

Pemodelan 2D Lapangan Panas Bumi Seulawah Agam Berdasarkan Data Magnetotellurik (MT)

2D Modeling of Seulawah Agam Geothermal Field Based on Magnetotelluric (MT) Data

Irfan Putra, Nazli Ismail* dan Marwan

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Unsyiah
Jl. Syekh Abdul Rauf, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

Received January, 2019, Accepted May, 2019

Telah dilakukan pemodelan 2D data Magnetotellurik (MT) di Gunung Api Seulawah Agam. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model konseptual lapangan panas bumi Gunung Api Seulawah Agam berdasarkan model resistivitas 2D. Data fungsi transfer MT yang digunakan yaitu dari rentang frekuensi 2,34 - 320 Hz yang terdiri dari 7 titik stasiun pengukuran. Data titik pengukuran terdiri dari nilai intensitas medan listrik dan intensitas medan magnet yang memiliki 28 frekuensi. Total panjang lintasan pengukuran yaitu sepanjang 27,7 km. Lintasan pengukuran memotong Gunung Api Seulawah Agam dari arah Selatan ke Utara. Data hasil pengukuran yaitu berupa nilai resistivitas semu dan fase yang kemudian dimodelkan menggunakan kode REBOCC. Terdapat 3 model yang dihasilkan dari proses inversi data MT menggunakan REBOCC yaitu mode TE, mode TM dan mode TE+TM. Model mode TE+TM merupakan model yang paling bagus karena menghasilkan model yang lebih jelas dan *smooth* bila dibandingkan dengan model pada mode TE dan mode TM. Hasil model konseptual menunjukkan bahwa pada lapisan pertama yaitu lapisan *top soil* (lapisan teratas) memiliki nilai resistivitas sebesar 20 - 60 $\Omega.m$, yang terdapat pada jarak 6 - 23 km. Lapisan kedua yaitu lapisan *clay/caprock* dengan nilai resistivitas relatif rendah yaitu lebih kecil dari 10 $\Omega.m$, yang berada pada jarak 6 - 27,7 km. Lapisan *clay/caprock* memiliki sifat impermeabel dan konduktif. Selanjutnya lapisan ketiga yaitu lapisan reservoir dengan nilai resistivitas berkisar antara 10 - 100 $\Omega.m$.

2D modeling of magnetotelluric data has been conducted at Seulawah Agam volcano. This study aims to obtain a conceptual model of Seulawah Agam geothermal field based on 2D resistivity model. The magnetotelluric data were measured in range of frequency from 2.34 to 320 Hz at 7 stations along a profile crossing the Seulawah Agam volcano. The length of the profile is 27.7 km with a direction from north to south. The apparent resistivity and phase of magnetotelluric transfers function were used for the 2D inversion modelling of REBOCC code. The inversion was carried out using TE-mode, TM-mode and TE+TM-mode to obtain a better model. The model inverted of TE+TM-mode has resolved well, resistivity variation of subsurface of the Seulawah Agam volcano area. The inverted model shows the top later has resistivity values from 20-60 $\Omega.m$, which is interpreted as a top soil. The second layer is a layer of clay/caprock with a relatively low resistivity values of less than 10 $\Omega.m$. The third layer is predicted as reservoir with resistivity values ranging between 10-100 $\Omega.m$.

Keywords: magnetotelluric method, resistivity, 2D model, REBOCC code and Volcano Seulawah Agam.

Pendahuluan

Aceh merupakan salah satu daerah yang memiliki sumber panas bumi yang sangat banyak. Setidaknya terdapat 15 lokasi panas bumi yang tersebar diberbagai lokasi di seluruh Aceh. Sumber panas bumi di Aceh terdapat di Geureudong, Jaboi, Seulawah Agam, potensi Alue Long-Bangga,

potensi Alur Canang, potensi Brawang Buaya, potensi Dolok Perkirapan, potensi Gunung Kembar, potensi Kafi, potensi Kaloi, potensi Lokop, potensi Meranti, potensi Silih Nara, potensi Simpang Balik, dan potensi Tangse (Direktorat Panas Bumi, 2017). Undang-undang No. 21 pasal 1 tahun 2014 tentang

panas bumi menyatakan bahwa, untuk memanfaatkan potensi panas bumi di suatu lokasi maka terlebih dahulu harus melalui tahapan survei. Tahapan survei ini terdiri dari eksplorasi pendahuluan (*reconnaissance survey*), eksplorasi lanjut atau rinci (*pre-feasibility study*), pengeboran eksplorasi, studi kelayakan (*feasibility study*), perencanaan, pengembangan dan pembangunan, produksi serta perluasan. Adapun menurut Undang-undang No. 21 pasal 1 poin ke-6, survei pendahuluan adalah kegiatan yang meliputi pengumpulan, analisis, dan penyajian data yang berhubungan dengan informasi kondisi geologi, geofisika, dan geokimia, serta survei landaian suhu apabila diperlukan, untuk memperkirakan letak serta ada atau tidak adanya sumber daya panas bumi.

Survei geologi yang dilakukan yaitu penyebaran batuan secara mendatar maupun vertikal, struktur geologi, tektonik dan sejarah geologi yang berkaitan dengan proses terbentuknya suatu sistem panas bumi serta prospek dari sumber panas buminya. Kemudian pada survei geokimia yang diperhatikan yaitu temperatur manifestasi dan udara disekitarnya serta pH airnya. Lalu survei terakhir yaitu survei geofisika yang dilihat yakni sifat fisik batuan mulai dari permukaan hingga kedalaman beberapa kilometer di bawah permukaan. Dengan mengetahui sifat fisik batuan maka dapat diketahui daerah tempat terjadinya anomali yang disebabkan oleh sistem panas buminya dan lebih lanjut geometri prospek serta lokasi dan bentuk batuan sumber panas dapat diperkirakan.

Dalam geofisika terdapat beberapa jenis metode yang dapat digunakan untuk melakukan survei panas bumi. Pada tahap survei awal, biasanya menggunakan metode gravity dan magnetik kemudian pada survei lanjutan menggunakan metode magnetotellurik (MT). Metode magnetotellurik merupakan metode yang memanfaatkan sumber gelombang elektromagnetik alamiah yang berfrekuensi rendah. Semakin rendah frekuensi yang digunakan maka penetrasi gelombangnya akan semakin dalam. Sehingga metode ini sangat cocok digunakan untuk melakukan survei panas bumi dikarenakan dapat menggambarkan kondisi serta struktur reservoir panas bumi yang berada pada kedalaman beberapa kilometer di bawah permukaan.

Penelitian ini menggunakan *code* inversi *Reduced Basis Occam* (REBOCC) untuk melihat nilai resistivitas bawah permukaan untuk

menentukan model struktur bawah permukaan. *Code* REBOCC dapat melakukan inversi data resistivitas semu dan fase pada mode *transverse electric* (TE), *transverse magnetic* (TM) dan TE+TM serta vektor tipper. *Code* REBOCC memiliki keunggulan dapat melakukan inversi data secara cepat, stabil, ringan, mudah digunakan, *open source* dan resolusi yang bagus (Siripunvaraporn, 2000).

Metodologi

Penelitian dilakukan dengan mengolah data magnetotellurik (MT) hasil pengukuran di Gunung Api Seulawah Agam. Penelitian ini menggunakan data sebanyak 7 titik. Titik-titik pengukuran berbentuk lintasan yang relatif lurus dari arah selatan menuju utara, yang melalui Gunung Api Seulawah Agam pada bagian timur. Jarak antara setiap titik ke titik lainnya memiliki panjang yang berbeda-beda. Adapun total panjang lintasan adalah 27,7 km. Data magnetotellurik yang telah diakuisisi di lapangan merupakan data variasi intensitas medan listrik dan medan magnet dalam domain waktu. Data selanjutnya diproses untuk mendapat kurva resistivitas MT. Ada beberapa tahap pemrosesan yang meliputi *fast fourier transform*, *robust processing* dan uji kualitas data ID. *Fast fourier transform* merupakan metode untuk merubah data MT dari bentuk *time series* menjadi *frequency domain*. Setelah data dalam bentuk domain frekuensi maka selanjutnya dilakukan *robust processing*, yang merupakan pemrosesan statistik terhadap data MT dengan sistem pembobotan ulang untuk menghilangkan pengaruh dari data yang buruk. Keluaran dari *robust processing* adalah data resistivitas dan fase yang masing-masing dibagi menjadi resistivitas dan fase parsial. Adapun format datanya pada frekuensi rendah yaitu (.MTL) dan pada frekuensi tinggi (.MTH).

Selanjutnya dilakukan proses uji kualitas data ID. Uji kualitas data ID dilakukana dengan memilih dan mengkombinasikan data resistivitas dan fase parsial sehingga didapatkan kurva resistivitas semu dan fase yang baik. Data ini akan menjadi data masukan dalam proses menganalisa. Analisa data dilakukan dengan cara mengontrol kelayakan data yang akan digunakan dalam inversi model 2D. Dalam tahap ini dipilih data-data yang memiliki kualitas baik untuk dilakukan pemodelan. Sedangkan data yang buruk akibat pengaruh *noise* akan dihilangkan. Analisa data magnetotellurik dilakukan dengan cara memplotkan nilai resistivitas

semu dan fase dalam mode *Transverse Electric* (TE) dan *Transverse Magnetic* (TM) terhadap frekuensi.

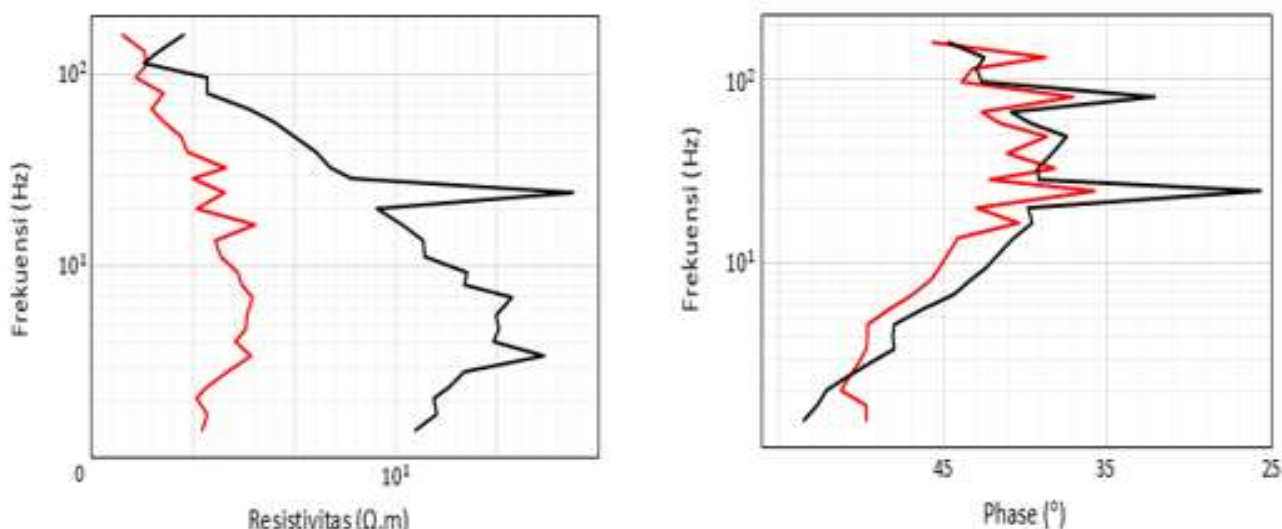
Dari kurva hasil uji kualitas data ID di atas dapat dilihat apakah data yang digunakan memenuhi syarat untuk dilakukan proses inversi secara 2D. Jika pada rentang frekuensi tertentu kurva resistivitas semu mode TE dan TM saling rapat dan bersesuaian serta kurva fase TE dan TM yang relatif sama dan rapat maka dapat disimpulkan pada frekuensi tersebut terdapat struktur 1D/2D. Namun bila pada rentang frekuensi tertentu kurva resistivitas semu mode TE dan TM cenderung renggang dan serta kurva fase TE dan TM yang berbeda maka dapat disimpulkan pada rentang frekuensi tersebut terdapat struktur 3D. Keterdapatn struktur 2D menyatakan data tersebut memenuhi syarat untuk digunakan dalam proses inversi secara 2D.

Hasil dan Pembahasan

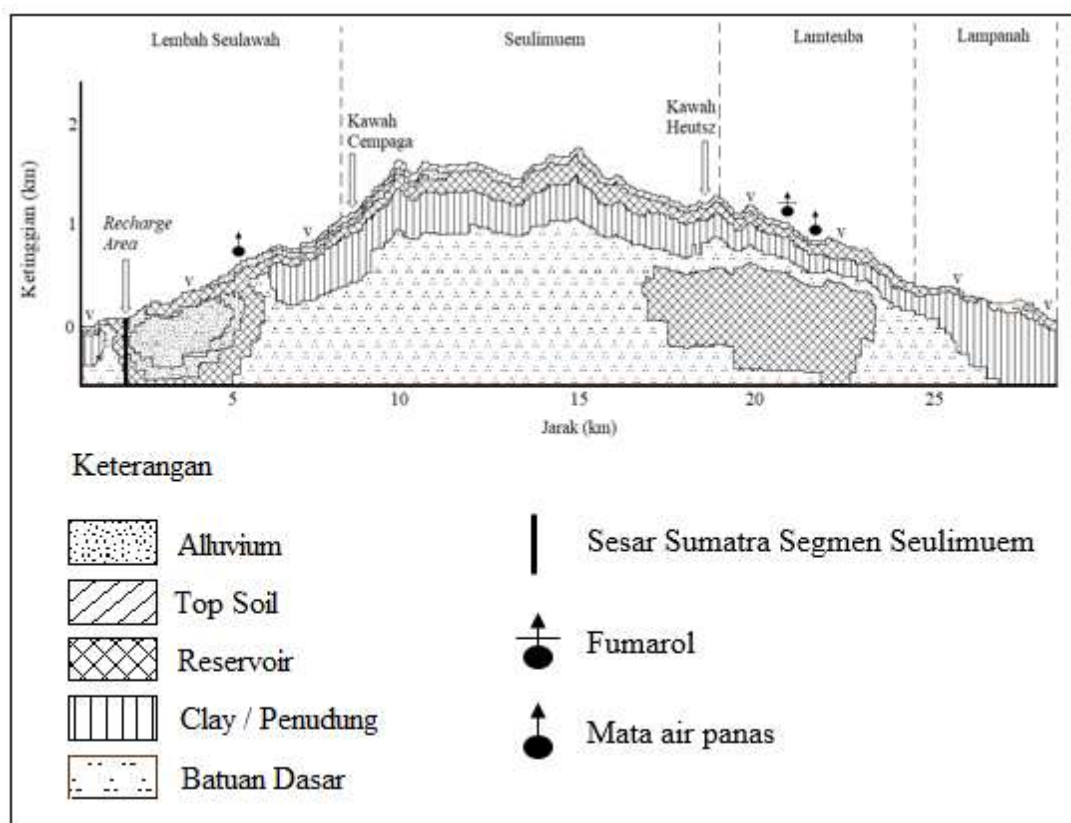
Untuk mengetahui kualitas data hasil pengukuran magnetotellurik, dapat dilihat dari bentuk kurva nilai resistivitas semu dan fase. Adapun cara mendapatkan kurva nilai resistivitas semu dan fase, yaitu dengan memplot nilai resistivitas semu terhadap frekuensi pada mode TE (*Transverse Electric*) dan TM (*Transverse Magnetic*), serta memplot nilai fase terhadap frekuensi pada mode TE dan TM. Kurva nilai resistivitas semu terhadap frekuensi diplot dengan cara terbalik, yakni dari frekuensi yang tinggi ke frekuensi yang rendah yang bertujuan untuk menunjukkan kedalaman semu. Kemudian kurva nilai fase terhadap frekuensi juga diplot dengan cara terbalik yaitu dari fase 90° ke 0° , untuk

menyamakan dengan nilai resistivitas semu, sehingga hasil plot kurva resistivitas semu dan fase mudah dipahami.

Gambar 1 merupakan kurva nilai resistivitas semu (gambar kiri) dan fase (gambar kanan) pada mode TE (merah) dan TM (hitam) terhadap frekuensi dari data titik X1. Untuk variasi nilai TE (merah) terhadap frekuensi, dapat dilihat bahwa pada frekuensi rendah, nilai resistivitas semu semakin meningkat. Namun pada frekuensi menengah (antara frekuensi 10^1 - 10^2 Hz) terdapat beberapa fluktuasi nilai TE. Kemudian pada variasi nilai TM (hitam) terhadap frekuensi, dapat dilihat bahwa pada frekuensi rendah, nilai resistivitas semu semakin meningkat. Tapi pada frekuensi menengah (antara frekuensi 10^1 - 10^2 Hz) dan pada frekuensi yang semakin rendah (antara frekuensi 0 - 10^1 Hz) terdapat beberapa fluktuasi nilai TM. Dari hasil kurva resistivitas semu terhadap frekuensi, dapat dilihat hubungan TE dan TM, dimana kurva TE dan TM relatif sama dan berimpit pada frekuensi 10^2 Hz, akan tetapi di bawah frekuensi 10^2 Hz, kurva TE dan TM tidak saling berimpit. Gambar 2 merupakan model konseptual panas bumi Gunung Api Seulawah Agam berdasarkan model 2D resistivitas, yang menggambarkan distribusi nilai resistivitas di bawah permukaan pada titik-titik pengukuran di daerah Gunung Api Seulawah Agam. Pada jarak 1 km terdapat Sesar Sumatra Segmen Seulimeum yang dapat diinterpretasikan sebagai tempat *recharge area* pada sistem panas bumi. *Recharge area* yaitu tempat masuknya *metheoric water* kebatuan reservoir.



Gambar 1 Data X1 resistivitas semu dan fase mode TE (merah) dan TM (hitam) terhadap frekuensi.



Gambar 2. Model konseptual panas bumi Gunung Api Seulawah Agam berdasarkan model 2D resistivitas.

Pada lapisan paling atas, diidentifikasi sebagai lapisan *top soil* (lapisan teratas) yang memiliki nilai resistivitas 20 - 60 $\Omega.m$ yang terdapat pada jarak 6 - 23 km. Kemudian lapisan kedua yaitu lapisan *clay*, yang memiliki nilai resistivitas relatif rendah yakni < 10 $\Omega.m$, yang berada pada jarak 6 - 27,7 km. Lapisan ini memiliki sifat impermeabel dan konduktif. Lapisan *clay* dapat diinterpretasikan sebagai lapisan *caprock* (penudung). Selanjutnya lapisan ketiga yaitu lapisan yang memiliki nilai resistivitas yang tinggi yang berkisar antara 10 - 100 $\Omega.m$, yang dapat diartikan sebagai lapisan reservoir yang terdapat pada jarak 2 - 5 km dan pada 18 - 25 km.

Kesimpulan

Berdasarkan model resistivitas 2D, lapisan pertama yaitu lapisan *top soil* (lapisan teratas) dengan nilai resistivitas 20 - 60 $\Omega.m$. Lapisan kedua yaitu lapisan *clay/caprock* yang memiliki nilai resistivitas <10 $\Omega.m$. Lapisan ketiga yaitu lapisan reservoir dengan nilai resistivitas berkisar antara 10 - 100 $\Omega.m$ serta tidak didapatkannya posisi dari *heat source* (sumber panas) dikarenakan tidak adanya data pengukuran di tengah Gunung Api Seulawah Agam.

Referensi

- Archie, G.E. 1942. *The Electrical Resistivity log as an aid in Determining Some Reservoir Characteristics*. Trans. Am. Inst. Mining Met.Eng.,146, 54-62.
- Badan Geologi. 2014. *Laporan Tahunan Badan Geologi Tahun 2014*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Cantwell, T. (1960). *Detection and Analysis of Low Frequency Magnetotelluric signals*: Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- Dickson, M. H., dan Fanelli, M. 1995. *Geothermal Energy*. John Wilson & Sons. New York.
- Direktorat Panas Bumi. 2017. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Grandis, Hendra. 2011. *Geo Geoelectrical Methods electrical Methods for Geothermal Exploration*. Faculty of Mining and Petroleum Engineering ITB.
- Keller, G. V. (1987). *Rock and mineral properties*. In: *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics, Vol. 1 - Theory*. (ed. M. N.

- Nabighian) SEG. Investigations in geophysics, 3, 13 – 51.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2017. *Potensi Panas Bumi di Indonesia*. Direktorat Panas Bumi. Jakarta.
- Kearey, P., M. Brooks, dan I. Hill, 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*, Edisi ke-3, Blackwell Science Ltd, Malden, USA, Australia, Carlton, France, 208 – 209.
- Palacky, C. J. (1987), *Resistivity Characteristics of Geological Targets*. In: *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics, Vol. 1 – Theory*, (ed. M. N. Nabighian) SEG. Investigations in geophysics 3, 53 – 129.
- Pedersen L.B. and M. Engels (2005). *Routine 2D Inversion of Magnetotelluric Data Using the Determinant of the Impedance Tensor*, *Geophysics*, 70, G33-G41.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons Ltd. Baffins, Chichester, West Sussex PO19 1UD. England, 564 – 566.
- Saptajdi Nenny Miryani. 2010. *Teknik Panas Bumi*. Departemen Teknik Perminyakan, ITB. Bandung.
- Seong Kon Lee, Hee Joon Kim, Yoonho Song and Choon-Ki Lee. (2008). *MT2DinvMatlab A program in MATLAB and FORTRAN for two-dimensional magnetotelluric inversion*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Gwahang-no 92, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Republic of Korea.
- Siripunvaraporn, W. and G. Egbert (2000) *An efficient data-subspace inversion method for 2D magnetotelluric data*, *Geophysics*, 65, 791-803.
- Spies, B.R. (1989) *Depth Of Investigation In Electromagnetic Sounding Methods*. *Geophysics*, 54, 872–888.
- Schmucker, U. (1970), *Anomalies Of Geomagnetic Variations In The Southwestern United States*, *Bull. Scripps Inst. Ocean, Univ. Calif.* 13.
- Unsworth, Martyn. 2008. *Magnetotellurics-field Technique*. *Geophysics* 424.
- Vozoff, K., 1991, *The magnetotelluric method, in Electromagnetic methods in applied geophysics, Vol. 2 Application*, M.N. Nabighian (ed.), SEG Publishing.
- Ward, S. H. and G. W. Hohmann. 1991. *Electromagnetic theory for geophysical applications. In: Electromagnetic methods in applied geophysics, Vol. 1 – Theory*. (ed. M. N. Nabighian) SEG, Investigations in geophysics.