P_2 (meter)

r_4 = jarak antara C_2 dan P_1 (meter)

K = faktor geometri yang berdimensi panjang (meter).

(Hendrajaya dan Arif, 1990).

3.3 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Faktor geometri konfigurasi *Wenner-Schlumberger* diperoleh dari menyubstitusikan nilai jarak spasi elektroda pada **Gambar 5** kepersamaan 3.7, sehingga diperoleh faktor geometrik K sebagai berikut :

$$K = \pi n(n + 1)a \tag{3.9}$$

satu konfigurasi paling umum digunakan untuk survei resistivitas 2D. Kedalaman rata-rata pada konfigurasi ini 10% lebih besar dari konfigurasi *Wenner* (Telford et al, 1990).

3.4 Pemodelan 2D *Res2Dinv*

Penampang 2D merupakan penampang untuk menggambarkan hasil survei secara 2D dengan metode *contouring pseudosection*. *Pseudosection* dihasilkan dari proses pemodelan *forward* maupun inversi, sehingga diperoleh nilai resistivitas yang sudah terkoreksi (*topographic effect*). *Res2Dinv* adalah program komputer yang secara otomatis menentukan model resistivitas 2 dimensi (2D) untuk bawah permukaan dari data hasil survei geolistrik. Program ini dapat digunakan untuk survei menggunakan konfigurasi *Wenner*, *pole-pole*, *dipole-dipole*, *pole-dipole*, *Schlumberger*, *Wenner-Schlumberger* dan *array dipole-dipole ekuator*.

Hasil inversi merupakan distribusi nilai resistivitas material bawah permukaan Bumi yang disebut *Resistivity pseudosection* atau *inverse model resistivity section*. Model yang diperoleh melalui proses inverse akan selalu memiliki nilai *Residual Error* atau *Root Mean Squared Error* (RMSE) (Loke, 1999).

4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini yang telah dilakukan pada bulan Mei 2016, di daerah panas bumi Way Ratai area manifestasi Padok Desa Padang Cermin Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung.

4.2 Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- *ARES resistivity IP meter*
- Elektroda 64 buah
- Kabel *multi-channel* 8 gulungan
- Aki 12 volt

- *GPS (Global Positioning System) Maps 76Csx*
- Palu
- *Handy Talky (HT)*
- Meteran
- Laptop

4.3 Data Pendukung

- a. Peta geologi lembar tanjung karang
- b. Peta citra penelitian dari *Google Earth*

4.4 Desain Pengukuran

Pengukuran menggunakan aplikasi metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi *Wenner-schlumberger* pada **Gambar 6** di area penelitian terdiri dari 5 lintasan pengukuran. Lintasan 1 memiliki panjang lintasan 280 m, lintasan 2 memiliki panjang lintasan 240 meter, lintasan 3 memiliki panjang lintasan 320 meter, lintasan 4 memiliki panjang lintasan 280 meter dan lintasan 5 memiliki panjang lintasan 280 meter dengan spasi elektroda setiap lintasan pengukuran yaitu 5 meter.

4.5 Pengolahan Data

4.5.1. Pengolahan data 2D

Hasil pengukuran yang didapatkan dari lapangan berupa data resistivitas yang tersimpan otomatis pada alat *Ares Resisty IP meter* kemudian dilakukan pemindahan dari alat dalam bentuk *file "dat"* ke laptop setelah itu diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Res2Dinv*. Langkah-langkah penggunaan *Res2Dinv* adalah sebagai berikut:

1. Mengolah data pengukuran dari alat menggunakan program *Excel* untuk melihat nama lintasan, resistivitas semu, jumlah titik datum dan lain-lain setelah itu menambahkan data topografi dan kordinat pengukuran yang sudah didapatkan dengan GPS. Menyimpan data tersebut pada *text editor*.
2. Mengolah data tersebut menggunakan *software Res2Dinv*, pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan

penampang resistivitas 2D dengan topografi sesuai pada **Gambar 7**.

4.5.2. Pengolahan Data 3D Resistivitas

Data resistivitas yang telah diinversi selanjutnya dipilih untuk dilakukan pengolahan 3D, dalam penelitian ini penulis memilih data iterasi 5 dari setiap lintasan pengukuran yang selanjutnya akan diolah menggunakan *software* 3D geofisika. *Software* yang digunakan yaitu *Voxler versi 4*.

Sebelum pengolahan dilakukan pembuatan data input dan menggabungkan data iterasi 5 setiap lintasan dalam *Microsoft Excel* yang terdiri dari kolom X (lokasi-X), Y (lokasi-Y), Z (lokasi Z/kedalaman) dalam bentuk UTM yang didapatkan dari GPS di lokasi penelitian, *resistivity* iterasi 5 dan kolom id.

Pada tahap pengolahan hal yang perlu dilakukan yaitu menampilkan sumbu XYZ, menampilkan kotak batas yang digunakan sebagai pembatas pemodelan, menampilkan *scatter plot* yang berguna untuk memunculkan titik-titik data pada jendela utama, kemudian dilakukan proses *gridding* seperti **Gambar 8**.

4.6 Interpretasi Data

Interpretasi dilakukan dengan mengkorelasikan hasil pengolahan data *software* yang berupa informasi (nilai resistivitas, kedalaman, ketebalan) dengan pengetahuan dasar aspek-aspek tahanan jenis batuan seperti yang ditulis di atas, informasi geologi, informasi kondisi sumur penduduk (kedalaman dan rasa) sekitar, pengetahuan hidrogeologi, mengacu tabel resistivitas batuan yang terdapat pada **Tabel 1**. (Telford et al, 1990) dan referensi terkait penelitian panas bumi menggunakan metode geolistrik yang telah dilakukan terdahulu sehingga diperoleh gambaran informasi struktur batuan yang sebenarnya.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Penelitian

5.1.1. Penelitian Geokimia

Dari hasil penelitian geokimia di manifestasi Padok diperlihatkan pada **Tabel 2**.

5.1.2. Penampang Resistivitas

Penampang dan nilai resistivitas 2D lintasan 1 sampai lintasan 5 diperlihatkan **Gambar 9** sampai dengan **13**. Posisi lintasan pengukuran di dalam model 3D pada **Gambar 14**, sebaran fluida air panas berdasarkan penampang resistivitas 3D pada **Gambar 15** dan pemotongan model resistivitas 3D pada **Gambar 16**.

5.2 Pembahasan

5.2.1. Lintasan 1

Nilai resistivitas pada lintasan ini bervariasi dari 1,1 Ωm hingga 146 Ωm dengan kedalaman penetrasi kurang lebih 45 meter dan tingkat error data 17,3 %. Berdasarkan peta geologi daerah penelitian dan tabel nilai resistivitas serta data geokimia maka dapat diidentifikasi litologi yang terdapat di daerah penelitian dengan nilai resistivitas 1,1 Ωm sampai dengan 2,3 Ωm ditunjukkan warna biru merupakan fluida air panas dikarenakan temperatur air tinggi (air panas) mempunyai nilai resistivitas rendah dibandingkan dengan temperatur air lebih rendah.

Fluida di daerah penelitian ini mengandung unsur Na dan Cl tinggi, semakin tinggi kandungan kedua unsur tersebut di dalam fluida maka nilai resistivitas terukur semakin rendah. Berdasarkan anion Cl, SO₄ dan HCO₃ pada **Tabel 2** tipe air panas yang terdapat di daerah penelitian adalah air klorida.

Kadar Mg yang lebih tinggi yaitu 57,9 persen dibandingkan dengan kadar K 21,1 persen dan Na 21 persen dapat disimpulkan

bahwa fluida panas di daerah penelitian telah mengalami proses pencampuran dengan air tanah dan batuan permukaan dan mengindikasikan bahwa manifestasi air panas tersebut berada pada zona *outflow*.

Kandungan Na yang cukup tinggi yaitu 1197 ml/l mengindikasikan air fluida di daerah penelitian kemungkinan besar bercampur dengan intrusi air laut.

Nilai resistivitas 4,6 Ωm sampai dengan 36,5 Ωm ditunjukkan warna hijau sampai kuning diidentifikasi litologi endapan permukaan diantaranya adalah endapan rawa, dan endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut. Nilai resistivitas 36,5 Ωm sampai dengan 72,9 Ωm diidentifikasi litologi kerakal, kerikil, pasir, lempung. Nilai resistivitas 146 Ωm ditunjukkan warna merah sampai dengan ungu diidentifikasi batuan lava (andesit-basal) dalam kondisi basah.

5.2.2. Lintasan 2

Nilai resistivitas pada lintasan ini bervariasi dari 1,5 Ωm hingga 198 Ωm dengan kedalaman penetrasi kurang lebih 45 meter dan tingkat error data 10,7 %. Nilai resistivitas 1,5 Ωm sampai dengan 3,1 ditunjukkan warna biru tua merupakan fluida air panas dikarenakan temperatur air tinggi (air panas). Untuk kandungan nilai Cl, B, Li, Mg, K dan Na sama seperti lintasan 1.

Kandungan Na yang cukup tinggi yaitu 1197 ml/l mengindikasikan air fluida di daerah penelitian kemungkinan besar bercampur dengan intrusi air laut. Nilai resistivitas 6,2 Ωm sampai dengan 49,6 Ωm ditunjukkan warna hijau sampai kuning diidentifikasi berupa litologi endapan rawa, dan endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut. Nilai resistivitas 49,6 Ωm sampai dengan 99,2 Ωm ditunjukkan kuning sampai kuning genteng diidentifikasi litologi kerakal, kerikil, pasir dan lempung. Nilai resistivitas 198 Ωm ditunjukkan warna merah sampai dengan ungu diidentifikasi batuan lava (andesit-basal).

5.2.3. Lintasan 3

Nilai resistivitas pada lintasan ini bervariasi dari 1,5 Ωm hingga 197 Ωm dengan kedalaman penetrasi kurang lebih 59,9 meter dan tingkat error data 15,9 %. Untuk kandungan nilai Cl, B, Li, Mg, K dan Na sama seperti lintasan 2. Nilai resistivitas 6,2 Ωm sampai dengan 49,3 Ωm ditunjukkan warna hijau sampai kuning diidentifikasi litologi endapan permukaan diantaranya adalah endapan rawa, dan endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut terdapat. Nilai resistivitas 49,3 Ωm sampai dengan 98,6 Ωm ditunjukkan warna kuning sampai dengan kuning genteng diidentifikasi litologi kerakal, kerikil, pasir dan lempung. Nilai resistivitas 197 Ωm ditunjukkan warna merah sampai dengan ungu diidentifikasi batuan lava (andesit-basal).

5.2.4. Lintasan 4

Nilai resistivitas pada lintasan ini bervariasi dari 1,9 Ωm hingga 247 Ωm dengan kedalaman penetrasi kurang lebih 52 meter dan tingkat error data 17,4 %. Nilai resistivitas 1,9 Ωm sampai dengan 3,9 Ωm ditunjukkan warna biru tua merupakan fluida air panas dikarenakan temperatur air tinggi (air panas). Untuk kandungan nilai Cl, B, Li, Mg, K dan Na sama seperti lintasan sebelumnya.

Nilai resistivitas 7,7 Ωm sampai dengan 61,8 Ωm ditunjukkan warna hijau sampai kuning diidentifikasi litologi endapan permukaan diantaranya adalah endapan rawa, dan endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut terdapat. Nilai resistivitas 61,8 Ωm sampai dengan 124 Ωm ditunjukkan warna kuning sampai dengan kuning genteng diidentifikasi litologi kerakal, kerikil, pasir dan lempung. Nilai resistivitas 197 Ωm ditunjukkan warna merah sampai dengan ungu diidentifikasi batuan lava (andesit-basal) dalam kondisi basah.

5.2.4. Lintasan 4

Nilai resistivitas pada lintasan ini bervariasi dari 1 Ωm hingga 131 Ωm dengan kedalaman penetrasi kurang lebih 52 meter dan tingkat error data 15,9 %. Berdasarkan peta geologi daerah penelitian dan tabel nilai resistivitas serta didukung data geokimia maka dapat diidentifikasi litologi yang terdapat di daerah penelitaian dengan nilai resistivitas 1 Ωm sampai 2,1 Ωm ditunjukkan warna biru merupakan fluida air panas dikarenakan temperatur air tinggi (air panas). Untuk kandungan nilai Cl, B, Li, Mg, K dan Na sama seperti lintasan sebelumnya.

Nilai resistivitas 4,2 Ωm sampai dengan 32,8 Ωm ditunjukkan warna hijau sampai kuning diidentifikasi dengan litologi endapan permukaan diantaranya adalah endapan rawa, dan endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut terdapat. Nilai resistivitas 32,8 Ωm sampai dengan 65,6 Ωm ditunjukkan warna kuning sampai dengan kuning genteng diidentifikasi dengan litologi kerakal, kerikil, pasir dan lempung. Nilai resistivitas 131 Ωm ditunjukkan warna merah sampai dengan ungu diidentifikasi dengan batuan lava (andesit-basal) dalam kondisi basah.

5.2.6. Model 3D daerah penelitian

Data 2D yang telah dilakukan inversi selanjutnya diekstrak kemudian digabungkan menjadi 3D menggunakan *software* geofisika diperlihatkan pada **Gambar 14**. Garis dengan warna merah, hijau dan biru merupakan variable X, Y dan Z lokasi penelitian, dimana X merupakan kordinat UTM X, Y merupakan UTM Y dan Z merupakan elevasi atau kedalaman berguna untuk mempermudah pengamatan lokasi penelitian. Titik berwarna hitam menggambarkan posisi lintasan pengukuran di dalam model 3D dan garis pada bagian atas model 3D ditunjukkan dengan warna hijau (rendah) sampai dengan merah (tinggi) merupakan kondisi topografi lokasi penelitian. Sebaran fluida air panas

diperlihatkan **Gambar 15**. ditunjukkan oleh warna biru pada penampang tersebut.

Untuk mempermudah dalam melakukan interpretasi litologi bawah permukaan daerah penelitian ini maka dilakukan pembagian area interpretasi di dalam model 3D menjadi beberapa bagian diperlihatkan pada **Gambar 16**.

Model resistivitas 3D pertama ditunjukkan **Gambar 16 (a)** pada UTM 9383200. Warna biru pada penampang ini memiliki rentang nilai resistivitas 1 Ωm sampai dengan 25 Ωm diidentifikasi sebagai fluida air panas dikarenakan temperatur air tinggi (air panas) mempunyai nilai resistivitas rendah dibandingkan dengan temperatur air lebih rendah (segar) dan endapan rawa, serta endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut. Warna kuning memiliki nilai resistivitas lebih besar dibandingkan warna biru dengan nilai resistivitas 49 Ωm sampai dengan 85 Ωm diidentifikasi dengan batuan dengan litologi kerakal, kerikil, pasir dan lempung.

Model resistivitas 3D kedua ditunjukkan **Gambar 16 (b)** pada UTM 9383300. Warna biru pada model ini memiliki rentang nilai 1 Ωm sampai dengan 25 Ωm diidentifikasi sebagai fluida air panas dikarenakan temperatur air tinggi (air panas) mempunyai nilai resistivitas rendah dibandingkan dengan temperatur air lebih rendah (segar) dan endapan rawa, serta endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut. Warna kuning memiliki nilai resistivitas lebih besar dibandingkan warna biru dengan nilai resistivitas 49 Ωm sampai dengan 85 Ωm diidentifikasi sebagai batuan kerakal, kerikil, pasir dan lempung. Warna merah memiliki nilai 88 Ωm sampai dengan 205 Ωm diidentifikasi dengan batuan lava (andesit-basal) dalam kondisi basah sehingga nilai resistivitasnya kecil.

Model resistivitas 3D ketiga ditunjukkan **Gambar 16 (c)** pada UTM 9383400. Model resistivitas sebelumnya pada **Gambar 16** diperlihatkan tanda panah berwarna biru kemungkinan besar adalah arah dari sesar

yang dilewati oleh fluida air panas klorida yang bersumber dari reservoir gunung ratai diperkuat dengan keberadaan manifestasi yang memanjang ke arah barat daya gunung ratai.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Data geokimia daerah penelitian menunjukkan fluida air panas bersifat klorida yang bersumber dari reservoir gunung ratai akan tetapi dikarenakan fluida tersebut jauh dari daerah terbentuknya maka terkondensasi dengan air tanah dan batuan sekitarnya, diperkuat dengan beberapa unsur seperti nilai Cl lebih tinggi dibanding nilai B dan Li serta kadar Mg lebih tinggi dari K dan Na.

2. Penampang 2D dan model resistivitas 3D menunjukkan litologi batuan bawah permukaan secara umum dibagi menjadi 4 bagian yaitu fluida air panas memiliki nilai resistivitas rata-rata antara 1 Ωm sampai dengan 3 Ωm , memiliki nilai resistivitas 6 Ωm sampai dengan 50 Ωm dengan litologi endapan permukaan diantaranya adalah endapan rawa, dan endapan alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut, nilai resistivitas 50 Ωm sampai dengan 100 Ωm dengan litologi kerakal, kerikil, pasir dan lempung dan batuan lava (andesit-basalt) memiliki nilai resistivitas diatas 100 Ωm .

3. Nilai resistivitas yang terukur di area penelitian tergolong rendah dikarenakan pada saat melakukan pengukuran dalam keadaan basah (musim penghujan) dan litologi berasosiasi dengan batuan lempung.

6.2. Saran

Saran yang perlu diberikan yaitu Perlu data pendukung seperti data pengeboran agar data resistivitas yang dihasilkan sesuai dengan keadaan bawah permukaan. Diperlukan survei geofisika lebih lanjut

seperti metode gravity, magnetic dan magnetotelurik (MT) agar pola sesar (rekahan) yang dilewati fluida bisa terlihat.

DAFTAR PUSTAKA

- Apostolopoulos, G. 2005. *Geophysical Studies Relating to the Tectonic Structure, Geothermal Fields and Geomorphological Evolution of the Sperchios River Valley, Central Greece*. Journal of Balkan Geophysical Society. 8: 99 – 112.
- Arnason, K. and Gislason, G, 2009, *Geothermal Surface Exploration*. Makalah disajikan dalam Short Course on Surface Exploration for Geothermal Resources, United Nations University Geothermal Training Programme and LaGeo, El Salvador 17 - 30 Oktober 2009.
- Azwar, M., dkk, 1988, *Pengantar Dasar Ilmu Gunungapi*, Bandung: Penerbit Nova
- Daulay, U.E., 2017. *Geophysical resistivity test*. Alamat situs: <http://umared.blogspot.co.id/2011/02/geophysical-resistivity-test.html>, diakses pada tanggal 14 mei, pukul 09.00.
- Gupta, H. and Roy, S., 2007. *Geothermal Energy: An Alternative Resource For the 21st Century*. Elsevier, Amsterdam.
- Haerudin, N., Pardede, V.J. dan Rasimeng, S, 2009, *Analisis Reservoir Daerah Potensi Panas Bumi Gunung Rajabasa Kalianda dengan Metode Tahanan Jenis dan Geotermometer*, Jurnal Ilmu Dasar. 10:141 – 146.
- Hendrajaya, L dan Arif, I. 1990, *Geolistrik Tahanan Jenis*, Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika FMIPA ITB, Bandung.

- Loke, M.H, 2004, *Tutorial 2D and 3D Electrical Imaging Surveys*, Birmingham University, England.
- Mangga, S.A., Amirudin., Suwarti, T., Gafoer, S. dan Sidarto. 1993. *Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Meidav, T., 1972, *Electrical resistivity in geothermal exploration*, Presented paper in Annual Meeting, Society of Exploration Geophysicists 1972, Anaheim California.
- Minarto, E. 201, *Pemodelan Inversi Data Geolistrik untuk Menentukan Struktur Perlapisan Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Mataloko*, (personal.its.ac.id/files/pub/1692-minarto-physics PENELITIAN_4, pdf diakses tanggal 20 mei 2017).
- Nurfalaq. *Tutorial singkat voxler 3 dimensi berdasarkan data inversi resistivitas*. https://www.academia.edu/2174591_4 diakses pada tanggal 1 februari 2017.
- Rakhmanto, F., Maryanto, S. dan Susilo A, 2011. *ERT (Electrical Resistance Tomography) Sumber Air Panas Cagar Komplek Gunung Arjuno – Welirang*, Jurnal Neutrino, (Online), Vol. 4, No. 1, (ejournal.uin-malang.ac.id diakses 12 mei 2017).
- Santoso, D, 2002, *Pengantar Teknik Geofisika*, Penerbit ITB, Bandung.
- Saptadji, N.M., 2009. *Karakteristik Reservoir Panas Bumi*. ITB: Bandung
- Soenarto, B., 2004, *Pendugaan Geolistrik Lapangan di Bolok dan Sikumana*, Kupang NTT. Buletin Pasair Vol XII., No.40
- Suharno, 2010. *Pengembangan Prospek Panas Bumi*. Unila: Bandar Lampung.
- Suhendra, 2008, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi di Desa Air Koprak Kab Lebong Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis*, Jurnal Gradien. 4: 300 – 303.
- Telford, W.M., 1976, Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1976, *Applied Geophysics*, Edisi 1, Cambridge University Press, Cambridge.
- Widodo, S., dan Mustang, A. 2009, *Potensi Panas Bumi Daerah Cubadak Berdasarkan Survei Geolistrik Schlumberger*, Makalah disajikan dalam Kolokium Badan Geologi 2009, Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi.
- Widodo, S., Mustang, A., dan Zarkasyi, A, 2005, *Penyelidikan Geolistrik dan Head On Daerah Panas Bumi Suwawa Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo*. Makalah disajikan dalam Kolokium Badan Geologi 2005, Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi.
- Zohdy, A. A., Eaton, G. P., and Mabey, D.R., 1980, *Application Of Surface Geophysics To Ground-Water Investigation*, Chapter D1, United States Government Printing Office, Washington.

LAMPIRAN

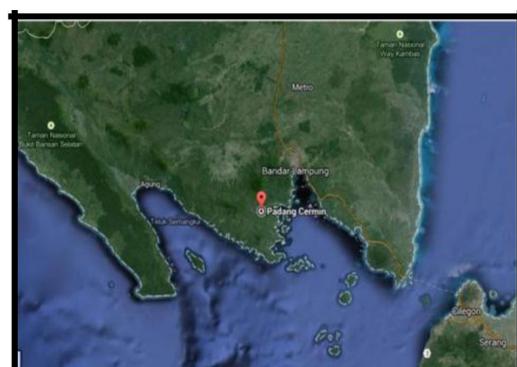
Tabel 1. Nilai resistivitas batuan dan mineral (Telford, 1990).

Rocks type	Resistivity range (m)
Granite porphyry	4.5x10 ³ (wet)-
Feldspar porphyry	1.3x10 ⁶ (dry)
Syenite	4x 10 ³ (wet)
Diorite porphyry	10 ² - 10 ⁶
Porphyryte	1.9x10 ³ (wet)-
Carbonatized porphyry	2.8x10 ⁴ (dry) 10- 5x10 ⁴ (wet)-
Quartz diorite	3.3x10 ³ (dry)
Porphyry (various)	2.5x10 ³ (wet)-
Dacite	6x10 ⁴ (dry)
Andesite	2x10 ⁴ - 2x10 ⁶
Diabase (various)	(wet)- 1.8x10 ⁵
Lavas	(dry)
Gabbro	60- 10 ⁴
Basalt	2x10 ⁴ (wet)
Olivine norite	4.5x10 ⁴ (wet)-
Peridotite	1.7x10 ² (dry)
Hornfels	20- 5x10 ⁷
Schists (calcareous and mica)	10 ² - 5x10 ⁴ 10 ³ - 10 ⁶
Tuffs	10- 1.7x10 ⁷ (dry)
Graphite schists	10 ³ - 6x10 ⁴ (wet)
Slate (various)	3x10 ³ (wet)-
Gneiss (various)	6.5x10 ³ (dry)

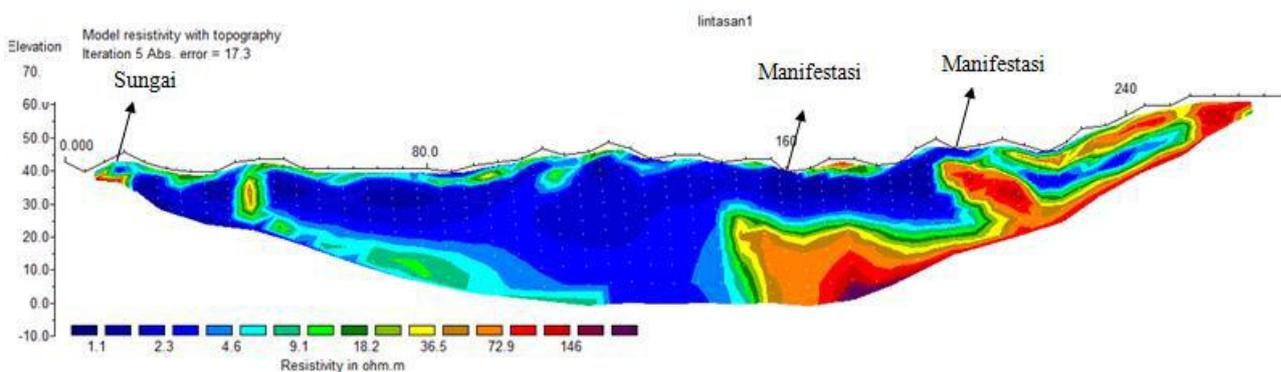
Marble	8x10 ³ (wet)-
Skarn	6x10 ⁷ (dry)
Quartzites (various)	20- 10 ⁴
Consolidated shales	2x10 ³ (wet)- 10 ⁵
Argillites	(dry)
Conglomerates	10-10 ²
Sandstones	6x10 ² - 4x10 ⁷
Limestones	6.8x10 ⁴ (wet)-
Dolomite	3x10 ⁶ (dry)
Unconsolidated wet clay	10 ² - 2.5x10 ⁸ (dry) 2.5x10 ² (wet)-
Marls	2.5x10 ⁸ (dry)
Clays	10- 2x10 ⁸
Oil sands	20- 2x10 ³
Surface water (ign.rock)	10- 8x10 ² 2x10 ³ - 10 ⁴
Surface water (sediments)	1- 6.4x10 ⁸
Soil waters	50- 10 ⁷ 3.5x10 ² - 5x10 ³

Tabel 2. Data Geokimia daerah penelitian

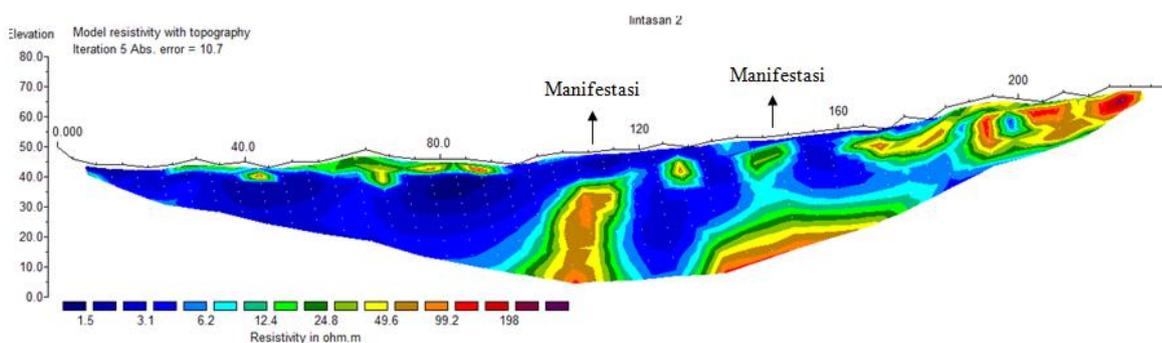
Unsur	Temp	pH	DHL	Na	K	Li	Ca	Mg	Cl	SO4
Satuan	C		umhos	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	92	7,41	915	1197	120,6	15,9	47,3	10,9	1939,3	74,1
Unsur	HCO3	B	SiO2	Cl-SO4-HCO3						
Satuan	mg/l	mg/l	mg/l	S	%Cl	%HCO3	%SO4			
	157,7	1,7	347,8	2171	89,3	7,3				
Unsur	Cl-Li-B			Na-K-Mg						
Satuan	S	%Cl	%B	%Li	S	%Na	%Mg	%K		
	35,8	54,2	1,2	44,6	5,7	21	57,9	21,1		



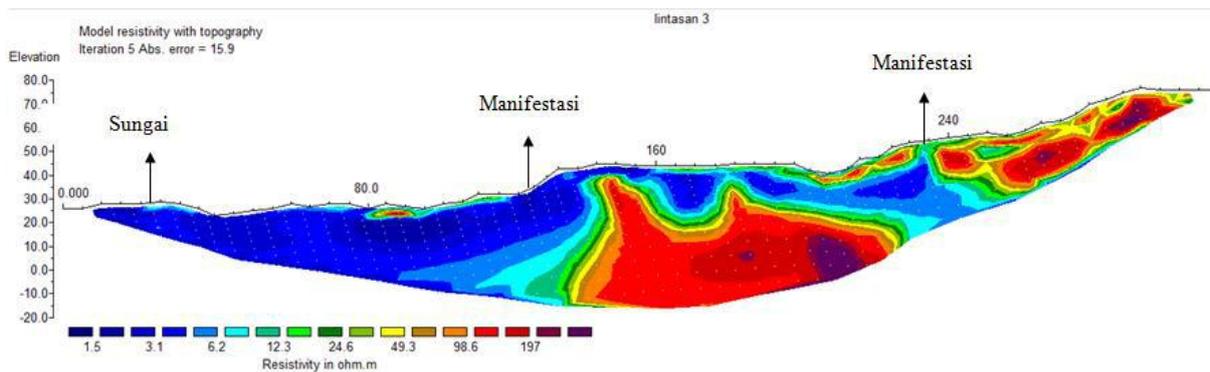
Gambar 1. Lokasi penelitian Google maps 2017



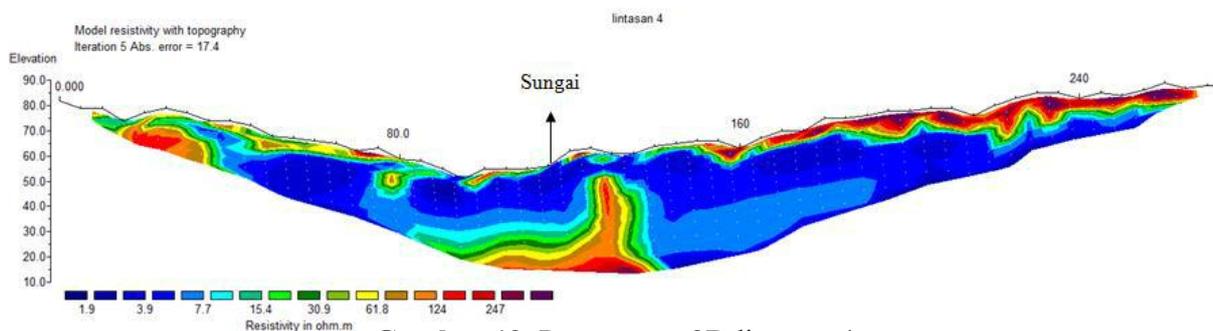
Gambar 9. Penampang 2D lintasan 1



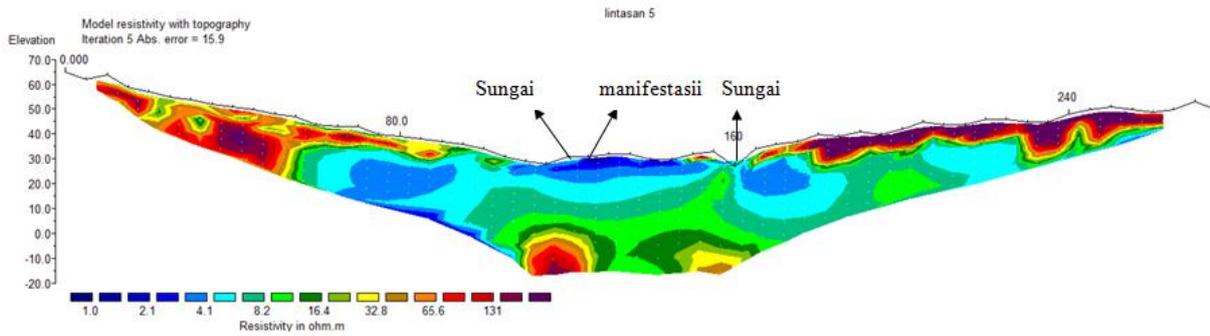
Gambar 10. Penampang 2D lintasan 2



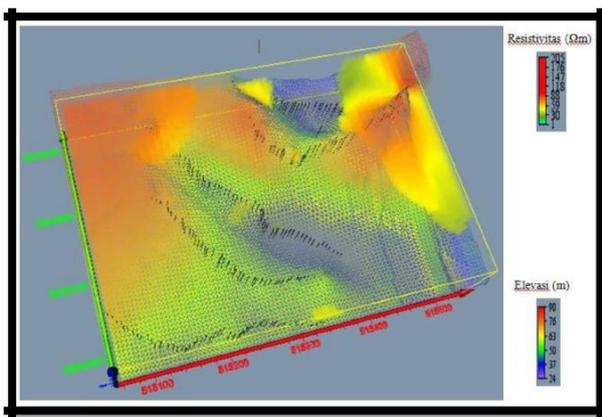
Gambar 11. Penampang 2D lintasan 3



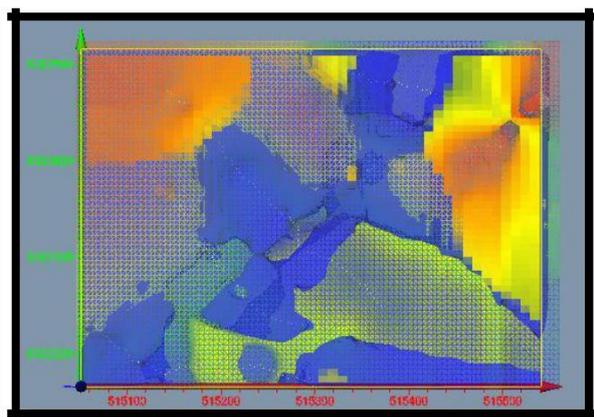
Gambar 12. Penampang 2D lintasan 4



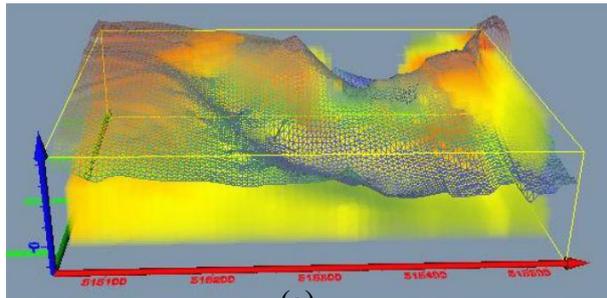
Gambar 13. Penampang 2D lintasan 5



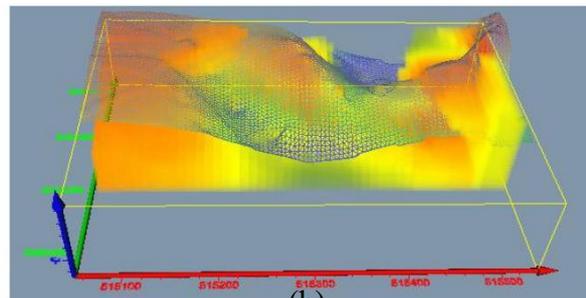
Gambar 14. Posisi lintasan pengukuran



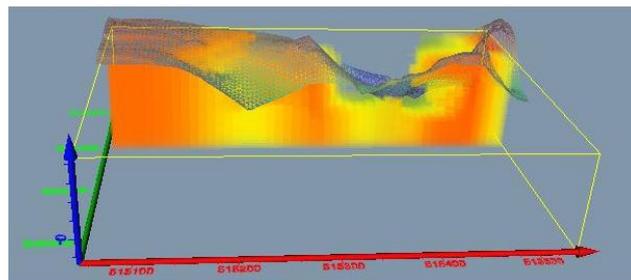
Gambar 15. Sebaran fluida air panas di dalam model 3D



(a)



(b)



(c)

Gambar 16. (a) Pemotongan model resistivitas 3D UTM 9383200 (b) Pemotongan model resistivitas 3D di UTM 9383300 (c) Pemotongan model resistivitas 3D di UTM 9383400