

Comparison Between Geostatistical (Cokriging and Averaging) Methods And Time Domain Electromagnetic (TDEM) Method for Static Shift Correction of Magnetotelluric (MT) Data

Agus Sulisty^{1,3}, Yunus Daud^{2,3}, and Nugraheni Utami Ningsih^{3,4}

¹PT. NewQuest Geotechnology, Indonesia

²Master Program in Geothermal Exploration, Graduate Program of Physical Science, The University of Indonesia

³Geothermal Laboratory, Department of Physics, The University of Indonesia

⁴PT. Elnusa, Indonesia

agus.sulisty^o@newquest-geotechnology.com

Keywords: *Static Shift*, MT, TDEM, *Cokriging*, *Averaging*.

ABSTRACT

Magnetotelluric (MT) method is an effective method in delineating subsurface condition which has been widely used in geothermal exploration. MT data are often disturbed by static shift effect produced by near surface inhomogeneity, topography effect and vertical resistivity contact. The occurrence of *static shift* effect can lead to misinterpretation in resistivity and depth value. *Static shift* correction can be conducted by using Time Domain Electromagnetic (TDEM) data. However, this method requires costly equipment and takes quite long time. To overcome this problem, the research in handling *static shift* is continuously conducted by using numerical method such as Complex Kriging (*Cokriging*) and *Averaging* methods. The result of these methods are then compared with TDEM method. The comparison shows that *Cokriging* and *Averaging* method can provide quite similar result with that conducted by TDEM method.

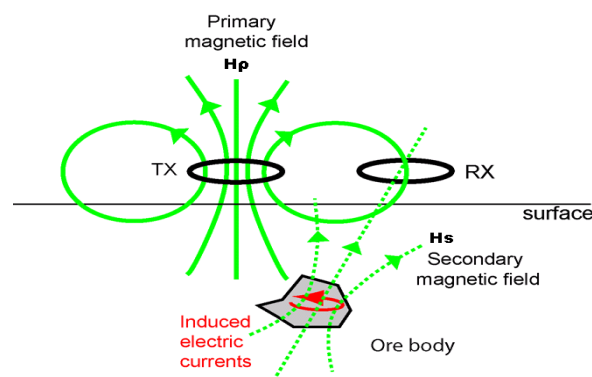
PENDAHULUAN

Static shift adalah perpindahan vertikal (*vertical-shift*) resistivitas semu kurva MT, tanpa ada perbedaan lain baik dalam bentuk resistivitas atau fase (TE dan TM). *Static shift* adalah fenomena dari pengukuran MT yang sangat penting untuk dipelajari. Oleh sebab itu, penyebab *static shift* sangat penting untuk diamati. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya *static shift* adalah heterogenitas dekat permukaan, kontak vertikal (struktur) dan adanya efek topografi. Data MT yang mengalami *static shift* perlu dilakukan koreksi untuk menghindari kesalahan interpretasi pada nilai resistivitas dan kedalaman.

METODE MT

Magnetotelluric (MT) merupakan suatu metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui struktur resistivitas yang ada di bawah permukaan bumi. Metode *magnetotelluric* memanfaatkan arus listrik alami yang terjadi di alam, yaitu variasi nilai medan listrik dan medan magnet yang berubah terhadap waktu. Jika variasi medan listrik dan medan magnet diukur secara bersamaan, maka perbandingan impedansi yang terukur dapat digunakan untuk mendeskripsikan penetrasi medan elektromagnetik ke dalam bumi. Pada awalnya, metode MT digunakan hanya untuk riset akademik. Mulai tahun 1980-an, metode MT sukses digunakan untuk pemetaan reservoir geotermal, dan selanjutnya metode MT sering digunakan untuk eksplorasi geotermal.

Gelombang elektromagnetik yang tertransmisi ke dalam bumi berinteraksi dengan medium yang ada di bawah-permukaan. Hasil dari interaksi tersebut mengakibatkan terjadinya induksi yang menyebabkan terbentuknya arus *Eddie* (*Eddie current*) dan medan magnetik sekunder. Medan magnet yang nantinya akan terukur oleh alat MT merupakan medan magnet total baik itu medan magnet primer ataupun sekunder. Arah datangnya gelombang elektromagnetik dan interaksinya dengan medium di bawah-permukaan bisa dilihat pada Gambar 1.



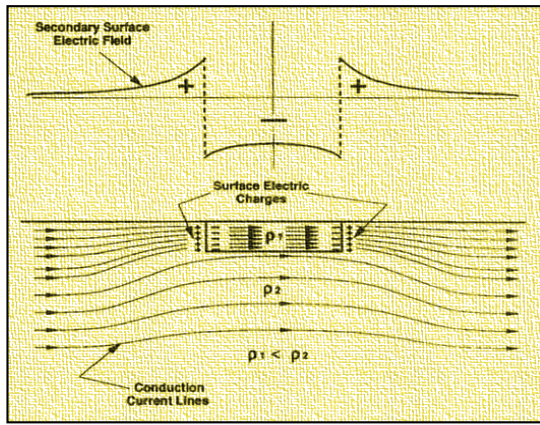
Gambar 1. Interaksi gelombang Elektromagnetik dengan medium di bawah permukaan bumi [Unsworth, 2008]

STATIC SHIFT

Static shift disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: heterogenitas dekat permukaan, efek topografi, dan adanya kontak vertikal (struktur). Ketiga penyebab *static shift* ini ditimbulkan akibat efek galvanik (*galvanic effect*) yang disebabkan oleh adanya distorsi medan magnet saat mengenai perbedaan konduktivitas suatu medium.

Static Shift Disebabkan Oleh Heterogenitas Permukaan

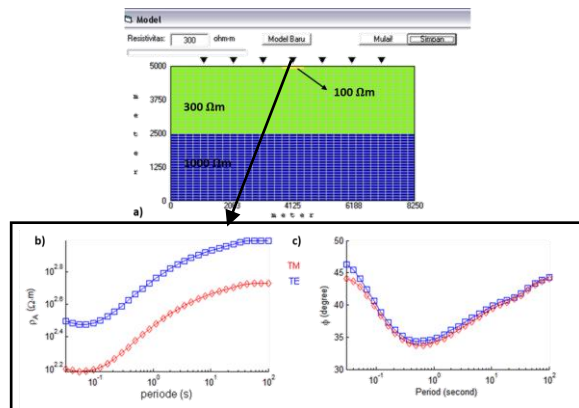
Data MT dapat terdistorsi karena adanya heterogenitas lokal dekat permukaan disebabkan oleh akumulasi muatan listrik pada batas konduktivitas medium, menimbulkan medan listrik sekunder yang tidak bergantung pada frekuensi. Hal tersebut menyebabkan kurva sounding MT (log tahanan-jenis semu terhadap log periode) bergeser ke atas atau ke bawah.



Gambar 2. Respon Medan listrik akibat medium konduktif dekat permukaan (Torres-Verdin and Bostick, 1992)

Medan listrik yang dihasilkan dari batas resistivitas akan mengurangi pengukuran medan listrik, dengan demikian mengurangi impedansi yang diukur, menurunkan resistivitas semu dari bagian resistivitas rendah. Pada bagian yang lebih resistif medan listriknya akan diperkuat dan membuat bagian resistif tersebut menjadi semakin resistif. (Torres-Verdin dan Bostick, 1992 dalam Xiao, 2004).

Untuk memahami fenomena *static shift* yang disebabkan adanya heterogenitas dekat permukaan, dilakukan pemodelan ke depan (forward modelling) dengan menggunakan perangkat lunak MT2DFor-X (PT. NewQuest Geotechnology).

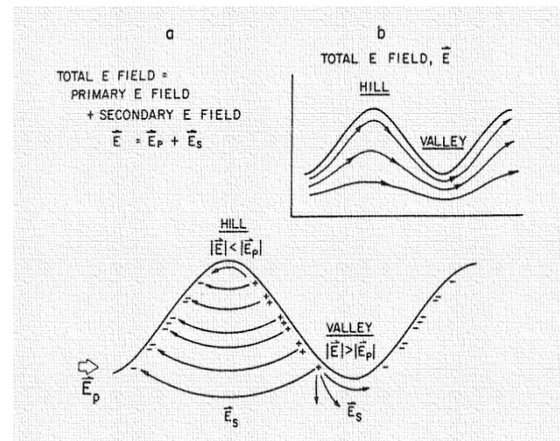


Gambar 3. Fenomena *static shift* yang disebabkan oleh heterogenitas dekat permukaan menggunakan perangkat lunak MT2DFor-X: a) Model Perlapisan; b) kurva TE dan TM; c) Fase TE dan TM

Dari pemodelan ke depan pada Gambar 3, *static shift* terjadi pada pengukuran stasiun MT yang berada tepat di atas adanya heterogenitas. *Static shift* tidak terjadi pada stasiun MT selain pada titik tersebut.

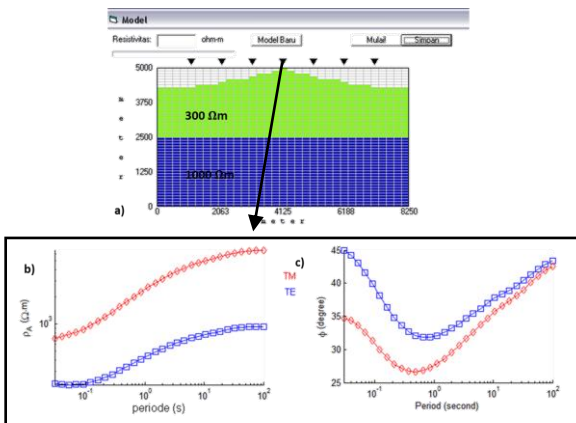
Static Shift Disebabkan Oleh Topografi

Efek galvanik ini terjadi bila medan magnet listrik tegak lurus dengan dengan strike dari topografi, dengan kata lain terjadi saat TM mode yang selalu berasosiasi dengan efek galvanik [Jiracek, 1990]. Dengan pendekatan seperti ini, maka tidak terdapat akumulasi muatan pada puncak dan pada dasar lembahnya, konsentrasi muatan maksimum terjadi saat kemiringan permukaan terbesar. Sama halnya dengan kasus heterogenitas permukaan, medan total didapatkan merupakan total dari seluruhnya yaitu medan primer dan sekunder.



Gambar 4. Efek Galvanik akibat topografi (Jiracek, 1990)

Karena efek galvanik, seperti yang dijelaskan pada Gambar 4b, medan listrik berkurang pada bagian puncak dan meningkat pada bagian lembah. Oleh karena itu resistivitas semu akibat efek galvanik ini bernilai tinggi pada bagian lembah dan bernilai rendah pada bagian puncaknya.

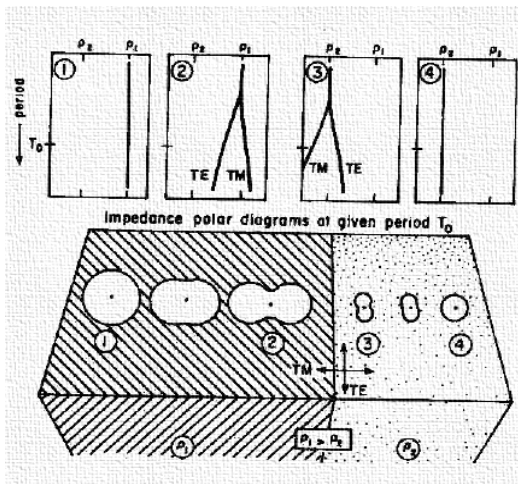


Gambar 5. Fenomena *static shift* yang disebabkan oleh efek topografi menggunakan perangkat lunak MT2DFor-X: a) Model Perlapisan; b) kurva TE dan TM; c) Fase TE dan TM

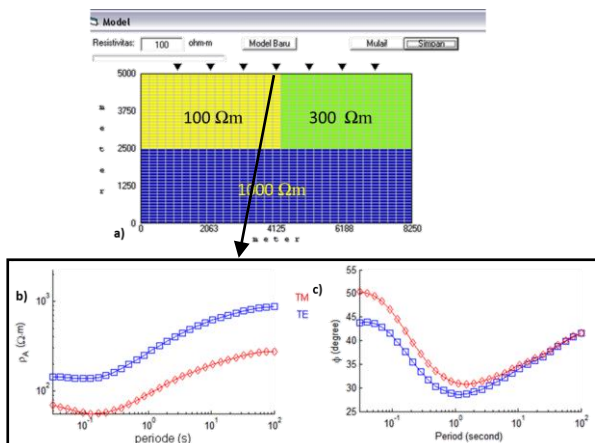
Dari pemodelan ke depan pada Gambar 4, *static shift* paling besar terjadi pada bagian puncak. *Static shift* juga terjadi selain pada bagian lembahnya, namun tidak sebesar pada bagian puncak.

Static Shift Disebabkan Oleh Kontak Vertikal

Gambar 6 merupakan contoh *static shift* hasil pengukuran MT disebabkan oleh kontak vertikal. Hasil pengukuran tersebut menjelaskan terdapat dua kontak resistivitas yaitu ρ_1 dan ρ_2 , dimana $\rho_1 > \rho_2$. Terdapat empat titik pengukuran, namun pada pengukuran pada bagian yang jauh dari kontak vertikal tidak terjadi *static shift*, karena efek dari akumulasi muatan tidak berdampak pada stasiun pengukuran tersebut. Yang menjadi perhatian adalah pada pengukuran yang terletak pada titik yang mendekati kontak vertikal atau bahkan pada batas kontak vertikal. Pada bagian yang lebih resistif, kurva TM berada diatas kurva TE, sedangkan pada bagian yang kurang resistif kurva TM berada dibawah kurva TE. Hal yang membedakan efek dari kontak vertikal dengan penyebab *static shift* lainnya adalah pergeseran tidak terjadi pada periode rendah namun terjadi pada periode yang tinggi, seperti terjadi *splitting curve*.



Gambar 6. Contoh *static shift* hasil pengukuran MT disebabkan oleh kontak vertikal [Vozoff, 1991]



Gambar 7. Fenomena *static shift* yang disebabkan kontak vertikal menggunakan perangkat lunak MT2DFor-X: a) Model Perlapisan; b) kurva TE dan TM; c) Fase TE dan TM

Dari pemodelan ke depan pada Gambar 7, *static shift* paling besar terjadi pada bagian kontak vertikal. *Static shift* yang terjadi pada bagian yang dekat dengan kontak vertikal sebagaimana yang dijelaskan oleh Gambar 6.

KOREKSI PERGESERAN STATIC

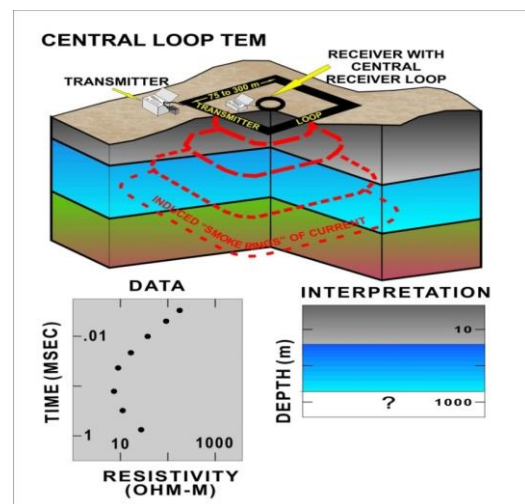
Solusi untuk *static shift* telah banyak dilakukan adalah dengan pengukuran TDEM. Selain dengan TDEM, terdapat juga beberapa solusi berupa perhitungan geostatistik antara lain dengan metode *Cokriging* yang penelitiannya telah dilakukan oleh Tounerie et, all. 1997 dan perata-rataan atau *Averaging* terhadap sekelompok data. Pembahasan ini menjelaskan penggunaan solusi untuk *static shift* dengan menggunakan beberapa metode tersebut. Pemrosesan *static shift* menggunakan *Cokriging* dan perata-rataan (*averaging*) dibuat dengan *software* Matlab.

Metode TDEM

Untuk menghilangkan efek dari *static shift*, *Time Domain Elektromagnetic* (TDEM) adalah merupakan salah satu teknik geofisika yang dilakukan. TDEM hanya melibatkan pengukuran medan magnet sekunder akibat terjadinya induksi medan magnet primer. Oleh karena itu TDEM tidak mengalami *static shift*. Pengukuran TDEM didapatkan dengan memberikan induksi terhadap bawah permukaan bumi, hasil dari induksi tersebut akan didapatkan peluruhan terhadap waktu dan besar tegangan yang didapat. Dari data peluruhan waktu tersebut maka diperoleh penetrasi kedalaman dengan persamaan:

$$\delta = 36 \sqrt{\rho t}$$

Seperti yang dijelaskan pada Gambar. 8, hasil dari peluruhan waktu akan diinterpretasikan ke dalam nilai resistivitas dan kedalaman yang kemudian akan ditransformasikan ke dalam bentuk data MT. Hasil dari pengukuran TDEM yang ditransformasikan ke dalam data MT inilah yang akan dijadikan dasar untuk mengkoreksi data yang mengalami *static shift*.



Gambar 8. Skema pengukuran TDEM

Metode Cokriging

Kriging merupakan salah satu metode interpolasi yang memperhitungkan semua data yang ada disekitar data yang akan ditentukan nilainya tanpa memperhitungkan seberapa jauh atau dekat data disekitar tersebut dengan data yang ditentukan. Algoritma Kriging sering digunakan pada pengolahan data kontur regional. Pada pengkoreksian *static shift*, jenis algoritma ini juga dapat digunakan, hanya saja, penggunaannya akan lebih kompleks, karena memperhitungkan dua buah komponen yaitu ρ_{app} dan ϕ (fase). Algoritma ini sering disebut sebagai *Cokriging* (*Complex Kriging*) (Tounerie, Chouteau, dan Marcotte,1997). *Cokriging* adalah sebuah teknik dalam interpolasi yang menggunakan 2 variabel yang berbeda, akan tetapi secara *spasial* berhubungan. Dengan memanfaatkan hubungan *spasial* ini dapat diestimasi nilai-nilai dari suatu variabel berdasarkan nilai-nilai dari variabel lain yang diketahui dari hasil pengukuran.

$$A = \begin{bmatrix} Cov(u_1, u_1) & Cov(u_1, u_2) & \dots & Cov(u_1, u_n) & Cov(u_1, v_1) & Cov(u_1, v_2) & \dots & Cov(u_1, v_n) & 1 & 0 \\ Cov(u_n, u_1) & Cov(u_n, u_2) & \dots & Cov(u_n, u_n) & Cov(u_n, v_1) & Cov(u_n, v_2) & \dots & Cov(u_n, v_n) & 1 & 0 \\ Cov(v_1, u_1) & Cov(v_1, u_2) & \dots & Cov(v_1, u_n) & Cov(u_n, v_1) & Cov(u_1, v_2) & \dots & Cov(u_n, v_n) & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Cov(v_n, u_1) & Cov(v_n, u_2) & \dots & Cov(v_n, u_n) & Cov(v_n, v_1) & Cov(v_n, v_2) & \dots & Cov(v_n, v_n) & 0 & 1 \\ 1 & \dots & \dots & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & \dots & \dots & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \dots \\ \mu_{1n} \\ \eta_{11} \\ \dots \\ \eta_{1n} \\ \lambda_{1r} \\ \lambda_{1r} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} Cov(u_0 u_1) \\ \dots \\ Cov(u_0 u_n) \\ Cov(u_0 v_1) \\ \dots \\ Cov(u_0 v_n) \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Persamaan *Cokriging* yang digunakan adalah:

$$\tilde{z}_0 = \tilde{u}_0 + j\tilde{v}_0 = \sum_{k=1}^n (\mu_{ik} u_k + \eta_{ik} v_k) + j \sum_{k=1}^n (\mu_{2k} u_k + \eta_{2k} v_k) \quad (1)$$

Dari persamaan tersebut dapat diubah menjadi persamaan lagrange:

$$Cov(u_0, u_k) = \sum_{p=1}^n \mu_{1p} Cov(u_k, u_p) + \sum_{p=1}^n \eta_{1p} Cov(u_k, v_p) + \lambda_{1r} \quad (2)$$

$$Cov(u_0, v_k) = \sum_{p=1}^n \mu_{1p} Cov(v_k, u_p) + \sum_{p=1}^n \eta_{1p} Cov(v_k, v_p) + \lambda_{1i} \quad (3)$$

$$\sum_{p=1}^n \mu_{1p} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{p=1}^n \eta_{1p} = 0 \quad (5)$$

Dimana u (rho) ataupun v (fase), $k = 1, 2, \dots, n$, Cov adalah fungsi covarian, dan $\lambda_{1r}, \lambda_{1i}$ adalah pengali Lagrange. Dari persamaan *Cokriging* (1) diubah menjadi persamaan matriks A, B, dan C.

Karena banyaknya data yang akan diplot, maka perlu dilakukan *fitting* untuk data-data tertentu yang akan digunakan. Sebelum melakukan *fitting*, maka dilakukan perhitungan semivarian dengan menggunakan persamaan

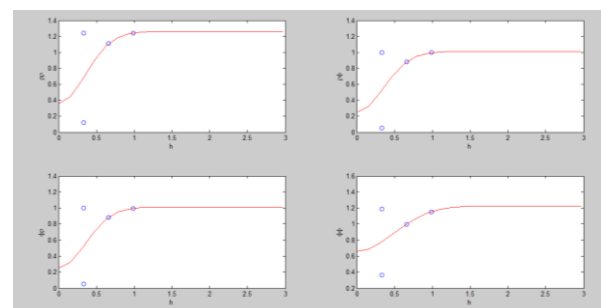
$$\gamma(h) = 0.5 (z_x - z_{x+h})^2 \quad (6)$$

Z_x adalah nilai percobaan pada jarak x sedangkan Z_{x+h} nilai pada percobaan pada jarak x + h.

Kemudian Dari hasil fitting data diperoleh nilai konstanta c_0 , c, dan a dengan menggunakan persamaan Gaussian Variogram

$$\gamma(h) = x[1 - \exp(-\frac{[h]}{2})] \quad (7)$$

Gambar 9 merupakan contoh Hasil variogram



Gambar 9. Contoh Variogram metode *Cokriging*

Setelah diperoleh nilai c yang sesuai, selanjutnya untuk menentukan elemen-elemen matriks, nilai c tersebut digunakan sebagai konstanta tetap dengan mensubstitusikan nilai h sesuai dengan jarak pada data. Apabila matriks A dan C sudah lengkap, maka kita dapat menentukan nilai matriks B dengan melakukan invers matrik A dan C. matriks B merupakan nilai dan dimana apabila nilai-nilai ini sudah diketahui, maka kita dapat memperoleh nilai u (rho) dengan mensubstitusikannya pada persamaan (6). Selanjutnya nilai rho tersebut diinterpolasi, dan ditentukan nilai mediannya. Median dari rho inilah yang digunakan sebagai hasil jarak pergeseran titik rho setelah mengalami koreksi. (Ningsih, 2010)

Metode *Cokriging* yang digunakan merupakan adaptasi dari Geophysics Vol, 72. 2007. *Magnetotelluric static shift: Estimation and removal using the Cokriging method* (Tournerie, Chouteau, dan Marcotte,1997).

Metode *Averaging*

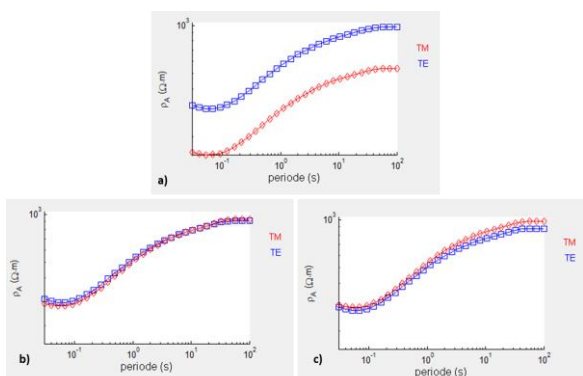
Selain *Cokriging* terdapat pula metode geostatistik lain yaitu perata-rataan (*averaging*). Dalam hal ini, diasumsikan bahwa efek regional yang merepresentasikan kondisi bawah permukaan sebenarnya akan muncul setelah dilakukan perata-rataan (Beamish dan Travassos, 1992 dalam Grandis, 1996). *Averaging* dilakukan dengan merata-ratakan beberapa stasiun pengukuran (pada periode yang sama) di sekitar stasiun yang mengalami *static shift*. Hasil dari nilai *Averaging* dijadikan dasar untuk mengkoreksi data MT yang mengalami *static shift*.

KOREKSI *STATIC SHIFT* PADA MODEL SINTETIK

Untuk memudahkan pemahaman mengenai koreksi *static shift*, digunakan beberapa model *forward* dengan menggunakan perangkat lunak MT2DFor-X (PT. NewQuest Geotechnology). Model pelapisan yang digunakan merupakan model seperti yang dijelaskan sebelumnya pada Gambar 3, Gambar 5, dan Gambar 7.

Model Sintetik Heterogenitas Dekat Permukaan

Penyebab *static shift* yang pertama adalah karena adanya heterogenitas dekat permukaan. Model ini merupakan model dua dimensi dua lapisan berkedalaman 5 km (Gambar 3). Lapisan pertama memiliki resistivitas 300 Ωm dengan nilai heterogenitas permukaan 100 Ωm dan lapisan kedua memiliki resistivitas 1000 Ωm . Lapisan pertama dan kedua memiliki ketebalan yang sama yaitu 2,5 km. tiap-tiap stasiun pengukuran MT memiliki jarak 1 km, namun pada stasiun keempat terdapat heterogenitas permukaan dengan ketebalan 100 m.

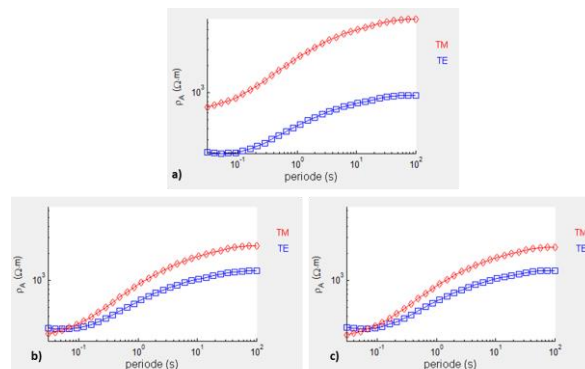


Gambar 10. Koreksi *static shift* pada model sintetik heterogenitas dekat permukaan: a) *Static shift* yang terjadi; b) koreksi dengan menggunakan metode *Cokriging*; c) koreksi dengan menggunakan metode *Averaging*

Dari Gambar 3, *static shift* terjadi pada pengukuran MT yang berada di atas bagian heterogenitas dekat permukaan. Pengkoreksian *static shift* pada Gambar 10 memperlihatkan bahwa metode *Cokriging* dan *Averaging* membuat kurva TE dan TM bergeser dan *static shift* bisa terkoreksi.

Model Sintetik Topografi

Sama seperti pemodelan ke depan pada bagian sebelumnya, pemodelan diubah menjadi model dengan adanya topografi (Gambar 5). Terdapat dua lapisan model bawah permukaan dengan ketebalan yang sama yaitu 2,5 km. Masing-masing model sintetik menyebabkan *static shift* yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya, sehingga *static shift* yang terjadi dari masing-masing model sintentik bisa diamati. Dari masing-masing ketiga penyebab *static shift* yang dimodelkan yaitu model heterogenitas dekat permukaan, model topografi dan model kontak vertikal, ternyata menghasilkan kurva TE dan TM yang memiliki bentuk yang tidak sama. Hal ini juga yang mengakibatkan hasil koreksi *static shift* berbeda antara setiap model. Hal ini disebabkan karena koreksi *static shift* hanya menggeser kurva MT ke atas atau ke bawah.

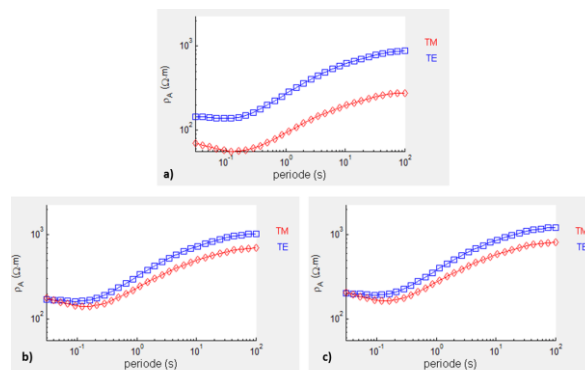


Gambar 11. Koreksi *static shift* pada model topografi: a) *Static shift* yang terjadi; b) koreksi dengan menggunakan metode *Cokriging*; c) koreksi dengan menggunakan metode *Averaging*

Dari Gambar 5, pemodelan MT mengalami *static shift* terutama pada bagian puncak. Pengkoreksian *static shift* pada Gambar 11 memperlihatkan bahwa metode *Cokriging* dan *Averaging* membuat kurva TE dan TM bergeser dan *static shift* bisa terkoreksi. Namun nilai koreksi *static shift* antara metode *Cokriging* dan *Averaging* memiliki sedikit perbedaan.

Model Sintetik Kontak Vertikal

Penyebab *static shift* yang selanjutnya adalah karena adanya kontak vertikal atau pada kondisi pengukuran MT di lapangan dijumpai adanya struktur seperti patahan. Pemodelan ini sama dengan model sebelumnya seperti pada Gambar 7. *Static shift* yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 12a.



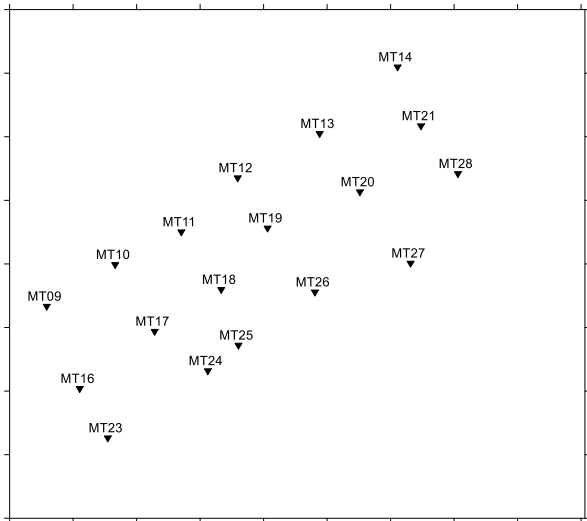
Gambar 12. Koreksi *static shift* pada model kontak vertikal: a) *Static shift* yang terjadi; b) koreksi dengan menggunakan metode *Cokriging*; c) koreksi dengan menggunakan metode *Averaging*

Pengkoreksian *static shift* pada Gambar 12 memperlihatkan bahwa metode *Cokriging* dan *Averaging* membuat kurva TE dan TM bergeser dan *static shift* bisa terkoreksi.

Koreksi *static shift* dari ketiga model sintentik menghasilkan nilai yang hampir sama. Dengan demikian, penerapan metode *Cokriging* dan *Averaging* dianggap mampu untuk memberikan solusi dari permasalahan *static shift* pada model-model tersebut. Keberhasilan kedua metode tersebut perlu diuji pada data sesungguhnya yang terjadi pada pengukuran MT.

KOREKSI *STATIC SHIFT* PADA DATA MT

Penggunaan metode *Cokriging* dan *Averaging* dilakukan pada data MT yang ada pada pengukuran suatu area panas bumi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.

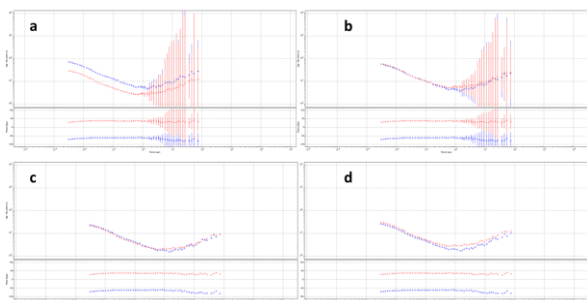


Gambar 13. Distribusi pengukuran MT pada suatu area prospek panas bumi

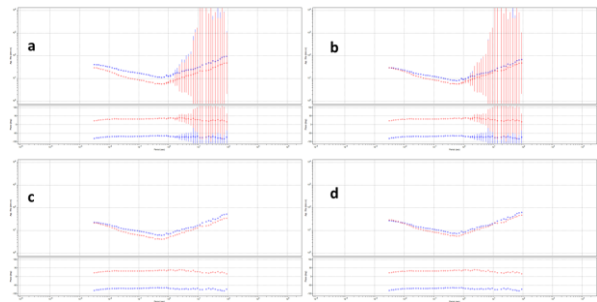
Dari beberapa data MT yang ada, terdapat beberapa data yang mengalami *static shift*. Hasil dari pengkoreksian dengan menggunakan kedua metode geostatistik dibandingkan dengan pengukuran TDEM pada masing-masing stasiun MT yang mengalami *static shift*.

Data MT yang mengalami *static shift* antara lain MT-26 dan MT-28, MT-11, MT-18. Hasil dari pengkoreksian *static shift* dengan menggunakan *Cokriging* dan *Averaging* dibandingkan dengan hasil pengkoreksian menggunakan data TDEM seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17.

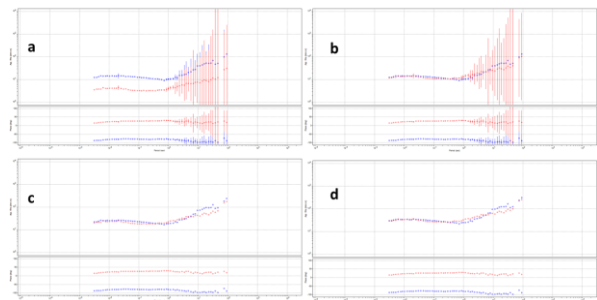
Data MT yang mengalami *static shift* berhasil dikoreksi dengan menggunakan menggunakan metode geostatistik ataupun dengan menggunakan TDEM. Terdapat kemiripan antara masing-masing pengkoreksian. Hal ini menunjukkan bahwa metode geostatistik dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk melakukan pengkoreksian bila tidak terdapat data TDEM.



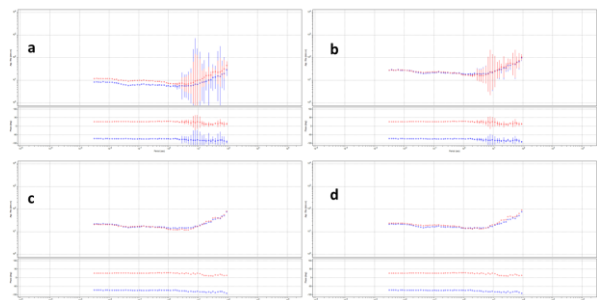
Gambar 17. Hasil koreksi *static shift* MT-26: a) Data MT yang mengalami *static shift*. Hasil koreksi *static shift* dengan menggunakan: b) TDEM; c) *Cokriging*; d) *Averaging*



Gambar 18. Hasil koreksi *static shift* MT-23: a) Data MT yang mengalami *static shift*. Hasil koreksi *static shift* dengan menggunakan: b) TDEM; c) *Cokriging*; d) *Averaging*



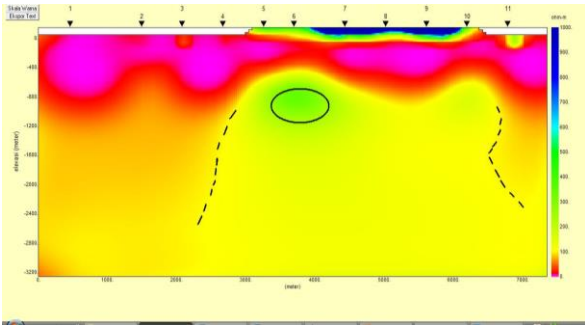
Gambar 19. Hasil koreksi *static shift* MT-11: a) Data MT yang mengalami *static shift*. Hasil koreksi *static shift* dengan menggunakan: b) TDEM; c) *Cokriging*; d) *Averaging*



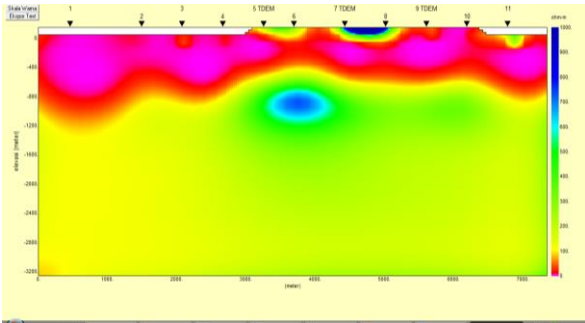
Gambar 20. Hasil koreksi *static shift* MT-18: a) Data MT yang mengalami *static shift*. Hasil koreksi *static shift* dengan menggunakan: b) TDEM; c) *Cokriging*; d) *Averaging*

Hasil koreksi *static shift* akan berdampak pada hasil inversi. Koreksi *static shift* dengan menggunakan geostatistik (*Cokriging* dan *Averaging*) dan TDEM terhadap hasil inversi data MT diperlihatkan pada Gambar 21, Gambar 22, Gambar 23.

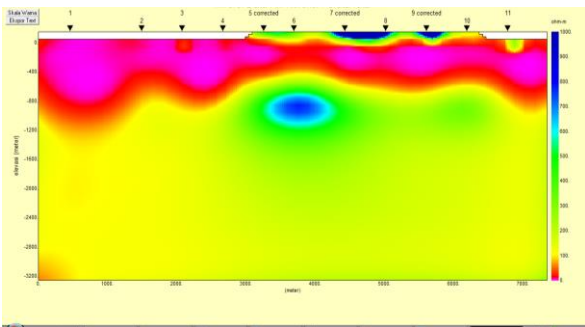
Hasil inversi sebelum dilakukan pengkoreksian data MT (Gambar 21) menunjukkan adanya heterogenitas dekat permukaan. Hal tersebut menyebabkan hasil inversi terdapat pembatas seperti yang diperlihatkan oleh garis putus-putus berwarna hitam. Hasil yang sangat berbeda ditunjukkan pada hasil inversi yang telah dilakukan koreksi *static shift*. Hal ini menunjukkan bahwa koreksi *static shift* merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan. Koreksi *static shift* akan meminimalisasi kesalahan interpretasi.



Gambar 21. Inversi data MT sebelum koreksi *static shift*



Gambar 22. Inversi data MT menggunakan koreksi TDEM



Gambar 23. . Inversi data MT menggunakan koreksi geostatistik

Hasil inversi dengan menggunakan koreksi TDEM dan geostatistik menghilangkan adanya heterogenitas permukaan, serta memiliki kecenderungan yang sama (Gambar 22 dan Gambar 23). Dengan melihat inversi pada data yang telah dikoreksi, garis-garis putus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21 menghilang sehingga keberadaan resistivitas rendah masih menerus.

KESIMPULAN

Koreksi *static shift* dengan menggunakan metode geostatistik yaitu *Cokriging* dan *Averaging* menunjukkan hasil yang hampir serupa pada penggunaan data sintetik. Nilai yang dihasilkan dari kedua metode ini memberikan nilai yang tidak jauh berbeda. Pengujian kedua metode tersebut juga berhasil digunakan pada pengukuran MT pada suatu area panas bumi. *Cokriging* dan *Averaging* memberikan nilai yang mendekati dengan koreksi dengan menggunakan TDEM. Koreksi *static shift* ini hanya dilakukan dengan menggeser nilai resistivitas semu tanpa mengubah fase. Tentu saja hasil yang ada tidak bisa serupa dengan koreksi TDEM karena koreksi dengan menggunakan metode geostatistik bergantung pada distribusi nilai resistivitas yang terukur pada pengukuran MT di suatu

area. Koreksi dengan menggunakan metode geostatistik bisa dilakukan untuk mengetahui penyebaran nilai resistivitas yang mengindikasikan keadaan regional suatu area. Selain itu, penggunaan metode geostatistik bisa dilakukan bila titik lain di sekitar area titik MT tidak mengalami *static shift*. Namun, bila tidak terdapat pengukuran TDEM, metode geostatistik bisa menjadi dasar untuk pengkoreksi data MT yang mengalami *static shift*. Koreksi *static shift* sangat berpengaruh terhadap hasil inversi. Dengan demikian, data MT yang telah dilakukan koreksi *static shift* akan meminimalisasi kesalahan interpretasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman PT. NewQuest Geotechnology yang telah banyak membantu melakukan penelitian baik dalam penyusunan, data, dan *software* MT2DFor-X. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Yunus Daud selaku pembimbing dan Nugraheni yang telah membantu dalam proses membuat *script* metode *Cokriging* dalam perangkat lunak berbasis Matlab.

DAFTAR PUSTAKA

- Choteau, M., Denis, M., Tournerie, B., 2007, Magnetotelluric Static Shift: estimation and removal using the cokriging method .Geophysics, Vol.72, No. 1
- Hendro, Agus., dan Grandis, Hendra., 1996, Koreksi efek static pada data *magnetotelluric* menggunakan data elektromagnetik transien. Proceedings HAGI.
- Ningsih, Utami.H., 2010. Koreksi pergeseran statik pada data magentotellurik (MT) menggunakan geostatik pada data sintetik dan data riil. Universitas Indonesia.
- Jiracek, George R.,1990. Near Surface and Topografic Distortion In Electromagenetic Induction. San Diego State University.
- Sulistyo, Agus.,2010. Pemodelan Static Shift Menggunakan MT2DFor-X.Universitas Indonesia.
- Unsworth, Martin, 2008., Bahan Mata Kuliah Metode Elektromagnetik.
- Xiao, Wien., 2004. Magnetotelluric Exploration in the Rocky Mountain Foothills, Alberta. University Of Alberta.