

## **Aplikasi Metode Magnetotellurik Dalam Kegiatan Eksplorasi Panas Bumi Di Daerah "X"**

Application Of Magnetotelluric Methods In Geothermal Exploration Activities In The "X" Region

<sup>1</sup>Ivan Sulistio, <sup>2</sup>Dono Guntoro <sup>3</sup>Asep Sugianto

<sup>1,2</sup>Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,

<sup>3</sup>Pusat Sumberdaya Mineral Batubara dan Panas Bumi

<sup>1,2</sup>Tamansari No. 1 Bandung 40116 <sup>3</sup>Soekarno Hatta No. 444 Bandung

email : <sup>1</sup>ivansulistio25@gmail.com, <sup>2</sup>guntoro\_mining@yahoo.com, <sup>3</sup>asep.soegie@gmail.com

**Abstract.** The Ranau Lake geothermal area is located on the border of Lampung Province and South Sumatra Province. This area is located in the volcanic area of Mount Semuning which is the area of ancient volcanoes. The area of research is dominated by andesite - basalt rock sourced from Mount Semuning. Geothermal potential located in the research area is strengthened by the presence of hot springs in the research area as a geothermal manifestation of the area. To be able to maximize the geothermal potential in the area, then the preliminary exploration keiatan using magnetotellurik geophysical method. This method is used to identify the existing geothermal systems in the area by utilizing the pseudo-type resistance values present in the area. Magnetotellurik method is one method of exploratory geophysics that utilizes electric fields and natural magnetic fields that exist in nature. From the results of magnetotellurik investigation obtained pretest resistance value for each component of geothermal system of Lake Ranau. Apparent resistivity for the covering rock (rock caps) are between 20-60  $\Omega$ m, reservoir layer having resistivity pseudo between 60-320  $\Omega$ m. In track I the thickness of the caps rock is indicated to have a thickness of about 670 m from the surface of the soil, while the thickness of the reservoir layer on track I is indicated to have a thickness of about 920 meters. While on track II the thickness of caps rock is indicated to have a thickness of about 870 m from the surface of the soil, while the thickness of the reservoir layer on track II is indicated to have a thickness of about 1900 meters.

**Keywords:** Exploration, Manetotelluric, Resistivity, Caps Rock, Reservoir.

**Abstrak.** Daerah panas bumi Danau Ranau terletak di perbatasan Provinsi Lampung dan Provinsi Sumatera Selatan. Daerah ini terletak di wilayah vulkanik Gunung Semuning yang merupakan daerah gunung api purba. Daerah penelitian didominasi oleh batuan andesit – basalt yang bersumber dari Gunung Semuning. Potensi panas bumi yang terletak di daerah penelitian diperkuat dengan adanya sumber mata air panas yang terdapat pada daerah penelitian sebagai manifestasi panas bumi yang ada pada daerah tersebut. Untuk dapat memaksimalkan potensi panas bumi yang ada pada daerah tersebut, maka dilakukan kegiatan eksplorasi pendahuluan dengan menggunakan metode geofisika magnetotellurik. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi sistem panas bumi yang ada pada daerah tersebut dengan memanfaatkan nilai tahanan jenis semu yang ada pada daerah tersebut. Metode magnetotellurik merupakan salah satu metode geofisika eksplorasi yang memanfaatkan medan listrik dan medan magnet alami yang ada di alam. Dari hasil penyelidikan magnetotellurik tersebut didapatkan nilai tahanan jenis semu untuk masing – masing komponen sistem panas bumi Danau Ranau. Tahanan jenis semu untuk batuan penudung (*caps rock*) berada antara 20 – 60  $\Omega$ m, lapisan reservoir memiliki tahanan jenis semu antara 60 – 320  $\Omega$ m. Pada lintasan I ketebalan batuan penudung (*caps rock*) diindikasikan memiliki ketebalan sekitar 670 m dari permukaan tanah, sedangkan ketebalan lapisan reservoir pada lintasan I diindikasikan memiliki ketebalan sekitar 920 meter. Sedangkan pada lintasan II ketebalan batuan penudung (*caps rock*) diindikasikan memiliki ketebalan sekitar 870 m dari permukaan tanah, sedangkan ketebalan lapisan reservoir pada lintasan II diindikasikan memiliki ketebalan sekitar 1900 meter.

**Kata Kunci:** Eksplorasi, Manetotellurik, Tahanan Jenis Semu, Batuan Penudung (*Caps Rock*), Reservoir.

### **A. Pendahuluan**

#### **Latar Belakang**

Secara geologi, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng utama yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Pergerakan ketiga lempeng tersebut akan

menghasilkan tumbukan yang mana merupakan faktor terbentuknya sumber energi panas bumi di Indonesia dengan manifestasi berupa gunung api. Keadaan geologis yang dilalui oleh banyaknya gunung api membuat potensi energi panas bumi di Indonesia cukup besar. Mengingat energi panas bumi di Indonesia yang berpotensi cukup besar, maka diperlukan adanya eksplorasi untuk memaksimalkan pengembangan dan pemanfaatan energi panas bumi tersebut. Kegiatan eksplorasi panas bumi di Indonesia baru dilakukan secara luas pada tahun 1972. Direktorat Vulkanologi dan Pertamina, dengan bantuan pemerintah Perancis dan New Zealand melakukan survei pendahuluan di seluruh Indonesia.

Dalam kegiatan eksplorasi panas bumi terbagi menjadi 2 bagian yaitu survei pendahuluan dan penyelidikan rinci. Di dalam survei pendahuluan terdapat 2 buah metode eksplorasi, yaitu eksplorasi langsung dengan menggunakan metode geokimia untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada sumber air panas dan menggunakan eksplorasi tidak langsung dengan melakukan survei geofisika. Survei geofisika tersebut bertujuan untuk mengetahui indikasi batuan penudung (*caps rock*), suhu fluida di kedalaman, struktur permukaan bawah tanah.

Untuk memastikan potensi panas bumi di daerah tersebut maka dilakukan survei geofisika dengan menggunakan metode magnetotellurik (MT). Metode MT diaplikasikan untuk mengetahui berbagai komponen penting dalam sistem panas bumi seperti batuan penudung (*caps rock*), reservoir dan sumber panas. Struktur bawah permukaan dapat dianalisis dan diidentifikasi sebagai komponen panas bumi dengan mengacu pada hasil akhir yang berupa penampang sebaran tahanan jenis semu bawah permukaan.

### **Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui besaran besaran nilai tahanan jenis semu pada batuan penudung, batuan reservoir.
2. Menentukan batasan – batasan antara batuan penudung, batuan reservoir.

### **B. Landasan Teori**

Terjadinya sumber energi panasbumi di Indonesia serta karakteristiknya dijelaskan oleh Budihardi (1998) sebagai berikut. Ada tiga lempengan yang berinteraksi di Indonesia, yaitu lempeng Pasifik, lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia. Tumbukan yang terjadi antara ketiga lempeng tektonik tersebut telah memberikan peranan yang sangat penting bagi terbentuknya sumber energi panas bumi di Indonesia. Keadaan geogi pada daerah penelitian di dominasi oleh batuan beku yang termasuk dalam satuan batuan gunungapi Kuartar (Qhv dan Qv), Batuan piroklastik yang tersusun atas Tuf Ranau (QTr), Batuan Vulkanik Tersier yang tersusun atas breksi gunungapi Formasi Bal.

Sistem panas bumi di Indonesia umumnya merupakan sistem hidrothermal yang mempunyai temperatur tinggi ( $>225^{\circ}\text{C}$ ), hanya beberapa diantaranya yang mempunyai temperatur sedang ( $150\text{-}225^{\circ}\text{C}$ ). Pada dasarnya sistem panas bumi jenis hidrothermal terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (*bouyancy*). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini

menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi. Manifestasi panasbumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan – rekahan yang memungkinkan fluida panasbumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan.

Adapun nilai tahanan jenis semu yang dimiliki oleh komponen sistem panas bumi seperti lapisan batuan penudung (*caps rock*) dengan nilai tahanan jenis semu  $< 10 \Omega\text{m}$ , lapisan reservoir dengan nilai tahanan jenis semu  $10 - 60 \Omega\text{m}$ , dan sumber panas bumi (*heat sources*) dengan nilai tahanan jenis semu sebesar  $> 60 \Omega\text{m}$ . (Johnston, 1992).

Eksplorasi panas bumi adalah suatu rangkaian kegiatan yang meliputi penyelidikan geologi, geokimia, geofisika, pengeboran uji, dan pengeboran eksplorasi yang bertujuan untuk menemukan dan mendapatkan perkiraan potensi panas bumi.

Metoda magnetotellurik (MT) merupakan salah satu metoda eksplorasi geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik alam. Medan EM (elektromagnetik) tersebut ditimbulkan oleh berbagai proses fisik yang cukup kompleks sehingga spektrum frekuensinya sangat lebar ( $10^{-5} \text{ Hz} - 10^4 \text{ Hz}$ ). Pada frekuensi yang cukup rendah (kurang dari 1 Hz), *solar wind* yang mengandung partikel-partikel bermuatan listrik berinteraksi dengan medan magnet permanen bumi sehingga menyebabkan variasi medan EM. Variasi pada jangkah frekuensi audio (*audio frequency band*, di atas 1 Hz) terutama disebabkan oleh aktivitas meteorologis berupa petir. Petir yang terjadi di suatu tempat menimbulkan gelombang EM yang terperangkap antara ionosfer dan bumi (*wave guide*) dan menjalar mengitari bumi.

Gelombang EM dapat dianggap sebagai gelombang bidang yang merambat secara vertikal ke dalam bumi berapapun sudut jatuhnya terhadap permukaan bumi. Hal ini mengingat besarnya kontras konduktivitas atmosfer dan bumi. Impedansi bumi homogen adalah suatu bilangan skalar kompleks yang merupakan fungsi tahanan-jenis medium dan frekuensi gelombang EM. Dalam hal ini impedansi yang diperoleh dari dua pasangan komponen medan listrik dan medan magnet yang berbeda ( $E_x/H_y$  dan  $E_y/H_x$ ). Impedansi kompleks dapat pula dinyatakan sebagai besaran amplitudo dan fasa. Dalam praktek besaran tersebut lebih sering dinyatakan dalam bentuk tahanan-jenis dan fasa sebagai berikut,

$$\rho = \frac{1}{5f} |Z_I|^2$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im } Z_I}{\text{Re } Z_I} \right) = 45^\circ$$

$\rho$  = nilai tahanan jenis ( $\Omega\text{m}$ )

$f$  = frekuensi (Hz)

$Z_I$  = nilai impedansi

$\phi$  = phase (degress)

*Skin depth* didefinisikan sebagai kedalaman pada suatu medium homogen dimana amplitudo gelombang EM telah tereduksi menjadi  $1/e$  dari amplitudonya di permukaan bumi. Besaran tersebut dirumuskan sebagai berikut,

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{f}}$$

Jika tahanan-jenis hanya bervariasi terhadap kedalaman, maka model yang digunakan untuk merepresentasikan kondisi ini adalah model 1-dimensi (1-D). Pada

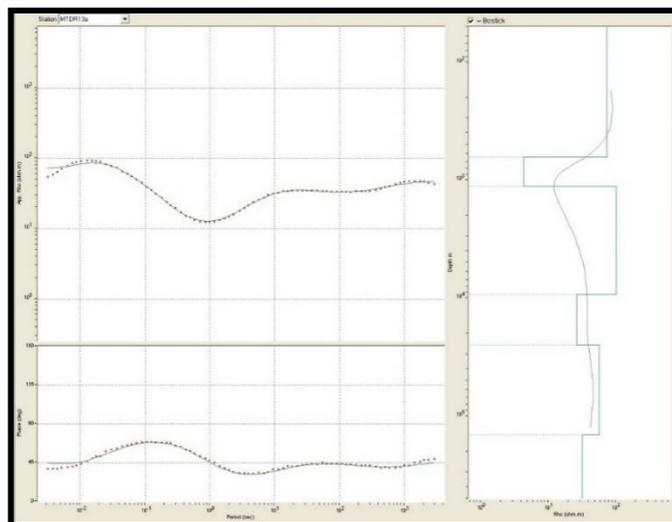
umumnya digunakan model yang terdiri dari beberapa lapisan horisontal dengan masing-masing lapisan bertahanan-jenis konstan atau homogen dan isotropis (model bumi berlapis horisontal). Dalam hal ini parameter model adalah tahanan-jenis dan ketebalan tiap lapisan dengan lapisan terakhir berupa medium homogen.

Permodelan 1D data magnetotellurik menggunakan inversi Bostick. Inversi Bostick ini merupakan suatu perkiraan yang digunakan untuk mendapatkan kurva tahanan jenis semu dan juga sebagai pertimbangan pola sebaran tahanan jenis terhadap kedalaman, dimana informasi fasa tidak ada (tidak dapat dipercaya).

Untuk dapat mempresentasikan kondisi bawah permukaan secara lebih realistis maka digunakan model 2D dimana tahanan jenis bervariasi terhadap kedalaman ( $z$ ) dan jarak dalam arah penampang atau profil ( $y$ ) sehingga  $r(y,z)$ . Dalam hal ini tahanan jenis medium tidak bervariasi dalam sumbu  $x$  yang merupakan arah struktur (*strike*). Untuk permodelan 2D berupa model bawah permukaan yang terdiri dari blok – blok dengan ukuran berbeda. Dalam hal ini parameter 2D adalah nilai tahanan jenis tiap blok yang mempunyai dimensi lateral ( $x$ ) dan vertikal ( $z$ ).

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

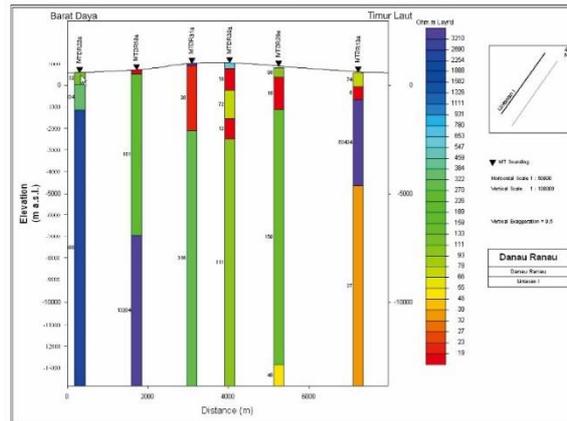
Secara umum tahapan yang dilakukan pada pengolahan data ini yaitu diawali dengan memasukkan data hasil pengukuran yang berupa deret waktu (*time series*) yaitu variasi nilai medan listrik ( $E$ ) dan medan magnet ( $H$ ) terhadap waktu yang dirubah kedalam domain frekuensi menggunakan *transformasi fourier*, melakukan *robust processing*, dan merubahnya kedalam bentuk .MTH dan .MTL dengan menggunakan software SSMT 2000. Kemudian data .MTH dan .MTL dengan menggunakan software Mteditor sehingga didapatkan kurva *apparent resistivity* dan *phase* yang nantinya dilakukan proses seleksi *crosspower (smoothing)* untuk mendapatkan kurva yang lebih baik. Setelah itu, barulah masuk kedalam tahapan inversi satu dan dua dimensi, dimana pada tahapan ini dibuat permodelan satu dimensi dan dua dimensi dengan menggunakan software WinGlink.



**Gambar 1.** Kurva *Sounding* WinGlink Model Satu Dimensi Tahanan Jenis Semu Terhadap Kedalaman

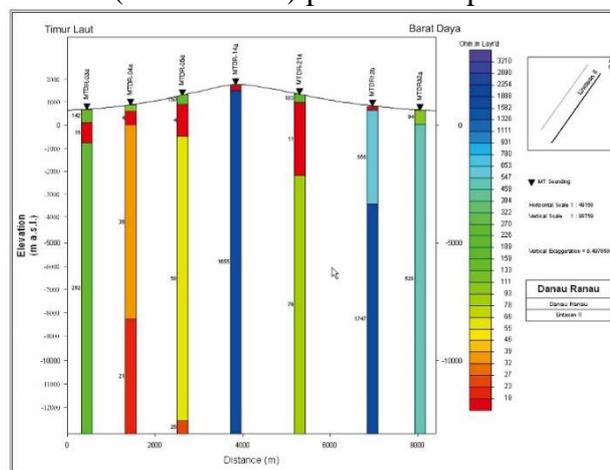
Berdasarkan hasil survei MT hasil model satu dimensi lintasan pertama (Gambar 5.1) kontras tahanan jenis semu diantara titik MTDR – 22 dan MTDR – 18 yang menunjukkan adanya ketidakselarasan struktur. Berdasarkan informasi geologi, hal ini

diakibatkan adanya struktur tegak di kedua titik tersebut. Pada MTDR – 18, MTDR – 31, MTDR – 30, MTDR – 29, dan MTDR 13 terdapat lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu rendah (<20 Ωm) dengan ketinggian 620 meter sampai dengan -2500 meter, lapisan ini juga diindikasikan berasosiasi dengan penudung (*caps rock*) pada sistem panas bumi. Dibawah lapisan yang diindikasikan sebagai batuan penudung terdapat lapisan dengan nilai tahanan jenis semu sedang yang berkisar antara 60 Ωm – 200 Ωm. Lapisan ini diindikasikan sebagai lapisan reservoir pada sistem panas bumi. Sedangkan lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu >200Ωm diindikasikan sebagai sumber panas bumi (*heat sources*) pada sistem panas bumi.



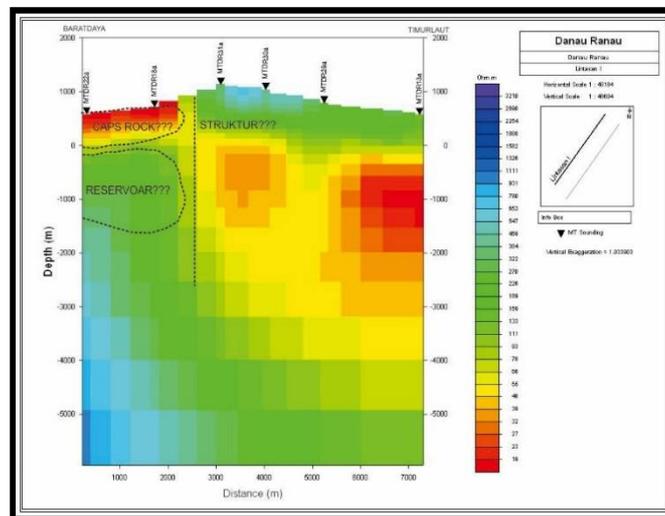
**Gambar 2.** Hasil Permodelan 1D Lintasan I

Pada model satu dimensi lintasan kedua (Gambar 5.2) menunjukkan adanya kontras tahanan jenis semu diantara titik MTDR – 32 dan MTDR – 12 yang menunjukkan adanya ketidakselarasan struktur. Berdasarkan informasi geologi, hal ini diakibatkan adanya struktur tegak di kedua titik tersebut. Pada MTDR – 12, MTDR – 21, MTDR – 14, MTDR – 05, MTDR – 04, dan MTDR – 03 terdapat lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu rendah (<20 Ωm) dengan ketinggian 520 meter sampai dengan -2000 meter, lapisan ini juga diindikasikan berasosiasi dengan penudung (*caps rock*) pada sistem panas bumi. Di bawah lapisan yang diindikasikan sebagai batuan penudung terdapat lapisan dengan nilai tahanan jenis semu sedang yang berkisar antara 60 Ωm – 200 Ωm. Lapisan ini diindikasikan sebagai lapisan reservoir pada sistem panas bumi. Sedangkan lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu >200 Ωm diindikasikan sebagai sumber panas bumi (*heat sources*) pada sistem panas bumi.



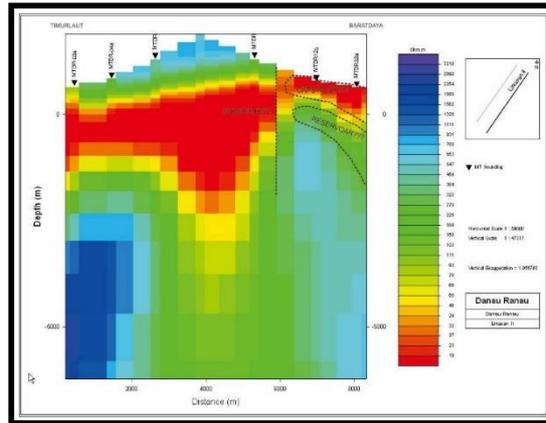
**Gambar 3.** Hasil Permodelan 1D Lintasan II

Berdasarkan hasil survei MT hasil permodelan 2D pada Lintasan I, lokasi potensi panas bumi diindikasikan terletak di bawah titik MTDR – 22 dan MTDR – 18. Hal ini terlihat bahwa sebaran tahanan jenis rendah yang biasa berasosiasi dengan batuan penudung dari sistem panas bumi berada di bagian barat daya Gunung Seminung diperkirakan memiliki ketebalan  $\pm 600$  meter di bawah permukaan tanah. Tepat di bagian bawah lapisan tersebut diindikasikan terdapat lapisan reservoir dengan ketebalan  $\pm 1000$  m, serta tepat di bawah lapisan reservoir tersebut terdapat lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu tinggi, yang diindikasikan sebagai sumber panas yang berasal dari magma Gunung Seminung. Berdasarkan informasi geologi, pada lintasan ini terdapat mata air panas yang terletak di sekitar titik MTDR – 13, serta ditemukannya indikasi struktur yang terletak antara titik MTDR – 18 dan MTDR – 31 karena pada titik pengukuran tersebut ditemukannya beberapa titik sumber mata air panas. Hal ini diakibatkan lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis sedang menerobos lapisan yang memiliki tahanan jenis rendah karena adanya tekanan dari lapisan reservoir.



**Gambar 4.** Interpretasi Pada Model 2D Lintasan I

Pada lintasan kedua, lokasi potensi panas bumi diindikasikan berada di bawah titik pengukuran MTDR – 12 dan MTDR – 32. Hal ini terlihat pada titik tersebut memiliki batuan yang memiliki tahanan jenis semu yang rendah yang biasa berasosiasi dengan batuan penudung (*caps rock*) yang berada di sebelah timur laut Gunung Seminung dengan ketebalan  $\pm 800$  m dari permukaan. Tepat di bawah lapisan tersebut terdapat lapisan yang memiliki tahanan jenis semu sedang yang biasa berasosiasi sebagai lapisan reservoir dengan memiliki ketebalan  $\pm 900$  m. Sedangkan lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu tinggi mengindikasikan bahwa lapisan tersebut merupakan sumber panas yang diindikasikan berasal dari jalur magma Gunung Seminung. Berdasarkan informasi geologi yang didapatkan, pada Lintasan II ini terdapat sumber air panas di sebelah timur lintasan, hal ini disebabkan adanya indikasi struktur yang mengarah ke bagian timur lintasan, tepatnya sebelah timur titik MTDR – 05, serta terdapat pula 2 mata air pada ujung timur laut Lintasan II. Hal ini diakibatkan oleh adanya struktur geologi di sekitar timur laut Lintasan II, sehingga lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu sedang dapat menerobos (terjadi intrusi) ke dalam lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu rendah, sehingga terdapat lapisan yang memiliki nilai tahanan jenis semu sedang di daerah permukaan sebagai salah satu jalan keluarnya sumber mata air panas.



**Gambar 5.** Interpretasi Pada Model 2D Lintasan II

#### D. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Besaran nilai tahanan jenis semu pada komponen sistem panas bumi daerah penelitian sebagai berikut:
  - a. Lapisan batuan penudung (*caps rock*) memiliki nilai tahanan jenis semu berkisar antara 20 – 60  $\Omega\text{m}$ .
  - b. Lapisan reservoir memiliki nilai tahanan jenis semu berkisar antara 60 – 300  $\Omega\text{m}$ .
2. Kedalaman komponen sistem panas bumi daerah penelitian sebagai berikut:
  - a. Kedalaman batuan penudung (*caps rock*) diindikasikan berkisar antara 600 m di atas permukaan laut sampai dengan – 50 m di atas permukaan air laut, dengan ketebalan  $\pm 670$  m untuk Lintasan I, sedangkan untuk Lintasan II berada ketinggian 620 meter di atas permukaan laut sampai dengan – 250 meter di atas permukaan laut dan memiliki tebal  $\pm 870$  m.
  - b. Kedalaman lapisan reservoir pada Lintasan I berada pada kedalaman – 50 meter di atas permukaan laut sampai dengan – 1000 meter di atas permukaan laut dengan ketebalan  $\pm 950$  m, sedangkan pada Lintasan II berada pada kedalaman – 250 di atas permukaan laut sampai dengan – 2150 meter di atas permukaan laut dengan ketebalan  $\pm 1900$  meter di atas permukaan laut.

#### Daftar Pustaka

- Anonim, 2009. Laporan Akhir Survei Magneetotellurik Danau Ranau Kabupaten Lampung Barat – Kabupaten Oku Selatan. Pusat Sumberdaya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.
- Budiharjo, B., Nugroho dan Budihardi, M., 1997. Resource Characteristics of the Ungaran Field, Central Java, Indonesia, Proceeding of National Seminar of Human Resources Indonesia Geologist, Yogyakarta.
- Grandis, H., dan Widarto, D.S., 2010. Metoda Magnetotellurik Dalam Geofisika Eksplorasi. Workshop Eksplorasi Elektromagnetik, Bandung.
- Saptadji, N.M., 2001. Teknik Panas Bumi. Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB, Bandung.
- Saptadji, N.M., 2009. Sistem Panas Bumi. Program Studi Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB, Bandung.