

IDENTIFIKASI KAWASAN ZONA PANAS BUMI (*GEOTHERMAL*) DI DAERAH X MENGGUNAKAN METODE MAGNETOTELLURIK

^{1*}Dela Andini, ^{1,2}Piter Lepong, ¹Adrianus Inu Natalisanto

¹Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

²Laboratorium Geofisika Unmul, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

*Email : andini935@gmail.com

ABSTRACT

Geothermal is the heat formed inside the earth's crust. The heat of geothermal produces hot water, steam, and heat rocks along with other minerals and gases to be genetically inseparable in geothermal systems. One of the geophysical method which can be used to determine the area of a geothermal system is magnetotelluric. The method is based on the values of resistivity distribution of the rock formation. In the study on the identification of geothermal zone in the X area, it was found the resistivity distribution in 1D and 2D models by using the magnetotelluric method. The models were created by processing of magnetotelluric data taken from three measuring lines. The 1D model was the resistivity distribution vertically generated from the depth of each measurement point, while the 2D model was the resistivity distribution generated in vertical and lateral to form the image of geothermal system. In the 1D model the resistivity distribution values were in the range of 66 ohm.m and 270 ohm.m, while in the 2D model the resistivity distribution values were in the range of 66 ohm.m and 221 ohm.m. From the image it could be interpreted the low resistivity related to the cap rock zone located above the reservoir zone, the medium resistivity related to the reservoir zone located below the cap rock zone, and the high resistivity related to the heat source zone located below the reservoir zone. The study found that the position of geothermal reservoir was under the cap rock zone.

Keyword : resistivity, magnetotelluric, cap rock, reservoir, heat source

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu daerah yang memiliki kekayaan alam yang cukup melimpah, salah satunya ialah sumber energi panas bumi. Keberadaan cadangan panas bumi tersebut akibat dari wilayah Indonesia terletak di daerah geologis dengan pertemuan tiga lempeng tektonik (Maswah, 2016). Daerah tersebut ditandai dengan keberadaan banyak gunung berapi yang masih aktif atau sering disebut kawasan *ring of fire* (cincin api).

Sumber energi panas bumi merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dibandingkan dengan sumber energi lain,

seperti: batubara, minyak dan gas. Hal tersebut karena sumber energi panas bumi tidak meningkatkan emisi gas rumah kaca seperti pada pembakaran bahan bakar fosil (Fandari, 2014).

Guna pemanfaatan energi panas bumi, perlu diketahui terlebih dahulu potensi panas bumi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan berbagai metode geofisika, yang salah satunya adalah metode magnetotellurik. Metode magnetotellurik memanfaatkan gelombang elektromagnetik hasil arus telurik didalam formasi batuan. Arus tersebut dibangkitkan oleh penetrasi gelombang elektromagnetik yang

ditimbulkan oleh angin matahari (Unsworth, 2001).

Metode magnetotellurik merupakan metode pasif yang memanfaatkan fluktuasi medan listrik dan medan magnet alami yang tegak lurus di permukaan bumi, yang ditimbulkan oleh arus telurik. Arus telurik tersebut dibangkitkan oleh angin matahari. Dari analisis atas fluktuasi tersebut dapat diketahui nilai resistivitas atau tahanan jenis dari batuan di bawah permukaan bumi (Fitrida, 2015).

Makalah ini melaporkan hasil penelitian identifikasi zona panas bumi di daerah X. Identifikasi tersebut didasarkan nilai resistivitas dan model dari metode magnetotellurik. Hasil identifikasi menemukan bahwa di daerah X tersebut terdapat zona panas bumi yang meliputi *cap rock*, *reservoir*, dan *heat source*. Terdapatnya zona panas bumi tersebut dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan energi listrik dari sumber energi panas bumi.

2. Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi di Indonesia umumnya berupa sistem hidrotermal. Sistem hidrotermal tersebut merupakan *reservoir* yang mengandung uap, air atau campuran keduanya (Murbanendra, 2016). Secara garis besar sistem panas bumi tersebut dikendalikan oleh sumber panas, (*heat source*), batuan *reservoir*, lapisan penutup, keberadaan struktur geologi, dan daerah resapan air (Murdani, 2017).

Keberadaan sistem panas bumi tersebut dapat diketahui dari nilai resistivitas batuan yang membentuk sistem tersebut. Perbedaan antara nilai resistivitas tiap bagian komponen sistem panas bumi dapat digambarkan sebagai suatu struktur resistivitas bawah permukaan yang membantu pembuatan model konseptual sistem panas bumi (Umbara, 2014).

Di bawah zona resistif terdapat batuan penudung dengan ciri nilai resistivitas rendah (1-10 Ohm-m), hal ini menurut Flovens et al (2005) dan Usher (2000) dikarenakan oleh kehadiran mineral

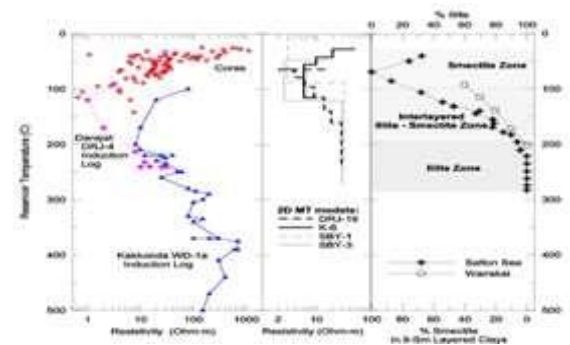
lempung yang memiliki nilai *Cation Exchange Capacity* (CEC) yang tinggi. CEC merupakan kapasitas batuan untuk menyediakan jalur konduktif melalui bidang batas antarmuka batuan (*interface conductivity*) (Umbara, 2014).

Bagian *reservoir* memiliki nilai resistivitas yang lebih tinggi dibanding batuan penudung. Tingginya nilai resistivitas tersebut dikendalikan oleh jumlah smektit yang rendah dan keberadaan *mixed clay*, illit, klorit dan epidot. (Umbara, 2014).

Kaitan nilai *temperature* dengan nilai resistivitas di zona panas bumi diperlihatkan dalam **Gambar 1**. Kaitan tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi *temperature* reservoir maka semakin besar nilai resistivitas dari reservoir tersebut.

Selanjutnya kaitan model 2D MT terhadap kedalaman juga diperlihatkan dalam **Gambar 1**. Kaitan tersebut menyatakan bahwa semakin dalam reservoir maka semakin besar nilai resistivitasnya.

Kemudian kaitan antara kandungan jenis mineral lempung terhadap kedalaman juga diperlihatkan dalam **Gambar 1**. Kaitan



tersebut menyatakan bahwa semakin dalam kedudukan reservoirnya maka semakin kecil presentase smektit atau mineral lempung.

Gambar 1. Grafik kaitan temperatur dengan resistivitas dan keberadaan mineral lempung (Usher, 2000).

3. Metode Magnetotellurik

Metode magnetotellurik (MT) merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik alami. Medan EM tersebut

ditimbulkan oleh berbagai proses fisik yang cukup kompleks sehingga spektrum simultan variasi medan listrik (E) dan medan magnet (H) sebagai fungsi waktu (Grandis, 2010).

Dalam Metode magnetotellurik (MT), medan elektromagnetik alami digunakan untuk menyelidiki struktur konduktivitas listrik bumi. Sumber alami medan magnetotellurik di atas 1 Hz adalah badai petir. Pada frekuensi di bawah 1 Hz, sebagian besar sinyal adalah karena sistem di magnetosphere oleh aktivitas matahari (Vozoff, 1991).

4. Persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell merupakan sintesa hasil-hasil eksperimen (empiris) mengenai fenomena listrik-magnet yang didapatkan oleh Faraday, Ampere, Gauss, Coulomb disamping yang dilakukan oleh Maxwell sendiri dalam bentuk diferensial, persamaan Maxwell dalam domain frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut:

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

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

$$\nabla \cdot D = q \quad (3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (4)$$

Dengan E (Volt/m) adalah medan listrik, H (Ampere/m) adalah medan magnetik, B (Weber/m² atau T) adalah fluks atau induksi magnetik, D (Coulomb/m²) adalah perpindahan listrik, dan q (Coulomb/m³) adalah rapat muatan listrik, j adalah rapat arus (Grandis, 2010).

5. Skin Depth

Skin depth didefinisikan sebagai kedalaman pada suatu medium homogen dimana amplitud gelombang EM telah tereduksi menjadi 1/e dari amplitudnya di permukaan bumi (ln e = 1 atau e = 2,718 ...). Besaran tersebut dirumuskan sebagai berikut:

frekuensinya sangat lebat (10⁻⁵ Hz - 10⁴ Hz). Hal ini dilakukan dengan mengukur secara

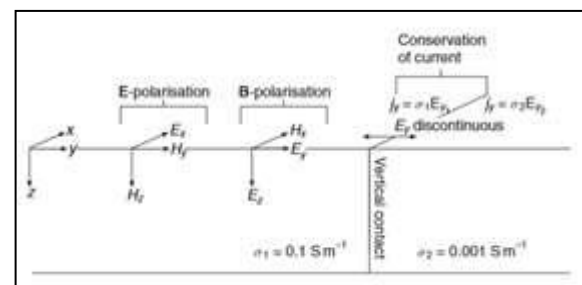
$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu\sigma}} \quad (5)$$

Dimana ρ adalah tahanan jenis medium homogen atau ekuivalensinya, $\omega = 2\pi f$.

Besaran *skin depth* digunakan untuk memperkirakan kedalaman penetrasi atau kedalaman investigasi gelombang EM. Untuk keperluan praktis digunakan definisi kedalaman efektif yang lebih kecil dari *skin depth* yaitu $\delta/\sqrt{2}$ (Grandis, 2010).

6. Induksi Pada Diskontinuitas: Bentuk Sederhana (2-Dimensi) Dan Konsep Polarisasi E dan B

Prinsip fisik yang mengatur induksi pada diskontinuitas adalah konservasi arus.



Gambar 2. Model 2D dengan kontak vertikal sederhana (Simpson dan Bahr, 2005)

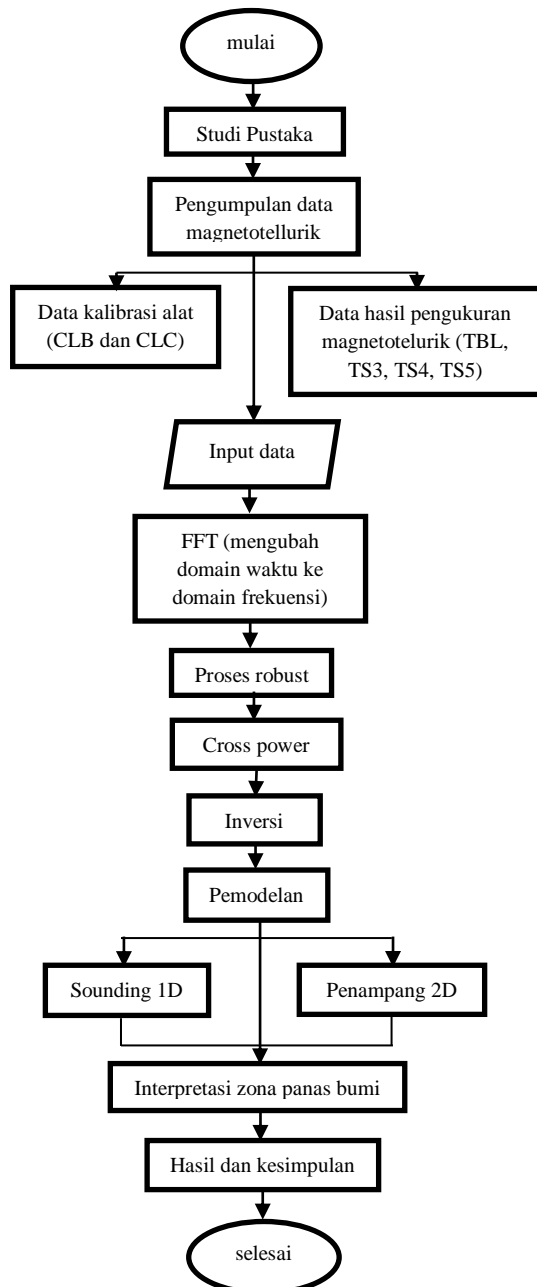
Gambar 2 menampilkan gambaran 2-D yang sangat sederhana dengan kontak vertikal antara dua zona konduktivitas yang berbeda σ_1 dan σ_2 . Densitas arus, (j_y), melintasi batas yang diberikan oleh:

$$j_y = \sigma E_y \quad (6)$$

Untuk keadaan 2-D ideal, medan listrik dan medan magnet tegak lurus, dimana medan listrik yang searah *strike* menginduksi medan magnetik yang tegak lurus terhadap *strike* dan bidang vertikal. Sedangkan medan magnet sejajar terhadap *strike* menginduksi medan listrik yang tegak lurus terhadap *strike* dan bidang vertikal (Simpson dan Bahr, 2005).

7. Metodologi Penelitian

Data yang diolah merupakan data sekunder dari Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMPB), Bandung, dengan menggunakan metode magnetotellurik di area "X".



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

8. Hasil Model 1D

Hasil model 1D seperti pada Gambar 4 dengan nilai resistivitas hanya bervariasi secara vertikal terhadap kedalaman (Grandis, 2010).

Pada Gambar 4 dimana pada lintasan 1 terdapat 7 titik pengukuran yaitu MTLL15A(1), MTLL16, MTLL16(A), MTLL17a, MTLL17A(1), MTLL18, MTLL19a, yang memiliki kedalaman yang berbeda-beda mulai dari kedalaman 8000 meter sampai dengan 15000 meter, berdasarkan lapisannya bahwa sebaran nilai resistivitas yang rendah memiliki nilai sebesar 20-54 ohm.m yang terdapat pada titik MTLL16, MTLL16a, dan MTLL19a, untuk nilai resistivitas sedang memiliki nilai sebesar 66-270 ohm.m yang terdapat pada setiap titik pengukuran dengan ketebalan yang berbeda-beda di tiap titik pengukuran, dan untuk resistivitas tinggi berada pada semua titik pengukuran dengan nilai resistivitas sebesar 300-2000 ohm.m dikedalaman dan ketebalan yang berbeda-beda.

Pada Gambar 5 dimana pada lintasan 2 dengan sebaran nilai resistivitas yang berbeda pada tiap titik. Dapat dilihat berdasarkan lapisannya bahwa sebaran nilai resistivitas yang rendah memiliki nilai sebesar 20-54 ohm.m yang terdapat pada titik MTLL23a, dan MTLL24, untuk nilai resistivitas sedang terdapat pada titik MTLL22a, MTLL22, MTLL23a, dan MTLL24 yang memiliki nilai resistivitas sebesar 66-270 ohm.m, dan untuk resistivitas tinggi berada pada titik pengukuran MTLL22a, MTLL22, MTLL23a, MTLL25 dengan nilai resistivitas sebesar 300-2000 ohm.m dikedalaman dan ketebalan yang berbeda-beda.

9. Hasil Model 2D

Berdasarkan geologi daerah penelitian terdiri dari batuan vulkanik-plutonik berusia Paleogen-Kuarter dengan batuan sedimen berusia Mesozoikum-Tersier dan batuan malihan, Van Leewen (1994) menyebutkan bahwa daerah ini sebagai busur magmatik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu bagian barat dan utara (Somptan, 2012).

Daerah penelitian didominasi oleh batuan vulkanik yang terdiri dari aliran lava yang cukup luas (Setiawan, dkk, 2010).

Berdasarkan hasil pemodelan 2D lintasan 1 pada **Gambar 6** terdapat 7 titik pengukuran MTLL15A(1), MTLL16, resistivitas. Nilai resistivitas rendah diidentifikasi terdapat zona *cap rock* dengan sebaran nilai resistivitas antara 20-54 ohm.m yang tersebar dibawah permukaan sampai kedalaman sekitar 1000m. yang menerus ke arah Timur Laut. Pada zona ini diidentifikasi terdapat jenis batuan lava andesitik, dimana batuan ini telah mengalami ubahan. Sebagian ubahan berupa klorit dan lempung sehingga dapat menahan keluarnya fluida panas bumi keatas permukaan karena batuan ini bersifat impermeabel.

Pada nilai resistivitas sedang diidentifikasi terdapat zona *reservoir* yang memiliki sebaran nilai resistivitas antara 66-221 ohm.m yang terperangkap dibawah *cap rock* sampai kedalaman sekitar 1750m. Pada zona ini diperkirakan terdapat jenis batuan andesitik yang telah mengalami rekahan yang diduga sebagai tempat menyimpannya fluida panas bumi

Pada zona *heat source* atau batuan sumber panas dengan sebaran nilai resistivitas tinggi dengan nilai sekitar 270-2000 ohm.m terdapat pada kedalaman sekitar 500m-3000m yang menerus semakin dalam dari arah barat daya sampai timur laut. Pada zona ini diperkirakan terdapat jenis batuan lava dengan komposisi andesitik hingga basaltik yang menyebar dibawah permukaan.

Pada lintasan ini diidentifikasi terdapat adanya patahan atau struktur geologi lain yang menjadi pemisah antara titik pengukuran MTLL16 dengan MTLL16A, dan titik pengukuran MTLL18 dengan MTLL19a karena adanya kontinuitas nilai resistivitas pada batuan.

Berdasarkan hasil model 2D lintasan 2 Pada **Gambar 7** diperkirakan terdapat zona panas bumi berupa *cap rock*, *reservoir*, dan

MTLL16(A), MTLL17a, MTLL17A(1), MTLL18, MTLL19a dengan nilai RMS sebesar 1,6%. Di mana pada lintasan ini diperkirakan terdapat *cap rock*, *reservoir*, dan *heat source* berdasarkan sebaran nilai

heat source berdasarkan sebaran nilai resistivitas rendah, sedang, dan tinggi.

Nilai resistivitas rendah diidentifikasi terdapat zona *cap rock* dengan sebaran nilai resistivitas antara 20-54 ohm.m yang tersebar dibawah permukaan dari arah barat daya sampai timur laut yang menebal pada arah timur laut sampai kedalaman sekitar 1000m dan diidentifikasi terdapat struktur geologi berupa patahan atau sesar diantara titik MTLL22 dengan MTLL23a karena adanya kontinuitas nilai resistivitas. Pada zona ini diidentifikasi terdapat jenis batuan lava andesitik dimana batuan ini telah mengalami ubahan. Sebagian ubahan berupa klorit dan lempung sehingga dapat menahan keluarnya fluida panas bumi keatas permukaan karena batuan ini bersifat impermeabel.

Pada nilai resistivitas sedang diidentifikasi terdapat zona *reservoir* yang memiliki sebaran nilai resistivitas antara 66-221 ohm.m yang terperangkap dibawah *cap rock* sampai kedalaman sekitar 1500m. Pada zona ini diperkirakan terdapat jenis batuan andesitik yang telah mengalami rekahan yang diduga sebagai tempat menyimpannya fluida panas bumi.

Pada zona *heat source* atau batuan sumber panas dengan sebaran nilai resistivitas tinggi dengan nilai sekitar 270-2000 ohm.m terdapat pada kedalaman antara 500m-3000m diperkirakan adalah jenis batuan lava dengan komposisi andesitik hingga basaltik. Sebaran nilai resistivitas batuan sumber panas ini tidak merata diakibatkan dengan adanya indikasi struktur geologi berupa patahan atau sesar yang terdapat dititik MTLL22a, kemudian terdapat diantara MTLL22a dengan MTLL22 dan diantara MTLL23a dengan MTLL24 pada titik ini diindikasikan terdapat dua jenis patahan atau sesar. Zona ini

mengalami penipisan ke arah Timur Laut pada kedalaman sekitar 1000m-3000m

10. Kesimpulan

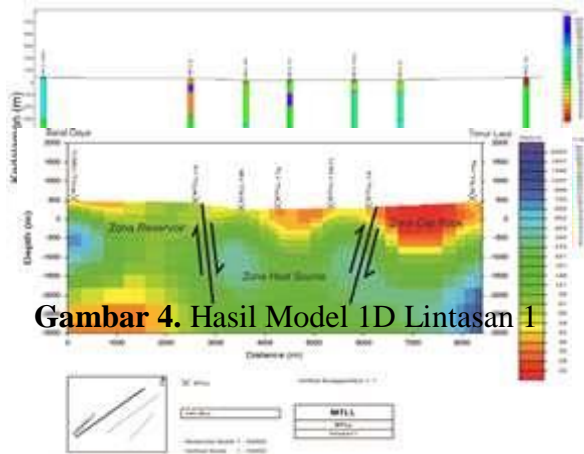
Berdasarkan hasil dari model zona panas bumi di daerah penelitian didapatkan zona *cap rock* dengan resistivitas rendah dengan nilai 20-54 ohm.m yang tersebar dibawah permukaan sampai kedalaman sekitar 1000m dengan indikasi batuan lava berkomposisi andesitik yang telah mengalami ubahan. Sebagian ubahan berupa klorit dan lempung.

Zona *reservoir* dengan resistivitas sedang dengan nilai 66-221 ohm.m tersebar dibawah *cap rock* sampai kedalaman sekitar 1750m dengan indikasi batuan andesitik yang telah mengalami rekahan.

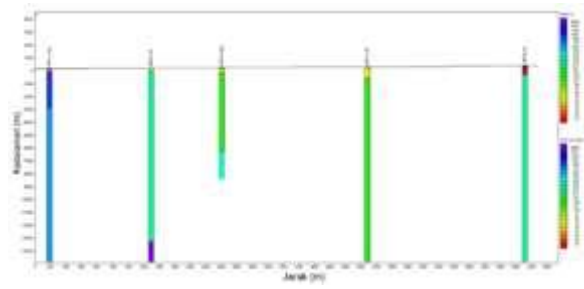
Zona *heat source* dengan resistivitas tinggi dengan nilai 270-2000 ohm.m tersebar dibawah zona *reservoir* hingga kedalaman 3000m dengan indikasi batuan lava dengan komposisi andesitik hingga basaltik.

11. Daftar Pustaka

- Fandari, Andiesta, E., dkk, 2014, *Pengembangan Energi Panas Bumi Yang Berkelanjutan*, Institut Pertanian Bogor.
- Fitrida, Masyitah, S, 2015, *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Magnetotellurik di Kawasan Panas Bumi Wapsalit Kabupaten Buru Provinsi Maluku*, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Flovenz, O.G., dkk, 2005, *The Role of Electrical Interface Conduction in Geothermal Exploration*, Proceedings: World Geothermal Congress, Antalya.
- Grandis, H, 2010, *Metode Magnetotellurik (MT)*, Bandung.
- Maswah, Fauziah, 2016. *Aplikasi Metode Magnetotellurik Untuk Zonasi Reservoir Panasbumi*, Fakultas MIPA, Universitas Hadanuddin, Makassar.
- Murbahendra, Wandita, B, 2016. *Identifikasi Panas Bumi Gedongsongo Menggunakan Metode Magnetik*, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Murdani, 2017, *Pemodelan 2 Dimensi Magnetotellurik Daerah Prospek Panasbumi Lapangan "JGT"*, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Setiawan, dkk. 2010. *Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Lili Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat*. Kelompok Penyelidikan Panas bumi. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Simpson, F. dan Bahr, K. 2005. *Practical Magnetotellurics*. University Press, Cambridge.
- Sompotan, Amstrong, F. 2012. *Struktur Geologi Sulawesi*. Perpustakaan Sains Kebumihan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Umbara, Julia, H, A,G,I, 2014, *Penerapan Metode Magnetotellurik Dalam Penyelidikan Sistem Panas Bumi*, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Unsworth, M.J., 2001, *Elektromagnetic Exploration Methods*, GPHYS 424 MJU, University of Alberta: Canada.
- Usher, Gregg, 2000, *Understanding The Resistivities Observed in Geothermal System*. Proceedings: World Geothermal Congress, Kyushu.
- Vozoff, K, 1991, *The Magnetotelluric Method*, Macquarie University, Sydney, Australia.

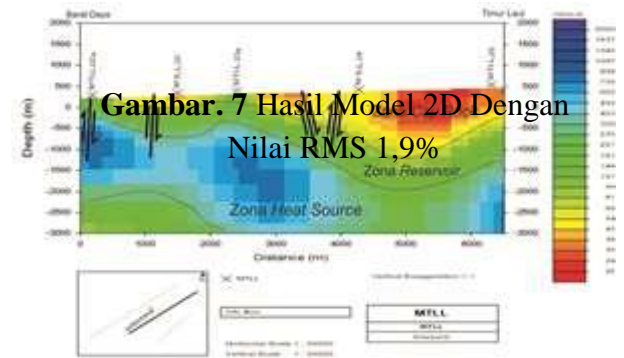


Gambar 4. Hasil Model 1D Lintasan 1



Gambar 5. Hasil Model 1D Lintasan 2

Gambar. 6 Hasil Model 2D Dengan Nilai RMS 1,6%



Gambar. 7 Hasil Model 2D Dengan Nilai RMS 1,9%