

Study of Static Shift Correction for Magnetotelluric (MT) Data using Averaging and CoKriging Methods upon 3-Dimensional Forward Model of Geothermal Field

Diajeng Liati¹, Agus Sulisty², Wambra Aswo Nuqramadha², Yunus Daud^{1,3}

¹Exploration Geophysics Laboratory, Departement of Physics, The University of Indonesia

²PT . NewQuest Geotechnology, Indonesia

³Master Program in Geothermal Exploration, Graduate Program of Physical Science, The University of Indonesia

email: diajengliati@gmail.com

Keywords: Magnetotelluric, forward modeling, static shift correction, averaging method, CoKriging method, 3-D inversion.

ABSTRACT

Magnetotelluric (MT) data obtained from acquisition process in geothermal fields is often affected by static shift effect. Static shift effect occurs usually because of three main factors, that are near surface inhomogeneity, topography and vertical contact with significant resistivity difference. Static shift will give big influence for inversion result due to the changes of apparent resistivity value. The obtained apparent resistivity will statically shift to a higher or lower value, depends on the static shift factors and the field resistivity condition. Static shift correction is usually conducted by using TDEM data that is costly and time consuming. Therefore, some more economics and faster methods were developed to do static shift correction, in which two of them are Averaging and Co-Kriging methods. 3-D syntetic modeling were conducted to estimating the effects of each static shift factor in 3-D model. In this study, static shift correction was committed by using Averaging and Co-Kriging methods to examine which method that gives better result for 3-D model. Finally, 3-D inversion process was applied to observe the result of static shift correction in 3-D inversion model.

PENDAHULUAN

Magnetotellurik (MT) merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sumber alami (*natural source*) yang dapat memetakan sistem geotermal berdasarkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan. Data yang diperoleh dari akuisisi-data di lapangan kemudian diolah dengan preprosesing, koreksi static shift, dan modeling (inversi) baik dalam 1D, 2D maupun 3D. Pada kasus inversi daerah geotermal Mt. Glass, California (Cumming and Mackie, 2010) di jelaskan keunggulan dan kekurangan masing-masing inversi 1D, 2D dan 3D. Pemodelan 1D dapat dilakukan untuk menggambarkan penyebaran resistivitas bawah permukaan namun dengan batas tepi yang kurang baik. Pemodelan 2D dapat mengasilkan model yang memiliki batas tepi yang lebih baik dari pada pemodelan 1D, namun inversi 2D sangat terpengaruh oleh variasi struktur dan lapisan bawah permukaan yang kompleks

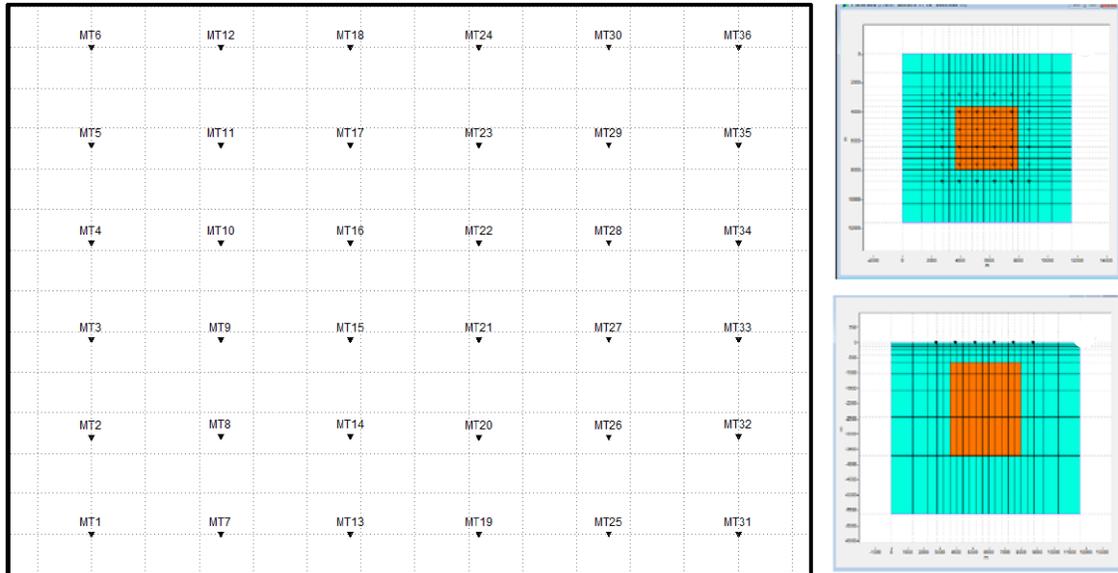
yang dapat menyebabkan hasil inversi 2D tidak menggambarkan sistem bawah permukaan geotermal sebenarnya. Inversi 3D mampu menggambarkan sistem bawah permukaan lebih baik dari inversi 1D dan 2D karena mampu mengatasi *dimensional distortion*, variasi struktur dan lapisan bawah permukaan yang kompleks.

Static shift ini sangat penting dalam pemodelan data MT karena nilai resistivitas yang terukur dilapangan yang terkena static shift akan bergeser menjadi lebih kecil atau lebih besar sehingga hasil dari pemodelan saat inversi akan sangat berpengaruh. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi *static shift* dengan menggunakan metode perataan dan *geostatic co-kriging*, terutama untuk data real MT yang tidak dilakukan pengukuran TDEM dilapangan.

Sebelumnya telah dilakukan pemodelan *forward* 2D (Sulisty, 2011) untuk melihat efek statik yang terjadi pada kurva MT namun hanya dapat melihat secara 2 dimensi dan menghasilkan inversi 2D. Untuk melihat pengaruh shifting pada data MT akibat ketiga faktor tersebut pada sistem 3 dimensi perlu dilakukan pemodelan *forward* 3D, yang mana secara umum pemodelan dengan inversi 2D dan 3D mampu menggambarkan resistivitas bawah permukaan dari model sintetik 3D dengan cukup baik (Iskandar, 2013). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini diharapkan hasilnya dapat merekomendasikan pilihan terbaik pada koreksi data MT yang mengalami statik pada model 3D serta dapat memberikan perkiraan model resistivitas bawah permukaan sehingga dapat membantu dalam interpretasi menjadi lebih akurat.

MODEL SINTETIK

Model sintetik 3D yang dibuat merupakan model dengan efek *near surface inhomogeneity* yang akan menghasilkan data berupa kurva MT yang mengalami pergeseran statik yang kemudian dilakukan kalkulasi *forward*. Hasil kalkulasi *forward* model sintetik kemudian nantinya akan dikoreksi statik terlebih dahulu menggunakan software StaticShifter-X untuk kemudian di inversi secara 3D menggunakan software MT3DInv-X. Pada penelitian ini luas area interest yang di buat adalah 3600 m2 dengan jarak antar kolom sel 400m. Jumlah stasiun yang digunakan adalah 36 stasiun dengan jarak antar stasiun 1200m (Gambar 1).



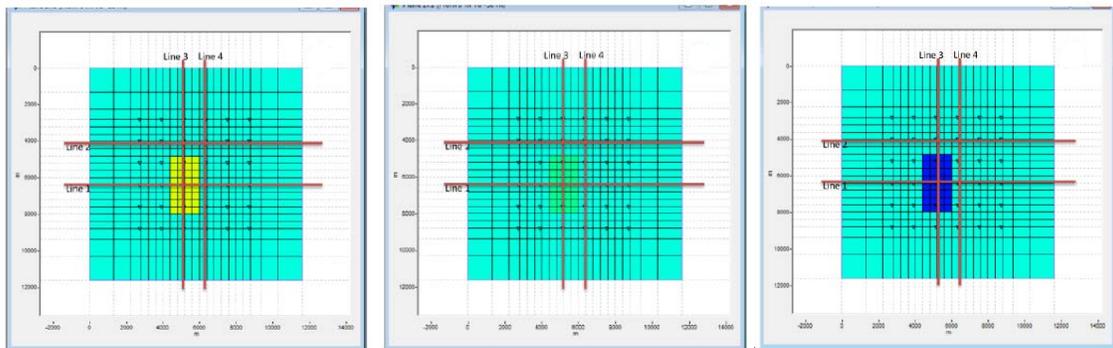
Gambar 1. Grid stasiun pengukuran (kiri) dan benda anomali bawah permukaan 2 ohm.m (kanan) pada sumbu xy (atas) dan sumbu zx (bawah)

Model sintetik yang pertama adalah model sintetik yang akan membahas pengaruh heterogenitas permukaan terhadap kurva *apparent resistivity* vs frekuensi pada data MT. Akan dibahas pengaruh heterogenitas resistif dan konduktif terhadap suatu benda anomali konduktif dibawah permukaan. Benda anomali konduktif yang dipakai berada pada kedalaman 600-3700m dari permukaan dengan nilai resistivitas sebesar 2 ohm.m (Gambar 1).

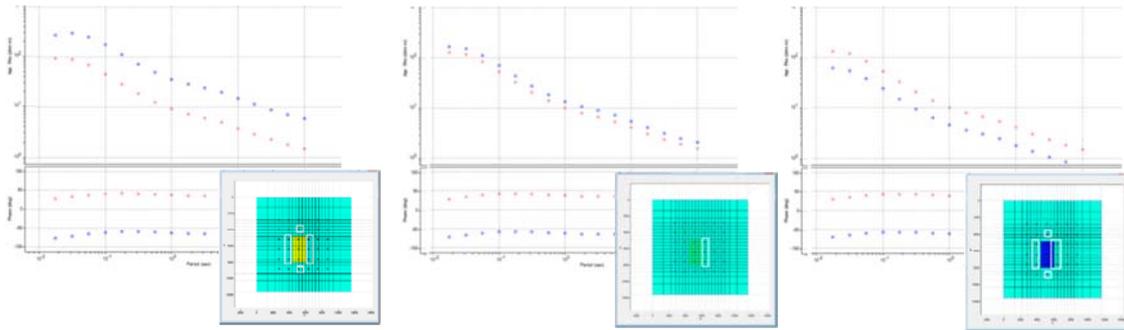
Model Heterogenitas permukaan yang dibuat merupakan variasi dari resistivitas permukaan terhadap resistivitas umum permukaan (diasumsikan resistivitas permukaan adalah 100 ohm.m). model 1 merupakan model heterogenitas permukaan dengan resistivitas rendah yaitu 5 ohm.m. model 2 merupakan model heterogenitas permukaan dengan resistivitas sedang yaitu 50ohm.m. model 3 merupakan model heterogenitas permukaan dengan resistivitas tinggi yaitu 500 ohm.m (Gambar 2).

EFEK STATIK DAN KOREKSINYA

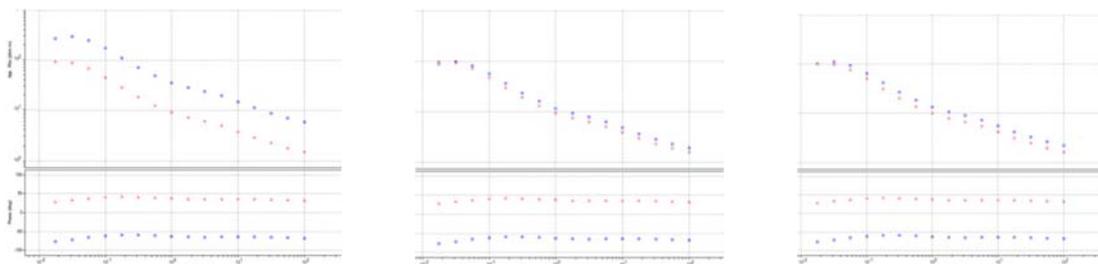
Pada model Near surface inhomogeneity masing-masing model menghasilkan 8 kurva *apparent resistivity* vs frekuensi yang mengalami pergeseran statik yaitu titik stasiun yang ditunjukkan oleh kotak putih. Secara keseluruhan kurva yang mengalami pergeseran statik merupakan kurva dari stasiun yang terletak dekat dengan benda heterogen, yaitu di sebelah timur (MT20, MT21, MT22), barat (MT8, MT9, MT10), selatan (MT13) dan utara heterogenitas (MT17). Namun ada perbedaan yang di tunjukan oleh ketiga model yaitu pada besarnya pergeseran statik yang terjadi yaitu pada lebarnya shifting yang terjadi. Model 1 dan model 3 mengalami pergeseran statik cukup lebar dibandingkan dengan model 2 (Gambar 3). Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar anomali yang terdapat pada heterogenitas akan menyebabkan semakin besar shifting yang terjadi.



Gambar 2. Model heterogenitas permukaan model 1 (kiri: 5 ohm.m), model 2 (tengah: 50ohm.m), dan model 3 (kanan: 500 ohm.m)



Gambar 3. Pengaruh nilai resistivitas permukaan terhadap kurva MT21 pada model 1 (kiri), model 2 (tengah), model 3 (kanan)



Gambar 4. Hasil koreksi Kurva MT21 pada model 1. Kurva MT21 tanpa koreksi (kiri), terkoreksi dengan metode Geostatik *CoKriging* (tengah), terkoreksi dengan metode Perata-rataan (kanan)

HASIL KOREKSI STATIK

Koreksi statik yang dilakukan pada kurva MT yang mengalami pergeseran statik pada data sintetik adalah dengan menggunakan metode Geostatik *CoKriging* dan Metode Perata-rataan (*Averaging*). Algoritma Geostatik *CoKriging* atau dikenal dengan Complex Kriging untuk koreksi pergeseran statik di perkenalkan oleh Tournerie et al. (2007). Metode ini menggunakan analisis geostatistik dari data apparent resistivity dan phase untuk periode tertentu. Sedangkan metode Perata-rataan (*Averaging*) secara spasial diperkenalkan oleh Berdichevsky et al. (1980) pada daerah baikal (Tournerie et al., 2007). Dengan asumsi resistivitas permukaan lapisan adalah homogen, hasil koreksi statik yang dilakukan secara umum menunjukkan hasil yang sama, baik menggunakan metode Geostatik *CoKriging* maupun Metode Perata-rataan (*Averaging*) (Gambar 4). Namun pada beberapa kurva MT, koreksi statik menggunakan metode Geostatik *CoKriging* tidak menunjukkan resistivitas yang sama pada kurva TE dan TM atau masih terdapat sedikit shifting pada kurvanya.

Perbedaan hasil koreksi yang terjadi antara kedua metode diakibatkan oleh prinsip kedua metode yang sedikit berbeda. Keduanya sama-sama memakai prinsip perata-rataan statistik dalam proses koreksinya, namun metode *CoKriging* mengikutsertakan seluruh data yang ada baik yang mengalami pergeseran statik maupun yang tidak, sedangkan metode *Averaging* menggunakan data yang tidak mengalami pergeseran statik saja dalam proses perata-rataan nya. Sehingga menghasilkan kurva yang

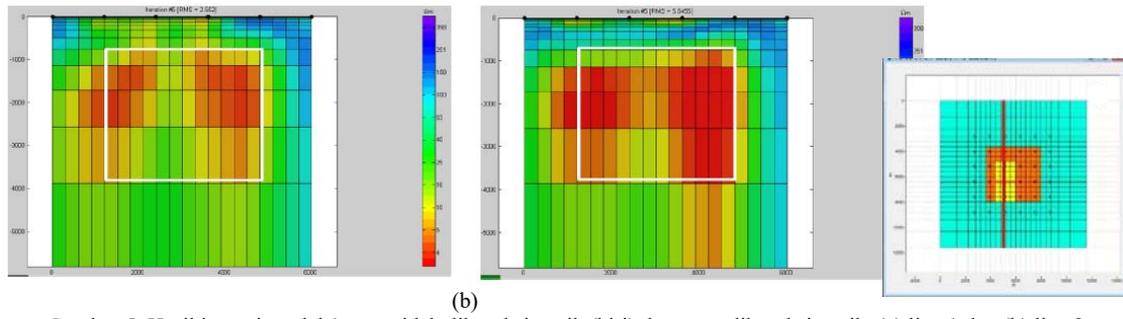
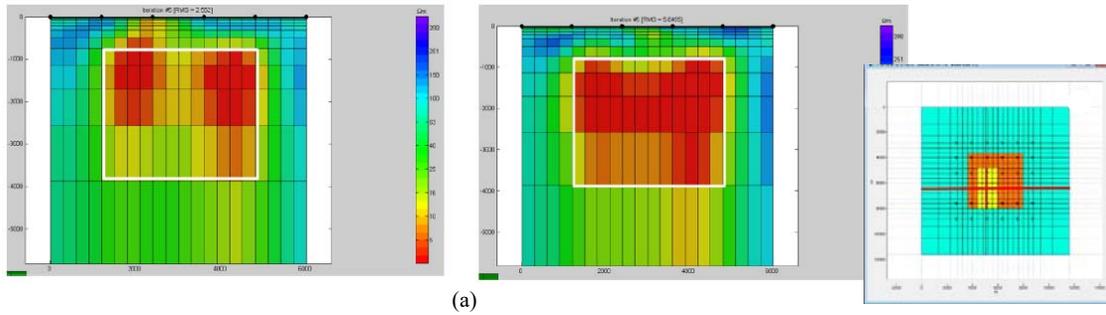
lebih sesuai dengan model sintetik yang digunakan. Selain itu jika koreksi static yang dilakukan menggunakan metode averaging, maka titik sounding MT untuk pengoreksi dapat dipilih berdasarkan data geologi permukaan.

HASIL INVERSI

Proses inversi 3D yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan algoritma inversi Data Space Occam yang kenalkan oleh Siripunvaraporn (2005). Hasil inversi pada masing-masing model ditunjukkan dengan 2 line pada model 1 (Gambar 5), model 2 (Gambar 6) dan model 3 (Gambar 7) yang membandingkan hasil inversi antara kurva MT yang tidak dilakukan statik dengan kurva MT yang dilakukan statik. Hasil inversi yang digunakan merupakan hasiliterasi terbaik yang dibandingkan dengan model sintetik yang telah dibuat. Perhatian utama hasil inversi pada model near surface inhomogeneity adalah benda anomali yang ada dibawah permukaan.

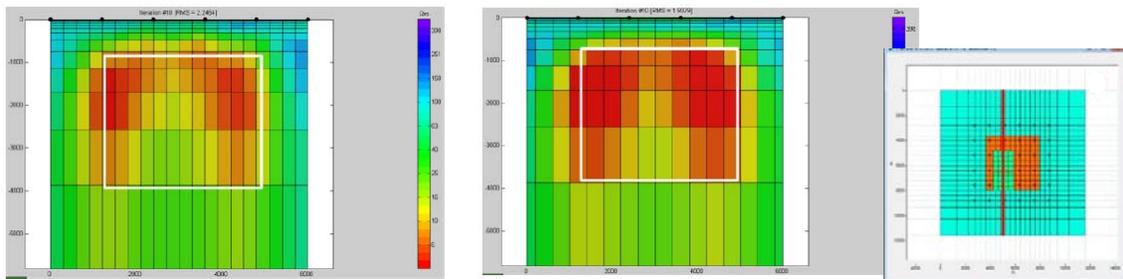
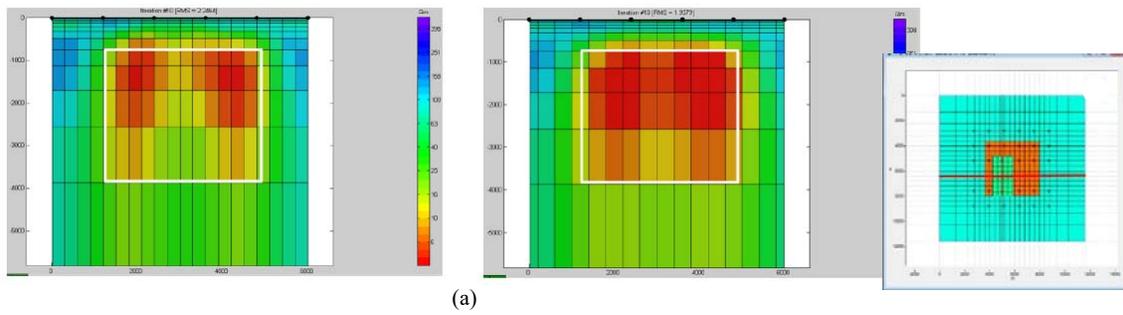
Hasil inversi 3D pada model 1 (Gambar 5) terlihat bahwa hasil inversi dengan menggunakan data MT yang tidak dilakukan koreksi statik mengalami distorsi dibandingkan dengan hasil inversi dengan menggunakan data MT yang dilakukan koreksi statik. Hasil inversi 3D pada model 2 (Gambar 6) dan model 3 (Gambar 7) juga mengalami hal yang sama dengan hasil inversi model 1. Akibat perubahan nilai resistivitas yang disebabkan oleh pergeseran statik, secara umum hasil inversi menunjukkan pengaruh yang cukup besar pada hasil inversi.

Model 1



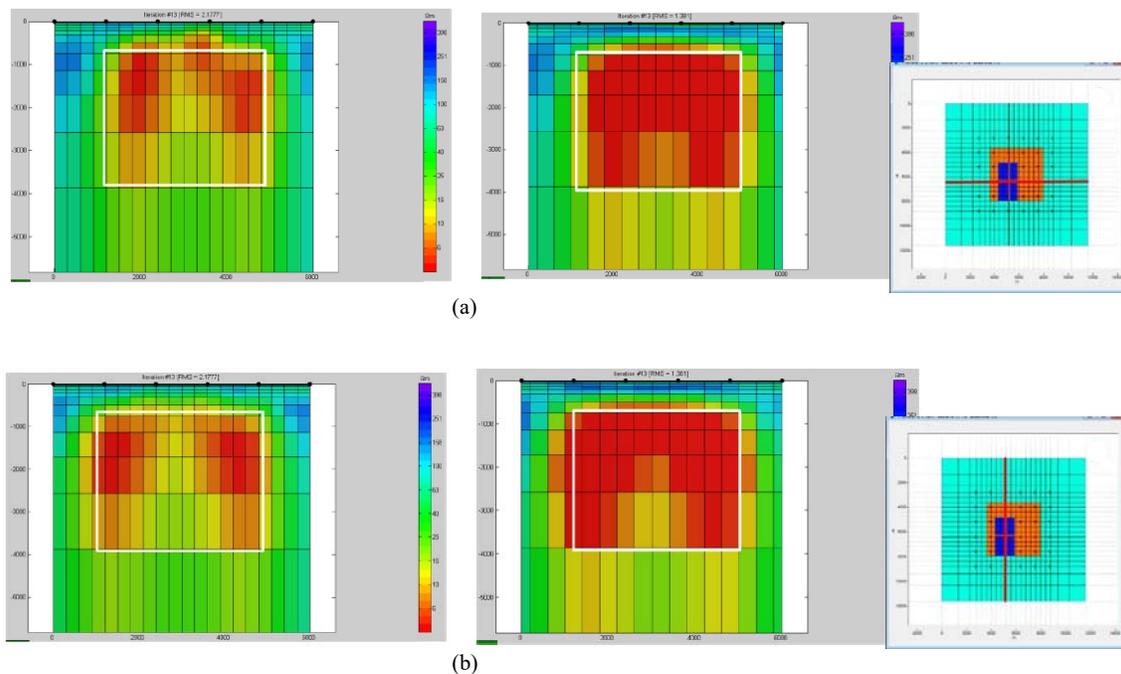
Gambar 5. Hasil inversi model 1 yang tidak dikoreksi statistik (kiri) dan yang dikoreksi statistik. (a) line 1 dan (b) line 2

Model 2



Gambar 6. Hasil inversi model 2 yang tidak dikoreksi statistik (kiri) dan yang dikoreksi statistik. (a) line 1 dan (b) line 2

Model 3



Gambar 7. Hasil inversi model 3 yang tidak dikoreksi statik (kiri) dan yang dikoreksi statik. (a) line 1 dan (b) line 2

KESIMPULAN

Pemodelan sintetik 3 Dimensi dengan memasukan faktor heterogenitas permukaan dapat menghasilkan *kurva apparent resistivity vs frekuensi* yang mengalami pergeseran statik. Pergeseran statik yang terjadi pada kurva MT bergantung pada selisih dari nilai resistivitas, perbedaan ketinggian dan jarak terhadap stasiun pengukuran. Semakin besar selisih nilai resistivitas maka semakin besar pergeseran statik yang terjadi. Semakin besar perbedaan ketinggian maka semakin besar pula pergeseran statik yang terjadi. Semakin jauh letak stasiun pengukuran terhadap penyebab pergeseran statik maka semakin kecil pergeseran statik yang terjadi. Hasil koreksi metode Averaging dan CoKriging menunjukan hasil yang cukup sama pada model 3 Dimensi dengan faktor pergeseran statik Heterogenitas permukaan. Secara umum koreksi pergeseran statik berpengaruh cukup besar pada model hasil inversi 3 Dimensi yang dilakukan pada penelitian ini,

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada PT NewQuest Geotechnology atas dukungan penggunaan piranti lunak MT3DInv-X dan StaticShifter-X yang sangat membantu dalam penelitian ini.

REFERENSI

Cumming, W., and Mackie, R. 2010. *Resistivity Imaging of Geothermal Resources Using 1D, 2D and 3D MT Inversion and TDEM static Shift Correction Illustrated by a Glass Mountain Case History*. Proceedings World

Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.

Hendro A. L. dan Grandis, H. 1996. Koreksi Efek Statik Pada Data Magnetotelurik Menggunakan Data Elektromagnetik Transien. Jakarta: Proceedings Himpunan Ahli Geofisika.

Iskandar, Chevy. 2013. *Pemodelan dan Inversi 3-Dimensi Data Magnetotelurik Untuk Mendelineasi Sistem Geothermal*. Depok: Universitas Indonesia.

Jiracek, George R.1990. *Near Surface an Topographic Distortions in Electromagnetic Induction..*Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Lestari, Anugrah Indah. 2014. Pemodelan Forward dan Inversi Multidimensi Data Magnetotelurik untuk Memetakan Sistem Panas Bumi. Depok: Universitas Indonesia.

Miensopust, Marion P. 2010. *Thesis: Interpretation of The 2D ZIM Profile and 3D Forward Modeling and Inversion*. Dublin, Ireland.

Sasaki, Yutaka. 2004. Three-dimensional inversion of static-shifted magnetotelluric data. *Earth Planets Space*, 56, 239-248, 2004.

Sulistyo, Agus. 2011. *Koreksi Pergeseran Statik Data Magnetotelurik (MT) Menggunakan Metode Geostatik, Perata-rataan, dan Time Domain Elektromagnetik*. 2011. Depok: Universitas Indonesia.

Tournerie, B., Chouteau, M., and Marcotte, D. 2007.
*Magnetotelluric Static Shift: Estimation and Removal
Using the Cokriging Method.* Geophysics vol. 72 no. 1.