



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KOREKSI PERGESERAN STATIK DATA MAGNETOTELLURIC (MT)  
MENGUNAKAN METODE GEOSTATISTIK, PERATA-RATAAN, DAN TIME  
DOMAIN ELECTROMAGNETIC**

**AGUS SULISTYO**

**0606067976**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPOK**

**2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KOREKSI PERGESERAN STATIK DATA MAGNETOTELLURIC (MT)  
MENGUNAKAN METODE GEOSTATISTIK, PERATA-RATAAN, DAN TIME  
DOMAIN ELECTROMAGNETIC**

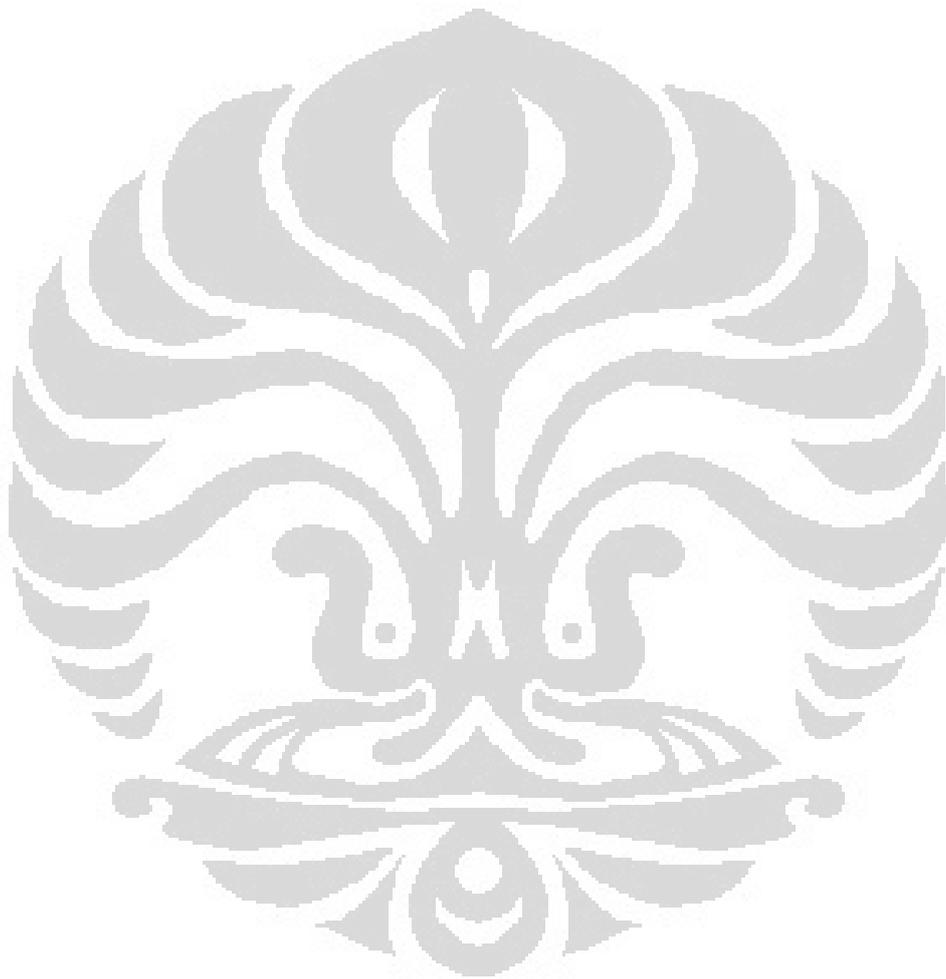
**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Sains**

**AGUS SULISTYO**

**0606067976**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
2011**



## HALAMAN PENGESAHAN

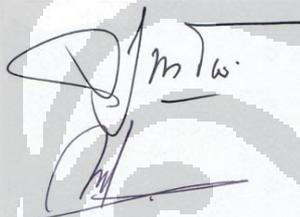
Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Agus Sulistyio  
NPM : 0606067976  
Program Studi : S1 Reguler Fisika  
Judul Skripsi : Koreksi Pergeseran Statik Data Magnetoteluric (MT)  
Menggunakan Metode Geostatistik, Perata-rataan, dan Time  
Domain Elecromagnetic

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr Eng. Yunus Daud, M.Sc.



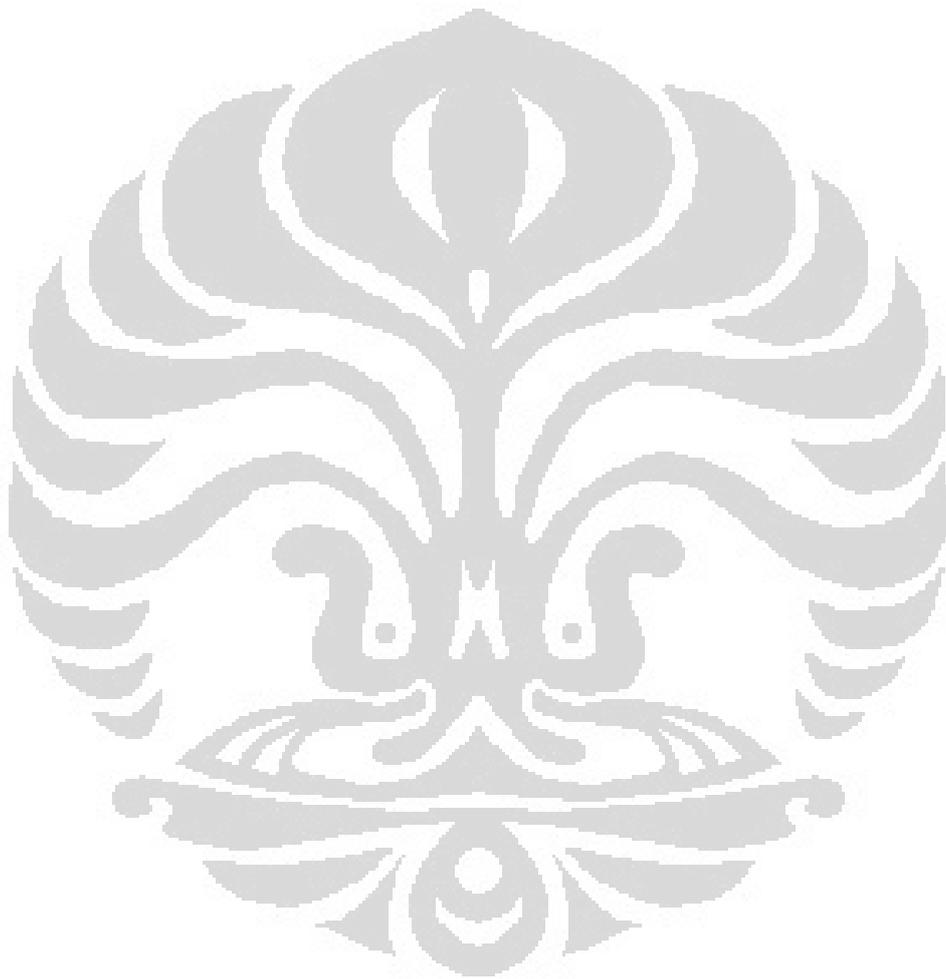
Penguji 1 : Dr. Syamsu Rosid



Penguji 2 : Dr. Eng. Supriyanto, M.Sc

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 14 Juni 2011



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta ridhonya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Koreksi Pergeseran Statik Data Magenetotelluirk (MT) menggunakan Metode Geostatik, Perata-rataan, dan Time Domain Elektromagnetik**” ini dengan baik .

Pembuatan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Kekhususan Geofisika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Selain tujuan tersebut, penulis berharap dengan adanya penelitian ini berguna bagi perkembangan ilmu eksplorasi geofisika dalam bidang *Magnetotelluric* (MT).

Selama proses penelitian dan penyelesaian Tugas Akhir ini, ada banyak hal yang penulis dapatkan dan pelajari. Kesulitan dalam penelitian ini tidak dihadapi penulis sendiri, banyak pihak yang telah membantu dalam mencari solusi kesulitan tersebut. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

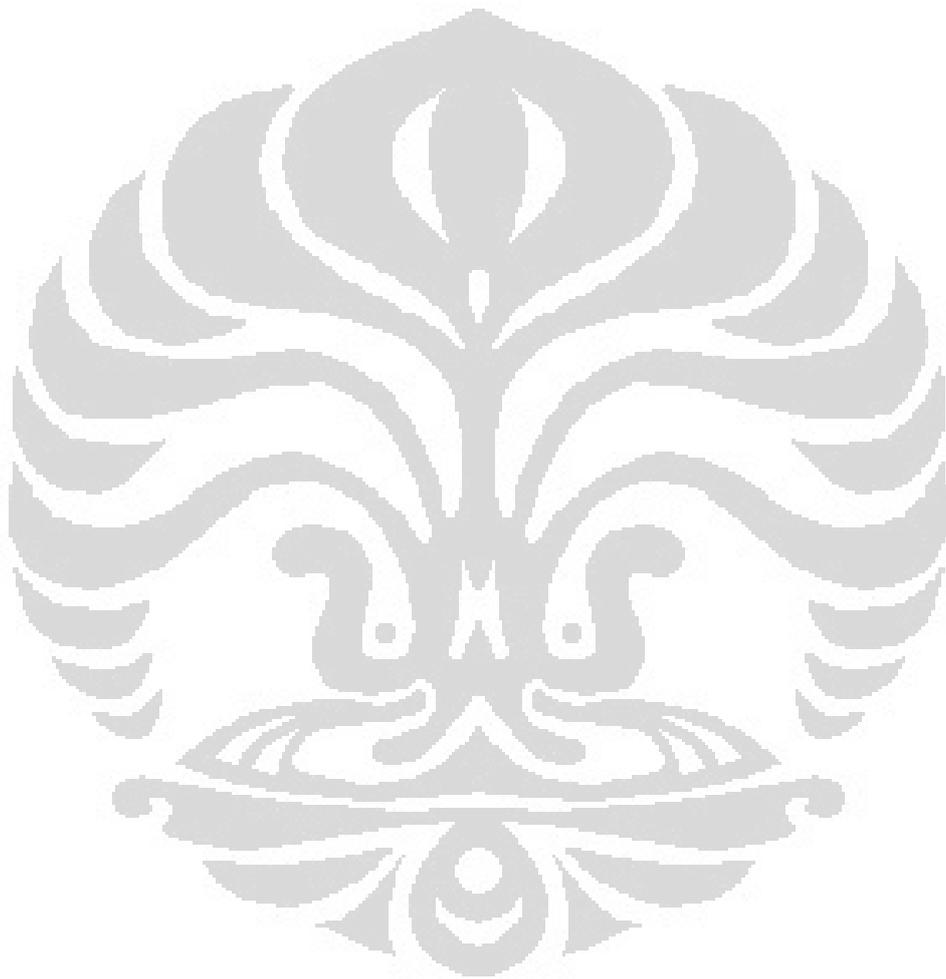
1. Bapak Yunus Daud, selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, nasehat, dan motivasi.
2. Bapak Syamsu Rosid dan Bapak Supriyanto, selaku penguji yang memberikan wawasan dan saran.
3. Teman-teman satu laboratorium: Mas Rahman, Lendri, Surya, Adit, Dzil, Wambra, yang menjadi teman diskusi serta teman suka dan suka selama proses penelitian.
4. Seluruh Staf pengajar Departemen Fisika UI yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama perkuliahan.
5. Seluruh Staf Sekretariat Departemen Fisika UI yang ramah menjalankan tugas.
6. Keluarga MICEL yang telah banyak memberikan semangat.
7. Teman-teman seperjuangan Fisika UI angkatan 2006.

8. Semua teman yang datang saat seminar Tugas Akhir yang telah memberikan semangatnya.
9. Dewi dan Karina, terima kasih sudah membantu menyiapkan konsumsi.
10. Seseorang yang menyempatkan dirinya untuk datang menjenguk.
11. Keluarga tercinta, Bapak, Ibu, adik-adik, serta saudaraku semua yang menjadi landasan penulis mengerjakan segala sesuatunya.

Semoga Allah SWT memberikan balasan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak agar bermanfaat dan menjadi acuan sebagai langkah menuju perbaikan.



Penulis  
2011



Nama : Agus Sulistyio  
Program Studi : S1 Fisika  
Judul : Koreksi Pergeseran Statik Data Magnetotellurik (MT)  
Menggunakan Metode Geostatistik , Perata-rataan, dan Time Domain  
Electromagnetic

### ABSTRAK

Metode magnetotelluric (MT) merupakan metode yang efektif dalam memetakan kondisi bawah permukaan. Pada data MT, sering ditemukan adanya pergeseran statik yang disebabkan oleh beberapa hal, antara lain adalah heterogenitas di dekat permukaan, efek topografi ataupun kontak vertikal. Jika hal ini dibiarkan, maka akan menyebabkan kesalahan interpretasi pada resistivitas dan kedalaman. Untuk mengatasi fenomena ini dapat dilakukan dengan menggunakan data *Time Domain Electromagnetic* (TDEM). Namun hal itu harus dilakukan dengan menggunakan peralatan yang mahal dan akan menghabiskan waktu dan biaya operasional yang besar. Untuk mengatasi hal tersebut, upaya pemecahan masalah pergeseran statik terus dikembangkan antara lain dengan metode *Complex Kriging* (Cokriging), Perata-rataan (*averaging*), atau dengan menggunakan *geomagnetic transfer function*. Penelitian ini difokuskan pada pemecahan masalah pergeseran statik dengan membuat software berbasis Matlab menggunakan metode Cokriging dan Perata-rataan. Pengujian kedua metode tersebut dilakukan dengan menggunakan data sintetik dan data riil. Dari kedua metode tersebut didapat kesimpulan bahwa metode Perata-rataan memberikan hasil yang lebih baik.

Kata kunci: pergeseran statik, Magnetotelluric (MT), Cokriging, Perata-rataan, Time Domain Electromagnetic (TDEM)

Name : Agus Sulistyو

Study Program : Physics

Title : Static Shift Correction of Magnetotelluric (MT) data

Using Geostatistical Methods, Averaging, and Time Domain Electromagnetic

### **ABSTRACT**

Magnetotelluric method (MT) is an effective method to map the subsurface conditions. In the MT data, often found the existence of static shift can be caused by several things, among others, is the heterogeneity near the surface, the effect of topography or vertical contacts. If this is allowed, it will cause errors of interpretation in resistivity and depth. To overcome this phenomenon can be done using data Time Domain Electromagnetic (TDEM). But it must be done by using expensive equipment and will spend the time and operational costs are great. To overcome this, the static shift problem solving efforts continue to be developed include the method of Complex Kriging (Cokriging), Averaging, or by using geomagnetic transfer function. This study focused on problems solving of static shift by creating software based Matlab using Cokriging and Averaging. Testing the two methods are conducted using synthetic data and real data. Of the two methods could be concluded that the Averaging method gives better results.

Keywords: static shift, Magnetotelluric (MT), Averaging, Time Domain Electromagnetic

## DARTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ixii</b>
<b>ABSTRACK</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Metodologi Penelitian .....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Metode Magnetotelluric .....	5
2.1.1 Prinsip Dasar MT .....	5
2.1.2 Skin Depth.....	8
2.1.3 Transverse Electric Mode.....	9
2.1.4 Transverse Magnetic Mode.....	10
2.2 PENYEBAB PERGESERAN STATIK.....	11
2.2.1 Heterogenitas Permukaan.....	11
2.2.2 Topografi .....	14
2.2.3 Kontak Vertikal .....	16
2.3 KOREKSI PERGESERAN STATIK .....	17
2.3.1 Time Domain Electromagnetic (TDEM) .....	17
2.2.2 Metode Geostatik Cokriging.....	18
2.2.3 Metode Perata-Rataan (Averaging) .....	19
2.2.4 Geomagnetic Transfer Function .....	19
<b>BAB 3 PEMBUATAN PROGRAM</b> .....	<b>21</b>
3.1 Program Cokriging.....	21
3.2 Program Koreksi Perata-Rataan .....	24

3.3 Proses Program Koreksi Pergeseran Statik .....	26
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
4.1 Model Heterogenitas Permukaan .....	30
4.1.1 Pengkoreksian Model Heterogenitas Permukaan.....	31
4.1.2 Analisis 1-D Model Heterogenitas Permukaan .....	32
4.1.3 Hasil Inversi 2-D Model Heterogenitas Permukaan .....	37
4.2 Model Topografi .....	41
4.2.1 Pengkoreksian Model Topografi .....	42
4.2.2 Analisis 1-D Model Topografi.....	43
4.2.3 Hasil Inversi 2-D Model Topografi .....	46
4.3 Pemodelan Kontak Vertikal .....	51
4.3.1 Pengkoreksian Model Kontak Vertikal .....	52
4.3.2 Analisis 1-D Model Kontak Vertikal.....	53
4.3.3 Hasil Inversi 2-Dmodel Kontak Vertikal .....	57
4.4 Data Riil .....	61
4.4.1 Pengkoreksian Data Riil .....	63
4.4.2 Analisis 1-D Data Riil.....	63
4.4.3 Hasil Inversi 2-Ddata Riil.....	65
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>70</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram alir penelitian.....	3
Gambar 2.1 Penjalaran gelombang EM di atmosfer dan di bumi.....	6
Gambar 2.2 Interaksi gelombang EM dengan medium di bawah permukaan bumi.....	7
Gambar 2.3 skin depth sebagai fungsi frekuensi sinyal MT dan resistivitas bumi.....	9
Gambar 2.4 Deskripsi TE mode.....	10
Gambar 2.5 Deskripsi TM mode.....	10
Gambar 2.7 Perbedaan TE dan TM mode.....	11
Gambar 2.8 Penjalaran arus listrik efek heterogenitas permukaan.....	12
Gambar 2.9 Pemodelan ke depan pergeseran statik efek heterogenitas permukaan.....	12
Gambar 2.10 Efek galvanik pada benda konduktif dan resistif .....	13
Gambar 2.11 Penjalaran medan listrik model topografi.....	14
Gambar 2.12 Pemodelan ke depan pergeseran statik efek topografi.....	15
Gambar 2.13 Contoh hasil pengukuran kotak vertikal.....	16
Gambar 2.14 Kurva pegeseran statik tepat pada kondisi kontak vertikal.....	17
Gambar 2.15 Pengkoreksian MT menggunakan TDEM, sebelum dikoreksi dan sesudah koreksi.....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penggunaan Persamaan Cokriging.....	23
Gambar 3.2 Tampilan program Cokriging.....	24
Gambar 3.3 Diagram Alir pengkoreksian Perata-rataan.....	25
Gambar 3.4 Tampilan setelah ditambahkan koreksi Perata-rataan.....	25
Gambar 3.5 Tampilan pemasukan data.....	26
Gambar 3.6 Tampilan Kurva TE dan TM serta fasenya.....	27
Gambar 3.7 Tampilan input data <i>.dtl</i> .....	27
Gambar 3.8 Tampilan input data stasiun yang ingin dikoreksi dengan Perata-rataan.....	28
Gambar 3.9 Tampilan input data stasiun Perata-rataan.....	28
Gambar 3.10 Tampilan output koreksi Perata-rataan.....	29

Gambar 4.1 Model Heterogenitas Permukaan.....	30
Gambar 4.2 Pergeseran statik stasiun kelima model heterogenitas permukaan.	31
Gambar 4.3 Pergeseran statik pengkoreksian Cokriging dan Perata-rataan....	32
Gambar 4.4 Kurva TE model heterogenitas permukaan sebelum dikoreksi.....	33
Gambar 4.5 Kurva TE model heterogenitas permukaan koreksi Perata-rataan.	33
Gambar 4.6 Kurva TE model heterogenitas permukaan koreksi Cokriging.....	34
Gambar 4.7 Perbandingan kurva model heterogenitas tergeser dan kurva seharusnya.....	35
Gambar 4.8 Kurva TM model heterogenitas permukaan sebelum koreksi.....	36
Gambar 4.9 Kurva TM model heterogenitas permukaan koreksi Perata-rataan	36
Gambar 4.10 Kurva TM model heterogenitas permukaan koreksi Cokriging	36
Gambar 4.11 Hasil inversi model heterogenitas permukaan sebelum dikoreksi	36
Gambar 4.12 Penampang semu model heterogenitas permukaan sebelum dikoreksi	38
Gambar 4.13 Hasil Inversi model heterogenitas permukaan koreksi perata- rataan.....	39
Gambar 4.14 Penampang semu model heterogenitas permukaan koreksi Perata-rataan.....	39
Gambar 4.15 hasil Inversi model heterogenitas permukaan koreksi Cokriging	40
Gambar 4.16 Penampang semu model heterogenitas permukaan koreksi Cokriging.....	40
Gambar 4.17 Model topografi.....	41
Gambar 4.18 Pergeseran statik puncak model topografi.....	41
Gambar 4.19 Pergeseran statik dan pengkoreksian model topografi.....	42
Gambar 4.20 Kurva TE model topografi sebelum dikoreksi.....	43
Gambar 4.21 Kurva TE model topografi koreksi Perata-rataan.....	43
Gambar 4.22 Kurva TE model topografi koreksi Cokriging.....	44
Gambar 4.23 Kurva TM model topografi sebelum dikoreksi.....	45
Gambar 4.24 Kurva TM model topografi koreksi Perata-rataan.....	45
Gambar 4.25 Kurva TM model topografi koreksi Cokriging.....	46
Gambar 4.26 Hasil inversi model topografi sebelum dikoreksi.....	47
Gambar 4.27 Penampang semu model topografi sebelum dikoreksi.....	47

Gambar 4.28 Hasil Inversi model topografi koreksi Perata-rataan.....	48
Gambar 4.29 Penampang semu model topografi koreksi Perata-rataan.....	49
Gambar 4.30 Hasil inversi model topografi koreksi Cokriging.....	50
Gambar 4.31 Penampang semu model topografi koreksi Cokriging.....	50
Gambar 4.32 Model kontak vetikal.....	51
Gambar 4.33 Pergeseran statik stasiun kelima model kontak vertikal.....	52
Gambar 4.34 Pergeseran statik model kontak vertikal.....	52
Gambar 4.35 Kurva TE model kontak vertikal sebelum dikoreksi.....	54
Gambar 4.37 Kurva TE model kontak vertikal koreksi Cokriging.....	54
Gambar 4.38 Kurva TM model kontak vertikal sebelum dikoreksi.....	56
Gambar 4.39 Kurva TM model kontak vertikal koreksi Perata-rataan.....	56
Gambar 4.40 Kurva TM model kontak vertikal koreksi Cokriging.....	57
Gambar 4.41 Hasil inversi model kontak vertikal sebelum dikoreksi.....	58
Gambar 4.42 Penampang semu model kontak vertikal sebelum dikoreksi.....	59
Gambar 4.43 Hasil inversi model kontak vertikal koreksi Perata-rataan.....	59
Gambar 4.44 Penampang semu model kontak vertikal koreksi Perata-rataan...	60
Gambar 4.45 hasil Inversi model kontak vertikal koreksi Cokriging.....	61
Gambar 4.47 Penampang semu model kontak vertikal koreksi Cokriging.....	61
Gambar 4.48 Koreksi TDEM stasiun 9.....	63
Gambar 4.49 Koreksi data stasiun 9.....	63
Gambar 4.50 kurva TE data riil Sebelum dikoreksi.....	64
Gambar 4.51 Kurva TE data riil koreksi TDEM.....	64
Gambar 4.52 kurva TE data riil koreksi Perata-rataan.....	65
Gambar 4.53 Inversi data Riil sebelum dikoreksi.....	66
Gambar 4.54 Inversi data Riil koreksi TDEM.....	67
Gambar 4.55 Inversi data Riil koreksi Perata-rataan.....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TE sebelum dan model heterogenitas permukaan sesudah koreksi.....	34
Tabel 4.2 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TM sebelum dan model heterogenitas permukaan sesudah koreksi.....	37
Tabel 4.3 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TE model topografi sebelum dan sesudah koreksi.....	44
Tabel 4.4 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TM model topografi sebelum dan sesudah koreksi.....	46
Tabel 4.5 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TE model kontak vertikal sebelum dan sesudah koreksi.....	54
Tabel 4.6 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TM model kontak vertikal sebelum dan sesudah koreksi.....	57
Tabel 4.7 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TE data riil sebelum dan sesudah koreksi.....	65

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Metode *Magnetotelluric* (MT) merupakan salah satu metode geofisika yang sangat efektif dalam mendeteksi dan memodelkan bagian bawah bumi terutama dalam memodelkan sistem panas bumi. Hal ini dikarenakan sistem panas bumi biasanya berada di sekitar daerah pegunungan berbatuan vulkanik dengan topografi yang tidak rata serta karakter resistivitas yang unik. Penetrasi dari metoda MT lebih besar dibandingkan metode-metode lain.

Dalam eksplorasi MT terkadang dijumpai adanya pergeseran statik. Pergeseran statik didefinisikan sebagai pergeseran vertikal (*vertical shift*) resistivitas semu kurva *sounding* antara dua kurva di satu site (TE dan TM), tanpa ada perbedaan lain baik dalam bentuk kurva atau fase (Xiao, 2004). Pergeseran statik adalah fenomena dari pengukuran MT yang sangat penting untuk dipelajari. Pada fakta yang terjadi dilapangan, fenomena ini penting untuk diperhatikan dan pengkajian mengenai penyebab pergeseran statik tersebut sangat penting untuk diamati. Bila efek pergeseran statik tidak dihilangkan, maka akan menyebabkan kesalahan interpretasi pada nilai resistivitas dan kedalaman pada data MT.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menghilangkan pengaruh pergeseran statik. Metode geofisika lain yang dapat dilakukan adalah dengan pengukuran *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) atau biasa disebut juga *Transien Electromagnetic* (TEM). TDEM sama halnya dengan pengambilan data MT namun menggunakan sumber buatan dan yang digunakan hanyalah gelombang sekunder dari medan magnet, sehingga data TE dan TM tidak mengalami pergeseran statik.

Jika data geofisika lainnya tidak tersedia, maka untuk mengoreksi efek pergeseran statik pada data MT dapat dilakukan dengan metode numerik antara lain adalah perata-rataan (Grandis, 1996) dan metode geostatik (Cokriging). Hal tersebut bisa

dilakukan untuk memperbaiki data MT yang mengalami pergeseran statik dan juga mengurangi biaya eksplorasi.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk :

- a. Mempelajari fenomena pergeseran statik pada data MT.
- b. Mengkoreksi pergeseran statik menggunakan metode Cokriging, Perata-rataan dan TDEM.
- c. Mengetahui perbandingan metode pengkoreksian pergeseran statik antara metode Cokriging dengan metode Perata-rataan.
- d. Memberikan rekomendasi terbaik dari kedua metode numerik yaitu Cokriging dan Perata-rataan dalam pengkoreksian pergeseran statik.

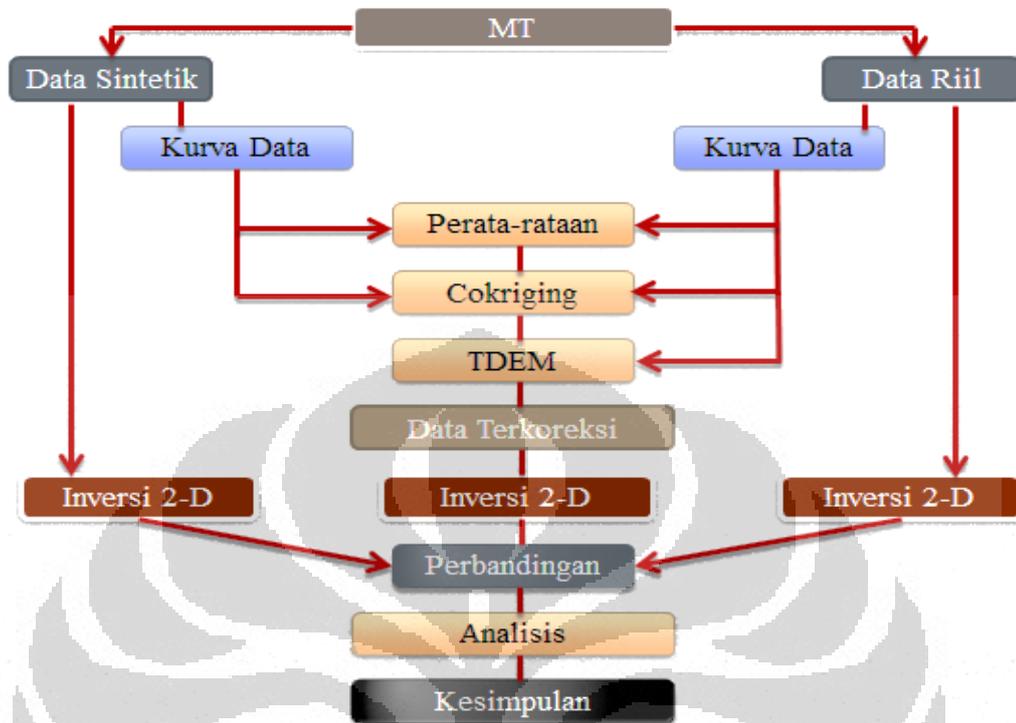
## **1.3 Batasan masalah**

Penelitian membahas mengenai analisis data pergeseran statik model sintetik yang dikoreksi oleh metode Cokriging dan perata-rataan. Dari kedua metode tersebut akan dibandingkan pengkoreksian dengan menggunakan data TDEM pada data riil.

## **1.4 Metodologi Penelitian**

Program pengkoreksian pergeseran statik yaitu metode Geostatik (Cokriging) telah dilakukan sebelumnya (Ningsih, 2010). Pada penelitian ini akan dilanjutkan pemrograman serupa dengan menggunakan prinsip Perata-rataan dengan menggunakan Matlab. Program Perata-rataan dan Cokriging diintegrasikan menjadi satu kesatuan menjadi program pengkoreksian pergeseran statik data MT. Dengan penyatuan kedua program pergeseran statik tersebut, maka perbandingan kedua metode yaitu Cokriging dan Perata-rataan lebih mudah untuk diamati.

Proses diagram alir pada penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Diagram alir penelitian

### 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian kali ini terdiri dari beberapa tahapan yang dijelaskan mulai dari Bab 1 hingga Bab 5. Setiap bab menjelaskan hal sebagai berikut

#### 1. Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, dan juga metodologi penelitian. Bab 1 ini secara umum menjelaskan tentang bagaimana proses penelitian ini dikerjakan hingga didapatkan kesimpulan.

#### 2. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab 2 menjelaskan mengenai studi literatur tentang konsep dasar yang berhubungan dengan penelitian ini.

#### 3. Bab 3 Pembuatan Program

Penelitian menjelaskan mengenai fenomena pergeseran statik dan pengkoreksiannya secara numerik. Untuk memudahkan proses matematik

yang ada maka digunakan *software* Matlab sebagai program operasinya. Pada bab ini dijelaskan mengenai pembuatan program dan proses penggunaan program tersebut.

#### 4. Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab 4 menjelaskan mengenai hasil yang telah dilakukan. Terdapat dua hasil pada penelitian kali ini yaitu hasil dengan menggunakan data sintetik dari pemodelan ke depan dengan menggunakan *software* MT2dFor dan hasil dengan menggunakan data riil dari suatu arena lapangan panas bumi. MT2dFor merupakan program pemodelan dua dimensi yang dikembangkan oleh Laboratorium Geofisika Universitas Indonesia.

#### 5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab 5 merupakan bagian akhir dari penulisan penelitian ini. Dari hasil dan pembahasan yang dijelaskan pada Bab 4, didapatkan kesimpulan yang dijelaskan pada bab ini. Selain adanya kesimpulan, pada bab ini juga dijelaskan mengenai saran mengenai hal-hal yang berkaitan dan menunjang mengenai penelitian yang perlu dilakukan berikutnya.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Metode Magnetotelluric**

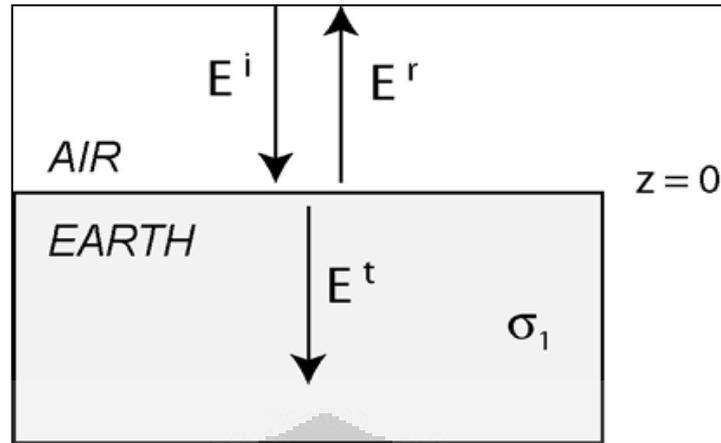
Magnetotelluric (MT) merupakan suatu metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui struktur resistivitas yang ada di bawah permukaan bumi. Metode MT ini memanfaatkan arus listrik alami yang terjadi di alam, yaitu variasi nilai medan listrik dan medan magnet yang berubah terhadap waktu. Parameter terukur adalah variasi medan listrik dan medan magnet yang diukur secara bersamaan, maka perbandingan kompleks (impedansi) dapat digunakan untuk mendeskripsikan penetrasi medan elektromagnet (EM) ke dalam bumi.

Medan yang dihasilkan dari medan listrik disebut sebagai arus *telluric* yang mengalir di dalam bumi. *Range* frekuensi yang digunakan dalam eksplorasi MT mulai dari frekuensi tinggi hingga frekuensi sangat rendah. Dengan menggunakan frekuensi yang sangat rendah MT mampu untuk mendeteksi nilai resistivitas bawah permukaan bumi sampai penetrasi yang sangat dalam hingga puluhan kilometer.

Ada dua sumber utama sinyal EM alami yang digunakan dalam eksplorasi MT. Dari 1 -10.000 Hz, medan EM alami utama yang dihasilkan oleh aktivitas petir. Sumber ini berjalan melalui ionosfer. Sinyal di bawah 1 Hz datang dari fluktuasi medan magnet bumi, yang disebabkan oleh perubahan dalam magnetosfer. Magnetosfer adalah zona kompleks plasma yang terus-menerus diterpa angin matahari (Vozoff, 1991).

##### **2.1.1 Prinsip Dasar MT**

Gelombang EM yang datang akan merambat di atmosfer menuju bumi. Sebagian gelombang akan masuk ke dalam bumi secara difusi dan sebagian gelombang lainnya akan terefleksikan kembali ke atas. Penjelasan mengenai penjalaran gelombang EM dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Penjalaran gelombang EMdi atmosfer dan di bumi  
[Unsworth, 2008]

Gelombang datang memiliki amplitudo sebesar  $E^i$ , frekuensi senilai  $\omega$ , bilangan gelombang sebesar  $k_0$ , dengan asumsi konduktivitas udara adalah nol, gelombang mengalami perlambatan. Maka :

$$k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \quad (2.1)$$

$$E_x^i(z, t) = E^i e^{-ik_0 z} e^{-i\omega t} \quad (2.2)$$

Pada gelombang EM yang terefleksikan memiliki persamaan yang serupa pada persamaan gelombang datang namun dengan amplitudo sebesar  $E^r$ , pada gelombang refleksi ini memiliki arah perambatan gelombang yang berlawanan arah dengan arah gelombang datang, sehingga:

$$E_x^r(z, t) = E^r e^{ik_0 z} e^{-i\omega t} \quad (2.3)$$

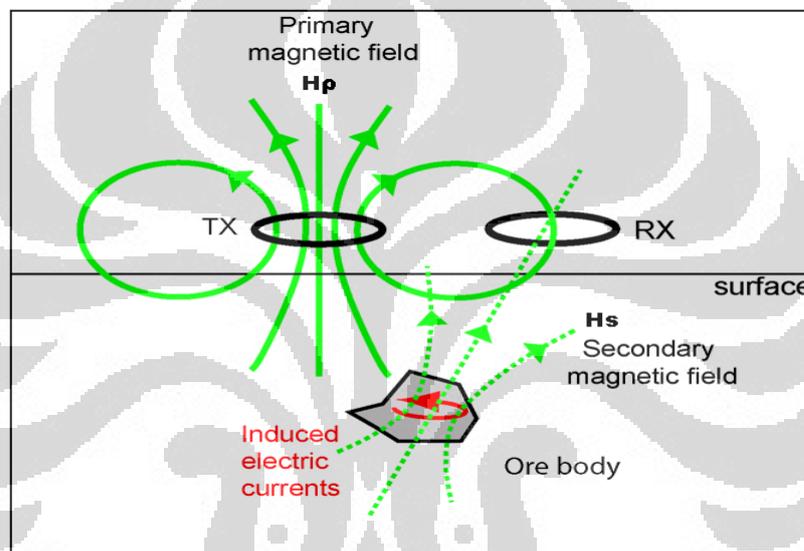
Gelombang EM yang masuk ke bumi memiliki nilai konduktivitas yang relative besar jika dibandingkan dengan konduktivitas udara. Sehingga akan terjadi difusi dengan amplitudo senilai  $E^i$ . Dengan asumsi bahwa *displacement current* dapat diabaikan jika dibandingkan dengan nilai dari arus konduksi yang terjadi, Maka :

$$k_1 = (1-i) \sqrt{\frac{\omega \mu \sigma_1}{2}} \quad (2.4)$$

Sehingga sinyal yang ditransmisikan dapat dijelaskan sebagai

$$E_x^r(z,t) = E^r e^{ik_z z} e^{-i\omega t} \quad (2.5)$$

Gelombang EM yang ditransmisikan ke dalam bumi berinteraksi dengan medium yang memiliki nilai resistivitas tertentu. Hasil dari interaksi tersebut mengakibatkan terjadinya induksi yang menyebabkan terbentuknya arus *telluric* dan medan magnetik sekunder yang nantinya sinyal tersebut akan ditangkap oleh *receiver* MT untuk diketahui struktur resistivitas di dalamnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Interaksi gelombang Elektromagnetik dengan medium di bawah permukaan bumi [Unsworth, 2008]

Tx adalah sumber gelombang EM yang memiliki medan magnetik primer ( $H_p$ ), kemudian gelombang tersebut ditransmisikan ke bawah permukaan bumi, menginduksi batuan yang ada di bawah permukaan bumi yang memiliki nilai resistivitas tertentu sehingga terjadi interaksi yang menyebabkan timbulnya medan magnetik sekunder ( $H_s$ ). Hasil dari interaksi tersebut akan ditangkap oleh receiver (Rx).

Sinyal yang ditangkap oleh alat MT merupakan sinyal yang berasal dari medan elektromagnetik total yaitu medan elektromagnetik yang berasal dari gelombang magnetik primer dan sekunder yang terjadi di permukaan bumi yang bergantung dengan variasi waktu. Sesuai dengan sifat gelombang elektromagnetik pada

suatu medium penetrasi dari gelombang tersebut akan bergantung pada frekuensi dari gelombang tersebut dan sifat kerestifan dari medium yang dilaluinya.

Dalam memahami metode magnetotellurik, sumber gelombang yang datang ke bumi dianggap sebagai gelombang planar (bidang). Resistivitas Bumi jauh lebih rendah dari atmosfer, sehingga sinyal EM menjalar sebagai gelombang di udara dan berdifusi di Bumi. Persamaan diferensial dasar yang mengatur perilaku medan elektromagnetik dijelaskan oleh persamaan Maxwell:

$$\text{Hukum flux magnetik } \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.6)$$

$$\text{Hukum Faraday } \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.7)$$

$$\text{Hukum Coulomb } \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (2.8)$$

$$\text{Hukum Ampere } \nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2.9)$$

Hukum Faraday menyatakan bahwa perubahan medan magnet terhadap waktu menginduksi adanya medan listrik. Begitu pula yang terjadi pada Hukum Ampere, bahwa medan magnet tidak hanya terjadi karena adanya sumber berupa arus listrik, akan tetapi dapat juga disebabkan oleh medan listrik yang berubah terhadap waktu sehingga menginduksi adanya medan magnet. Hukum Coulomb menyatakan bahwa medan listrik disebabkan oleh adanya muatan listrik sebagai sumbernya, sedangkan Hukum kekontinyuan fluks menyatakan bahwa tidak ada medan listrik monopol.

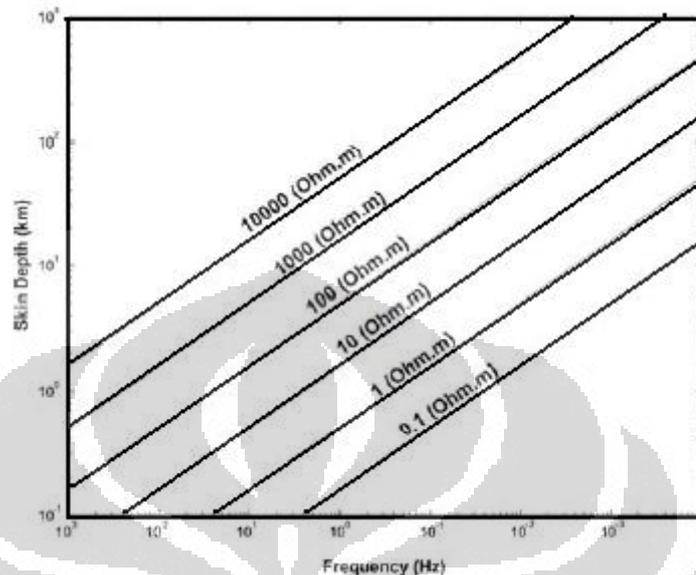
### 2.1.2 Skin Depth

Pada bab sebelumnya dijelaskan bahwa pada suatu medium, penetrasi dari gelombang tersebut akan bergantung pada frekuensi dari gelombang tersebut dan sifat kerestifan dari medium yang dilaluinya.

Secara garis besar, *skin depth* dapat diartikan sebagai fungsi kedalaman dimana amplitudo gelombang berkurang hingga kurang lebih menjadi sepertiga amplitudo

awal. Untuk medium 1-D homogen, diperoleh

$$\delta = 0.5\sqrt{\rho T} \quad (2.10)$$

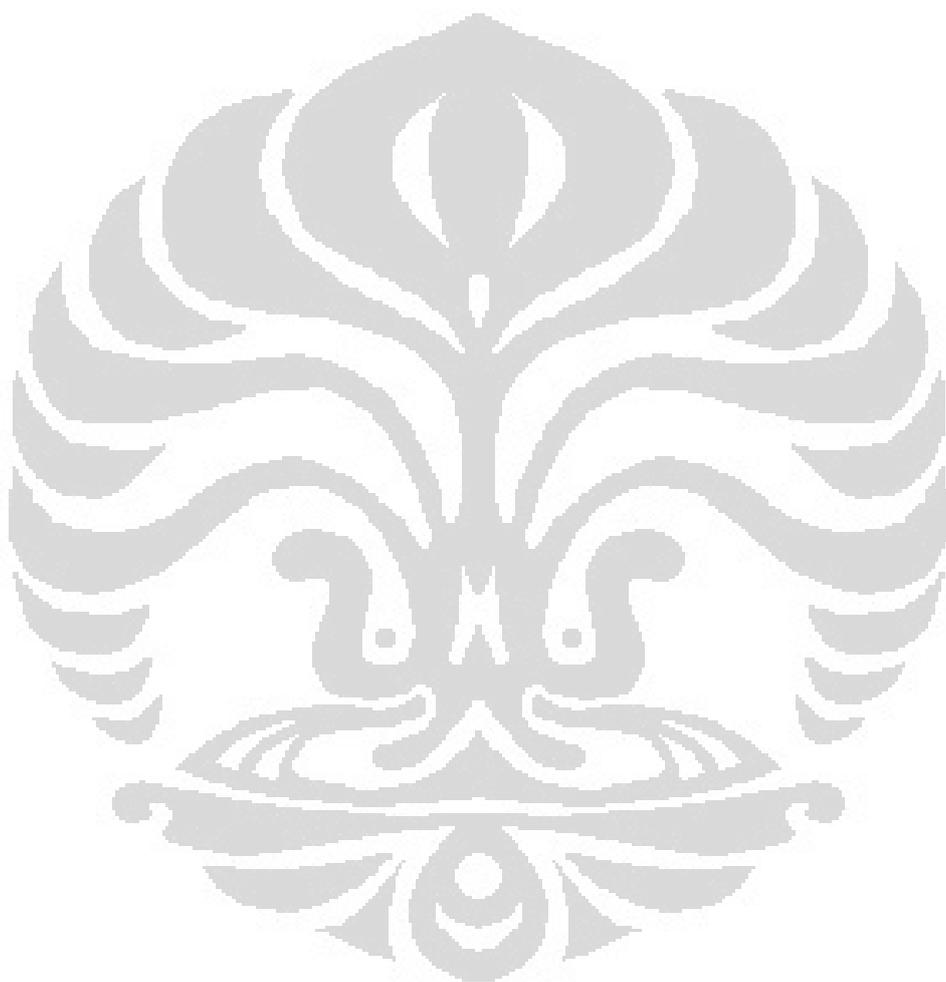


Gambar 2.3 skin depth sebagai fungsi frekuensi sinyal MT dan resistivitas bumi [Xiao, 2004]

Gambar 2.3 menjelaskan bagaimana frekuensi dan resistivitas berpengaruh terhadap penetrasi MT. Dengan  $\delta$  skin depth (km),  $\rho$  resistivitas batuan ( $\Omega.m$ ), dan  $T$  periode gelombang (detik). Makin kecil frekuensi gelombang, makin jauh penetrasi kedalamannya. Inilah konsep yang digunakan dalam metode MT yang menggunakan *natural source* yang merupakan gelombang elektromagnetik berfrekuensi kecil.

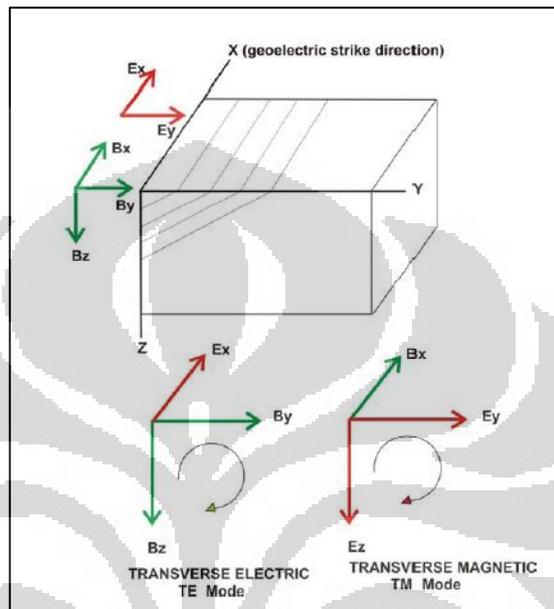
### 2.1.3 Transverse Electric Mode

*Transverse Electric* (TE) mode adalah salah satu mode dalam eksplorasi MT dimana komponen yang menunjukkan medan listrik sejajar dengan arah struktur utama, atau juga disebut *E-Polarization*. Pada TE mode komponen yang terdapat pada bidang arah sumbu y dan z hanya komponen magnetik saja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



efek statik yang disebabkan adanya heterogenitas resistivitas medium. Sehingga muatan-muatan terkumpul pada batas medium tersebut.

Untuk lebih memperjelas perbedaan antara TE dan TM mode dapat dilihat Gambar 2.7.



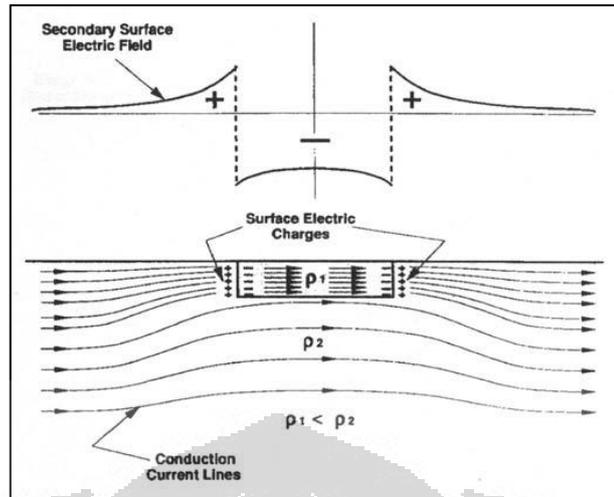
Gambar 2.7 Perbedaan TE dan TM mode [Xiao, 2004]

## 2.2 Penyebab Pergeseran Statik

Pergeseran statik (*static shift*) didefinisikan sebagai pergeseran vertikal (vertical shifting) resistivitas semu kurva *sounding*, antara dua kurva (TE dan TM) dalam satu site, tanpa ada perbedaan lain baik dalam bentuk kurva atau fase. Terdapat beberapa hal yang menyebabkan terjadinya pergeseran statik antara lain heterogenitas permukaan, batas vertikal struktur (kontak vertikal) dan juga karena adanya topografi.

### 2.2.1 Heterogenitas Permukaan

Penyebab pertama adanya fenomena pergeseran statik adalah karena adanya heterogenitas, (vozzof, 1991). Dengan adanya heterogenitas permukaan akan menyebabkan arah medan listrik terakumulasi pada batas heterogenitas tersebut sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 2.8.

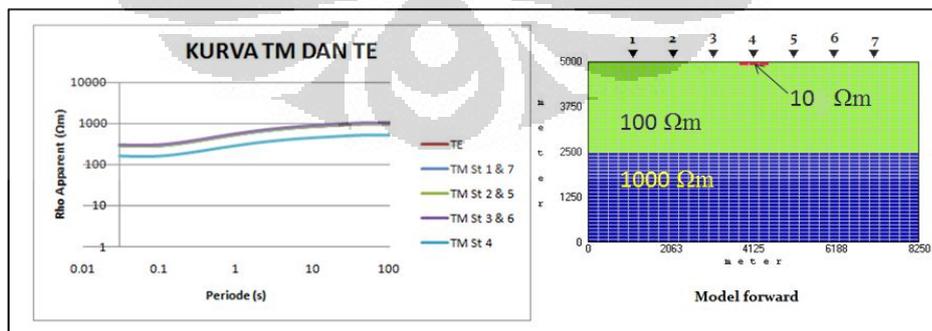


Gambar 2.8 Penjalaran arus listrik efek heterogenitas permukaan  
[Xiao, 2004]

Dengan system penjalalaran arus yang dijelaskan pada Gambar 2.8, maka berlaku:

- 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.

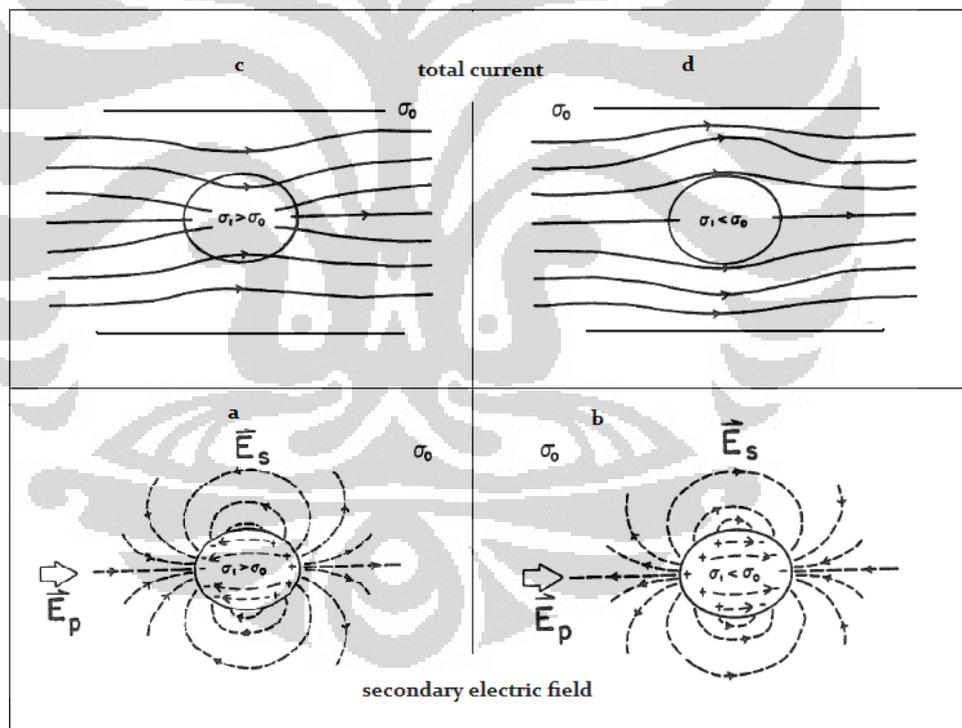
Dengan asumsi tersebut efek heterogenitas di permukaan akan berpengaruh pada pada semua frekuensi pada semua stasiun pengukuran. Berdasarkan penjelasan tersebut maka dibuat pemodelan ke depan yang diperlihatkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pemodelan ke depan pergeseran statik efek heterogenitas permukaan  
[Sulistyo, 2010]

Model kedepan pada Gambar 2.9 terlihat karena adanya heterogenitas permukaan menyebabkan Kurva TM dan TE pada stasiun keempat mengalami pergeseran statik. Untuk stasiun pengukuran MT lainnya, kurva TM dan TE tidak terjadi pergeseran statik, warna yang berbeda-beda pada kurva TM menyatu (memiliki nilai periode dan resistivitas semu yang sama). Semakin besar perbedaan nilai resistivitas antara heterogenitas permukaan dengan keadaan homogennya semakin besar pergeseran statik yang dihasilkan (Sulistyo, 2010)

Pergeseran statik karena adanya heterogenitas permukaan terjadi pada TM mode. Efek galvanik sangat berpengaruh pada model ini karena adanya akumulasi pada batas permukaan struktur yang menyebabkan perubahan penjalaran medan listrik. Untuk menjelaskan hal tersebut, sama halnya seperti Gambar 2.8 penjelasan lebih lanjut dapat dijelaskan pula dengan Gambar 2.10.



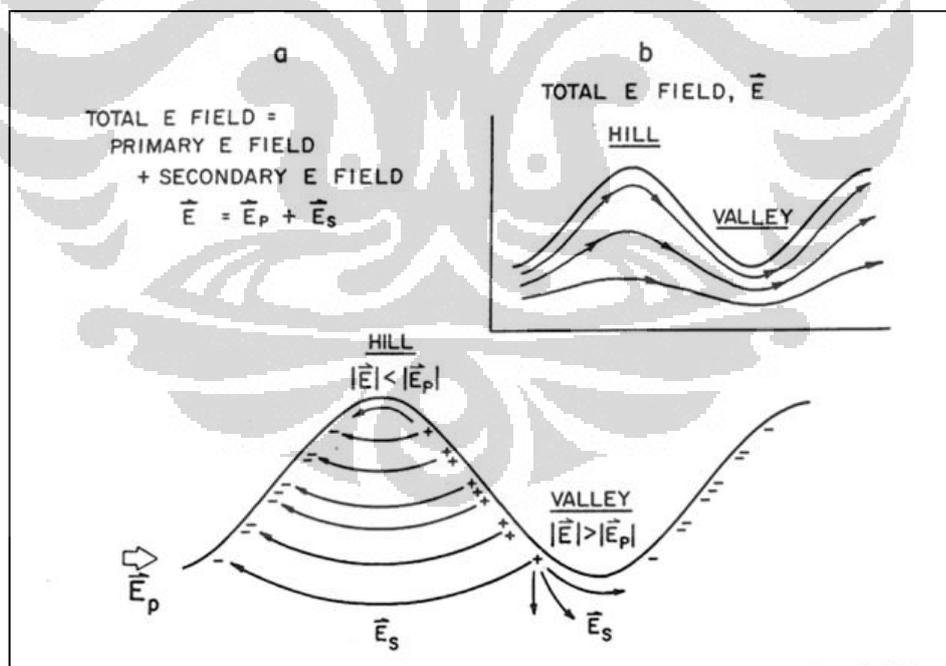
Gambar 2.10 Efek galvanik pada benda konduktif (a) dan resistif (b)  
[modifikasi dari Jiracek, 1985]

Pada Gambar 10a, permukaan benda yang lebih konduktif, total medan listrik berkurang menuju benda konduktif, terjadi penguatan pada ujung benda konduktif dan menghilang pada sisinya. Berbeda dengan Gambar 10b, pada benda resistif,

total medan listrik meningkat menuju benda resistif, berkurang pada ujung benda konduktif dan meningkat sepanjang sisi benda tersebut. Efek dari akumulasi muatan pada benda tersebut akan menyebabkan pengurangan ataupun peningkatan total medan listrik pada lokasi lainnya. Oleh karena itu, pengukuran MT akan tergeser keatas bila melalui benda yang resistive (Gambar 10b), sebaliknya akan tergeser kebawah bila melalui benda konduktif (Gambar 10a).

### 2.2.2 Topografi

Pergeseran statik dapat pula disebabkan oleh topografi. Gambar 2.11 menjelaskan efek galvanik untuk model dua dimensi pucak dan lembah. Efek galvanik ini terjadi bila medan magnet listrik tegak lurus dengan dengan strike dari topografi atau dengan kata lain terjadi saat TM mode [Jiracek, 1985]. Dengan pendekatan seperti ini, maka tidak terdapat 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.

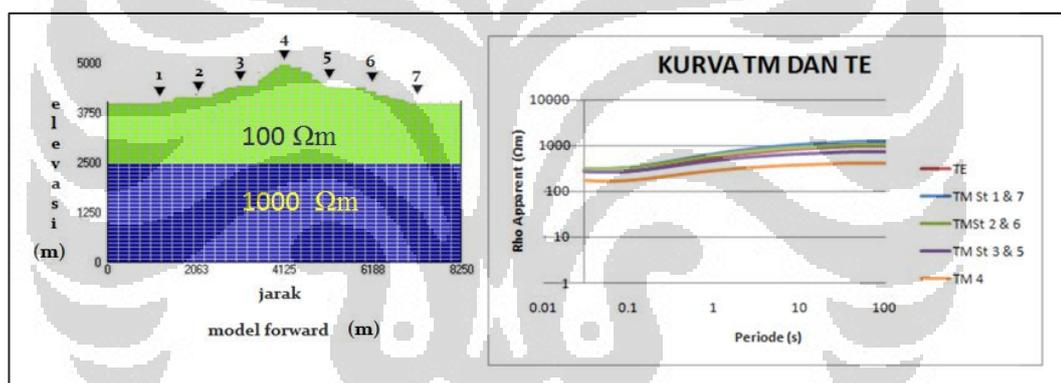


Gambar 2.11 Penjalaran medan listrik model topografi [Jiracek, 1985]

Dengan melihat tipe penjalaran arus listrik seperti Gambar 2.11

- Akumulasi muatan terjadi pada terendah pada puncak dan lembah. Akumulasi muatan paling banyak terjadi pada kemirngan.
- Dilihat pada arah medan listriknya paling rendah ada pada puncak dan paling tinggi pada lembahnya.
- Dengan melihat medan listriknya maka resiitivitas semu terendah yang terukur terdapat pada puncak, resistivitas terukur paling tinggi berada pada lembah.

Berdasarkan penjelasan diatas, dibuat pemodelan ke depan dan menghasilkan kurva TE dan TM pada Gambar 2.12.

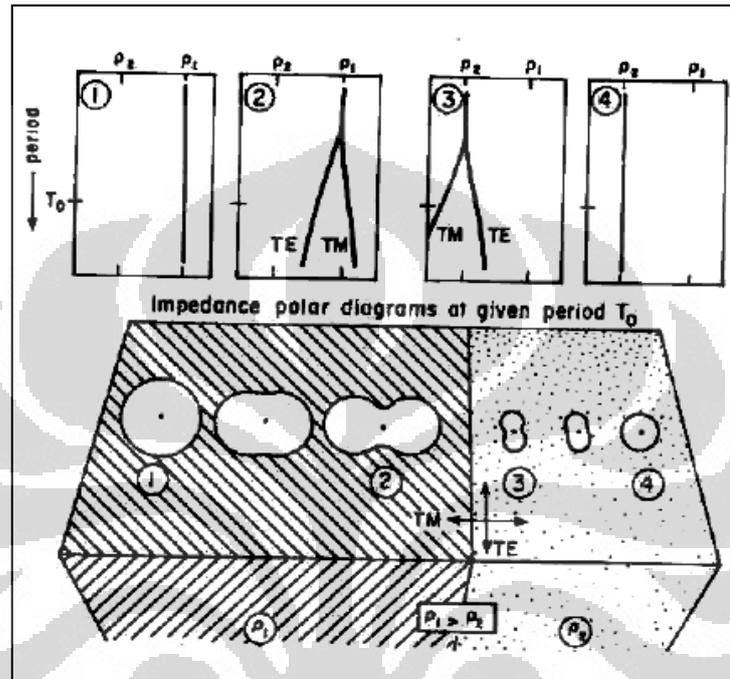


Gambar 2.12 Pemodelan kedepan pergeseran statik efek topografi  
[Sulistyo, 2010]

Pemodelan ke depan efek topografi diatas terlihat bahwa pada stasiun keempat terjadi pergeseran statik terbesar yakni pada puncak topografi, sedangkan pada stasiun lainnya, meskipun terjadi pergeseran statik namun tidak sebesar seperti yang terjadi pada puncak topografi. Semakin besar perbedaan ketinggian antara puncak dan lembahnya, maka semakin besar pula pergeseran statik yang terjadi (Sulistyo, 2010)

### 2.2.3 Kontak Vertikal

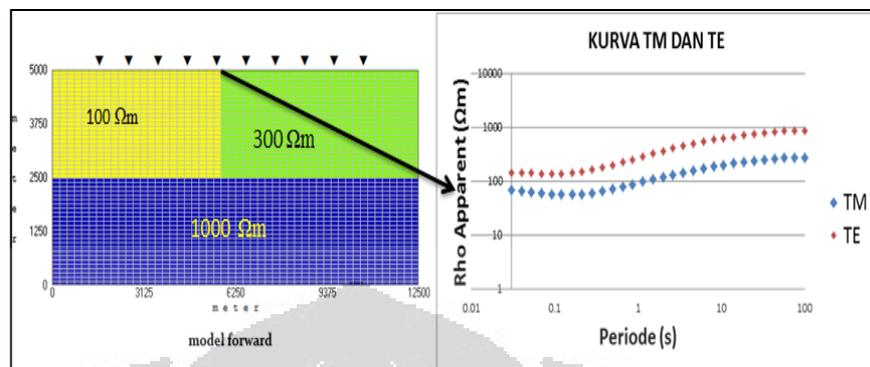
Pergeseran statik bisa terjadi pula karena adanya kontak vertikal atau pada eksplorasi MT di lapangan sering ditemukan adanya struktur patahan (fault) seperti yang ditunjukkan Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Contoh hasil pengukuran kotak vertikal [Vozoff, 1991]

Gambar 2.13 merupakan contoh hasil pengukuran diatas menjelaskan terdapat dua kontak resistivitas yaitu  $\rho_1$  dan  $\rho_2$ , dimana  $\rho_1 > \rho_2$ . Terdapat empat titik pengukuran, namun pada pengukuran pada bagian yang jauh dari kontak vertikal tidak terjadi pergeseran statik, mungkin karena efek dari akumulasi muatan tidak berdampak pada stasitun pengukuran tersebut. Yang menjadi perhatian adalah pada pengukuran yang terletak pada mendekati kontak vertikal atau bahkan pada batas kontak verikal. Pada bagian yang lebih resistif, digambarkan pada TM dan TE Gambar 2.13, kurva TM berada diatas kurva TEnya, sedangkan pada bagian yang kurang resistive kurva TM berada dibawah kurva TEnya. Hal yang membedakan efek dari kontak vertikal dengan penyebab pergeseran statik lainnya adalah pergesearan statik tidak terjadi pada periode rendah namun terjadi pada periode yang tinggi. Pergeseran statik akan terjadi pada semua periode bila

stasiun pengukuran MT terletak tepat pada kondisi kontak vertikalnya seperti yang ditunjukkan Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Kurva pegeseran statik tepat pada kondisi kontak vertikal [Sulistyo, 2010]

### 2.3 Koreksi Pergeseran Statik

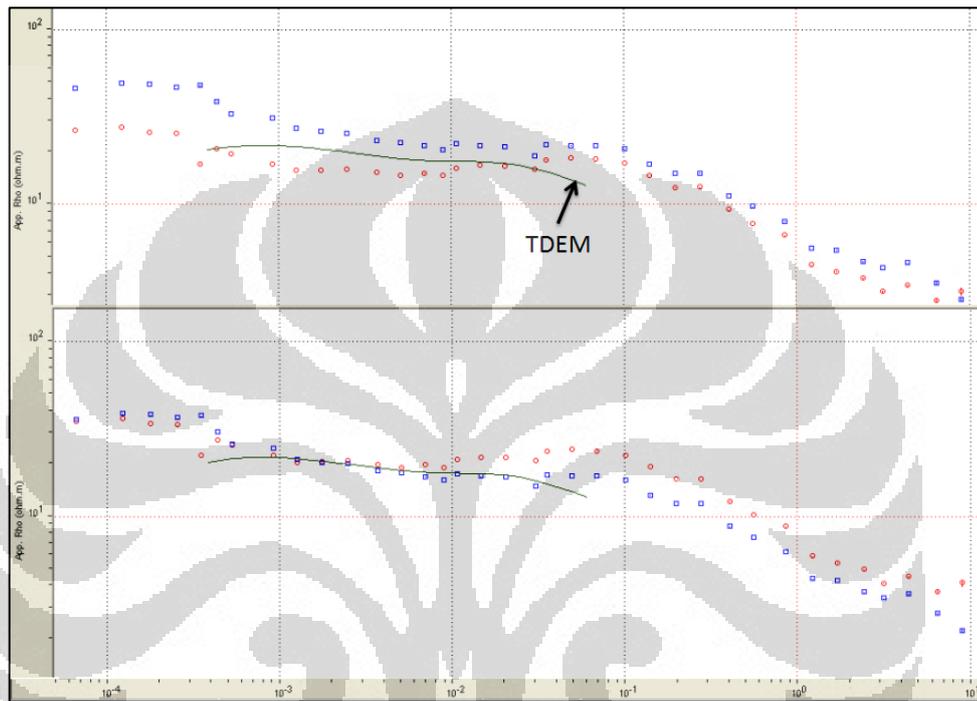
Pergeseran statik akan menyebabkan kesalahan interpretasi pada data MT yaitu pada interpretasi nilai resistivitas dan kedalaman. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkoreksian sehingga dapat menghilangkan ataupun mengurangi kesalahan interpretasi. Berikut disampaikan beberapa hal yang bisa dilakukan untuk mengkoreksi kurva MT yang mengalami pergeseran statik.

#### 2.3.1 Time Domain Electromagnetic (TDEM)

Untuk menghilangkan efek dari pergeseran statik, *Time Domain Elektromagnetic* (TDEM) adalah merupakan salah satu teknik geofisika yang dilakukan. TDEM hanya melibatkan pengukuran medan magnet skunder akibat terjadinya induksi medan magnet primer. Oleh karena itu TDEM tidak mengalami pergeseran statik. 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

$$\delta = 36\sqrt{\rho t} \quad (2.11)$$

Dari data TDEM yang telah diproses maka akan didapatkan data berupa kedalaman dengan nilai resistivitasnya yang kemudian *forward* ke dalam bentuk data MT. Maka dengan adanya data TDEM kurva MT dapat dikoreksi dengan cara menggesernya menuju kurva TDEM. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Pengkoreksian MT menggunakan TDEM, sebelum dikoreksi (gambar atas), sesudah koreksi (gambar bawah) [Diktat kuliah]

### 2.2.2 Metode Geostatik 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 pergeseran statik, jenis algoritma ini juga dapat digunakan, hanya saja, penggunaannya akan lebih kompleks, karena memperhitungkan dua buah komponen yaitu  $\rho_{app}$  dan  $\varphi$ . Algoritma ini sering disebut sebagai Cokriging (Complex Kriging) (Tournerie, Chouteau, dan Marcotte, 2007). Secara singkat, Cokriging dapat dikatakan sebagai 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.

### 2.2.3 Metode Perata-rataan (Averaging)

Teknik lain dalam pengkoreksian pergeseran statik adalah dengan perata-rata secara spasial yang diperkenalkan oleh Berdichevsky (1980) yang merata-ratakan secara geometri resistivitas semu pada lapangan Baikal (Tournerie, 2007). Dalam hal ini, diasumsikan bahwa efek regional yang merepresentasikan kondisi bawah permukaan sebenarnya akan muncul setelah dilakukan Perata-rataan (Beamish dan Travassos, 1992). Dalam penelitian ini, Perata-rataan dilakukan dengan merata-ratakan beberapa stasiun pengukuran (pada periode yang sama) disekitar stasiun yang mengalami pergeseran statik. Hasil dari nilai Perata-rataan dijadikan dasar untuk mengkoreksi data MT yang mengalami pergeseran statik.

### 2.2.4 Geomagnetic Transfer Function

Pengkoreksian pergeseran statik dengan *geomagnetic transfer function* ini adalah metodologi untuk mengkoreksi respon TE mode secara regional dengan bumi sistem 2-D hanya menggunakan fungsi respon elektromagnetik yang terukur yaitu impedansi dan fungsi transfer geomagnetik, bukan medan elektromagnetik [Ledo, 2001]. Pengkoreksian dengan sistem ini turunan *spasial* dari medan magnet diabaikan. Dengan demikian, terdapat dua sistem yaitu menentukan saat turunan horisontal dari magnet lapangan diabaikan, dan kemudian mengkoreksi resistivitas semu TE mode akibat distorsi galvanis.

Ekspresi yang berkaitan komponen MT yang diukur (impedansi dan fungsi transfer geomagnetik), berasal dari hukum Faraday sebagai berikut:

$$\text{rot } \vec{E} = -i\omega\mu\vec{H} \quad (2.12)$$

anggap x arah *strike*, untuk TE mode dari sistem struktur 2-D, komponen vertikal Persamaan (2.12) adalah:

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} = i\omega\mu H_z \quad (2.13)$$

TE mode dari medan listrik dapat dinyatakan sebagai produk dari elemen impedansi dan medan magnet  $E_x = Z_{xy}H_y$ , dan medan magnet vertikal dapat dinyatakan sebagai  $E_z = T_yH_y$  sehingga

$$\frac{\partial Z_{xy}}{\partial y} + \frac{Z_{xy}}{H_y} \frac{\partial H_y}{\partial y} = i\omega\mu T_y \quad (2.14)$$

Dengan menintegralkan terhadap y didapat

$$\Delta Z_{xy} = i\omega\mu \langle T_y \rangle \Delta y - \langle Z_{xy} \rangle \Delta \ln H_y$$

Dengan menggunakan aturan trapesium untuk integrasi, dan mengambil dua lokasi berturut-turut j dan j - 1, dapat dinyatakan impedansi di stasiun j sebagai fungsi dari impedansi di stasiun j - 1 dan fungsi transfer geomagnetik di kedua lokasi sebagai:

$$\Delta Z_j = \Delta Z_{j-1} + i\omega\mu \frac{\Delta y}{2} (T_j + T_{j-1}) \quad (2.15)$$

Dengan persamaan tersebut dibutuhkan dua stasiun pertama  $Z_j$  adalah stasiun yang akan dikoreksi dan referensinya  $Z_{j-1}$ .

### BAB 3 PEMBUATAN PROGRAM

Pembuatan program dengan menggunakan Matlab yaitu Cokriging (Complex kriging) telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Ningsih,2010). Pada penelitian ini penulis hanya menambahkan dengan metode pengkoreksian yang lain yaitu *averaging* (Perata-rataan).

#### 3.1 Program Cokriging

Cokriging merupakan salah satu metode pengkoreksian pergeseran statik dengan sistem persamaan interpolasi dari dua variable yang berbeda namun kedua variable tersebut secara *spasial* (ruang) masih berhubungan. Dua variable tersebut terdiri dari dua macam, variabel utama merupakan nilai yang ingin diketahui nilai terkoreksi dan variabel lain sebagai variabel pengestimasi yang disebut co-variabel (Choteau, 2007).

Matlab merupakan program yang berbasis pembacaan terhadap matriks, sehingga persamaan Cokriging yang berupa persamaan kompleks berikut

$$\sum_{p=1}^n \mu_{1p} Cov(u_k, u_p) + \sum_{p=1}^n \eta_{1p} + Cov(u_k, v_k) + \lambda_{1r} = Cov(u_0, v_k) \quad (3.1)$$

$$\sum_{p=1}^n \mu_{1p} Cov(v_k, u_p) + \sum_{p=1}^n \eta_{1p} + Cov(u_k, v_p) + \lambda_{1i} = Cov(u_0, v_k) \quad (3.2)$$

$$\sum_{p=1}^n \mu_{1p} = 1 \quad (3.3)$$

$$\sum_{p=1}^n \eta_{1p} = 0 \quad (3.4)$$

Dirubah kedalam bentuk matriks

$$[A][B] = [C] \quad (3.5)$$

Dengan  $k=1 \dots n$ , sedangkan  $\lambda_{1r}, \lambda_{1i}$  adalah pengali lagrange. Cov adalah fungsi covarian.

$$A = \begin{bmatrix} Cov(u_1, u_1)Cov(u_1, u_2) \dots Cov(u_1, u_n)Cov(u_1, v_1)Cov(u_1, v_2) \dots Cov(u_1, v_n)10 \\ \cdot \\ \cdot \\ Cov(u_n, u_1)Cov(u_n, u_2) \dots Cov(u_n, u_n)Cov(u_n, v_1)Cov(u_n, v_2) \dots Cov(u_n, v_n)10 \\ Cov(v_1, u_1)Cov(v_1, u_2) \dots Cov(v_1, u_n)Cov(v_1, v_1)Cov(v_1, v_2) \dots Cov(v_1, v_n)01 \\ \cdot \\ \cdot \\ Cov(v_n, u_1)Cov(v_n, u_2) \dots Cov(v_n, u_n)Cov(v_n, v_1)Cov(v_n, v_2) \dots Cov(v_n, v_n)01 \\ 1 \quad \dots \quad 1 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 00 \\ 0 \quad \dots \quad 0 \quad 1 \quad \dots \quad 1 \quad 00 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta_{1n} \\ \lambda_{1r} \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta_{1n} \\ \lambda_{1r} \\ \lambda_{1i} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} Cov(u_0 u_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ Cov(u_0 u_n) \\ Cov(u_0 v_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ Cov(u_0 v_n) \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dari persamaan matriks diatas maka selanjutnya tentukan nilai variogram  $u$  (rho) dan  $v$  (fase) dengan menggunakan persamaan semivarian

$$y(h) = 0.5(Z_x - Z_{x+h})^2 \quad (3.6)$$

Data-data semivarian yang telah didapatkan sebelumnya, kemudian dicari nilai rata-ratanya. Dari nilai rata-rata yang telah diperoleh, kemudian masukan kedalam persamaan variogram Gaussian sebagai berikut

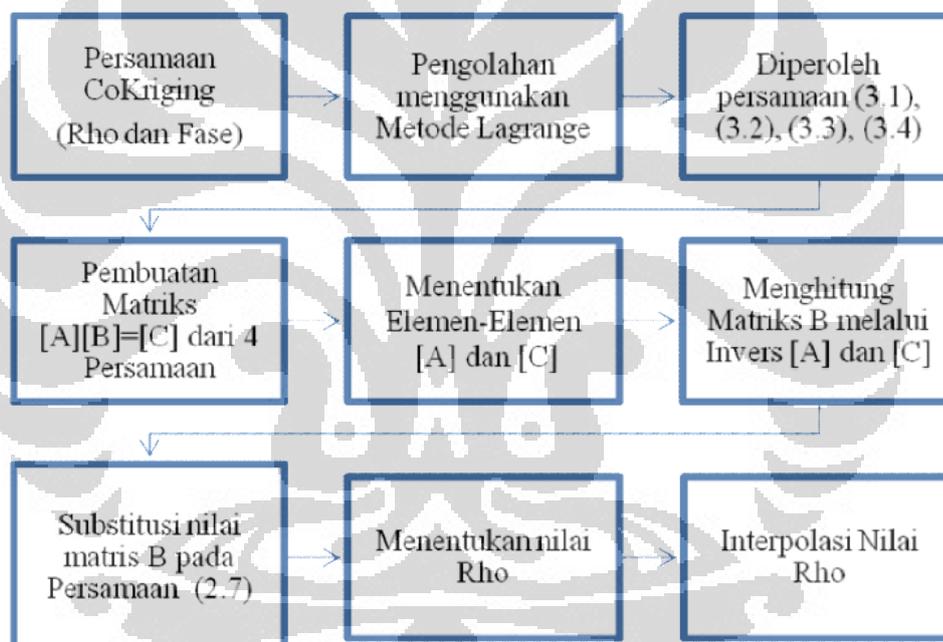
$$y(h) = c_0(1 - \delta(h) + c(1 - \exp(-\left(\frac{h}{a}\right)^2)) \quad (3.7)$$

$$y(h) = c(1 - \exp(-\left(\frac{[h]}{a}\right)^2)) \quad (3.8)$$

Dari persamaan variogram Gaussian, diperoleh  $c_0$ ,  $c$  dan  $a$ . Setelah diperoleh nilai  $c$  yang sesuai, selanjutnya untuk menentukan elemen-elemen matriks, nilai  $c$

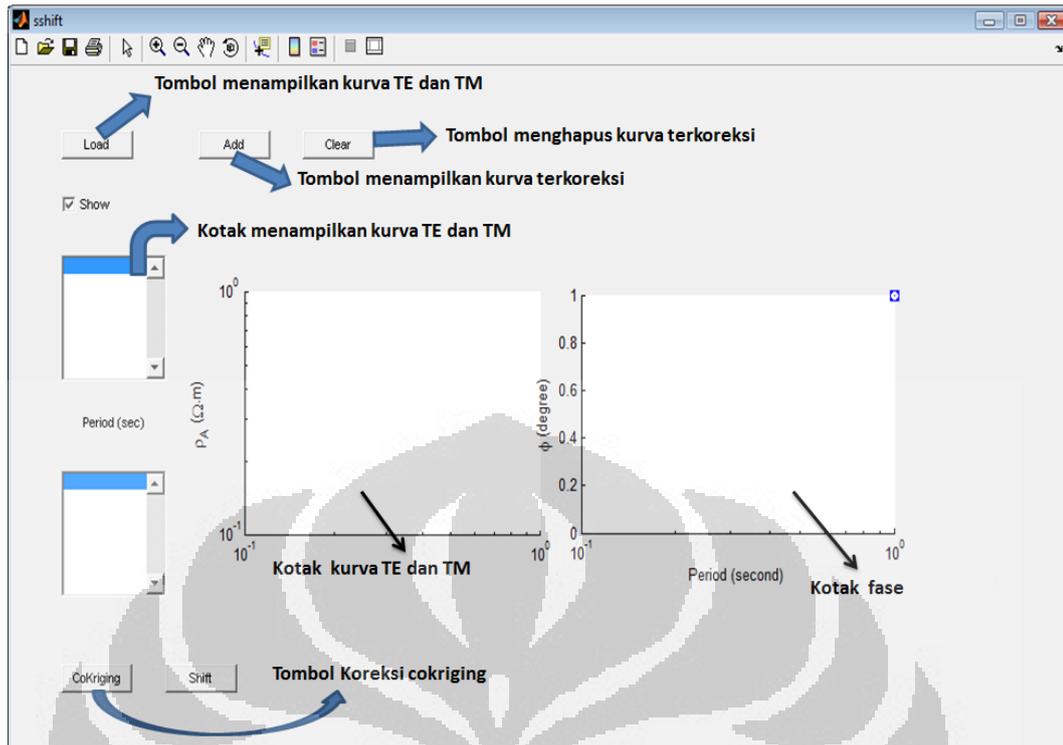
tersebut sebagai konstanta tetap dengan mensubstitusikan nilai  $h$  sesuai dengan jarak pada data. Apabila matriks  $A$  dan  $C$  sudah lengkap, maka kita dapat menentukan nilai matriks  $B$  dengan melakukan invers matrik  $A$  dan  $C$ . matriks  $B$  merupakan nilai dan apabila nilai-nilai ini sudah diketahui, maka kita dapat memperoleh nilai  $u$  ( $\rho$ ) dengan mensubstitusikannya pada Persamaan 3.6. Selanjutnya nilai  $\rho$  tersebut diinterpolasi, dan ditentukan nilai mediannya. Median dari  $\rho$  inilah yang digunakan sebagai hasil jarak pergeseran titik  $\rho$  setelah mengalami koreksi.

Berdasarkan penjelasan tersebut diatas, alur kerja dari program Cokriging ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penggunaan Persamaan Cokriging  
[Ningsih, 2010]

Persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya menjadi dasar untuk pengkoreksian metode Cokriging ke dalam Matlab. Adapun setelah dijalankan, tampilan program koreksi Cokriging ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Tampilan program Cokriging

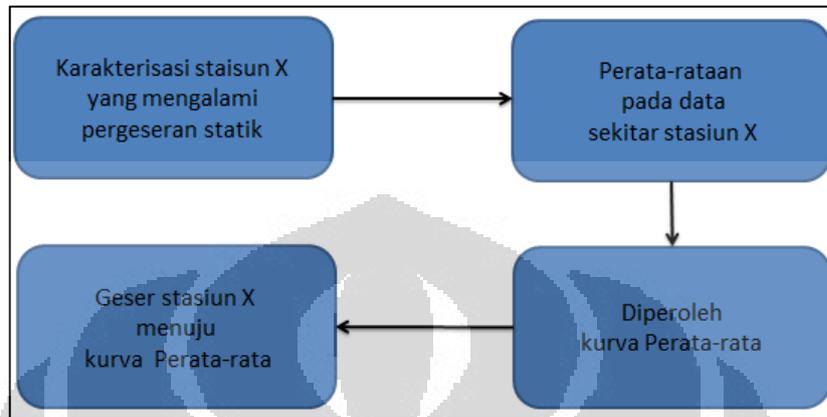
### 3.2 Program koreksi Perata-rataan

Metode pengkoreksian pergeseran statik yang dibuat pada penelitian ini adalah pengkoreksian dengan metode Perata-rataan (averaging). Berbeda dengan Cokriging yang memiliki persamaan yang sangat kompleks, perata-rataan hanyalah sistem pada makna “perata-rataan” pada umumnya. Perata-rataan dilakukan terhadap sekelompok data tertentu yang dianggap mewakili nilai baru, nilai baru tersebut dianggap sebagai nilai yang merepresentasikan keadaan homogen pada suatu area tertentu. Dalam hal ini, diasumsikan bahwa efek regional yang merepresentasikan kondisi bawah permukaan sebenarnya akan muncul setelah dilakukan perata-rataan (Beamish dan Travassos, 1992).

$$y_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad k = 1, \dots, m \quad m = \text{periode ke} - m \quad (3.9)$$

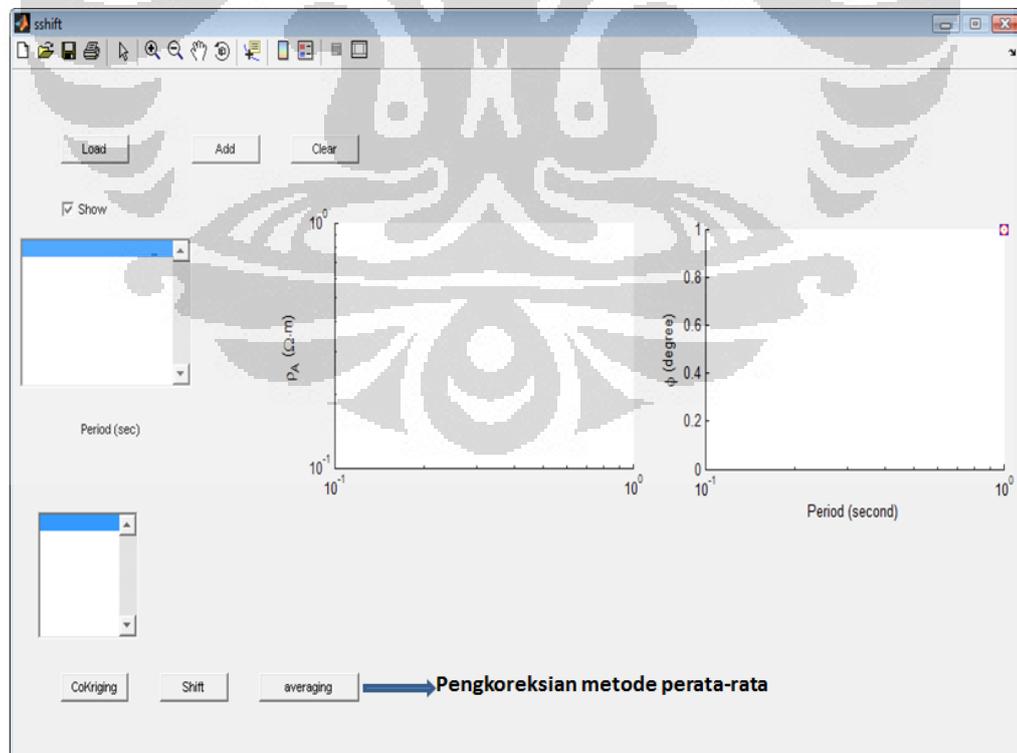
$y_k$  adalah rata-rata resistivitas, sedangkan  $k$  sebagai nilai periode tertentu.

Setelah didapatkan nilai perata-rataan, kemudian data MT yang mengalami pergeseran statik digeser menuju kurva perata-rataan tersebut. alur kerja dari pengkoreksian metode Perata-rataan diperlihatkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Alir pengkoreksian Perata-rataan

Program dasar pengkoreksian pergeseran statik telah dibuat pada penelitian sebelumnya pada Gambar 3.2. Tampilan program setelah ditambahkan pengkoreksi metode Perata-rataan



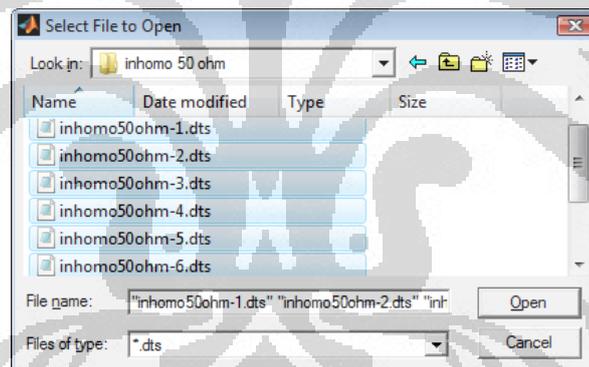
Gambar 3.4 Tampilan setelah ditambahkan koreksi Perata-rataa

### 3.3 Proses Program Koreksi Pergeseran Statik

Kedua metode pengkoreksian pergeseran statik telah disatukan menjadi satu program terintegrasi, sehingga dengan penyatuan tersebut kita dapat melakukan dua jenis pengkoreksian pergeseran statik dalam satu *window* dan bisa ditampilkan dalam waktu yang bersamaan seberapa besar pengkoreksian dari masing-masing program.

Adapun proses kerja dari program tersebut

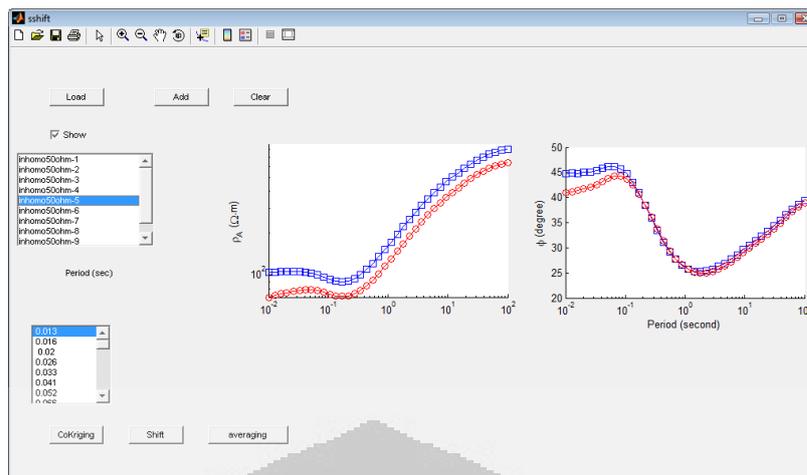
- *Load*, tombol ini berfungsi untuk input data, menampilkan kurva TE dan TM dari data yang telah kita dapatkan. Kurva TE dan TM serta fasenya muncul dalam kotak kurva dan fasenya. Dengan melihat kurva tersebut, kita dapat melihat stasiun pengukuran yang mengalami pergeseran statik. Untuk TM diindikasikan dengan warna merah dan TE dengan warna biru.



Gambar 3.5 Tampilan pemasukan data

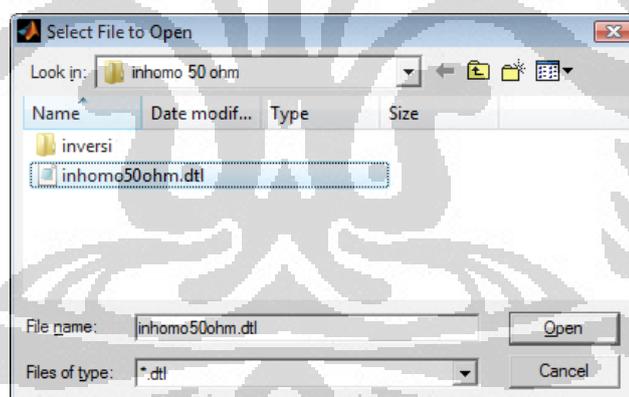
Pastikan bahwa data yang akan dimasukan adalah data berupa *.dts* , karena program ini dirancang sebagai tersebut.

- Memasukan data telah selesai, maka data yang telah diinput sebelumnya akan muncul dalam tampilan kotak kurva dan fasenya. Contoh gambar 3.6 adalah kurva TE dan TM yang mengalami pergeseran statik.



Gambar 3.6 Tampilan Kurva TE dan TM serta fasenya

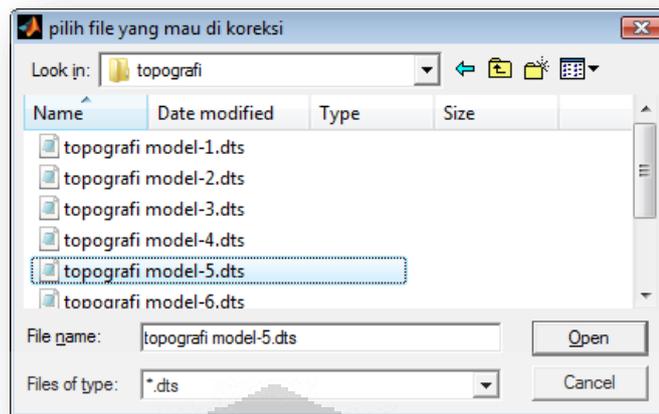
- Stasiun yang mengalami pergeseran statik telah kita dapatkan, selanjutnya dilakukan pengkoreksian dengan metode Cokriging, dengan menekan tombol *Cokriging* maka terdapat perintah pemasukan data dalam format *.dtl*. Data dalam format tersebut adalah data yang menghimpun seluruh data dari stasiun yang ingin dilakukan koreksi Cokriging



Gambar 3.7 Tampilan input data *.dtl*

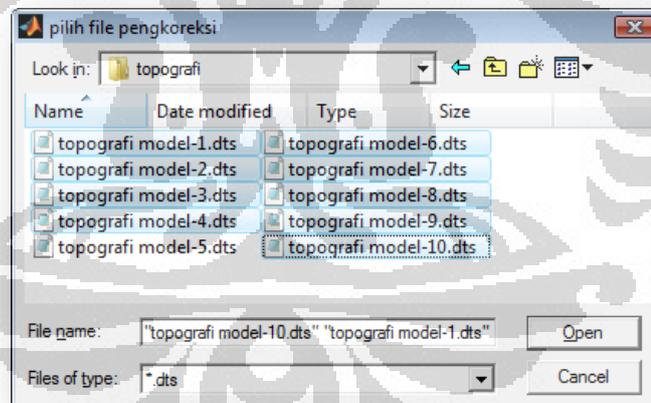
Pengkoreksian dengan Cokriging telah dilakukan, disarankan untuk menyimpan data terkoreksi kedalam satu *folder* sehingga lebih mudah dalam pemilihan untuk ditampilkan sebagai pembandingan.

- Pengkoreksian selanjutnya yaitu dengan metode Perata-rataan. Dengan menekan tombol *averaging* maka terdapat perintah untuk memasukan data yang akan kita koreksi dengan metode Perata-rataan.



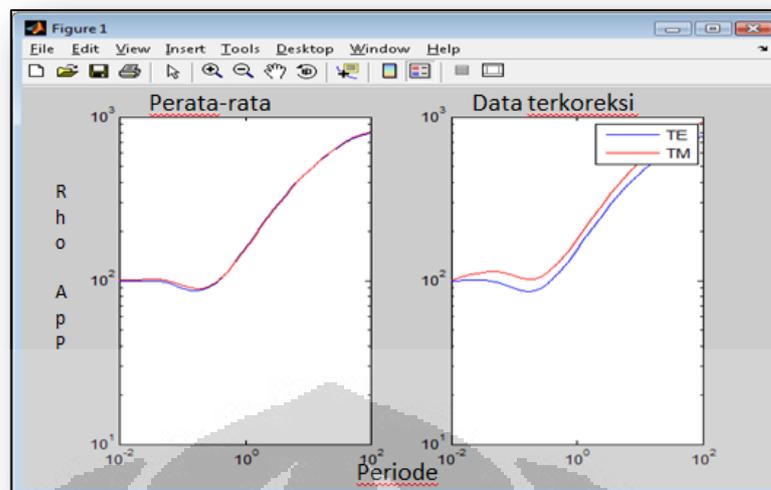
Gambar 3.8 Tampilan input data stasiun yang ingin dikoreksi dengan Perata-rataan

- File yang akan dikoreksi telah ditentukan selanjutnya adalah pemilihan file yang kita anggap tidak mengalami pergeseran statik. Sejumlah file yang dipilih adalah sebagai pengkoreksi Perata-rataan dari stasiun yang mengalami pergeseran statik.



Gambar 3.9 Tampilan input data stasiun Perata-rataan

- Stasiun pengkoreksi telah ditentukan, output dari pengkoreksian tersebut terdapat dua data yaitu data perata-rataan yakni nama data *.dts-correction* dan data yang telah terkoreksi *.dts-tarik*.



Gambar 3.10 Tampilan output koreksi Perata-rataan

- Untuk menampilkan kurva setelah dikoreksi, sebagai pembandingan kurva yang mengalami pergeseran statik, tekan tombol *add* dan pilih data yang dituju.

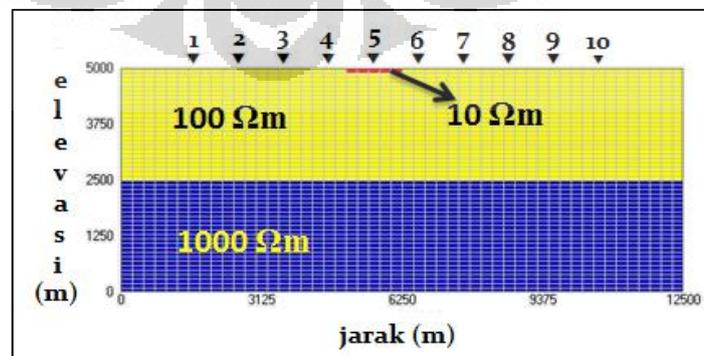
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menjelaskan berbagai fenomena terjadinya pergeseran statik yang disebabkan karena heterogenitas permukaan, efek topografi dan juga kontak vertikal serta metode pengkoreksiannya secara matematik berdasarkan asumsi. Untuk menjelaskan hal tersebut maka dibuatlah pemodelan ke depan dua dimensi dengan menggunakan program MT2dFor yang dikembangkan oleh Laboratorium Geofisika. Metode pemodelan ke depan tersebut menunjukkan terjadinya pergeseran statik yang selanjutnya dilakukan pengkoreksian dengan metode Cokriging dan juga Perata-rataan. Hal yang terpenting dalam penelitian ini, bagaimana kedua metode pengkoreksian terhadap pergeseran statik diaplikasikan terhadap data suatu lapangan X yang telah ada pengkoreksinya yaitu data Time Domain Electromagnetic (TDEM).

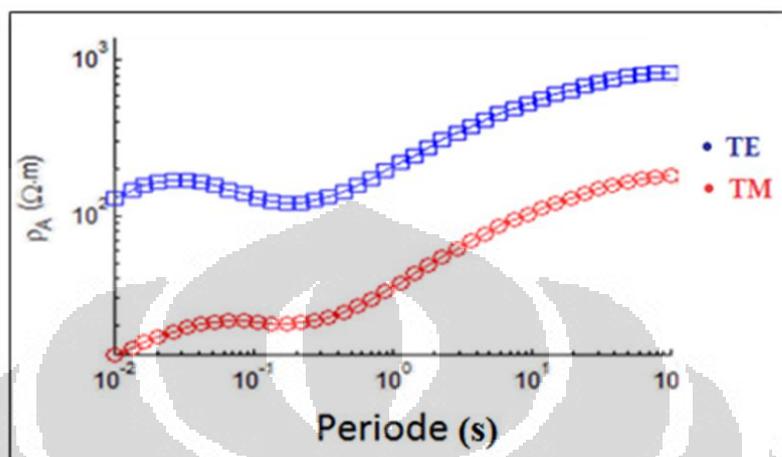
#### 4.1 Model Heterogenitas Permukaan

Penyebab pergeseran statik yang pertama adalah karena adanya heterogenitas dekat permukaan. Model ini merupakan model dua dimensi dua lapisan berkedalaman 5 km (Gambar 4.1). Lapisan pertama memiliki resistivitas  $100 \Omega\text{m}$  dan lapisan kedua memiliki resistivitas  $1000 \Omega\text{m}$ . Lapisan pertama dan kedua memiliki ketebalan yang sama yaitu 2,5 km. Model ini memiliki 10 stasiun yang masing-masing stasionnya berjarak 1 km, namun pada stasiun kelima terdapat heterogenitas permukaan dengan ketebalan 100 m.



Gambar 4.1 Model Heterogenitas Permukaan

Dari kesepuluh stasiun tersebut, kurva TM dan TE memiliki bentuk yang hampir sama, namun karena adanya heterogenitas pada stasiun ke lima kurva TE dan TM ditunjukkan pada Gambar 4.2.

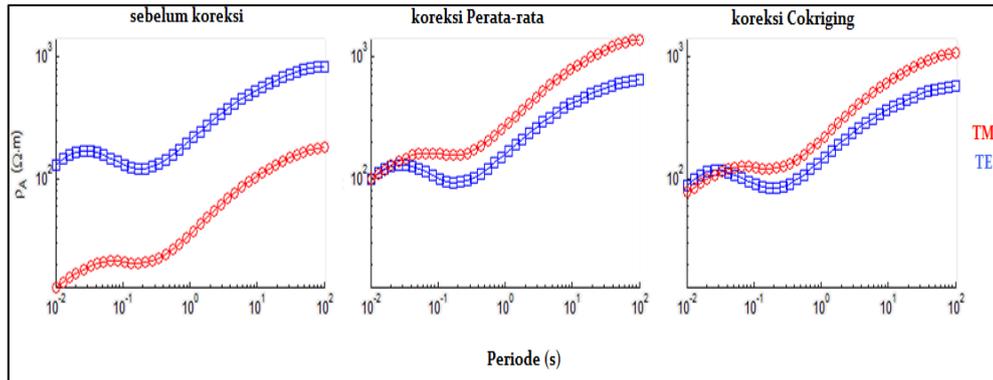


Gambar 4.2 Pergeseran statik stasiun kelimamodel heterogenitas permukaan

Dari grafik diatas terlihat bahwa efek heterogenitas permukaan menyebabkan kurva MT (TE dan TM) tergeser, tidak pada titik yang seharusnya seperti yang ditunjukkan Gambar 4.7, hal ini akan menyebabkan kesalahan interpretasi kemudian. Pemodelan ke depan memberikan hasil bahwa heterogenitas menyebabkan kurva MT tidak hanya pada titik seharusnya, tetapi pula mengubah bentuk dari kurva MT itu sendiri.

#### 4.1.1 Pengkoreksian Model Heterogenitas Permukaan

Melihat pergeseran statik yang terjadi pada model heterogenitas permukaan, pengkoreksian dilakukan dengan metode Perata-rataan dan Cokriging. Besar pergeseran statik dan hasil dari koreksi pergeseran statik yang terjadi bisa dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pergeseran statik pengkoreksian Cokriging dan Perata-rataan

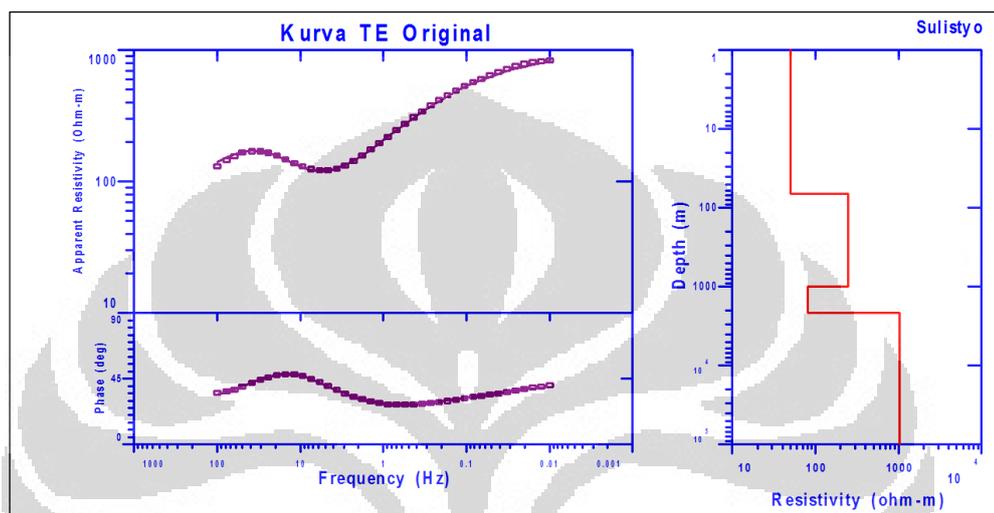
Perbedaan antara kurva sebelum dan setelah dilakukan kedua metode koreksi jelas terlihat. Terlihat pada kurva diatas, pada model heterogenitas permukaan kurva dengan modulus *Transverse Magnetik* (TM) mengalami pergeseran pergeseran yang lebih besar jika dibanding dengan kurva *Transverse Electric* (TE), sehingga koreksi yang terjadi pada mode TE tidak sebesar pada mode TM. Pergeseran kurva TM berada di kisaran nilai harga resistivitas semu  $100 \Omega m$ , hal ini sesuai dengan model kedepan sebelumnya. Pergeseran statik pada model ini disebabkan karena terdapatnya heterogenitas permukaan sebesar  $10 \Omega m$ , sehingga kurva TM tergeser ke bawah pada harga tersebut. Dengan dilakukannya pengkoreksian baik itu dengan Cokriging ataupun Perata-rataan, efek dari heterogenitas permukaan seharusnya dihilangkan sehingga kurva TM digeser pada harga  $100 \Omega m$  sesuai dengan model bila harga heterogenitas permukaan dihilangkan.

#### 4.1.2 Analisis 1-D Model Heterogenitas Permukaan

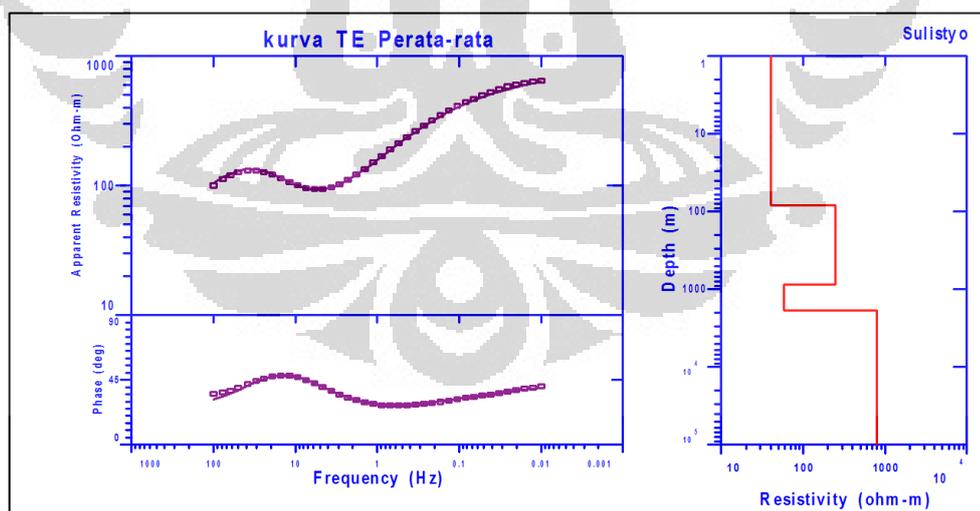
Pergeseran statik pada suatu eksplorasi MT, jika tidak dilakukan pengkoreksian akan menyebabkan kesalahan interpretasi. Analisis satu dimensi (1-D) menjelaskan dengan membandingkan antara kurva yang mengalami pergeseran statik dengan pengkoreksinya dalam mendapatkan nilai resistivitas terhadap kedalaman.

Analisis berikut menjelaskan mengenai pergeseran statik pada kurva TE dan koreksinya menggunakan metode Cokriging dan Perata-rataan. Seperti yang

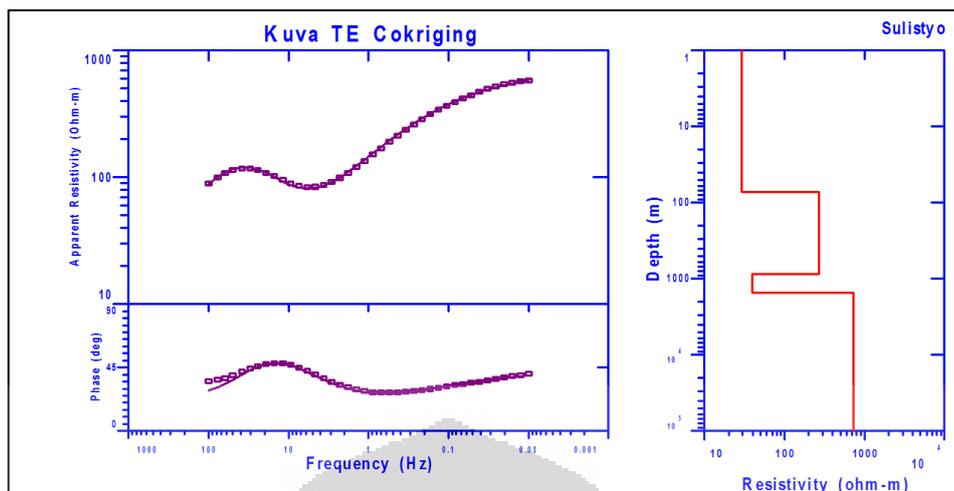
dijelaskan sebelumnya dan bisa dilihat pada Gambar 4.3, bahwa pada kurva TE mengalami pergeseran statik yang tidak besar. Seberapapun besar pergeseran yang dilakukan koreksi Cokringing dan Perata-rataan menimbulkan interpretasi masing-masing. Interpretasi kedalaman (depth) terhadap resistivitas ( $\Omega\text{m}$ ) terhadap kurva TE bisa dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6.



Gambar 4.4 Kurva TE model heterogenitas permukaan sebelum dikoreksi



Gambar 4.5 Kurva TE model heterogenitas permukaan koreksi Perata-rataan



Gambar 4.6 Kurva TE model heterogenitas permukaan koreksi Cokriging

Untuk melihat perbandingan Kurva TE sebelum dikoreksi dan setelah koreksi Perata-rataan serta Cokriging bisa dilihat pada Tabel 4.1.

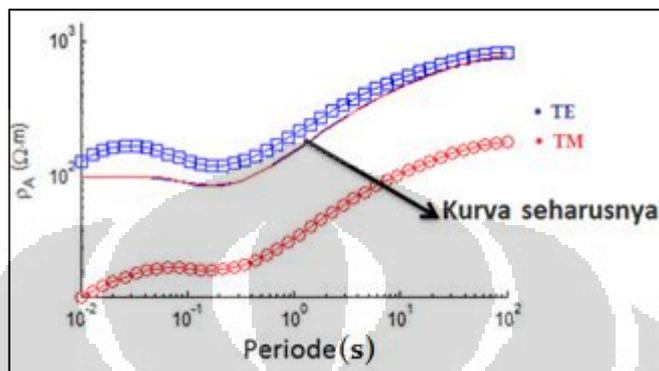
Tabel 4.1 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TE model heterogenitas permukaan sebelum dan sesudah koreksi

Kurva TE Pelapisan	Original			Koreksi Perata-rataan			Koreksi Cokriging		
	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)
Lapisan 1	49.7	66.1	66.1	40.1	82.8	82.8	29	72.3	72.4
Lapisan 2	245.9	927	993.1	245.9	784.7	867.6	267.9	795.2	867.6
Lapisan 3	80.1	1152	2145.1	57.8	985.1	1852.8	39.3	676.2	1543.8
Lapisan 4	1020.5			789.2			722.4		

Tabel 4.1 menunjukkan adanya perbedaan antara perbedaan antara nilai kedalaman (ketebalan) dengan nilai resistivitas yang ada. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, pemodelan kedepan ini harusnya hanyalah model dengan sistem dua lapisan namun setelah dilakukan pemodelan satu dimensi, ternyata efek karena adanya heterogenitas permukaan menyebabkan bentuk dari kurva TE ini bukan hanya mengalami pergeseran tetapi juga mengalami perubahan bentuk yang digambarkan terdiri dari empat lapisan. Kurva TE model ini tidak mengalami pergeseran statik yang besar bila kita lihat dari nilai yang sudah dikoreksi. Nilai terkoreksi dengan metode Perata-rataan cenderung lebih dekat dengan nilai yang belum dikoreksi, hanya saja pada lapisan paling bawah nilai resistivitas sebelum dikoreksi memiliki nilai perbedaan yang jauh jika dibandingkan dengan nilai terkoreksi oleh kedua metode. Hal ini sejalan dengan kurva yang terlihat pada

Gambar 4.3, karena koreksi pergeseran statik digeser ke nilai resistivitas yang lebih rendah.

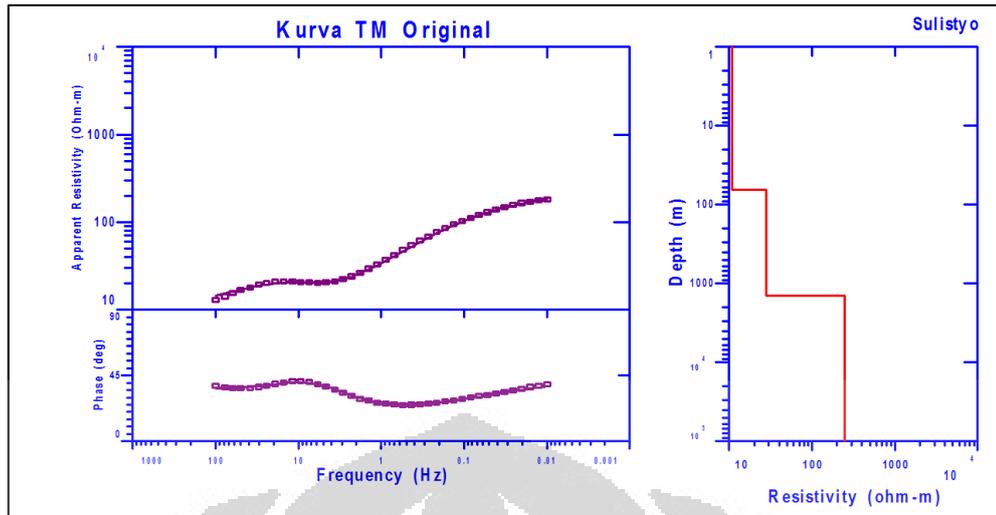
Kurva TE pada model ini mengalami pergeseran keatas, hal tersebut bisa kita lihat pada Gambar 4.7.



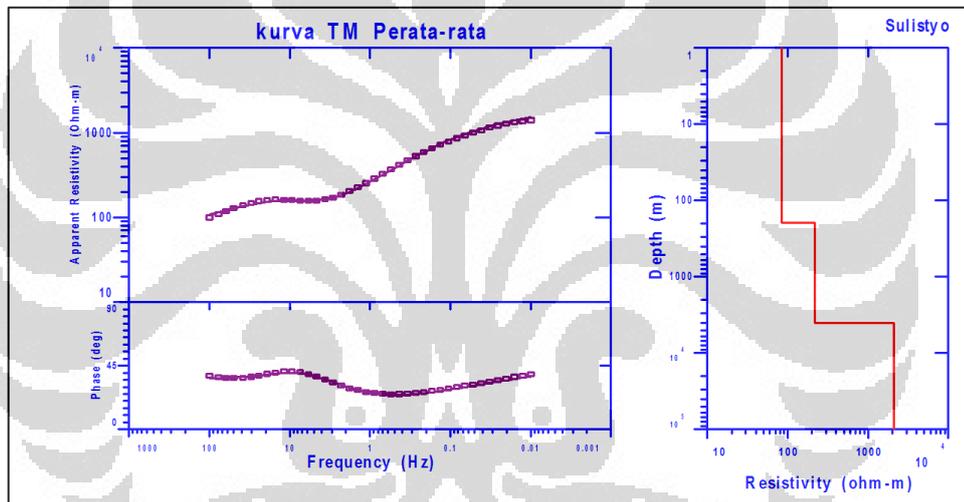
Gambar 4.7 Perbandingan kurva model heterogenitas tergeser dan kurva seharusnya

Dengan melihat koreksi pergeseran statik yang digeser ke nilai dengan resistivitas rendah (ke arah bawah), koreksi dengan metode Perata-rataan ataupun Cokriging sudah menunjukkan kebenaran koreksi yaitu mendekati dengan kurva seharusnya (model dengan tidak adanya heterogenitas permukaan), sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.7.

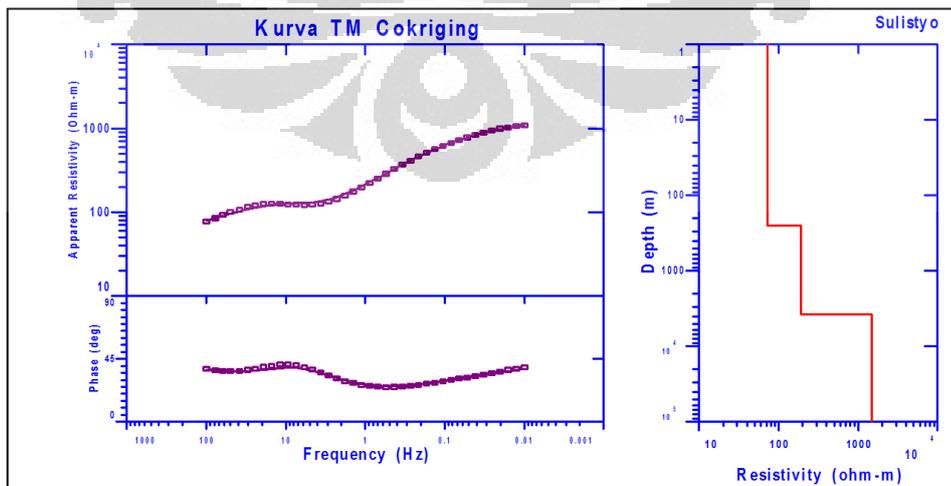
Analisis selanjutnya menjelaskan mengenai pergeseran statik pada kurva TM dan koreksinya menggunakan metode Cokriging dan Perata-rataan. Berbeda dengan pergeseran statik yang tidak besar pada kurva TE, pada kurva TM pergeseran statik terjadi lebih besar seperti bisa dilihat pada Gambar 4.3. pergeseran statik yang besar tersebut tentu saja akan menyebabkan interpretasi nilai kedalaman dan resistivitas akan semakin besar kesalahan interpretasinya. Analisis 1-D yang dilakukan sama seperti pada kurva TE yaitu kurva sebelum koreksi, koreksi Cokriging dan Perata-rataan. Interpretasi kedalaman (depth) terhadap resistivitas ( $\Omega\text{m}$ ) terhadap kurva TM bisa dilihat pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10.



Gambar 4.8 Kurva TM model heterogenitas permukaan sebelum koreksi



Gambar 4.9 Kurva TM model heterogenitas permukaan koreksi Perata-rataan



Gambar 4.10 Kurva TM model heterogenitas permukaan koreksi Cokriging

Tabel 4.2 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TM model heterogenitas permukaan sebelum dan sesudah koreksi

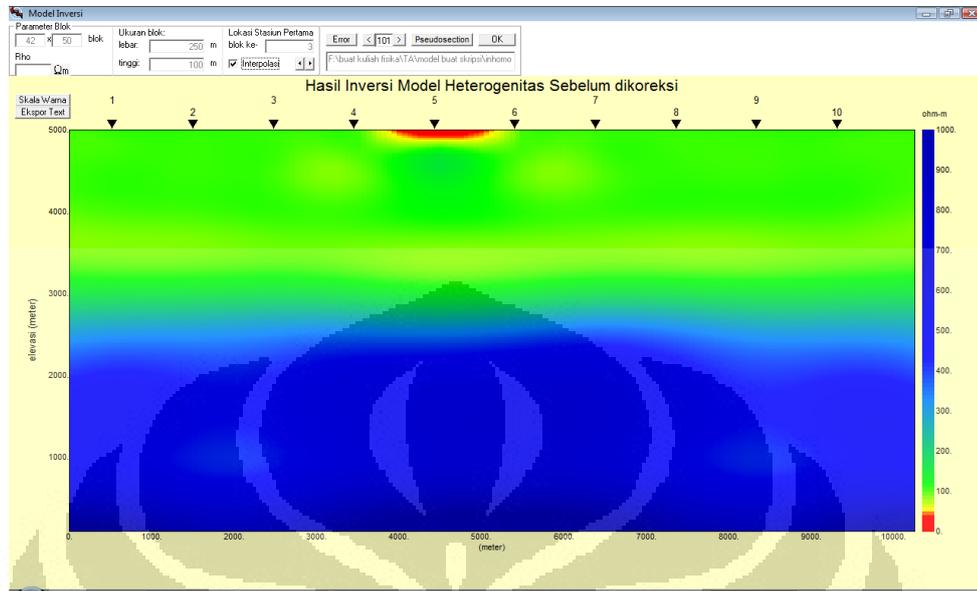
Kurva TM Pelapisan	Original			Koreksi Perata-rataan			Koreksi Cokriging		
	Rho ( $\Omega$ m)	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega$ m)	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega$ m)	Thick (m)	Depth (m)
lapisan 1	10.9	64.7	64.7	83.5	195.4	195.4	71.9	250.6	250.6
lapisan 2	27.6	1359.8	1424.5	215.9	3825.6	4021.	189.6	3534.7	3785.3
lapisan 3	248.8			2081.6			1473.7		

Tabel 4.2 menunjukkan adanya perbedaan antara nilai kedalaman (ketebalan) dengan nilai resistivitas yang ada. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, pemodelan kedepan ini harusnya hanyalah model dengan sistem dua lapisan namun setelah dilakukan pemodelan satu dimensi, ternyata efek karena adanya heterogenitas permukaan menyebabkan bentuk dari kurva TM ini bukan hanya mengalami pergeseran tetapi juga mengalami perubahan bentuk yang digambarkan terdiri dari tiga lapisan. Berbeda dengan Kurva TE, pada kurva TM model ini mengalami pergeseran statik yang besar bila kita lihat dari nilai yang sudah dikoreksi. Nilai resistivitas terkoreksi dengan metode Perata-rataan cenderung lebih besar dengan nilai yang dikoreksi Cokriging karena pada Kurva TM yang dikoreksi dengan Perata-rataan memiliki nilai kurva diatas (resistivitas semu yang lebih besar) dibanding dengan koreksi Cokriging. Kedua nilai resistivitas dan nilai kedalaman yang telah dikoreksi memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan nilai yang belum dikoreksi. Hal ini sejalan dengan kurva yang terlihat pada Gambar 4.3, karena koreksi pergeseran statik digeser ke atas.

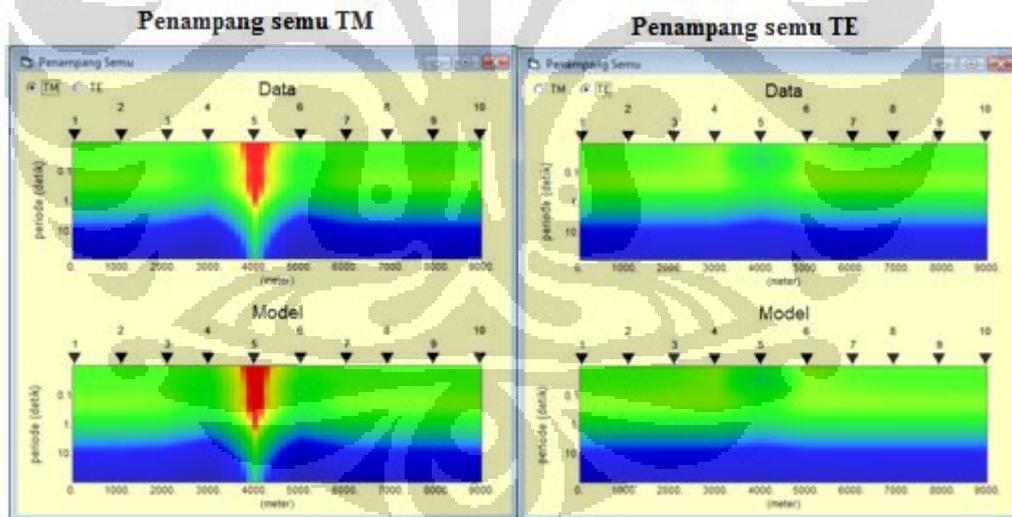
#### 4.1.3 Hasil Inversi 2-D Model Heterogenitas Permukaan

Koreksi terhadap pergeseran statik pada penjelasan sebelumnya, menunjukkan perbaikan dari data MT yang mengalami pergeseran statik. Dengan demikian interpretasi terhadap data yang semakin baik diharapkan memberikan gambaran yang lebih baik terhadap keadaan bawah permukaan terhadap suatu lintasan pengukuran MT. Untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tersebut, maka dilakukan inversi terhadap data baik yang belum ataupun yang sudah dikoreksi. Hasil inversi terhadap data yang belum dilakukan pengkoreksian ditunjukkan pada Gambar 4.11. Inversi terhadap data yang telah dilakukan pengkoreksian metode

Perata-rataan ditunjukkan pada Gambar 4.13, sedangkan hasil inversi data terkoreksi metode Cokriging ditunjukkan pada Gambar 4.15.



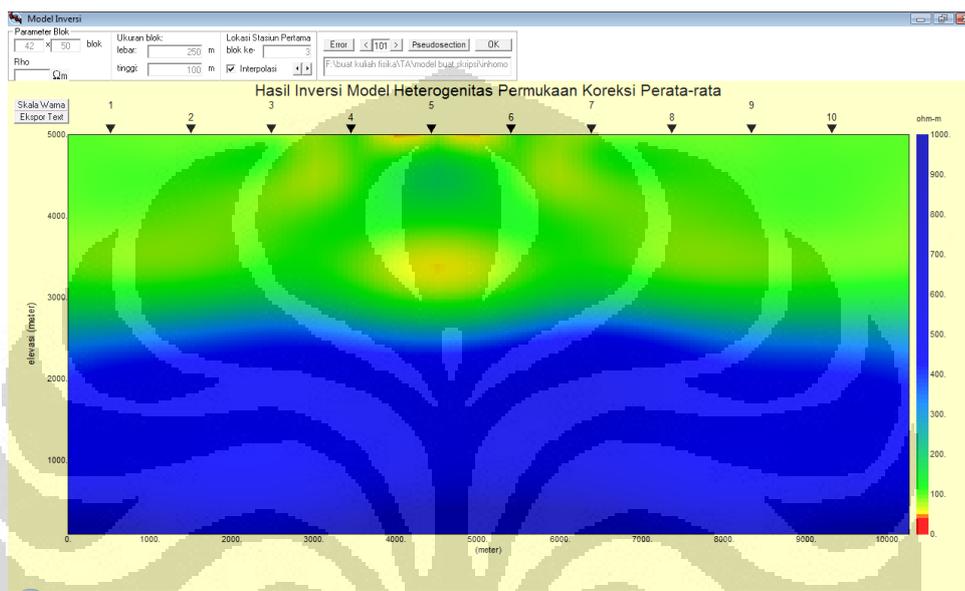
Gambar 4.11 Hasil inversi model heterogenitas permukaan sebelum dikoreksi



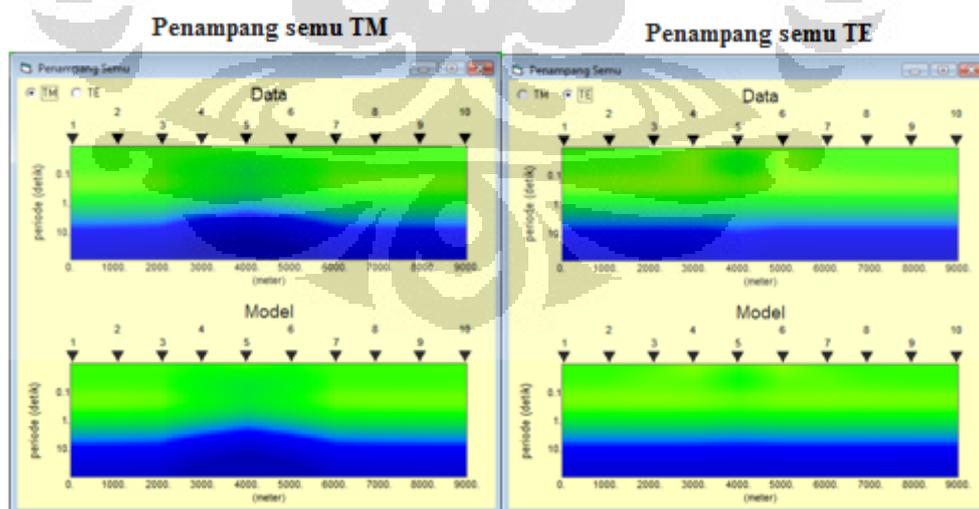
Gambar 4.12 Penampang semu model heterogenitas permukaan sebelum dikoreksi

Hasil inversi pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa efek dari heterogenitas permukaan sangat mengganggu dari hasil inversi. Hal itu ditunjukkan dengan adanya anomali kecil yaitu heterogenitas permukaan itu sendiri dibawah stasun kelima. Dengan melihat penampang semu TM pada gambar 4.12, hal yang sama ditunjukkan dibawah stasiun kelima. TE mode pada penampang semu menunjukkan

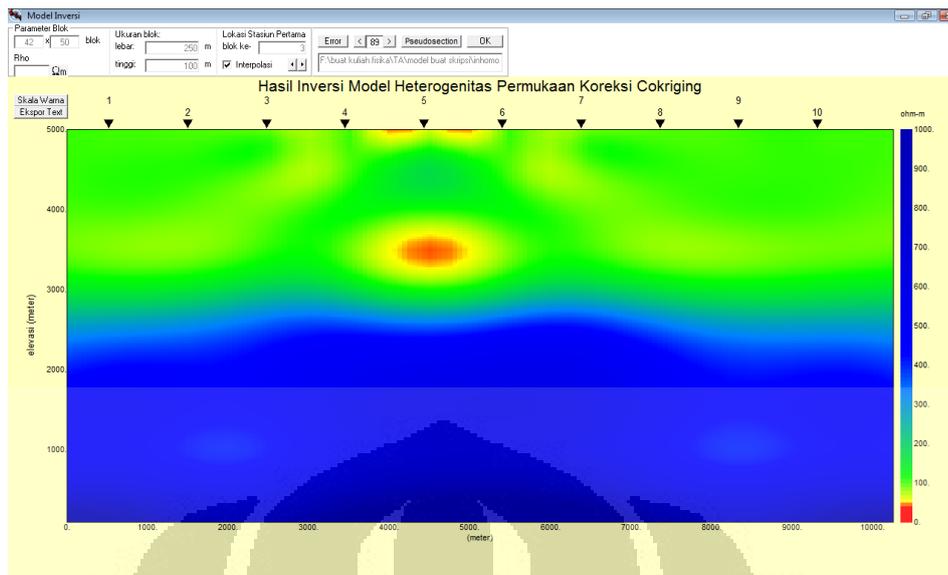
pula adanya ketidak selarasan pada lapisan kedua. Pada kondisi bawah permukaan yang tepat berada pada stasiun kelima menunjukkan lapisan yang lebih tinggi dibanding dengan yang lain. Hal ini sejalan dengan data pada TE yang mengalami pergeseran statik ke atas. Setelah dilakukan koreksi dengan menggunakan Perata-rataan dan Cokriging, diharapkan hasil inversi menjadi lebih baik.



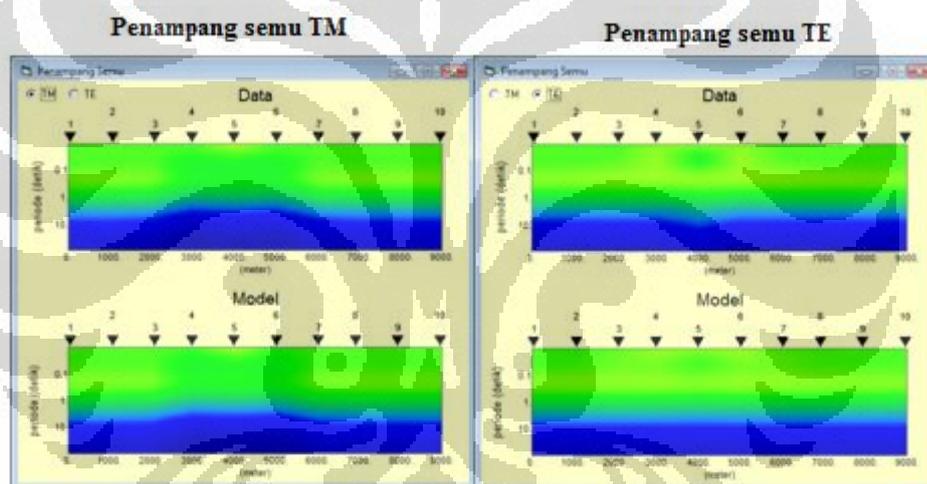
Gambar 4.13 Hasil Inversi model heterogenitas permukaan koreksi perata-rataan



Gambar 4.14 Penampang semu model heterogenitas permukaan koreksi Perata-rataan



Gambar 4.15 hasil Inversi model heterogenitas permukaan koreksi Cokriging



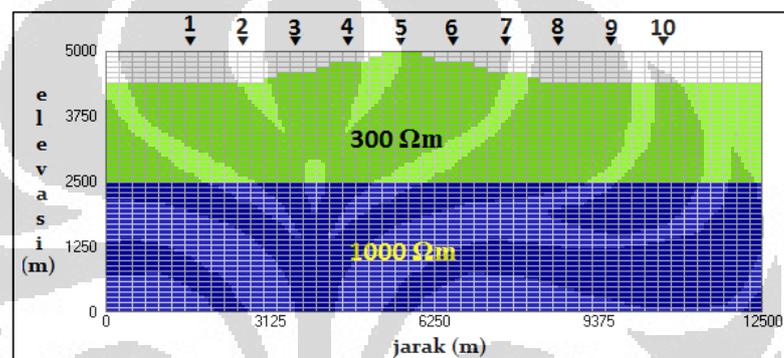
Gambar 4.16 Penampang semu model heterogenitas permukaan koreksi Cokriging

Hasil inversi dengan menggunakan metode Perata-rataan dan Cokriging telah mengalami perbaikan, efek dari heterogenitas permukaan pada stasiun kelima telah sedikit dihilangkan. Inversi dari koreksi Perata-rataan menghasilkan efek dari heterogenitas yang lebih tipis dibanding dengan hasil inversi koreksi Cokriging. Hal yang lebih mencolok adalah pada penampang semu TM baik itu yang telah dikoreksi dengan perata-rataan dan Cokriging dibanding dengan penampang semu TM sebelum dikoreksi (Gambar 4.14 dan Gambar 4.16). Penampang semu yang telah dikoreksi memberikan hasil yang mendekati dengan

model yang dibuat sebelumnya. Penampang semu TE juga telah mengalami perbaikan, hal ini ditunjukkan pada lapisan kedua yang sudah tidak ada undulasi pada kondisi bawah permukaan tepat pada stasiun ke lima.

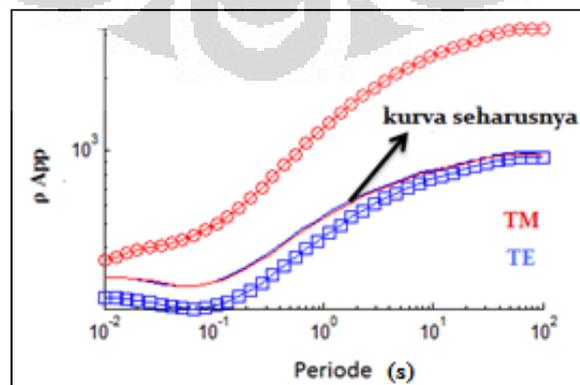
#### 4.2 Model Topografi

Sama seperti pemodelan ke depan pada bagian sebelumnya, pemodelan diubah menjadi model dengan adanya topografi. Model topografi ini memiliki sepuluh stasiun yang masing-masing berjarak 1 km. Mengenai pelapisan dan juga nilai resistivitas dari model topografi ini dijelaskan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Model topografi

Dengan pemodelan seperti ini, maka penyebab kedua tentang pergeseran statik dapat dijelaskan. Pengkoreksian mengenai pergeseran statik dititikberatkan pada stasiun kelima yaitu pada puncak topografi, karena pada kondisi puncak sistem inilah yang mengalami pergeseran statik paling besar. Kurva TE dan TM sebelum dilakukan pengkoreksian pada stasiun kelima ditunjukkan oleh Gambar 4.18.



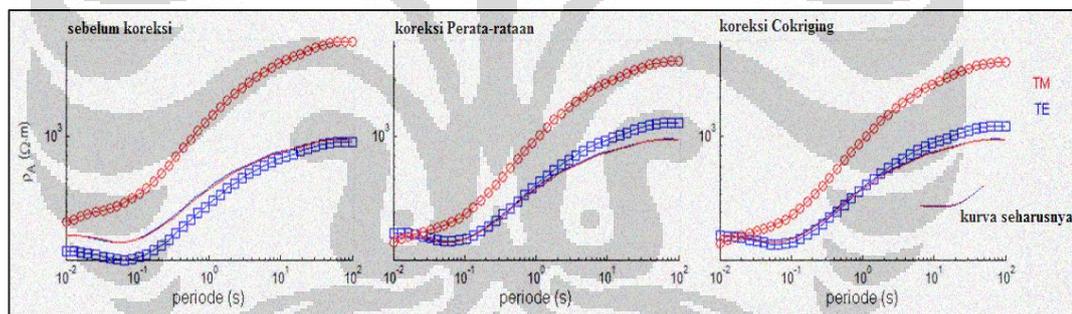
Gambar 4.18 Pergeseran statik puncak model topografi

Kurva TE dan TM yang terlihat pada gambar diatas menunjukkan bahwa pergeseeran statik terjadi pada pemodelan ini. Hal ini tentu saja akan mengakibatkan kesalahan interpretasi, yang apabila hal ini tetap dilakukan pada data sebenarnya akan mengakibatkan kesalahan pengambilan keputusan.

Pergeseeran statik yang terlihat pada model topografi ini berkebalikan dengan model heterogenitas permukaan. Model heterogenitas permukaan menunjukkan kurva TM dibawah kurva seharusnya, sedangkan kurva TE berada diatasnya. Meski demikian, terdapat persamaan pada kedua model ini yaitu kurva TM mengalami pergeseeran yang lebih jauh.

#### 4.2.1 Pengkoreksian Model Topografi

Melihat pergeseeran statik yang terjadi pada model topografi ini, pengkoreksian dilakukan dengan metode Perata-rataan dan Cokriging. Besar pergeseeran statik dan nilai dari koreksi pergeseeran yang terjadi bisa dilihat pada Gambar 4.19.

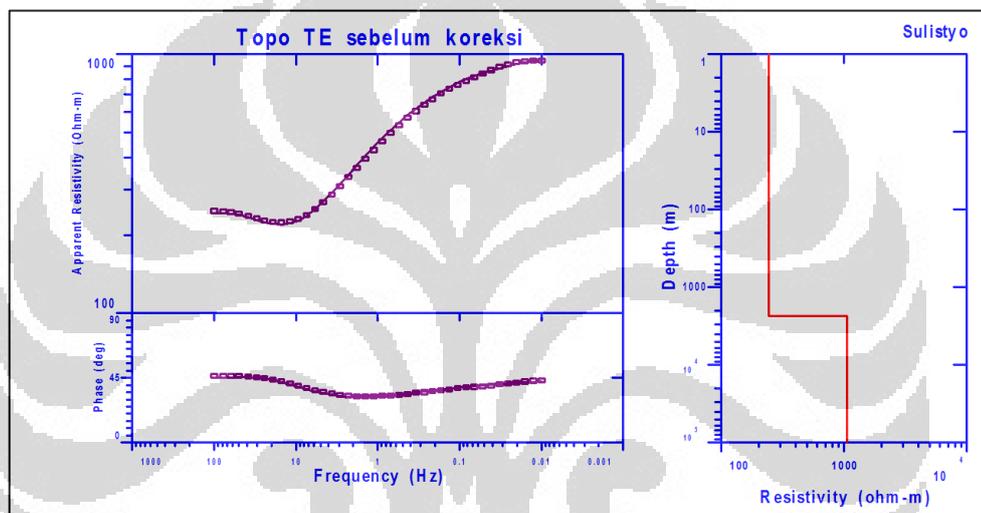


Gambar 4.19 Pergeseeran statik dan pengkoreksian model topografi

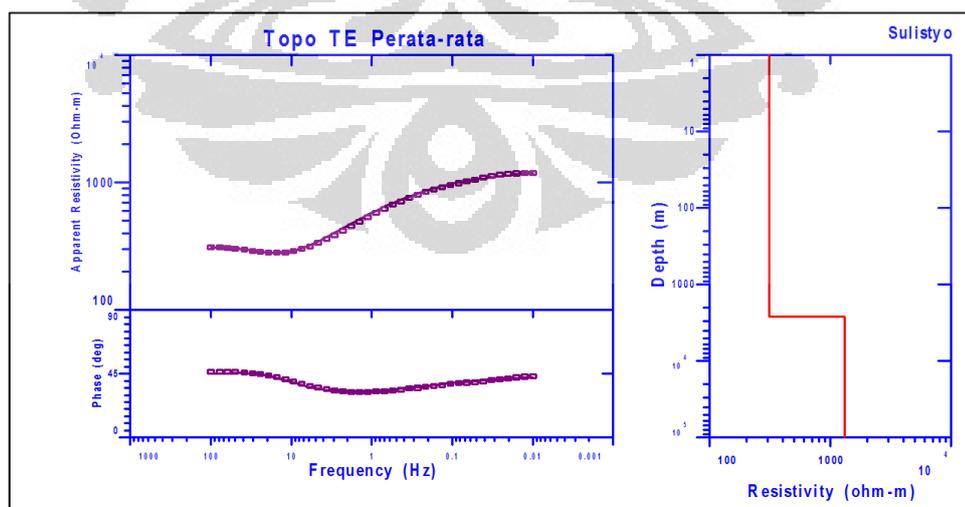
Perbedaan antara kurva sebelum dan setelah dilakukan kedua metode koreksi jelas terlihat. Terlihat pada kurva diatas, pada model ini Kurva TM mengalami pergeseeran yang lebih besar jika dibanding dengan kurva TE, sehingga koreksi yang terjadi pada mode TE tidak sebesar pada mode TM. Kedua kurva mengalami besar pergeseeran pengkoreksian hampir sama, hanya saja kurva TE terlihat lebih cocok dengan kurva seharusnya (model dengan tidak adanya topografi). Melihat penjelasan sebelumnya pada Bab 2 tentang penyebab pergeseeran statik karena adanya topografi, pemodelan sistem dua dimensi model topografi terjadi pada TM mode, maka hasil tersebut menjelaskan hal yang serupa.

#### 4.2.2 Analisis 1-D Model Topografi

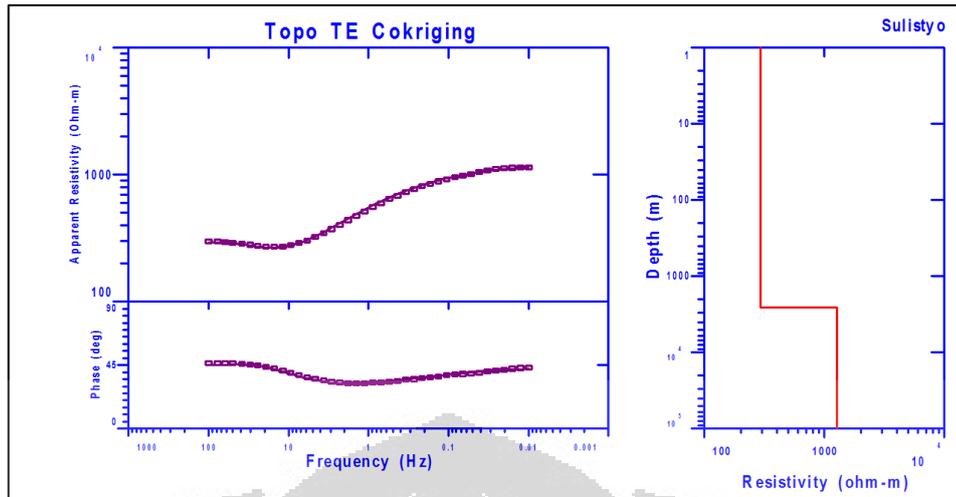
Untuk melihat bagaimana setiap data (TE dan TM) terhadap kedalaman maka dilakukan hal serupa mengenai interpretasi resistivitas terhadap kedalaman seperti yang dilakukan pada model sebelumnya. Pemodelan 1-D terhadap data TE sebelum dikoreksi ditunjukkan oleh Gambar 4.20. Pemodelan 1-D koreksi pergeseran statik dengan metode Perata-rataan ditunjukkan pada Gambar 4.21, sedangkan yang terkoreksi oleh metode Cokriging diperlihatkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.20 Kurva TE model topografi sebelum dikoreksi



Gambar 4.21 Kurva TE model topografi koreksi Perata-rataan



Gambar 4.22 Kurva TE model topografi koreksi Cokriging

Tabel 4.3 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TE model topografi sebelum dan sesudah koreksi

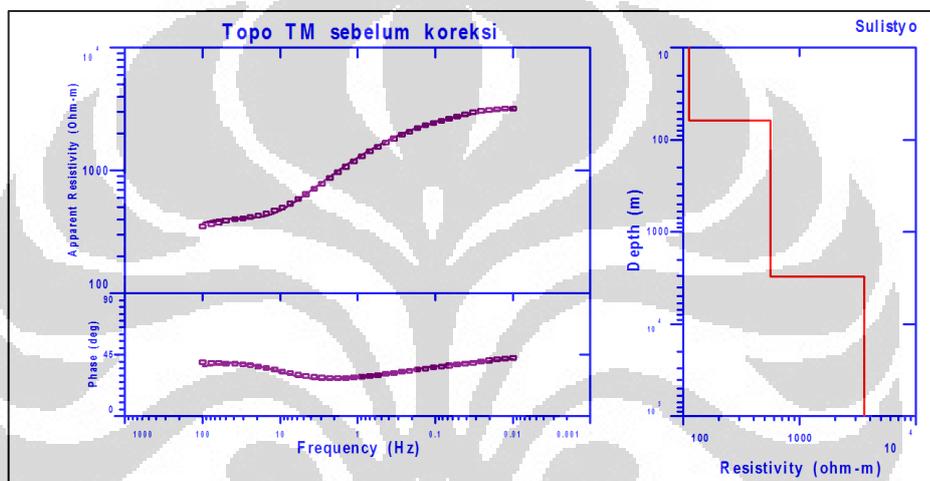
Kurva TE	Original			Koreksi Perata-rataan			Koreksi Cokriging		
	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)
Lapisan 1	241.6	2342.4	2342.4	308.7	2683.7	2683.7	291.6	2560.5	2560.5
Lapisan 2	1049.1			1320.7			1265.9		

Pemodelan 1-D pada kurva TE model topografi ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan model heterogenitas permukaan (Tabel 4.3). Model heterogenitas permukaan memberikan hasil pada pergeseran statik yang terjadi pada stasiun ke lima model tersebut, selain bergeser ke atas bentuk dari kurva TEnya berubah. Kurva TE model heterogenitas permukaan diinterpretasikan memiliki empat lapisan, padahal pada pemodelan kedepan hanya terdiri dari dua lapisan. Pada model topografi, kurva TE hanya bergeser ke bawah dengan pemodelan 1-D dengan dua lapisan yang sama halnya dengan pemodelan kedepan.

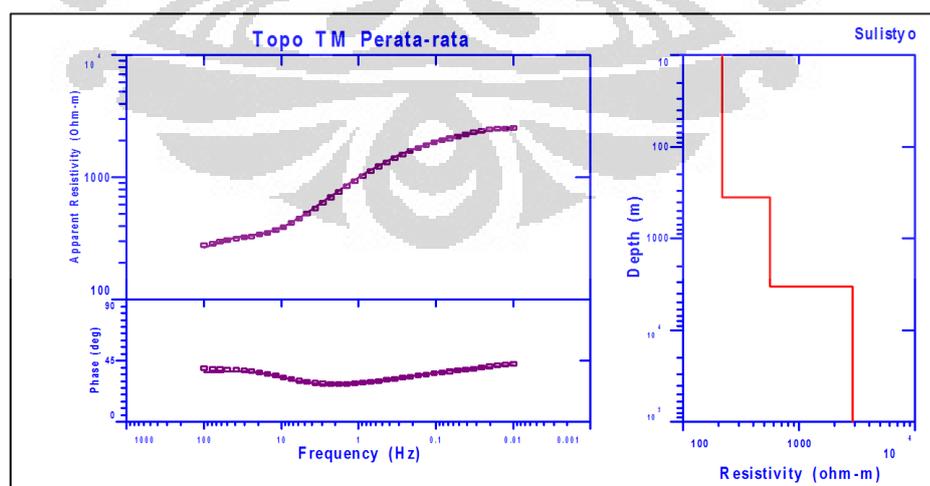
Pengkoreksian yang terjadi dengan Cokriging ataupun Perata-rataan menunjukkan hasil yang hampir serupa. Koreksi dengan metode Cokriging memiliki nilai kurva diatas dari koreksi dengan Perata-rataan. Dengan demikian, terlihat pada Table 4.3 nilai dari koreksi Cokriging memiliki nilai yang lebih besar baik dari resistivitas dan juga kedalamannya. Kedua pengkoreksian mengakibatkan kuva

TE sebelum terkoreksi digeser ke atas dengan nilai yang lebih mendekati kurva seharusnya.

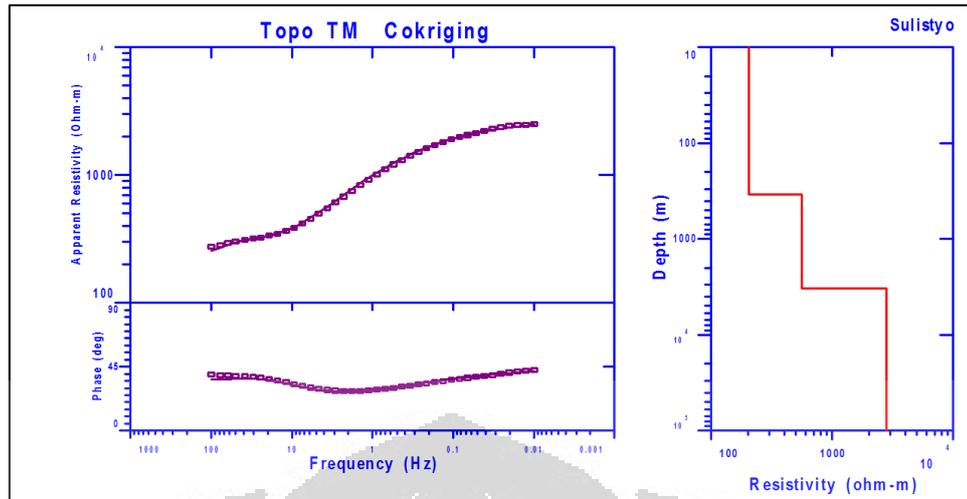
Pemodelan 1-D pada kurva TM model topografi merupakan bagian yang sangat penting untuk diamati karena pada mode ini pergeseran statik terjadi sangat besar. Sebelum dilakukan pengkoreksian, model 1-D ditunjukkan oleh Gambar 4.23. Pemodelan 1-D yang dikoreksi dengan metode Perata-rataan ditunjukkan oleh Gambar 4.24, sedangkan pengkoreksian dengan metode Cokriging diperlihatkan oleh Gambar 4.25.



Gambar 4.23 Kurva TM model topografi sebelum dikoreksi



Gambar 4.24 Kurva TM model topografi koreksi Perata-rataan



Gambar 4.25 Kurva TM model topografi koreksi Cokriging

Tabel 4.4 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TM model topografi sebelum dan sesudah koreksi

Kurva TM	Original			Koreksi Perata-rataan			Koreksi Cokriging		
	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)
Lapisan 1	110.6	61.6	61.6	215.5	355.3	355.3	212.2	342.5	342.5
Lapisan 2	558.7	2983.2	3044.8	558.7	2983.2	3338.5	558.7	2930.4	3272.9
Lapisan 3	3567.8			2873.4			2790.0		

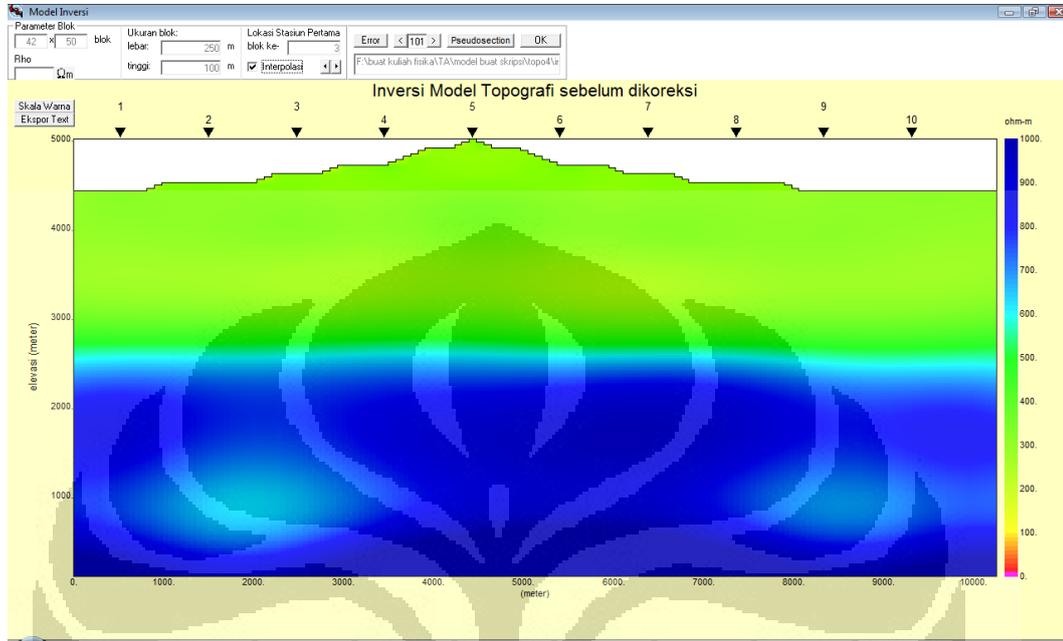
Pemodelan 1-D pada kurva TM model topografi menunjukkan hal yang sama pada pemodelan model heterogenitas permukaan. Efek topografi menyebabkan pergeseran statik bukan hanya pada nilai resistivitas, namun menyebabkan pula bentuk dari kurva TM berubah. Kurva TM yang mengalami pergeseran statik memiliki tiga lapisan dalam pemodelan 1-D (Tabel 4.4), sedangkan pemodelan kedepan yang dibuat hanyalah terdiri dari dua lapisan.

Pengkoreksian dengan metode perata-rataan dan Cokriging memberikan nilai yang hampir serupa baik resistivitas ataupun kedalaman. Hasil dari analisis 1-D memberikan hasil interpretasi terhadap kedalaman hingga perbedaan 600 m.

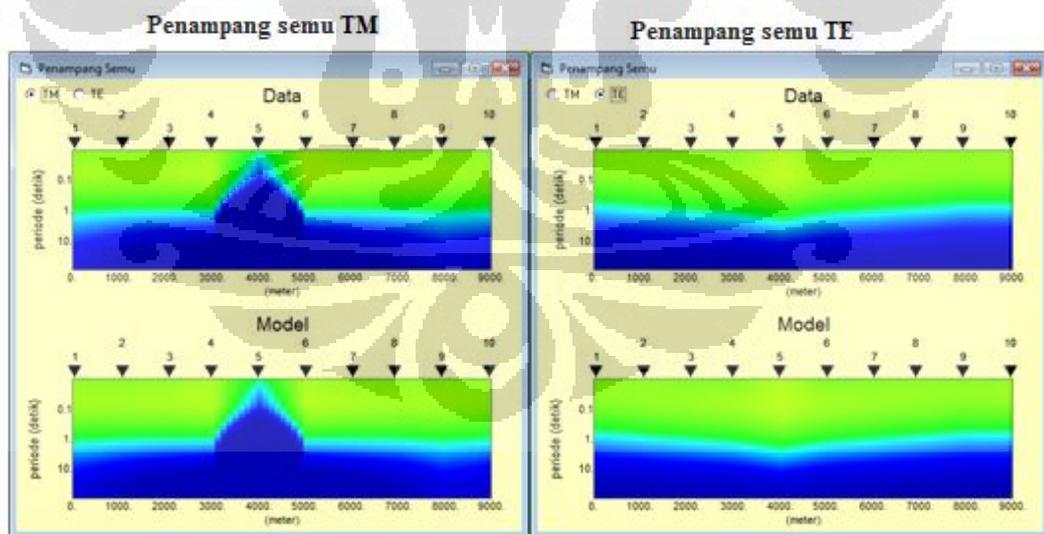
### 4.2.3 Hasil Inversi 2-D Model Topografi

Pengkoreksian pergeseran statik model topografi hanya dilakukan pada puncak dari model topografi tersebut. Meskipun pengkoreksian hanya dilakukan pada

puncak dari topografi, namun satu data akan mengakibatkan perubahan inversi keseluruhan. Dengan demikian, bisa dilihat perbedaan hasil inversi sebelum dikoreksi (Gambar 4.26) dan sesudah terkoreksi (Gambar 4.28 dan 4.30).



Gambar 4.26 Hasil inversi model topografi sebelum dikoreksi

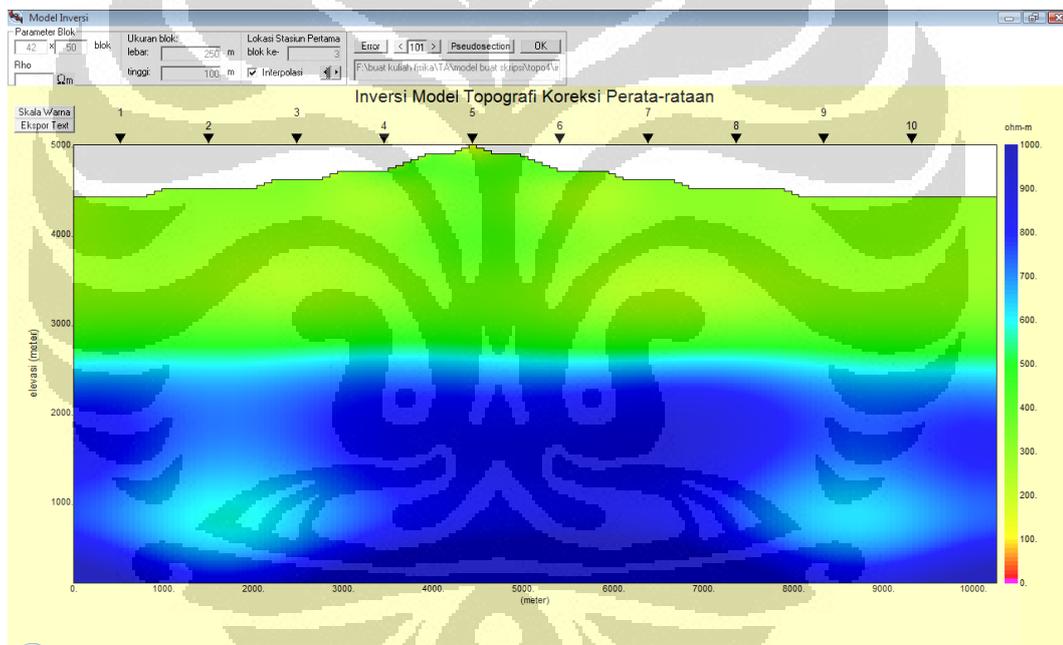


Gambar 4.27 Penampang semu model topografi sebelum dikoreksi

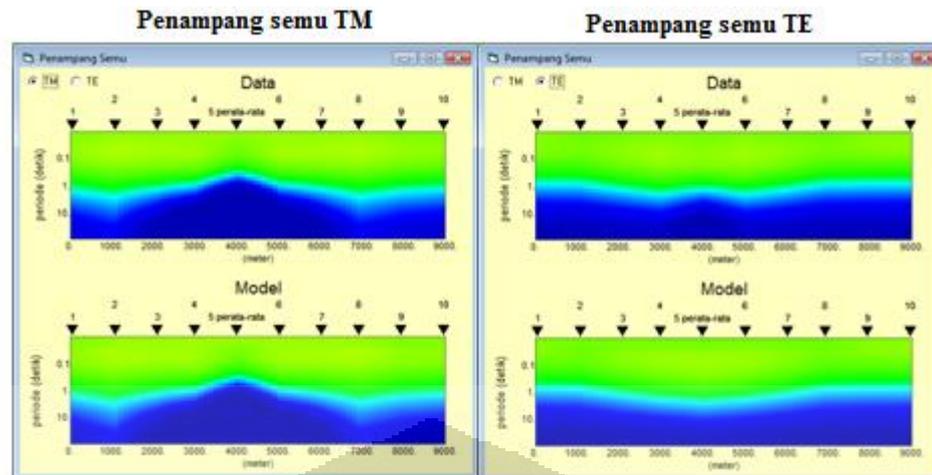
Sekilas tidak terdapat kejanggalan pada hasil inversi sebelum dilakukan pengkoreksian (Gambar 4.26). Hasil inversi yang ada menunjukkan hal yang serupa dengan pemodelan kedepan Gambar 4.17. Namun ada yang menjadi

perhatian yaitu pada hasil inversi pada lapisan ke dua dibawah stasiun ke dua dan ke Sembilan. Pelapisan ke dua dibawah kedua stasiun tersebut terdapat ketidakselarasan nilai resistivitas.

Kondisi yang sangat mencolok terlihat pada penampang semu model topografi sebelum dikoreksi (Gambar 4.27). Penampang semu TM memperlihatkan ketidakselarasan yang sangat jelas. Pada data dibawah stasiun ke lima pada pelapisan kedua, karena puncak model topografi ini mengalami pergeseran statik yang sangat besar menimbulkan data TM tertarik ke atas. Penampang semu TE meskipun data TE tergeser ke arah bawah, namun pada penampang semu tersebut data TE cenderung masih sama dengan keadaan pada stasiun yang lain.



Gambar 4.28 Hasil Inversi model topografi koreksi Perata-rataan

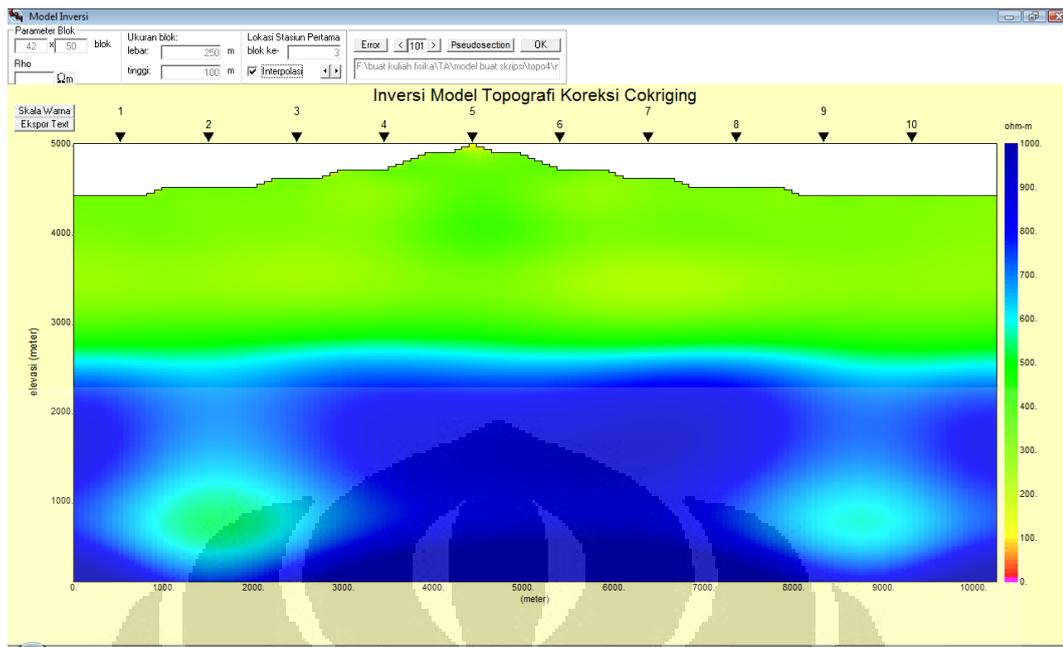


Gambar 4.29 Penampang semu model topografi koreksi Perata-rataan

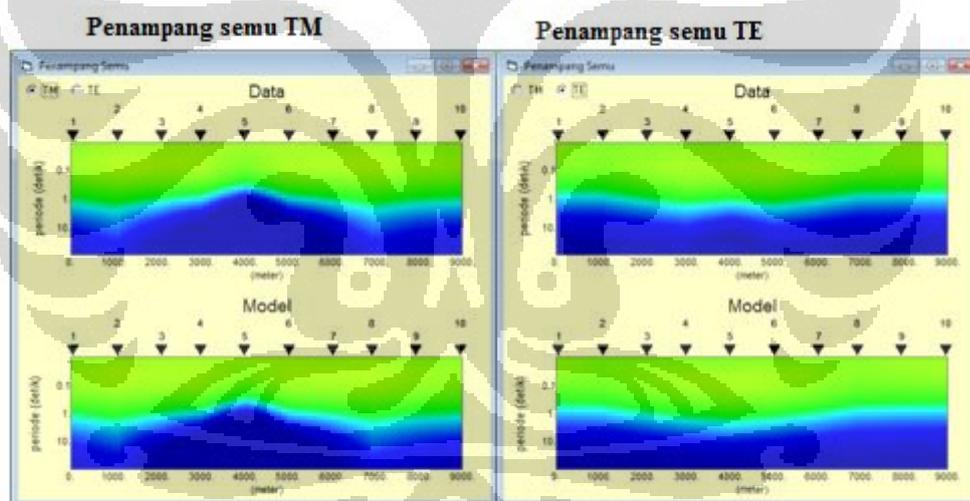
Hasil inversi setelah dilakukan pengkoreksian dengan metode Perata-rataan (Gambar 4.28) tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok dengan hasil inversi sebelumnya. Pengkoreksian dengan Perata-rataan berhasil menggeser kurva yang mengalami pergeseran statik pada puncak topografi pada nilai seharusnya yaitu pada nilai resistivitas sekitar 300  $\Omega\text{m}$ . Ternyata dengan pengkoreksian tersebut menghasilkan inversi yang hampir serupa dengan data sebelum terkoreksi.

Penampang semu dengan koreksi Perata-rataan (Gambar 4.29) memberikan hasil yang sangat berbeda dengan penampang semu sebelum terkoreksi. Penampang semu TM yang sebelumnya terlihat mencolok pada pelapisan ke dua nampak seperti terdapat *sinklin*, dengan pengkoreksian Perata-rataan data pada TM lebih mendekati data sekitarnya. Hal yang sedikit berbeda dengan penampang semu TE. Karena koreksi pergeseran statik menggeser kurva TE ke atas, pada pelapisan ke dua dibawah stasiun ke lima terlihat sedikit tinggi.

Model topografi memiliki ciri khas jika diperhatika pada kurva TE dan TM yang terjadi pada puncak dan lembahnya. Dengan melihat data pada pemodelan ke depan model topografi dan juga pada pembahasan Bab 2 (Gambar 2.11), nilai kurva TE dan TM yang terbentuk memiliki pergeseran statik yang berkebalikan. Jika pada pengukuran pada puncak topografi kurva TM berada diatas kurva TE, maka pada pengukuran pada lembah (dasar) topografi terbentuk hal sebaliknya.



Gambar 4.30 Hasil inversi model topografi koreksi Cokriging



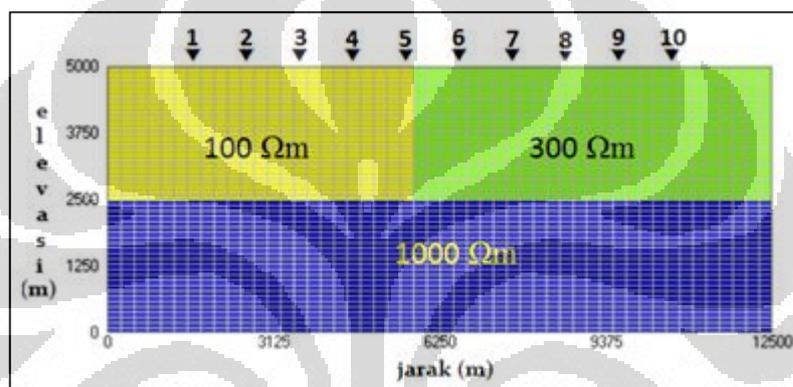
Gambar 4.31 Penampang semu model topografi koreksi Cokriging

Hasil inversi dengan koreksi Cokriging (Gambar 4.30) memiliki perbedaan yang besar dengan dua hasil inversi model topografi sebelumnya. Perbedaan tersebut terletak pada ketidakselarasan pada pelapisan kedua yang semakin jelas. Padahal hasil pengkoreksian dengan metode Cokriging dan Perata-rataan menunjukkan hasil yang hampir serupa, hanya saja nilai resistivitas dengan metode Cokriging sedikit lebih kecil jika dibanding dengan koreksi Perata-rataan. Penampang semu

dengan koreksi Cokriging (Gambar 4.32) memiliki bentuk yang serupa dengan koreksi Perata-rataan.

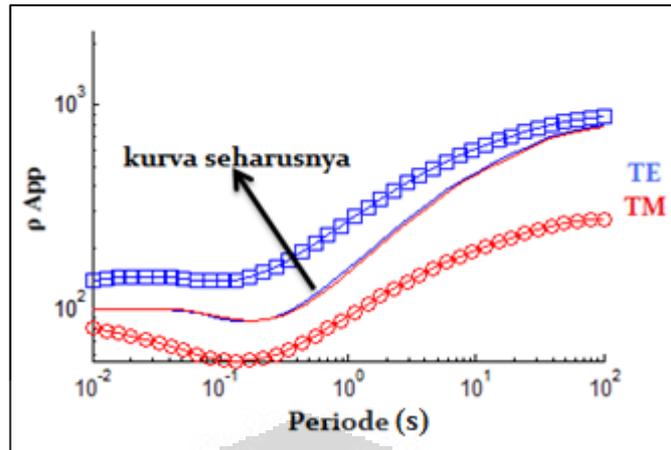
### 4.3 Pemodelan Kontak Vertikal

Penyebab pergeseran statik yang selanjutnya adalah karena adanya kontak vertikal atau pada kondisi pengukuran MT dilapangan dijumpai adanya struktur seperti patahan. Pemodelan ini sama dengan model sebelumnya, terdiri dari sepuluh stasiun dengan keadaan homogennya memiliki dua lapisan. Pemodelan kedepan pergeseran statik akibat adanya kontak vertikal ditunjukkan dengan Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Model kontak vetikal

Pergeseran statik yang terjadi pada model ini berbeda dengan model penyebab pergeseran statik yang dijelaskan sebelumnya. Pada model ini pergeseran statik hampir terjadi pada semua stasiun, namun hanya terjadi pada periode rendah saja. Semakin mendekati batas dari kontak vertikal, pergeseran statik yang terjadi semakin besar. Tepat pada batas dari kontak vertikal, pergeseran statik terjadi pada semua frekuensi. Sama halnya dengan pemodelan sebelumnya, pembahasan mengenai pengkoreksian pergeseran statik dijelaskan pada stasiun ke lima. Hal ini dikarenakan pada stasiun tersebut mengalami pergeseran statik yang paling besar. Pergeseran statik yang terjadi pada stasiun ke lima ditunjukkan dengan Gambar 4.33.

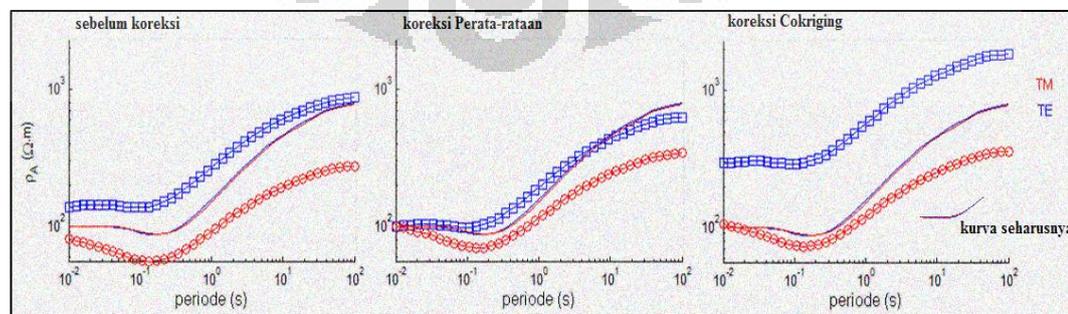


Gambar 4.33 Pergeseran statik stasiun kelima model kontak vertikal

Gambar 4.33 menunjukkan bahwa pengukuran tepat pada kontak vertikal menyebabkan pergeseran statik kurva TE dan TM. Pergeseran statik pada model kontak vertikal ini memiliki kesamaan dengan model heterogenitas permukaan yang telah dijelaskan sebelumnya. Adanya kontak vertikal menyebabkan kurva TM berada dibawah kurva seharusnya (model dengan tidak adanya kontak vertikal), sedangkan kurva TE berada di atasnya. Dengan melihat lebih seksama pada gambar tersebut, kedua kurva memiliki besar pergeseran yang hampir sama pada periode rendah.

#### 4.3.1 Pengkoreksian Model Kontak Vertikal

Melihat pergeseran statik yang terjadi pada model kontak vertikal, pengkoreksian dilakukan dengan metode Perata-rataan dan Cokringing. Besar pergeseran statik dan nilai dari koreksi pergeseran yang terjadi bisa dilihat pada Gambar 4.34.

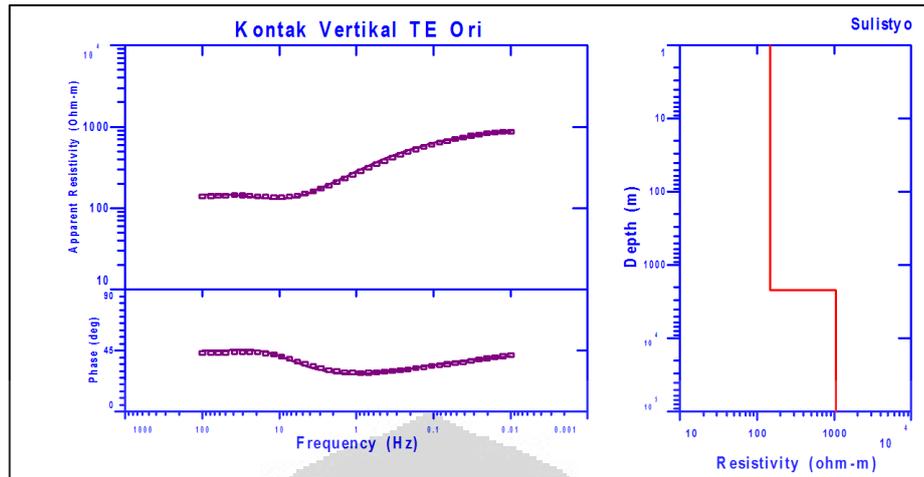


Gambar 4.34 Pergeseran statik model kontak vertikal pengkoreksian Cokringing dan Perata-rataan

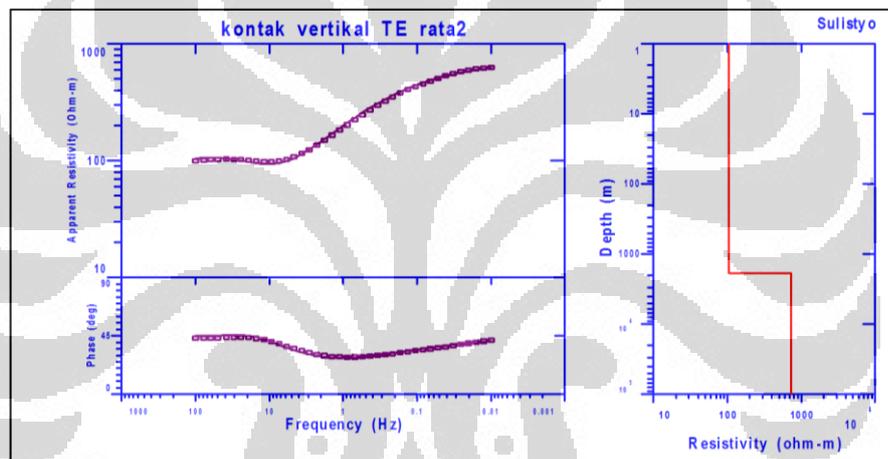
Pengkoreksian pergeseran statik pada model kontak vertikal pada gambar diatas memperlihatkan perbedaan yang sangat mencolok. Sebelum dikoreksi terlihat pergeseran pada kedua kurva, dengan koreksi Perata-rataan pergeseran statik telah mendekati kurva yang seharusnya. Kedua kurva berhimpit, terutama kurva TE yang lebih mendekati kurva seharusnya. Hasil yang kurang bagus ditunjukkan pada koreksi dengan menggunakan koreksi Cokriging. Hasil pengkoreksian pada kurva TM menunjukkan hasil yang hampir serupa. Namun pada pengkoreksian kurva TE, hasil dengan koreksi Cokriging memberikan koreksi pergeseran semakin ke atas dengan nilai resistivitas semu yang semakin besar. Pengkoreksian pada kurva TE seharusnya memberikan nilai pergeseran kebawah sehingga lebih mendekati kurva seharusnya sehingga kurva TE dan TM berhimpit pada nilai yang sama.

#### **4.3.2 Analisis 1-D Model Kontak Vertikal**

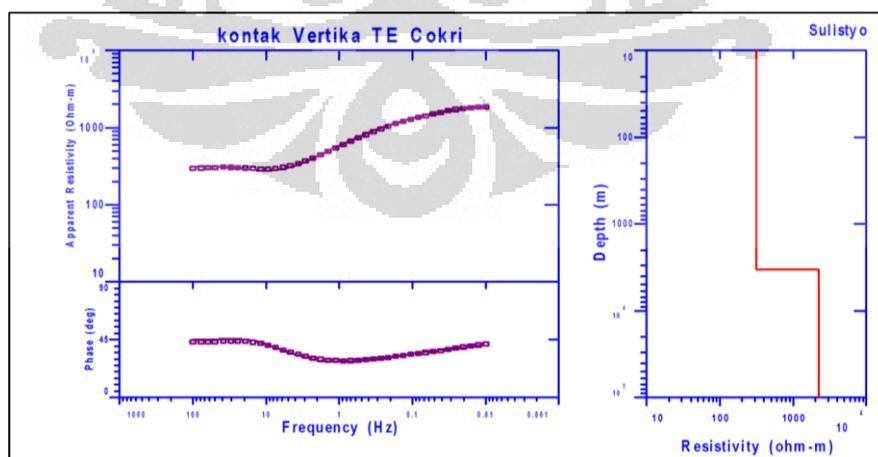
Pergeseran statik yang terjadi pada kurva TE model kontak vertikal memiliki kesamaan dengan model topografi. Pemodelan 1-D yang terbentuk merupakan model dengan sistem dua lapisan. Berarti dengan pemodelan kotak vertikal ini tidak terjadi perubahan bentuk pada kurva TE tersebut. Pemodelan ke depan yang dibuat merupakan pemodelan dengan sistem dua lapisan. Meskipun demikian kontak vertikal menyebabkan kurva data MT mengalami pergeseran. Analisis 1-D berikut menjelaskan seberapa besar pergeseran tersebut. Model 1-D pada kurva TE sebelum dikoreksi ditunjukkan oleh Gambar 4.35, sedangkan model pelapisan yang telah dikoreksi ditunjukkan oleh Gambar 4.36 dan Gambar 4.37.



Gambar 4.35 Kurva TE model kontak vertikal sebelum dikoreksi



Gambar 4.36 Kurva TE model kontak vertikal koreksi Perata-rataan



Gambar 4.37 Kurva TE model kontak vertikal koreksi Cokring

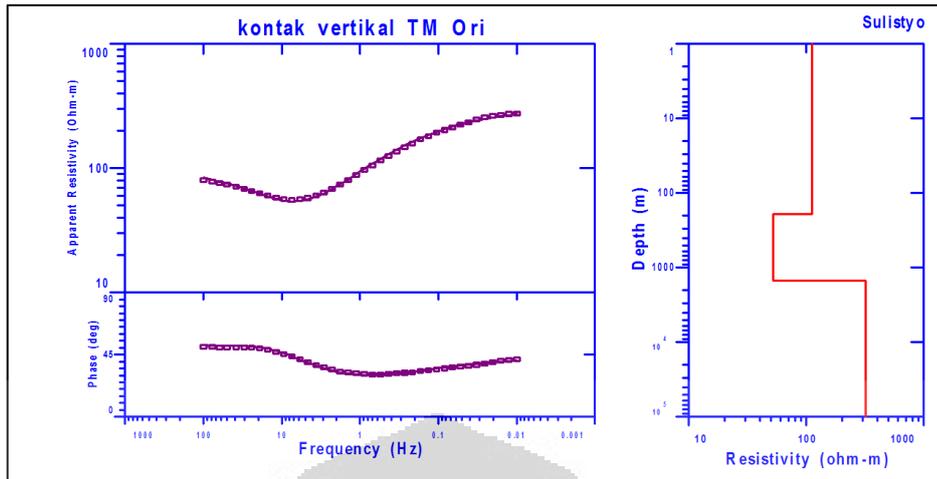
Pemodelan 1-D pada kurva TE model kontak vertikal ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan model heterogenitas permukaan, namun memiliki hasil yang serupa dengan model topografi. Bentuk dari kurva TE tidak mengalami perubahan, kontak vertikal hanya menyebabkan pergeseran statik saja. Perbedaan yang terjadi pada model kontak vertikal dengan model topografi pada kurva TE ini adalah arah pergeseran kurvanya. Pergeseran statik yang terjadi pada model topografi berada di bawah kurva seharusnya, sedangkan pada model kontak vertikal, pergeseran statik pada kurva TE berada di atas pada kurva seharusnya.

Tabel 4.5 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TE model kontak vertikal sebelum dan sesudah koreksi

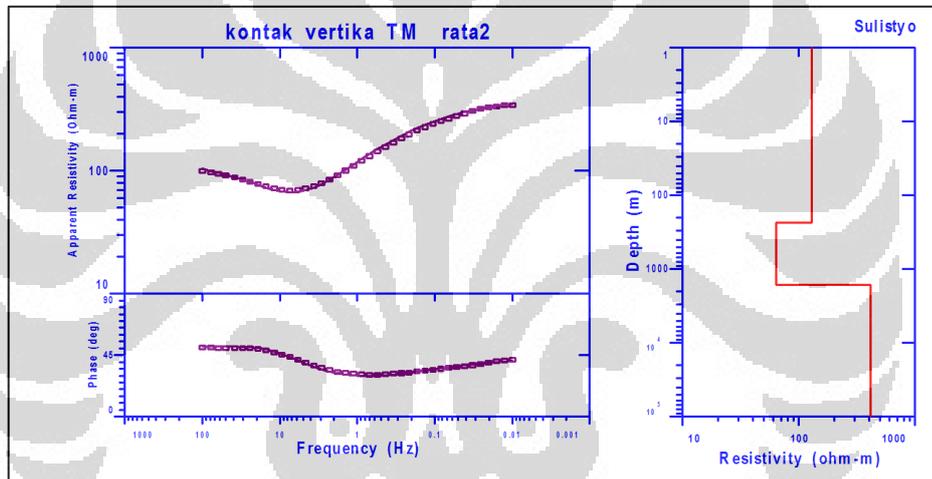
Kurva TE	Original			Koreksi Perata-rataan			Koreksi Cokriging		
	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)
Lapisan 1	143.5	2186.1	2186.1	104.9	1869.2	1869.2	311.8	3333.8	3333.8
Lapisan 2	1043.3			732.5			2224.3		

Analisis 1-D pada kurva TE ditunjukkan pada Tabel 4.5. Terjadi perbedaan yang mencolok antara nilai sebelum dikoreksi dan setelahnya. Kontak vertikal menyebabkan nilai resistivitas semu naik dengan nilai yang lebih besar yaitu pada frekuensi tinggi (penetrasi dangkal) pada nilai 143  $\Omega\text{m}$ , padahal dalam pemodelannya nilainya adalah 100  $\Omega\text{m}$ . Pengkoreksian dengan Perata-rataan berhasil mengkoreksi kurva TE tersebut pada nilai yang mendekati nilai seharusnya. Pengkoreksian dengan Cokriging memberikan nilai dengan pergeseran ke atas. Interpretasi resistivitas dan kedalaman dengan koreksinya bisa dilihat pada tabel tersebut.

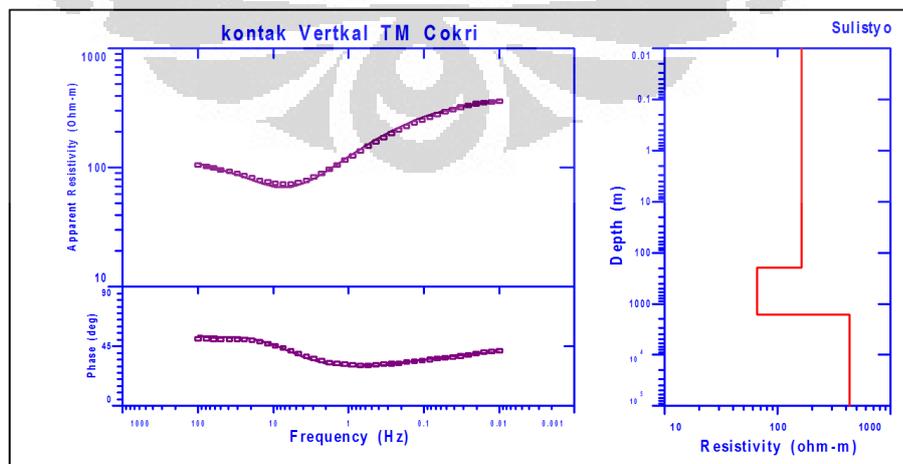
Pada kurva TE model kontak vertikal, terbentuk sistem dua pelapisan yang sesuai dengan pemodelan ke depan yang dibuat. Hal yang sangat berbeda jauh ditunjukkan pemodelan 1-D pada kurva TM. Model pelapisan yang ada pada analisis 1-D berikut memiliki tiga lapisan yang berbeda jauh jika dibandingkan dengan pemodelan yang dibuat. Untuk melihat hal tersebut, model 1-D pada kurva TM sebelum dikoreksi ditunjukkan oleh Gambar 4.38, sedangkan model pelapisan yang telah dikoreksi ditunjukkan oleh Gambar 4.39 dan Gambar 4.40.



Gambar 4.38 Kurva TM model kontak vertikal sebelum dikoreksi



Gambar 4.39 Kurva TM model kontak vetikal koreksi Perata-rataan



Gambar 4.40 Kurva TM model kontak vertikal koreksi Cokriging

Tabel 4.6 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TM model kontak vertikal sebelum dan sesudah koreksi

Kurva TM	Original			Koreksi Perata-rataan			Koreksi Cokriging		
	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)
Lapisan 1	110.6	190.9	190.9	128.2	234.2	234.2	161.4	195.8	195.8
Lapisan 2	51.	1298.4	1489.4	63.4	1396.3	1396.3	67.1	1430.7	1626.5
Lapisan 3	318.8			411.5			430.1		

Tabel 4.6 memperlihatkan analisis 1-D data TM model kontak vertikal. Dengan melihat tabel tersebut, ternyata efek adanya kontak vertikal memberikan hasil sistem dengan tiga lapisan. Yang menjadi perhatian pada kurva TM ini adalah pelapisan yang terjadi yaitu adanya struktur dengan nilai resistivitas tinggi-rendah-tinggi. Seharusnya nilai resistivitas yang sesuai dengan pemodelan ke depan adalah nilai resistivitas rendah ( $100 \Omega\text{m}$ ) ke resistivitas tinggi ( $1000 \Omega\text{m}$ ). Dengan melihat tabel 4.6, koreksi dengan metode Perata-rataan mendekati model yang dibuat pada pemodelan ke depan. Nilai resistivitas koreksi metode Perata-rataan pada lapisan pertama menunjukkan hasil yang lebih mendekati model ke depan yaitu  $100 \Omega\text{m}$ .

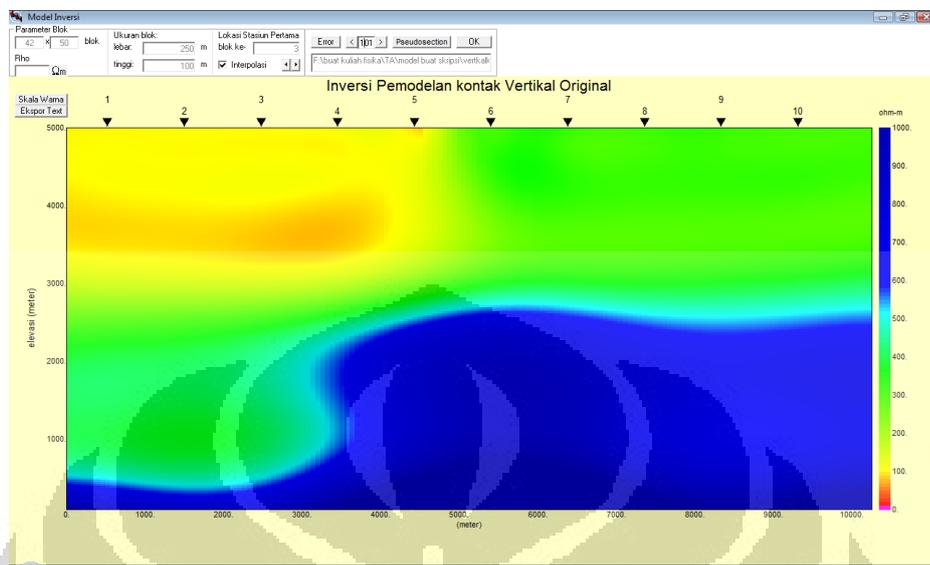
### 4.3.3 Hasil Inversi 1-D Model Kontak Vertikal

Analisis 1-D menunjukkan hasil bahwa kurva TM memiliki tiga lapisan dengan nilai resistivitas tinggi-rendah-tinggi. Pemodelan yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 merupakan data TM dengan nilai resistivitas terendah pada lapisan ketiga dari stasiun pertama sampai keempat.

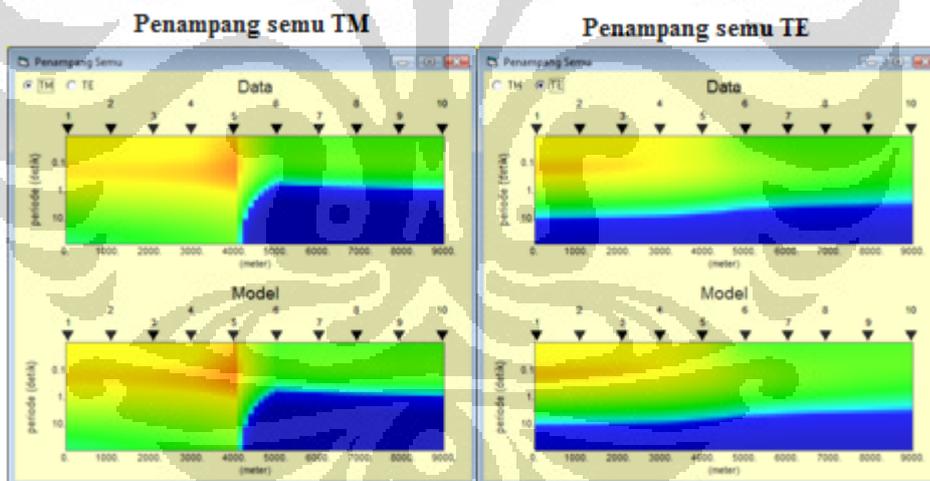
Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa kontak vertikal menyebabkan pergeseran statik pada periode rendah. Pergeseran statik terjadi pada semua periode tepat pada kondisi kontak vertikalnya. Dengan demikian, semakin mendekati batas kontak vertikal pergeseran statik yang terjadi semakin besar.

Dari data TM yang diperoleh dari pemodelan ke depan, semakin mendekati batas dari kontak vertikalnya mulai dari stasiun pertama sampai dengan stasiun keempat nilai dari kurva TM memberikan nilai yang semakin rendah. Dengan demikian,

hasil inversi yang ditunjukkan pada Gambar 4.41 dibawah stasiun tersebut menunjukkan hasil inversi dengan sistem tiga lapisan.

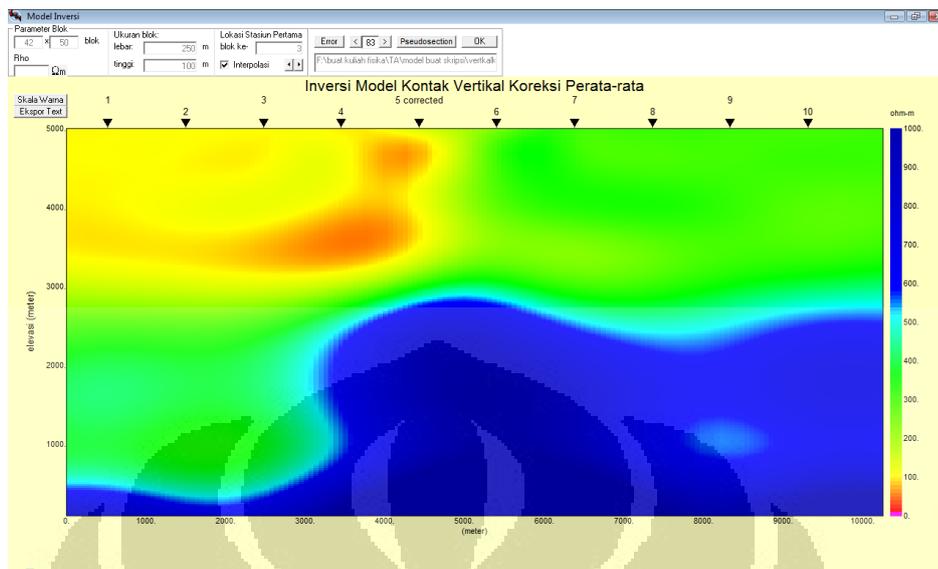


Gambar 4.41 Hasil inversi model kontak vertikal sebelum dikoreksi

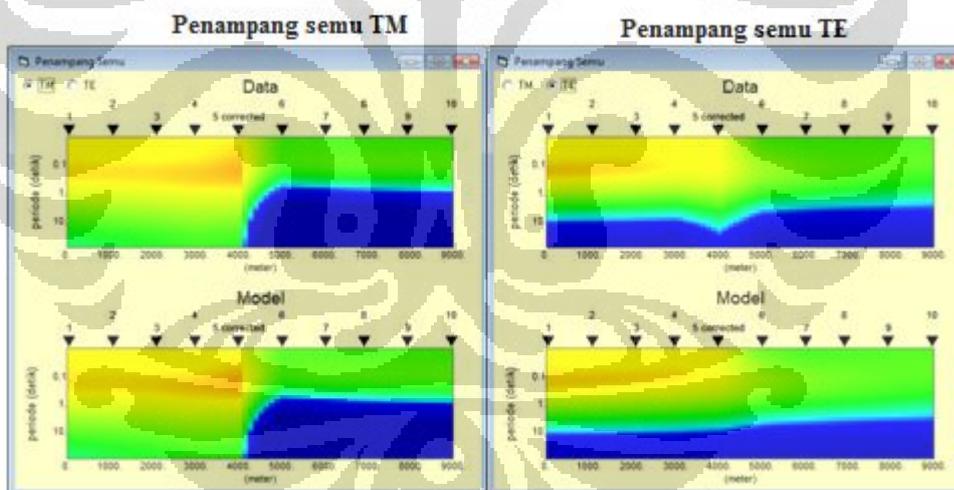


Gambar 4.42 Penampang semu model kontak vertikal sebelum dikoreksi

Hasil inversi pada Gambar 4.41 bisa dijelaskan pula dengan melihat penampang semu model topografi sebelum dilakukan pengkoreksian (Gambar 4.42). Karena adanya kontak vertikal maka data MT yang seharusnya memiliki dua lapisan, pada penampang semu TM menghilangkan lapisan kedua ( $1000 \Omega\text{m}$ ) pada pemodelan ke depan model topografi.



Gambar 4.43 Hasil inversi model kontak vertikal koreksi Perata-rataan

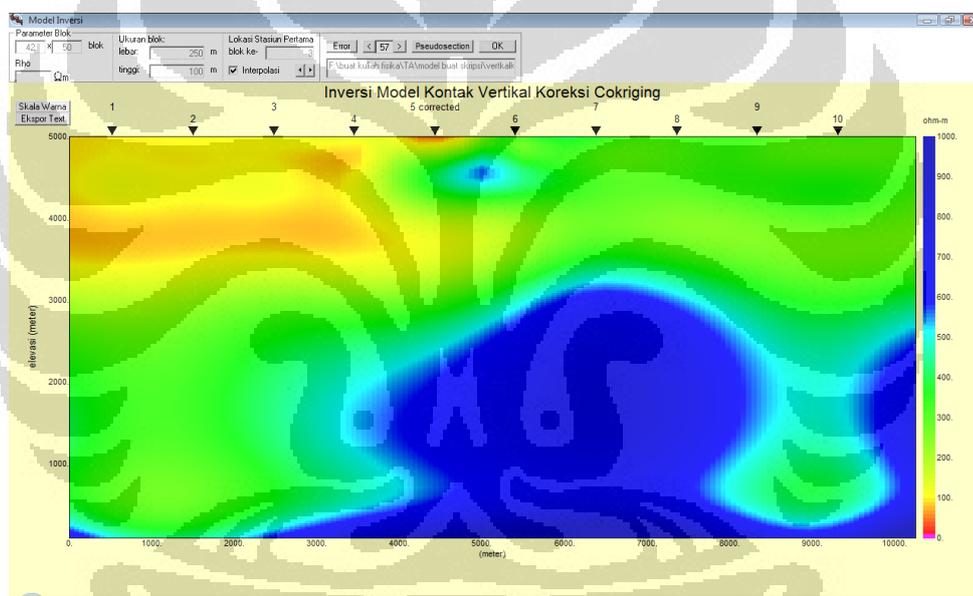


Gambar 4.44 Penampang semu model kontak vertikal koreksi Perata-rataan

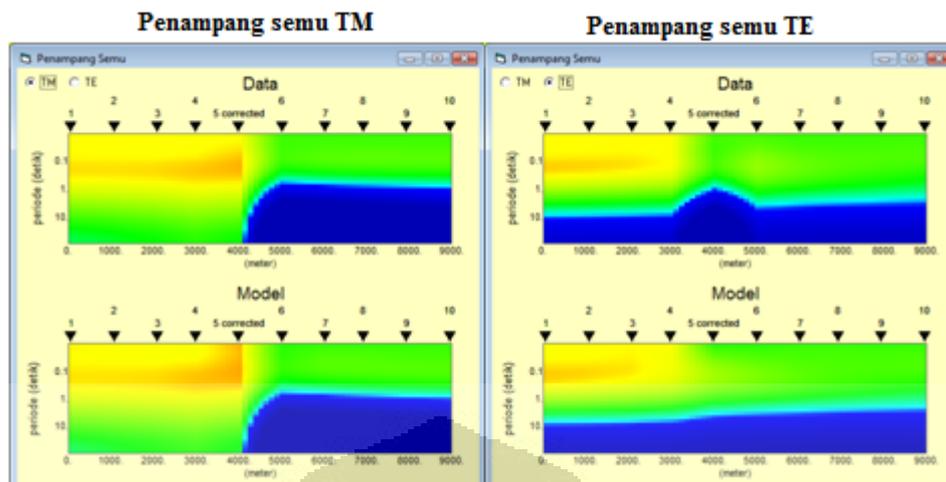
Hasil inversi setelah dilakukan pengkoreksian dengan metode Perata-rataan dan juga Cokriging menunjukkan hasil yang berbeda dengan hasil inversi sebelum dikoreksi. Hasil inversi dengan koreksi Perata-rataan (Gambar 4.43), menunjukkan hasil yang tidak terlalu beda dengan data inversi sebelum dilakukan pengkoreksian (Gambar 4.41). Kurva MT yang mengalami pergeseran statik telah dikoreksi pada periode awal 100  $\Omega$ m yaitu sesuai dengan pemodelan kedepan

(Gambar 4.32). Dengan demikian, hasil inversi dengan metode Perata-rataan. dibawah stasiun ke lima terlihat nilai resistivitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil inversi sebelum dilakukan pengkoreksian.

Penampang semu hasil koreksi Perata-rataan (Gambar 4.43) menunjukkan perbedaan dengan penampang semu sebelum dikoreksi. Perbedaan tersebut tidak terlalu terlihat pada penampang semu TM. Pada penampang semu TE, karena pengkoreksian data TE mode digeser ke bawah sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 4.34 data penampang semunya seperti terdapat cekungan pada lapisan kedua tepat dibawah stasiun ke lima.



Gambar 4.45 hasil Inversi model kontak vertikal koreksi Cokriging



Gambar 4.47 Penampang semu model kontak vertikal koreksi Cokriging

Pengkoreksian dengan menggunakan koreksi Cokriging memberikan hasil inversi (Gambar 4.45) yang sangat berbeda dengan pemodelan ke depan model topografi. Hasil dari inversi tersebut tidak sesuai dengan yang diharapkan dan memiliki perbedaan yang sangat mencolok dengan hasil inversi sebelum dilakukan pengkoreksian dan setelah dikoreksi dengan Perata-rataan. Perbedaan yang sangat mencolok terlihat pada kondisi resistivitas pada lapisan ke dua yang terletak antara stasiun sembilan dan sepuluh dengan adanya cekungan. Hal ini disebabkan karena pengkoreksian dengan metode Cokriging memberikan hasil yang semakin menjauhi kurva seharusnya dan memperlebar pergeseran statik (Gambar 4.34).

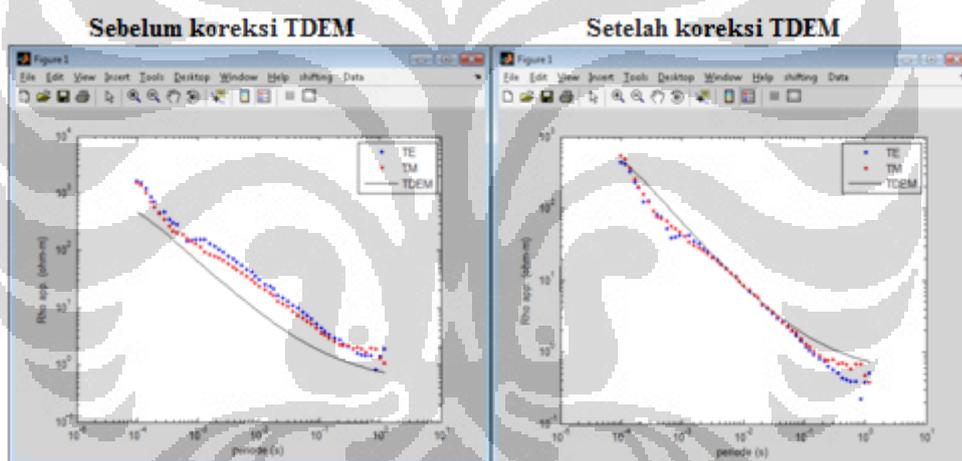
Dengan melihat penampang semu data terkoreksi dengan metode Cokriging (Gambar 4.47), penampang semu TE menunjukkan undulasi pada lapisan kedua tepat dibaeah stasiun ke lima. Penampang TE terbentuk seperti tersebut dikarenakan koreksi dengan menggunakan Cokriging menggeser data TE ke atas dengan nilai resistivitas yang lebih tinggi.

#### 4.4 Data Riil

Pemodelan telah menunjukkan bahwa metode Perata-rataan dan Cokriging berhasil memperbaiki data MT yang mengalami pergeseran statik. Keberhasilan tersebut diuji penggunaannya dalam keadaan sesungguhnya yang terjadi di lapangan.

Data riil yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data satu lintasan dari suatu lapangan panas bumi. Terdapat beberapa stasiun pengukuran MT yang dilakukan pengukuran TDEM untuk mengoreksi data pada stasiun yang mengalami pergeseran statik. Dari kedua metode pengkoreksian yaitu Perataan dan Cokriging, akan dibandingkan metode yang paling mendekati dengan pengkoreksian pada TDEM.

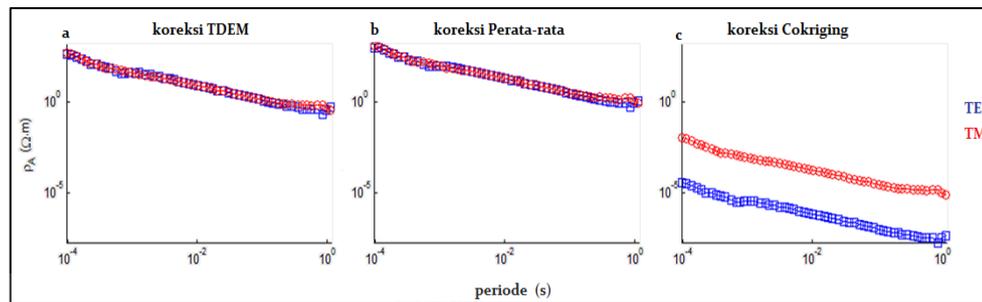
Sebelum membandingkan bagaimana koreksi Cokriging dan Perataan terhadap TDEM, akan dijelaskan bagaimana TDEM menjadi pengkoreksi terhadap data MT yang mengalami pergeseran statik. Data yang ditampilkan (Gambar 4.48) berikut merupakan data pada suatu lapangan panas bumi stasiun 9 yang seolah-olah tidak mengalami pegeseran statik, padahal kedua kurvanya (TE dan TM) mengalami pergeseran statik.



Gambar 4.48 Koreksi TDEM stasiun 106

Data pada stasiun 9 tersebut, digeser pada kurva TDEM (garis berwarna hitam) ke bawah sehingga nilai resistivitas semunya menjadi lebih rendah.

#### 4.4.1 Pengkoreksian Data Riil

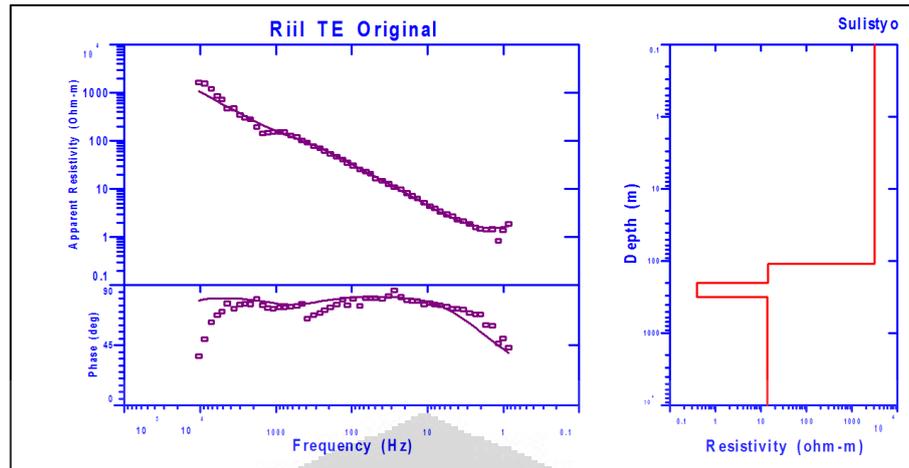


Gambar 4.49 Koreksi data stasiun 9

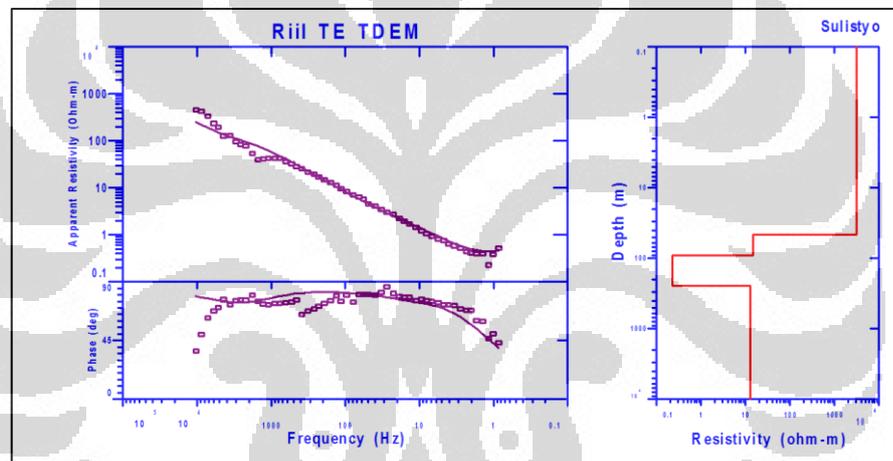
Dari Gambar 4.49, terlihat sekali perbedaan antara koreksi Cokriging terhadap koreksi Perata-rataan dan TDEM. Persamaan yang digunakan Cokriging mengambil data dari satu lintasan dan nilai kurva terkoreksi berada pada satu nilai awal yang sama yang bisa dilihat pada kurva koreksi Cokriging. Koreksi dengan metode Perata-rataan memiliki nilai yang lebih dekat dengan koreksi dengan menggunakan TDEM. Dengan melihat keadaan seperti ini, pada data lapangan panas bumi ini koreksi Perata-rataan memberikan hasil yang lebih menjanjikan. Koreksi bukan hanya dilakukan pada satu stasiun saja, dengan melihat data pada stasiun yang memiliki data TDEM yaitu stasiun 5,7, dan 11, koreksi Perata-rataan memberikan nilai yang mendekati nilai koreksi dengan TDEM.

#### 4.4.2 Analisis 1-D Data Riil

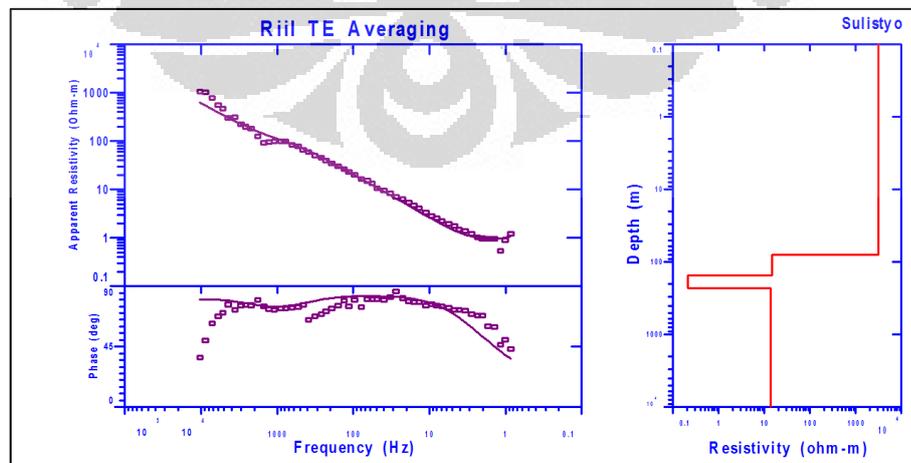
Analisis 1-D dengan data riil hanya diberikan penggambaran pada data TE. Hal ini dikarenakan data TE dan TM memiliki nilai kurva yang hampir sama (Gambar 4.48), sehingga pemodelan 1-Dnya tidak memiliki perbedaan yang terlalu besar. Hasil pemodelan 1-D data Te sebelum dikoreksi ditunjukkan pada Gambar 4.50. Untuk pemodelan 1-D data yang dikoreksi oleh TDEM ditunjukkan Gambar 4.51, sedangkan data yang dikoreksi dengan metode Perata-rataan ditunjukkan oleh Gambar 4.51. Analisis 1-D metode Cokriging tidak dijelaskan karena nilai dari pengkoreksian terlalu kecil seperti yang ditunjukkan Gambar 4.49.



Gambar 4.50 kurva TE data riil Sebelum dikoreksi



Gambar 4.51 Kurva TE data riil koreksi TDEM



Gambar 4.52 kurva TE data riil koreksi Perata-rataan

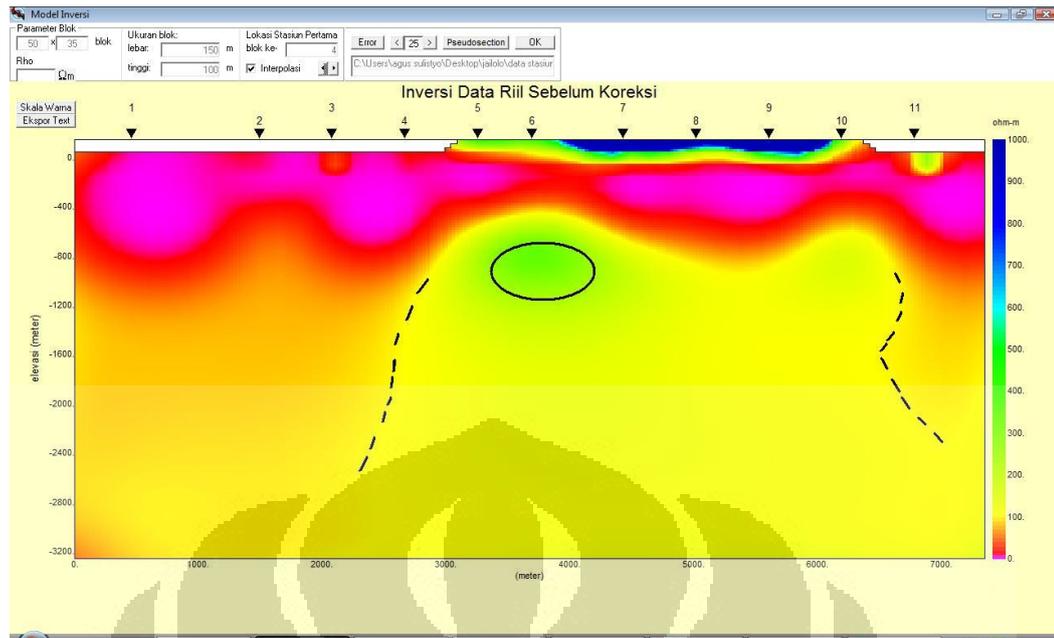
Tabel 4.7 Perbandingan resistivitas dan kedalaman kurva TE data riil sebelum dan sesudah koreksi

Kurva TE	Original			Koreksi TDEM			Koreksi Perata-rataan		
	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)	Rho ( $\Omega\text{m}$ )	Thick (m)	Depth (m)
Lapisan 1	3090.3	108.7	108.7	3090.3	46.0	46.0	3090.3	79.2	79.2
Lapisan 2	13.9	90.2	198.9	14.5	45.6	91.7	14.5	73.1	152.4
Lapisan 3	0.3	115.08	314.0	0.2	152	243.	0.2	77.7	230.1
Lapisan 4	13.0			12.5			13.4		

Pengukuran MT pada stasiun 9 masih berkisar pada daerah Audio magnetotelluric (AMT) sehingga penetrasi yang terlihat pada interpretasi 1-D pun belum masuk pada penetrasi yang dalam. Antara nilai sebelum dikoreksi dengan nilai yang telah dikoreksi, terlihat nilai resistivitas yang hampir sama. Hal ini dikarenakan karena stasiun ini tidak mengalami pergeseran statik yang besar. Namun dengan melihat ketebalan dan kedalaman yang terlihat pada Tabel 4.7, terjadi perbedaan hingga puluhan hingga ratusan meter pada interpretasi kedalaman. Dengan demikian, Analisis 1-D dengan koreksi menggunakan TDEM dan Perata-rataan dapat digunakan untuk memperbaiki interpretasi ketebalan dari setiap lapisan.

#### 4.4.3 Hasil Inversi 2-D Data Riil

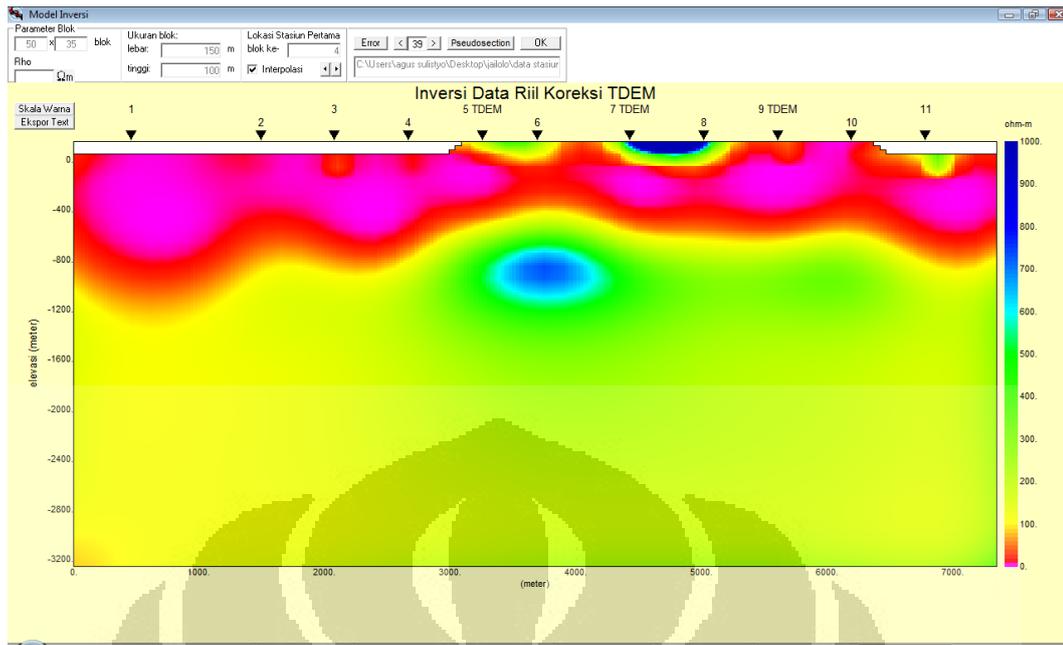
Hasil yang dijelaskan sebelumnya hanya menjelaskan pergeseran statik yang terjadi pada stasiun 9. Penjelasan terhadap koreksi Cokriging tidak dijelaskan karena dengan melihat Gambar 4.18 hasil dengan metode tersebut tidak memberikan hasil yang diharapkan. Nilai resistivitas semu yang dihasilkan oleh koreksi Cokriging lebih kecil dari  $10^{-5} \Omega\text{m}$ , sehingga sangat sulit untuk dilakukan inversi dengan menghasilkan kesalahan yang besar. Hasil inversi berikut adalah inversi sebelum dikoreksi dan yang telah dikoreksi pada stasiun 5, 7, dan 9 dengan TDEM dan juga Perata-rataan. Hasil inversi sebelum dilakukan koreksi terlihat pada Gambar 4.53.



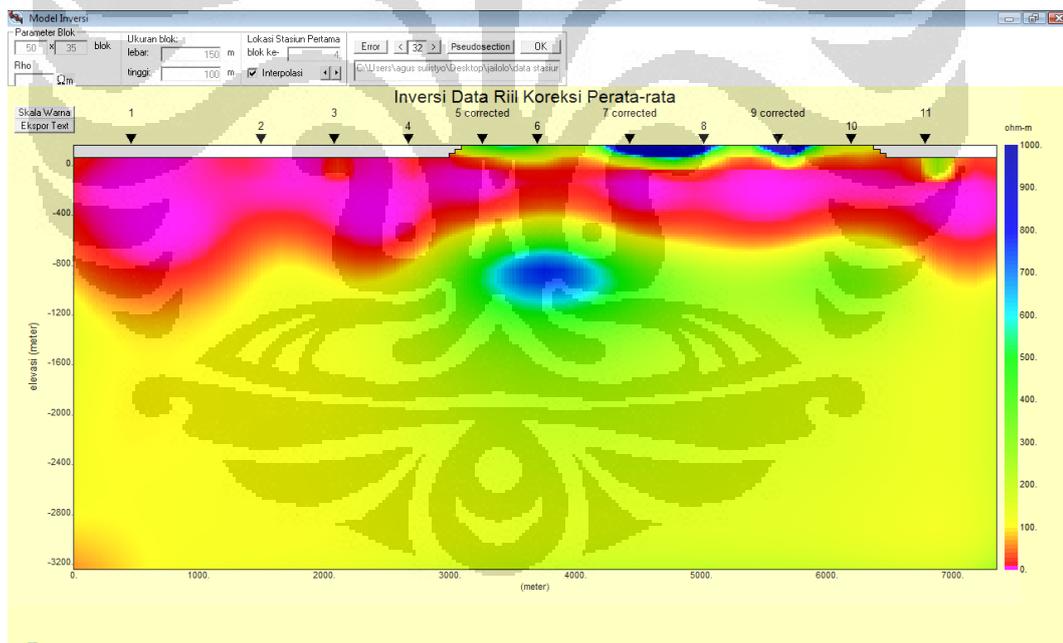
Gambar 4.53 Inversi data Riil sebelum dikoreksi

Hasil inversi sebelum dilakukan pengkoreksian pada data riil (Gambar 4.53) menunjukkan adanya heterogenitas dekat permukaan mulai dari stasiun 7 sampai dengan 10. Heterogenitas dekat permukaan tersebut menyebabkan inversi pada bagian yang lebih dalam seperti ada pembatas yang diperlihatkan oleh garis putus-putus berwarna hitam. Pada kondisi bawah permukaan tepat dibawah stasiun 6 terdapat seperti bulatan dengan nilai resistivitas kisaran  $400 \Omega\text{m}$ .

Hasil inversi setelah dilakukan koreksi dengan menggunakan TDEM dan Perata-rataan menunjukkan hasil yang berbeda dengan sebelum dikoreksi. Inversi data yang telah dikoreksi memiliki kecenderungan yang sama. Hasil inversi data setelah dikoreksi dengan TDEM ditunjukkan pada Gambar 4.54, sedangkan hasil inversi data terkoreksi oleh metode Perata-rataan ditampilkan pada Gambar 4.55.



Gambar 4.54 Inversi data Riil koreksi TDEM

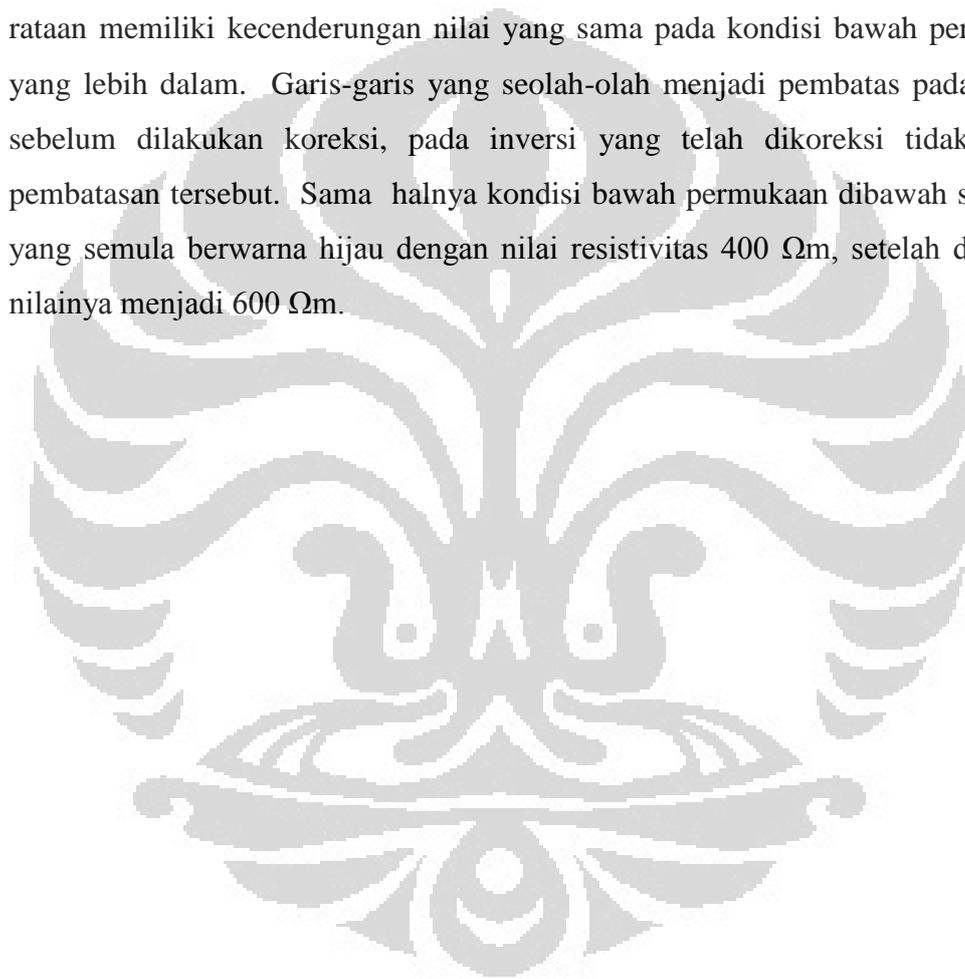


Gambar 4.55 Inversi data Riil koreksi Perata-rataan

Hasil inversi dengan menggunakan koreksi TDEM menghilangkan adanya heterogenitas yang mulanya ada pada stasiun 7 sampai dengan 10 yang diindikasikan dengan warna biru yang memiliki nilai resistivitas 900  $\Omega$  hanya ada pada stasiun 7 dan 8 saja. Heterogenitas dekat permukaan memiliki nilai yang

resistivitas yang lebih besar dari pada keadaan sekitarnya, sehingga dengan fakta seperti itu akan menyebabkan kurva MT mengalami pergeseran statik ke atas. Hal tersebut dibuktikan dengan data koreksi TDEM yang memiliki nilai di bawah dari pada kurva MT.

Sedangkan dari hasil inversi dengan koreksi Perata-rataan, menghilangkan pula adanya heterogenitas dekat permukaan meski tidak seperti pada hasil inversi yang menggunakan koreksi TDEM. Hasil inversi dengan koreksi TDEM dan Perata-rataan memiliki kecenderungan nilai yang sama pada kondisi bawah permukaan yang lebih dalam. Garis-garis yang seolah-olah menjadi pembatas pada inversi sebelum dilakukan koreksi, pada inversi yang telah dikoreksi tidak terjadi pembatasan tersebut. Sama halnya kondisi bawah permukaan dibawah stasiun 6 yang semula berwarna hijau dengan nilai resistivitas 400  $\Omega\text{m}$ , setelah dikoreksi nilainya menjadi 600  $\Omega\text{m}$ .



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penyebab pergeseran statik yaitu heterogenitas permukaan, topografi dan kontak vertikal terbukti dengan pemodelan ke depan. Pergeseran statik model ke depan menyebabkan kurva MT bergeser dengan karakteristik yang berbeda-beda.
2. Pengkoreksian pada pemodelan ke depan dengan Perata-rataan memberikan hasil yang lebih baik pada setiap model. Hasil koreksi pada model heterogenitas permukaan dan topografi dengan Cokriging dan Perata-rataan memberikan hasil yang hampir serupa. Namun pada model kontak vertikal, Cokriging memberikan hasil semakin memperlebar pergeseran antara kurva TE dan TM.
3. Pengkoreksian memakai data riil, dengan metode Perata-rataan memberikan hasil yang lebih mendekati dengan koreksi TDEM.
4. Dengan melihat penjelasan point diatas, secara keseluruhan koreksi dengan Perata-rataan memberikan hasil yang lebih baik daripada Cokriging.

#### **5.2 Saran**

Koreksi dengan operasi matematik seperti Cokriging dan Perata-rataan terbukti dapat memecahkan masalah pergeseran statik serta akan mengurangi biaya pada eksplorasi MT jika dibandingkan menggunakan TDEM. Namun demikian, perlu dilakukan penelitian dengan model yang bervariasi. Hal yang sama juga perlu dilakukan lagi yaitu penelitian lebih lanjut ataupun modifikasi terhadap Cokriging dan Perata-rataan. Pendekatan pada penelitian ini adalah pendekatan terhadap model dua dimensi, penelitian mengenai pendekatan tiga dimensi perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya.

## DAFTAR ACUAN

- Bostick, F.X., Verdin, C.T., 1992, *Principles of spatial surface electric field filtering magnetotelluric : Electromagnetic Array Profiling (EMAP)* .Geophysics Vol 57no 4.
- Choteau, M., Denis, M., Tournier, B., 2007, *Magnetotelluric Static Shift: estimation and removal using the cokriging method* .Geophysics, Vol. 72, No. 1
- Daud, Yunus, 2007., *Bahan Mata Kuliah Metode Elektromagnetik*.Universitas Indonesia
- Hendro, Agus., dan Grandis, Hendra., 1996, *Koreksi efek static pada data magnetoteluric menggunakan data elektromagnetik transien*. Proceedings HAGI.
- Ningsih, Utami.H., 2010. *Koreksi pergeseran statik pada data magnetotelurik (MT) menggunakan geostatik pada data sintetik dan data riil*. Universitas Indonesia.
- Jiracek, George R.,1985. *Near Surface and Topografic Distortion In Electromagnetiv Induction*. San Diego State University.
- Ledo, Huan., Gabas, Anna., dan Marcuello, Alex., 2002. *Static shift levelling using geomagnetic transfer functions*.Earth Planet Space.
- Sulistyo, Agus.,2010. *Pemodelan Static Shift Menggunakan MT2dFor*. Universitas Indonesia.
- Unsworth, Martin, 2008., *Bahan Mata Kuliah Metode Elektromagnetik*.
- Xiao, Wien., 2004. *Magnetotelluric Exploration in the Rocky Mountain Foothills, Alberta*. Unversuty Of Alberta.
- Vozoff, K., 1991, *The Magnetotelluric Method, Chapter 8, Electromagnetic method in applied geophysics-Applications* , published by Society of Exploration Geophysicists.