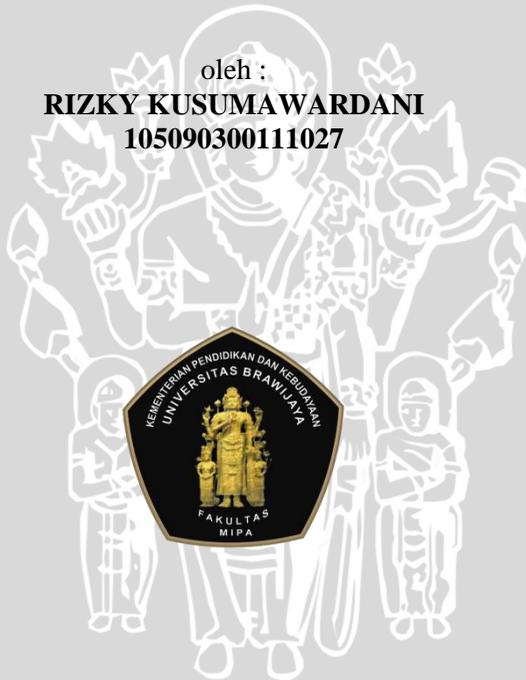


**PENGGUNAAN DATA *TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC*  
(TDEM) DALAM MEREDUKSI EFEK STATIK PADA DATA  
MAGNETOTELLURIK (MT) DAERAH PROSPEK  
PANASBUMI LAPANGAN “UB”**

**SKRIPSI**

oleh :

**RIZKY KUSUMAWARDANI  
105090300111027**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2014**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**PENGGUNAAN DATA *TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC*  
(TDEM) DALAM MEREDUKSI EFEK STATIK PADA DATA  
MAGNETOTELLURIK (MT) DAERAH PROSPEK  
PANASBUMI LAPANGAN “UB”**

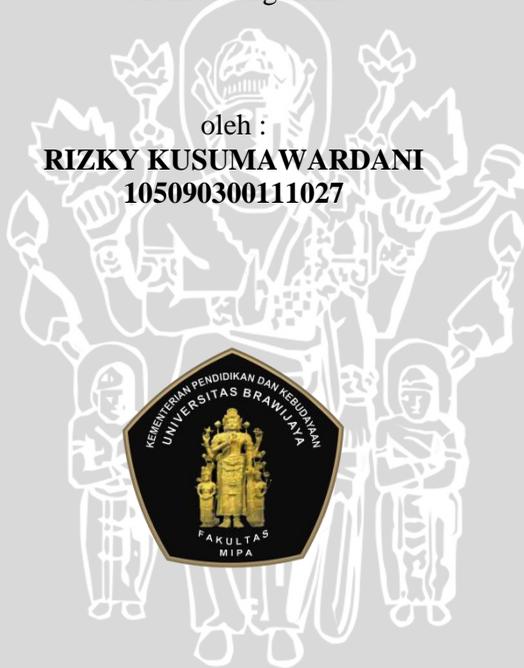
**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang fisika

oleh :

**RIZKY KUSUMAWARDANI**

**105090300111027**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2014**

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENGUNAAN DATA *TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC*  
(TDEM) DALAM MEREDUKSI EFEK STATIK PADA DATA  
MAGNETOTELLURIK (MT) DAERAH PROSPEK  
PANASBUMI LAPANGAN “UB”**

oleh:

**RIZKY KUSUMAWARDANI**

**105090300111027**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal 3 September 2014  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Sukir Maryanto, Ph.D.**  
**NIP 19710621 1998 02 1001**

**Nefrizal, S.Si.**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Drs. Adi Susilo, M.Si, Ph.D**  
**NIP 19631227 1991 03 1002**

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rizky Kusumawardani

NIM : 105090300111027

Jurusan : Fisika

Penulis Skripsi berjudul :

**PENGUNAAN DATA *TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC*  
(TDEM) DALAM MEREDUKSI EFEK STATIK PADA DATA  
MAGNETOTELLURIK (MT) DAERAH PROSPEK  
PANASBUMI LAPANGAN “UB”**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 3 September 2014

Yang menyatakan,

(RIZKY KUSUMAWARDANI)

NIM 105090300111027

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



# PENGGUNAAN DATA *TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC* (TDEM) DALAM MEREDUKSI EFEK STATIK PADA DATA MAGNETOTELLURIK (MT) DAERAH PROSPEK PANASBUMI LAPANGAN “UB”

## ABSTRAK

Pemanfaatan sumber pasif akan mengakibatkan data Magnetotellurik (MT) mengalami distorsi yang disebabkan oleh banyak faktor. Adanya faktor heterogenitas permukaan, topografi dan kontak vertikal, akan berdampak pada timbulnya pergeseran vertikal kurva MT yang dikenal sebagai efek statik. Hasil pengolahan data MT yang mengalami efek statik, akan mengakibatkan timbulnya ambiguitas dalam interpretasi data. Diperlukan suatu metode untuk melakukan koreksi akibat efek statik, yaitu dengan menggunakan metode *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) yang tidak terpengaruh adanya topografi maupun heterogenitas permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efek statik pada data MT dan pengaruh data TDEM dalam mereduksi efek statik. Berdasarkan hasil pengolahan diketahui bahwa semua titik pengukuran mengalami efek statik yang ditandai pergeseran vertikal kurva *sounding* ke atas maupun ke bawah dengan nilai resistivitas yang bervariasi. Pengaruh penggunaan data TDEM dapat lebih terlihat pada inversi 1D, sedangkan hasil inversi 2D dengan atau tanpa koreksi efek statik menunjukkan pola resistivitas yang hampir sama.

**Kata kunci :** Magnetotellurik, Efek statik, *Time Domain Electromagnetic*, inversi 1D dan 2D.

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



ABSTRACT

# APPLICATION OF TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC (TDEM) TO REDUCE STATIC SHIFT IN MAGNETOTELLURIC (MT) DATA “UB” FIELD GEOTHERMAL PROSPECT

## ABSTRACT

Magnetotelluric (MT) signals are natural sources. Those conditions cause a distortion in MT data affected by many factors. Static Shift on the apparent resistivity on MT plots at all frequencies may be caused by near surface conductivity heterogeneity, rugged topography and vertical contact. The Result of MT Data Processing affected by static shift will give ambiguity in data interpretation. To solve this problem, we use TDEM data for static shift correction since TDEM is relatively not affected by topography and near surface conductivity heterogeneity. In this study, we determine for static shift on the MT data and how this effect was removed using data acquired from TDEM. In this report, all of MT data indicate that the apparent resistivity curves were shifted up and down with different value. The result of 1-D inversion of TDEM and MT soundings was designed to solve the static shift problem in MT data. But, 2D inversion results with or without the static shift correction using TDEM was showed a similar resistivity pattern.

**Keyword :** Magnetotelluric, Static Shift, *Time Domain Electromagnetic*, 1D and 2D inversion.

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmat serta petunjuk-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul "Penggunaan Data *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) dalam Mereduksi Efek Statik Pada Data Magnetotellurik (MT) Daerah Prospek Panasbumi Lapangan "UB"". Laporan Tugas Akhir ini merupakan syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

Penulis banyak mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu yang tercinta atas doa, semangat, dorongan dan motivasi yang telah diberikan.
2. PT. Elnusa Tbk, atas kesempatan yang diberikan kepada penulis dalam melaksanakan penelitian Tugas Akhir.
3. Bapak Nefrizal, Bapak Deni Saputra selaku pembimbing di Elnusa, yang telah banyak memberikan ilmu, saran, masukan sampai terselesainya laporan ini.
4. Bapak Adi Susilo, Ph.D selaku ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
5. Bapak Sukir Maryanto, Ph.D selaku pembimbing I atas segala bentuk bimbingan dan masukan yang beliau berikan kepada penulis selama proses penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Kakak-kakakku yang tercinta atas doa dan dukungannya.
7. Mas Roy, Mas Anhar dan Mas Irkham yang telah banyak membantu penulis selama proses penelitian tugas akhir.
8. Sania, Bagus, Rizgus, Anita, Rina dan Reni. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir, yang senantiasa berbagi canda tawa dan semangat selama proses penelitian.
9. Dzarril, Pungky, Diah, Shofi, Firda, Anggra dan seluruh sahabat seperjuangan di Jurusan Fisika Universitas Brawijaya angkatan 2010.
10. Sahabat-sahabat Kos Buk Tun dan Mpok Mira, yang senantiasa memberikan bantuan dan dukungannya.

11.Semua pihak yang telah mendukung dan membantu baik langsung maupun tidak langsung, yang tidak bisa penulis sebut satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini tidak luput dari berbagai kesalahan dan kekurangan, untuk itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan dalam penelitian - penelitian yang akan datang. Akhir kata penulis berharap semoga hasil karya tulis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, Amin.

Malang, Juli 2014

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	v
LEMBAR PERNYATAAN .....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Prinsip Dasar Metode Magnetotellurik .....	5
2.2 Persamaan Maxwell .....	6
2.3 Impedansi .....	10
2.4 Penetrasi Kedalaman ( <i>Skin Depth</i> ).....	12
2.5 Mode Pengukuran Magnetotellurik.....	14
2.6 Efek Statik .....	16
2.7 Metode <i>Time Domain Electromagnetic</i> (TDEM).....	19
2.8 Sistem Panasbumi.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	25

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2	Metode Penelitian.....	27
3.3	Materi Penelitian.....	27
3.4	Alur Penelitian.....	28
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>45</b>
4.1	Analisis Efek Statik pada Data MT .....	45
4.2	Analisis Hasil Pemodelan dan Inversi 1D .....	58
4.3	Analisis Hasil Inversi 2D.....	81
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>89</b>
5.1	Kesimpulan.....	89
5.2	Saran .....	89
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>91</b>



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip metode elektromagnetik .....	6
Gambar 2.2 Skin Depth sebagai Fungsi Frekuensi dari Sinyal MT dan Resistivitas Bumi .....	13
Gambar 2.3 TE mode .....	14
Gambar 2.4 TM mode .....	15
Gambar 2.5 Penjalaran Arus Listrik Akibat Heterogenitas Permukaan .....	17
Gambar 2.6 Penjalaran Medan Listrik Model Topografi .....	18
Gambar 2.7 Hasil Pengukuran Akibat Kontak Vertikal .....	18
Gambar 2.8 Prinsip pengukuran metode TDEM .....	20
Gambar 2.9 Gelombang bidang TDEM .....	21
Gambar 2.10 Sistem panasbumi .....	22
Gambar 3. 1 Lokasi Titik Pengambilan Data.....	25
Gambar 3. 2 Kenampakan lintasan pengukuran dengan menggunakan google earth.....	26
Gambar 3. 3 Flowchart Pengolahan Data.....	30
Gambar 3. 4 Analisis <i>time series</i> dengan menggunakan <i>synchro time series viewer</i> .....	32
Gambar 3. 5 Analisis <i>time series</i> berdasarkan spektogram.....	35
Gambar 3. 6 Tampilan software SSMT2000 untuk pemilihan rentang waktu (Phoenix, 2005) .....	35
Gambar 3. 7 Proses mengubah domain waktu ke domain frekuensi.....	36
Gambar 3. 8 <i>Rose Diagram</i> Daerah Penelitian .....	37
Gambar 3. 9 Kurva MT dengan Kurva XPR ( <i>crosspower</i> ).....	38
Gambar 3. 10 Perbandingan kurva <i>apparent resistivity</i> dan <i>impedance phase</i> (a) sebelum dan (b) sesudah proses editing titik UB04.....	40
Gambar 3. 11 Koreksi statik pada kurva MT.....	41
Gambar 3. 12 Proses pemodelan 1 dimensi .....	42
Gambar 3. 13 Tampilan <i>forward modelling</i> lintasan A sebelum dilakukan inversi .....	43
Gambar 4.1 Efek Statik pada data MT titik “UB 04” (a) Sebelum <i>dikoreksi</i> statik (b) Setelah <i>dikoreksi</i> statik.....	47

Gambar 4.2	Efek statik pada data MT titik “UB06” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	49
Gambar 4.3	Efek statik pada data MT titik “UB14” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	51
Gambar 4.4	Efek statik pada data MT titik “UB11” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	53
Gambar 4.5	Efek statik pada data MT titik “UB22” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	55
Gambar 4.6	Efek statik pada data MT titik “UB20” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	57
Gambar 4.7	Pemodelan 1D TE <i>mode</i> titik UB04 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	59
Gambar 4.8	Pemodelan 1D TM <i>mode</i> titik UB 04 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	61
Gambar 4.9	Hasil inversi occam 1D lintasan A TE <i>mode</i> (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	62
Gambar 4.10	Hasil inversi occam 1D lintasan A TM <i>mode</i> (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	65
Gambar 4.11	Pemodelan 1D TE <i>mode</i> titik UB 11 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	67
Gambar 4.12	Pemodelan 1D TM <i>mode</i> titik UB 11 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	69
Gambar 4.13	Hasil inversi occam 1D lintasan B TE <i>mode</i> (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	71
Gambar 4.14	Hasil inversi occam 1D lintasan B TM <i>mode</i> (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	73
Gambar 4.15	Pemodelan 1D TE <i>mode</i> titik UB 22 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	75
Gambar 4.16	Pemodelan 1D TM <i>mode</i> titik UB 22 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik.....	76
Gambar 4.17	Hasil inversi occam 1D lintasan C TE <i>mode</i> (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	78

Gambar 4.18	Hasil inversi occam 1D lintasan C TM (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	80
Gambar 4.19	Hasil inversi 2D lintasan A (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	83
Gambar 4.20	Hasil inversi 2D lintasan B (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	85
Gambar 4.21	Hasil inversi 2D lintasan C (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	87
Gambar 6.1	Efek Statik pada data MT titik "UB 01" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	93
Gambar 6.2	Efek Statik pada data MT titik "UB 02" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	94
Gambar 6.3	Efek Statik pada data MT titik "UB 03" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	95
Gambar 6.4	Efek Statik pada data MT titik "UB 04" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	96
Gambar 6.5	Efek Statik pada data MT titik "UB 05" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	97
Gambar 6.6	Efek Statik pada data MT titik "UB 06" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	98
Gambar 6.7	Efek Statik pada data MT titik "UB 08" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	99
Gambar 6.8	Efek Statik pada data MT titik "UB 09" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	100
Gambar 6.9	Efek Statik pada data MT titik "UB 10" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	101
Gambar 6.10	Efek Statik pada data MT titik "UB 11" (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	102

Gambar 6.11	Efek Statik pada data MT titik “UB 12” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	103
Gambar 6.12	Efek Statik pada data MT titik “UB 13” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	104
Gambar 6.13	Efek Statik pada data MT titik “UB 14” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	105
Gambar 6.14	Efek Statik pada data MT titik “UB 16” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	106
Gambar 6.15	Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	107
Gambar 6.16	Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	108
Gambar 6.17	Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	109
Gambar 6.18	Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	110
Gambar 6.19	Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik .....	111

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1	Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB04” TE mode sebelum dan sesudah koreksi statik ..... 60
Tabel 4.2	Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB04” TM mode sebelum dan sesudah koreksi statik ..... 60
Tabel 4.3	Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB11” TE mode sebelum dan sesudah koreksi statik ..... 68
Tabel 4.4	Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB11” TM mode sebelum dan sesudah koreksi statik ..... 70
Tabel 4.5	Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB22” TE mode sebelum dan sesudah koreksi statik ..... 75
Tabel 4.6	<i>Perbandingan</i> nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB22” TM mode sebelum dan sesudah koreksi statik ..... 77



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



**DAFTAR LAMPIRAN**

Halaman

Lampiran 1. Hasil Pengolahan Data..... 93

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi dunia semakin meningkat seiring pesatnya laju pertumbuhan penduduk dan industrialisasi dunia. Hal ini didukung dengan pernyataan mengenai populasi dunia yang diproyeksikan meningkat 1,3 milyar hingga mencapai 8,3 milyar pada tahun 2030. Tingkat konsumsi energi dunia rata-rata akan tumbuh 1,6% per tahun, sehingga akan bertambah mencapai 36% pada tahun 2030 (Kemenlu, 2014). Peningkatan kebutuhan energi ini tidak hanya bisa dipenuhi dengan mengandalkan energi fosil yang merupakan sumber energi utama dunia, seperti minyak, gas dan batubara yang cadangannya mulai semakin berkurang.

Diperlukan adanya sumber energi alternatif yang dapat menyeimbangkan kebutuhan energi dunia agar tidak menimbulkan adanya krisis energi, yang bisa saja dialami oleh negara-negara termasuk Indonesia. Penggunaan sumber energi baru dan terbarukan bisa menjadi salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan energi ke depan. Salah satunya dengan pemanfaatan energi panas bumi, yang sangat berpotensi dikembangkan di Indonesia, selain karena ramah lingkungan, dapat diperbaharui dan rendah emisi CO<sub>2</sub> (Daud, 2011). Indonesia juga memiliki potensi panasbumi yang besar mencapai 29.038 MW atau hampir 40% dari cadangan panasbumi dunia, namun hanya 1226 MW atau sekitar 4,2% dari total potensi di Indonesia yang baru dikembangkan (ESDM, 2010).

Berdasarkan analisis tersebut, dibutuhkan suatu metode yang paling tepat dalam memetakan keberadaan potensi panasbumi, sehingga potensi besar yang dimiliki Indonesia bisa dikembangkan secara maksimal. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk melihat daerah prospek panasbumi adalah dengan menggunakan metode geofisika, melalui analisis anomali sifat fisik batuan. Metode geofisika yang paling tepat saat ini adalah metode Magnetotellurik (MT), karena kemampuannya dalam memetakan nilai resistivitas batuan yang erat kaitannya dengan parameter temperatur pada penetrasi kedalaman yang cukup dalam, dan memiliki kemampuan

dalam mendelinasi zona reservoir, yang merupakan komponen penting dalam sistem panasbumi.

Metode MT adalah metode elektromagnetik yang menggunakan sumber pasif dengan melibatkan pengukuran fluktuasi medan listrik dan medan magnet alam yang saling tegak lurus di permukaan bumi (Simpson dan Bahr, 2005). Pemanfaatan sumber pasif, mengakibatkan data MT tidak bisa terhindar dari kemungkinan terjadinya gangguan atau distorsi pada data. Salah satunya adalah terjadinya efek statik, yang disebabkan oleh adanya heterogenitas lokal dekat permukaan, faktor topografi maupun kontak vertikal. Kondisi topografi yang relatif datar juga dapat menghasilkan efek statik yang sangat besar, hal ini dimungkinkan karena adanya faktor heterogenitas permukaan atau faktor lainnya. Manifestasi efek statik pada data MT berupa pergeseran vertikal kurva sounding resistivitas-*semu* terhadap periode, sementara kurva fase tidak terpengaruh (Grandis, 2010). Data MT yang mengalami efek statik dapat menyebabkan ambiguitas dalam interpretasi data, yang mengakibatkan adanya informasi atau rekomendasi yang kurang tepat. Diperlukan adanya koreksi untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan efek statik pada data MT dengan menggunakan metode *Time Domain Electromagnetic* (TDEM).

Metoda TDEM hanya melibatkan pengukuran medan magnet sekunder akibat induksi medan magnet primer. Data TDEM relatif tidak terpengaruh oleh anomali konduktivitas lokal dekat permukaan (Hendro dan Grandis, 1996). Metode TDEM efektif untuk menentukan konduktivitas listrik dari tanah pada kedalaman 10-1000 m. TDEM adalah metode yang sangat baik untuk memetakan tanah dan perubahan pada tipe tanah di kedalaman tersebut (Sucandra, 2009). Metode TDEM merupakan metode yang paling efektif sampai saat ini dalam mereduksi efek statik pada data MT, karena memiliki resolusi yang lebih baik dibandingkan MT dalam memetakan konduktivitas batuan pada kedalaman yang dangkal dan tidak mengalami efek statik.

Lapangan “UB” merupakan daerah prospek panasbumi yang ditandai dengan munculnya manifestasi panasbumi berupa fumarola. Fumarola adalah lubang kecil yang memancarkan uap panas kering (*dry steam*) atau uap panas yang mengandung butiran-butiran air (*wet steam*). Pemisahan fase uap yang terjadi di dekat permukaan

menyebabkan terbentuknya fumarola di permukaan (Saptadji, 2003). Tipe manifestasi panasbumi dapat mengindikasikan jenis sistem panasbumi pada daerah penelitian. Penggunaan istilah “UB” digunakan untuk menyamakan nama daerah penelitian yang sebenarnya.

Pada penelitian ini, akan dianalisis adanya pengaruh efek statik pada data MT daerah prospek panasbumi lapangan “UB” yang kemudian dilakukan koreksi statik menggunakan data TDEM dan analisis hasil data dengan atau tanpa koreksi statik melalui inversi 1D dan 2D untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan bumi yang memiliki prospek panasbumi dengan lebih tepat.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana efek statik pada data magnetotellurik (kurva TE dan TM) lapangan “UB” ?
2. Bagaimana pengaruh data *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) dalam mereduksi efek statik pada data magnetotellurik (MT) lapangan “UB” melalui hasil inversi 1D dan 2D ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Koreksi efek statik pada data magnetotellurik hanya dilakukan dengan menggunakan data *time domain electromagnetic* (TDEM).
2. Pengolahan data dilakukan melalui tahapan *pre-processing* sampai inversi 2 dimensi (2D).
3. Analisis data dilakukan secara kualitatif, hanya berdasarkan hasil penampang resistivitas semu yang dihasilkan, karena tidak adanya data pendukung lainnya.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan efek statik pada data magnetotellurik (kurva TE dan TM) daerah prospek panasbumi lapangan “UB”.

2. Menentukan pengaruh data *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) dalam mereduksi efek statik pada data magnetotellurik (MT) daerah prospek panasbumi lapangan “UB” melalui hasil inversi 1D dan 2D.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi instansi terkait, mahasiswa dan masyarakat umum sebagai tambahan informasi atau pengetahuan, yaitu :

1. Dapat memahami proses pengolahan data magnetotellurik dari tahapan awal sampai didapatkan hasil inversi 2D.
2. Dapat memberikan gambaran tentang penggunaan data TDEM dalam mereduksi efek statik pada data MT.
3. Dapat memberikan informasi tentang gambaran bawah permukaan daerah prospek panasbumi lapangan “UB”, sebagai pertimbangan survei lebih lanjut.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Prinsip Dasar Metode Magnetotellurik

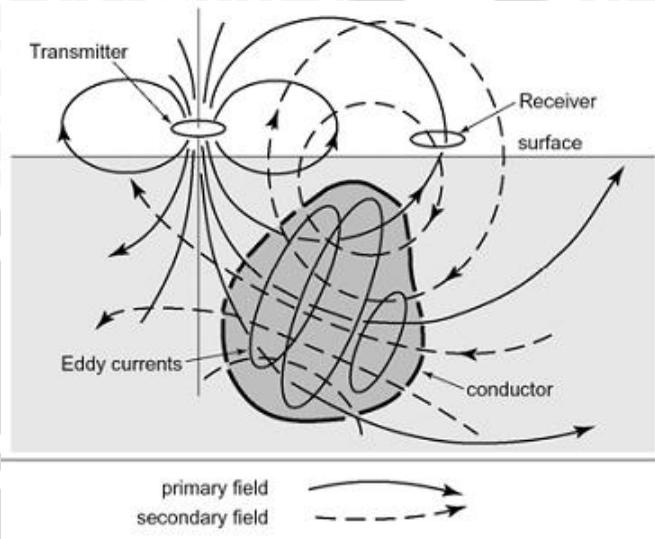
Metode Magnetotellurik (MT) adalah metode elektromagnetik (EM) dengan sumber pasif yang melibatkan pengukuran fluktuasi medan listrik dan medan magnet alam yang saling tegak lurus di permukaan bumi untuk mengetahui nilai konduktivitas batuan di bawah permukaan bumi dari kedalaman beberapa meter hingga ratusan kilometer (Simpson dan Bahr, 2005).

Medan EM ditimbulkan oleh berbagai proses fisik yang cukup kompleks sehingga spektrum frekuensinya sangat lebar ( $10^{-5}$  Hz –  $10^4$  Hz). Pada frekuensi yang cukup rendah (kurang dari 1 Hz), *solar wind* yang mengandung partikel-partikel bermuatan listrik berinteraksi dengan medan magnet permanen bumi sehingga menyebabkan variasi medan EM. Variasi pada jangkah frekuensi audio (lebih dari 1 Hz) terutama disebabkan oleh aktivitas meteorologis berupa petir. Petir yang terjadi di suatu tempat menimbulkan gelombang EM yang terperangkap antara ionosfer dan bumi dan menjalar mengitari bumi (Grandis, 2010).

Parameter yang diukur pada metode EM merupakan respon terhadap radiasi elektromagnetik yang diterima oleh sensor atau *receiver*. Perubahan komponen-komponen medan magnet akibat variasi konduktivitas dimanfaatkan untuk menentukan struktur bawah permukaan. Konsep penjalaran gelombang elektromagnetik di bumi dapat dipahami sebagai proses induksi elektromagnetik (Jiracek, 1985).

Menurut Green (2003), pada hakikatnya medan elektromagnetik (EM) akan merambat secara vertikal menuju bumi karena adanya kontras resistivitas yang besar pada lapisan udara-bumi, yang menyebabkan terjadinya pembelokan/ refraksi vertikal kedua medan (listrik dan magnet) yang ditransmisikan ke bumi. Medan EM berasosiasi dengan arus tellurik yang ada di bumi. Kemudian medan magnetik **H** akan menginduksi batuan konduktif dalam lapisan bumi dan menghasilkan medan magnetik sekunder **B**. Perubahan medan magnet horisontal akan menginduksi perubahan medan listrik yang horisontal, hasil interaksi inilah yang akan diukur

di permukaan oleh *receiver*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Prinsip metode elektromagnetik (Widarto, 2010)

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, bergantung dengan variasi waktu. Sesuai dengan sifat gelombang elektromagnetik pada suatu medium penetrasi dari gelombang tersebut akan bergantung pada frekuensi dari gelombang tersebut dan resistivitas 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 menjaral sebagai gelombang di udara dan berdifusi di Bumi (Sulistyo, 2011).

## 2.2 Persamaan Maxwell

Penjalaran medan elektromagnetik dari atmosfer ke bumi dijelaskan oleh persamaan Maxwell, dalam bentuk diferensial, persamaan Maxwell dalam domain frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut (Grandis, 2010) :

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = q \quad (2.3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

di mana

$\vec{E}$  : medan Listrik (V/m)

$\vec{B}$  : fluks atau induksi magnetik (Wb/m<sup>2</sup>)

$\vec{H}$  : medan magnet (A/m)

$\vec{j}$  : rapat arus (A/m<sup>2</sup>)

$\vec{D}$  : perpindahan listrik (C/m<sup>2</sup>)

$q$  : rapat muatan listrik (C/m<sup>3</sup>) (Grandis, 2010)

Persamaan (2.1) diturunkan dari hukum Faraday yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik menyebabkan medan listrik dengan gaya gerak listrik berlawanan dengan variasi fluks magnetik yang menyebabkannya. Persamaan (2.2) merupakan generalisasi teorema Ampere dengan memperhitungkan hukum kekekalan muatan. Persamaan tersebut menyatakan bahwa medan magnet timbul akibat fluks total arus listrik yang disebabkan oleh arus konduksi dan arus perpindahan. Persamaan (2.3) menyatakan hukum Gauss yaitu fluks listrik pada suatu ruang sebanding dengan muatan total yang ada dalam ruang tersebut, sedangkan persamaan (2.4) yang identik dengan persamaan (2.3) berlaku untuk medan magnet, namun dalam hal ini tidak ada monopoli magnetik.

Hubungan antara intensitas medan dengan fluks yang terjadi pada medium dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.5)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.6)$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho} \quad (2.7)$$

di mana

$\mu$  : permeabilitas magnetik (H/m)  
 $\epsilon$  : permitivitas listrik (F/m)  
 $\sigma$  : konduktivitas ( $\Omega^{-1}/m$ )  
 $\rho$  : tahanan-jenis ( $\Omega.m$ )

Sifat fisik medium diasumsikan homogen isotropik (tidak bervariasi terhadap waktu dan posisi) agar diperoleh solusi persamaan yang lebih sederhana. Dengan demikian akumulasi muatan seperti dinyatakan persamaan 2.3 tidak terjadi dan persamaan Maxwell dapat dituliskan kembali sebagai berikut :

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.8)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.11)$$

Berdasarkan persamaan Maxwell yang dinyatakan oleh persamaan 2.8, 2.9, 2.10 dan 2.11 hanya terdapat dua variabel yaitu medan listrik ( $\vec{E}$ ) dan medan magnet ( $\vec{H}$ ). Dengan operasi *curl* terhadap persamaan 2.8 dan 2.9 serta mensubstitusikan besaran-besaran tersebut akan diperoleh pemisahan variabel ( $\vec{E}$ ) dan ( $\vec{H}$ ) sehingga,

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.12)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{H} = -\mu\sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (2.13)$$

Dengan memperhatikan identitas vektor  $\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times x = \vec{\nabla} \cdot x - \vec{\nabla}^2 x$  dimana  $x$  adalah  $\vec{E}$  atau  $\vec{H}$ , serta hubungan yang dinyatakan oleh persamaan 2.10 dan 2.11, maka didapatkan persamaan gelombang (persamaan Helmholtz) untuk medan listrik dan medan magnet sebagai berikut,

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.14)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

Perlu diingat bahwa pada persamaan tersebut di atas variabel  $\vec{E}$  dan  $\vec{H}$  merupakan fungsi posisi dan waktu. Jika variasi terhadap waktu dapat direpresentasikan oleh fungsi periodik sinusoidal maka,

$$\vec{E}(r, t) = E_0(r)e^{i\omega t} \quad (2.16)$$

$$\vec{H}(r, t) = H_0(r)e^{i\omega t} \quad (2.17)$$

dimana  $E_0$  dan  $H_0$  masing-masing adalah amplitudo medan listrik dan medan magnet, dan  $\omega$  adalah frekuensi gelombang EM. Dengan demikian, persamaan 2.14 dan 2.15 menjadi,

$$\nabla^2 \vec{E} = (i\omega\mu\sigma - \omega^2\mu\epsilon)\vec{E} \quad (2.18)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = (i\omega\mu\sigma - \omega^2\mu\epsilon)\vec{H} \quad (2.19)$$

Pada kondisi yang umum dijumpai dalam eksplorasi geofisika (frekuensi lebih rendah dari  $10^4$  Hz, medium bumi) suku yang mengandung  $\epsilon$  (perpindahan listrik) dapat diabaikan terhadap suku yang mengandung  $\sigma$  (konduksi listrik) karena harga  $\omega\mu\sigma \gg \omega^2\mu\epsilon$  untuk  $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m. Pendekatan tersebut adalah aproksimasi keadaan *kuasi-stasioner* dimana waktu tempuh gelombang diabaikan. Dengan demikian, persamaan gelombang 2.14 dan 2.15 menjadi persamaan difusi,

$$\nabla^2 \vec{E} = k^2 \vec{E} \quad (2.20)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = k^2 \vec{H} \quad (2.21)$$

dimana  $k = \pm\sqrt{i\omega\mu\sigma}$  adalah bilangan gelombang yang dapat dinyatakan dalam bentuk,

$$k = \pm(\alpha + i\beta) \quad (2.22)$$

dengan  $\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega\mu_0\sigma}{2}}$ .

### 2.3 Impedansi

Parameter yang diukur pada metode magnetotellurik adalah medan listrik dan medan magnet bumi yang bervariasi terhadap waktu. Medan listrik dan medan magnet pada gelombang elektromagnetik selalu tegak lurus satu sama lain. Rasio dari kuat medan magnet dan medan listrik dapat didefinisikan sebagai impedansi gelombang ( $Z$ ) dari suatu medium, yang memiliki persamaan sebagai berikut,

$$Z_{xy} = \frac{\vec{E}_x}{\vec{H}_y} = \sqrt{i\omega\mu_0\rho} \quad (2.23)$$

$$Z_{yx} = \frac{\vec{E}_y}{\vec{H}_x} = -\sqrt{i\omega\mu_0\rho} \quad (2.24)$$

Berdasarkan persamaan 2.22, diketahui bahwa impedansi bumi homogen adalah suatu bilangan skalar kompleks yang merupakan fungsi tahanan jenis medium dan frekuensi gelombang EM. Dalam hal ini impedansi yang diperoleh berasal dari dua pasangan komponen medan listrik dan medan magnet yang berbeda ( $\vec{E}_x/\vec{H}_y$  dan  $\vec{E}_y/\vec{H}_x$ ) (Grandis, 2010).

Secara eksplisit, hubungan linier antara medan listrik, medan magnet dan impedansi dapat dirumuskan pada persamaan 2.25 sebagai berikut (Smirnov, 2003) :

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

di mana  $[Z] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}$  merepresentasikan tensor impedansi.

$\vec{E}$  dan  $\vec{H}$  merupakan vektor (*tensor rank-1*), maka secara umum  $\mathbf{Z}$  adalah *tensor rank-2*. Dalam metode MT ini, gelombang EM dianggap merambat secara vertikal. Komponen medan listrik dan magnet yang digunakan adalah komponen horisontal. Jika *poyniting vector* mengarah vertikal, maka vektor E dan B akan berada pada bidang horisontal yang arahnya tegak lurus terhadap *poyniting vector*.

Bentuk matriks impedansi bergantung pada dimensionalitas medium (Simpson dan Bahr, 2005). Pada medium 2D, matriks impedansi memiliki 3 komponen independen dengan bentuk sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} Z & Z_{xy} \\ Z_{yx} & -Z \end{bmatrix}$$

Apabila pengukuran dilakukan dengan menggunakan koordinat yang sejajar atau tegak lurus terhadap arah *strike*, maka matriks impedansi hanya memiliki 2 komponen independen dengan bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 0 & Z_{xy} \\ Z_{yx} & 0 \end{bmatrix}$$

Pada medium 1D, matriks impedansi hanya memiliki 1 komponen independen dengan bentuk matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 0 & Z \\ Z & 0 \end{bmatrix}$$

Apabila diasumsikan Bumi sebagai 1D, maka impedansi Z adalah (Vozoff, 1991) :

$$Z_{xy} = \frac{\vec{E}_x}{\vec{H}_y} = \frac{\omega\mu}{k} = (1+i) \left( \frac{\omega\mu}{2\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

di mana :

$\vec{E}_x$  : Medan listrik dalam arah x (V/m)

$\vec{H}_y$  : Medan magnet dalam arah y (A/m)

$\omega$  : frekuensi angular,

$\mu$  : Permeabilitas magnetik (H/m)

$k$  : bilangan gelombang

Impedansi kompleks dapat pula dinyatakan sebagai besaran amplitudo dan fase. Dalam praktek besaran tersebut lebih sering dinyatakan dalam bentuk tahanan-jenis (resistivitas) semu dan fase sebagai berikut (Cagniard, 1953),

$$\rho_{a(xy)} = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_{xy}|^2 = \frac{1}{\omega\mu_0} \left| \frac{\vec{E}_x}{\vec{H}_y} \right|^2 \quad (2.27)$$

$$\rho_{a(yx)} = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_{yx}|^2 = \frac{1}{\omega\mu_0} \left| \frac{\vec{E}_y}{\vec{H}_x} \right|^2 \quad (2.28)$$

$$\phi_{xy} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im } Z_{xy}}{\text{Re } Z_{xy}} \right) = 45^\circ \quad (2.29)$$

$$\phi_{yx} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im } Z_{yx}}{\text{Re } Z_{yx}} \right) = 45^\circ \quad (2.30)$$

Apabila dipilih koordinat-x sejajar strike  $\rho_{xy}$  dan  $\phi_{xy}$  disebut resistivitas semu dan fase TE *mode*, sedangkan  $\rho_{yx}$  dan  $\phi_{yx}$  disebut resistivitas semu dan fase TM *mode*. Fase untuk bumi homogen adalah konstan, yaitu  $45^\circ$  yang merupakan beda fase antara medan listrik dan medan magnet (Vozoff, 1972).

## 2.4 Penetrasi Kedalaman (*Skin Depth*)

Persamaan difusi gelombang EM dapat menjelaskan tentang besarnya amplitudo gelombang EM pada kedalaman tertentu. Salah satu sifat dari medan elektromagnetik adalah apabila medan elektromagnetik melewati lapisan konduktif maka energi dari medan elektromagnetik tersebut akan teratenuasi. Jarak tembus atau tempuh dari medan elektromagnetik tersebut juga akan berkurang mengikuti

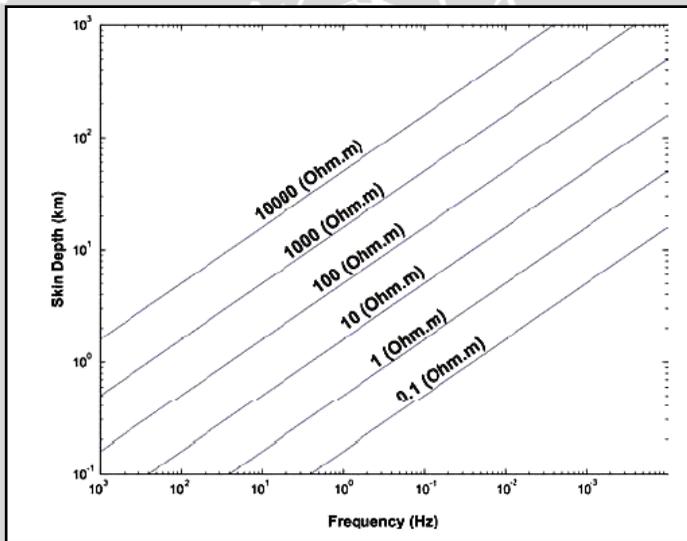
seberapa besar nilai konduktivitas dari lapisan konduktif ketika melewati lapisan tersebut, jarak maksimum yang dapat dicapai oleh medan elektromagnetik saat menembus lapisan konduktif ini disebut *skin depth* (Griffith, 1991). *Skin depth* didefinisikan sebagai kedalaman dimana amplitudo gelombang EM berkurang hingga kurang lebih menjadi sepertiga amplitudo awal. Besaran tersebut dirumuskan sebagai berikut,

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu_0}} \quad (2.31)$$

di mana :  $\delta$  adalah skin depth (km)

$\rho$  adalah resistivitas batuan ( $\Omega.m$ )

$\omega = 2\pi f$



Gambar 2.2 Skin Depth sebagai Fungsi Frekuensi dari Sinyal MT dan Resistivitas Bumi (Xiao, 2004)

Gambar 2.2 menjelaskan bagaimana frekuensi dan resistivitas berpengaruh terhadap penetrasi kedalaman pada metode MT. Dari persamaan 2.31 dan Gambar 2.2, diketahui bahwa semakin besar tahanan jenis medium dan frekuensi gelombang ( $T = f^{-1}$ ),

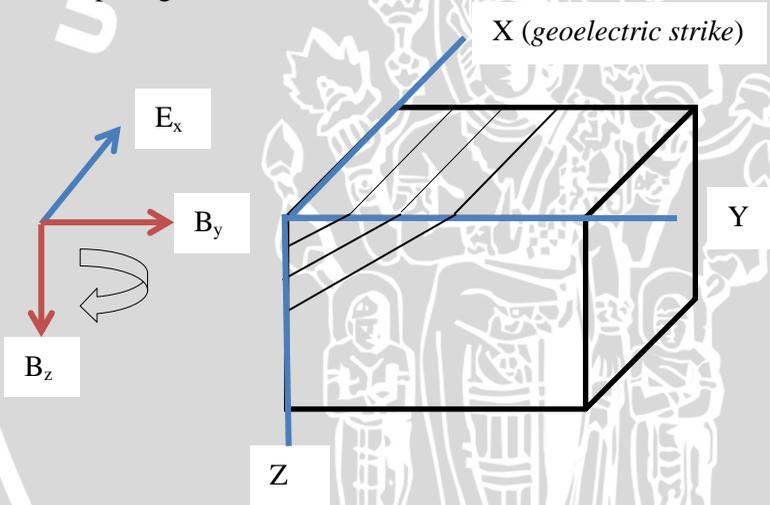
maka semakin jauh penetrasi kedalamannya atau kedalaman investigasinya semakin besar.

## 2.5 Mode Pengukuran Magnetotellurik

Dalam metode pengukuran Magnetotellurik (MT) terdapat dua *mode* pengukuran. Hal ini didasarkan dari konfigurasi pengukuran metode MT, yang mana peletakkan sensor magnetik dan sensor elektrik menghasilkan 2 *mode* pengukuran, yaitu *transverse electric* (TE) *mode* dan *transverse magnetic* (TM) *mode* (Unsworth, 2008).

### a. TE (*Transverse Electric*) *mode*

Pada *mode* ini, komponen medan listrik sejajar dengan arah struktur utama (arah x) dan komponen medan magnet tegak lurus dengan arah struktur utama (arah sumbu y dan z), seperti yang terlihat pada gambar 2.3.



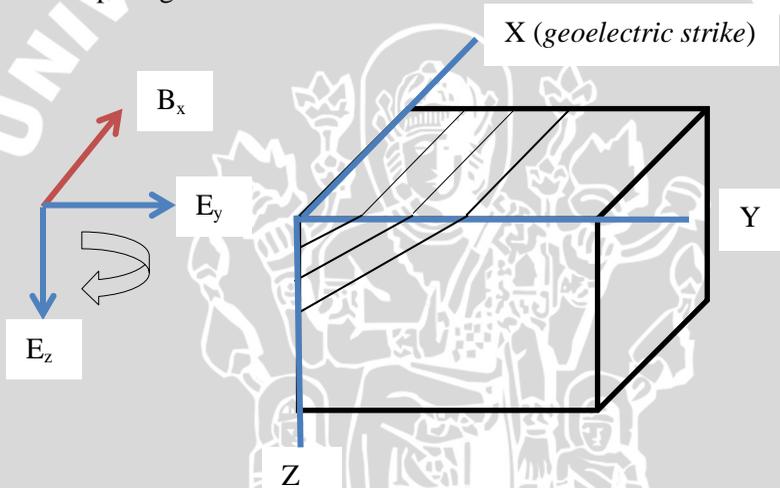
Gambar 2. 3 TE *mode*

Dalam *mode* TE, arus listrik tidak akan mengalir melewati batas antara daerah yang memiliki nilai resistivitas yang berbeda. Komponen  $\vec{E}_x$  akan kontinu terhadap bidang sumbu y, demikian juga dengan  $\vec{H}_y$  yang akan kontinu terhadap bidang sumbu y. *Mode* ini sangat baik jika masih menggunakan analisa 1-dimensi.

Arus listrik akan menginduksi bagian yang lebih konduktif dan tidak pada bagian yang lebih resistif. Hal tersebut karena munculnya efek konduktif pada arus. Respon resistivitas semu pada bagian konduktif akan hilang pada frekuensi rendah. Hal ini dapat terjadi karena induksi akan lebih sensitif pada perubahan medan magnet.

**b. TM (*Transverse Magnetic*) mode**

Pada *mode* ini, komponen medan magnet sejajar dengan arah struktur utama (arah x) dan komponen medan listrik tegak lurus dengan arah struktur utama (arah sumbu y dan z), seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 TM mode

Dalam *mode* TM, arus listrik akan melewati batas antara bagian yang memiliki perbedaan resistivitas. Pada TM *mode* akan dijumpai adanya efek statik yang disebabkan oleh adanya heterogenitas permukaan akibat muatan-muatan yang terkumpul pada batas medium tersebut. Adanya efek statik tersebut juga dapat menyebabkan nilai resistivitas semu pada frekuensi rendah tetap terlihat. *Mode* ini akan baik digunakan untuk menganalisa daerah yang memiliki kontras nilai resistivitas yang jelas.

## 2.6 Efek Statik

Data magnetotellurik (MT) dapat terdistorsi karena adanya heterogenitas lokal dekat permukaan dan faktor topografi, yang dikenal sebagai efek statik (*static shift*). Efek statik yaitu efek dari anomali nilai resistivitas daerah dekat permukaan bumi. Efek statik terjadi karena terdapat perbedaan nilai resistivitas semu rata-rata pada daerah pengukuran dengan nilai resistivitas semu di suatu titik tertentu. Efek statik merupakan salah satu contoh efek galvanik yang terjadi akibat adanya akumulasi muatan pada batas heterogenitas permukaan yang mengakibatkan perubahan penjalaran medan listrik primer (Jiracek, 1985). Efek tersebut disebut statik karena akumulasi muatan listrik pada batas konduktivitas medium menimbulkan medan listrik sekunder yang tidak bergantung pada frekuensi, sehingga tidak mempengaruhi fase dari fungsi transfer (kurva fase tidak terpengaruh) (deGroot-Hedlin, 1991). Hal tersebut menyebabkan kurva *sounding* MT (log tahanan-jenis semu terhadap log periode) bergeser ke atas atau ke bawah sehingga paralel terhadap kurva *sounding* yang seharusnya. Dalam skala log-log, pergeseran vertikal kurva *sounding* tersebut dapat dinyatakan sebagai perkalian tahanan-jenis semu dengan suatu konstanta (Hendro dan Grandis, 1996).

Interpretasi atau pemodelan terhadap data MT yang mengalami distorsi akan menghasilkan parameter model yang salah. Jika medium dianggap 1-dimensi maka pemodelan terhadap kurva *sounding* tahanan-jenis semu yang dikalikan dengan konstanta  $k$  akan menghasilkan lapisan-lapisan dengan tahanan-jenis dan ketebalan yang masing-masing dikalikan dengan  $k$  dan  $k^{1/2}$ . Penentuan konstanta  $k$  tersebut sangat penting untuk mengoreksi kurva *sounding* MT sebelum dilakukan pemodelan (Hendro dan Grandis, 1996).

Penyebab terjadinya efek statik terdiri dari tiga faktor, yaitu:

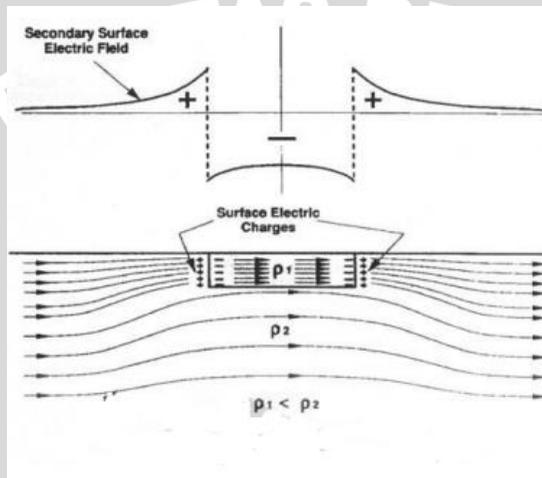
a. Faktor Heterogenitas Permukaan

Adanya heterogenitas permukaan akan mengakibatkan arah medan listrik terakumulasi pada batas heterogenitas tersebut seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.5.

Dari Gambar 2.5, diketahui bahwa medan listrik yang dihasilkan dari batas resistivitas akan mengurangi pengukuran medan listrik, sehingga menurunkan nilai resistivitas semu. Pada bagian

yang lebih resistif, medan listriknya akan diperkuat dan membuat bagian tersebut menjadi semakin resistif (Xiao, 2004).

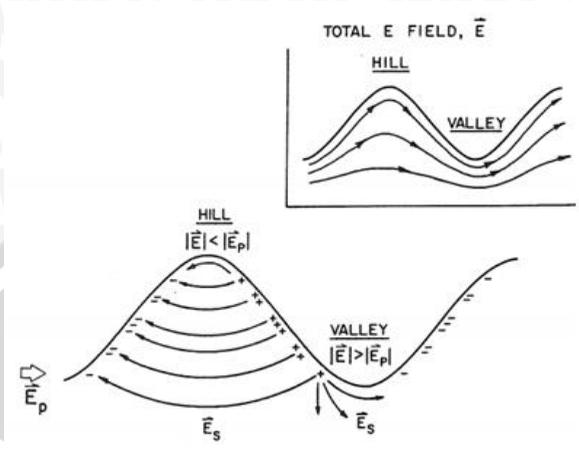
Efek Statik biasanya terjadi pada *TM mode*, karena efek galvanik sangat berpengaruh pada *mode* ini. Hal ini disebabkan adanya akumulasi pada batas permukaan struktur yang menyebabkan perubahan penjalaran medan listrik.



Gambar 2. 5 Penjalaran Arus Listrik Akibat Heterogenitas Permukaan (Xiao, 2004)

b. Topografi

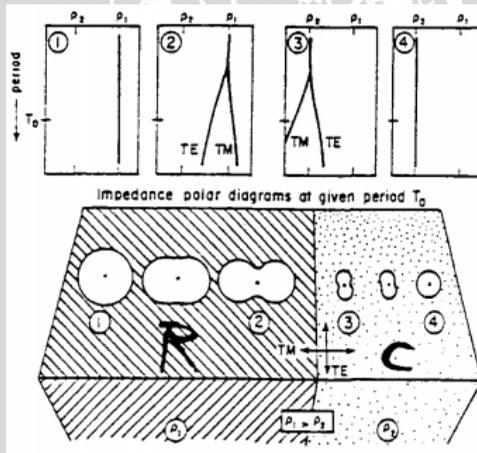
Faktor penyebab lainnya adalah topografi. Efek galvanik ini terjadi apabila medan magnet sejajar atau medan listrik tegak lurus dengan *geological strike* atau pada saat *TM mode*. Dari Gambar 2.6, diketahui bahwa tidak terdapat muatan pada puncak dan dasar lembah, konsentrasi muatan maksimum terjadi saat kemiringan permukaan terbesar. Jika dilihat dari arah medan listriknya paling rendah terjadi pada puncak dan paling tinggi pada lembah, sehingga nilai resistivitas semu terendah terukur pada puncak dan sebaliknya (Jiracek, 1985).



Gambar 2. 6 Penjalaran Medan Listrik Model Topografi (Jiracek,1985)

c. Kontak Vertikal

Efek statik yang diakibatkan oleh adanya kontak vertikal berupa struktur seperti patahan, terjadi pada periode tinggi dan akan terjadi pada semua periode jika berada tepat pada batas kontak vertikalnya.



Gambar 2. 7 Hasil Pengukuran Akibat Kontak Vertikal (Vozoff, 1991)

Berdasarkan Gambar 2.7, terdapat dua kontak resistivitas yaitu  $\rho_1$  dan  $\rho_2$ , di mana  $\rho_1 > \rho_2$ . Terlihat bahwa pada pengukuran yang jauh dari kontak vertikal tidak terjadi efek statik, karena efek dari akumulasi muatan tidak berdampak pada stasiun pengukuran tersebut. Pada pengukuran yang mendekati atau bahkan tepat pada batas kontak vertikal, terjadi pergeseran dalam bentuk kurva TM yang berada di atas TE pada bagian yang lebih resistif dan sebaliknya (Vozoff, 1991).

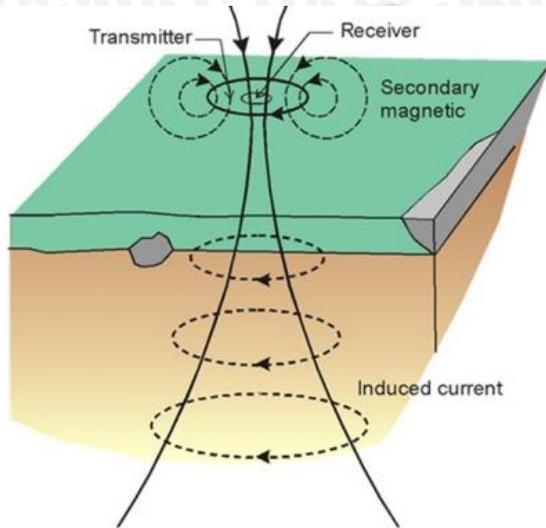
## 2.7 Metode *Time Domain Electromagnetic* (TDEM)

Metode *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) merupakan metode elektromagnetik yang teknik pengukurannya berdasarkan domain waktu. Metode elektromagnetik dengan domain waktu merupakan pendekatan alternatif untuk mendeteksi medan magnet sekunder yang lemah. Bekerja secara sederhana yaitu dengan mematikan (*switched off*) sinyal medan primer dan mengamati hilangnya atau menurunnya medan magnet sekunder (Akbar, 2010).

TDEM hanya melibatkan pengukuran medan magnet sekunder akibat terjadinya induksi medan magnet primer, oleh karena itu, TDEM tidak mengalami efek 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 persamaan 2.32 (Sulistyo, 2011).

$$\delta = 36\sqrt{\rho t} \quad (2.32)$$

Prinsip pengukuran dari metode ini dapat dilihat pada Gambar 2.8. Arus listrik DC mengalir melalui *transmitter dipole* dan menghasilkan medan magnet primer yang statis, arus dari *transmitter* kemudian dimatikan (*switched off*) sehingga menyebabkan medan magnet primer langsung jatuh ke nol (*cut off*). Hal ini menyebabkan timbulnya arus listrik sekunder di Bumi, yang berubah terhadap waktu dan memberikan informasi mengenai struktur yang semakin dalam. Dengan demikian, medan magnetik primer dari loop transmitter akan menghasilkan arus listrik sekunder pada Bumi dan yang diukur medan magnet sekunder akibat arus listrik sekunder tersebut (Unsworth, 2006).



Gambar 2. 8 Prinsip pengukuran metode TDEM (Unsworth, 2006)

Gambar 2.9 menunjukkan *waveform* (kurva yang menunjukkan bentuk gelombang pada waktu tertentu) dari medan magnetik primer yang dihasilkan oleh *transmitter* dan *waveform* dari medan listrik primer (tenaga/gaya yang digunakan untuk memproduksi arus listrik) yang menyertai medan magnetik tersebut. Impuls medan primer (bersifat sementara) menghasilkan *eddy current* dengan cepat di bawah *loop transmitter* (Akbar, 2010).

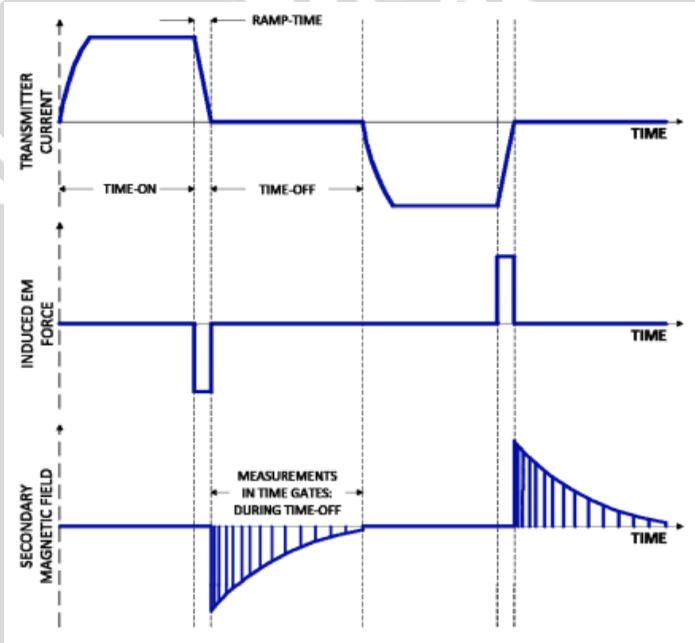
Resistivitas semu yang dihasilkan dapat ditulis dalam persamaan 2.33, yang dihasilkan dari tegangan induksi setelah arus dimatikan (Arnason, 1989).

$$\rho_a = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[ \frac{2\mu_0 A_r n_r A_s n_s I_0}{5t^2 V(t,r)} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.33)$$

Keterangan :

- $\mu_0$  : Permeabilitas magnetik (H/m)
- $A_r$  : Daerah yang melingkupi koil *receiver* (m<sup>2</sup>)
- $A_s$  : Daerah yang melingkupi loop *transmitter* (m<sup>2</sup>)
- $n_r$  : Jumlah lilitan pada koil *receiver*

- $n_s$  : Jumlah lilitan pada loop *transmitter*
- $V$  : Respon tegangan (V), tegangan induksi pada waktu (t)
- $I$  : Arus (A)
- $t$  : Waktu (s)
- $r$  : Jarak loop *transmitter* (m)

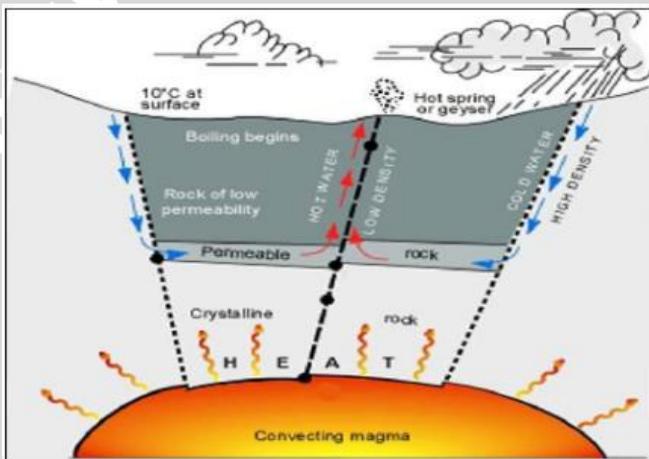


Gambar 2. 9 Gelombang bidang TDEM (Rowland, 2002)

## 2.8 Sistem Panasbumi

Secara singkat *geothermal* didefinisikan sebagai panas yang berasal dari dalam bumi. Energi panasbumi adalah energi panas alami dari dalam bumi yang ditransfer ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi (Supriyanto,2009). Pendapat lain menyatakan bahwa energi panasbumi merupakan energi panas yang keluar dari dalam bumi yang terkandung pada batuan dan fluida yang mengisi rekahan dan pori batuan pada kerak bumi (Rybach, Muffler 1981).

Pada dasarnya sistem panasbumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (*bouyancy*). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan (Saptadji, 2003).



Gambar 2. 10 Sistem panasbumi (Dickson, 2004)

Berdasarkan Gambar 2.10, diketahui bahwa sistem panasbumi ditunjukkan oleh keberadaan sumber panas (*heat source*), reservoir dan fluida. Sumber panas (*heat source*) merupakan magma yang membeku di bawah permukaan bumi. Batuan beku hasil pembekuan magma ini mempunyai karakteristik resistivitas tinggi karena tidak mengandung fluida baik secara kimia maupun fisika. Batuan ini mengalirkan panas secara konduktif melalui kontak dengan batuan sekitarnya. Panas yang merambat pada batuan samping memanaskan fluida yang mengalir di reservoir. Reservoir adalah suatu volume batuan *permeabel* dimana terdapat sirkulasi fluida yang mengekstrak panas. Reservoir dibatasi oleh batuan

*impermeabel* dan terhubung dengan *recharge area* dari permukaan dimana air meteorik dapat menggantikan sebagian atau seluruh fluida yang keluar ke permukaan bumi melalui mata air panas atau lubang bor. Karakter fisis batuan ini antara lain *porous* dan *permeabel* sehingga dapat mengalirkan fluida dari *recharge area* ke zona didih (*boiling zone*). Fluida yang belum dipanaskan berupa air meteorik. Fluida ini akan meresap ke bawah permukaan melalui *recharge area*, rekahan maupun lubang bor (injeksi). Fluida ini akan terus meresap ke bawah permukaan melalui reservoir hingga terpanaskan oleh sumber panas. Fluida yang terpanaskan akan naik ke permukaan. Apabila terdapat *cap rock* maka fluida ini akan tertahan dan tekanan di bawah *cap* akan semakin tinggi sehingga membentuk rekahan. Melalui rekahan ini fluida yang terpanaskan akan keluar ke permukaan (Dickson, 2004). Goff & Janik (2000) menyimpulkan bahwa sistem *geothermal* terdiri atas tiga elemen penting: (1) batuan reservoir yang bersifat permeable, (2) air untuk menghantarkan panas dari reservoir menuju permukaan, dan (3) sumber panas.

*Cap rock* merupakan tudung reservoir yang dihasilkan dari proses pelapukan dan perubahan mineral (*alterasi*) dari batuan asalnya oleh fluida panas yang mengalir. Pada umumnya *cap* ini berupa batuan clay yang bersifat *impermeabel*. Sifat *clay* yang *porous* namun *impermeabel* mengakibatkan fluida terperangkap secara fisis di dalamnya, selain itu *clay* juga mengikat H<sub>2</sub>O dalam bentuk mineral. Fluida yang terperangkap baik secara mineral maupun fisis mengakibatkan resistivitas *clay* bernilai rendah. Ciri dari resistivitas *clay* yang rendah ini dimanfaatkan pada MT untuk mencari daerah prospek panas bumi. Keterlibatan fluida dan variasi suhu bawah permukaan menyebabkan kontras resistivitas (Hochstein, 1996).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan

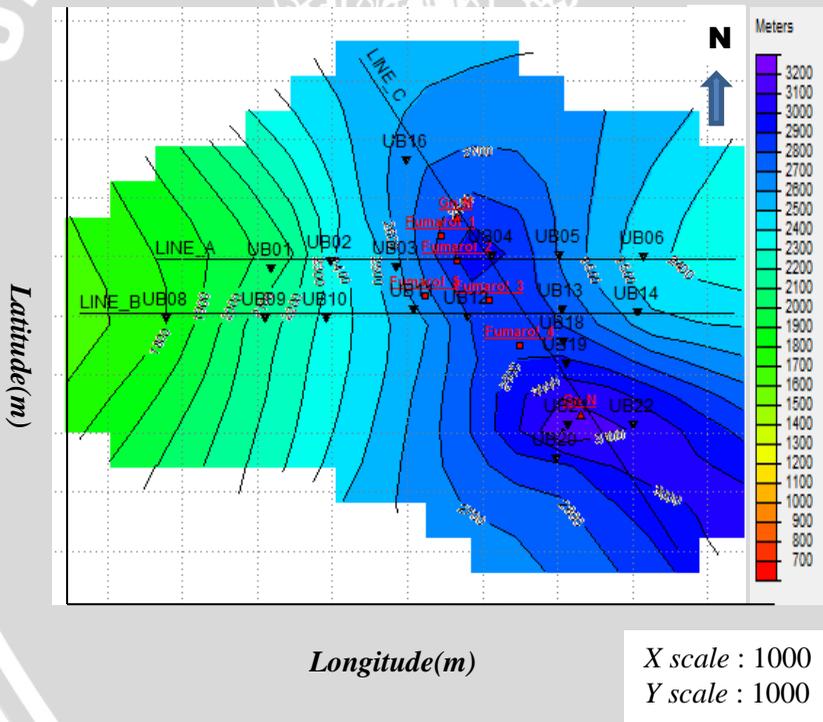


### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

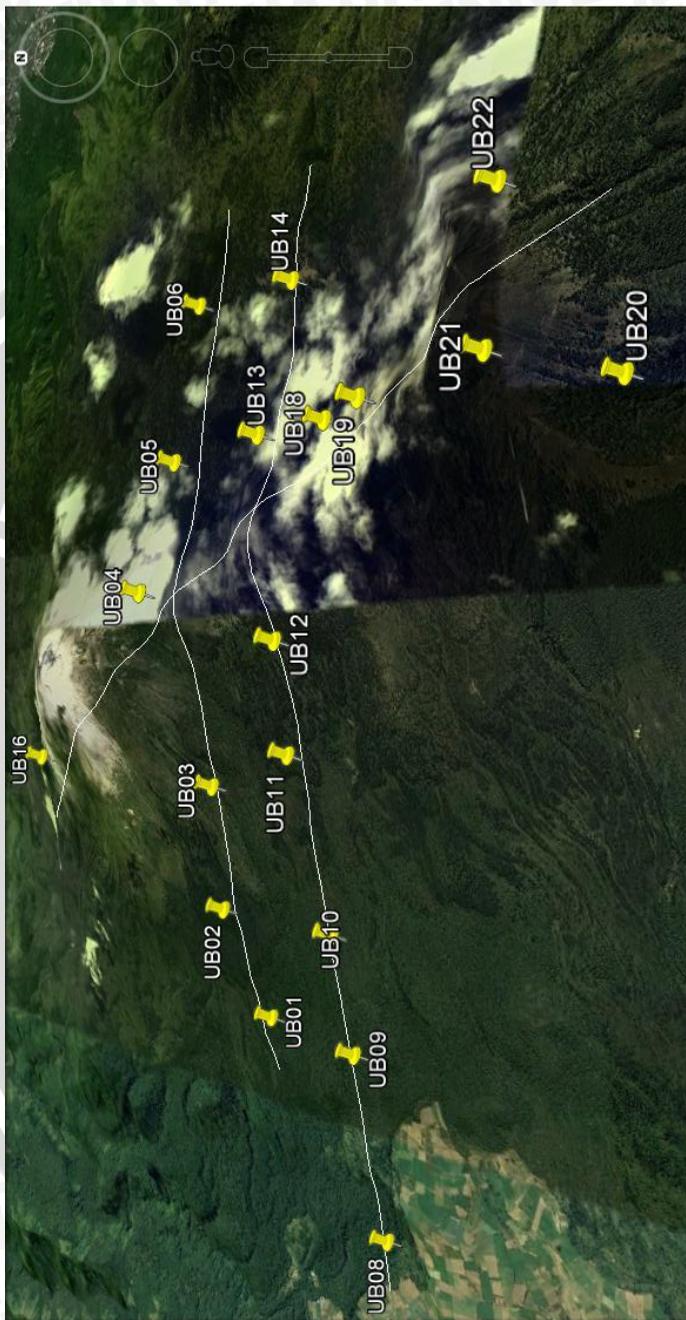
#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT. Elnusa Tbk, Geosciences Services Division, Graha Elnusa lantai 14, Jalan TB. Simatupang Kav. 1B Jakarta Selatan. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada tanggal 15 April sampai 18 Juni 2014.

Daerah penelitian yang diamati oleh penulis berada di daerah prospek panasbumi yaitu lapangan “UB” dengan tiga lintasan pengukuran seperti pada Gambar 3.1, sedangkan untuk kenampakan lintasan pengukuran menggunakan *google earth* dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 1 Lokasi Titik Pengambilan Data



Gambar 3. 2 Kenampakan lintasan pengukuran dengan menggunakan google earth

### 3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini, penulis melakukan pengolahan data magnetotellurik (MT) yang berjumlah 19 titik dan terbagi menjadi tiga lintasan, yaitu lintasan A, B dan C. Data yang diolah berupa data mentah (*time series*) dari pengukuran yang dilakukan oleh PT. Elnusa Tbk. Data tersebut kemudian diproses dengan beberapa tahapan untuk mendapatkan kurva resistivitas semu dan fase, yang selanjutnya dilakukan editing, pemodelan serta inversi 1D dan 2D untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan dengan parameter yang dianalisis berupa nilai resistivitas batuan. Penelitian ini menitikberatkan pada penggunaan data *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) untuk mereduksi efek statik yang sering dijumpai pada data MT karena hampir seluruh daerah prospek panasbumi berada pada topografi yang tidak rata dan adanya faktor heterogenitas permukaan yang bisa menyebabkan perubahan penjalaran medan listrik. Metode TDEM adalah metode aktif dengan memanfaatkan sumber buatan, yang hanya melibatkan pengukuran medan magnet sekunder karena pengaruh induksi medan magnet primer, dan tidak dipengaruhi oleh faktor topografi maupun heterogenitas permukaan. Metode ini dapat memetakan nilai konduktivitas batuan pada penetrasi yang dangkal dengan baik dibandingkan dengan metode MT. Analisis didasarkan pada pengaruh efek statik yang ditandai dengan adanya pergeseran vertikal kurva TE dan TM pada frekuensi tinggi, dan hasil penampang resistivitas semu dengan atau tanpa koreksi statik dalam memberikan informasi tentang gambaran bawah permukaan daerah prospek panasbumi.

### 3.3 Materi Penelitian

Materi penelitian yang digunakan berupa data dan alat pengolahan data yang terdiri dari :

- a. Raw data Magnetotellurik berupa data dalam bentuk *time series* (.TS) dan data pendukung lainnya seperti *parameter table* (.TBL) dan data kalibrasi (.CLB) yang dihasilkan dari rekaman alat Phoenix MT-Unit yang dilakukan oleh PT. Elnusa Tbk.
- b. Data TDEM yang digunakan untuk mengurangi efek statik pada data magnetotellurik. Data ini dihasilkan dari rekaman alat

TDEM yang mengukur medan magnet sekunder karena induksi medan magnet primer. Pengukuran TDEM dilakukan pada titik yang sama dengan MT, dengan waktu atau hari pengukuran yang berbeda. Data ini akan ditampilkan pada kurva resistivitas semu untuk tiap titik sounding berupa kurva garis dengan nilai resistivitas pada frekuensi tinggi melalui software WinGLink.

c. Perangkat lunak yang digunakan diantaranya :

- *Synchro Time Series Viewer* untuk melihat dan menganalisis *raw data* hasil pengukuran yang berupa *time series* (.TS).
- SSMT 2000 untuk mengubah data dalam domain waktu ke domain frekuensi dan melakukan proses robust untuk mengeliminasi *noise*.
- MT Editor untuk menampilkan kurva resistivitas semu dan fase serta melakukan editing data.
- WinGLink untuk menganalisis pemilihan *time series* yang akan dilakukan pengolahan melalui hasil *spectrogram*, melakukan proses koreksi statik, pemodelan dan inversi 1D maupun 2D.

### 3.4 Alur Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

#### 3.4.1 Studi Pustaka dan Penyiapan Data

Tahap pertama adalah melakukan studi pustaka mengenai obyek yang akan diteliti serta landasan teorinya. Studi pustaka meliputi studi literatur, paper, jurnal dan daerah regional. Tahap persiapan yang dilakukan adalah pengumpulan data-data dan informasi daerah penelitian antara lain data magnetotellurik, data TDEM dan informasi arah struktur utama daerah penelitian.

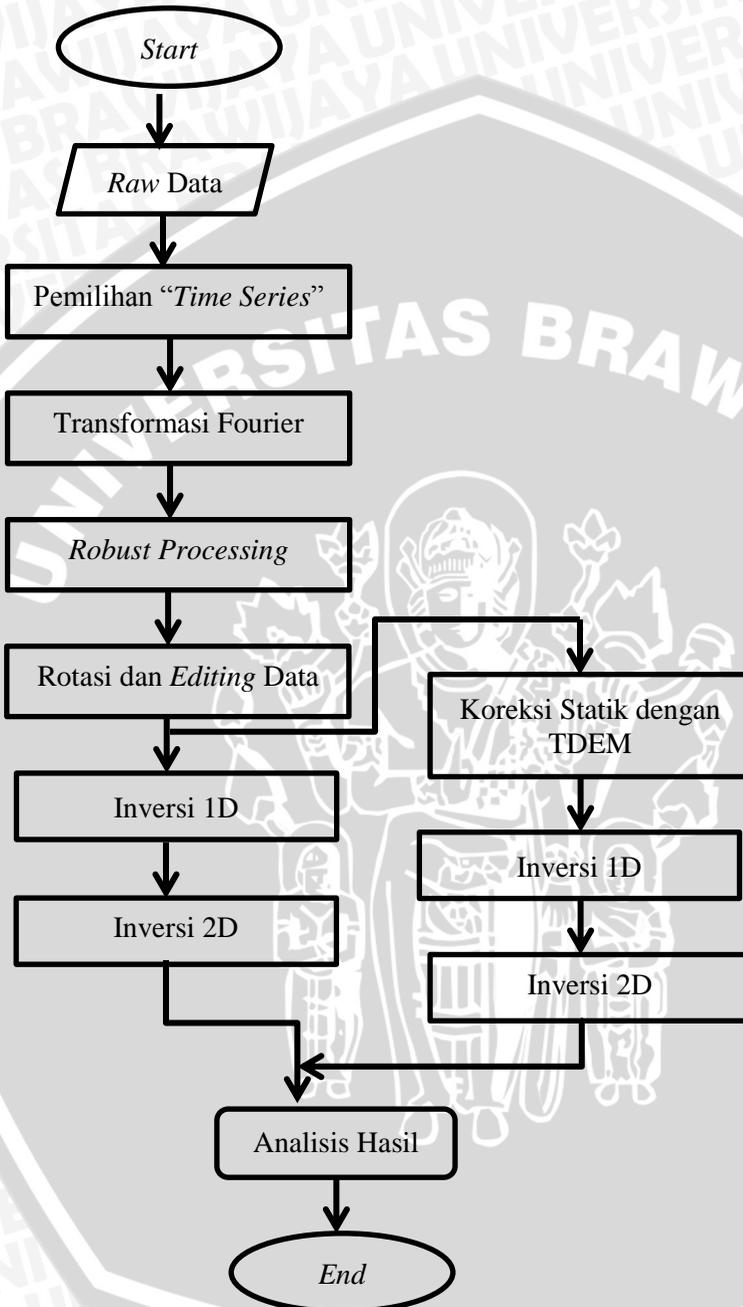
#### 3.4.2 Pengolahan Data

Secara umum tahapan pengolahan data yang dilakukan meliputi, tahap *pre-processing* (pemilihan *time series*, transformasi fourier, *robust processing*, rotasi dan editing data), koreksi statik, inversi 1D dan 2D seperti yang tertera pada Gambar 3.3. Tahap pengolahan data dilakukan sesuai dengan tujuan dari penelitian ini yaitu analisis hasil data magnetotellurik dengan ataupun tanpa koreksi statik melalui inversi 1D dan 2D. Analisis yang dilakukan

adalah perbandingan nilai dan hasil penampang resistivitas semu pada data magnetotellurik yang sudah mengalami koreksi statik maupun yang belum mengalami koreksi statik melalui inversi 1D maupun 2D. Koreksi statik dilakukan dengan bantuan data TDEM.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





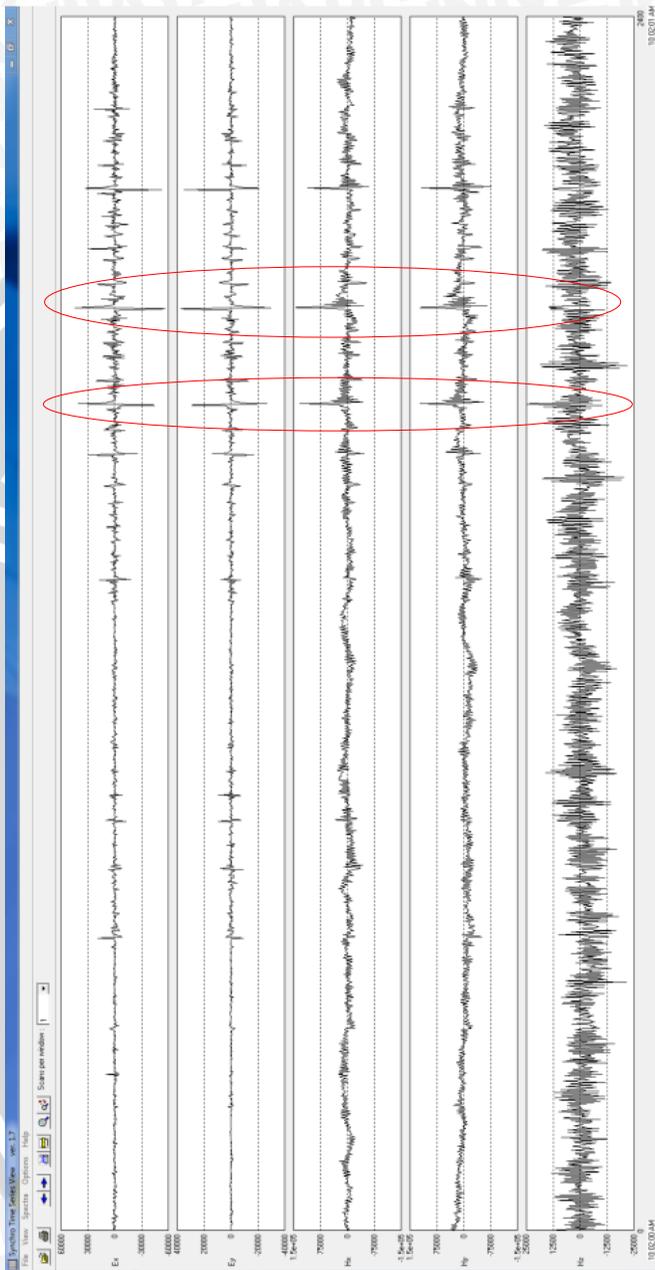
Gambar 3. 3 Flowchart Pengolahan Data

Adapun langkah-langkah dalam pengolahan data lebih jelasnya dibawah ini.

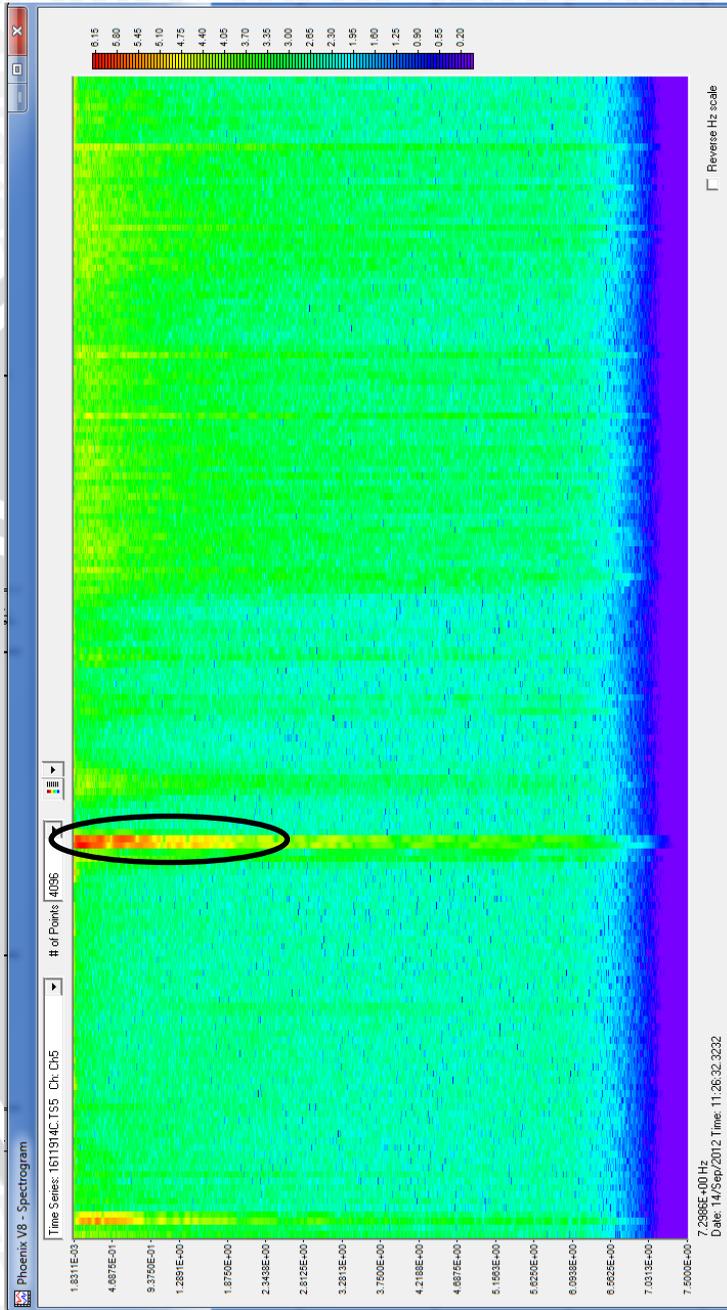
1. Pemilihan “*Time Series*”

Selama pengukuran, data yang terekam di lapangan tidak sepenuhnya mengandung data yang baik, masih terdapat kemungkinan adanya *noise* yang bercampur dengan data, yang dapat mempengaruhi trend kurva yang dihasilkan menjadi tidak *smooth*. Diperlukan adanya proses penyeleksian data yang mengandung *noise*. Salah satunya dengan pemilihan data pada waktu perekaman tertentu yang dianggap memiliki sedikit *noise*. Hal ini bisa dilakukan dengan mengamati kurva *time series* pada software *Synchro Time Series Viewer*. Melalui *software* ini, dapat diamati data hasil rekaman di lapangan yang mengandung *noise* maupun tidak mengandung *noise*. Data yang mengandung *noise* ditandai dengan adanya kenaikan nilai pada kurva *time series* di semua channel pengukuran ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$  dan  $H_z$ ) pada waktu perekaman tertentu. Seperti yang ditunjukkan dengan lingkaran merah pada Gambar 3.4.

Berdasarkan Gambar 3.4, sumbu vertikal merupakan hasil dari perekaman komponen medan listrik dan medan magnetik dilapangan yang terdiri dari komponen  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$  dan  $H_z$ , sedangkan sumbu horizontal merupakan waktu perekaman data. Data *time series* yang terekam mempunyai format biner dengan ekstensi “.TS”, yaitu “.TS3”, “.TS4” dan “.TS5”. Perbedaan ketiganya terletak dalam hal *sampling rate*, data “.TS3” terdiri atas 2400 data setiap detik, data “.TS4” terdiri atas 150 data setiap detik dan “.TS5” terdiri atas 15 data setiap detik, maka dapat dinyatakan bahwa “.TS3” mempunyai frekuensi tinggi, “.TS4” mempunyai frekuensi medium dan “.TS5” mempunyai frekuensi rendah.



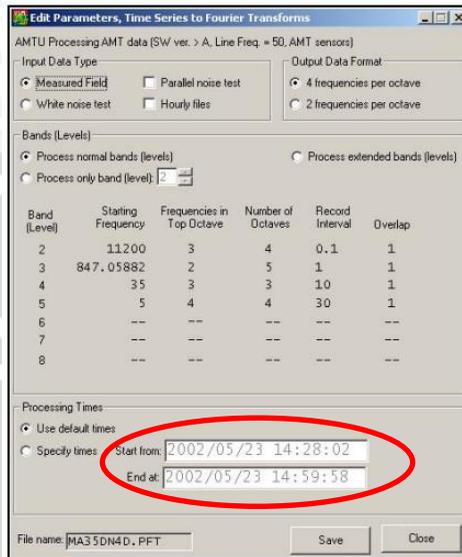
Gambar 3. 4 Analisis *time series* dengan menggunakan *synchro time series viewer*



Gambar 3. 5 Analisis time series berdasarkan spektrogram

Analisis *time series* tidak hanya dapat diamati menggunakan *software Synchro Time Series Viewer*, melainkan juga dapat dilakukan dengan *software WinGLink* melalui analisis spektogram, agar lebih mempermudah melihat kemungkinan adanya *noise* pada data dan mempermudah pemilihan waktu yang akan digunakan untuk pengolahan data selanjutnya. Berdasarkan Gambar 3.5, sumbu vertikal adalah frekuensi dan sumbu horizontal adalah waktu perekaman data. Intensitas amplitudo pada suatu frekuensi dan pada suatu waktu (*time*, frekuensi) di dalam spektogram dinyatakan dengan skala warna, yang menunjukkan bahwa semakin berwarna merah maka intensitas amplitudonya semakin besar, yang selanjutnya diduga sebagai *noise* atau bercampurnya sinyal dengan sinyal-sinyal yang lain salah satunya *noise*. Analisis *time series* akan lebih mudah dilakukan dengan mengamati perbedaan komponen frekuensinya, intensitas tinggi atau yang diduga sebagai *noise* sangat dominan terlihat pada frekuensi rendah atau penetrasi kedalaman yang lebih dalam, ditunjukkan dengan lingkaran warna hitam. Data dalam waktu perekaman tersebut dianggap memiliki *noise* yang cukup tinggi, sehingga dapat dijadikan suatu pertimbangan untuk memilih data dalam rentang waktu yang lain dengan sedikit *noise*.

Setelah dilakukan analisis terhadap *time series* yang dianggap mengandung sedikit *noise*, langkah selanjutnya adalah memasukkan perkiraan rentang waktu tersebut pada *software SSMT2000*, seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Tampilan software SSMT2000 untuk pemilihan rentang waktu (Phoenix, 2005)

## 2. Proses FFT (Fast Fourier Transform)

Data mentah yang terekam di lapangan masih dalam domain waktu, karena analisis resistivitas semu dan fase dilihat berdasarkan fungsi frekuensi dari hasil perhitungan impedansi. Maka data dalam domain waktu diubah ke domain frekuensi melalui transformasi fourier. Terutama teknik *Fast Fourier Transform* (FFT) agar proses transformasi yang dilakukan lebih cepat dan efisien. Proses transformasi ini dilakukan melalui software SSMT2000, seperti pada Gambar 3.7.

Secara prinsip, transformasi Fourier adalah suatu operasi matematis yang mengubah sinyal menjadi spektrum (Munadi, 2002). Dalam MT, transformasi fourier digunakan untuk mengubah time series  $E_x(t)$ ,  $B_y(t)$  ke dalam domain frekuensi (Simpson dan Bahr, 2005). *Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan teknik komputasi yang mampu untuk menangani transformasi Fourier dari data diskrit dengan jumlah yang banyak secara efisien. Efisiensinya terutama berawal dari kemampuannya untuk memanfaatkan sifat-sifat periodik yang terdapat dalam fungsi-fungsi sinus maupun cosinus. Pada persamaan berikut,  $G_k$  merupakan suku genap dan  $H_k$  suku ganjil.

$$F_k = G_k + W^{-k} H_k \quad (3.1)$$

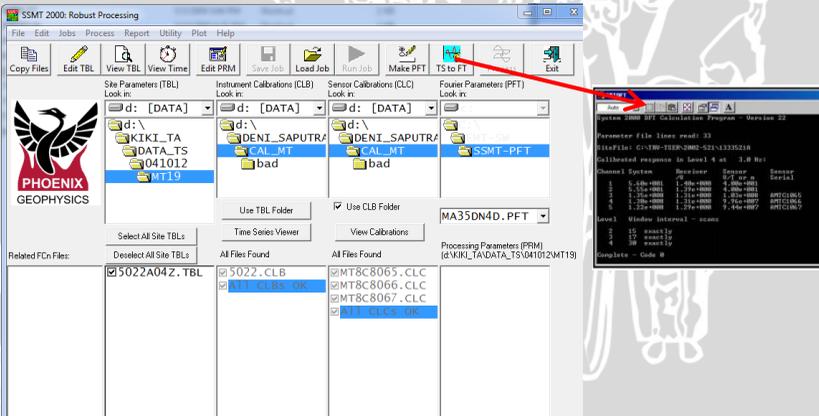
dengan  $G_k = \sum_{n=0}^{N-1} g_n (W^2)^{-nk}$  dan  $H_k = \sum_{n=0}^{N-1} h_n (W^2)^{-nk}$

$$k = 0, 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{2} - 1\right)$$

Ada beberapa hal penting yang perlu diperhatikan sebelum menggunakan teknik FFT (Munadi, 2002) , yaitu:

1. Data yang dimasukkan harus dalam bentuk digital dengan interval sampling yang tetap ( $\Delta t$ )
2. Banyaknya data digit N akan mendefinisikan bentuk dari deret waktunya dan jumlahnya harus diatur agar  $N=2m$ , dengan m adalah bilangan bulat positif.
3. FFT akan menganggap deret waktu  $f(t)$  sebagai fungsi periodik dengan periode  $N\Delta t$
4. Dalam domain frekuensi, interval frekuensinya adalah

$$\Omega = \frac{2\pi}{N\Delta t}$$



Gambar 3. 7 Proses mengubah domain waktu ke domain frekuensi

### 3. Robust Processing

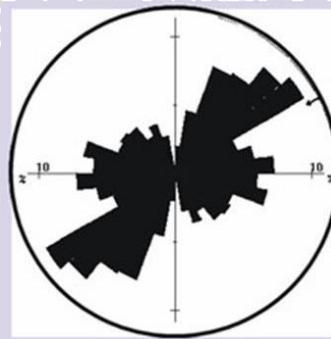
Proses ini didasarkan pada proses statistik untuk mencari trend data yang lebih dominan dan sebagai solusi untuk

mengeliminasi *outlier*. *Outlier* adalah data dengan nilai yang jauh dari nilai rata-rata. *Outlier* ini dianggap sebagai *noise* pada data. Proses Robust merupakan langkah awal untuk mengeliminasi *noise* pada data magnetotellurik. Hasil yang diperoleh dari proses ini adalah perhitungan impedansi yang kemudian menghasilkan kurva resistivitas semu dan fase.

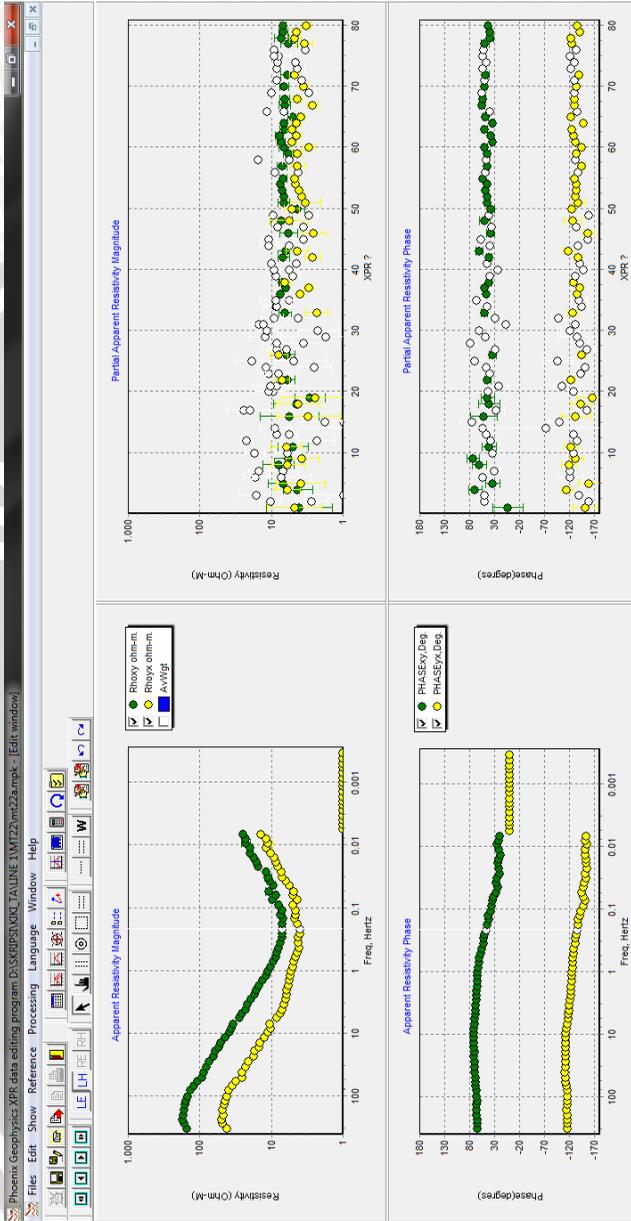
#### 4. Rotasi dan *Editing* Data

Setelah melalui tahap *robust processing*, kurva yang dihasilkan adalah kurva resistivitas semu terhadap frekuensi yang akan dapat dilihat pada *software* MT Editor. Kurva yang dihasilkan cenderung masih acak-acakan karena masih adanya pengaruh *noise* pada data. Diperlukan proses *editing* data pada *software* MT Editor dengan cara pemilihan *crosspower* pada kurva XPR disebelah kanan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9.

Sebelum dilakukan *editing* pada data, kurva yang dihasilkan harus dirotasi terlebih dahulu sesuai dengan struktur utama daerah penelitian yaitu, N45<sup>0</sup>E seperti yang terlihat pada Gambar 3.8. Pada penelitian ini data dirotasi sebesar 45<sup>0</sup>. Hal ini perlu dilakukan agar data yang dihasilkan lebih tepat dalam menggambarkan kondisi bawah permukaan, karena rotasi data bisa mempengaruhi nilai impedansi yang dihasilkan.



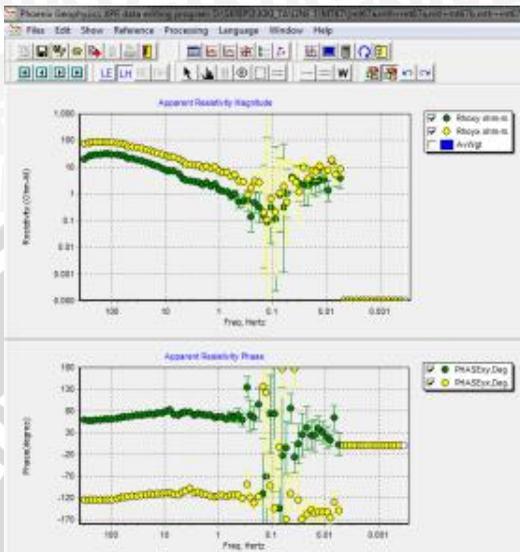
Gambar 3. 8 *Rose Diagram* Daerah Penelitian



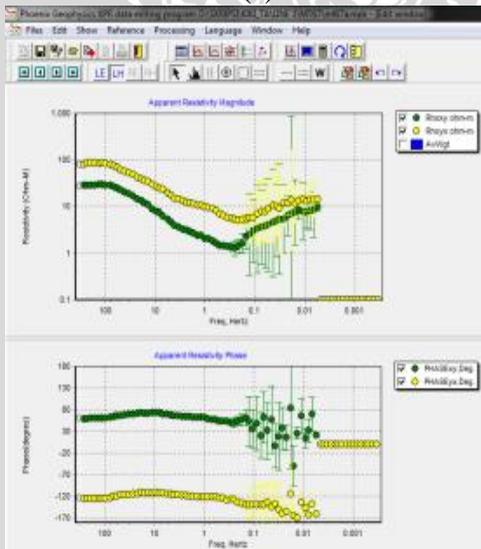
Gambar 3. 9 Kurva MT dengan Kurva XPR (crosspower)

Dari Gambar 3.9, dapat diketahui bahwa setiap data resistivitas semu pada tiap frekuensi memiliki beberapa titik *crosspower* yang berkaitan dengan kurva resistivitas semu dan fase. *Editing* data dilakukan dengan acuan kurva resistivitas semu menghasilkan trend yang lebih kontinu, halus dan sesuai dengan kondisi bawah permukaan serta menghasilkan kurva fase yang linier. Seperti diketahui bahwa metode MT adalah metode pasif yang memanfaatkan sumber EM alam yang memiliki frekuensi rendah, sehingga dapat menjangkau penetrasi kedalaman yang cukup dalam mencapai ratusan km. Akan tetapi pada frekuensi rendah, terdapat kelemahan pada resolusi yang dihasilkan. Karena objek yang dicari adalah reservoir panasbumi, yang mana kedalaman dari reservoir tersebut biasanya berada dalam kisaran kurang dari 5 km, maka pada proses editing, data dengan frekuensi yang terlalu kecil (kurang dari 0,01 Hz) dimatikan.

Perbandingan hasil kurva MT yang belum dilakukan proses *editing* dengan yang sudah dilakukan *editing* dapat dilihat pada Gambar 3.10. Pada Gambar 3.10 (a) hasil kurva resistivitas semu masih belum menghasilkan trend yang jelas, kurva fase antara TE dan TM belum linier dan masih ada yang tidak sesuai pada posisinya, sedangkan Gambar 3.10 (b) hasil kurva resistivitas semu sudah menunjukkan adanya trend model, namun belum sepenuhnya benar ditandai dengan adanya *error bar* yang cukup beragam pada data. *Error bar* ini menunjukkan rentang kemungkinan posisi data yang sebenarnya, sedangkan kurva fase yang dihasilkan juga belum linier sepenuhnya, namun lebih baik jika dibandingkan dengan hasil sebelum di *editing*. Hal ini juga ditunjang dengan adanya *error bar* pada data.



(a)



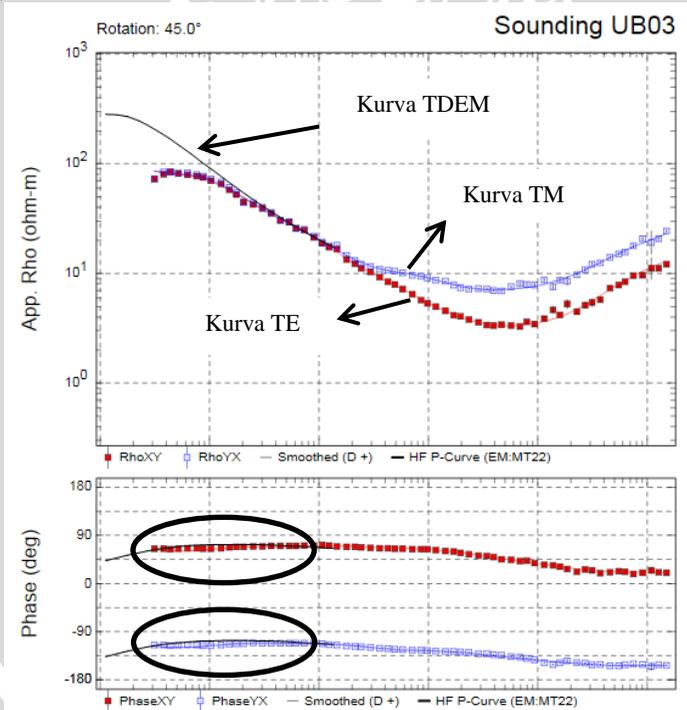
(b)

Gambar 3. 10 Perbandingan kurva *apparent resistivity* dan *impedance phase* (a) sebelum dan (b) sesudah proses editing titik

UB04

5. Koreksi Statik

Metode MT memanfaatkan sumber dari alam, maka tidak dapat dihindari kemungkinan terganggunya data karena gejala-gejala alam atau yang bisa disebut sebagai distorsi pada data. Distorsi pada data MT bisa disebabkan karena banyak hal, diantaranya adalah efek topografi, heterogenitas permukaan dan kontak vertikal. Distorsi pada data MT karena faktor tersebut dapat mengakibatkan adanya pergeseran vertikal pada kurva TE dan TM di frekuensi tinggi. Distorsi ini atau disebut efek statik akan menyebabkan ambiguitas yang berakibat pada kesalahan interpretasi data. Salah satu cara mengatasi efek distorsi ini adalah dengan menggunakan data TDEM. Data TDEM sering digunakan dalam koreksi statik, karena hanya melibatkan pengukuran medan magnet sekunder akibat induksi medan magnet primer, sehingga TDEM relatif tidak terpengaruh oleh anomali konduktivitas lokal dekat permukaan (Hendro dan Grandis, 1996).

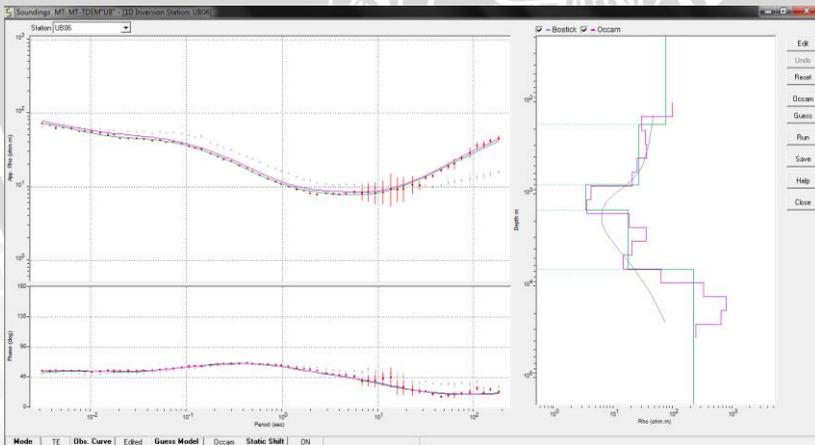


Gambar 3. 11 Koreksi statik pada kurva MT

Proses koreksi efek statik ini dilakukan dengan memasukkan data TDEM pada software WinGLink. Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi efek statik yang terjadi pada kurva TE dan TM. Dengan cara menggeser kurva TE dan TM pada kurva TDEM yang disesuaikan dengan melihat menempelnya kurva TDEM pada kurva fase. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.11.

6. Pemodelan dan inversi 1D

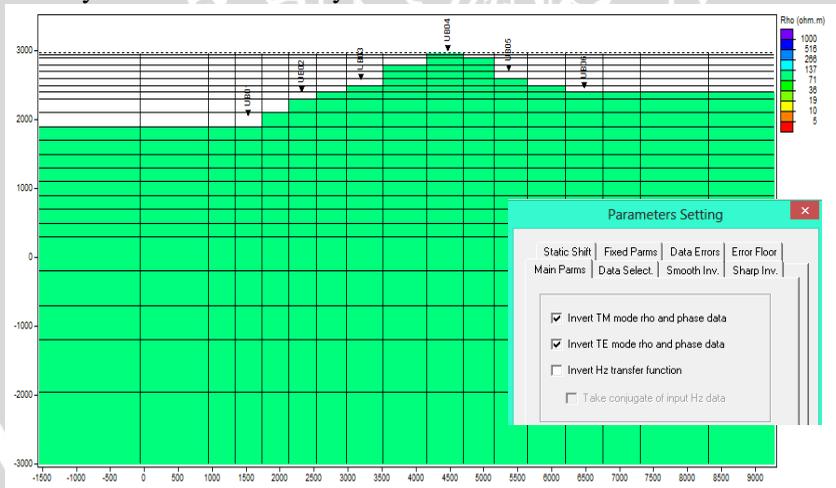
Setelah dilakukan proses koreksi statik pada data, langkah selanjutnya adalah pemodelan dan inversi, untuk mendapatkan model kondisi bawah permukaan berdasarkan proses pencocokan dengan data yang ada. Inversi 1D dilakukan dengan software WinGLink. Tahapan yang dilakukan dalam membuat pemodelan data adalah terlebih dahulu menentukan jumlah lapisan per titik sounding yang kemudian disesuaikan dengan data kurva resistivitas semu hasil pengolahan, seperti yang terlihat pada Gambar 3.12. Garis berwarna hijau merupakan model lapisan yang penulis buat, sedangkan warna merah adalah model occam. Setelah dibuat model untuk seluruh titik dalam satu lintasan, langkah selanjutnya adalah dengan menampilkan hasil penampang resistivitas semu secara 1D. Pada penelitian ini, penulis menggunakan inversi occam untuk inversi 1D, agar diperoleh hasil yang lebih *smooth* karena adanya faktor *roughness* atau kekasaran.



Gambar 3. 12 Proses pemodelan 1 dimensi

## 7. Inversi 2D

Tahap yang terakhir adalah melakukan proses inversi 2D. Proses inversi 2 dimensi merupakan proses pemodelan distribusi bawah permukaan dalam bentuk 2 dimensi (*profile*). Proses ini dilakukan melalui software WinGLink. Tahapan yang dilakukan adalah dengan menentukan lintasan mana yang akan dilakukan inversi. Akan muncul tampilan seperti pada Gambar 3.13, warna hijau yang ditampilkan menunjukkan bahwa inversi dilakukan dengan inialisasi nilai resistivitas awal sekitar  $50 \Omega.m$ . Kemudian dilakukan pengeditan mesh agar dihasilkan inversi yang lebih *smooth* dan dilakukan pengaturan *invert TE* dan *TM*. Agar diperoleh penampang resistivitas semu hasil gabungan dua *mode* pengukuran. Penggabungan *mode TE* dan *TM* dilakukan untuk menggabungkan kemampuan sensitivitas dari *TE mode* pada struktur yang kurang resistif atau konduktif dan *TM mode* yang dapat mendeteksi perlapisan daerah yang memiliki resistivitas yang berbeda. Kemudian dilakukan penentuan iterasi yang akan digunakan. Iterasi yang digunakan akan menentukan hasil penampang yang dihasilkan dan besarnya nilai *error RMS*-nya.



Gambar 3. 13 Tampilan *forward modelling* lintasan A sebelum dilakukan inversi

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Adanya faktor heterogenitas permukaan, topografi dan kontak vertikal pada pengukuran MT, dapat mengakibatkan data yang dihasilkan mengalami distorsi. Distorsi ini biasa disebut sebagai efek statik yang ditandai dengan adanya pergeseran vertikal kurva sounding TE *mode* dan TM *mode*, yang mengakibatkan adanya perbedaan nilai resistivitas yang bisa berdampak pada timbulnya ambiguitas dalam interpretasi data sehingga bisa memberikan informasi atau rekomendasi yang salah. Diperlukan adanya koreksi efek statik dengan menggunakan data TDEM. Data TDEM hanya melibatkan pengukuran medan magnet, sehingga tidak terlalu terpengaruh oleh adanya heterogenitas dekat permukaan maupun faktor topografi. Penelitian ini menjelaskan bagaimana metode TDEM dapat mereduksi efek statik pada data magnetotellurik dan menghasilkan informasi gambaran bawah permukaan melalui inversi 1D dan 2D.

#### **4.1 Analisis Efek Statik pada Data MT**

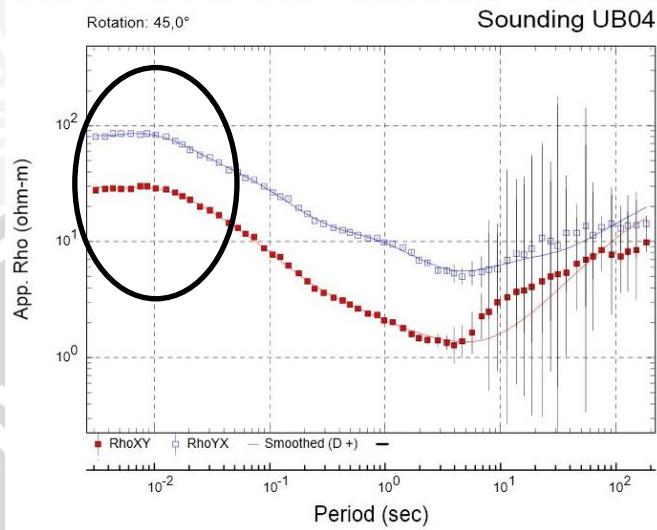
Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan data terhadap 19 titik pengukuran yang terbagi dalam tiga lintasan, yaitu lintasan A, lintasan B dan lintasan C. Pada kondisi ideal, kurva TE dan TM saling berhimpitan pada frekuensi tinggi, hal ini didasarkan asumsi bahwa model 1D TE dan TM pada lapisan atas memiliki kondisi yang sama. Ketika dijumpai adanya pergeseran (*shifting*) yang mengakibatkan kurva TE dan TM terpisah pada rentang nilai resistivitas semu tertentu, maka hal ini bisa diindikasikan bahwa adanya distorsi pada data, yang disebut sebagai efek statik. Efek statik terjadi pada semua data titik pengukuran yang mempengaruhi nilai resistivitas masing-masing titik, sehingga dilakukan koreksi statik dengan data TDEM. Koreksi statik dilakukan dengan cara menggeser kurva TE dan TM pada kurva TDEM. Berikut analisis efek statik untuk ketiga lintasan yang diukur dan perbandingan hasil kurva resistivitas semu sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik.

a. Lintasan A (*Line\_A*)

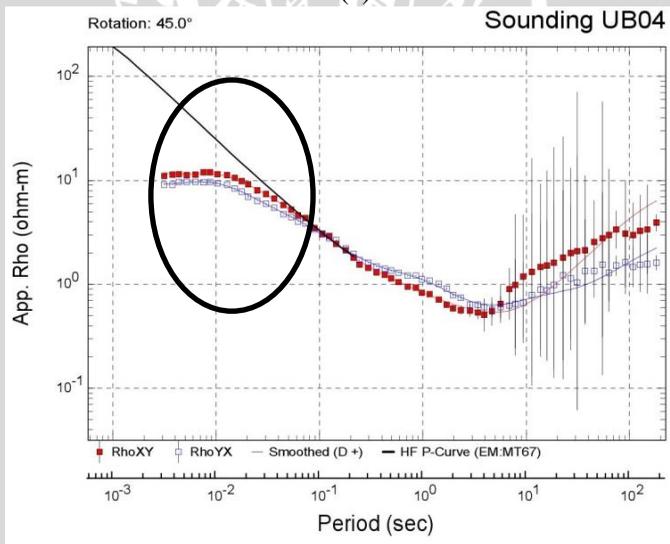
Hasil pengolahan data pada titik pengukuran lintasan A menunjukkan adanya distorsi data akibat efek statik yang ditandai dengan adanya pergeseran vertikal kurva resistivitas semu (TE dan TM) pada frekuensi tinggi. Kurva TE dan TM mengalami efek statik yang berbeda pada setiap titik pengukuran, hal ini disebabkan karena setiap titik diukur secara *sounding*, sehingga tidak terpengaruh satu sama lain dan memiliki respon pengukuran yang berbeda-beda tergantung kondisi bawah permukaan pada setiap titik.

Setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM pada data MT, diketahui bahwa hampir semua kurva resistivitas semu titik pengukuran pada lintasan A mengalami pergeseran ke bawah atau mengalami penurunan nilai resistivitas semu yang menunjukkan bahwa kondisi dekat permukaan setelah dikoreksi statik menggambarkan lapisan tersebut lebih konduktif. Hanya pada kurva TE di titik UB01 dan kurva TM di titik UB03 yang mengalami pergeseran ke atas atau adanya peningkatan nilai resistivitas semu setelah dilakukan koreksi statik, hal ini menunjukkan bahwa kondisi dekat permukaan pada *mode* tersebut setelah dikoreksi statik menggambarkan lapisan yang lebih resistif. Peningkatan atau penurunan nilai resistivitas semu lintasan A berkisar antara 20 – 90  $\Omega.m$ .

Pergeseran nilai resistivitas semu terbesar terjadi pada titik UB04 seperti yang terlihat pada Gambar 4.1, kurva TE mengalami pergeseran ke bawah atau penurunan nilai resistivitas semu sekitar 40 – 50  $\Omega.m$ , kurva TM juga mengalami pergeseran ke bawah namun dengan nilai penurunan resistivitas semu yang lebih besar mencapai sekitar 90  $\Omega.m$ . Penyebab adanya efek statik pada titik UB04, dimungkinkan akibat faktor heterogenitas permukaan atau topografi yang bisa dianalisis lebih jelasnya melalui inversi 1D. Hal ini diindikasikan dari pergeseran (*shifting*) terbesar yang terjadi pada kurva TM, efek statik sering terjadi pada *mode* ini karena medan listrik tegak lurus dengan *strike* atau disebut sebagai efek galvanik yang sangat berpengaruh pada batas permukaan struktur dan menyebabkan perubahan penjalaran medan listrik. Untuk hasil kurva MT sebelum dan sesudah koreksi statik pada titik pengukuran lainnya dapat dilihat pada lampiran.



(a)



(b)

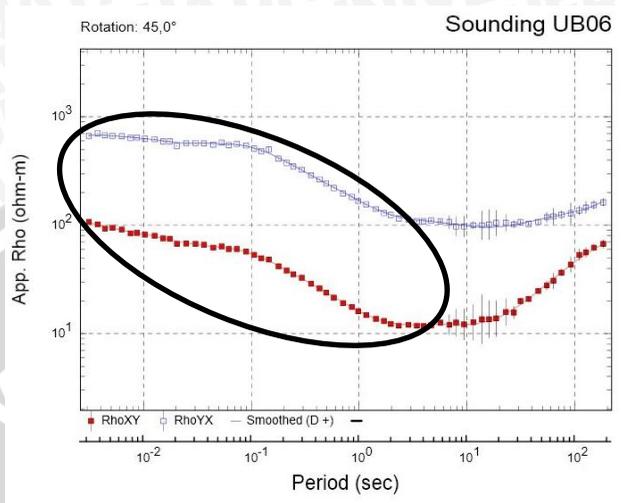
Gambar 4. 1 Efek Statik pada data titik “UB 04” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

Penerapan koreksi statik dengan TDEM juga dapat menghilangkan faktor penyebab efek statik lainnya, yaitu kontak

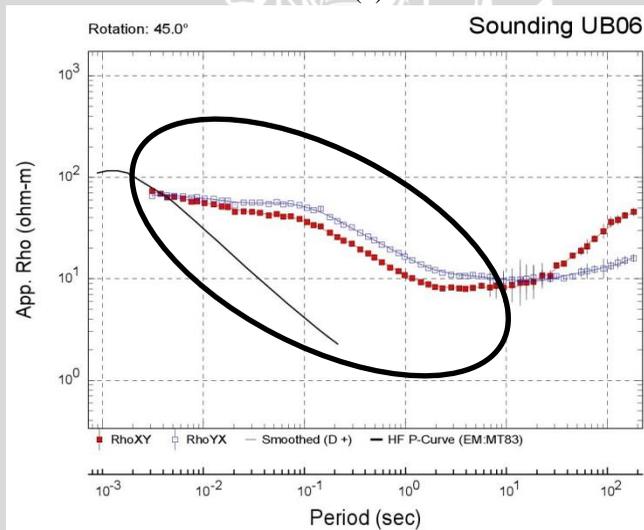
vertikal, yang terjadi ketika suatu lapisan dengan nilai resistivitas tertentu berada didekat batas kontak vertikal berupa patahan atau struktur lainnya dan menyebabkan kurva mengalami pergeseran. Hal yang membedakan kontak vertikal dengan penyebab lainnya adalah efek statik akibat faktor tersebut tidak terjadi pada periode rendah melainkan terjadi periode tinggi atau frekuensi rendah. Pergeseran akan terjadi pada semua periode jika titik pengukuran terletak tepat pada batas kondisi vertikalnya.

Berdasarkan hasil pengolahan pada lintasan A, diketahui bahwa sebelum dilakukan koreksi statik kurva TE dan TM tidak saling berhimpitan dan terpisah pada jarak yang bervariasi setiap titik. Setelah dilakukan koreksi statik, kurva TE dan TM lebih berhimpitan walaupun belum mencakup pada semua periode. Titik UB06 menunjukkan adanya pemisahan kurva TE dan TM yang cukup jauh di semua periode, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 (a). Penyebabnya dimungkinkan terjadi karena pada titik ini terletak tepat pada batas kontak vertikalnya atau berada di daerah yang diduga sebagai patahan dan bertemu pada bagian yang lebih resistif. Ditandai dengan posisi kurva TM yang berada di atas kurva TE sebelum dikoreksi statik. Pergeseran tersebut dapat dihilangkan setelah dilakukan koreksi statik, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 (b). Kurva TE lebih berhimpitan dengan kurva TM dibandingkan sebelumnya, begitu pula pada hasil pengolahan titik UB04 pada Gambar 4.1 (b), sedangkan untuk hasil pengolahan pada titik lainnya dapat dilihat pada lampiran.





(a)



(b)

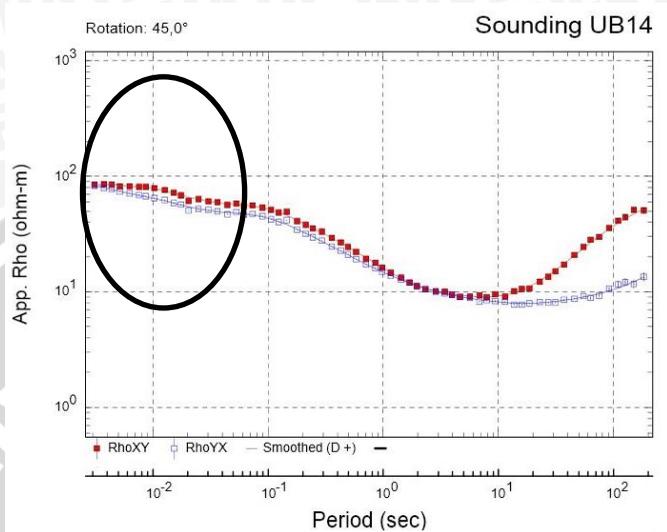
Gambar 4. 2 Efek statik pada data MT titik “UB06” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

b. Lintasan B (*Line\_B*)

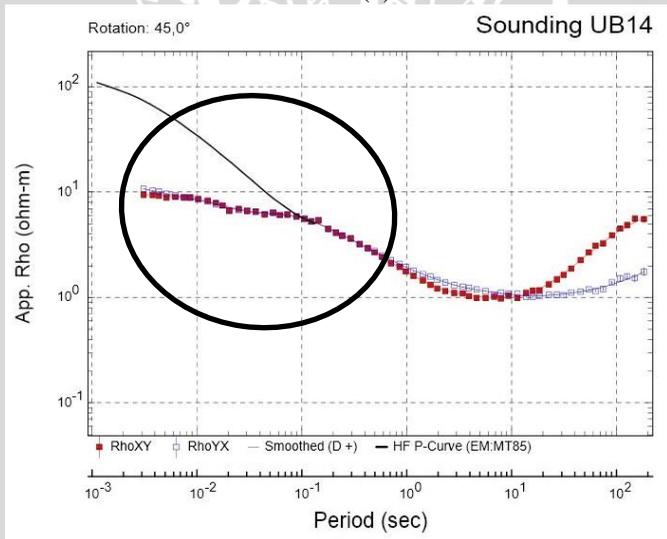
Pada lintasan B dijumpai adanya efek statik pada data magnetotellurik (MT), ditandai dengan adanya pergeseran vertikal

kurva resistivitas semu TE dan TM. Setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM pada data MT, diketahui bahwa kurva resistivitas semu TE *mode* dan TM *mode* pada titik pengukuran UB08, UB12, UB13 dan UB14 mengalami pergeseran ke bawah atau mengalami penurunan nilai resistivitas semu. Pada titik UB09 mengalami pergeseran ke atas atau adanya peningkatan nilai resistivitas semu, sedangkan pada titik UB10 dan UB11, terjadi pergeseran ke atas pada *mode* TM serta pergeseran ke bawah untuk *mode* TE. Peningkatan atau penurunan nilai resistivitas semu lintasan B berkisar antara 10 – 90  $\Omega$ .m. Secara umum, perubahan nilai resistivitas semu pada tiap titik pengukuran di lintasan B tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan lintasan A. Hal ini menunjukkan bahwa pada lintasan B, hasil setelah dikoreksi statik tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu jauh dengan kondisi bawah permukaan yang sebenarnya, atau distorsi data akibat efek statik tidak terlalu dominan berpengaruh seperti pada lintasan A.

Pergeseran nilai resistivitas semu terbesar terjadi pada titik UB14 seperti yang terlihat pada Gambar 4.3, kurva TE dan TM mengalami pergeseran ke bawah atau penurunan nilai resistivitas semu sekitar 80 – 90  $\Omega$ .m. Kalau dianalisis secara kenampakan kurvanya pada Gambar 4.3 (a), diketahui bahwa kurva TE dan TM sebelum dikoreksi statik telah berhimpitan pada periode awal atau frekuensi tinggi, yang mengindikasikan bahwa kedua kurva tersebut tidak mengalami efek statik. Setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM diketahui bahwa adanya pergeseran vertikal kurva TE dan TM dengan nilai yang cukup besar. Distorsi data akibat efek statik tidak hanya bisa dilihat berdasarkan kurva TE dan TM yang tidak berhimpitan pada periode awal atau frekuensi tinggi. Harus dilakukan analisis terhadap data TDEM yang dihasilkan untuk melihat ada atau tidaknya efek statik dan seberapa besar pengaruh perubahan nilai resistivitas semu pada titik tersebut.



(a)



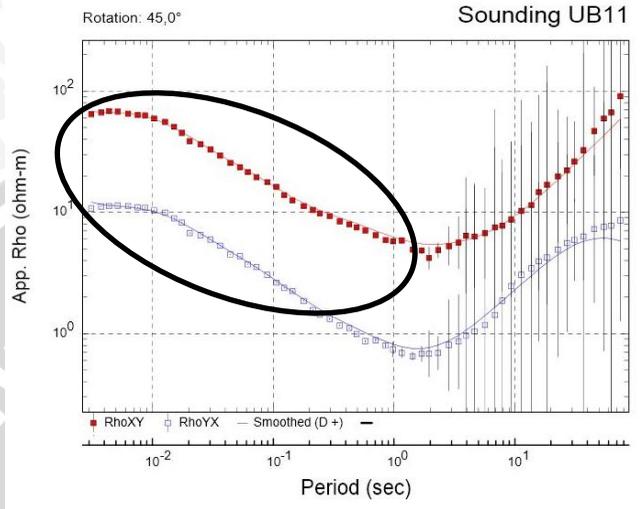
(b)

Gambar 4. 3 Efek statik pada data MT titik “UB14” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

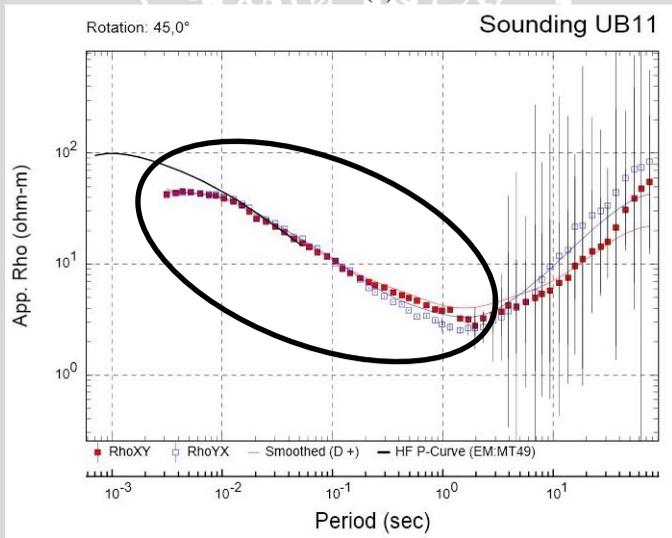
Penyebab adanya efek statik pada titik UB14, dimungkinkan akibat faktor heterogenitas permukaan yang bisa dianalisis lebih

jelasnya melalui inversi 1D dan 2D. Hal ini diindikasikan dari pergeseran ke bawah yang cukup besar pada kurva TM dan TE, efek statik sering terjadi pada *mode* TM karena efek galvanik yang sangat berpengaruh pada batas permukaan struktur dan menyebabkan perubahan penjalaran medan listrik.

Adanya efek statik dapat juga disebabkan karena faktor kontak vertikal. Faktor tersebut akan mengakibatkan kurva TE dan TM yang terpisah (tidak saling berhimpitan) pada periode tinggi. Berdasarkan hasil pengolahan pada lintasan B titik UB11, sebelum dilakukan koreksi statik kurva TM dan TE terpisah pada jarak yang cukup jauh pada semua periode (Gambar 4.4(a)), yang mana kurva TE berada di atas kurva TM. Hal ini dimungkinkan terjadi karena pada titik ini terletak tepat pada batas kontak vertikalnya atau berada di daerah yang diduga sebagai patahan dan bertemu pada bagian yang kurang resistif. Pergeseran tersebut dapat dihilangkan setelah dilakukan koreksi statik, seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 (b). Kurva TE lebih berhimpitan dengan kurva TM pada semua periode dibandingkan sebelumnya, begitu pula pada hasil pengolahan titik UB09 dan UB12 (lampiran). Untuk hasil kurva MT sebelum dan sesudah koreksi statik pada titik pengukuran lainnya dapat dilihat pada lampiran.



(a)



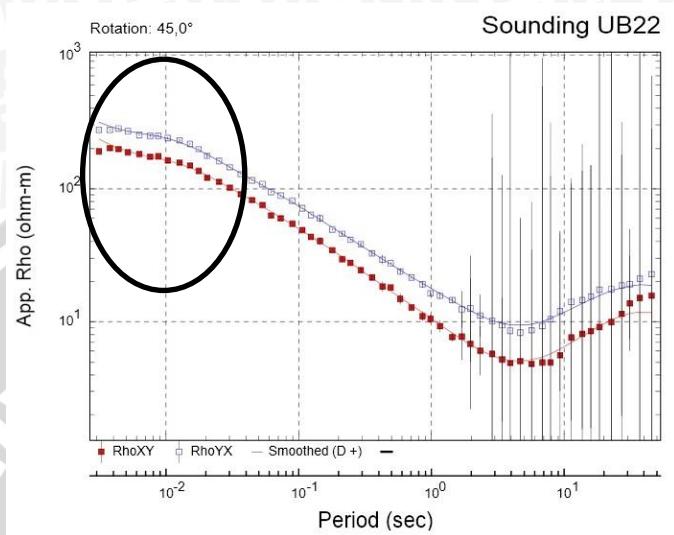
(b)

Gambar 4. 4 Efek statik pada data MT titik “UB11” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

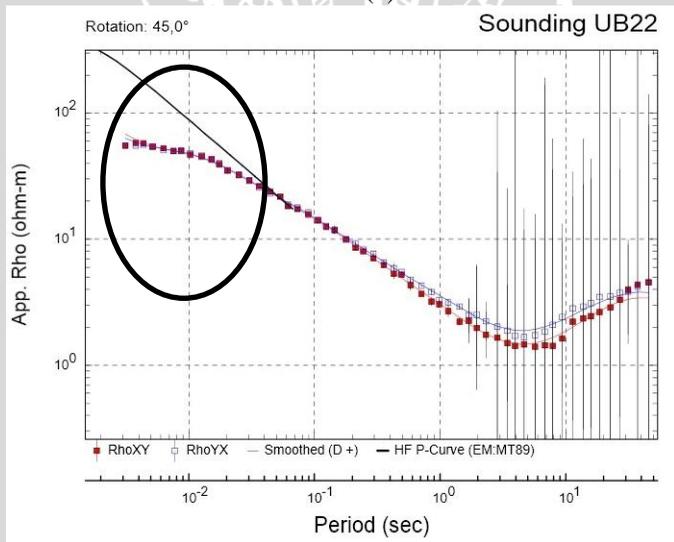
c. Lintasan C (*Line\_C*)

Pada hasil pengolahan data lintasan C, diketahui terjadi distorsi data akibat efek statik yang ditandai dengan adanya pergeseran vertikal kurva resistivitas semu (TE dan TM) pada frekuensi tinggi. Kurva TE dan TM mengalami efek statik yang berbeda tiap titik pengukuran. Setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM pada data MT, diketahui bahwa kurva resistivitas semu TE *mode* dan TM *mode* pada titik pengukuran UB04, UB12, UB13, UB18, UB19, UB20 dan UB22 mengalami pergeseran ke bawah atau mengalami penurunan nilai resistivitas semu, sedangkan pada titik UB16 mengalami pergeseran ke atas untuk TE *mode*, pergeseran ke bawah untuk TM *mode* dan sebaliknya untuk titik UB21. Peningkatan atau penurunan nilai resistivitas semu lintasan C berkisar antara 5 – 90  $\Omega.m$ . Secara keseluruhan, hasil pengolahan data lintasan C setelah dikoreksi statik, tidak menunjukkan pergeseran vertikal yang cukup tinggi. Hanya pada titik UB04, UB18 dan UB22 yang memiliki perubahan nilai resistivitas yang cukup tinggi dibandingkan titik lainnya.

Pergeseran vertikal kurva resistivitas semu TE *mode* dan TM *mode* pada titik UB22 dapat dilihat pada Gambar 4.5. Titik UB22 mengalami pergeseran ke bawah atau penurunan nilai resistivitas semu sekitar 50-60  $\Omega.m$  (TE *mode*) dan 70 – 80  $\Omega.m$  (TM *mode*), yang menunjukkan bahwa kondisi dekat permukaan setelah dikoreksi statik menggambarkan lapisan tersebut lebih resistif. Pergeseran terbesar terjadi pada TM *mode*, efek statik sering terjadi pada *mode* ini karena medan listrik tegak lurus dengan *strike* atau disebut sebagai efek galvanik yang sangat berpengaruh pada batas permukaan struktur dan menyebabkan perubahan penjalaran medan listrik. Penyebab adanya efek statik pada titik UB22, dimungkinkan akibat faktor heterogenitas permukaan atau topografi yang bisa dianalisis lebih jelasnya melalui inversi 1D dan 2D. Untuk hasil kurva MT sebelum dan sesudah koreksi statik pada titik pengukuran lainnya dapat dilihat pada lampiran.



(a)



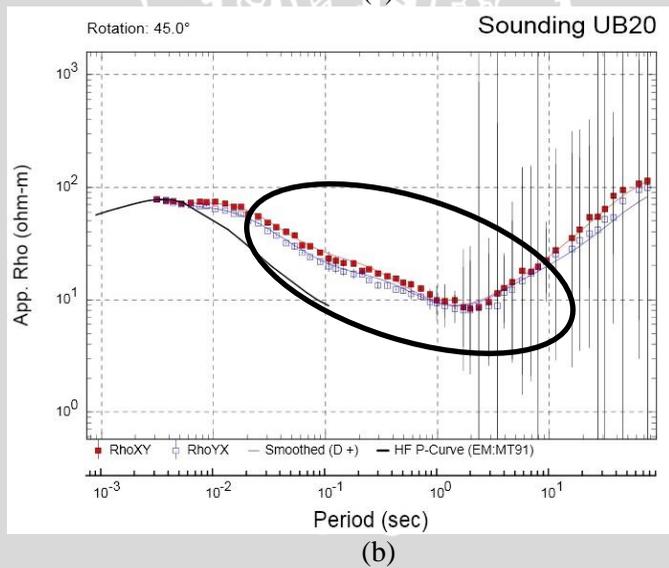
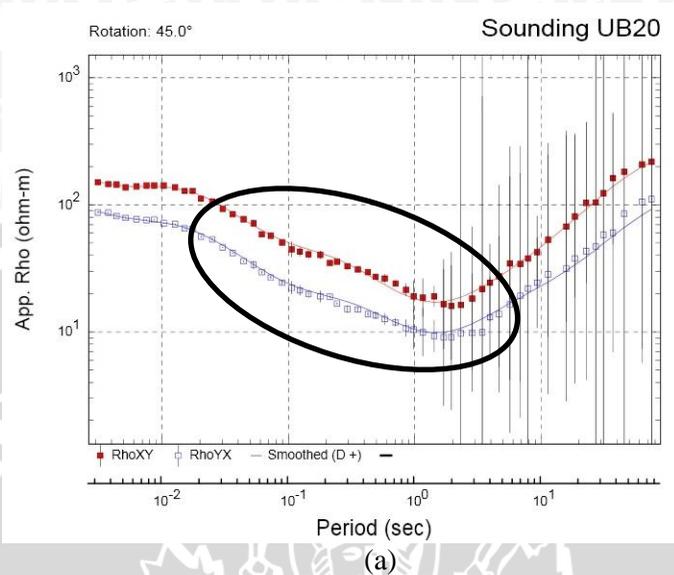
(b)

Gambar 4. 5 Efek statik pada data MT titik “UB22” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

Faktor lain yang dapat menyebabkan efek statik adalah pengaruh adanya kontak vertikal. Berdasarkan hasil pengolahan data

pada lintasan C, diketahui bahwa hampir semua titik pengukuran yang telah mengalami koreksi statik dengan data TDEM mengalami perubahan kurva MT (*TE mode* dan *TM mode*) yang saling berhimpitan satu sama lain pada periode tinggi. Hal ini dapat menunjukkan bahwa koreksi statik dengan data TDEM dapat menghilangkan adanya efek statik akibat pengaruh kontak vertikal. Hal ini perlu dianalisis kembali melalui inversi 1D dan 2D. Hasil pengolahan data pada lintasan C yang diduga mengalami efek statik akibat kontak vertikal adalah pada titik UB20 (Gambar 4.6). Pada Gambar 4.6 (a) diketahui bahwa kurva TE berada di atas kurva TM dan terpisah atau tidak saling berhimpitan pada semua periode. Penyebabnya dimungkinkan karena pada titik ini terletak tepat pada batas kontak vertikalnya atau berada di daerah yang diduga sebagai patahan dan bertemu pada bagian yang kurang resistif. Setelah dilakukan koreksi statik, efek tersebut dapat dihilangkan ditandai dengan kurva TE dan TM yang saling berhimpitan pada semua periode seperti pada Gambar 4.6 (b). Untuk hasil kurva MT sebelum dan sesudah koreksi statik pada titik pengukuran lainnya dapat dilihat pada lampiran.





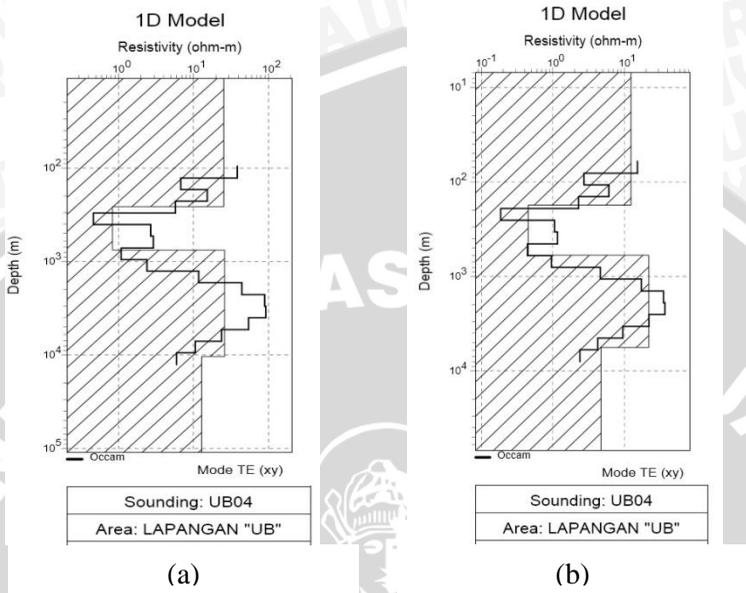
Gambar 4. 6 Efek statik pada data MT titik “UB20” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

## 4.2 Analisis Hasil Pemodelan dan Inversi 1D

Adanya efek statik dapat menyebabkan perubahan nilai resistivitas setiap titik. Perubahan dan perbedaan nilai resistivitas semu setiap titik akan dengan mudah dilihat dan dianalisis dari model 1D, karena resistivitas hanya bervariasi terhadap kedalaman dan tidak bervariasi terhadap arah lateral. Pemodelan 1-D kurva sounding MT yang mengalami pergeseran vertikal sebesar  $k$  menghasilkan model 1-D yang merupakan kelipatan  $k$  dan  $k^{1/2}$  masing-masing untuk resistivitas dan ketebalan yang sebenarnya (Sternberg dkk., 1988; Hendro & Grandis, 1996). Pemodelan 1D dilakukan untuk dua *mode* pengukuran yaitu *TE mode* dan *TM mode*, untuk melihat perbedaan hasil pemodelan keduanya secara sounding dan perbedaan hasil interpolasi pada kedua *mode*. Berikut adalah hasil pemodelan dan inversi 1D sebelum dan setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM.

### a. Lintasan A (*Line\_A*)

Berdasarkan hasil pengolahan data pada lintasan A, diketahui bahwa efek statik terjadi pada semua titik pengukuran. Pergeseran vertikal yang terjadi, menunjukkan bahwa hampir semua titik pengukuran mengalami pergeseran ke bawah atau penurunan nilai resistivitas semu. Hanya dua titik yang mengalami pergeseran ke atas di salah satu *mode*-nya. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan pemodelan 1D, dengan asumsi untuk mendapatkan model kondisi bawah permukaan berdasarkan proses pencocokan dengan data yang ada. Pemodelan 1D yang akan dibahas adalah pada titik UB04, karena dianggap memiliki pergeseran nilai resistivitas semu yang paling besar.



Gambar 4. 7 Pemodelan 1D TE *mode* titik UB04 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

Pada Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa, hasil pemodelan 1D TE *mode* pada titik UB04 sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik terdiri dari empat lapisan, namun perubahan nilai resistivitas yang dihasilkan berbeda dengan hasil analisis kurva resistivitas semu sebelumnya. Kurva TE setelah koreksi statik mengalami penurunan nilai resistivitas hanya sekitar 12,9  $\Omega$ .m (Tabel 4.1), sedangkan analisis pada kurva resistivitas semu diperkirakan adanya penurunan sekitar 40 – 50  $\Omega$ .m. Perbedaan ini diimbangi pula dengan besarnya nilai ketebalan per lapisannya. Ketebalan lapisan setelah dilakukan koreksi statik lebih kecil dibandingkan sebelum koreksi statik (Tabel 4.1).

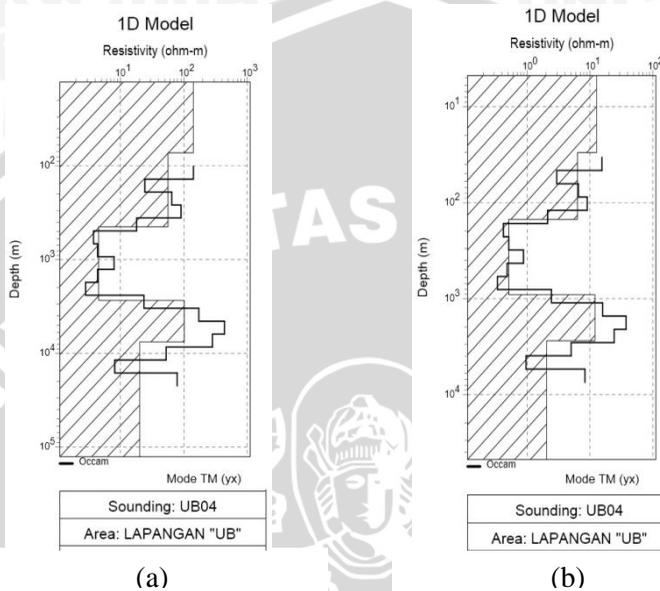
Tabel 4. 1 Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB04” TE mode sebelum dan sesudah koreksi statik

<b>Titik UB04 TE mode</b>				
<b>Lapisan</b>	<b>Sebelum koreksi statik</b>		<b>Setelah koreksi statik</b>	
	<b>Resistivity (<math>\Omega.m</math>)</b>	<b>Ketebalan (m)</b>	<b>Resistivity (<math>\Omega.m</math>)</b>	<b>Ketebalan (m)</b>
<b>1</b>	25.35	258.22	12.45	176.22
<b>2</b>	0.83	499.12	0.45	418.69
<b>3</b>	26.08	9627.9	22.09	5022.69
<b>4</b>	12.93		4.72	

Pada hasil pemodelan TM mode di titik UB04 (Gambar 4.8), diketahui bahwa pada titik tersebut terdiri dari lima lapisan dan mengalami penurunan nilai resistivitas. Hal ini sesuai dengan analisis pada kurva resistivitas semu, yang mana kurva resistivitas semu TM mode mengalami pergeseran ke bawah atau mengalami penurunan nilai resistivitas semu sekitar 90  $\Omega.m$ , sedangkan pada hasil pemodelan 1D, diketahui bahwa mengalami penurunan resistivitas yang lebih besar sekitar 128,54  $\Omega.m$ . Perbedaan ini diimbangi pula dengan perbedaan ketebalan masing-masing lapisan. Setelah dilakukan koreksi statik dihasilkan ketebalan yang lebih kecil dibandingkan sebelum koreksi statik seperti yang tercantum pada tabel 4.2.

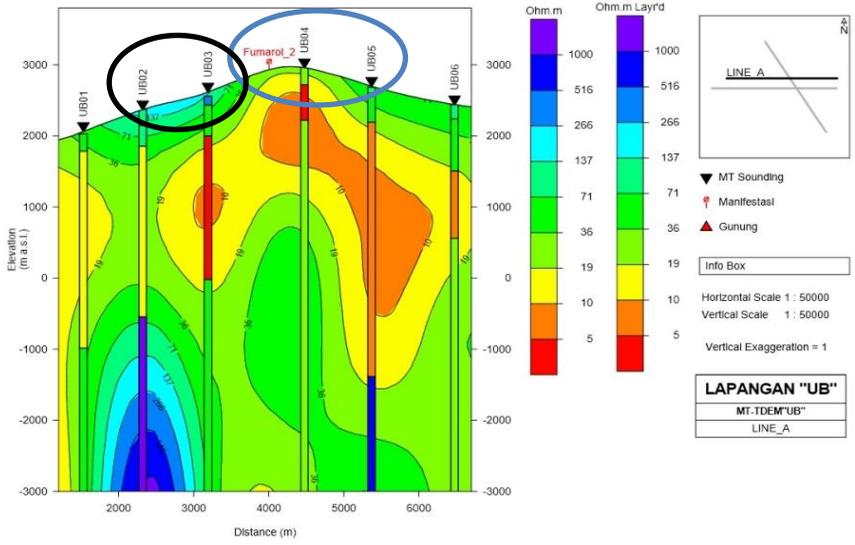
Tabel 4. 2 Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB04” TM mode sebelum dan sesudah koreksi statik

<b>Titik UB04 TM mode</b>				
<b>Lapisan</b>	<b>Sebelum koreksi statik</b>		<b>Setelah koreksi statik</b>	
	<b>Resistivity (<math>\Omega.m</math>)</b>	<b>Ketebalan (m)</b>	<b>Resistivity (<math>\Omega.m</math>)</b>	<b>Ketebalan (m)</b>
<b>1</b>	141.34	72.26	12.8	30.23
<b>2</b>	56.46	373.2	6.35	119.76
<b>3</b>	4.51	2265.32	0.51	765.35
<b>4</b>	101.37	4871.58	12.14	1838.68
<b>5</b>	20.1		2.06	

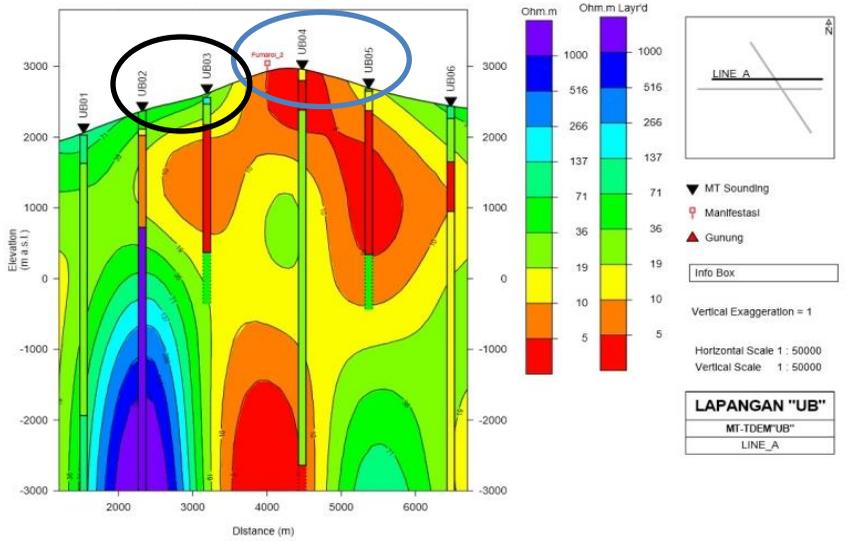


Gambar 4. 8 Pemodelan 1D TM *mode* titik UB 04 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

Setelah dibuat pemodelan 1D untuk masing-masing *mode*, langkah selanjutnya adalah melakukan inversi 1D. Pada penelitian ini dilakukan inversi occam. Hasil dari inversi ini dapat memberi gambaran tentang variasi nilai resistivitas terhadap kedalaman untuk setiap titik pengukuran (berdasarkan kurva *sounding*) dan menghasilkan penampang resistivitas yang merupakan hasil interpolasi dari variasi resistivitas antar titik. Berdasarkan hasil inversi occam 1D untuk lintasan A, seperti yang terlihat pada Gambar 4.9 dan 4.10, diketahui bahwa nilai resistivitas *sounding* per titik sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik dengan TDEM menghasilkan gradasi warna (menunjukkan nilai resistivitas) dan hasil interpolasi yang berbeda.



(a)



(b)

Gambar 4. 9 Hasil inversi occam 1D lintasan A TE mode (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

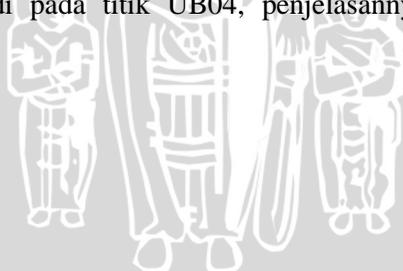
Dari Gambar 4.9, diketahui bahwa penggunaan data TDEM dapat mereduksi efek statik yang disebabkan oleh adanya heterogenitas permukaan pada titik UB02 dan UB03. Adanya kontras nilai resistivitas pada kedua titik tersebut dengan nilai resistivitas di sekelilingnya dapat dihilangkan pada Gambar 4.9 (b) yang ditunjukkan lingkaran warna hitam, sehingga dihasilkan nilai resistivitas di permukaan yang lebih homogen dengan sekitarnya.

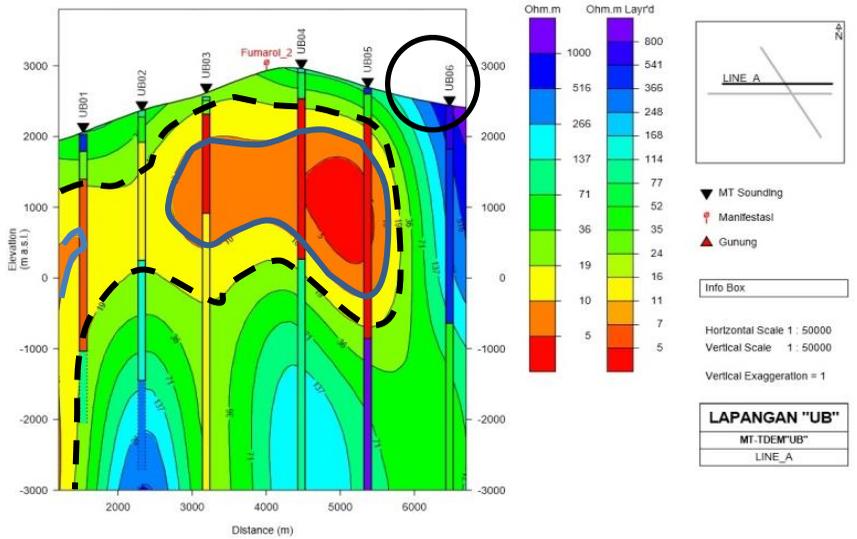
Penggunaan data TDEM juga dapat mengurangi efek statik yang disebabkan pengaruh topografi. Hal ini dapat terlihat pada hasil pengolahan data titik UB04 sebelum dilakukan koreksi statik. Titik UB04 mengalami pergeseran vertikal paling besar, yang dimungkinkan terjadi karena faktor topografi. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.9, titik UB04 berada pada daerah dengan topografi yang lebih tinggi. Secara teori, nilai resistivitas yang dihasilkan di puncak akan lebih rendah dibandingkan dengan lembah, karena akumulasi muatan terendah berada di puncak. Hasil inversi sebelum dikoreksi statik (Gambar 4.9 (a)) menunjukkan nilai resistivitas dekat permukaan di titik UB04 memiliki nilai yang seragam dengan titik sekitarnya atau lebih tinggi dibandingkan setelah dikoreksi statik. Ketidaksesuaian tersebut dapat dikoreksi dengan hasil pada Gambar 4.9 (b) yang ditunjukkan dengan lingkaran warna biru, nilai resistivitas di permukaan yang dihasilkan pada titik UB04 memiliki nilai yang lebih kecil atau lebih konduktif, yang diduga sebagai *clay*. Jika dianalisis pada keseluruhan titik pengukuran lintasan A, diketahui bahwa semua titik pengukuran mengalami pergeseran statik. Efek statik akibat faktor topografi akan mengalami pergeseran vertikal yang paling besar. Semakin tinggi perbedaan ketinggian pada satu titik pengukuran, maka pergeseran vertikal yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Hasil interpolasi sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik menghasilkan pola yang berbeda baik di dekat permukaan maupun pada kedalaman dibawah 1000 m. Perbedaan dapat dilihat pada kemenerusan pola yang dihasilkan dan gradasi warna yang menunjukkan nilai resistivitas batuan. Interpolasi yang digambarkan pada Gambar 4.9 (b) menghasilkan informasi adanya daerah alterasi di bawah keberadaan manifestasi panasbumi berupa fumarol, ditandai adanya nilai yang sangat kecil (berwarna merah). Daerah alterasi atau *clay cap* (batuan penudung) merupakan daerah dimana

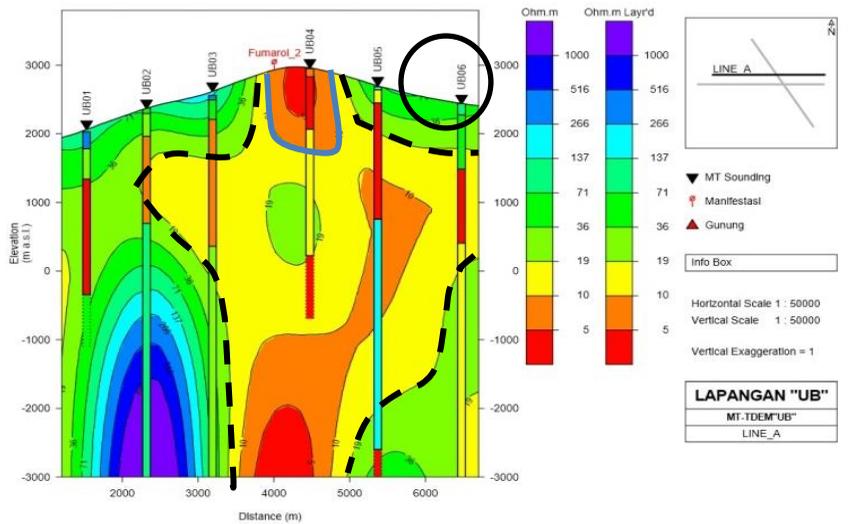
batuan mengalami perubahan struktur dan sifat batuan sebagai hasil dari interaksi batuan dengan reservoir (lokasi dimana terjadi akumulasi panas). Akibat adanya penurunan nilai resistivitas pada titik UB04 setelah dilakukan koreksi statik, dapat dijelaskan dengan adanya manifestasi panasbumi tersebut. Perbedaan interpolasi yang dihasilkan bergantung kepada hasil pemodelan tiap titik dan efek statik yang terjadi, karena akan mempengaruhi perubahan nilai resistivitas kurva sounding.

Berdasarkan hasil inversi 1D untuk *TM mode* (Gambar 4.10), diketahui bahwa nilai resistivitas tiap titik sebelum dan sesudah koreksi statik memiliki nilai yang berbeda, sehingga interpolasi yang dihasilkan juga sangat berbeda. Perbedaan ini disebabkan karena pada lintasan A, kurva *TM mode* mengalami pergeseran kurva vertikal resistivitas yang cukup besar pada beberapa titik dibandingkan dengan *TE mode*. Hasil inversi setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM, dapat menghilangkan efek heterogenitas yang terjadi pada titik UB06. Dari Gambar 4.10 (a) yang ditandai dengan lingkaran warna hitam, menunjukkan bahwa adanya kontras resistivitas dipermukaan yang cukup tinggi (berwarna biru) dibandingkan dengan titik disekitarnya. Efek statik ini kemudian dihilangkan pada hasil inversi yang telah terkoreksi, dan dihasilkan nilai resistivitas yang lebih homogen dengan titik sekiranya (UB05) (Gambar 4.10(b)), sedangkan efek statik akibat topografi juga dapat dihilangkan dengan koreksi statik menggunakan data TDEM, yaitu terjadi pada titik UB04, penjelasannya sama seperti pada *TE mode*.





(a)



(b)

Gambar 4. 10 Hasil inversi occam 1D lintasan A *TM mode* (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

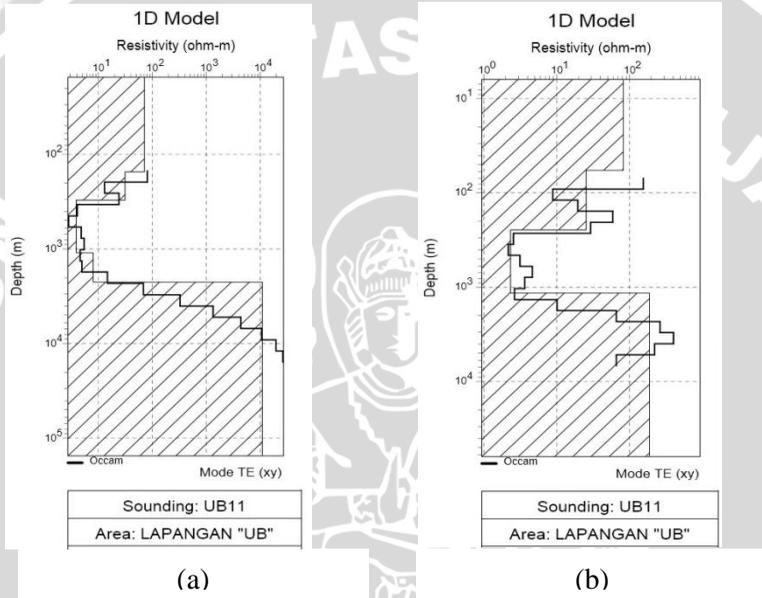
Hasil interpolasi sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik menunjukkan pola yang sangat berbeda, karena adanya perubahan resistivitas akibat pergeseran vertikal yang cukup besar pada *TM mode* ini. Efek galvanik akan sangat berpengaruh pada *mode* ini, dan mengakibatkan adanya perubahan penjalaran medan listrik akibat kontak dengan batas permukaan. Adanya efek statik dapat menyebabkan ambiguitas dalam interpretasi data. Seperti terlihat pada Gambar 4.10 (a), batuan dengan nilai resistivitas yang kecil berada pada kedalaman dibawah 2 km (ditunjukkan dengan garis warna biru) dan memiliki kemenerusan pola yang berarah dari barat ke timur (ditandai dengan garis putus-putus warna hitam), sedangkan hasil interpolasi setelah dilakukan koreksi statik, menunjukkan bahwa nilai resistivitas batuan yang kecil berada di dekat permukaan disekitar daerah manifestasi panasbumi (fumarol), dengan asumsi sebagai daerah alterasi (ditandai dengan garis warna biru) dan kemenerusan pola dari nilai tersebut berarah utara-selatan. Hasil keduanya sangat berbeda dan bisa menimbulkan kesalahan dalam interpretasi. Hal inilah yang menjadi salah satu alasan pentingnya dilakukan koreksi statik pada data MT dengan menggunakan TDEM.

Apabila dianalisis dari kedua hasil *mode* pengukuran, diketahui bahwa setelah dilakukan koreksi dengan TDEM menghasilkan pola interpolasi yang hampir sama pada *mode* TE dan TM, hal ini sesuai dengan asumsi awal bahwa pada periode awal atau lapisan dekat permukaan memiliki kondisi yang sama pada kedua *mode* tersebut yang ditandai dengan adanya keberhimpitan kurva MT pada frekuensi tinggi (periode awal). Indikasi tersebut tidak dijumpai pada hasil sebelum dikoreksi statik, karena *TM mode* mengalami efek statik dan menghasilkan pola interpolasi yang berbeda.

b. Lintasan b (*Line\_B*)

Berdasarkan hasil pengolahan data pada lintasan B, diketahui bahwa efek statik terjadi pada semua titik pengukuran. Titik pengukuran pada lintasan B mengalami pergeseran vertikal ke atas dan ke bawah dengan perubahan nilai yang bervariasi. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan pemodelan 1D, dengan asumsi untuk mendapatkan model kondisi bawah permukaan berdasarkan proses pencocokan dengan data yang ada. Pemodelan 1D yang akan dibahas

adalah pada titik UB11, karena mengalami pergeseran vertikal ke bawah pada TE *mode* dan pergeseran vertikal ke atas pada TM *mode*, agar dapat dilihat perbandingan hasil pemodelan 1D, akibat pergeseran ke atas dan ke bawah. Untuk titik pengukuran lainnya, dapat dilihat pada lampiran.



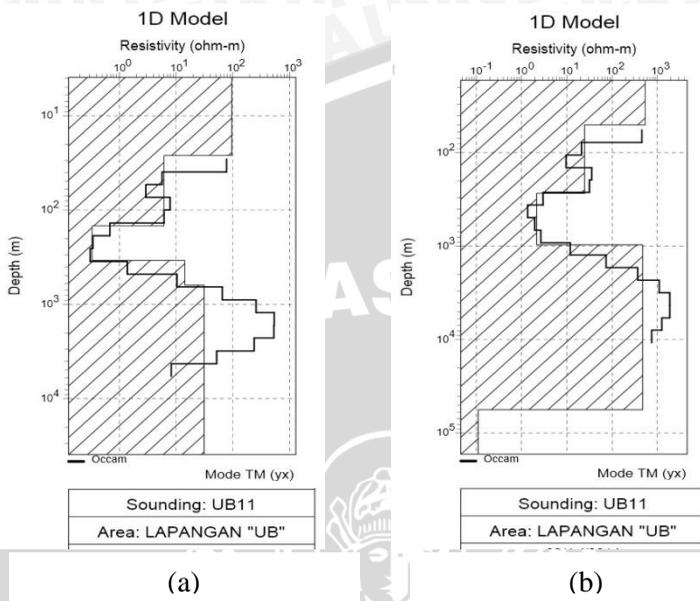
Gambar 4. 11 Pemodelan 1D TE *mode* titik UB 11 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

Pada Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa hasil pemodelan 1D TE *mode* pada titik UB11 sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik terdiri dari empat lapisan. Pada analisis kurva TE *mode* setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM, diketahui bahwa titik UB11 mengalami pergeseran vertikal ke bawah atau penurunan nilai resistivitas semu sekitar  $20 \Omega.m$  (Gambar 4.4). Perubahan nilai resistivitas pada titik tersebut juga dibuktikan pada hasil pemodelan 1D yang menunjukkan adanya penurunan resistivitas pada setiap lapisannya. Berdasarkan hasil pada tabel 4.3, pada lapisan pertama diperoleh penurunan resistivitas sekitar  $25,88 \Omega.m$ . Hasil ini tidak

jauh berbeda dengan analisis kurva resistivitas semu, yang diimbangi dengan nilai ketebalan lapisan yang tidak terlalu besar pada lapisan pertama, selain perbedaan resistivitas, dihasilkan pula nilai ketebalan setiap lapisannya. Setelah dilakukan koreksi statik diketahui memiliki ketebalan yang lebih kecil dibandingkan sebelum koreksi statik (Tabel 4.3).

Tabel 4. 3 Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB11” TE *mode* sebelum dan sesudah koreksi statik

<b>Titik UB11 TE <i>mode</i></b>				
<b>Lapisan</b>	<b>Sebelum koreksi statik</b>		<b>Setelah koreksi statik</b>	
	<b>Resistivity (<math>\Omega</math>.m)</b>	<b>Ketebalan (m)</b>	<b>Resistivity (<math>\Omega</math>.m)</b>	<b>Ketebalan (m)</b>
<b>1</b>	103.85	37.8	77.97	26.73
<b>2</b>	53.78	246.01	32.77	212.39
<b>3</b>	4.31	1513.21	2.5	895.71
<b>4</b>	1943.04		152.58	



Gambar 4. 12 Pemodelan 1D TM *mode* titik UB 11 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

Berdasarkan hasil pemodelan pada Gambar 4.12, dapat diketahui bahwa hasil pemodelan 1D TM *mode* pada titik UB11 sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik terdiri dari lima lapisan. Pada analisis kurva TM *mode* setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM, diketahui bahwa titik UB11 mengalami pergeseran vertikal ke atas atau peningkatan nilai resistivitas semu sekitar  $50 \Omega \cdot m$  (Gambar 4.4). Perubahan nilai resistivitas pada titik tersebut juga dibuktikan pada hasil pemodelan 1D yang menunjukkan adanya peningkatan resistivitas pada setiap lapisannya. Berdasarkan hasil pada tabel 4.4, pada lapisan pertama diperoleh peningkatan resistivitas sekitar  $40,18 \Omega \cdot m$ . Hasil ini tidak jauh berbeda dengan analisis kurva resistivitas semu, yang diimbangi dengan nilai ketebalan lapisan yang tidak terlalu besar pada lapisan pertama, selain perbedaan resistivitas, dihasilkan pula nilai ketebalan setiap lapisannya. Setelah dilakukan koreksi statik diketahui memiliki ketebalan yang lebih besar dibandingkan sebelum koreksi statik (Tabel 4.4). Dari hasil tersebut, dapat diketahui bahwa adanya

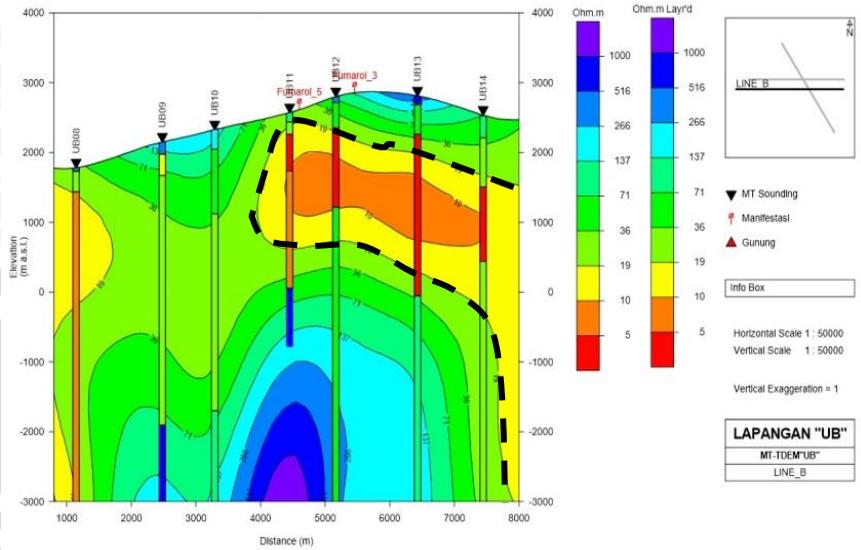
pergeseran ke atas atau peningkatan nilai resistivitas semu akan diikuti dengan peningkatan nilai ketebalan pada lapisan tersebut.

Tabel 4. 4 Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB11” TM *mode* sebelum dan sesudah koreksi statik

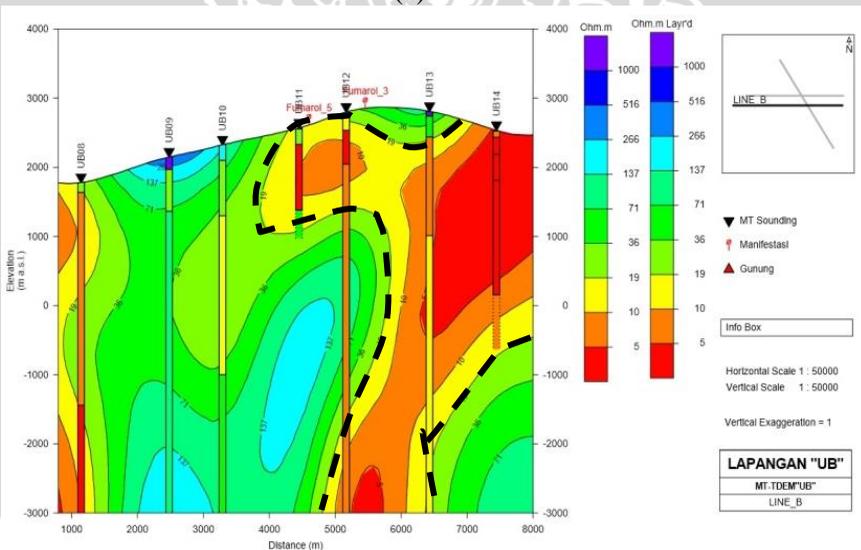
Titik UB11 TM <i>mode</i>				
Lapisan	Sebelum koreksi statik		Setelah koreksi statik	
	Resistivity ( $\Omega.m$ )	Ketebalan (m)	Resistivity ( $\Omega.m$ )	Ketebalan (m)
1	95.1	26.3	135.28	57.66
2	6.12	119.97	23.88	206.34
3	0.33	195.17	2.16	669.53
4	14.28	285.67	350.54	38639.15
5	31.2		0.11	

Setelah dilakukan inversi occam dari hasil pemodelan 1D. Diperoleh gambaran bawah permukaan berupa penampang resistivitas hasil interpolasi dari kurva *sounding*. Dari Gambar 4.13, diketahui bahwa hasil inversi 1D sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik dengan TDEM menunjukkan adanya perbedaan nilai resistivitas di dekat permukaan pada semua titik pengukuran dan perbedaan hasil interpolasinya.

Interpolasi yang dihasilkan memiliki gradasi warna yang cukup berbeda namun memiliki kemenerusan pola yang hampir sama, seperti yang ditunjukkan garis putus-putus warna hitam. Perbedaan warna tersebut, didasari karena adanya perbedaan nilai resistivitas kurva *sounding*. Nilai resistivitas rendah yang ditandai dengan garis hitam putus-putus menunjukkan pola yang sama berarah timur-barat, namun karena adanya perbedaan nilai resistivitas dekat permukaan mengakibatkan perbedaan pola resistivitas di daerah dekat permukaan, sehingga pola kemenerusannya menghasilkan informasi yang berbeda. Hasil ini mengakibatkan adanya ambiguitas pada interpretasi data 1D.



(a)



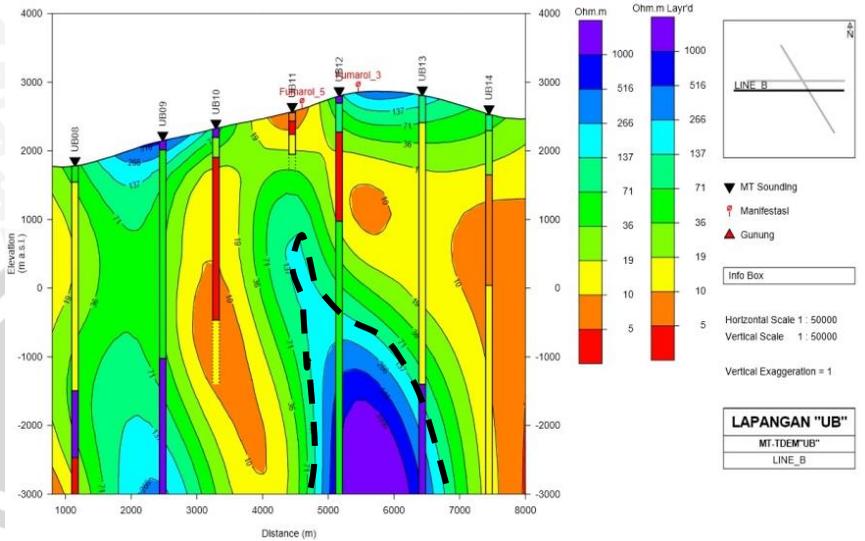
(b)

Gambar 4. 13 Hasil inversi occam 1D lintasan B TE mode (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

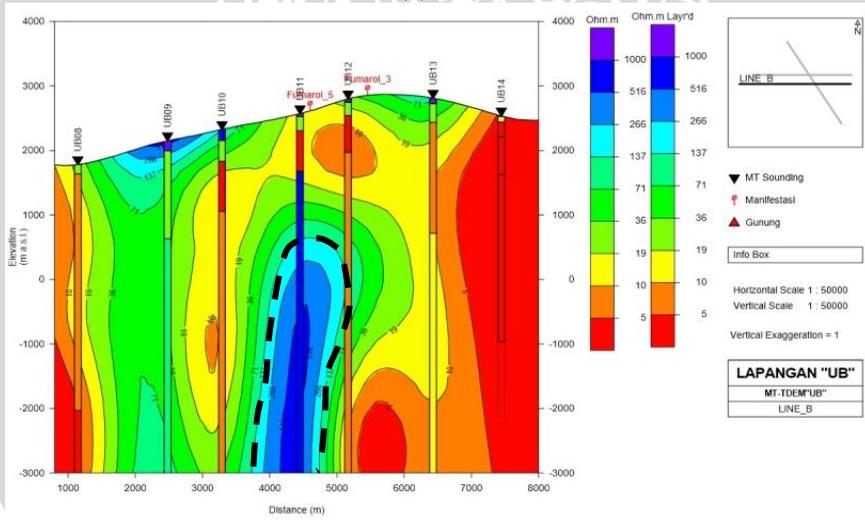
Dari hasil analisis kurva resistivitas semu pada lintasan B untuk TE *mode*, diketahui bahwa pergeseran vertikal kurva *sounding* tidak terjadi terlalu besar. Efek statik tidak dapat terlihat dengan jelas pada hasil inversi 1D. Pada titik UB11, jika dibandingkan hasilnya dengan setelah dilakukan koreksi statik diperoleh informasi nilai yang lebih kecil yang diasumsikan sebagai daerah alterasi, karena berada di daerah dekat dengan manifestasi panasbumi. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan data TDEM dapat mengurangi efek statik akibat heterogenitas permukaan untuk mendapatkan informasi bawah permukaan yang lebih tepat.

Sama halnya dengan TE *mode*, pada hasil inversi 1D TM *mode*, interpolasi yang dihasilkan memiliki pola yang hampir sama, namun menghasilkan gradasi warna yang cukup berbeda, karena adanya perbedaan nilai resistivitas kurva *sounding*. Salah satu bentuk pola yang hampir sama adalah pada kemenerusan pola yang dianggap sebagai *clay cap* dan adanya dugaan keberadaan *heat source* (sumber panas) dengan nilai resistivitas yang tinggi. Jika dianalisis dari keberadaan nilai tersebut, hasil inversi setelah dilakukan koreksi statik dapat memberikan gambaran yang lebih tepat karena letaknya tepat berada di atas munculnya manifestasi panasbumi berupa fumarol (*up-flow*). Hasil tersebut hanya bersifat interpretasi awal sementara, karena inversi 1D hanya bervariasi terhadap kedalaman, bukan secara lateral. Dimungkinkan masih terjadi adanya kesalahan.

Apabila dianalisis dari hasil inversi 1D untuk kedua *mode* pengukuran dihasilkan pola interpolasi yang hampir sama namun dengan gradasi warna atau nilai resistivitas yang cukup berbeda pada hasil setelah dilakukan koreksi statik. Sedangkan, hasil sebelum dilakukan koreksi statik menunjukkan kecenderungan arah pola kemenerusan interpolasi yang cukup berbeda. Jika dianalisis dari asumsi awal untuk kondisi dekat permukaan pada kedua *mode*, hasil setelah dilakukan koreksi statik lebih menunjukkan kondisi yang cenderung sama pada kedua *mode* tersebut. Hasil ini mengakibatkan adanya ambiguitas pada interpretasi data 1D.



(a)



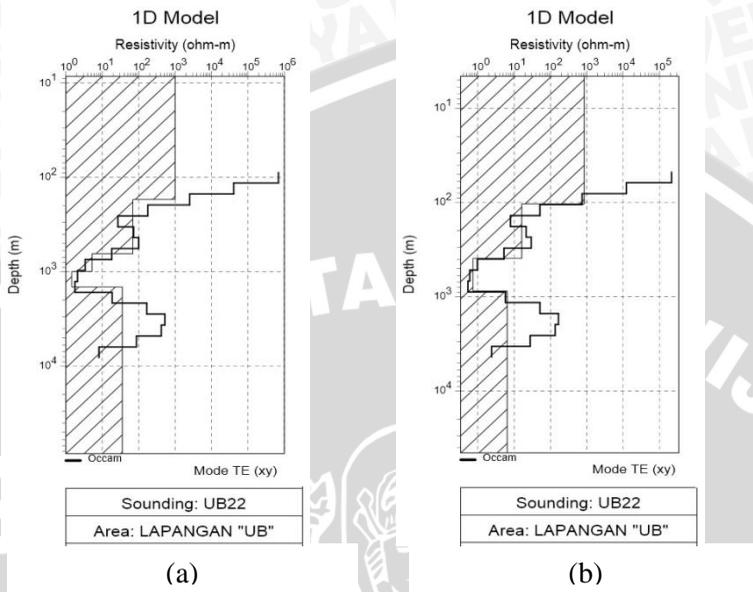
(b)

Gambar 4. 14 Hasil inversi occam 1D lintasan B *TM mode* (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

c. Lintasan c (*Line\_C*)

Berdasarkan hasil pengolahan data pada lintasan C, diketahui bahwa efek statik terjadi pada semua titik pengukuran. Pergeseran vertikal yang terjadi, menunjukkan bahwa hampir semua titik pengukuran mengalami pergeseran ke bawah atau penurunan nilai resistivitas semu. Hanya dua titik yang mengalami pergeseran ke atas di salah satu *mode*-nya dan sebaliknya. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan pemodelan 1D, dengan asumsi untuk mendapatkan model kondisi bawah permukaan berdasarkan proses pencocokan dengan data yang ada. Pemodelan 1D yang akan dibahas adalah pada titik UB22, karena dianggap memiliki pergeseran nilai resistivitas semu yang paling besar. Untuk titik pengukuran lainnya, dapat dilihat pada lampiran.

Dari Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa, hasil pemodelan 1D TE *mode* pada titik UB22 sebelum dilakukan koreksi statik terdiri dari lima lapisan, sedangkan, setelah dilakukan koreksi statik terdiri dari empat lapisan, selain itu, perubahan nilai resistivitas yang dihasilkan juga berbeda dengan hasil analisis kurva resistivitas semu sebelumnya. Kurva TE setelah koreksi statik mengalami penurunan nilai resistivitas sekitar 466,41  $\Omega.m$  (Tabel 4.5), sedangkan analisis pada kurva resistivitas semu diperkirakan adanya penurunan sekitar 50 – 60  $\Omega.m$ . Hasil ini menunjukkan perbedaan nilai yang sangat jauh, dan diimbangi pula dengan perbedaan jumlah lapisan serta nilai ketebalan lapisan yang cukup besar. Adanya pergeseran ke bawah atau penurunan nilai resistivitas mengakibatkan ketebalan lapisan setelah dilakukan koreksi statik lebih kecil dibandingkan sebelum koreksi statik (Tabel 4.5).



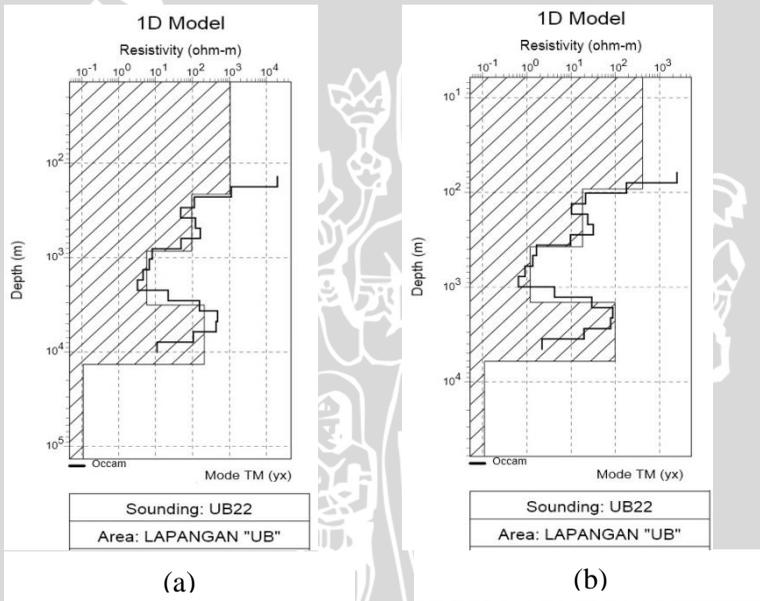
Gambar 4. 15 Pemodelan 1D TE *mode* titik UB 22 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

Tabel 4. 5 Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB22” TE *mode* sebelum dan sesudah koreksi statik

<b>Titik UB22 TE <i>mode</i></b>				
<b>Lapisan</b>	<b>Sebelum koreksi statik</b>		<b>Setelah koreksi statik</b>	
	<b>Resistivity (<math>\Omega</math>.m)</b>	<b>Ketebalan (m)</b>	<b>Resistivity (<math>\Omega</math>.m)</b>	<b>Ketebalan (m)</b>
<b>1</b>	626.14	193.78	159.73	116.78
<b>2</b>	64.13	451.5	15.57	281.19
<b>3</b>	4.99	375.38	0.71	446.13
<b>4</b>	1.37	368.76	6.24	
<b>5</b>	25.26			

Pada Gambar 4.16 dapat diketahui bahwa hasil pemodelan 1D TM *mode* pada titik UB22 sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik terdiri dari lima lapisan. Pada analisis kurva TM *mode* setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM, diketahui bahwa

titik UB22 mengalami pergeseran vertikal ke bawah atau penurunan nilai resistivitas semu sekitar 70 - 80  $\Omega$ .m (Gambar 4.5). Perubahan nilai resistivitas pada titik tersebut juga dibuktikan pada hasil pemodelan 1D yang menunjukkan adanya penurunan resistivitas pada setiap lapisannya. Berdasarkan hasil pada tabel 4.3, pada lapisan pertama diperoleh penurunan resistivitas sekitar 326,65  $\Omega$ .m. Hasil ini sangat jauh berbeda dengan analisis kurva resistivitas semu, yang diimbangi dengan nilai ketebalan lapisan yang besar, selain perbedaan resistivitas, dihasilkan pula nilai ketebalan setiap lapisannya. Setelah dilakukan koreksi statik diketahui memiliki ketebalan yang lebih kecil dibandingkan sebelum koreksi statik (Tabel 4.3).

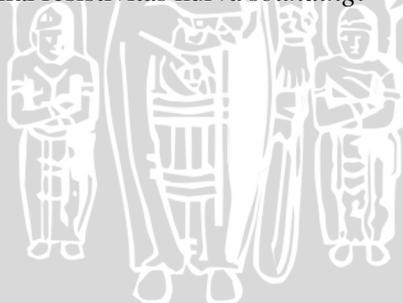


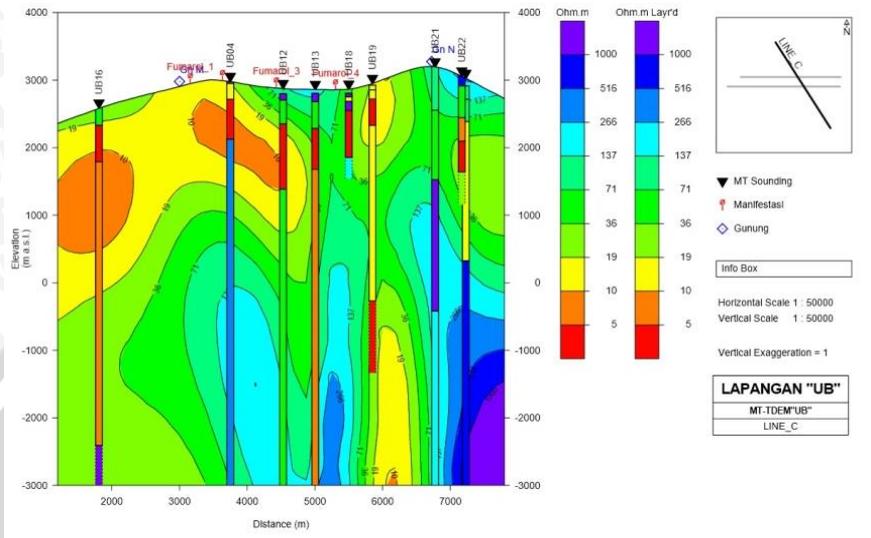
Gambar 4. 16 Pemodelan 1D TM *mode* titik UB 22 (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

Tabel 4. 6 Perbandingan nilai resistivitas dan ketebalan pada titik “UB22” TM *mode* sebelum dan sesudah koreksi statik

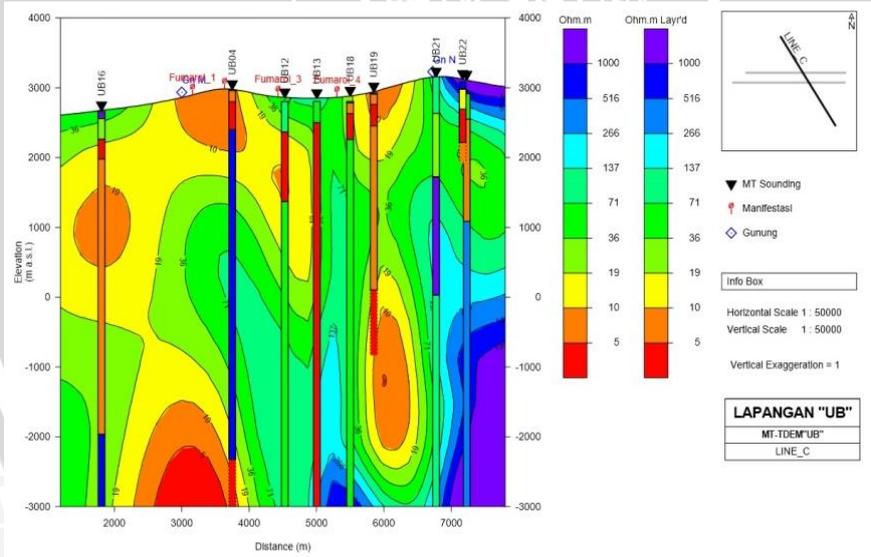
Titik UB22 TM <i>mode</i>				
Lapisan	Sebelum koreksi statik		Setelah koreksi statik	
	Resistivity ( $\Omega.m$ )	Ketebalan (m)	Resistivity ( $\Omega.m$ )	Ketebalan (m)
1	464.89	244.34	138.24	103.79
2	102.56	582.63	19.25	266.05
3	5.75	2106.65	1.17	952.77
4	93.84	11158.94	18.76	4762.97
5	0.11		0.11	

Setelah dilakukan inversi occam dari hasil pemodelan 1D. Diperoleh gambaran bawah permukaan berupa penampang resistivitas hasil interpolasi dari kurva *sounding*. Dari Gambar 4.17, diketahui bahwa hasil inversi 1D pada lintasan C TE *mode* sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik dengan TDEM menunjukkan adanya perbedaan nilai resistivitas di dekat permukaan dan perbedaan hasil interpolasinya. Interpolasi yang dihasilkan memiliki gradasi warna yang cukup berbeda namun memiliki kemenerusan pola yang hampir sama. Perbedaan warna tersebut, didasari karena adanya perbedaan nilai resistivitas kurva *sounding*.





(a)



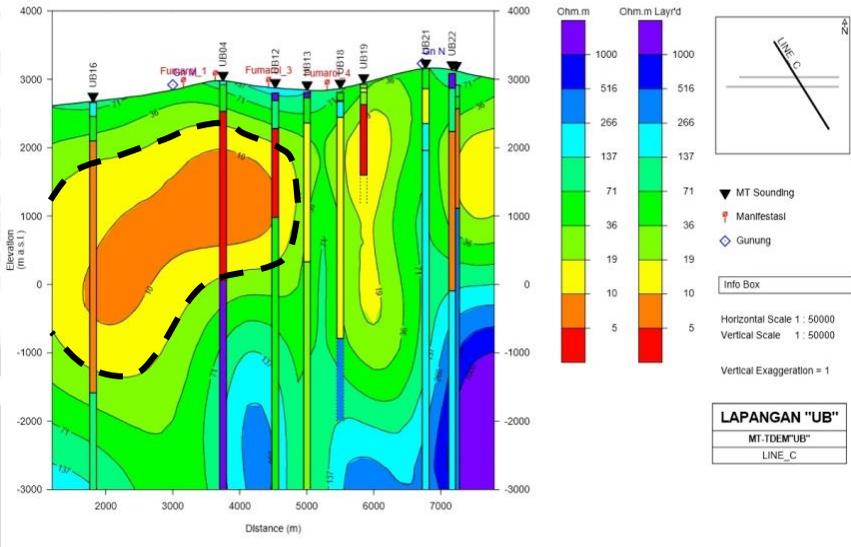
(b)

Gambar 4. 17 Hasil inversi occam 1D lintasan C TE mode (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

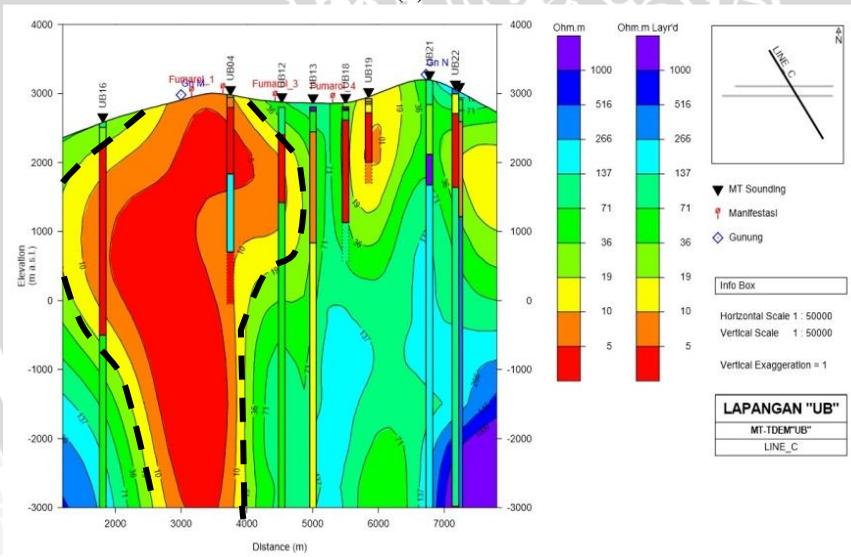
Hasil inversi 1D untuk TM *mode* dihasilkan penampang resistivitas semu yang sangat berbeda (Gambar 4.18), hal ini disebabkan karena pada *mode* ini akan lebih mudah mengalami distorsi akibat efek statik, karena arus listrik akan melewati batas antara bagian yang memiliki perbedaan resistivitas. Dari gambar 4.18, diketahui nilai resistivitas dekat permukaan memiliki nilai yang sangat jauh berbeda, sehingga interpolasi yang dihasilkan juga sangat berbeda. Dari hasil inversi 1D setelah dilakukan koreksi statik, pada titik UB04 diperoleh nilai resistivitas yang rendah dan memiliki lapisan yang tebal. Hal ini dimungkinkan karena daerah titik pengukuran berada di daerah pegunungan, sehingga batuan yang berada di sekitarnya cenderung lebih konduktif. Hasil ini tidak didapatkan pada hasil sebelum di koreksi statik dengan TDEM.

Adanya nilai resistivitas rendah pada hasil inversi 1D sebelum dikoreksi statik ditunjukkan dengan garis hitam putus-putus yang memiliki pola interpolasi berarah Barat laut-tenggara, sedangkan hasil inversi 1D setelah dilakukan koreksi statik menunjukkan pola yang berarah utara-selatan, dan memiliki nilai resistivitas yang cukup berbeda pada kedalaman yang berbeda pula. Perbedaan ini dapat mengakibatkan adanya ambiguitas dalam interpretasi data.

Apabila dianalisis dari hasil kedua *mode* pengukuran, didapatkan pola interpolasi dan nilai resistivitas yang cukup berbeda pada hasil sebelum dan sesudah dilakukan koreksi statik. Hal ini dimungkinkan karena efek statik pada data masih cukup mempengaruhi hasil inversi 1D. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai hal tersebut untuk bisa mengetahui lebih jauh pengaruh koreksi terhadap data.



(a)



(b)

Gambar 4. 18 Hasil inversi occam 1D lintasan C TM (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

### 4.3 Analisis Hasil Inversi 2D

#### a. Lintasan A

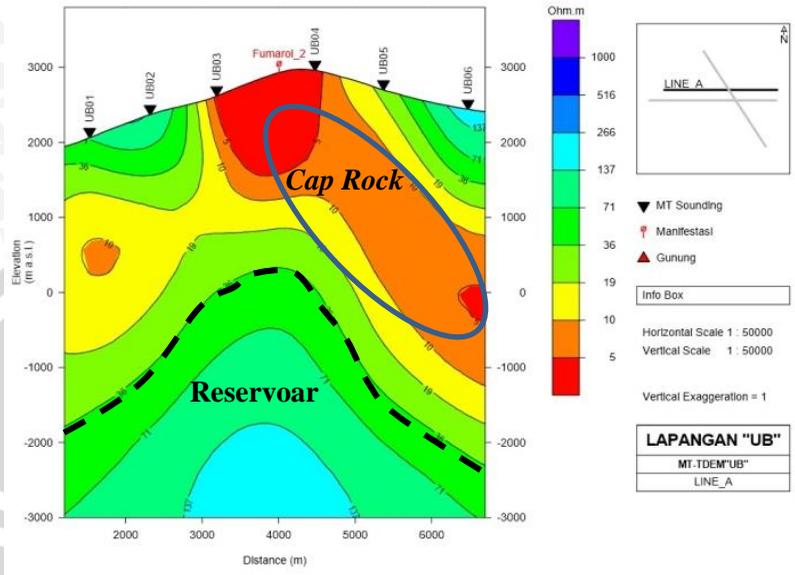
Berdasarkan hasil inversi 2D lintasan A, diketahui bahwa terjadi perbedaan hasil penampang resistivitas semu antara sebelum dilakukan koreksi dengan setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM. Perbedaan ini dapat dilihat pada Gambar 4.20, yang mana terjadi perbedaan nilai resistivitas di dekat permukaan, namun cenderung memiliki pola resistivitas yang hampir sama. Pada Gambar 4.20 (a) diketahui ada ketidakmenerusan pola resistivitas yang rendah (ditandai dengan lingkaran warna biru). Kontras resistivitas tersebut dapat mengindikasikan adanya patahan. Setelah dilakukan koreksi statik dihasilkan penampang yang bisa memberi interpretasi yang lebih baik (Gambar 4.20 (b)). Namun, hal ini perlu adanya tinjauan lebih lanjut dengan data pendukung geologi untuk lebih membuktikan keakuratan data yang diperoleh.

Berdasarkan Gambar 4.20 (b), dapat diduga bahwa terdapat lapisan yang memiliki nilai resistivitas rendah di dekat permukaan yang diindikasikan sebagai daerah *cap rock* (batuan penudung) atau dapat pula diduga sebagai batuan yang mengalami alterasi dengan nilai  $< 5 \Omega.m$ , sedangkan daerah yang diduga reservoir diperkirakan memiliki nilai sekitar  $30 - 500 \Omega.m$  dan daerah yang diduga sumber panas (*heat source*) memiliki nilai  $>500 \Omega.m$  pada kedalaman 2,5 km. Hasil ini dapat dijelaskan dari inversi 2D setelah dilakukan koreksi statik, sedangkan pada hasil sebelum dikoreksi statik, nilai resistivitas yang diduga sebagai sumber panas masih tergolong sangat kecil, sehingga belum dapat teridentifikasi sebagai *heat source*. Selain itu, karena adanya perbedaan nilai resistivitas di dekat permukaan mengakibatkan adanya perbedaan pola kemenerusan resistivitas daerah yang diduga sebagai *cap rock* pada kedua hasil tersebut. Hal ini mengakibatkan timbulnya ambiguitas interpretasi data pada hasil inversi 2D sebelum dikoreksi statik dengan data TDEM.

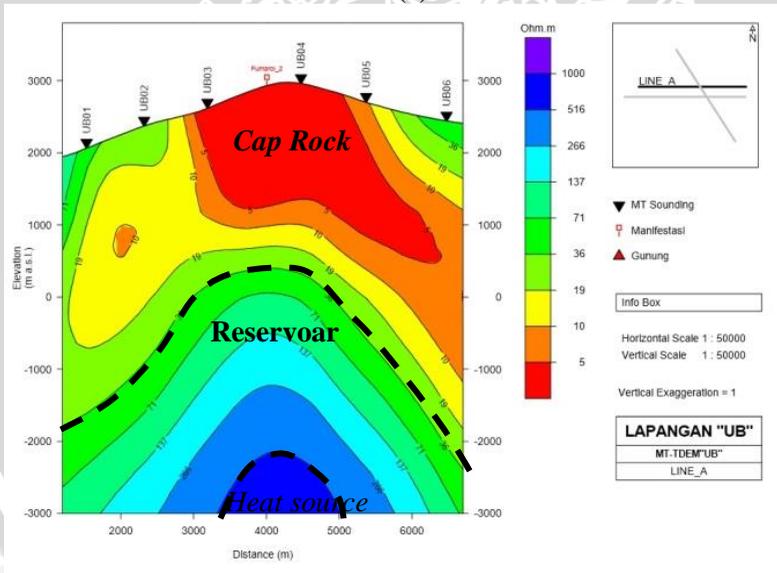
Apabila dianalisis dari kemunculan adanya manifestasi permukaan berupa fumarola yang berada disekitar titik UB04, dapat dijadikan suatu indikasi awal keberadaan sistem panasbumi pada daerah tersebut. Goff & Janik (2000) menyimpulkan bahwa sistem panasbumi terdiri atas tiga elemen penting: (1) batuan reservoir yang bersifat permeable, (2) air untuk menghantarkan panas dari reservoir

menuju permukaan, dan (3) sumber panas. Apabila ditinjau dari keberadaan ketiga komponen tersebut, dapat dikatakan bahwa hasil inversi setelah dilakukan koreksi statik menunjukkan hasil yang lebih tepat menggambarkan kondisi bawah permukaan dengan indikasi awal munculnya manifestasi berupa fumarola di sekitar titik UB04. Selain itu, apabila dianalisis dari kondisi topografinya, berdasarkan Gambar 3.2 dan informasi dari Gambar 4.22 mengenai keberadaan gunung api pada daerah penelitian, dapat diketahui bahwa pada titik sekitar UB04 terdapat gunung api yang bisa dijadikan indikasi munculnya manifestasi pada daerah tersebut dan keberadaan nilai resistivitas tinggi yang diduga sebagai *heat source*. Terlihat pada gambar 4.20 (b) daerah yang diduga *heat source* nampak berada pada kedalaman sekitar 2,5 km dibawah titik UB04. Jika ditinjau dari kedua alasan tersebut dapat dikatakan bahwa hasil setelah dilakukan koreksi statik menunjukkan hasil yang lebih tepat dalam menggambarkan kondisi bawah permukaan. Namun, asumsi tersebut perlu dilakukan korelasi dengan data pendukung lainnya agar diperoleh kesimpulan yang lebih tepat.





(a)



(b)

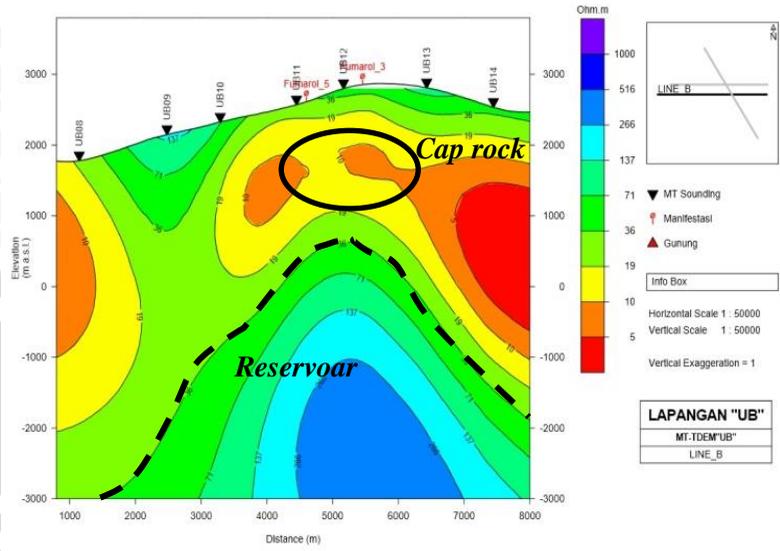
Gambar 4. 19 Hasil inversi 2D lintasan A (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

b. Lintasan B

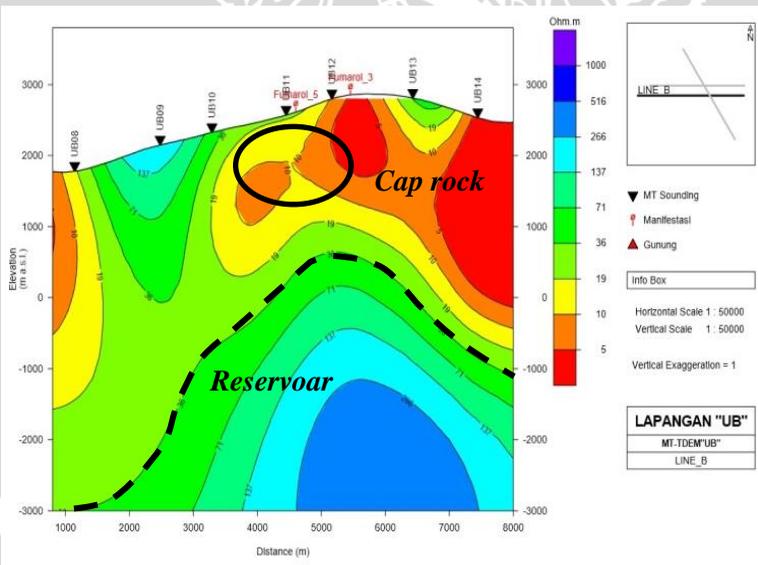
Berdasarkan hasil inversi 2D lintasan B, diketahui bahwa terjadi perbedaan hasil penampang resistivitas semu antara sebelum dilakukan koreksi dengan setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM. Perbedaan ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan nilai resistivitas dekat permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 4.21. Pada Gambar 4.21 (a) diketahui ada ketidakmenerusan pola resistivitas yang rendah (ditandai dengan lingkaran warna hitam). Kontras resistivitas tersebut dapat mengindikasikan adanya patahan, namun setelah dilakukan koreksi statik dihasilkan informasi adanya kontras resistivitas pada daerah yang sama, tetapi dengan kontras yang tidak terlalu jauh yang diduga sebagai jalan keluarnya manifestasi panasbumi ke permukaan (ditandai dengan garis putus-putus warna biru). Namun, hal ini perlu dibuktikan melalui informasi geologi agar diperoleh gambaran struktur berupa patahan pada daerah penelitian.

Berdasarkan Gambar 4.21 (b), dapat diduga bahwa terdapat lapisan yang memiliki nilai resistivitas rendah di dekat permukaan yang diindikasikan sebagai daerah *cap rock* (batuan penudung) atau dapat pula diduga sebagai batuan yang mengalami alterasi dengan nilai resistivitas  $< 5 \Omega.m$ , sedangkan daerah yang diduga reservoir diperkirakan memiliki nilai sekitar  $30 - 500 \Omega.m$ , dan daerah yang diduga *heat source* memiliki nilai  $< 500 \Omega.m$ , lebih kecil dibandingkan lintasan A sehingga belum bisa dikatakan sebagai *heat source* atau pada lintasan B keberadaan *heat source* belum terlihat. Perlu dilakukan analisis lebih lengkap untuk dapat menentukan apakah daerah tersebut mengindikasikan keberadaan *heat source* yang sebenarnya.

Dari hasil inversi 2D sebelum maupun sesudah koreksi statik, diperoleh informasi dan pola resistivitas yang tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini dimungkinkan karena pada lintasan B, efek statik tidak terlalu dominan terjadi, ditandai dengan pergeseran vertikal kurva *sounding* yang tidak terlalu besar. Jika dibandingkan dengan lintasan A.



(a)



(b)

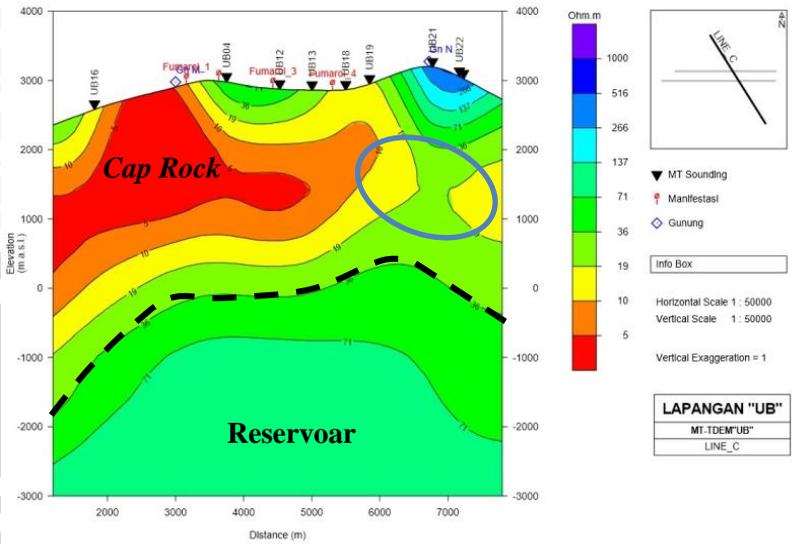
Gambar 4. 20 Hasil inversi 2D lintasan B (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

c. Lintasan C

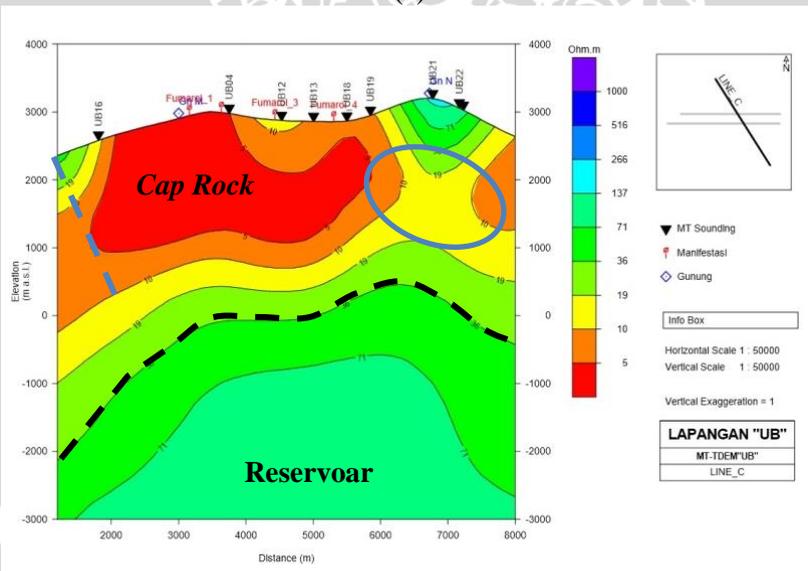
Berdasarkan hasil inversi 2D lintasan C, diketahui bahwa terjadi perbedaan hasil penampang resistivitas semu di daerah dekat permukaan sebelum dan setelah dilakukan koreksi statik dengan data TDEM. Perbedaan ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan nilai resistivitas dekat permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 4.21. Pada Gambar 4.21 (a) diketahui ada ketidakteraturan pola resistivitas yang rendah sekitar  $19 \Omega.m$ . Setelah dilakukan koreksi statik diperoleh kemenerusan pola, dan diketahui adanya kontras resistivitas yang dimungkinkan dipengaruhi adanya struktur. Perbedaan keduanya terletak pada pola kemenerusan nilai resistivitas rendah (ditunjukkan dengan lingkaran warna biru) yang bisa memberikan informasi dugaan struktur yang berbeda. Namun, hal ini perlu dibuktikan melalui informasi geologi agar diperoleh gambaran struktur pada daerah penelitian dengan lebih tepat.

Pada kedalaman 1 km, diperoleh informasi penampang resistivitas yang hampir sama. Pada hasil inversi 2D lintasan C, dapat diketahui daerah yang diduga sebagai *cap rock* (batuan penutup) atau batuan yang mengalami alterasi dengan acuan adanya kemunculan manifestasi berupa fumarola yang memiliki nilai resistivitas  $< 5 \Omega.m$  dan lapisan yang diduga reservoir dapat terlihat pada kedalaman di bawah 1 km dengan nilai resistivitas 30 – 500  $\Omega.m$ , sedangkan sumber panas (*heat source*) tidak dapat teridentifikasi. Perbedaan hasil sebelum dan setelah dikoreksi statik dapat juga dilihat pada perbedaan pola kemenerusan dan luasan daerah yang diduga sebagai *cap rock* karena adanya perbedaan nilai resistivitas dekat permukaan. Hasil ini dapat mengakibatkan adanya ambiguitas dalam interpretasi data.

Apabila dianalisis berdasarkan topografi maupun keberadaan gunung api pada lintasan C, yang mana pada lintasan ini terdapat dua gunung api yang berada disekitar titik UB04 dan UB21 daerah yang diduga sebagai *heat source* seharusnya muncul pada daerah disekitar titik tersebut, didukung pula dengan munculnya fumarola. Namun, hasil yang diperoleh tidak dapat menggambarkan keberadaan *heat source*. Hal ini dimungkinkan karena sumber panas berada pada kedalaman yang lebih dalam atau tidak tepat berada di daerah sekitar lintasan C.



(a)



(b)

Gambar 4. 21 Hasil inversi 2D lintasan C (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Semua titik pengukuran mengalami efek statik yang ditandai pergeseran vertikal kurva *sounding* ke atas maupun ke bawah dengan nilai resistivitas yang bervariasi.
2. Distorsi data akibat efek statik tidak bisa dilihat hanya berdasarkan kurva TE dan TM yang tidak berhimpit pada periode awal.
3. Efek statik yang terjadi disebabkan oleh faktor topografi, adanya heterogenitas lokal dekat permukaan dan kontak vertikal.
4. Pengaruh penggunaan data TDEM dapat lebih terlihat pada inversi 1D, khususnya pada TM *mode*. Hasil inversi 1D, menunjukkan bahwa data TDEM dapat mengurangi atau menghilangkan distorsi data akibat efek statik.
5. Koreksi statik dengan TDEM akan mempengaruhi ketebalan lapisan. Jika terjadi pergeseran vertikal ke atas maka ketebalan lapisannya akan semakin besar, begitu sebaliknya.
6. Hasil inversi 2D dengan atau tanpa koreksi statik menunjukkan pola resistivitas yang hampir sama, namun menghasilkan informasi yang berbeda. Penampang resistivitas 2D yang dihasilkan menunjukkan informasi keberadaan lapisan yang diduga sebagai zona *clay cap* dengan nilai resistivitas  $< 5 \Omega.m$ , sedangkan daerah yang diduga reservoir diperkirakan memiliki nilai sekitar  $30 - 500 \Omega.m$  dan daerah yang diduga sumber panas (*heat source*) memiliki nilai  $>500 \Omega.m$ . Zona yang diduga sebagai *heat source* tidak dapat teridentifikasi pada lintasan B dan C.

### 5.2 Saran

Sebagian besar daerah prospek panasbumi berada pada daerah dengan topografi yang tidak rata dan kondisi batuan dekat permukaan yang tidak homogen, hal ini dapat mengakibatkan efek statik yang memberikan ambiguitas pada interpretasi data. Diharapkan data TDEM dapat dijadikan standar data dalam melakukan pengukuran magnetotellurik sebagai penunjang dalam menangani efek statik pada

data. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya dengan data pendukung lainnya agar diperoleh informasi keberadaan komponen-komponen penting dalam sistem panasbumi dan mengetahui gambaran bawah permukaan dan potensi panasbumi daerah penelitian dengan lebih tepat serta mendapatkan analisis efek statik dengan lebih baik. Perlu dilakukan inversi 3 dimensi pada hasil penelitian ini, agar dapat diketahui efek statik pada hasil 3 dimensi, dan dapat ditentukan parameter-parameter penyebab efek statik dengan lebih baik serta ditemukan solusi yang lebih tepat dalam mereduksi efek statik dengan efektif dan efisien.

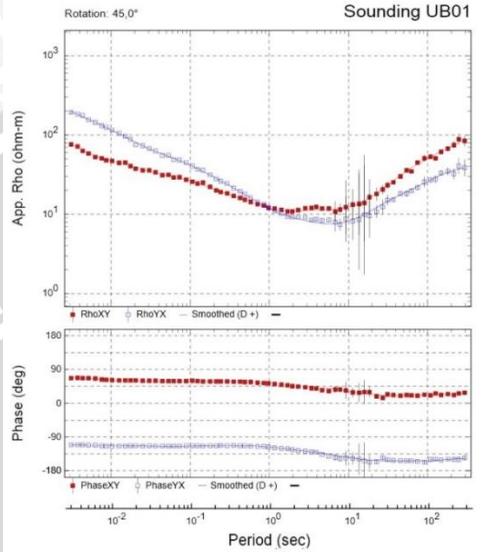


## DAFTAR PUSTAKA

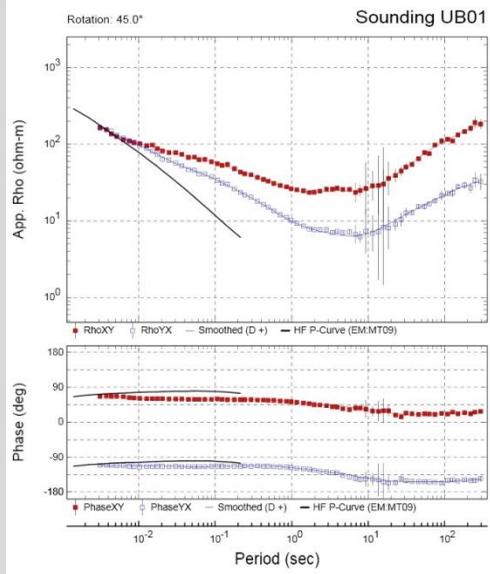
- Akbar, Sandy.2010.*Pengembangan Metode Pemrosesan Data Transient Electromagnetic Menggunakan Software Matlab*.SKRIPSI.Universitas Indonesia.Depok.
- Arnason, K.1989.*Central Loop Transient Electromagnetic Sounding Over a Horizontally Layered Earth*. Orkustofnun, Reykjavík, report OS-89032/JHD-06, hlm. 129.
- Cagniard,L.1953.*Basic Theory of The Magneto-telluric Method of Geophysical Prospecting*.Geophysics,vol.18,hlm.605-635
- Daud, Yunus.2010.*Diklat Kuliah : Introduction to Geothermal System and Technology*.Laboratorium Geofisika.FMIPA Universitas Indonesia.
- deGroot-Hedlin, C.1991.*Removal of Static Shift in Two Dimensions by Regularized Inversion*.Geophysics, 56, 2102 - 2106.
- Dickson, Mary H., dan Mario Fanelli.2004.*What is Geothermal Energy?*.Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy.
- ESDM,2010.*Peraturan Menteri dan Sumber Daya Mineral Nomor 02 Tahun 2010*.www.esdm.go.id (diakses pada tanggal 20 Juni 2014).
- Goff, Fraser, dan Janik, Cathy J.2000.*Encyclopedia of Volcanoes:Geothermal Systems*. Academic Press : A Harcourt Science and Technology Company.
- Grandis, Hendra.2010.*Metode Magnetotellurik (MT)*.  
[http://hendragrandis.files.wordpress.com/2010/01/mt\\_teks1.pdf](http://hendragrandis.files.wordpress.com/2010/01/mt_teks1.pdf). (Diakses pada tanggal 14 Maret 2014)
- Green, Alisa Marie.2003.*Magnetotelluric Crustal Studies in Kenai, Alaska*.Colorado School of Mines:USA.
- Griffith, D.J.1999.*Introduction to Electrodynamics 3rd Ed*.Prentice Hall.USA.
- Hendro, Agus L dan Hendra Grandis.1996.*Koreksi Efek Statik Pada Data Magnetotellurik Menggunakan Data Elektromagnetik Transien*.Proceeding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Hochstein, M.P., Ovens, S. A., dan Bromley,C.1996.*Thermal Springs at Hot Water Beach (Coromandel Peninsula, NZ)*. Proceedings of the 18th NZ Geothermal Workshop.New Zealand.

- Jiracek, George R.1985.*Near Surface and Topografic Distortion In Electromagnetive Induction*.San Diego State University.
- Kemenlu,2014. *Isu Ketahanan Energi*. <http://kemlu.go.id/Pages/IssueDisplay.aspx?IDP=27&l=id>. (Diakses pada tanggal 27 Juni 2014).
- Munadi, S.2002.*Pengolahan Data Seismik Prinsip Dasar dan Metodologi*. Universitas Indonesia.Depok.
- Phoenix Geophysicis.2005.*Data Processing User Guide*.Phoenix Geophysicis Limited.Kanada.
- Rowland, B.F.2002.*Time-domain Electromagnetic Exploration*. Northwest Geophysical Associates, Inc., 6 pp.
- Saptadji, N.M.2003.*Teknik Panas Bumi*.Departemen Teknik Perminyakan.ITB Bandung.
- Simpson, Fiona dan Bahr, Karsten.2005.*Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Smirnov,M.Y.2003.*Magnetotelluric Data Processing With a Robust Statistical Procedure Having a High Breakdown Point*.*Geophys.J.Int.*152,1-7.
- Sucandra, 2009.*Aplikasi Metode Time Domain Electromagnetic (TDEM) di daerah prospek Geothermal Tawau, Sabah, Malaysia*.SKRIPSI.Departemen FISIKA-FMIPA UI.
- Sulistyo,Agus.2011.*Koreksi Pergeseran Statik Data Magnetotelluric (MT) Menggunakan Metode Geostatistik, Perata-rataan, Dan Time Domain Electromagnetic*.SKRIPSI.Universitas Indonesia.Depok.
- Unsworth,M.2006.Overview of Electromagnetic Exploration Methods.*Geophysics*.University of Alberta.Kanada.
- Unsworth,M.2008.*Lecture Notes Geophysics 424*.University of Alberta. Kanada.
- Vozoff, K.1972.*The Magnetotelluric Method in The Exploration of Sedimentary Basins*.*Geophysics*, 37, 98 - 141.
- Vozoff,K.1991.*The Magnetotelluric Method, Electromagnetic Method in Applied Geophysics-Application*.SEG.
- Widarto, Djedi S.2010.*Controlled Source Electromagnetic (CSEM) Method in Applied Geophysics: An Overview*.Slide Workshop EM.EPTC Pertamina.

# Lampiran 1. Hasil Pengolahan Data

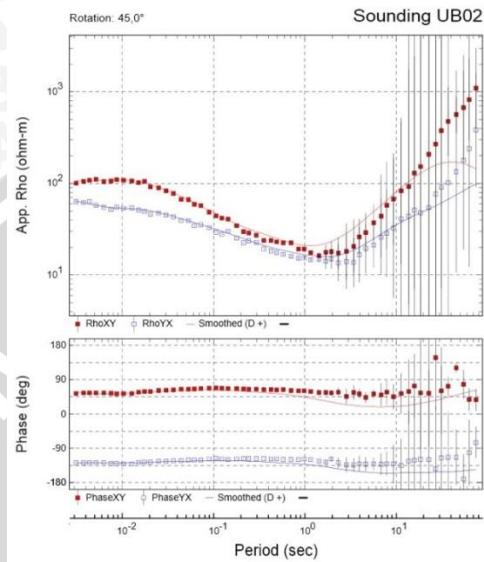


(a)

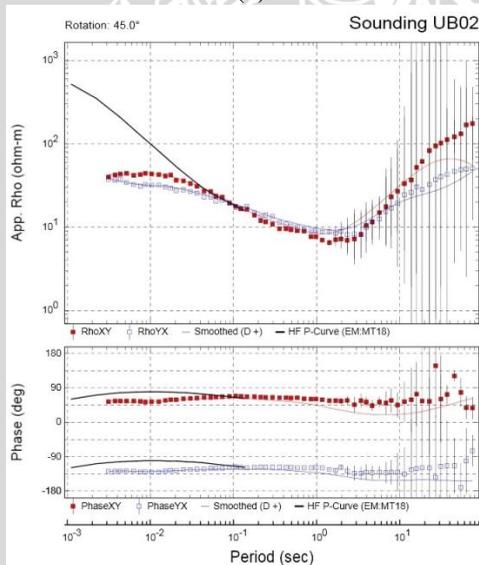


(b)

Gambar 6. 1 Efek Statik pada data MT titik “UB 01” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

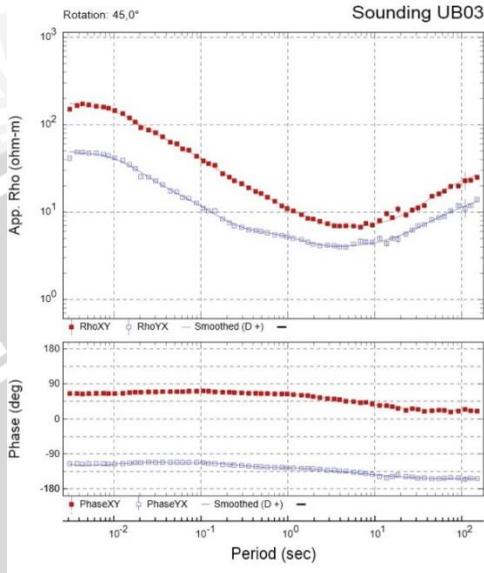


(a)

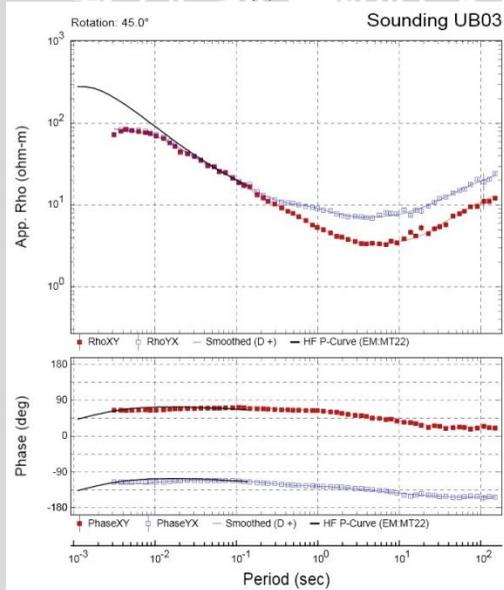


(b)

Gambar 6. 2 Efek Statik pada data MT titik “UB 02” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

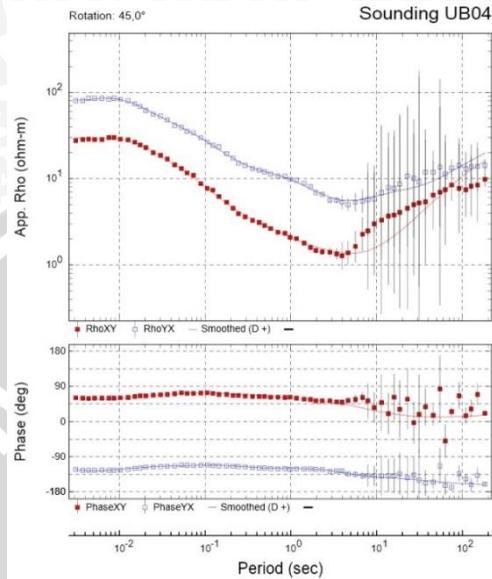


(a)

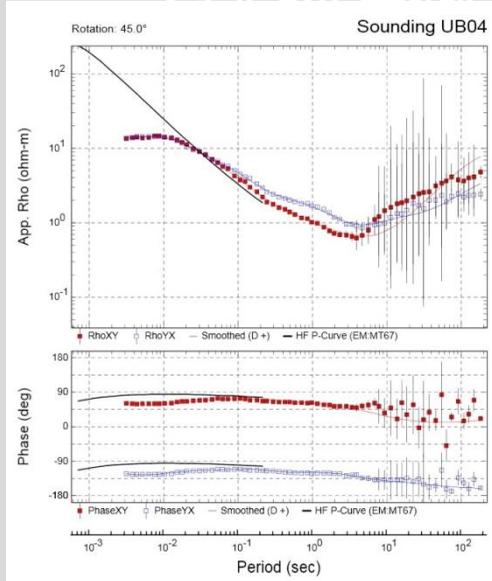


(b)

Gambar 6. 3 Efek Statik pada data MT titik “UB 03” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

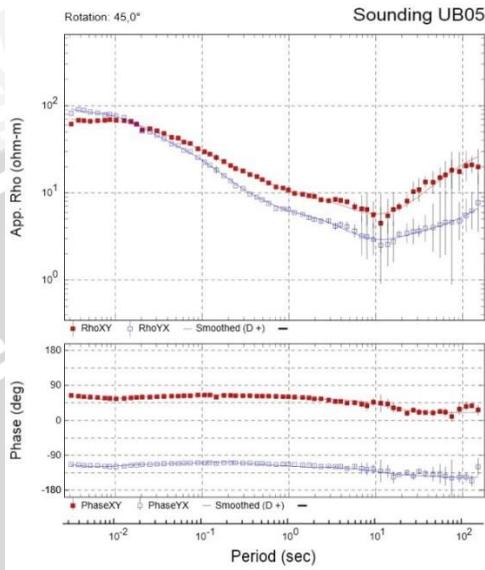


(a)

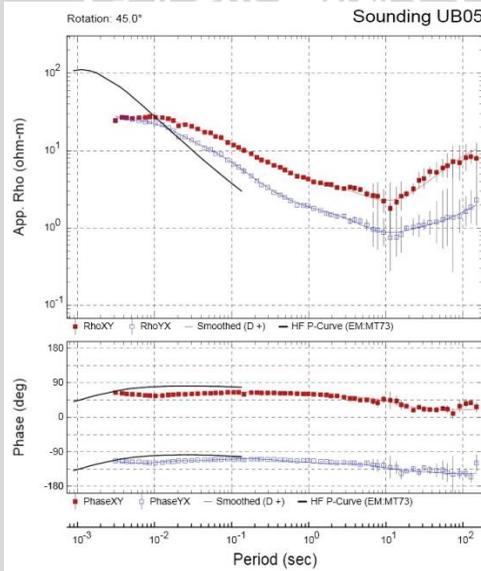


(b)

Gambar 6. 4 Efek Statik pada data MT titik “UB 04” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

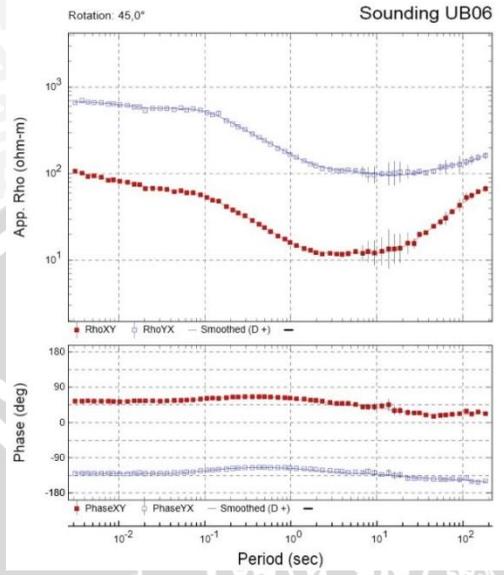


(a)

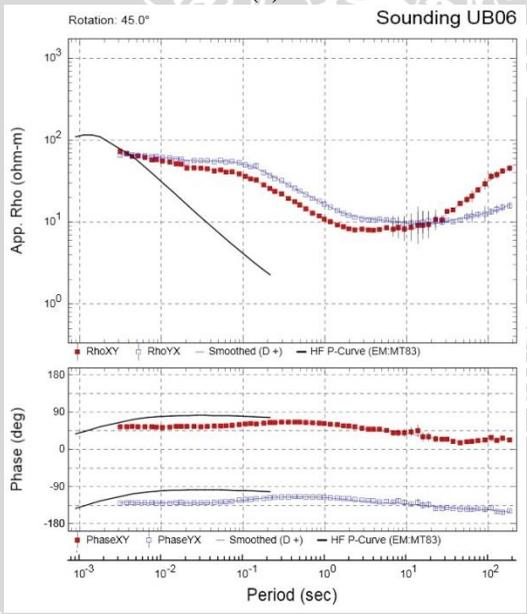


(b)

Gambar 6. 5 Efek Statik pada data MT titik “UB 05” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

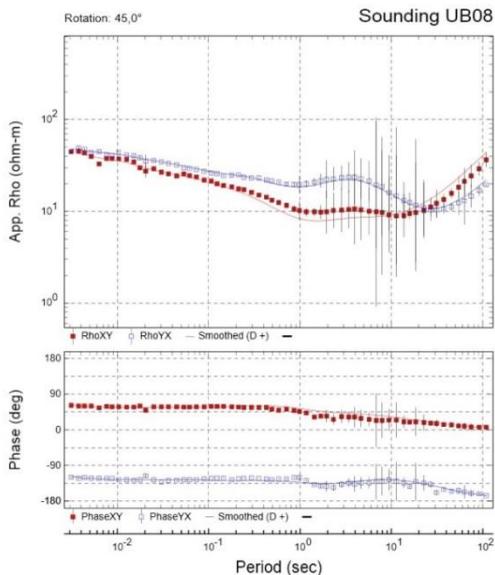


(a)

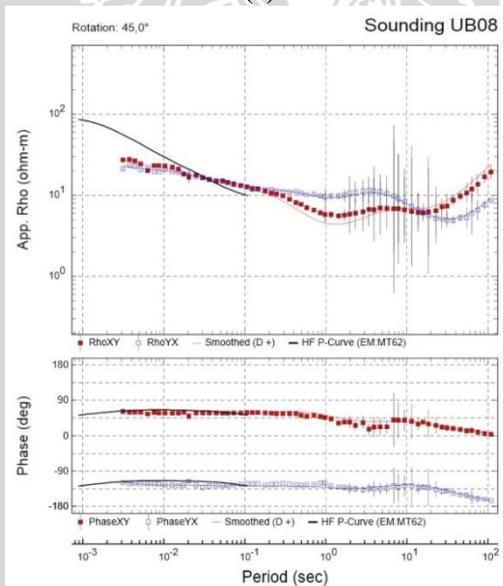


(b)

Gambar 6. 6 Efek Statik pada data MT titik “UB 06” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

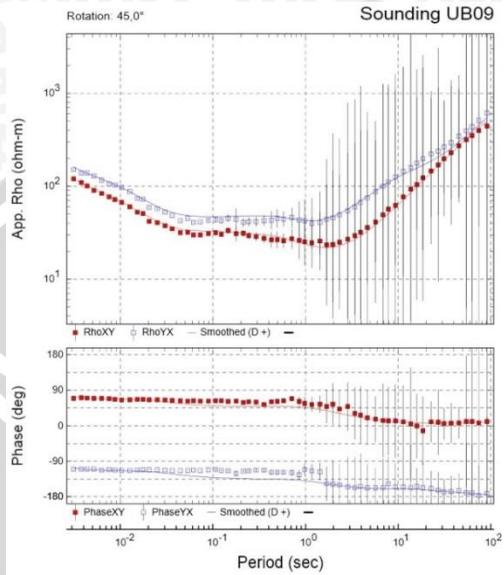


(a)

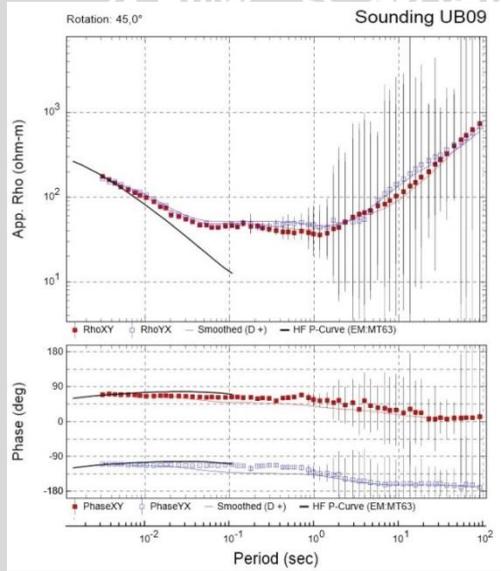


(b)

Gambar 6. 7 Efek Statik pada data MT titik “UB 08” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

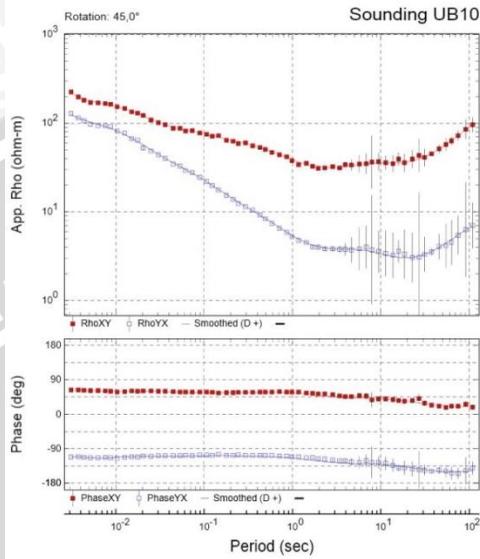


(a)

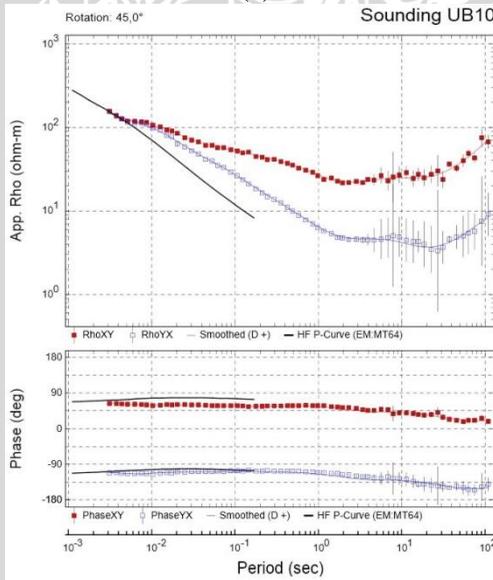


(b)

Gambar 6. 8 Efek Statik pada data MT titik “UB 09” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

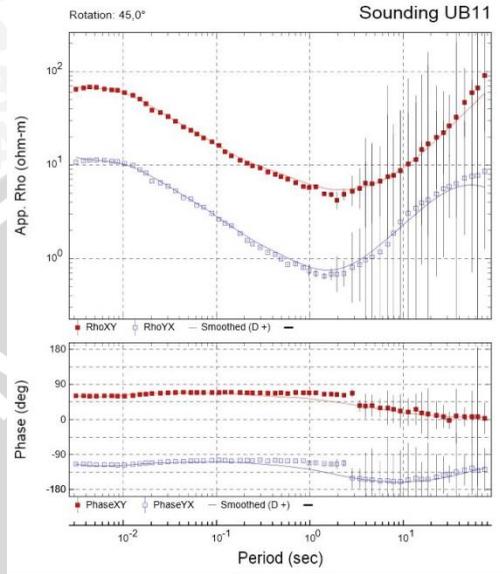


(a)

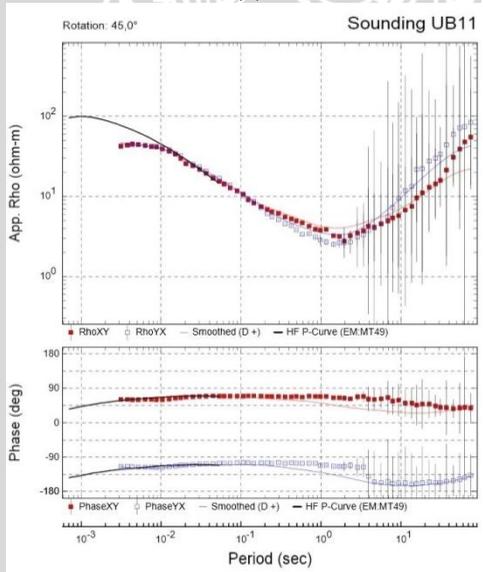


(b)

Gambar 6. 9 Efek Statik pada data MT titik “UB 10” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

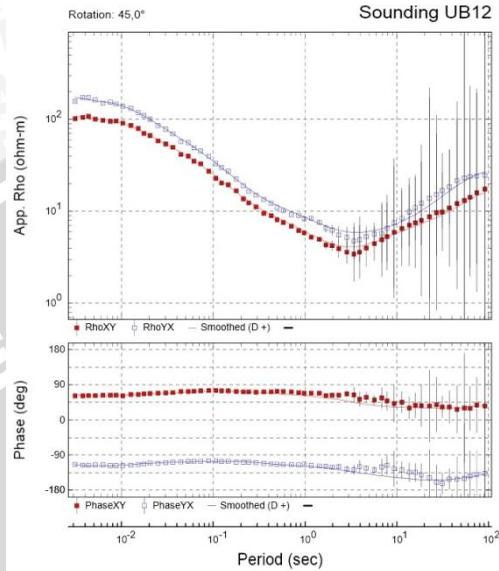


(a)

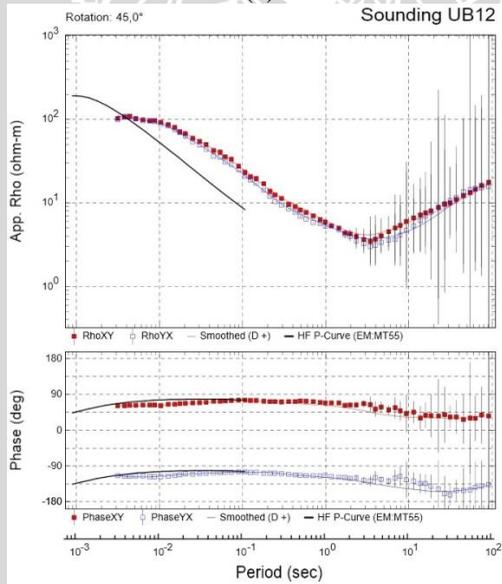


(b)

Gambar 6. 10 Efek Statik pada data MT titik “UB 11” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

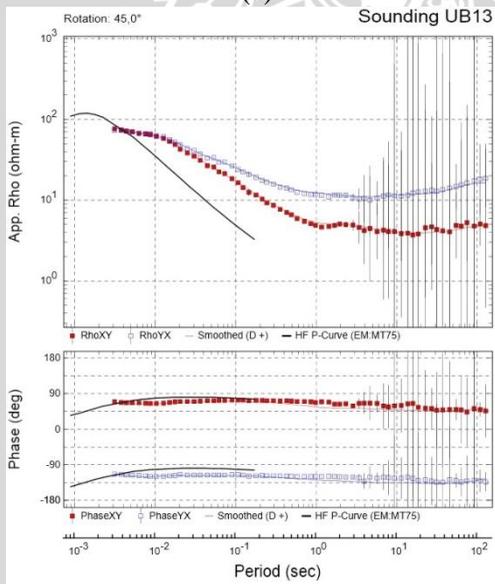
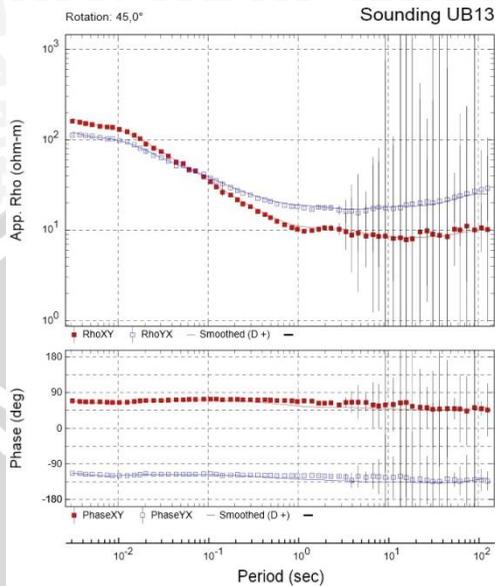


(a)

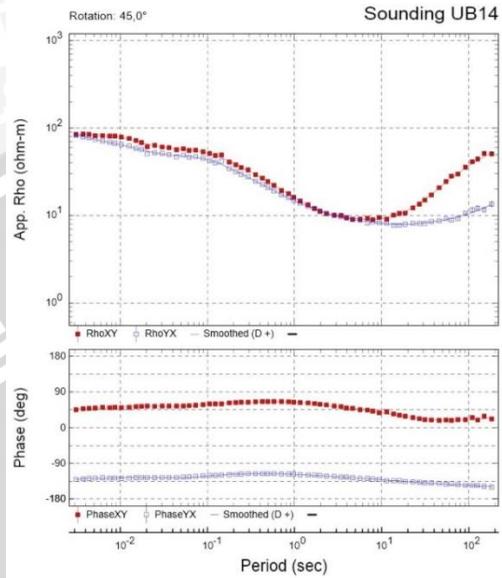


(b)

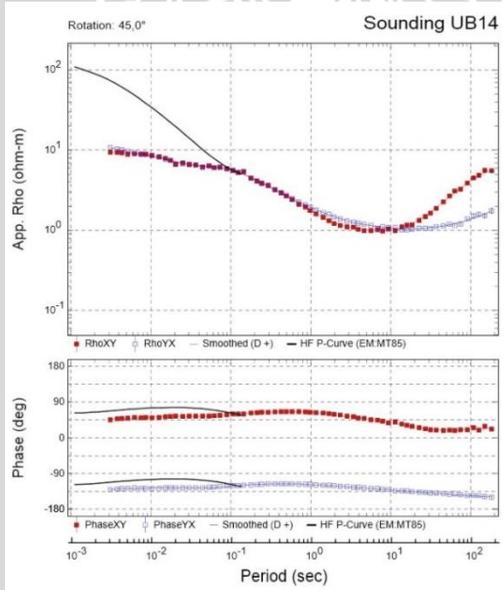
Gambar 6. 11 Efek Statik pada data MT titik “UB 12” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik



Gambar 6. 12 Efek Statik pada data MT titik “UB 13” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

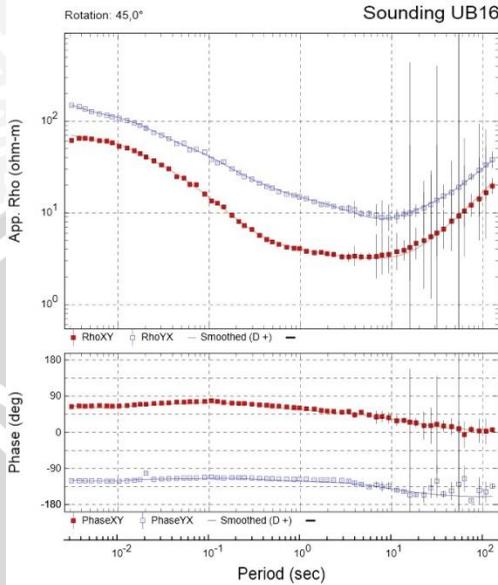


(a)

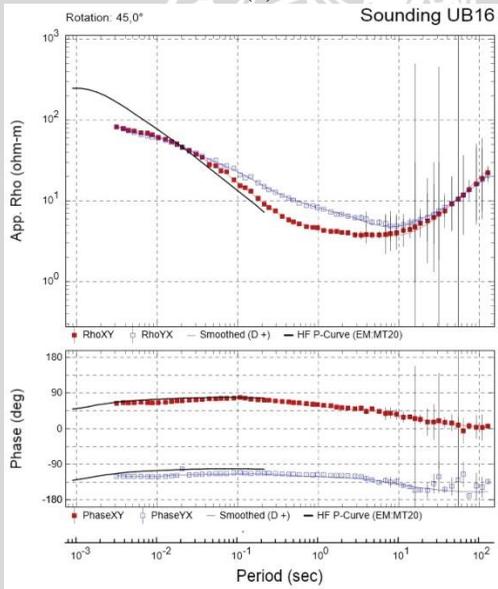


(b)

Gambar 6. 13 Efek Statik pada data MT titik “UB 14” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

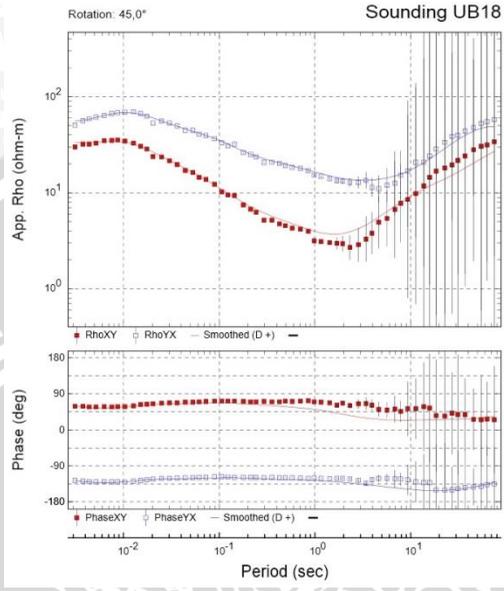


(a)

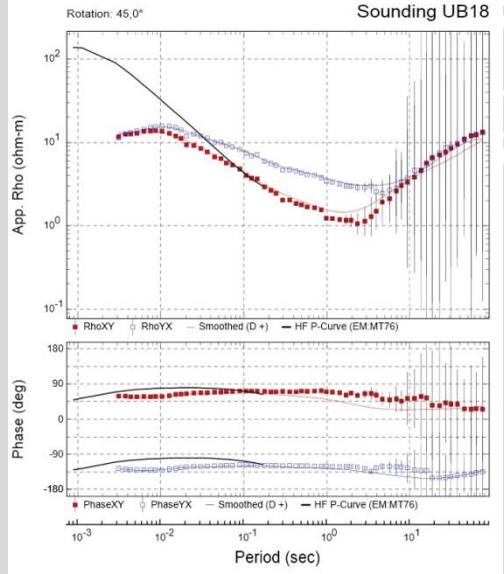


(b)

Gambar 6. 14 Efek Statik pada data MT titik “UB 16” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

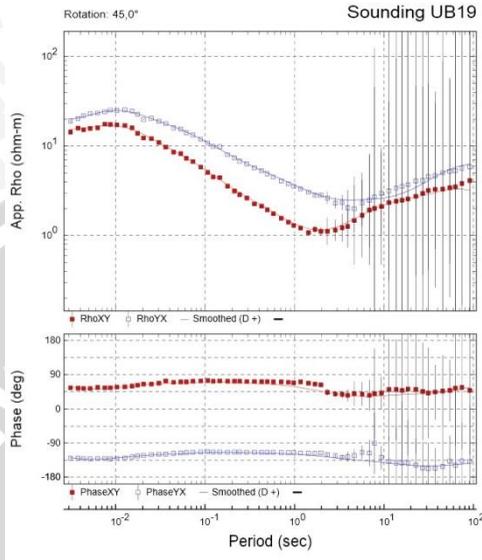


(a)

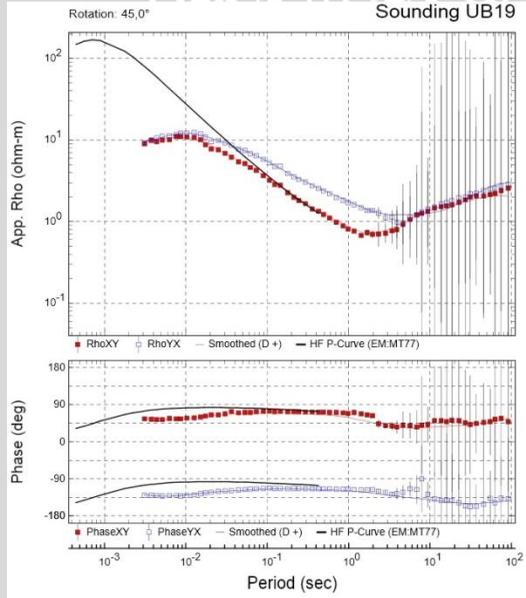


(b)

Gambar 6. 15 Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

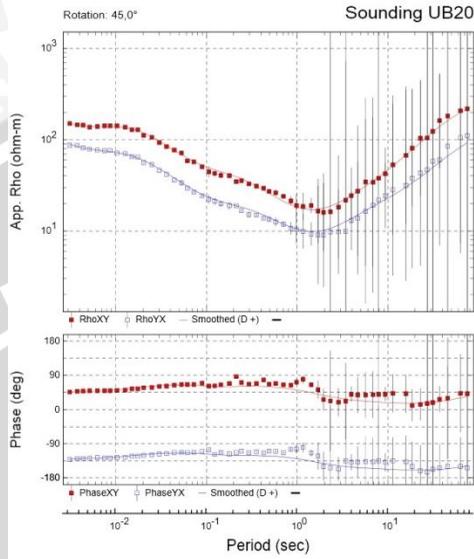


(a)

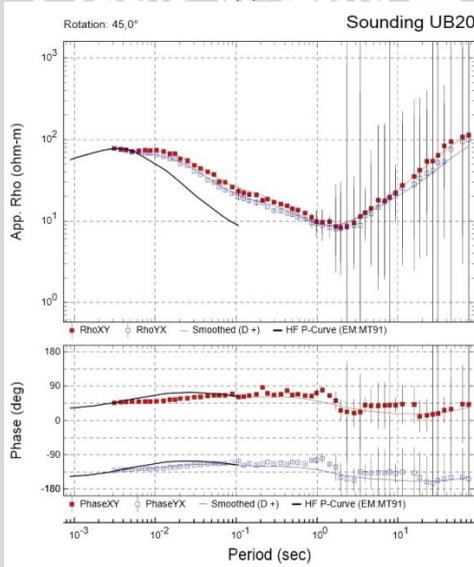


(b)

Gambar 6. 16 Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

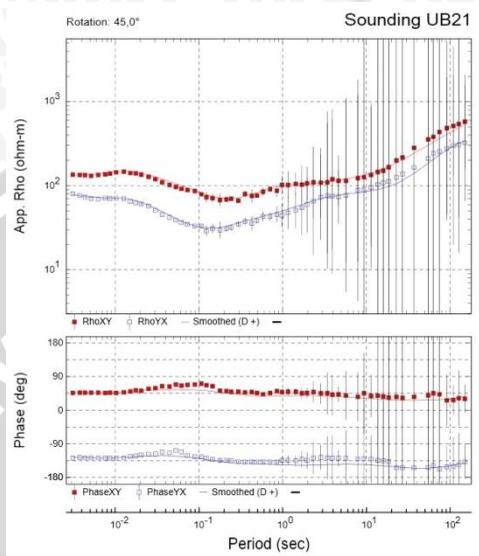


(a)

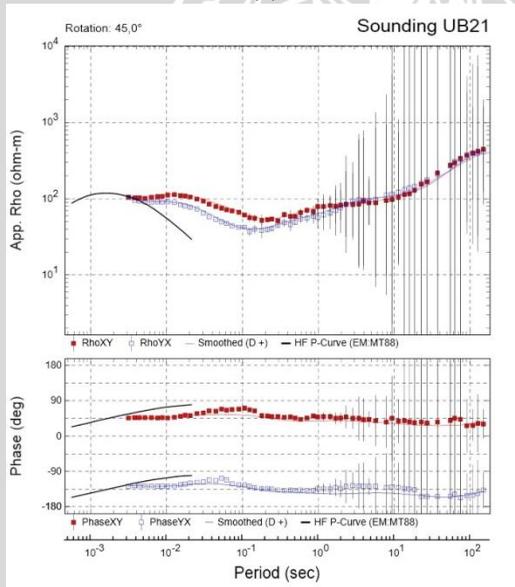


(b)

Gambar 6. 17 Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

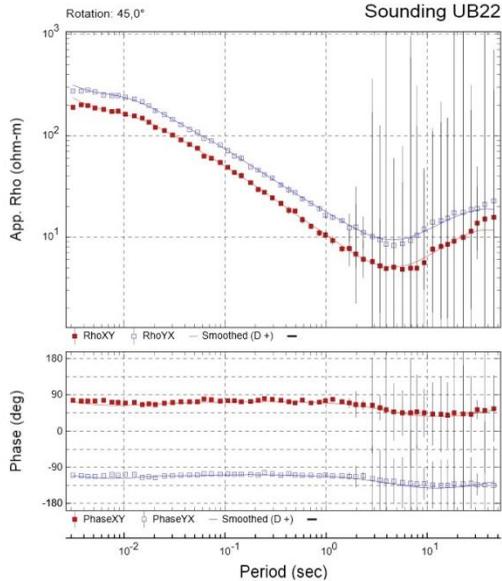


(a)

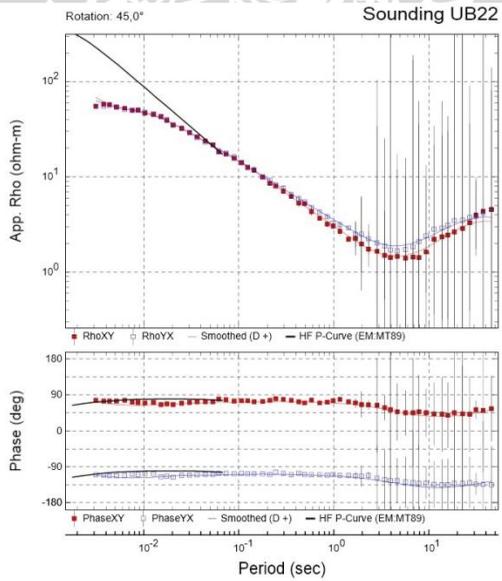


(b)

Gambar 6. 18 Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik



(a)



(b)

Gambar 6. 19 Efek Statik pada data MT titik “UB 18” (a) Sebelum dikoreksi statik (b) Setelah dikoreksi statik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

