

INVERSI 1-D PADA DATA MAGNETOTELLURIK DI LAPANGAN X MENGGUNAKAN METODE OCCAM DAN SIMULATED ANNEALING

R. Aldi Kurnia Wijaya¹⁾, Ayi Syaeful Bahri¹⁾, Dwa Desa Warnana¹⁾, Arif Darmawan²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Geofisika, FTSP ITS, ²⁾Elnusa Tbk.

e-mail: aldi.3.wijaya@gmail.com

Abstrak. Metode magnetotellurik merupakan salah satu metode elektromagnetik pasif yang mengukur fluktuasi medan listrik (E) dan medan magnet (B) dengan tujuan untuk menentukan konduktivitas bawah permukaan. Proses inversi dilakukan untuk memodelkan kondisi bawah permukaan. Dalam penelitian ini proses inversi dilakukan dengan metode Occam dan *Simulated Annealing*. Metode Occam merupakan metode untuk menyelesaikan permasalahan non-linier menggunakan pendekatan linier sedangkan metode *Simulated Annealing* merupakan metode untuk menyelesaikan permasalahan non-linier menggunakan pendekatan global, berupa *Guided Random Search*. Untuk menyelesaikan permasalahan non-linier tersebut dibuat program berbasis Matlab yang dengan menggunakan algoritma Occam dan *Simulated Annealing*. Dalam penelitian ini digunakan data sintetik dan data hasil pengukuran di lapangan panas bumi X dengan menggunakan metode magnetotellurik. Tahapan dalam penelitian ini adalah pembuatan program, validasi menggunakan data sintetik, validasi dengan membandingkan hasil inversi program konvensional (WinGlink), dan analisa penampang 1-D. Hasil dari penelitian ini adalah analisa terhadap penampang *cross section* resistivitas 1-D hasil inversi sehingga diketahui sebaran konduktivitas di Lapangan X.

Kata Kunci: magnetotellurik; inversi 1-D; occam; *simulated annealing*; lapangan X

Abstract. *Magnetotelluric method is a passive electromagnetic method that measures fluctuations of electrical field (E) and magnetic (B) for determining subsurface conductivity. Inversion performed for modeling subsurface conditions. In this study, the inversion process performed by Occam and Simulated Annealing methods. Occam method is a method to solve non-linear problems using a linear approach while the method of Simulated Annealing is a method to solve non-linear problems using a global approach, in the form of Guided Random Search. In resolving non-linear problem created Matlab-based program which using Occam and Simulated Annealing algorithms. In this study, synthetic data and measurement data results from a geothermal field measurements using magnetotelluric method is used. Stages of this research are, validation using synthetic data, validated by comparing the results of the conventional inversion program (WinGlink), and 1-D cross-sectional analysis. Results from this study is cross-sectional analysis of cross section 1-D resistivity inversion results in order to know the distribution of conductivity in the Field X.*

Keywords: magnetotelluric; inversion 1-D; occam; simulated annealing; field X

PENDAHULUAN

Metode magnetotellurik merupakan metode elektromagnetik pasif yang mengukur fluktuasi medan listrik (E) dan medan magnet (B) alami pada arah ortogonal terhadap arah permukaan bumi dengan tujuan untuk menentukan konduktivitas bawah permukaan bumi dari kedalaman puluhan meter hingga ribuan meter (Simpson dan Bahr, 2005). Dalam menggambarkan kondisi bawah permukaan untuk mencari anomali yang menarik dilakukan proses inversi pada data magnetotellurik. Data magnetotellurik termasuk kedalam permasalahan non-linier, dalam menyelesaikan

permasalahan tersebut dapat digunakan dua jenis pendekatan yaitu pendekatan linier dan pendekatan global.

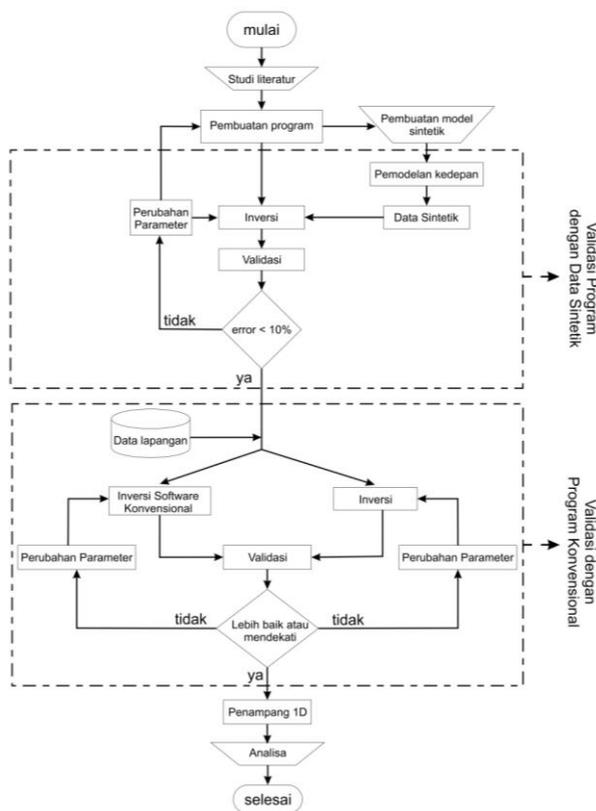
Proses inversi yang dilakukan pada penelitian ini adalah inversi 1-D. Dimana metode yang digunakan adalah metode Occam dan *Simulated Annealing*. Metode Occam menggunakan pendekatan linier untuk menyelesaikan permasalahan non-linier sedangkan untuk metode *Simulated Annealing* digunakan pendekatan global yang berupa *Guided Random Search* untuk menyelesaikan permasalahan non-linier. Dengan digunakannya kedua metode ini diharapkan

mendapatkan model yang merepresentasikan kondisi di bawah permukaan yang lebih akurat.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengukuran magnetotellurik di Lapangan X. Lapangan X merupakan salah satu lapangan panas bumi di Indonesia. Sehingga hasil dari inversi yang dilakukan diharapkan dapat menggambarkan persebaran konduktivitas bawah permukaan di Lapangan X.

METODOLOGI

Untuk mengetahui persebaran konduktivitas bawah permukaan di Lapangan X alur kerja penelitian diperlihatkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian.

Awal dari penelitian ini adalah studi literatur untuk mencari referensi mengenai kedua metode inversi. Tahapan selanjutnya adalah pembuatan program inversi metode Occam dan *Simulated Annealing*, program dibuat menggunakan program Matlab. Sebelum menggunakan data hasil pengukuran program divalidasi terlebih dahulu

menggunakan data sintetik untuk mengetahui efektivitas metode tersebut dalam memperoleh kembali model sintetik.

Terdapat dua model sintetik yang digunakan, dimana dua model sintetik ini mewakili model sederhana yang terdiri dari 3 lapisan yaitu lapisan konduktif pada medium resistif (model-1) dan lapisan resistif pada model konduktif (model-2). Parameter model sintetik tersebut ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Parameter Model Sintetik 1.

Lapisan	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ohm.m)
1	400	100
2	1600	1000
3		10

Tabel 2. Parameter Model Sintetik 2.

Lapisan	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ohm.m)
1	400	100
2	1600	10
3		1000

Setelah program inversi dapat memperoleh kembali model sintetik dengan rms error kurang dari 10% dan model hasil mendekati model sintetik maka tahapan selanjutnya adalah inversi menggunakan data Lapangan X. Dikarenakan tidak tersedianya data geologi maka validasi model hasil inversi dilakukan dengan membandingkan dengan model hasil inversi program konvensional yaitu WinGlink. Penggunaan parameter inversi untuk metode Occam disamakan pada program yang dibuat dan WinGlink sedangkan parameter inversi untuk metode *Simulated Annealing* menyesuaikan. Apabila hasil dari inversi dari program yang dibuat mendekati atau bahkan lebih baik dari program konvensional maka dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya, untuk mengetahui lebih baik atau tidaknya dilihat dari rms error dan kesesuaian model yang dihasilkan. Apabila hasil inversi tidak mendekati maka dilakukan perubahan parameter.

Tahap terakhir adalah melakukan analisa pada model hasil inversi metode Occam dan *Simulated Annealing*. Analisa dilakukan untuk mengetahui sebaran konduktivitas di Lapangan X. Untuk mendapatkan sebaran konduktivitas, model

1D hasil inversi diinterpolasi untuk setiap titik kemudian dilakukan kontur antar titik sehingga menampilkan penampang pada satu lintasan hasil inversi 1D.

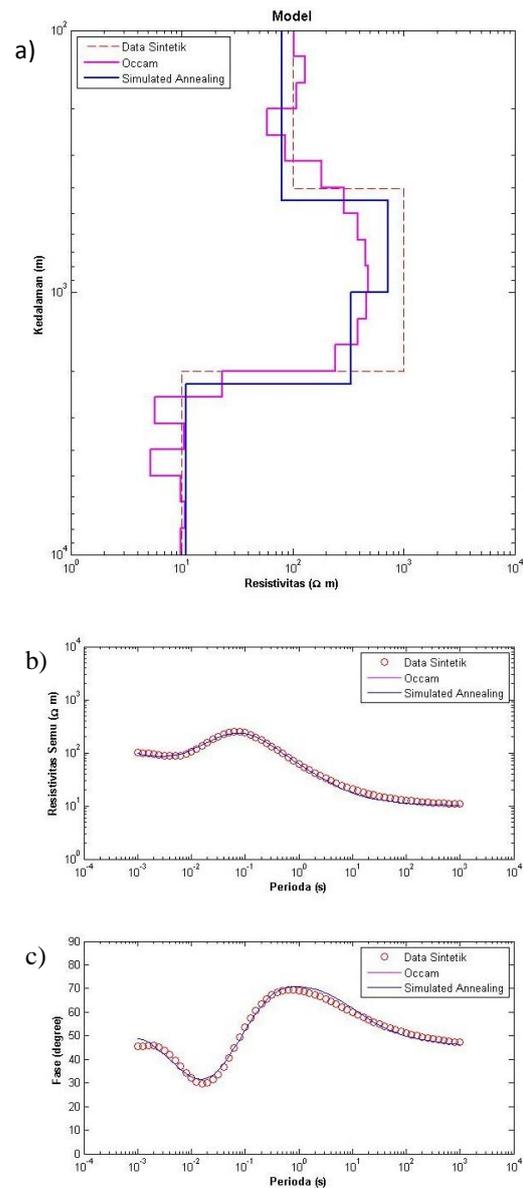
HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Pada Data Sintetik

Untuk mendapatkan data sintetik dari model sintetik 1 dan 2 dilakukan pemodelan ke depan sehingga didapatkan resistivitas semu dan fasa sebagai fungsi perioda (10^{-3} sampai 10^3 detik). Parameter inversi yang digunakan masing-masing metode berbeda hal ini dilakukan agar model yang dihasilkan baik.

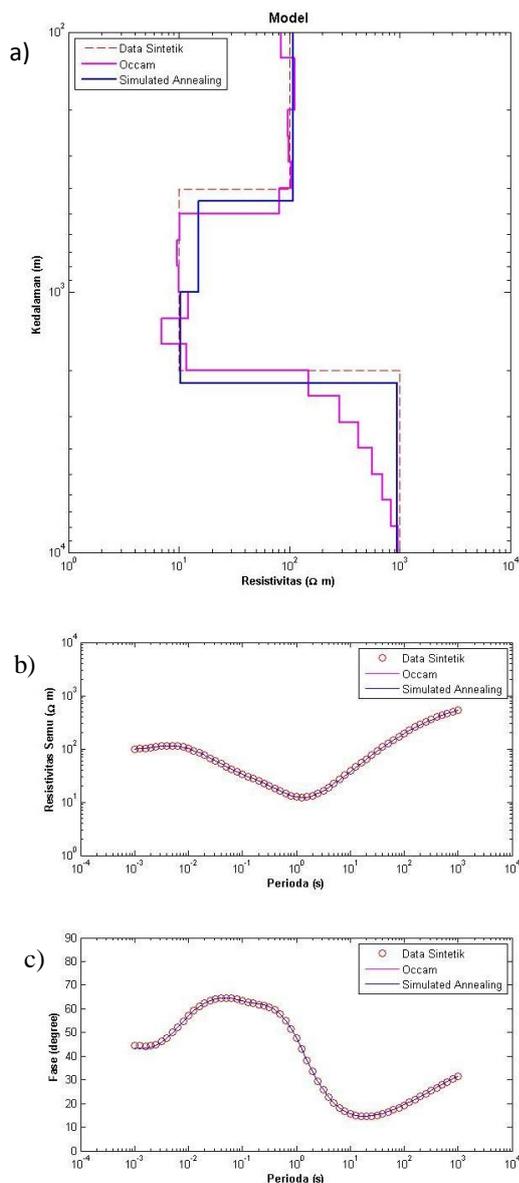
Gambar 2 memperlihatkan hasil inversi data sintetik 1. Tampak model inversi dapat merepresentasikan model sintetik dengan cukup baik. Secara umum respon model inversi pada kurva resistivitas semu dan fase cocok dengan data sintetik. Model Occam memiliki *rms error* 5.3% dengan jumlah 5 iterasi sedangkan model *Simulated Annealing* memiliki *rms error* 8.1% dengan 125 iterasi. Gambar 3 memperlihatkan hasil inversi data sintetik 2. Dalam hal ini tampak model inversi dapat merepresentasikan model sintetik dengan baik. Model Occam memiliki *rms error* 0.7% dengan jumlah 8 iterasi sedangkan model *Simulated Annealing* memiliki *rms error* 5% dengan jumlah 125 iterasi.

Berdasarkan model hasil inversi terlihat bahwa program dapat menghasilkan model yang baik dan memiliki *rms error* kurang dari 10%. Sehingga program yang telah dibuat layak digunakan pada data hasil pengukuran dan dapat dianalisa model hasil inversi tersebut.



Gambar 2. Hasil Inversi pada Model Sintetik 1

- a) Model Hasil Inversi,
- b) Kurva Resistivitas Semu sebagai Fungsi Periode ,
- c) Kurva Fase sebagai Fungsi Periode.



Gambar 3. Hasil Inversi pada Model Sintetik 2
 a) Model Hasil Inversi,
 b) Kurva Resistivitas Semu sebagai Fungsi Periode,
 c) Kurva Fase sebagai Fungsi Periode.

Validasi dengan Program WinGlink

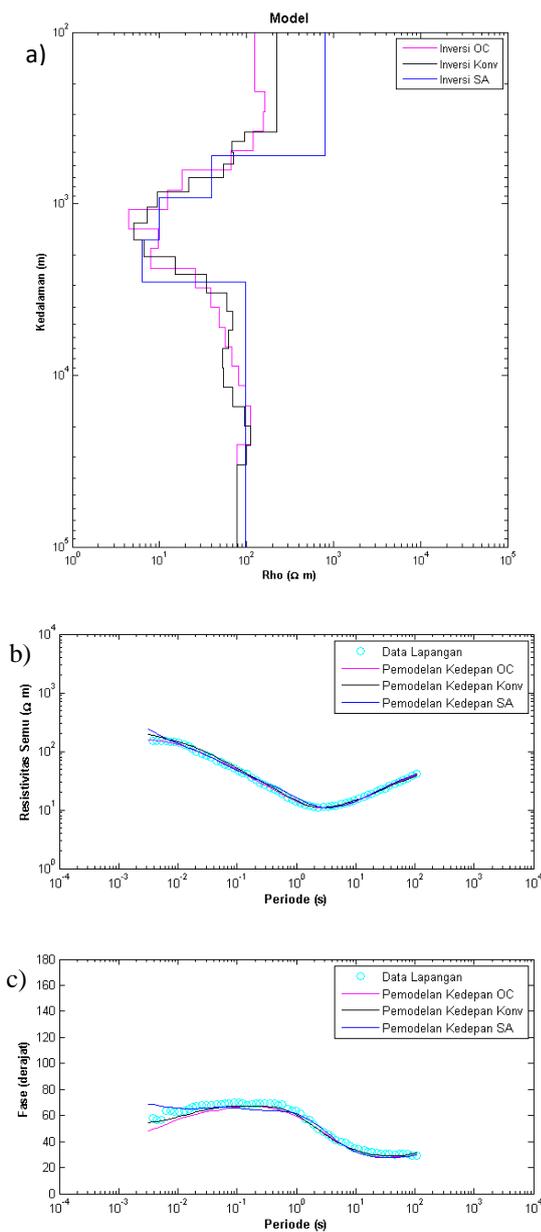
Data hasil pengukuran berjumlah tujuh titik tetapi yang ditampilkan dalam penelitian ini hanya dua titik yaitu ITS2 dan ITS3. Model hasil inversi untuk semua titik pengukuran yang telah diinterpolasi diperlihatkan pada Gambar 6.

Dari hasil inversi pada titik ITS2 yang diperlihatkan oleh Gambar 4 hanya terlihat perbedaan kecil pada lapisan awal dari kedalaman 171 – 400 m dimana hasil inversi dari metode *Simulated Annealing* memiliki nilai resistivitas yang lebih besar dibandingkan dengan metode Occam dengan nilai sekitar 800 ohm.m. Untuk model hasil inversi lebih dari 400 m memiliki hasil yang sama untuk setiap inversi.

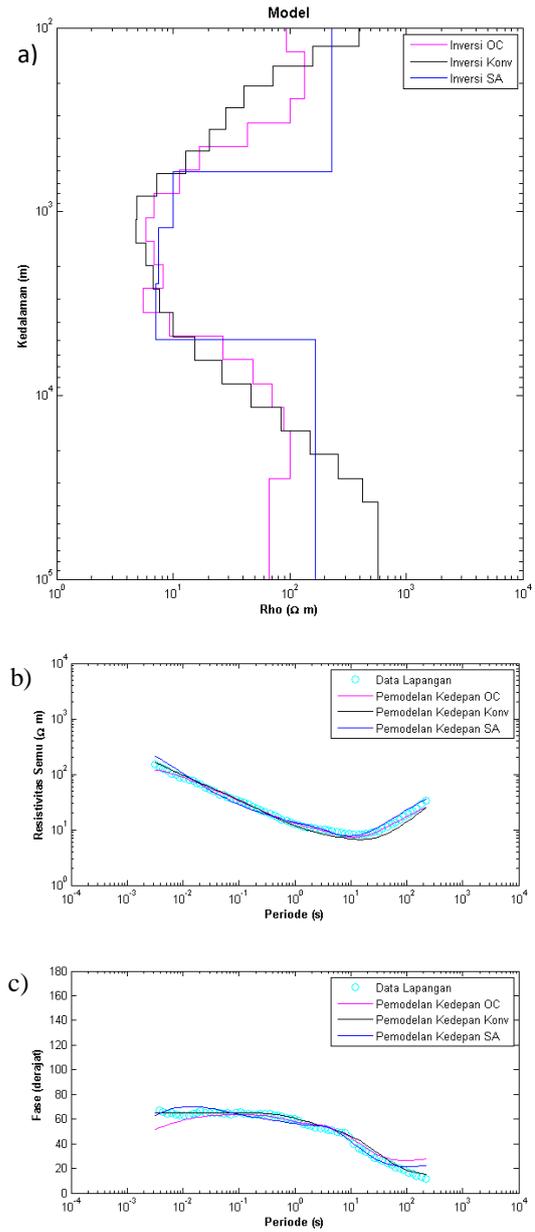
Pada grafik resistivitas semu hasil pemodelan ke depan dari model inversi menunjukkan perbedaan pada periode tinggi dimana grafik dari metode *Simulated Annealing* lebih rendah dibandingkan data pengukuran. Pada grafik fase hasil pemodelan ke depan dari model inversi menunjukkan perbedaan pada periode tinggi dimana hasil metode Occam (konvensional dan program yang telah dibuat) lebih tinggi dibandingkan data pengukuran.

Dari hasil inversi pada titik ITS3 yang diperlihatkan oleh Gambar 5 hanya terlihat perbedaan kecil pada lapisan awal dan akhir. Untuk lapisan awal tidak terlalu memiliki perbedaan yang besar dibandingkan dengan lapisan akhir. Tetapi untuk lapisan akhir pada akhirnya tidak akan mempengaruhi interpretasi yang akan dilakukan karena interpretasi dilakukan hanya sampai kedalaman antara 5.000 – 8.000 meter.

Pada grafik resistivitas semu hasil pemodelan ke depan dari model inversi menunjukkan hasil yang cukup sama dan mendekati data hasil pengukuran. Sedangkan pada grafik fase hasil pemodelan ke depan dari model inversi menunjukkan perbedaan pada periode rendah dari metode Occam dengan program yang dibuat dimana grafiknya menurun. Sedangkan untuk periode tinggi hasil pemodelan ke depan dari model inversi metode *Simulated Annealing* menghasilkan grafik yang lebih mendekati data hasil pengukuran.



Gambar 4. Hasil Inversi pada Titik ITS2
 a) Model Hasil Inversi,
 b) Kurva Resistivitas Semu sebagai Fungsi Periode,
 c) Kurva Fase sebagai Fungsi Periode.

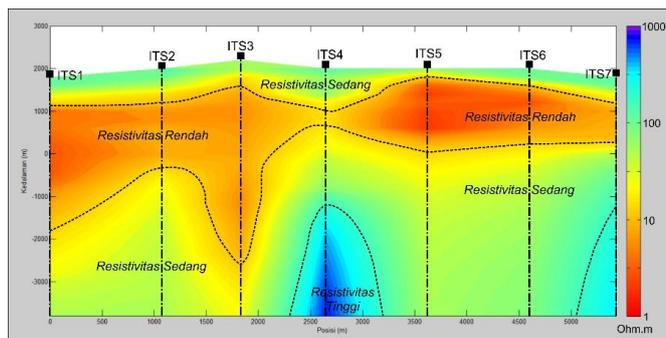


Gambar 5. Hasil Inversi pada Titik ITS3
 a) Model Hasil Inversi,
 b) Kurva Resistivitas Semu sebagai Fungsi Periode,
 c) Kurva Fase sebagai Fungsi Periode.

Berdasarkan hasil inversi yang telah dilakukan dan dibandingkan dengan hasil program WinGlink diketahui bahwa metode Occam menghasilkan model yang lebih baik dibandingkan dengan metode *Simulated Annealing*. Oleh karena itu, analisa penampang hasil inversi dilakukan terhadap penampang model inversi metode Occam.

Analisa Penampang Hasil Inversi

Dalam melakukan analisa penampang model hasil inversi dilakukan interpolasi terlebih dahulu pada setiap titik pengukuran sehingga menghasilkan penampang 2D. Penampang sebaran resistivitas 2D hasil interpolasi diperlihatkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Penampang 2D Berdasarkan Model Hasil Inversi 1D Metode Occam.

Dimana lapisan paling dekat permukaan adalah lapisan dengan resistivitas sedang berkisar antara 10 – 300 Ohm.m dari kedalaman sekitar 2200 m sampai 1000 m di atas permukaan air laut yang diwakili oleh warna kuning sampai hijau. Lapisan kedua merupakan lapisan dengan nilai resistivitas yang rendah berkisar antara 1 – 10 Ohm.m dari kedalaman 2500 m di atas permukaan air laut sampai kedalaman 2800 di bawah permukaan air laut yang diwakili oleh warna merah sampai jingga. Lapisan selanjutnya adalah lapisan dengan nilai resistivitas yang sedang berkisar antara 10 -300 Ohm.m dari kedalaman 500 m di atas permukaan air laut yang diwakili oleh warna kuning sampai hijau. Kemudian terdapat lapisan dengan resistivitas tinggi berkisar antara 300 – 1000 Ohm.m yang berada pada posisi 2250 – 3200 m dan dari 5100 – 5600 m pada kedalaman 1500 – 4000 m di bawah permukaan air laut yang diwakili oleh warna biru muda sampai biru.

Apabila diamati pada kedalaman 1500 – 4000 m di bawah permukaan air laut dan posisi antara titik ITS4 dengan ITS1 terlihat anomali yang menarik. Karena data yang tersedia dalam penelitian hanya berupa data pengukuran magnetotellurik sehingga pengamatan lebih lanjut untuk anomali tersebut belum bisa dilakukan. Apabila dilihat kembali pada titik ITS4 dan ITS1 memang data yang didapatkan memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan data lainnya, sehingga memang perlu untuk ditinjau ulang pada titik ITS4 dan ITS1 dengan bantuan data pendukung lain.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Metode Occam dan *Simulated Annealing* cocok digunakan dalam inversi untuk data magnetotellurik.
- 2) Metode Occam menunjukkan hasil yang lebih baik berdasarkan *rms error* dan kesesuaian model.
- 3) Sebaran resistivitas berdasarkan penampang hasil inversi dilapangan X terdiri dari resistivitas sedang (10-300 Ohm.m) untuk lapisan pertama, resistivitas rendah (1-10 Ohm.m) untuk lapisan kedua, resistivitas sedang (10-300 Ohm.m) untuk lapisan ketiga, dan resistivitas tinggi (300-1000 Ohm.m) untuk lapisan terakhir.

Saran

Perlunya dilakukan analisa lebih lanjut dengan didukung oleh data geologi dan data sumur terutama untuk menganalisa titik ITS3 dan ITS4.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT Elnusa Tbk. karena telah mengizinkan untuk melakukan pengolahan dan inversi terdapat data perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aster, Richard C., Borchers, Brian, dan Thurber, Clifford H., 2005. *Parameter Estimation and Inverse Problems*. Elsevier Inc, UK, Ch. 10.
- Constable, Steven C., Parker, Robert L., dan Constable, Carherine G., 1987. Occam's Inversion: A practical Algorithm for Generating Smooth Model From Electromagnetic Sounding Data. *Geophysics*. Vol. 52, No. 3. P. 289-300.
- Grandis, Hendra., 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Bandung: CV. Bhumi Printing.
- Ingber, L., 1989. Very Fast Simulated Re-annealing. *Mathl. Comput. Modelling*. Vol. 12, No. 8, P.967-973.
- Simpson, Fiona, dan Bahr, Karsten., 2005. *Practical Magnetotellurik*. Cambridge University Press.