



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGOLAHAN DATA MAGNETOTELLURIK 2-DIMENSI  
PADA LAPANGAN PANASBUMI MARANA,  
SULAWESI TENGAH**

**SKRIPSI**

**CUT RULIA**

**0806398890**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**DEPOK**

**JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGOLAHAN DATA MAGNETOTELLURIK 2-DIMENSI  
PADA LAPANGAN PANASBUMI MARANA,  
SULAWESI TENGAH**

**SKRIPSI**

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

**CUT RULIA**

**0806398890**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**DEPOK**

**JUNI 2012**

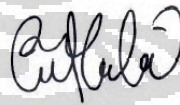
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Cut Rulia**

**NPM : 0806398890**

**Tanda Tangan**



**Tanggal : 14 Juni 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Cut Rulia

NPM : 0806398890

Program Studi : Geofisika

Judul Skripsi : PENGOLAHAN DATA MAGNETOTELLURIK 2-DIMENSI  
PADA LAPANGAN PANAS BUMI MARANA, SULAWESI  
TENGAH

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

### DEWAN PENGUJI

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

Penguji I : Dr. Eng. Supriyanto, M.Sc (  )

Penguji II : Dr. Jatmiko P. Atmojo (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 14 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

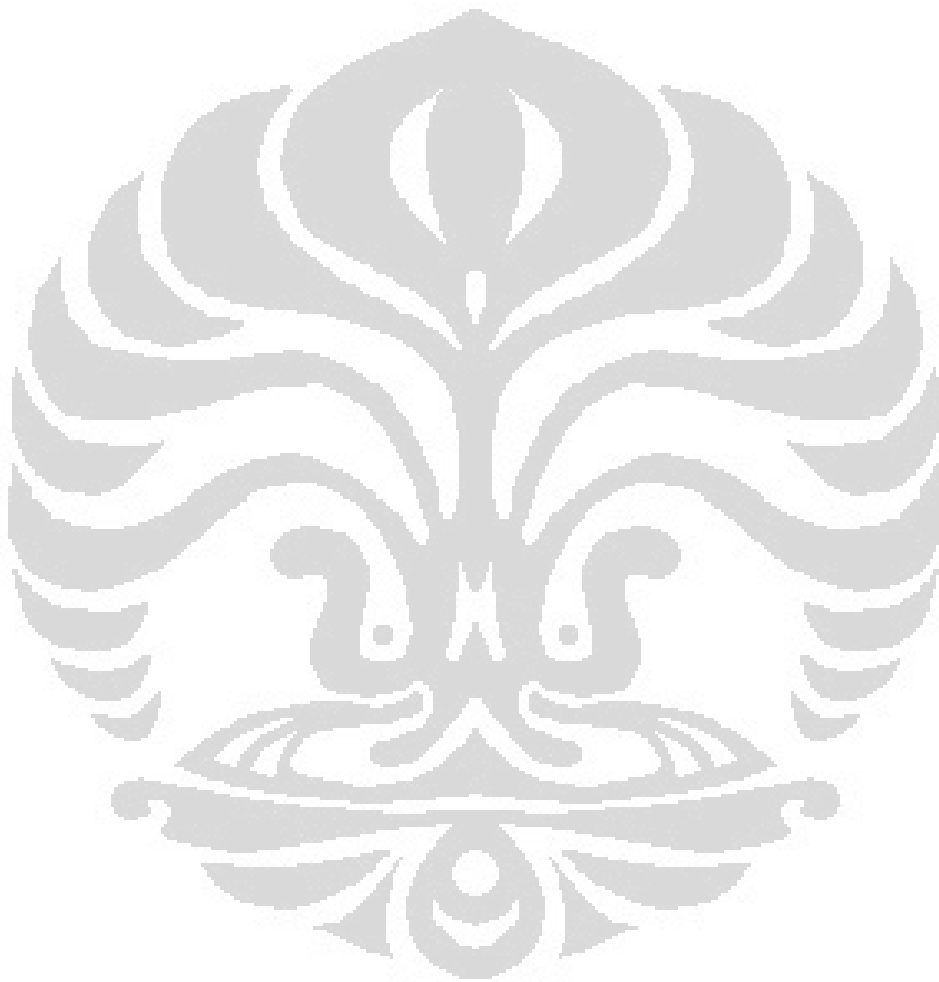
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Eng. Yunus Daud, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini dan juga memberikan dukungan serta masukan yang sangat bermanfaat hingga skripsi ini berhasil diselesaikan.
2. Terimakasih untuk orang tua dan keluarga saya yang tiada hentinya selalu memberikan dukungan baik dalam bentuk moral maupun materi, semangat serta doa yang selalu kalian curahkan. Semoga kalian senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
3. Kak Surya, Kak Wambra, Kak Dzil, dan Kak Lendri, terima kasih banyak atas bantuan, masukan, dan ilmu yang sangat bermanfaat dalam proses pembuatan skripsi ini.
4. Sari, Qonita, dan Dewi, teman seperjuangan tugas akhir, yang telah berbagi ilmu dalam penelitian ini, memberikan semangat dan batuan hingga detik-detik menjelang sidang. Semoga kita semua dapat sukses bersama-sama kedepannya. Amin.
5. Edo yang selalu memberikan semangat dan dukungan tanpa henti, serta bantuan yang sangat berarti. Kedua sahabat, Anty dan Jeje, dan teman-teman semua, khususnya Fisika '08, yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 14 Juni 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN PUBLIKASI**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Cut Rulia

NPM : 0806398890

Program Studi : Geofisika

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PENGOLAHAN DATA MAGNETOTELLURIK 2-DIMENSI PADA  
LAPANGAN PANASBUMI MARANA, SULAWESI TENGAH**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 14 Juni 2012

Yang menyatakan



(Cut Rulia)

## ABSTRAK

Nama : Cut Rulia  
Program Studi : Geofisika  
Judul : Pengolahan Data Magnetotellurik 2-Dimensi Pada Lapangan  
Panasbumi Marana, Sulawesi Tengah

Daerah Marana terletak di Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah. Ditinjau dari data geologi, daerah ini didominasi oleh batuan granit berumur Eocene-Tersier dan berada pada zona tektonik. Daerah Marana diduga memiliki prospek panasbumi yang ditandai dengan kemunculan manifestasi permukaan berupa mata air panas. Untuk memperjelas pendugaan tersebut telah dilakukan survey metode Magnetotellurik (MT). Data MT yang diperoleh dari akuisisi lalu dilakukan pengolahan dengan tahapan sebagai berikut: seleksi data *time-series*, transformasi Fourier, *robust processing*, seleksi *cross power*, koreksi *static shift*, dan kemudian dilakukan inversi 2-dimensi menggunakan program WinGlink. Hasil pengolahan data MT 2-dimensi diintegrasikan dengan data geologi, geokimia, metode gravitasi, dan sumur landaian suhu untuk memperoleh suatu model konseptual dari sistem panasbumi di daerah Marana yang ditampilkan dengan program GeoSlicer-X. Model konseptual tersebut menunjukkan bahwa terdapat reservoir panasbumi di bawah kompleks mata air panas Masaingi pada kedalaman 750-1500 m. Pendugaan temperatur reservoir dari data geokimia menunjukkan kisaran temperatur 154-237°C sehingga sistem panasbumi Marana termasuk kedalam *moderate temperature geothermal system* yang diduga memiliki potensi sekitar 33 MWe.

Kata Kunci: Metode Magnetotellurik, pengolahan data 2-dimensi, lapangan panasbumi Marana.



## ABSTRACT

Name : Cut Rulia  
Study Program: Geophysics  
Title : 2-Dimension Magnetotelluric Data Processing of Marana  
Geothermal Field, Sulawesi Tengah

Marana area is located at Donggala District, Central Sulawesi Province. Observed from geological data, this area is dominated by granite (Eocene-Tertiary age) and located in a tectonic zone. Marana area is estimated as a geothermal prospect area based on the appearance of hot springs in the area. To verify this, a geophysical survey has been conducted using Magnetotelluric (MT) method. The MT data obtained from acquisition was processed in stages as follow: time-series data selection, Fourier transformation, robust processing, cross power selection, static shift correction, and 2-dimensional inversion using WinGlink software. The result of 2-dimension MT processing was then integrated with geological, geochemical, gravity method, and shallow depth well data of temperature to obtain a conceptual model of geothermal system in Marana area which is performed by using GeoSlicer-X software. The conceptual model shows that there is a geothermal reservoir below a series of Masaingi hot springs at the depth of 750-1500 m. The reservoir temperature is estimated between 154-237°C from available geochemical data. Hence, geothermal system in Marana field is classified as moderate temperature geothermal system which has an estimated potential reserve of 33 MWe.

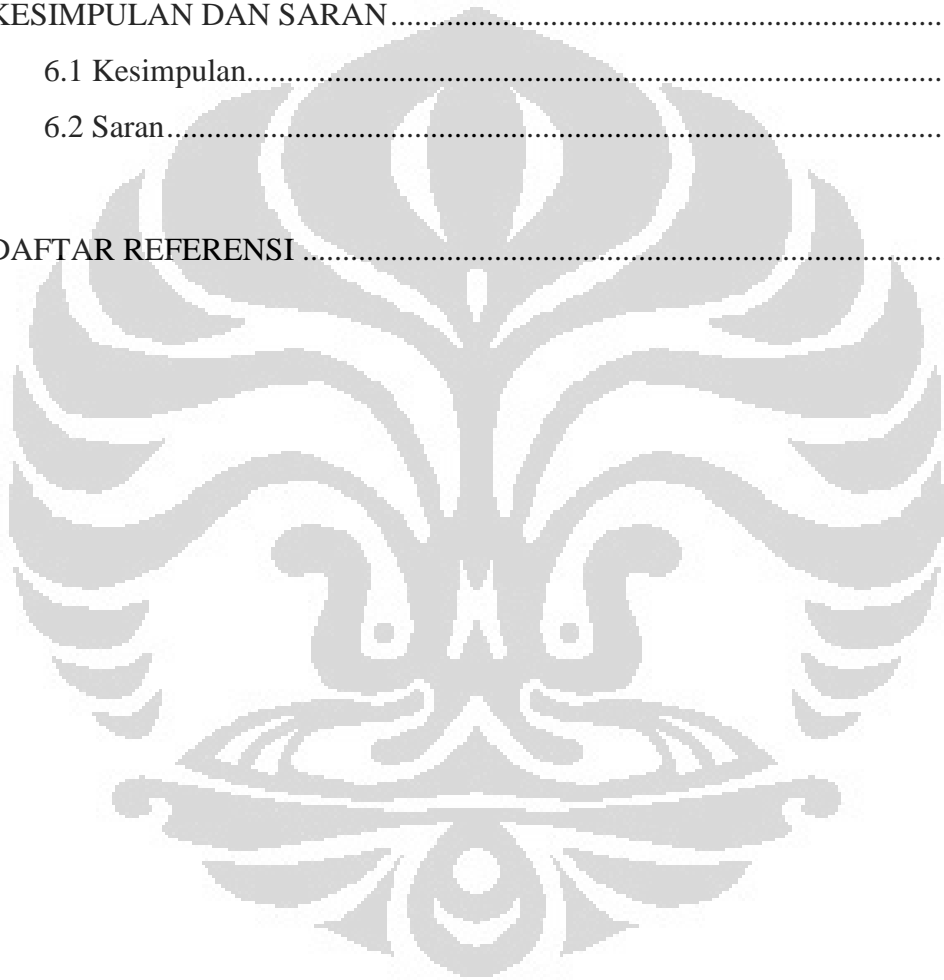
Key Words: Magnetotelluric method, 2-dimension data processing, Marana geothermal field.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR DIAGRAM.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 BatasanMasalah.....	4
1.4 Metodologi Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Sistem Panasbumi .....	7
2.2 Metode Magnetotellurik .....	11
2.3 Akuisisi Magnetotelluric .....	16
2.4 Pengolahan Data MT .....	18
2.4.1 <i>Fourier Transform</i> .....	18
2.4.2 <i>Robust Processing</i> .....	19
2.4.3 <i>Koreksi Static Shift</i> .....	19
2.4.4 <i>Inversi 2-Dimensi</i> .....	21

BAB3 TINJAUAN DAERAH PENELITIAN .....	22
3.1 Geologi .....	22
3.1.1 Geomorfologi .....	22
3.1.2 Stratigrafi .....	23
3.1.3 Struktur Geologi.....	25
3.2. Geokimia .....	26
3.2.1 Manifestasi Permukaan.....	26
3.2.2 Karakteristik Kimia dan Tipe Air Panas.....	28
3.2.3 Pendugaan Suhu Bawah Permukaan.....	30
3.3 Geofisika.....	33
3.3.1 Metode Gravitasi.....	33
3.4 Sumur Landaian Suhu .....	38
3.4.1 Sumur MM-1 .....	38
3.4.2 Sumur MM-2 .....	39
 BAB 4 PENGOLAHAN DATA MT .....	 41
4.1 Lingkup Kerja.....	41
4.2 Alur Pengolahan Data .....	41
4.3 Pre-Processing MT .....	42
4.3.1 Synchro Time Series Viewer .....	42
4.3.2 SSMT 2000 .....	44
4.3.3 MTeditor .....	46
4.4 Koreksi <i>Static Shift</i> .....	47
4.5 Inversi 2D .....	48
 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	 50
5.1 Kurva Hasil <i>Pre-Processing</i> .....	50
5.2 Kurva Hasil Koreksi <i>Static Shift</i> .....	51
5.3 Penampang Lintasan Hasil Inversi 2D .....	51
5.4 Pembahasan .....	55

5.4.1 Data Geologi .....	55
5.4.2 Data Geokimia .....	55
5.4.3 Data Gravitasi .....	56
5.4.4 Sumur Landaian Suhu.....	56
5.5 Interpretasi Terpadu .....	58
5.6 Potensi Panasbumi.....	59
KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
6.1 Kesimpulan.....	61
6.2 Saran.....	61
DAFTAR REFERENSI .....	62



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Letak geografis Indonesia beserta cadangan panasbumi yang terkandung	1
Gambar 1.2 Peta daerah lokasi penelitian panasbumi daerah Marana, Donggala, Sulawesi Tengah	3
Gambar 2.1 Model tectonic system	9
Gambar 2.2 Kondisi model skematik dari Vapour Dominated System	10
Gambar 2.3 Kondisi model skematik Water Dominated System	10
Gambar 2.4 Konsep gelombang elektromagnetik	12
Gambar 2.5 Sumber gelombang MT	13
Gambar 2.6 Penjalaran Gelombang EM di Bumi	14
Gambar 2.7 Konfigurasi alat ketika pengukuran	16
Gambar 2.8 Perbedaan hasil robust processing dan least-square processing	19
Gambar 3.1 Peta geomorfologi Daerah Marana	23
Gambar 3.2 Peta Geologi Daerah Marana	25
Gambar 3.3 Peta Anomali Bouguer dengan densitas $2.2 \text{ gr/cm}^3$	37
Gambar 3.4 Peta anomali Regional dengan densitas $2.2 \text{ gr/cm}^3$	38
Gambar 3.5 Peta Anomali Sisa orde-2 dengan densitas $2.2 \text{ gr/cm}^3$	39
Gambar 3.6 Model tentative lapangan panasbumi Marana berdasarkan data Sumur	42
Gambar 4.1 Tampilan awal dari Synchro Time Series Viewer	45
Gambar 4.2 Kurva Time Series	45
Gambar 4.3 Tampilan Comparison Mode	46
Gambar 4.4 Perbandingan dari (a) kurva yang bagus dan (b) kurva yang Tidak bagus.	46

Gambar 4.5 Jendela Utama SSMT 2000	47
Gambar 4.6 Make PFT dan proses TS to FT	47
Gambar 4.7 Edit PRM dan <i>run robust processing</i>	48
Gambar 4.8 Proses menseleksi data	49
Gambar 4.9 (a) Sebelum Koreksi Static Shift dan (b) Setelah Koreksi Static Shift	50
Gambar 5.1 Kualitas kurva MT (a) Excelent dan (b) Very good (c) Good dan (d) Fair	53
Gambar 5.2 Pemilihan lintasan inversi 2-D dari gabungan peta geologi dan peta topografi titik MT Marana	54
Gambar 5.3 Hasil inversi 2D pada lintasan 1	54
Gambar 5.4 Hasil nversi 2D pada lintasan 2	55
Gambar 5.5 Hasil inversi 2D pada lintasan 3	56
Gambar 5.6 Kurva gradient temperatur.	59
Gambar 5.7 Konseptual model panasbumi pada lapangan Marana	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data hasil analisis kimia air panas di daerah penyelidikan pendahuluan dan rinci	29
Tabel 3.2 Indikasi kandungan unsur kimia terhadap suhu bawah permukaan	31
Tabel 3.3 Rumus-rumus umum geotermometer	32
Tabel 3.4 Pendugaan suhu bawah permukaan berdasarkan geotermometer kimia daerah Marana	32
Tabel 3.5 Densitas batuan dan mineral	34
Tabel 5.1 Pengelompokan kurva hasil pre-processing berdasarkan kualitasnya.	52

## DAFTAR DIAGRAM

Diagram 1.1 Diagram alur penelitian	5
Diagram 3.1 Diagram segitiga Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	30
Diagram 4.1 Alur pengolahan data MT	43

## DAFTAR LAMPIRAN

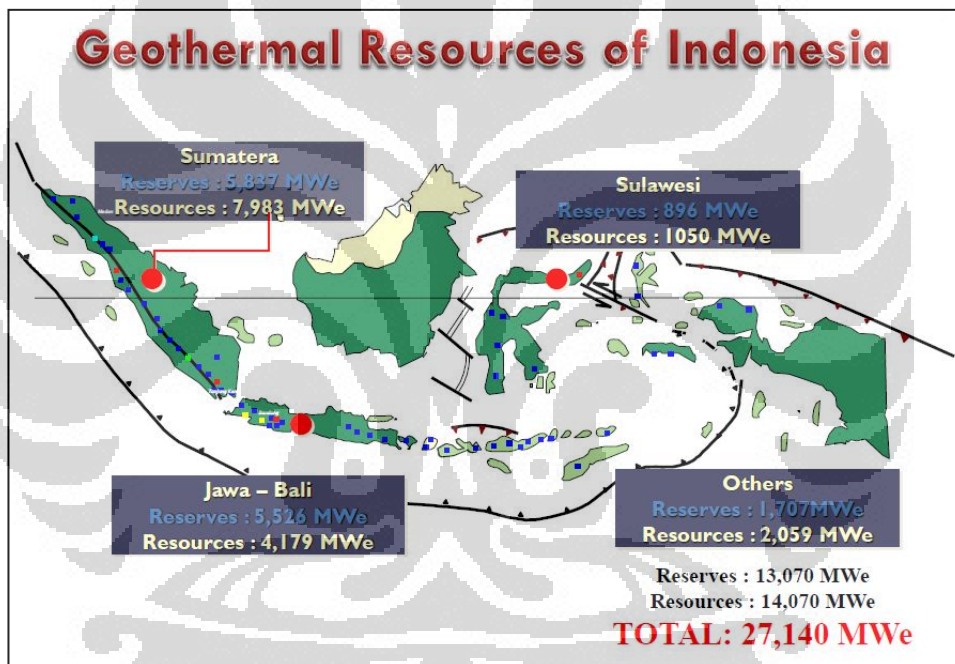
Lampiran 1. Hasil seleksi cross power menggunakan MTeditor	64
Lampiran 2. Kurva hasil koreksi <i>static shift</i>	71

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring bertambahnya populasi di dunia, maka kebutuhan akan energi juga semakin meningkat yang mengakibatkan ketersediaan energi di dunia semakin menipis. Oleh karena itu, kita membutuhkan suatu sumber daya alam yang dapat berperan sebagai energi alternatif, salah satunya adalah energi panasbumi. Energi panasbumi merupakan energi yang dapat diperbarui, ramah lingkungan, dan bersih karena emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan rendah (Daud, 2011).



Gambar 1.1 Letak geografis Indonesia beserta cadangan panasbumi yang terkandung (Daud, 2011)

Energi panasbumi dapat ditemukan di sepanjang jalur tumbukan lempeng atau zona subduksi. Letak Indonesia yang berada di sepanjang jalur tumbukan menyebabkan Indonesia memiliki potensi panasbumi yang cukup besar, yaitu 40% dari seluruh cadangan panasbumi di dunia. Total potensi panasbumi di Indonesia mencapai 27,140 MWe di 253 lokasi yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia. Namun hanya 4% dari total potensi di Indonesia atau 1189 MW yang



baru dikembangkan (Daud, 2011). Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu metode yang paling tepat untuk dapat memetakan keberadaan panas bumi di bawah permukaan agar dapat memaksimalkan penggunaan energi panasbumi khususnya di Indonesia. sehingga dapat membantu memasok kebutuhan listrik, hingga ke wilayah-wilayah terpencil di Indonesia.

Salah satu metode geofisika yang dinilai paling baik dalam eksplorasi panasbumi adalah Metode Magnetotellurik (MT) karena kemampuannya untuk memetakan nilai resistivitas batuan di sistem panasbumi (Oskooi, 2005). Metode MT adalah metode elektromagnetik pasif yang melibatkan pengukuran fluktuasi medan listrik dan medan magnet alami yang saling tegak lurus di permukaan bumi yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas batuan di bawah permukaan bumi dari kedalaman beberapa meter hingga ratusan kilometer (Simpson & Bahr, 2005). Parameter yang diukur adalah signal elektromagnetik alami, yaitu medan magnet bumi ( $H_x$ ,  $H_y$  dan  $H_z$ ) dan medan listrik bumi ( $E_x$  dan  $E_y$ ). Sedangkan parameter yang dianalisis adalah *apparent resistivity* dan *phase* (Daud, 2011). Dari pemetaan resistivitas bawah permukaan inilah kita dapat mengetahui di mana letak sistem panasbumi tersebut dengan lebih akurat, seperti *clay cap*, *reservoir* dan *heat source*.

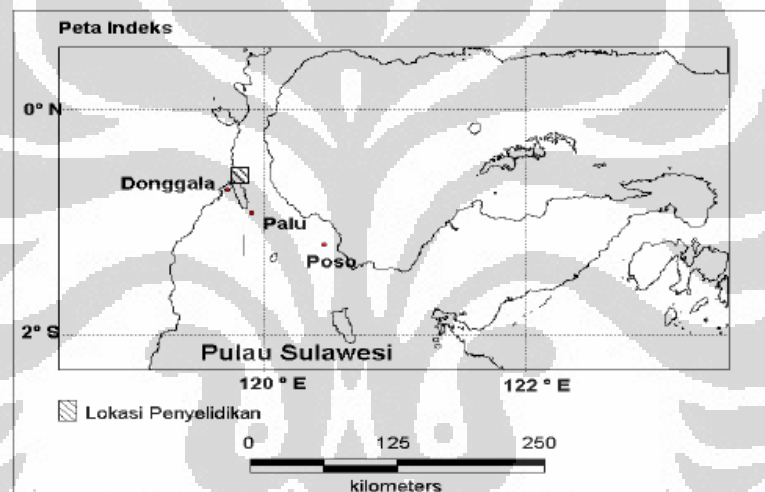
Metode MT, seperti metode geofisika lainnya, memiliki tahap akuisisi dan tahap pengolahan data. Data MT yang diperoleh dari proses akuisisi lalu dikonversi dari domain waktu ke domain frekuensi. Setelah tahap pengolahan data, barulah kita dapat melakukan tahap pemodelan yang hasilnya berupa peta resistivitas bawah permukaan yang dapat ditampilkan dalam bentuk 1-dimensi, 2-dimensi, maupun 3-dimensi.

Pada paper *Magnetotelluric Survey of NW Sabalan Geothermal Project, Iran* (Porkhial et al, 2010), disebutkan bahwa pemodelan 1-dimensi dan 2-dimensi dapat digunakan untuk menentukan resistivitas bawah permukaan dari lapangan panasbumi. Model resistivitas 1-dimensi digunakan untuk memetakan lapisan konduktif yang dangkal yang lalu dapat digunakan untuk mengetahui hidrologi dari sistem panasbumi. Sedangkan ketebalan dan kedalaman dari lapisan konduktif tersebut dapat ditentukan lebih baik dalam pemodelan 2-dimensi.

Untuk dapat mencapai inversi 2-dimensi, pengolahan data dari pre-processing harus dipahami dan dilakukan terlebih dahulu agar diperoleh hasil inversi yang lebih akurat. Oleh karena itu, dalam penelitian tugas akhir ini saya mencoba melakukan pengolahan data 2-dimensi.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Pada tugas Akhir ini, penulis melakukan pengolahan data magnetotelurik yang merupakan tahap pendahuluan dari eksplorasi panasbumi. Pengambilan data di lapangan dilaksanakan oleh Subdit. Penyelidikan Panasbumi, Pusat Sumber Daya Geologi Bandung pada tahun 2011 di daerah Marana, kabupaten Donggala, Propinsi Sulawesi tengah.



Gambar 1.2 Peta daerah lokasi penelitian panasbumi daerah Marana, Donggala, Sulawesi Tengah (Bakrun et al., 2005)

Secara garis besar, penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Memahami langkah pengolahan data Magnetotelluric 2-dimensi.
2. Mengkarakterisasi komponen panasbumi dari data hasil pengolahan data Magnetotellurik
3. Membuat konseptual model dari sistem panasbumi Marana dari data MT didukung dengan data geologi, geokimia, gravitasi, dan data sumur landaian suhu.

### 1.3 Batasan Masalah

Tugas akhir ini menggunakan data magnetotellurik untuk mengetahui penyebaran resistivitas di lapangan panasbumi Marana. Dari hasil pengolahan data magnetotellurik diperoleh kurva *apparent resistivity* dan *phase* yang akan digunakan untuk proses inversi sehingga diperoleh peta resistivitas bawah permukaan. Hasil inversi inilah yang akan digunakan untuk mengkarakterisasi komponen panasbumi seperti clay cap, reservoir, dan *heat source*. Fokus dari penelitian ini berada pada teknik pengolahan data dan interpretasi 2-dimensi dengan menggunakan software Synchro TS Viewer, SSMT 2000, MTeditor, Static Shifter-X, WinGlink, dan Geoslicer-X.

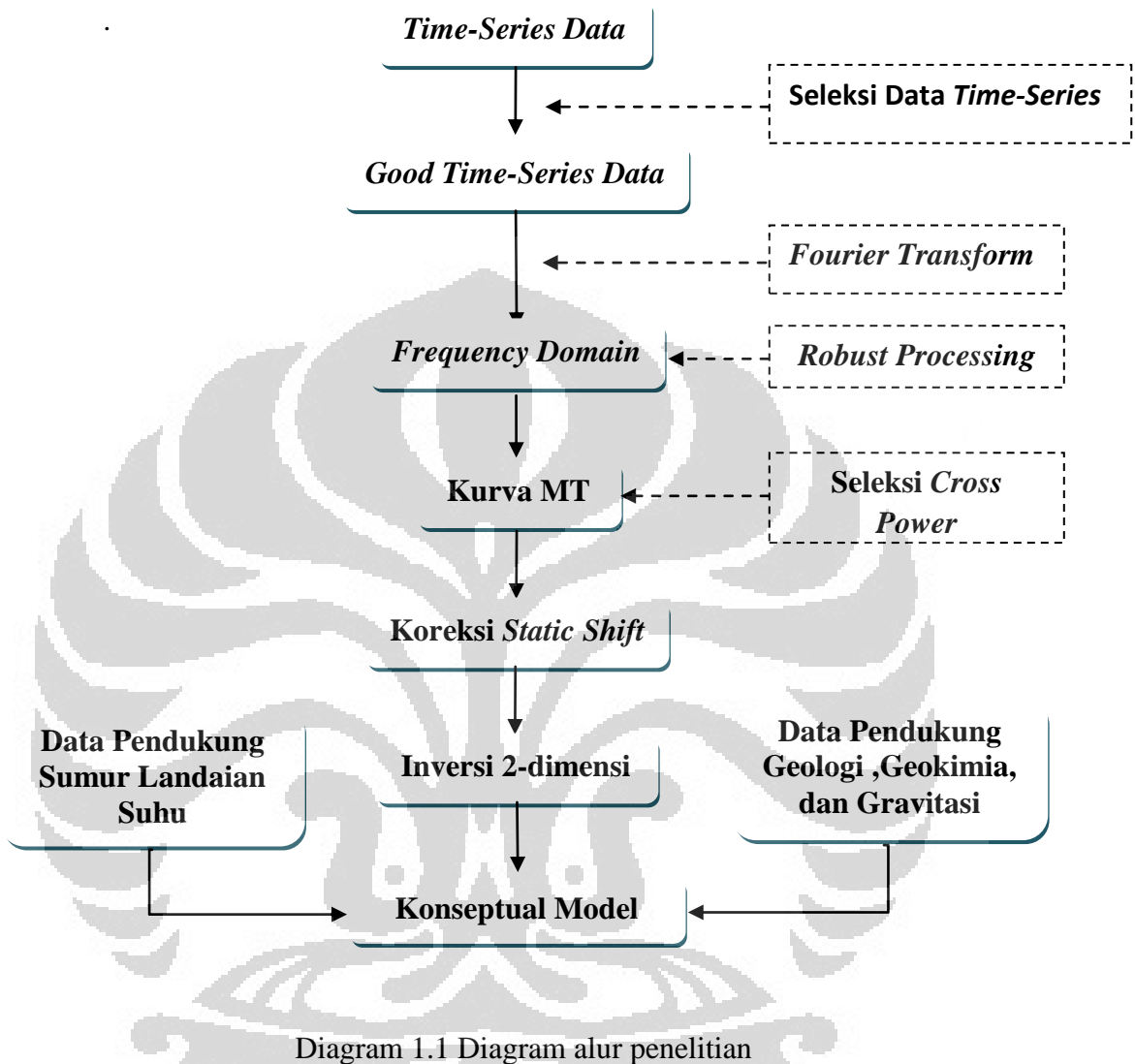
### 1.4 Metodologi Penelitian

Secara umum, metode pengolahan data magnetotellurik yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi tiga tahap, yaitu pre-processing, koreksi *static shift*, dan inversi. Ketiga tahap ini menggunakan jenis software yang berbeda-beda pula. Berikut ini adalah tahap-tahap yang dilakukan beserta software yang digunakan.

1. *Pre-processing*:
  - a. Menseleksi data time series yang berasal dari data lapangan menggunakan program Synchro Time Series Viewer.
  - b. Mengubah data time series menjadi frekuensi domain dengan Fourier Transform menggunakan program SSMT 2000
  - c. Melakukan robust processing dengan program SSMT 2000
  - d. Menseleksi *cross power* menggunakan program MTeditor
2. Koreksi *Static Shift*: menghilangkan efek *static shift* pada data MT menggunakan program Static Shifter-X
3. Inversi 2-dimensi: melakukan inversi 2-dimensi menggunakan program WinGlink

Setelah diperoleh keluaran dari pengolahan data magnetotellurik berupa model inversi 2-dimensi lalu tahap selanjutnya adalah menganalisis model dengan memasukkan data penunjang berupa data geologi, data geokimia, dan data gravitasi. Hasil akhir yang dicapai adalah pembuatan konseptual model dari

sistem panasbumi Marana menggunakan program Geoslicer-X. Diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.3 di bawah ini.



## 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan yang dijelaskan dari Bab 1 hingga Bab 6. Setiap bab menjelaskan hal sebagai berikut.

### 1. Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakan penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, dan juga metodologi penelitian. Bab 1

secara umum menjelaskan bagaimana proses penelitian dikerjakan hingga didapatkan kesimpulan.

## 2. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab 2 menjelaskan studi literatur mengenai konsep dasar yang berhubungan dengan penelitian ini yaitu konsep dasar sistem panasbumi, metode MT, dan pengolahan data MT.

## 3. Bab 3 Tinjauan Daerah Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang daerah penelitian dari data-data yang telah dikumpulkan sebelumnya. Data-data tersebut adalah data geologi, geokimia, gravitasi, dan data sumur landaian suhu..

## 4. Bab 4 Pengolahan Data

Bab ini menjelaskan tahap-tahap pengolahan data yang dilakukan meliputi lingkup kerja, alur pengolahan data, pre-processing yang terdiri atas 3 tahap pengolahan, lalu koreksi static shift, dan inversi 2-dimensi.

## 5. Bab 5 Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan ditampilkan hasil-hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan berikut dengan pembahasannya. Macam-macam hasil yang diperoleh adalah kurva hasil pre-processing, kurva hasil koreksi Static Shift, penampang line Hasil inversi 2-dimensi, dan akhirnya didapatkan suatu koseptual model dari data MT Marana yang pembahasannya mengikutsertakan data-data pendukung pada bab 3.

## 6. Bab 6 Kesimpulan dan Saran

Akhir dari penelitian adalah adanya suatu kesimpulan yang diperoleh dan akan ditampilkan pada bab ini berikut dengan saran.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Panasbumi**

Pembentukan sumber panasbumi berasal dari dapur magma yang berada di bawah permukaan bumi. Panas yang berasal dari magma ini akan mengalir ke batuan disekitarnya melalui proses konduksi maupun konveksi dengan bantuan air. Struktur seperti rekahan maupun patahan yang terdapat di permukaan membuat air dapat masuk ke dalam pori-pori batuan. Air ini lalu menembus ke bawah maupun ke samping selama ada celah untuk air dapat mengalir. Ketika air sampai ke sumber panas (*heat source*) maka temperatur air akan meningkat. Jika temperatur yang diterima oleh air tinggi, sebagian air akan menguap sedangkan sebagiannya lagi akan tetap menjadi air. Fluida panas ini mentransfer panas ke batuan disekitarnya dengan proses konveksi hingga tercapai kesetaraan temperatur. Jika temperatur terus meningkat maka akan mengakibatkan bertambahnya volume dan juga tekanan. Fluida panas akan menekan batuan disekitarnya untuk mencari celah atau jalan keluar dan melepaskan tekanan. Karena tekanan di permukaan lebih rendah daripada tekanan di bawah permukaan maka fluida akan bergerak ke atas.

Ketika terdapat celah untuk sebagian fluida keluar ke permukaan, maka fluida tersebut akan keluar sebagai manifestasi permukaan. Jika yang keluar berupa uap, maka disebut sebagai fumarol. Jika yang keluar adalah air panas maka disebut sebagai hot spring, dan sebagainya. Adanya manifestasi permukaan ini dapat menjadi petunjuk adanya panasbumi di bawah permukaan di sekitar lokasi tersebut.

Sebagian fluida lagi yang terperangkap dibawah batuan impermeable akan mengalami proses akumulasi panas. Lokasi dimana terjadi akumulasi panas disebut sebagai reservoir. Proses akumulasi panas mengakibatkan batuan impermeable di atasnya mengalami perubahan struktur dan sifat batuan. Batuan yang mengalami perubahan ini disebut batuan alterasi yang dalam sistem panasbumi berfungsi sebagai clay cap atau batuan penudung untuk menjaga

proses akumulasi panas di reservoir. Berdasarkan proses di atas, Goff & Janik (2000) menyimpulkan bahwa sistem geotermal terdiri atas tiga elemen penting: (1) batuan reservoir yang bersifat permeable, (2) air untuk menghantarkan panas dari reservoir menuju permukaan, dan (3) sumber panas.

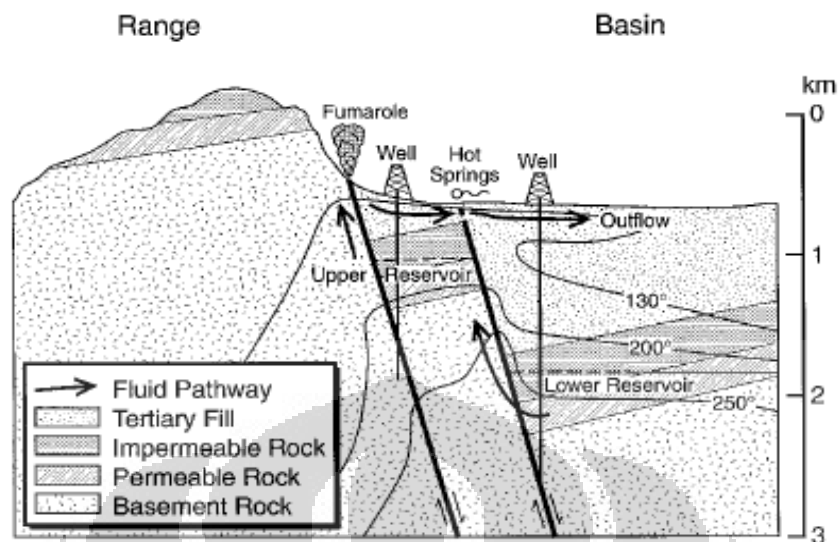
Secara garis besar, Marini (2001) mengelompokkan model geologi daerah panasbumi di dunia menjadi dua, yaitu:

1. Sistem magmatik vulkanik aktif
2. Sistem magmatik non-vulkanik aktif

Sistem magmatik vulkanik aktif yang bertemperatur tinggi umumnya terdapat di sekitar pertemuan antara lempeng samudra dan benua. Posisi Indonesia yang terletak di antara lempeng Eurasia dan Indo-Australia menyebabkan Indonesia memiliki potensi panasbumi yang cukup besar. Sedangkan sistem magmatik non-vulkanik aktif memiliki sumber panas yang salah satunya berasal dari intrusi batuan granit yang sudah lama namun masih menghasilkan panas karena adanya proses radioaktif yang masih berlangsung.

Berdasarkan kriteria geologi, geofisika, hidrologi, dan engineering, Goff & Janik (2000) membagi sistem panasbumi menjadi 5 tipe dasar. Kelima sistem panasbumi tersebut adalah sebagai berikut.

1. *Young igneous system* berhubungan dengan *quaternary volcanism* dan intrusi magma. Sekitar 95% dari aktifitas vulkanik terjadi sepanjang batas lempeng dan di hot spot. Sistem panasbumi ini umumnya yang paling panas ( $\leq 370^{\circ}\text{C}$ ) dengan kedalaman reservoir  $\leq 1,5$  km, walaupun ada beberapa yang lebih dalam.
2. *Tectonic system* berhubungan dengan adanya pergerakan lempeng. Sistem ini terdapat di lingkungan *backarc*, daerah rekahan, zona subduksi, dan sepanjang zona patahan. Sistem tektonik biasanya memiliki temperature reservoir  $\leq 250^{\circ}\text{C}$  dan terdapat pada kedalaman  $\geq 1,5$  km.



Gambar 2.1 Model tectonic system (Goff & Janik, 2000)

3. *Geopressure System* ditemukan di *sedimentary basin* dimana terbentuk *subsidence* dan reservoirnya disebut sebagai “*overpressured*” *reservoirs*. Sistem *geopressure* seringkali membutuhkan pengeboran yang lebih dalam dari pada *young igneous sytem* dan *tectonic system*. Kedalamannya 1,5 hingga 3 km dan temperaturnya 50 hingga 190°C.
4. *Hot dry rock system* mengandung panas yang tersimpan di porositas rendah atau batuan impermeable pada kedalaman dan temperatur yang bervariasi. Air dari permukaan di pompa turun melalui sumur injeksi hingga ke patahan dan keluar melalui sumur produksi. Temperature pada reservoir 120 – 225°C dengan kedalaman 2 – 4 km.
5. *Magma tap system* melibatkan pengeboran di *shallow magma bodies*, menerapkan pertukaran panas, dan sirkulasi fluida yang mana temperatur magma  $\leq 1200^{\circ}\text{C}$ .

Sedangkan berdasarkan fase fluida di dalam reservoir, sistem panasbumi terbagi menjadi 2:

1. *Single Phase System*

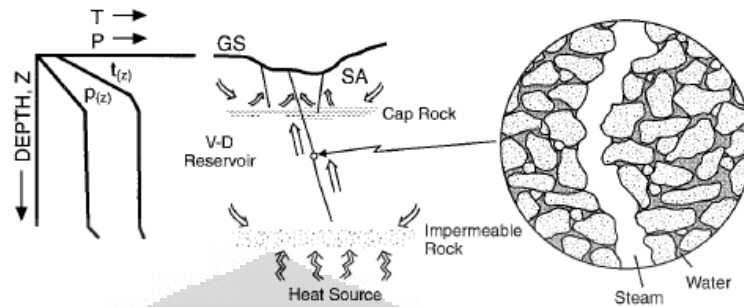
Reservoir mengandung air panas dengan temperatur sekitar 90°C hingga 180°C dan tidak ada pendidihan yang terjadi di reservoir. Reservoir pada sistem ini termasuk sistem panasbumi bertemperatur rendah. Jika reservoir ini dibor, maka yang keluar dari sumur produksi berupa air karena tekanannya masih sangat tinggi.



## 2. Two Phase System

Two phase system terbagi menjadi 2, yaitu:

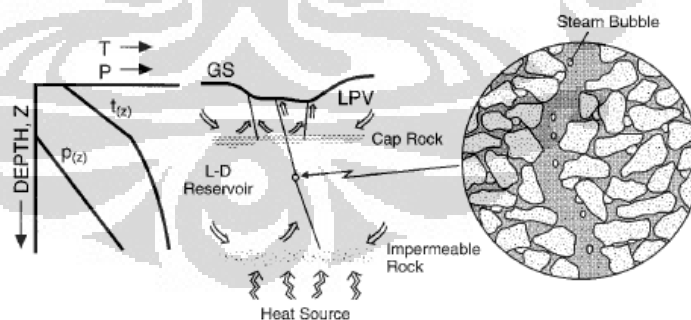
### a. Vapour Dominated System



Gambar 2.2. Kondisi model skematik dari Vapour Dominated System (Goff & Janik, 2000)

Merupakan sistem tertutup dimana sangat sedikit *rechargeable water* (air bisa meresap namun sangat lama akibat permeabilitas lapisan batuan yang sangat rendah). Air yang masuk berputar-putar di reservoir dan tidak ada *outflow* sehingga mengakibatkan adanya arus konveksi. Hal ini lama-kelamaan akan mengakibatkan batuan di reservoir menjadi homogen dan temperature maupun tekanan fluida menjadi relatif konstan. Fluida di reservoir yang didominasi oleh uap akibat temperatur dan tekanan yang sangat tinggi, menghasilkan manifestasi berupa fumarol dan *acid hot spring*.

### b. Water Dominated System



Gambar 2.3 Kondisi model skematik Water Dominated System (Goff & Janik, 2000)

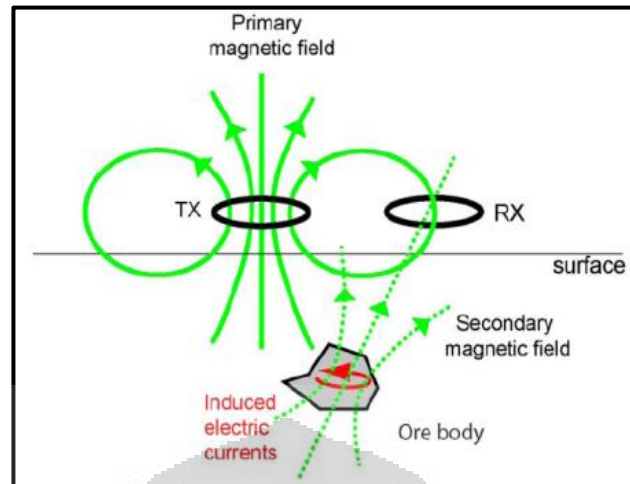
Merupakan sistem terbuka yang mana terdapat *rechargeable water*. Reservoir mengandung air dan uap namun lebih didominasi oleh air. Pada sistem ini terdapat *outflow* sehingga jenis manifestasinya lebih beragam. Adanya *outflow* dan *rechargeable water* membuat energi terlepas sebagian sehingga temperatur dan tekanan di reservoir berubah seiring dengan kedalamannya.

Semakin dalam kedalamannya maka semakin tinggi tekanannya (*hydrostatic pressure system*). Sedangkan temperatur di reservoir memiliki gradient panasbumi yang sangat kecil. Di atas reservoir terjadi arus konduksi sama seperti pada sistem *vapour dominated*.

## 2.2 Metode Magnetotellurik

Metode Magnetotelluric (MT) merupakan salah satu metode geofisika yang dinilai paling baik digunakan dalam eksplorasi panasbumi karena kemampuannya untuk memetakan nilai resistivitas batuan di sistem panasbumi (Oskooi, 2005). Metode MT adalah metode elektromagnetik pasif yang melibatkan pengukuran fluktuasi medan listrik dan medan magnet alami yang saling tegak lurus di permukaan bumi yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas batuan di bawah permukaan bumi dari kedalaman beberapa meter hingga ratusan kilometer (Simpson & Bahr, 2005). Cakupan nilai frekuensi dari medan elektromagnetik alami yang terekam adalah 300 – 0,001 Hz (Daud, 2011).

Konsep gelombang elektromagnetik yang mendasari metode MT dapat diwakili oleh Gambar 2.4. Medan elektromagnetik alami (medan elektromagnetik primer) sebagai sumber metode MT sampai ke Bumi dengan memiliki variasi terhadap waktu. Medan elektromagnetik tersebut menginduksi *ore body* di bawah permukaan Bumi sehingga timbul *eddy current* (arus telluric) yang *men-generate* medan elektromagnetik sekunder. Lalu receiver (RX) yang berada di permukaan menangkap total medan elektromagnetik sebagai penjumlahan dari medan elektromagnetik primer dan medan elektromagnetik sekunder (Daud, 2011).



Gambar 2.4 Konsep gelombang elektromagnetik (Daud, 2011)

Bumi memiliki medan magnet yang konstan, namun yang dibutuhkan dalam metode MT bukanlah medan magnet yang konstan, melainkan medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, karena medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu dapat mengenerate medan listrik. Variasi medan elektromagnet dapat berasal dari petir ataupun interaksi dari *solar wind* dengan lapisan magnetosphere Bumi (Newman et al, 2005). Medan elektromagnetik dengan frekuensi lebih dari 1 Hz berasal dari aktivitas meteorologi seperti *lightening discharge* (cahaya petir). Signal petir oleh cahaya dikenal sebagai *sferics* dan mencakup rentang frekuensi elektromagnetik. Sferic menjalar dalam *waveguide* sebagai gelombang listrik transversal (TE), magnetic transversal (TM), atau gelombang listrik dan magnetic transversal (TEM). Sedangkan interaksi antara *solar wind* dengan lapisan Magnetosphere dan Ionosphere Bumi menghasilkan gelombang electromagnet dengan frekuensi kurang dari 1 Hz. *Solar wind* adalah suatu aliran yang kontinu dari plasma, memancarkan sebagian besar proton dan electron dari Matahari. Pada saat *solar wind* mengenai medan magnet terrestrial pada magnetopause, proton dan elektron akan berdefleksi ke arah yang berlawanan sehingga menimbulkan medan listrik (Simpson & Bahr, 2005).



Gambar 2.5 Sumber gelombang MT (Daud, 2011)

Respon medan elektromagnetik pada batuan di bawah permukaan pada kedalaman yang dalam dapat diperoleh dengan menaikkan periode sounding elektromagnetik. Prinsip ini sesuai dengan persamaan *electromagnetic skin depth* yang menggambarkan kedalaman penetrasi gelombang elektromagnetik ketika berdifusi ke dalam suatu medium:

$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho_a}{f}} \text{ (m)} \quad (2.1)$$

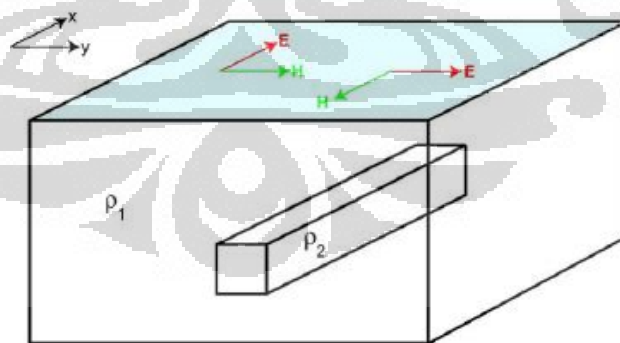
dimana  $\delta$  adalah *electromagnetic skin depth*,  $T$  adalah periode, dan  $\rho_a$  adalah *apparent resistivity*. Persamaan diatas menunjukkan bahwa *skin depth* tidak hanya bergantung pada nilai resistivitas batuan di bawah permukaan, tapi juga bergantung pada periode atau frekuensi alat yang digunakan. Semakin tinggi frekuensi alat yang digunakan maka akan semakin dangkal penetrasinya. Sebaliknya, semakin rendah frekuensi alat yang digunakan, semakin dalam pula penetrasi yang didapatkan.

Medan elektromagnet yang menginduksi Bumi secara alami dan digunakan untuk penelitian MT memiliki rentang periode dari  $10^{-3}$  hingga  $10^5$  s. Jika diasumsikan resistivitas rata-rata batuan di kerak dan mantle Bumi adalah  $100 \Omega\text{m}$ , maka dengan persamaan di atas didapatkan penetrasi gelombang elektromagnetik mampu mencapai  $\sim 160$  m hingga  $>500$  km. Inilah keuntungan menggunakan metode MT dibandingkan metode elektromagnetik yang lainnya (Simpson & Bahr, 2005).

Parameter yang diukur pada saat akuisisi MT adalah medan listrik dan medan magnetik bumi yang bervariasi terhadap waktu. Pada gelombang elektromagnetik, medan listrik dan medan magnet selalu tegak lurus satu sama lain dan gelombang EM mencapai Bumi dalam bentuk gelombang planar/bidang. Rasio dari kuat medan listrik dan kuat medan magnet dapat didefinisikan sebagai impedansi gelombang ( $Z$ ) dari suatu medium. Hal ini menunjukkan untuk penjalaran gelombang planar, rasio tersebut hanya bergantung pada karakteristik listrik di suatu medium dan frekuensi gelombangnya. Secara dimensional, impedansi gelombang diekspresikan dalam ohm.

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = \frac{-i\mu\omega}{\gamma} \frac{Ae^{yz} + Be^{-yz}}{Ae^{yz} - Be^{-yz}} \quad (2.2)$$

Untuk merekam gelombang elektromagnetik tersebut maka digunakan dua sensor pada saat akuisisi, yaitu sensor elektrik dan sensor magnetik yang saling tegak lurus. Cara peletakan sensor elektrik dan sensor magnetik menghasilkan 2 jenis modus pengukuran. Yang pertama adalah Transverse Electric Mode (TE) dimana komponen medan listrik searah dengan arah strike (arah  $x$ ) dan komponen medan magnet berada pada bidang  $y$ - $z$ . Yang kedua adalah Transverse Magnetic Mode (TM) dimana komponen medan magnet searah dengan arah strike (arah  $x$ ) dan komponen medan listrik berada pada bidang  $y$ - $z$ .



Gambar 2.6 Penjalaran Gelombang EM di Bumi (Unsworth, 2008)

Penjalaran gelombang elektromagnetik di bumi dapat dijelaskan seperti pada gambar 2.6 di atas dimana anggapan awal adalah struktur sejajar dengan

sumbu x. Kedua jenis modus (TE dan TM) dapat dijelaskan dari persamaan Maxwell berikut ini.

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu\sigma\mathbf{E} \quad \text{dan} \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.3)$$

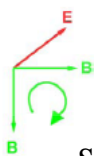
Komponen di atas dapat dituliskan menjadi persamaan-persamaan berikut ini.

$$\begin{array}{lll} \frac{\partial B_x}{\partial y} - \frac{\partial B_y}{\partial z} = \mu\sigma E_x; & \frac{\partial B_x}{\partial z} - \frac{\partial B_z}{\partial x} = \mu\sigma E_y; & \frac{\partial B_y}{\partial x} - \frac{\partial B_x}{\partial y} = \mu\sigma E_z; \\ \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -i\omega B_x; & \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -i\omega B_y; & \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -i\omega B_z; \end{array}$$

Pada struktur resistivity yang terlihat pada gambar 2.5, tidak ada variasi resistivitas pada sumbu x sehingga  $\frac{\partial}{\partial x} = 0$ . Maka persamaan di atas menjadi:

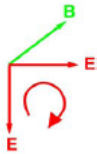
$$\begin{array}{lll} \frac{\partial B_x}{\partial y} - \frac{\partial B_y}{\partial z} = \mu\sigma E_x; & \frac{\partial B_x}{\partial z} = \mu\sigma E_y; & -\frac{\partial B_x}{\partial y} = \mu\sigma E_z; \\ \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -i\omega B_x; & \frac{\partial E_x}{\partial z} = -i\omega B_y; & -\frac{\partial E_x}{\partial y} = -i\omega B_z; \end{array}$$

Persamaan-persamaan di atas dapat dipisahkan menjadi dua subjek yang *independent*. Subjek pertama adalah  $E_x$ ,  $B_y$ , dan  $B_z$  yang mana medan listrik terpolarisasi sejajar dengan arah struktur ( $E_x$ ) sedangkan komponen medan magnet berada pada bidang y-z ( $B_y$  dan  $B_z$ ). Subjek pertama ini disebut sebagai Transverse Electric Mode (TE) dengan gambar dan persamaan yang telah diturunkan sebagai berikut.



$$\frac{\partial^2 E_x(y,z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x(y,z)}{\partial z^2} = i\omega\sigma E_x(y,z) \quad (2.4)$$

Subjek kedua adalah  $B_x$ ,  $E_y$ , dan  $E_z$  yang mana medan magnet terpolarisasi sejajar dengan arah struktur ( $B_x$ ) sedangkan komponen medan listrik berada pada bidang y-z ( $E_y$  dan  $E_z$ ). Subjek pertama ini disebut sebagai Transverse Magnetic Mode (TM) dengan gambar dan persamaan yang telah diturunkan sebagai berikut (Unsworth,2008).



$$\frac{\partial^2 B_x(y,z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 B_x(y,z)}{\partial z^2} = i\omega\sigma B_x(y,z) \quad (2.5)$$

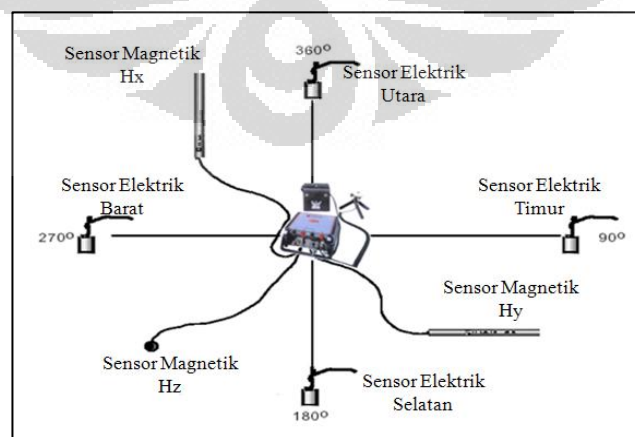
Parameter yang dianalisa adalah *apparent resistivity* dan phase. Persamaan *apparent resistivity* didasari oleh nilai impedansi gelombang. Dan karena terdapat dua modus pengukuran maka terdapat dua nilai *apparent resistivity* juga yaitu  $\rho_{xy}$  (TE) dan  $\rho_{yx}$  (TM).

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad \rho_{yx} = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2$$

$$\phi_{xy} = \tan^{-1} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad \phi_{yx} = \tan^{-1} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2$$

### 2.3 Akuisisi Magnetotelluric (MT)

Dalam pengukuran MT, peletakan alat-alatnya harus sesuai dengan prosedur standard seperti pada Gambar 2.7. Alat utama di sini adalah MT unit yang terletak di tengah-tengah. Sensor elektrik berjumlah 5 buah. Satu di masing-masing arah utara, timur, selatan, dan barat, dan satu lagi berada di tengah-tengah keempatnya. Sensor magnetik berjumlah 3 buah, satu diletakkan sejajar sumbu x, satu diletakkan sejajar dengan sumbu y, dan satu lagi dikubur dalam arah vertikal. Alat lainnya yang digunakan adalah kabel untuk menghubungkan MT unit dengan sensor elektrik maupun magnetik, dan power supply untuk menghidupkan alat MT unit.



Gambar 2.7 Konfigurasi alat ketika pengukuran MT

Alat utama yang digunakan adalah MT unit. Alat inilah yang akan membaca besarnya nilai medan listrik maupun medan magnet yang terekam di sensor elektrik dan magnetik. MT unit akan bekerja merekam data dalam waktu yang lama. Karena semakin lama waktu perekaman, semakin rendah frekuensi yang diperoleh, semakin dalam pula penetrasinya yang didapatkan. Oleh sebab itu dibutuhkan power supply yang mampu menghidupkannya dalam selang waktu yang diinginkan.

Umumnya sensor elektrik yang berada di arah utara, timur, selatan, dan barat berjarak 50 m dari MT unit. Sensor elektrik yang berada di utara dan selatan merupakan sensor Ex. Sedangkan sensor elektrik yang terletak di barat dan timur merupakan sensor Ey. Salah satu jenis sensor elektrik adalah *porous pot*. Pemasangan *porous pot* merupakan hal yang penting karena pemasangan yang baik menghasilkan pengukuran medan listrik yang baik pula. *Porous pot* ditanam minimal kedalaman 50 cm. Isi dari *porous pot* adalah campuran dari air, garam, dan bentonit yang berfungsi untuk menangkap arus listrik dari dalam tanah. Kemiringan pada saat peletakan porous pot tidak boleh lebih besar dari 30°

Sensor magnetik yang biasa digunakan adalah *induction coil* dan *fluxgate magnetometers*. *Induction coil* dapat merespon fluktuasi medan magnet dengan periode antara 0,001 s hingga 3600 s. Sedangkan *fluxgate magnetometers* dapat merespon fluktuasi medan magnet pada selang periode 10 s hingga 100.000 s (Simpson & Bahr, 2005). Sensor magnetik ini diletakkan pada jarak sekitar 6-8 m dari MT unit. Sensor magnetik yang digunakan untuk mengukur medan magnet di sumbu x (Hx) harus diletakkan sejajar dengan arah utara-selatan dengan arah arus dari selatan ke utara. Sensor magnetik yang digunakan untuk mengukur medan magnet di sumbu y harus diletakkan sejajar dengan arah timur-barat dengan arah arus dari barat ke timur (Hy). Sedangkan untuk mengukur medan magnet di sumbu z (Hz) maka Sensor magnetik tersebut dikubur dalam arah vertikal. Peletakan sensor magnetik juga sangat penting agar dapat menangkap medan magnet bumi dengan baik. Kedua Sensor magnetik (Hx dan Hy) yang digunakan harus diletakkan pada kuadran yang berbeda. Sensor magnetik juga dikubur lebih kurang setengah meter agar stabil dan peletakannya harus rata menggunakan



water level. Kegunaan dari penanaman sensor magnetik ini adalah agar posisinya tetap, tidak ada getaran yang bisa mengakibatkan fluks magnetik, dan agar temperaturnya tidak berubah secara drastis jika temperatur udara saat pengukuran berubah.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, peletakan sensor elektrik dan sensor magnetik yang saling tegak lurus menghasilkan 2 jenis mode pengukuran. Yang pertama adalah model TM mode dimana komponen medan magnet searah dengan arah strike dan komponen medan listrik berada pada bidang y-z. Model akuisisi yang kedua adalah TM mode dimana komponen medan listrik searah dengan arah strike dan komponen medan magnet berada pada bidang y-z. Kedua jenis mode ini terukur bersamaan saat akuisisi.

## 2.4 Pengolahan Data MT

Teori yang digunakan pada proses pengolahan data MT diantaranya adalah Fourier transform untuk mengubah data time domain menjadi frequency domain, robust processing yang dapat berguna sebagai filter noise awal, metode *Averaging* mengoreksi static hift, dan metode NLCG untuk melakukan inversi 2-dimensi.

### 2.4.1 *Fourier Transform*

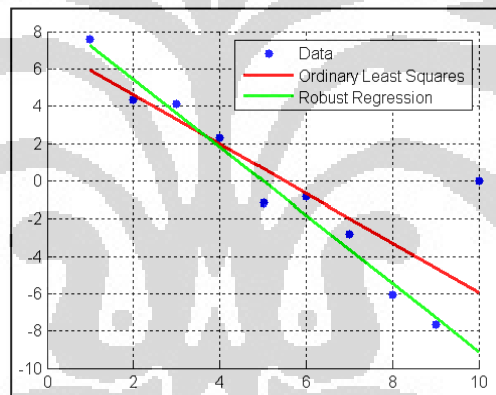
Fourier transform merupakan suatu fungsi yang dapat mengubah signal dari time-series menjadi frequency domain. Fourier transform hanya dapat digunakan untuk space atau time-series yang merupakan fungsi kontinu (Simpson & Bahr, 2005). Berikut ini adalah fungsi dari Fourier transform dengan  $x(\omega)$  adalah fungsi gelombang dalam frequency domain,  $x(t)$  adalah fungsi gelombang dalam time domain,  $i$  adalah bilangan imajiner,  $\omega = 2\pi f$  adalah frekuensi angular, dan  $t$  adalah waktu.

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{i\omega t} dt \quad (2.6)$$

### 2.4.2 Robust Processing

*Robust processing* adalah teknik pemrosesan statistical yang menggunakan bobot iterative dari residual untuk mengidentifikasi dan menghapus data yang menyimpang oleh noise non-Gaussian. *Robust processing* menggunakan beberapa pengukuran dari departure suatu kontribusi individual dari rata-rata untuk merendahkan bobot *outliers* pada iterasi selanjutnya (Simpson & Bahr, 2005). Outlier adalah data dengan nilai yang menyimpang jauh dari nilai rata-rata, umumnya data tersebut dapat dianggap sebagai noise sehingga robust processing dapat berperan sebagai filter noise awal bagi data MT.

*Robust processing* berbeda dengan *least-square* karena dalam proses *least-square*, nilai dari outlier tetap diperhitungkan sehingga outlier tersebut dapat mempengaruhi semua data. Dari Gambar 2.8 dapat dilihat perbedaan hasil dari *robust processing* dan *least-square processing*.



Gambar 2.8 Perbedaan hasil robust processing dan least-square processing (Daud,2012)

### 2.4.3 Koreksi *Static Shift*

Idealnya, kurva TE dan TM berhimpitan. Namun pada kebanyakan kasus, kedua kurva tersebut tidak berhimpitan atau disebut juga *shifting*. Jika kurva MT tersebut ter-*shifting* ke atas ataupun ke bawah dari yang seharusnya maka nilai resistivitas batuan di bawah permukaan menjadi tidak tepat. Hal ini berdampak pada saat melakukan interpretasi karena jika nilai resistivitas lapisan batumannya salah maka interpretasinya pun dapat menjadi salah. Oleh sebab itu, koreksi *static shift* sangat penting dilakukan agar kurva MT yang dihasilkan benar, begitu juga dengan hasil interpretasinya.

Fenomena *static shift* dapat terjadi karena adanya heterogenitas permukaan, efek topografi, dan kontak vertikal. Heterogenitas permukaan dapat terjadi karena adanya lapisan yang tidak homogen di bawah permukaan yang dapat menyebabkan arah medan listrik terakumulasi pada batas heterogenitas tersebut. Dampaknya adalah medan listrik yang dihasilkan dari batas resistivitas akan mengurangi pengukuran medan listrik sehingga membuat nilai impedansi yang diukur berkurang dan menurunkan nilai resistivitas semu dari bagian resistif. Selain itu, pada bagian dimana medan listriknya resistif akan diperkuat sehingga bagian resistif tersebut menjadi semakin resistif. Hal ini mengakibatkan efek heterogenitas permukaan akan mempengaruhi semua frekuensi pada titik-titik pengukuran. Dampaknya adalah pengukuran MT akan tergeser ke atas jika melewati lapisan yang resistif dan sebaliknya akan tergeser ke bawah jika melewati lapisan konduktif.

Perbedaan topografi yang mencolok juga mengakibatkan terjadinya *static shift*. Perbedaan topografi akan menghasilkan medan listrik paling rendah berada di puncak dan paling tinggi berada di lembah sehingga resistivitas terendah yang terukur berada di puncak dan resistivitas tertinggi yang terukur berada di lembah. Semakin besar perbedaan ketinggian antara puncak dan lembah maka semakin besar pula pergeseran static yang terjadi.

Sedangkan kontak vertikal adalah kondisi dimana dua buah formasi batuan yang memiliki nilai resistivitas yang kontras dan saling kontak satu sama lain secara vertikal. Pada bagian yang lebih resistif, kurva TM akan berada di atas kurva TE, sebaliknya pada bagian yang kurang resistif maka kurva TM berada di bawah kurva TE. Pada kasus ini, *static shift* tersebut tidak terjadi pada periode rendah, namun terjadi pada periode tinggi. *Static shift* akan terjadi pada semua periode jika stasiun pengukuran terletak tepat pada kontak vertikal.

Teknik yang digunakan untuk melakukan koreksi static shift pada penelitian ini adalah teknik Averaging, yaitu merata-ratakan beberapa stasiun pengukuran (pada periode yang sama) disekitar stasiun yang mengalami pergeseran static. Hasil dari nilai perata-rataan dijadikan nilai yang merepresentasikan keadaan homogen pada suatu area sehingga dijadikan sebagai dasar untuk mengkoreksi data MT tersebut.

Setelah didapatkan nilai perata-rataan maka data yang mengalami pergeseran static digeser menuju kurva perata-rataan tersebut. Perumusan yang digunakan adalah

$$y_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad k = 1, \dots, m \quad m = \text{periode ke} - m \quad (2.7)$$

dengan  $y_k$  adalah rata-rata resistivitas dan  $k$  adalah nilai pada periode tertentu (Sulistyo, 2010).

#### 2.4.4 Inversi 2-Dimensi

Inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk memperoleh distribusi sifat fisis bawah permukaan. Analisis terhadap data lapangan dilakukan dengan cara melakukan pencocokan kurva antara model matematika dengan data lapangan (Suparno, 2007).

Pada penelitian ini digunakan metode inversi Nonlinear Conjugate Gradient (NLCG). Metode NLCG mampu memperkecil suatu fungsi objek yang terdapat pada data residual dan *second spatial derivatives* dari resistivitas. Metode NLCG dapat secara langsung meminimalisasi problem yang bukan kuadratik, membebaskan kerangka iterasi, dan inversi linear (Rody & Mackie, 2001).

Metode NLCG mengevaluasi fungsi forward untuk setiap model terbaru. Oleh karena itu, masing-masing tahap pencarian lintasan menyelesaikan dua atau tiga problem forward (Siripunvaraporn, 2012).

## **BAB 3**

### **TINJAUAN DAERAH PENELITIAN**

#### **3.1 Geologi**

Marana berada di kabupaten Donggala, Propinsi Sulawesi tengah, dimana daerah ini dilalui oleh sesar besar Palu-Koro berarah barat-laut-tenggara yang merupakan hasil aktivitas tektonik dari pertemuan antara Lempeng Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia

##### **3.1.1 Geomorfologi**

Bentuk geomorfologi dari daerah penelitian Marana, Sulawesi Tengah, terdiri atas perbukitan tajam, perbukitan bergelombang sedang-lemah, hingga pedataran. Secara umum bentuk topografi cenderung melandai ke arah pantai, berikut ini adalah penjelasannya.

###### **1. Satuan morfologi perbukitan terjal**

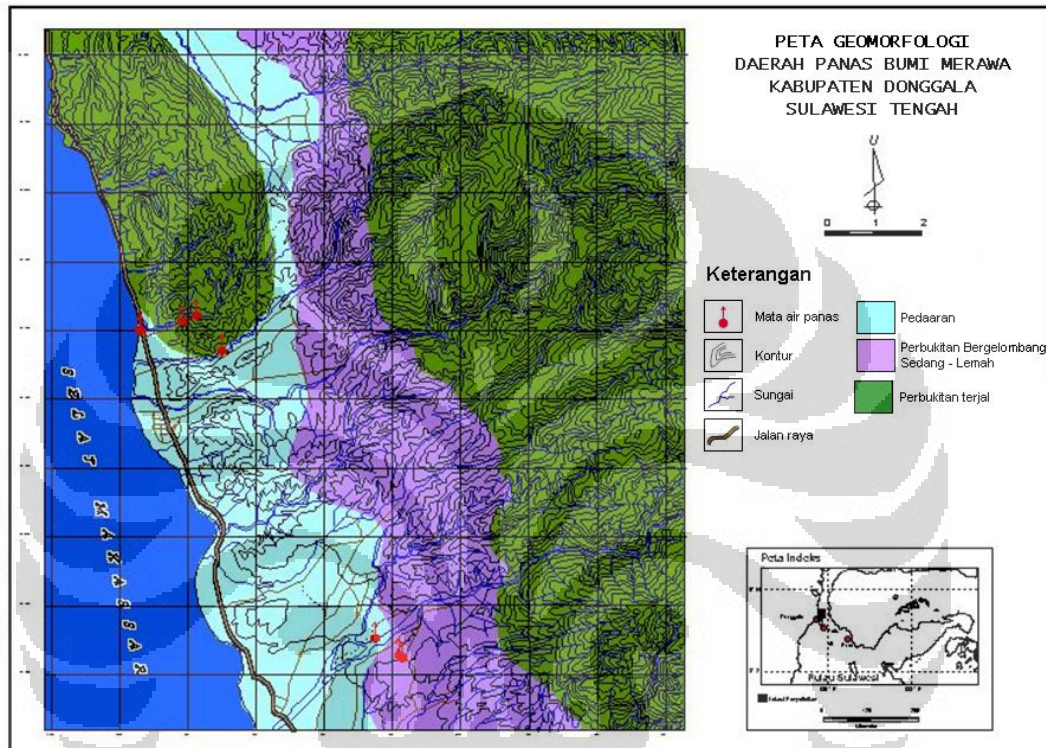
Satuan morfologi perbukitan terjal berada di sebelah timur daerah penelitian. Ketinggian dari satuan morfologi ini berkisar dari 600 hingga 1500 meter dari permukaan air laut. Puncak-puncak pada daerah perbukitan terjal tersusun secara berderetan membentuk suatu kelurusan yang berarah dari utara hingga ke selatan. Deretan perbukitan terjal ini merupakan terobosan granit yang pada bagian utara membentuk Gunung Dama, Gunung Rue, Gunung Topaso, dan Gunung Sarorange. Sedangkan di bagian tengah hingga ke selatan, puncak-puncak terjal dan tinggi ini didominasi oleh batuan granit yang membentuk Gunung Tosimbere, Gunung Sikulinti, Gunung Pabo, dan Gunung Sesere.

###### **2. Satuan morfologi perbukitan bergelombang sedang-lemah**

Satuan morfologi perbukitan sedang-lemah berada di tengah ke arah selatan hingga barat (pantai) dari daerah penelitian. Ketinggian dari satuan morfologi ini berkisar antara 200 - 500 meter dari permukaan air laut. Puncak-puncak dari perbukitan bergelombang sedang-lemah juga membentuk suatu kelurusan yang terdiri atas Gunung Tamarembu, Gunung Tuampana, Gunung Simangguti, dan Gunung Maliko.

### 3. Satuan morfologi pedataran

Satuan morfologi pedataran dapat ditemukan di sepanjang pantai barat bagian selatan, mulai dari kota Palu hingga ke utara daerah penelitian. Daerah pedataran ini terbentuk di sepanjang lembah graben Palu dan merupakan bagian dari muara sungai utama pantai barat yang bermuara ke selat makasar.



Gambar 3.1 Peta geomorfologi Daerah Marana (PSDGM, 2004)

#### 3.1.2 Stratigrafi

Stratigrafi atau batuan penyusun di daerah panasbumi Marana, Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah, berdasarkan batuan yang tersingkap dapat dibagi menjadi 6 jenis batuan:

##### 1. Batuan Sekis Hijau (RS)

Batuan sekis hijau termasuk golongan batuan metamorf yang merupakan batuan tertua yang berperan sebagai basement. Batuan sekis hijau ini berumur trias dan tersebar di sebelah timur laut daerah penelitian.

## 2. Batuan Granit Geneis (TRg)

Batuan granit geneis diperkirakan merupakan bagian dari tubuh intrusi tua granitoid regional. Batuan ini juga berumur trias.

## 3. Batuan Granit (Tg)

Batuan granit tersebar di bagian utara hingga ke barat laut dari daerah penelitian. Satuan batuan granit-granodiorit merupakan jenis batuan beku dalam (pluton) yang dominan mengandung kalium feldspar tinggi. Hasil *Fision track Dating* menunjukkan adanya terobosan baru berupa gang yang berbutir sedang-halus berupa andesit yang membentuk singkapan berumur  $\pm 200$  ribu tahun dari hasil analisis *Fision Track* (Bakrun et al., 2005). Batuan granit ini mengintrusi batuan metamorf sehingga menghasilkan intrusi besar secara regional yang diperkirakan mencakup seluruh daratan Pulau Sulawesi. Batuan granit berumur tersier.

## 4. Batuan Sedimen (QTs)

Batuan sedimen tersebar di bagian barat hingga selatan membentuk bukit-bukit rendah dan pedataran hingga mendekati pantai. Kontak penyebaran dari batuan sedimen pada bagian timur adalah batuan tua seperti sekis hijau dan geneis, sedangkan pada bagian utara berkontak langsung dengan batuan granit. Umur batuan sedimen ini adalah tersier akhir.

## 5. Batuan Gamping (Gp)

Batuan gamping terdapat di barat laut membentuk bukit-bukit terjal yang berada dekat dengan laut. Batuan gamping berkontak langsung dengan batuan granit. Batuan gamping berumur kuartar awal.

## 6. Aluvium (Qal)

Aluvium berada di dataran rendah dari bagian barat hingga ke arah selatan dari daerah penelitian. Aluvium dapat dijumpai di sepanjang aliran sungai dan anak sungai yang alirannya bermuara ke sungai utama Kaili. Umur dari alluvium ini adalah kuartar akhir (Putra, 2006).







menghasilkan struktur sesar yang kompleks mulai dari selatan hingga ke utara maupun ke bagian timur dan tenggara pulau Sulawesi.

Indikasi adanya suatu sesar dapat diketahui dari munculnya suatu manifestasi permukaan dari panasbumi yang keluar dari dalam bumi melalui sesar tersebut. Berdasarkan bukti data fisik yang terekam di lapangan, ada sekitar 8 struktur sesar yang berfungsi sebagai struktur pengontrol panasbumi di Marana. Sesar utama yang melewati daerah penelitian ini adalah sesar Palu-Koro yang berarah baratlaut-tenggara, yang merupakan dinding depresi sebagai lanjutan dari graben Palu (PSDGM, 2004) selain itu terdapat juga sesar-sesar yang berarah timurlaut-baratdaya.

Delapan struktur sesar yang ditemukan diantaranya adalah sebagai berikut.

- |                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| 1. Sesar Kaili  | 5. Sesar Masaingi |
| 2. Sesar Boi    | 6. Sesar Toaya    |
| 3. Sesar Marana | 7. Sesar Saloya   |
| 4. Sesar Maliko | 8. Sesar Tibo     |

## **3.2. Geokimia**

### **3.2.1 Manifestasi Permukaan**

Gejala panasbumi yang teridentifikasi di permukaan di daerah Marana berlatar belakang tubuh terobosan batuan granit, granodiorit maupun batuan metamorf serta struktur geologi sebagai kontrol pemunculan panasbumi di daerah ini. Manifestasi berupa rembesan mata air panas melalui batuan sedimen yang menopang di tubuh batuan granit tidak memperlihatkan adanya ubahan hidrotermal. Jenis manifestasi panasbumi berupa rembesan mata air panas dikelompokkan menjadi 6 dengan lokasi sebagai berikut (Bakrun et al.,2005):

1. Masaingi, Desa Masaingi
2. Marana I, Desa Masaingi
3. Marana II, Desa Masaingi
4. Marana III, Desa Masaingi

5. Mapane, Desa Wani
6. Buayana, Desa Wani

Empat dari gejala kenampakan manifestasi berupa rembesan mata air panas akan dijelaskan di bawah ini:

#### 1. Manifestasi Panasbumi Masaingi, Desa Masaingi

Terdapat 5 titik kemunculan air panas di daerah ini dan temperatur di lima titik tersebut berkisar antara 89 – 94°C dengan suhu udara bebas saat pengukuran adalah 32°C. Kisaran temperatur tersebut merupakan temperatur tertinggi dari kelompok manifestasi di panasbumi Marana, dengan pH netral antara 7-8 dan tercium bau belerang keras. Secara fisik, warna air terlihat jernih namun terdapat buahan gas (Bakrun et al.,2005). Debit bervariasi antara 2-5 liter/detik dan terdapat endapan air panas berupa silica sinter – karbonat tipis. Tipe klorida ini kemungkinan disebabkan karena air panas tersebut telah terkontaminasi air laut (Suhanto, 2005).

#### 2. Manifestasi Panasbumi Marana I, Desa Masaingi

Pada kelompok manifestasi ini muncul mata air panas yang terdiri atas 2 titik lokasi yang berada di dekat pantai, dekat muara sungai Marana. Pengukuran temperatur berkisar antara 50 – 60°C dengan suhu udara bebas saat pengukuran adalah 30°C. Debit air di kedua titik lokasi tersebut berkisar 5 liter/detik.

#### 3. Manifestasi Panasbumi Marana II, Desa Masaingi

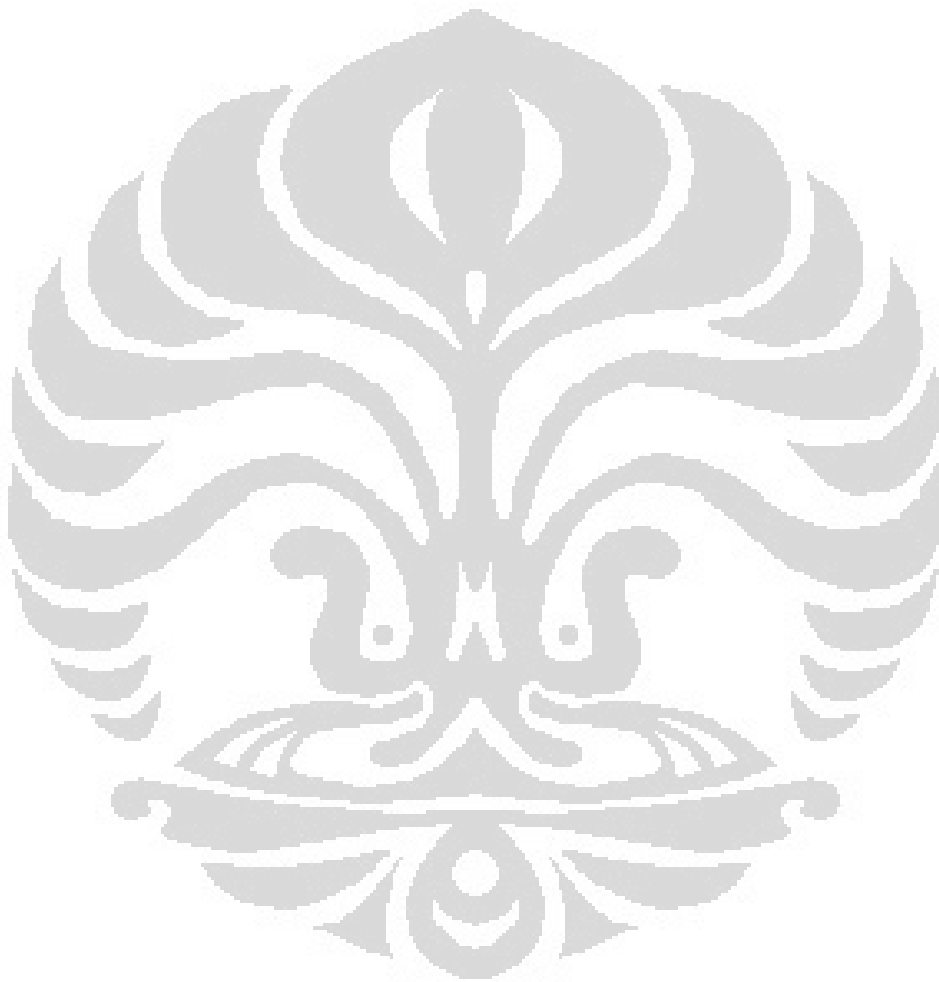
Manifestasi panasbumi Marana II muncul pada batuan sedimen di pinggir dan di sepanjang sungai Merana. Temperatur air panas berkisar antara 42 - 55°C dengan pH normal dan debit berkisar antara 1 – 2 liter/detik.

#### 4. Manifestasi Panasbumi Marana III, Desa Masaingi

Manifestasi panasbumi Marana III berada pada ± 500 meter dari lokasi Marana II ke arah timur laut. Terdapat beberapa titik pemunculan air panas secara berderet di sepanjang sungai Marana dengan temperatur air panas berkisa antara 40 – 48°C dengan pH normal dan debit air sekitar 1 – 2 liter/detik (Putra, 2006).

### 3.2.2 Karakteristik Kimia dan Tipe Air Panas

Telah dilakukan pengambilan sample dari 6 mata air panas di Marana oleh tim PSDG. Komposisi kimia dari manifestasi mata air panas tersebut disajikan di dalam Tabel 3.1 berikut ini dan di plot pada diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>. Diagram tersebut berguna untuk menentukan tipe mata air panas, sifat/kondisi keseimbangan mata air panas, dan asosiasinya dengan lingkungan (batuan) sekitarnya atau interaksi fluida panasbumi dengan batuan yang dilaluinya.



Tabel 3.1 Data Hasil analisis kimia air panas di daerah penyelidikan pendahuluan dan rinci (Suhanto, 2005)

No.	Lokasi	pH ppm	Na ppm	K ppm	Li ppm	Ca ppm	Mg ppm	Fe ppm	As ppm	NH <sub>4</sub> ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	Cl ppm	SO <sub>4</sub> ppm	B ppm	F ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	DHL ppm
1	Ap Bayosa	8,10	104,96	4,54	0,14	10,69	5,95	0,00	0,40	0,85	142,85	34,89	110,79	0,36	2,00	116,19	520
2	Ap Yompo 1	8,00	100,96	3,15	0,05	8,96	5,95	0,10	0,40	0,76	157,59	17,44	102,55	0,36	5,00	110,28	508
3	Ap Yompo 2	7,90	95,78	3,02	0,12	7,96	5,95	0,00	0,30	0,70	165,32	14,89	91,02	0,21	2,50	90,44	525
4	Ap Masaingi	7,40	328,70	34,86	1,20	148,80	5,95	0,00	1,50	2,01	37,40	726,06	104,11	5,19	0,00	132,51	2606
5	Ap Marana 1	8,10	197,20	7,83	0,43	74,40	5,95	1,50	0,30	0,70	82,14	387,17	20,00	3,34	3,00	80,41	1562
6	Ap Marana 2	8,00	291,69	12,17	0,82	74,40	14,88	0,00	0,40	0,70	75,99	567,62	25,00	4,09	1,00	110,82	1890

Hasil plotting pada diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> (Giggenbach, 1988) menunjukkan bahwa mata air panas Masaingi, Marana 1, dan Marana 2 termasuk ke dalam tipe klorida. Sedangkan mata air panas Bayosa, Yompo 1, Yompo 2 termasuk ke dalam tipe bikarbonat.

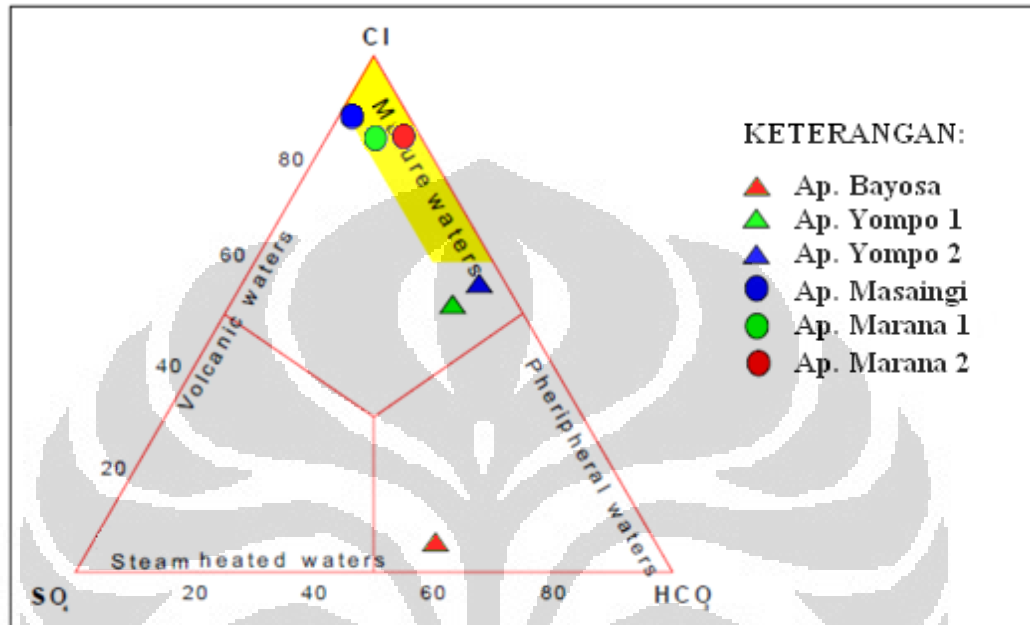


Diagram 3.1 Diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> (Suhanto, 2005)

### 3.2.3 Pendugaan Suhu Bawah Permukaan

Geotermometer kimia tergantung dari adanya keseimbangan antara mineral dan fluida yang dipengaruhi oleh suhu dan keberadaannya terawetkan sampai fluida tersebut muncul di permukaan. Penentuan suhu bawah permukaan harus ditinjau dari perbandingan unsur utama yang terdapat dalam air panas. Pada laporan ini penulis menggunakan tabel yang disusun oleh White (1970) sebagai acuan.

Tabel 3.2 Indikasi kandungan unsur kimia terhadap suhu bawah permukaan  
(White, 1970)

Kandungan Unsur/perbandingan	Perkiraan Suhu Bawah Permukaan
SiO <sub>2</sub> tinggi	Tinggi
Na/K dan Na/Li rendah	Tinggi
Cl/total Karbonat tinggi	Tinggi
Na/Ca tinggi	Tinggi
Ca dan HCO <sub>3</sub> rendah	Tinggi
Cl/F tinggi	Tinggi
Deposit Sinter silikat	T >180°C

Air panas tipe klorida dengan pH netral cocok untuk dipergunakan sebagai geotermometer, karena di daerah panasbumi Marana mempunyai tingkat keasaman yang rendah atau pH tinggi yang berkisar antara 7,0-8,1.

Nilai perbandingan dari atomic elements tidak reaktif B/Cl (dalam molar) berkisar antara 0.01 – 0.59. Nilai ini relatif rendah sehingga berdasarkan perbandingan unsur kimiawi yang merupakan indikasi terhadap suhu disimpulkan bahwa suhu bawah permukaan daerah panasbumi Marana mempunyai suhu yang tinggi.

Nilai perbandingan molar Na/K berkisar antara 16.03–54.49, menghasilkan perkiraan suhu bawah permukaan  $\geq 200^{\circ}\text{C}$ . Karena pH air panas Masaingi netral dan termasuk ke dalam tipe klorida maka nilai ini lebih mewakili kondisi bawah permukaan yang sebenarnya. Nilai perbandingan Na dan Li berkisar antara 82.18–605.76 yang merupakan indikasi bahwa suhu bawah permukaan sangat tinggi.

Berdasarkan data ini maka suhu bawah permukaan di daerah Marana akan lebih tepat bila menggunakan geotermometer Na/K Giggenbach. Dan hasil pendugaan menggunakan rumus-rumus geotermometer menunjukkan bahwa suhu bawah permukaan dari panasbumi Marana berkisar antara 154 - 237°C (Bakrun et al., 2005).

Adapun rumus-rumus perhitungan/pendugaan suhu bawah permukaan tertera pada tabel berikut:

Tabel 3.3 rumus-rumus umum geotermometer

Geotermometer Unsur Kimiawi	Suhu (°C)	Kisaran Suhu (°C)
SiO <sub>2</sub>	$1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	0 – 125
Na /K	$1390 / (\log(\text{Na/K}) + 1.75) - 273.15$	> 150

Keterangan:

SiO<sub>2</sub> = *adiabatic cooling*

Na /K = Giggenbach (1988)

Tabel 3.4 Pendugaan suhu bawah permukaan berdasarkan geotermometer kimia daerah Marana (PSDGM, 2000).

Mata Air Panas	T <sub>SiO<sub>2</sub></sub> (°C)	T <sub>Na/K</sub> (°C)
Bayosa	145,75	173,23
Yampo 1	142,74	153,78
Yampo 2	131,66	154,38
Masaingi	153,55	237,04
Marana 1	125,37	167,96
Marana 2	143,02	170,99

Hasil perhitungan menggunakan rumus-rumus umum geotermometer dapat dilihat pada Tabel 3.4. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa pendugaan suhu bawah permukaan menunjukkan kisaran temperatur minimum antara 154–237 °C dengan menggunakan Geotermometer “SiO<sub>2</sub>*adiabatic cooling*” dan “Na/K Giggenbach”. Kisaran temperatur tersebut termasuk ke dalam *Moderate Temperature Geothermal System*.

### 3.3 Geofisika

#### 3.3.1 Metode Gravitasi

Data gravitasi dapat digunakan untuk mengetahui basement dan kemungkinan adanya intrusi magmatik sebagai sumber panas. Pengamatan lapangan untuk metode gravitasi bersifat relatif, yaitu untuk mengetahui atau mengukur beda nilai antara satu titik pengukuran dengan titik pengukuran lainnya. Sehingga dibutuhkan titik acuan sebagai titik dasarnya.

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan pengolahan data gravitasi pada lapangan panasbumi Marana oleh Rahmat Arif Putra (2006). Dan untuk selanjutnya digunakan data gravitasi hasil pengolahan tersebut sebagai data penunjang pada penelitian ini.

- Anomali gaya berat

Hasil pengamatan anomali gaya berat memperlihatkan harga anomali tertinggi  $>70\text{mgal}$  dan terkecil  $<20\text{mgal}$ . Nilai densitas tertinggi terdapat di timurlaut daerah penelitian yang ditempati oleh batuan granit. Sedangkan nilai densitas terendah terdapat di selatan baratdaya yang ditempati oleh batuan sedimen dan alluvium.

Hasil pengamatan anomali Bouguer memperlihatkan harga anomali tertinggi  $>65\text{mgal}$  tersebar di bagian tengah sampai timurlaut dan baratdaya daerah penelitian. Sedangkan nilai anomali terkecil  $<60\text{mgal}$  tersebar di barat sampai selatan daerah penelitian serta sedikit menuju tenggara dengan pola membuka ke arah timur. Sedangkan nilai anomali sisa sebesar 5 sampai  $>5\text{mgal}$  terakumulasi di bagian tengah daerah penelitian, sedangkan anomali rendah 0 sampai minus 5 mgal mengitari daerah anomali tinggi tersebut.

- Anomali Bouguer

Hasil anomali Bouguer memperlihatkan nilai densitas tertinggi  $>70\text{mgal}$  hanya terdapat dibagian tengah daerah penelitian dengan pola membuka ke arah timur menuju perbukitan terjal (Gambar 3.3). Hal ini mengindikasikan adanya batuan



terobosan di daerah tersebut. Tidak adanya anomali negatif di daerah penelitian diperkirakan berkaitan dengan perbedaan kontras densitas yang relatif kecil.

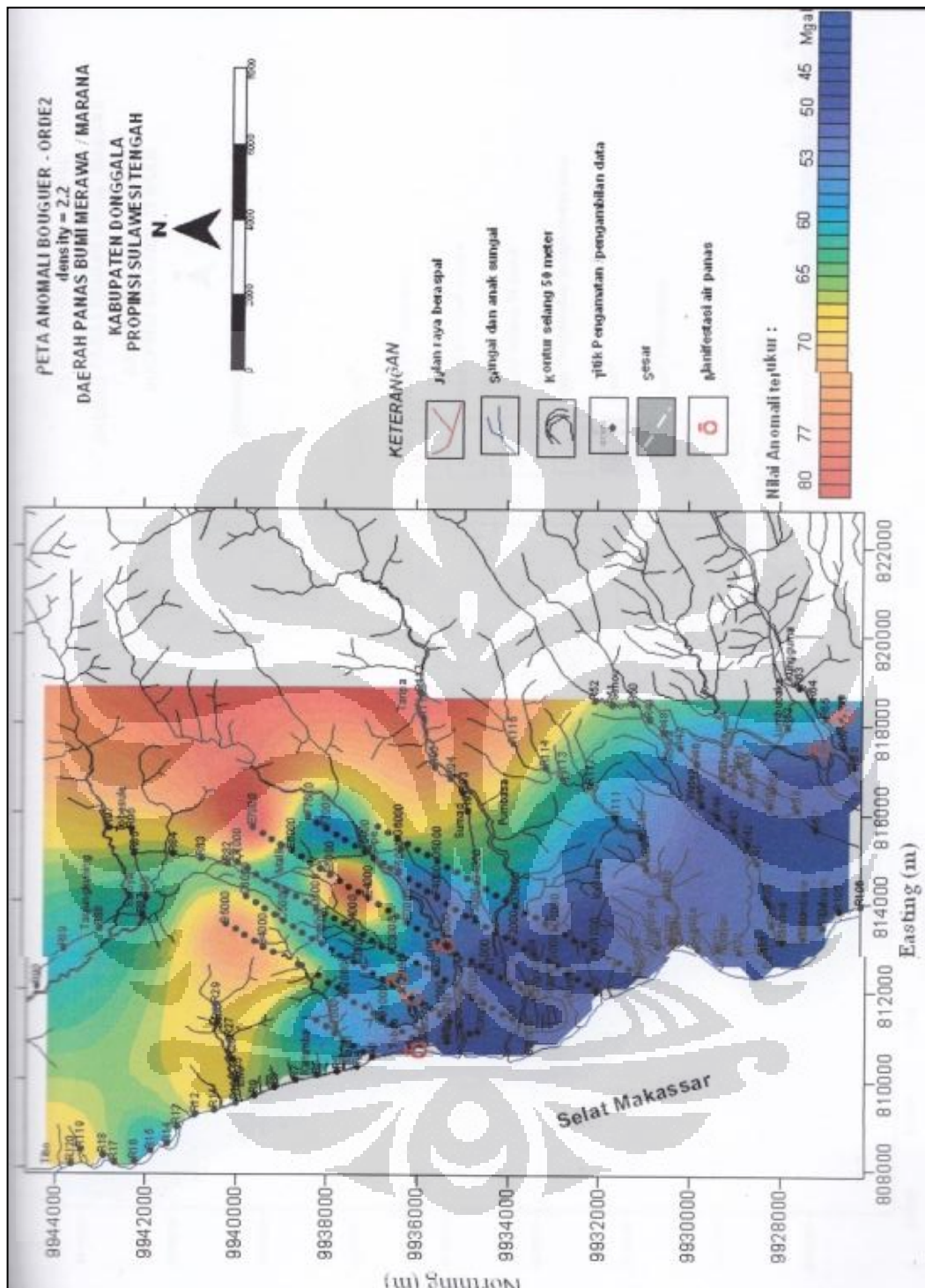
Pada daerah mata air panas Marana 1, 2, 3 dan Masaingi berada pada anomali Bouguer sedang (53-64 mgal) yaitu pada batuan sedimen.

- Anomali Regional Orde-2

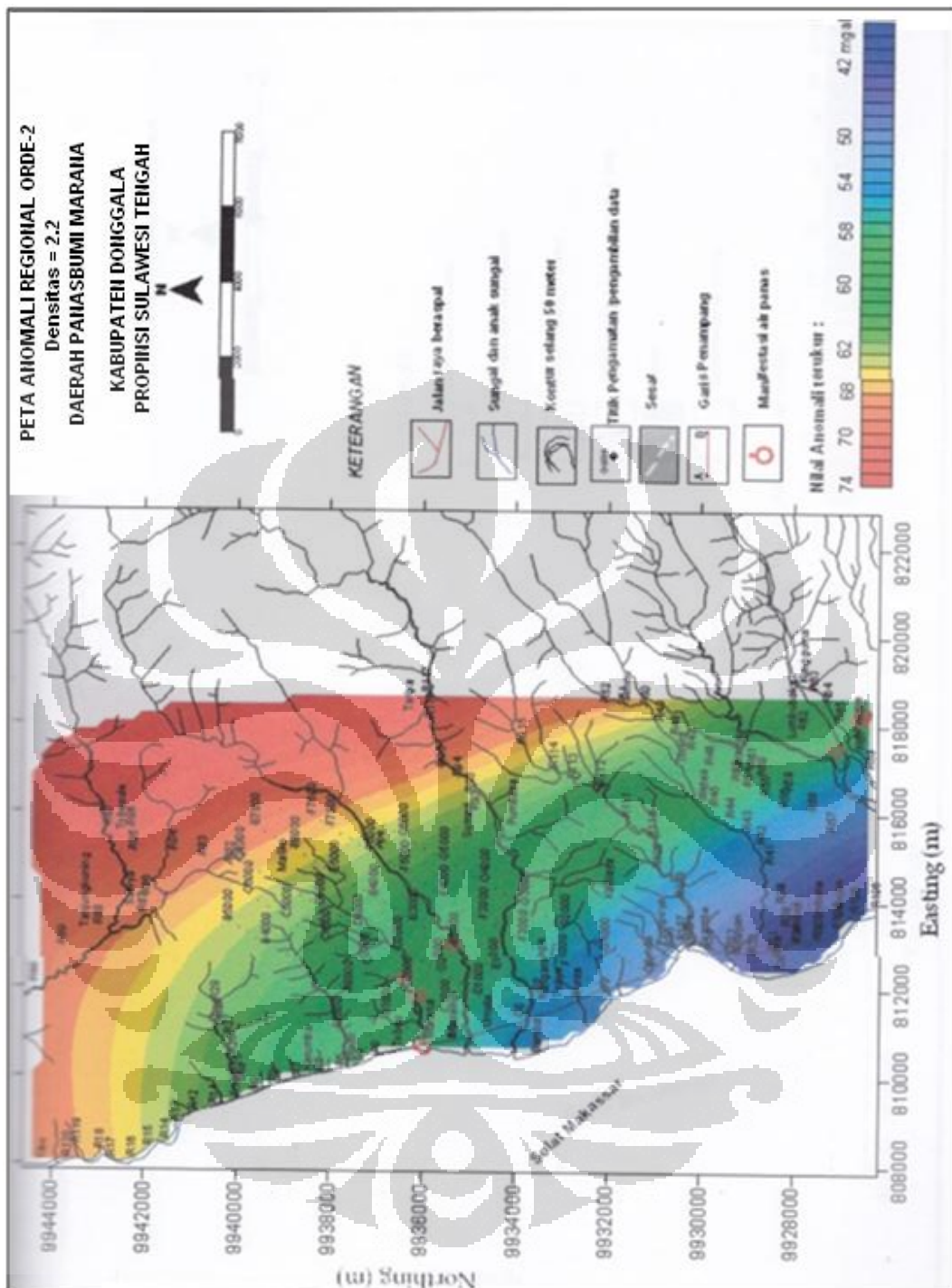
Anomali regional orde-2 memperlihatkan kelurusan liniasi anomali yang berarah baratlaut-tenggara searah dengan struktur regional yang terdapat di daerah penelitian yang berarah baratlaut-tenggara. Nilai tertinggi anomali regional >70mgal sedangkan nilai anomali terendah adalah <52mgal

- Anomali Sisa Orde 2

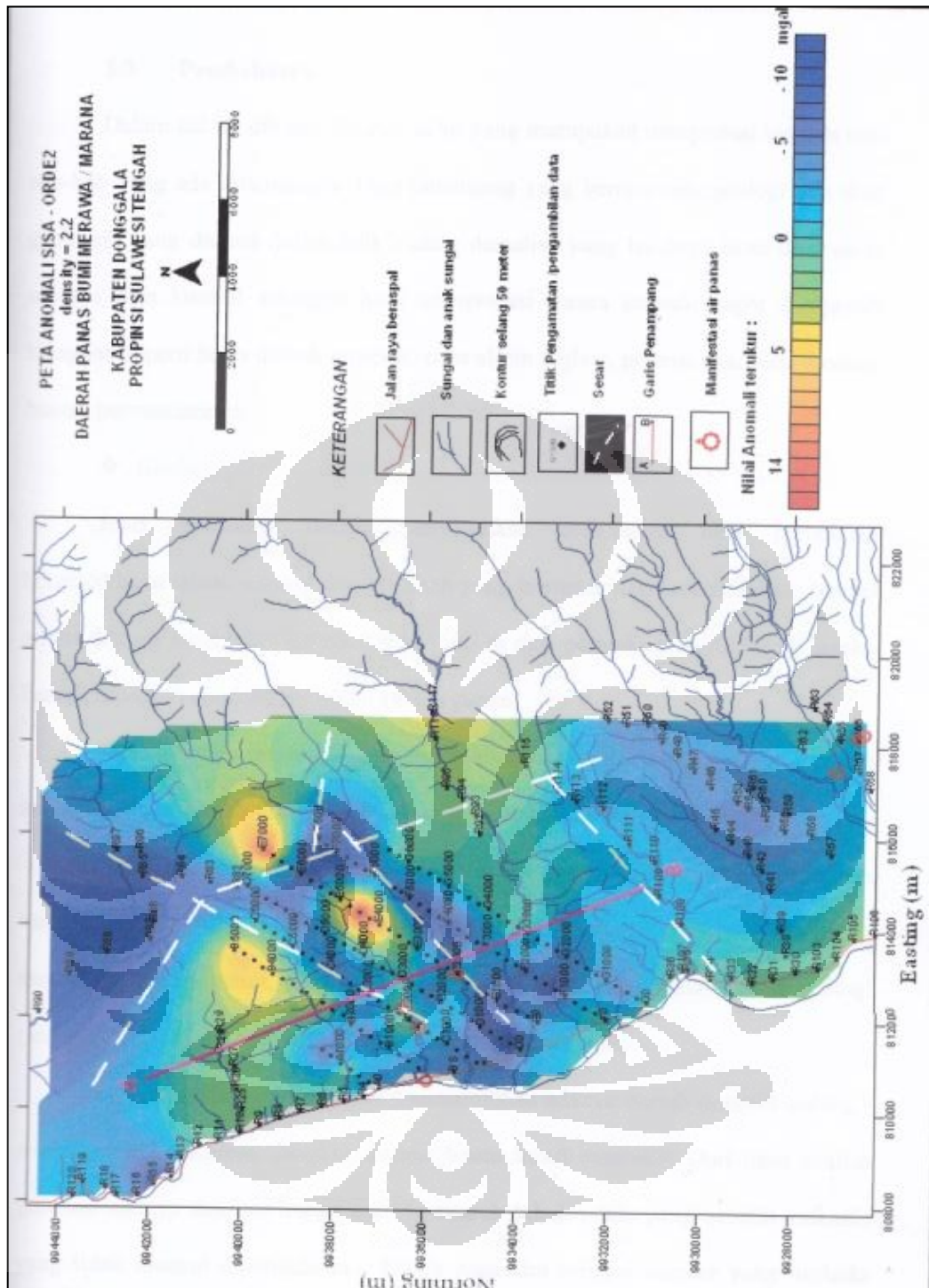
Anomali sisa memperlihatkan adanya pengkutuban positif dengan nilai > 5 mgal dan pengkutuban negatif dengan nilai < -5mgal. Pengkutuban positif mencirikan adanya dome-dome kecil yang menunjukkan adanya suatu tubuh/massa batuan di bawah permukaan dengan densitas yang lebih besar dari batuan sekitarnya. Sedangkan pengkutuban negatif yang muncul di sedimen dan granit mengindikasikan adanya cekungan-cekungan kecil yang mungkin merupakan daerah akumulasi panas. Mata air panas Marana 1, 2, 3 dan Masaingi muncul pada anomali sisa negatif -1 s/d -3.



Gambar 3.3 Peta Anomali Bouguer dengan densitas  $2.2 \text{ gr/cm}^3$  (Putra,2006)



Gambar 3.4 Peta anomali Regional dengan densitas 2.2 gr/cm<sup>3</sup> (Putra, 2006)



Gambar 3.5 Peta Anomali Sisa orde-2 dengan densitas 2.2 gr/cm<sup>3</sup> (Putra,2006)



### 3.4 Sumur Landaian Suhu

#### 3.4.1 Sumur MM-1

Sumur MM-1 merupakan sumur landaian suhu pertama yang dibor pada lapangan panasbumi Marana, Sulawesi Tengah. Lokasi Sumur MM-1 berada  $\pm 40$  Km di sebelah utara kota Palu, tepatnya di sekitar manifestasi panasbumi Masaingi.

Litologi sumur landaian suhu MM-1 terdiri dari endapan alluvial (0-3 m) yang tidak mengalami ubahan hidrotermal, endapan rombakan batuan ubahan (3-39 m), dan batu pasir terubah (39-185m). Sumur MM-1 miskin rekahan/struktur karena selama proses pemboran hanya terjadi satu kali hilang sirkulasi sebagian pada kedalaman 22,5-25m.

Batuan dari permukaan hingga kedalaman 39 m terdiri dari endapan alluvial yang tidak berubah dan endapan rombakan batuan ubahan, kedua satuan batuan ini berfungsi sebagai lapisan penutup/overburden. Batuan dari kedalaman 39-185 m telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas ubahan sedang-kuat dicirikan oleh proses ubahan argilitasi, piritasi, silifikasi/devitritifikasi dengan/tanpa gipsumisasi, anhidritisasi, kloritisasi dan zeolitisasi. Batu pasir terubah (39-60 m) termasuk ke dalam tipe ubahan argilitik yang berfungsi sebagai batuan penudung panas (*clap rock/clay cap*). Batu pasir terubah dari kedalaman 60-185 m termasuk ke dalam tipe ubahan phyllic sebagai zona transisi.

Secara keseluruhan mineral ubahan yang terdapat pada sumur MM-1 terbentuk sebagai replacement dari mineral pembentuk batuan dan massa dasar/matrik dari semua jenis batuan yang terdapat di daerah ini. Sebagian kecil dari mineral ubahan tersebut sebagai pengisi rekahan pada batuan (vein) dan pengisi rongga pada batuan (vug). Mineral ubahan tersebut berasal dari fluida bersifat netral dengan temperatur pembentukan relatif rendah ( $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ) hingga temperatur ( $\pm 320^{\circ}\text{C}$ ).

Pengukuran logging temperatur dilakukan sebanyak empat kali yaitu pada kedalaman 60 m, 104 m, 153 m dan pada kedalaman akhir, 185m. Tiga pengukuran pertama gagal dilakukan karena sensor pada probe temperaur

mengalami kerusakan. Sehingga hanya pengukuran pada kedalaman 185 yang dianggap berhasil. Namun pada pengukuran logging temperatur pada kedalaman 60 m diperoleh nilai maksimum temperatur terukur adalah 75°C, pada kedalaman 104 m diperoleh nilai maksimum temperatur terukur adalah 84°C, pada kedalaman 153 m diperoleh nilai maksimum temperatur terukur adalah 95°C, dan pada kedalaman 185 m diperoleh nilai maksimum temperatur terukur adalah 104°C. (Nanlohi et al., 2005)

### 3.4.2 Sumur MM-2

Sumur MM-2 merupakan sumur landaian suhu kedua yang dibor pada lapangan panasbumi Marana, Sulawesi tengah. Seperti halnya sumur MM-1, sumber panas berasal dari sisa magma yang diduga sebagai batuan intrusi yang tidak muncul ke permukaan, terekam sebagai daerah anomali gravitas yang terdapat di sebelah timurlaut manifestasi panasbumi Marana dan Masaingi.

Litologi sumur landaian suhu MM-2 terdiri dari endapan alluvial (0-8m) yang tidak mengalami ubahan hidrotermal, endapan rombakan batuan ubahan (8-217m), dan batu pasir terubah (217-250m). Sumur MM-2 miskin rekahan/struktur karena tidak terjadi hilang sirkulasi selama proses pemboran.

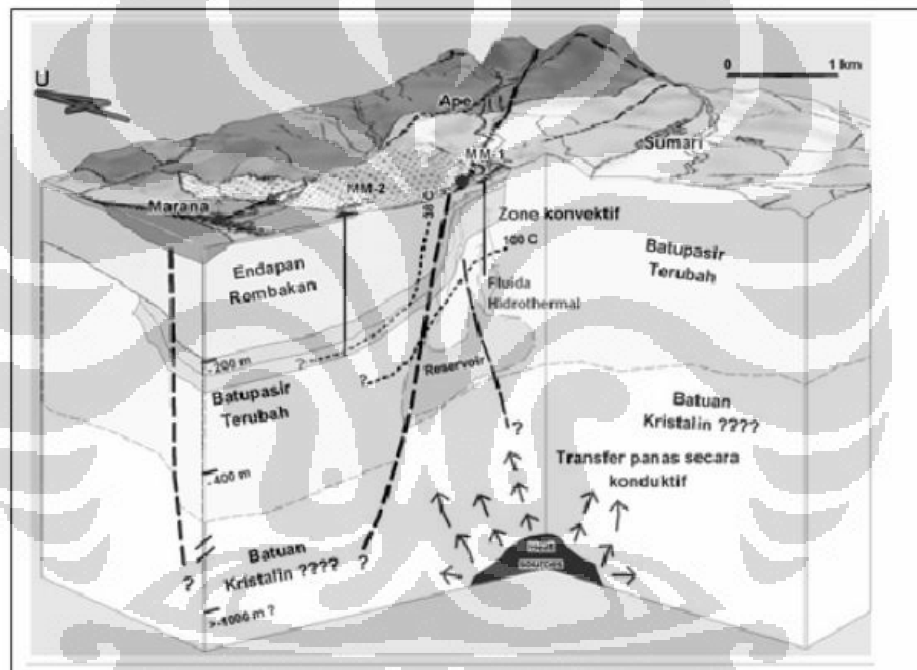
Batuan dari kedalaman 217-250 m telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas ubahan sedang kuat dicirikan oleh proses ubahan argilitisasi, piritisasi, silifikasi/devitritifikasi dengan/tanpa oleh gipsumisasi, anhidritisasi, kloritisasi dan zeolitisasi.

Batuan dari permukaan hingga kedalaman 217 m terdiri dari endapan alluvial yang tidak terubah dan endapan rombakan batuan ubahan, kedua satuan batuan ini berfungsi sebagai lapisan penutup/overburden. Batu pasir terubah (217-235 m) termasuk dalam tipe ubahan argilik berfungsi sebagai batuan penudung panas (*cap rock/clay cap*). Batu pasir terubah dari kedalaman 235-250 m termasuk ke dalam tipe ubahan phyllic sebagai zona transisi.

Secara keseluruhan mineral ubahan yang terdapat pada sumur MM-1 terbentuk sebagai replacement dari mineral pembentuk batuan dan massa dasar/matrik dari

semua jenis batuan yang terdapat di daerah ini. Sebagian kecil dari mineral ubahan tersebut sebagai pengisi rekahan pada batuan (vein) dan pengisi rongga pada batuan (vug). Mineral ubahan tersebut berasal dari fluida bersifat netral dengan temperatur pembentukan relatif rendah ( $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ) hingga temperatur ( $\pm 320^{\circ}\text{C}$ ).

Selama proses pengeboran, temperatur lumpur pembilas tercatat relatif tidak meningkat hingga meningkat sangat kecil sesuai dengan kedalaman sumur. Hasil pengukuran logging temperatur menunjukkan ada kenaikan atau lonjakan temperatur mulai kedalaman 217 m (Nanlohi et al., 2005).



Gambar 3.6 Model tentatif lapangan panasbumi Marana berdasarkan data sumur (Nanlohi et al., 2005)

## BAB 4

### PENGOLAHAN DATA MT

#### 4.1 Lingkup Kerja

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis melakukan pengolahan data MT yang berjumlah 37 titik stasiun di Lapangan Panasbumi Marana, Sulawesi tengah. Frekuensi yang direkam berkisar dari 320 Hz hingga  $10^{-5}$  Hz

#### 4.2 Alur Pengolahan Data

Secara umum, metode penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi tiga tahap, yaitu *pre-processing*, koreksi *static shift*, dan inversi 2D. Ketiga tahap ini menggunakan jenis software yang berbeda-beda pula. Berikut ini adalah tahap-tahap yang dilakukan beserta software yang digunakan.

4. *Pre-processing*:
  - a. Menseleksi data time series yang berasal dari data lapangan menggunakan program Synchro Time Series Viewer.
  - b. Mengubah data time series menjadi frekuensi domain dengan Fourier Transform menggunakan program SSMT 2000
  - c. Melakukan robust processing dengan program SSMT 2000
  - d. Menseleksi *cross power* menggunakan program MTeditor
5. Koreksi *Static Shift*: menghilangkan efek *static shift* pada data MT menggunakan program Static Shifter-X
6. Inversi 2-dimensi: melakukan inversi 2-dimensi menggunakan program WinGlink

Dibawah ini merupakan alur pengolahan data secara lebih jelas.



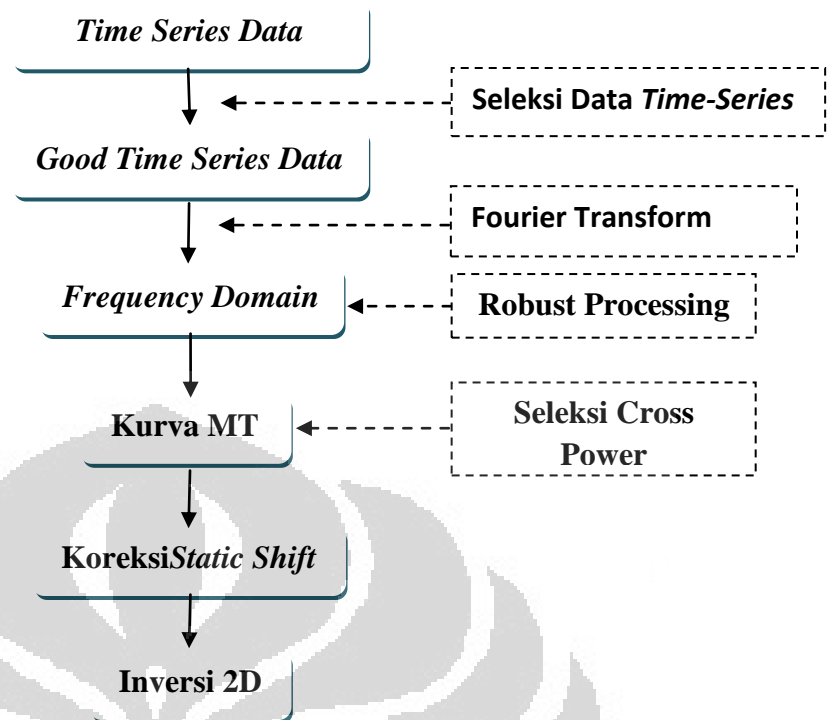


Diagram 4.1 Alur pengolahan data MT

### 4.3 Pre-Processing MT

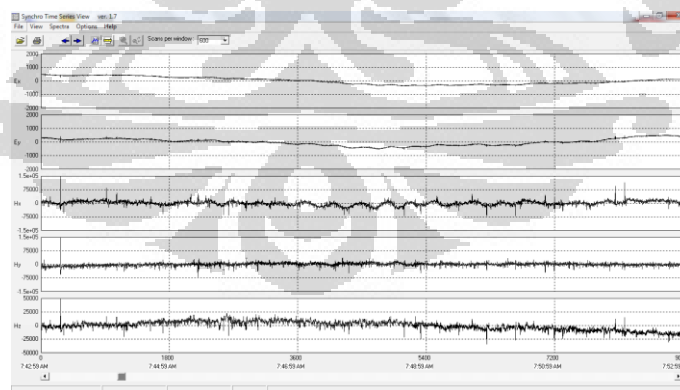
#### 4.3.1 Synchro Time Series Viewer

Synchro Time Series Viewer merupakan program yang dapat digunakan untuk melihat kurva dari data time series yang diperoleh dari hasil pengukuran. Pada saat pengukuran, tidak hanya signal EM alami yang terekam, signal noise pun dapat terekam selama frekuensi dari noise tersebut berada pada rentang frekuensi yang digunakan pada alat. Dengan program ini, kita dapat melihat pada waktu kapan data tersebut memiliki kurva yang baik maupun tidak baik (terpengaruh oleh noise). Setelah kita mengetahui pada waktu kapan data tersebut memiliki kurva yang baik, maka data pada rentang waktu tersebut lah yang akan kita gunakan untuk proses selanjutnya.



Gambar 4.1 Tampilan awal dari Synchro Time Series Viewer

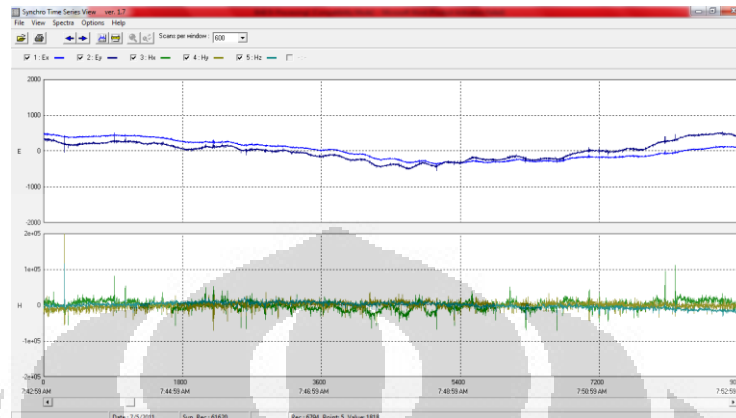
Langkah pertama yang dilakukan adalah membuka data yang berformat “.TS”. Terdapat 3 jenis data .ts yang dapat dipilih yaitu data .ts3, .ts4, dan .ts5. Semakin besar angka dibelakang “.TS” tersebut, maka semakin rendah frekuensi yang direkam atau semakin kecil nilai *sampling rate*-nya. Dalam hal ini saya memilih data .TS5 karena frekuensi dari data tersebutlah yang paling rendah. Setelah data .TS tersebut dibuka maka kita dapat melihat semua komponen medan magnet dan medan listrik dalam arah x dan y ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ , dan  $H_z$ ) yang ditampilkan dalam bentuk kurva terhadap waktu seperti pada gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2 Kurva Time Series

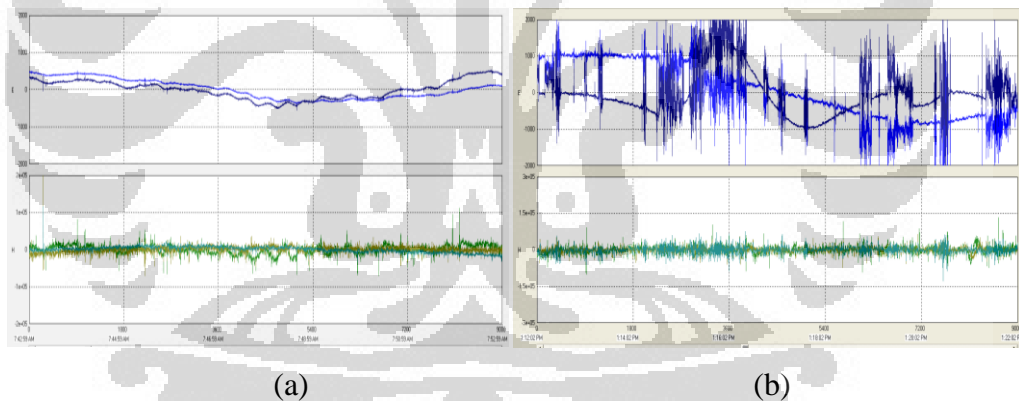
Untuk memudahkan dalam melihat kurva tersebut, bisa juga kita ubah tampilannya menjadi tampilan Comparison Mode dimana kurva  $E_x$  dan  $E_y$  ditampilkan dalam 1 kolom, begitu juga dengan kurva  $H_x$ ,  $H_y$ , dan ditampilkan

dalam 1 kolom sehingga hanya terdapat 2 kolom. Dengan melihat dalam tampilan comparison mode maka terlihat lebih jelas perbandingan antara satu kurva dengan kurva yang lainnya. Hasilnya terlihat seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Tampilan Comparison Mode

Perbandingan dari kurva yang baik dengan kurva yang tidak baik (banyak terpengaruh oleh noise) dapat dilihat pada Gambar 4.4.

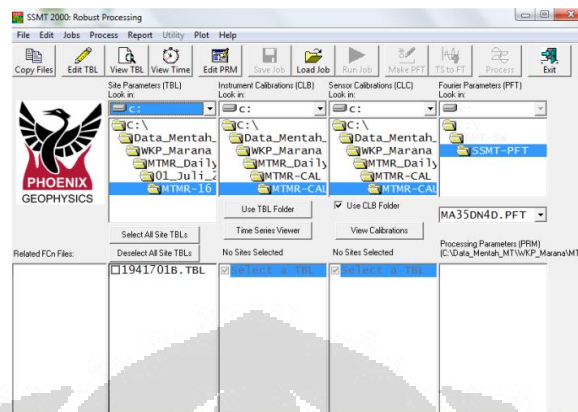


Gambar 4.4 Perbandingan dari (a) kurva yang bagus dan (b) kurva yang tidak bagus.

### 4.3.2 SSMT 2000

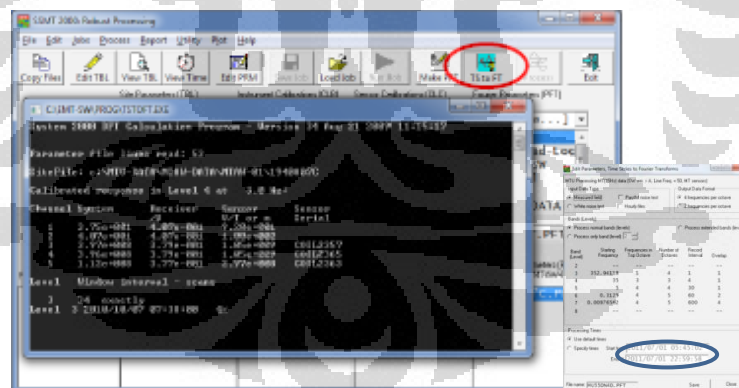
Program SSMT berfungsi untuk mengubah data yang berdomain waktu menjadi data berdomain frekuensi. Proses yang dilakukan pertama adalah memasukkan data MT hasil pengukuran (Site Parameter) yang berformat “.TBL”. Lalu masukkan juga data kalibrasinya. Terdapat 2 jenis data kalibrasi. Pertama adalah kalibrasi instrument/box/main unit dari alat MT itu

sendiri. Data kalibrasi instrument memiliki format “.CBL”. Jenis data kalibrasi yang kedua adalah kalibrasi dari sensor magnetic (coil) dengan format “.CLC”.



Gambar 4.5 Jendela Utama SSMT 2000

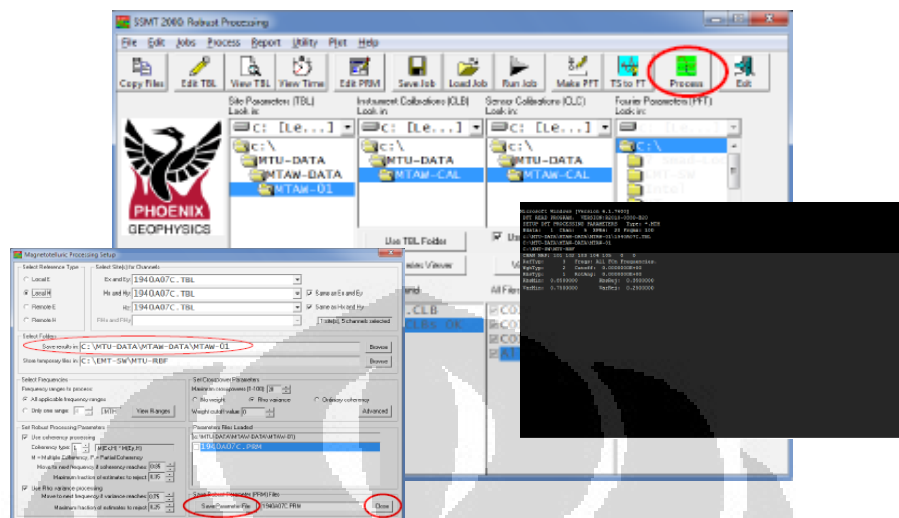
Setelah data *site parameter* dan data kalibrasi telah dimasukkan maka langkah selanjutnya adalah Make PFT (Parameter Fourier Transform) seperti pada Gambar 4.6. Pada kotak Processing Times, kita dapat memilih Use default times jika ingin menggunakan seluruh rentang waktu yang dimiliki oleh data. Namun jika kita telah memilih range waktu yang kita inginkan setelah menyeleksi pada Synchro Time Series Viewer, maka kita dapat memilih Specify times untuk memasukkan rentang waktu tersebut.



Gambar 4.6 Make PFT dan proses TS to FT

Langkah selanjutnya adalah edit parameter robust (edit PRM). Nilai *crosspower* dapat diatur sesuai dengan keinginan dengan jumlah kelipatan 20. *Crosspower* adalah banyaknya data dalam 1 frekuensi yang dapat dilihat saat menggunakan MT Editor. Setelah semua parameter dipilih dan diatur maka langkah terakhir adalah meng-klik menu Process. Hasilnya akan didapatkan data

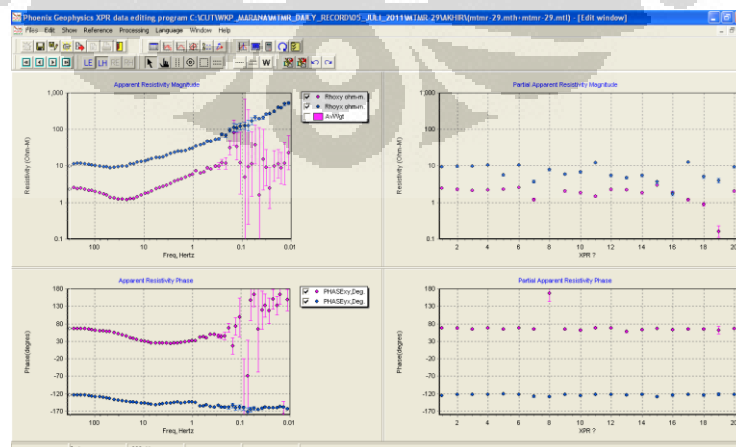
yang berformat.MTH dan .MTL yang akan digunakan untuk proses selanjutnya dengan menggunakan program MTeditor.



Gambar 4.7 Edit PRM dan *run robust processing*

### 4.3.3 MTeditor

Setelah memperoleh data dalam domain frekuensi maka data tersebut dapat dibuka dalam program MTeditor untuk melihat hasil yang telah diproses dari SSMT 2000. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk 2 kurva MT yaitu kurva frekuensi vs apparent resistivity dan kurva frekuensi vs phase. Kurva ini masih acak atau belum teratur. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses seleksi *cross power* (banyaknya data dalam 1 frekuensi) menggunakan program MTeditor untuk memperoleh kurva MT yang lebih baik.



Gambar 4.8 Proses menseleksi *cross power*

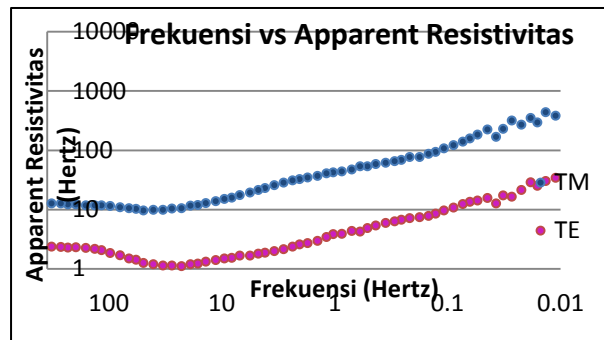
Dari gambar di atas terdapat empat kurva. Kurva pada kiri atas merupakan kurva *frequency vs apparent resistivity*. Kurva kiri bawah merupakan kurva *frequency vs phase*. Sedangkan 2 kurva yang berada di sebelah kanan mewakili setiap 1 data dari kurva di sebelah kiri. Banyaknya data di sebelah kanan ditentukan oleh nilai *crosspower* yang diatur pada tahap sebelumnya.

Pada proses penseleksian, klik data-data yang ingin di-*off*-kan pada kurva sebelah kanan, lalu lihat perubahannya pada kurva sebelah kiri atas maupun kurva kiri bawah. Jadi, kurva sebelah kiri akan berubah sesuai dengan data yang dipilih pada kurva kanan. Ketika proses seleksi telah selesai dilakukan maka data disimpan dalam format “.mpk” atau di-export ke dalam bentuk “.edi”.

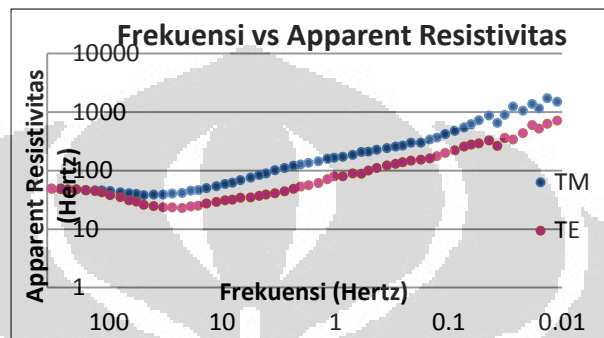
#### 4.4 Koreksi Static Shift

Setelah mendapatkan kurva MT yang bagus maka langkah selanjutnya adalah melakukan koreksi *static shift*. Idealnya, kurva TE dan TM berhimpitan. Namun karena beberapa sebab, kurva TE dan TM tersebut tidak berhimpitan atau disebut juga *shifting*. Jika kurva MT tersebut ter-*shifting* ke atas ataupun ke bawah dari yang seharusnya maka nilai resistivitas batuan di bawah permukaan menjadi tidak tepat. Oleh sebab itu, koreksi *static shift* sangat penting dilakukan agar kurva MT yang dihasilkan benar, begitu juga dengan hasil interpretasinya.

Tahap koreksi *static shift* dilakukan dengan menggunakan program Static Shifter-X (PT. New Quest Geotechnology) yang pada prinsipnya, program ini menggunakan metode *Averaging* atau disebut juga *special filtering*. Metode *Averaging* memiliki konsep merata-ratakan beberapa stasiun pengukuran pada periode yang sama di sekitar stasiun yang mengalami pergeseran static. Efek regional yang merepresentasikan kondisi bawah permukaan yang sebenarnya akan muncul setelah dilakukan proses perata-rataan (Beamish dan Travassos, 1992). Hasil dari nilai rata-rata tersebut dijadikan dasar untuk mengkoreksi data MT yang mengalami pergeseran statik. Satu titik MT dapat dikoreksi dengan semua titik MT kecuali titik itu sendiri, atau bisa juga dikoreksi dengan titik-titik tertentu yang diinginkan.



(a)



(b)

Gambar 4.9 (a) Sebelum Koreksi Static Shift dan (b) Setelah Koreksi Static Shift

#### 4.5 Inversi 2D

Setelah semua kurva MT melalui tahap koreksi static shift maka tahap selanjutnya adalah melakukan inversi 2 dimensi dengan menggunakan software WinGlink. Hasil yang diharapkan dari tahap inversi 2D ini adalah untuk mendapatkan penampang resistivitas bawah permukaan yang lebih jelas sehingga kita dapat mengetahui kondisi sebenarnya di bawah permukaan. Dengan mengetahui kondisi sebenarnya di bawah permukaan maka kita dapat mengetahui apakah daerah penelitian ini memiliki prospek panasbumi atau tidak.

Tahap pertama yang dilakukan dalam proses inversi 2D adalah memasukkan/meng-import data, data yang di-import adalah data yang telah mengalami koreksi *static shift*, yaitu data berformat .dts. Selain itu, data lain yang harus dimasukkan adalah koordinat dari semua stasiun (latitude, longitude, dan ketinggian). Hasilnya akan didapatkan suatu kontur elevasi beserta letak titik MT seperti pada Gambar 4.11.

Tahap selanjutnya adalah pemilihan line yang nantinya akan dilakukan proses inversi 2D. Dasar pemilihan line ditentukan dari data-data pendukung. Dari data anomali sisa gravitasi, terdapat pengkutuban negatif yang mengindikasikan adanya cekungan-cekungan kecil yang diduga merupakan daerah akumulasi panas. Selain itu, dari data geokimia menunjukkan bahwa secara umum terdapat dua daerah mata air panas yaitu di barat laut dan selatan daerah penelitian. Didukung juga oleh data geologi dan gravitasi yang menunjukkan adanya sesar regional yang berarah baratlaut-tenggara dan sesar dominan yang berarah baratdaya-timurlaut memotong kompleks mata air panas Masaingi. Sehingga ditarik suatu lintasan (lintasan 1) yang berarah baratlaut-tenggara di sebelah barat mata air panas. Lalu ditarik lintasan ke-2 yang tepat memotong mata air panas Masaingi dengan arah yang sama. Dan yang terakhir adalah lintasan 3 yang berada di sebelah timur mata air panas Masaingi dengan arah yang sama pula, sehingga dapat diperoleh informasi kemenerusan ke arah timur maupun selatan.

Setelah pemilihan lintasan, maka langkah terakhir adalah melakukan inversi 2D dengan terlebih dahulu mengatur tampilan inversi yang ingin kita hasilkan, seperti memasukkan nilai topografi, mengatur skala warna, mengatur batas atas-bawah dan kanan-kiri, dan memasukkan jumlah iterasi yang diinginkan. Barulah proses inversi siap dijalankan.



## BAB 5

### HASIL DAN PEMBAHASAN

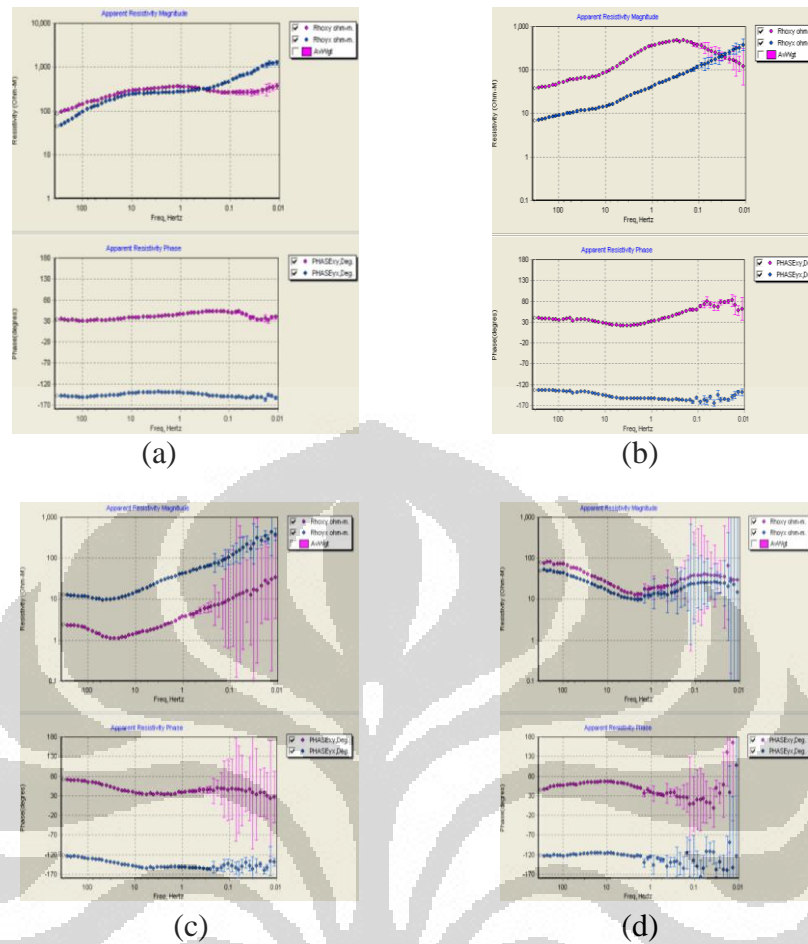
#### 5.1 Kurva Hasil *Pre-Processing*

Setelah melakukan serangkaian langkah dari *Pre-Processing* MT (Synchro Times Series Viewer, SSMT 2000 dan MT Editor), diperoleh kurva MT untuk 37 stasiun yang ditampilkan pada halaman lampiran. Dari ke-37 data tersebut, masing-masing kurvanya memiliki kualitas data yang berbeda-beda. Kriteria dari kualitas kurva MT dilihat berdasarkan trend dan error bar. Terdapat 4 kriteria dari kualitas kurva MT, yaitu *Excelent*, *Very Good*, *Good*, dan *Fair*. *Excelent* merupakan kurva dengan kualitas paling baik, yaitu memiliki trend yang sangat bagus dan tidak ada error bar. *Very Good* merupakan kurva dengan kualitas sangat baik, yaitu memiliki trend yang sangat baik namun memiliki error bar yang kecil. *Good* merupakan kurva dengan kualitas baik, yaitu memiliki trend yang baik namun memiliki error bar yang besar. Dan *Fair* adalah kualitas kurva yang cukup baik, masih terlihat adanya trend dan memiliki *error bar* yang sangat besar.

Dari semua hasil kurva MT yang diperoleh, maka penulis dapat mengelompokkan kurva-kurva tersebut berdasarkan kriteria kualitas yang telah dijelaskan sebelumnya seperti berikut ini:

Tabel 5.1 Pengelompokan kurva hasil pre-processing berdasarkan kualitasnya.

Excelent	Very Good	Good	Fair
MTMR-04, MTMR-07, MTMR-15, MTMR-25 (4 titik)	MTMR-03, MTMR-05, MTMR-06, MTMR-08, MTMR-09, MTMR-13, MTMR-16, MTMR-18, MTMR-21, MTMR-23, MTMR-27, MTMR-30, MTMR-31, MTMR-34 (14 titik)	MTMR-01, MTMR-02, MTMR-10, MTMR-14, MTMR-17, MTMR-20, MTMR-22, MTMR-26, MTMR-28, MTMR-29, MTMR-32, MTMR-33, MTMR-35, MTMR-37 MTMR-11, (15 titik)	MTMR-12, MTMR-19, MTMR-24, MTMR-36 (4 titik)



Gambar 5.1 Kualitas kurva MT (a) Excelent dan (b) Very good  
(c) Good dan (d) Fair

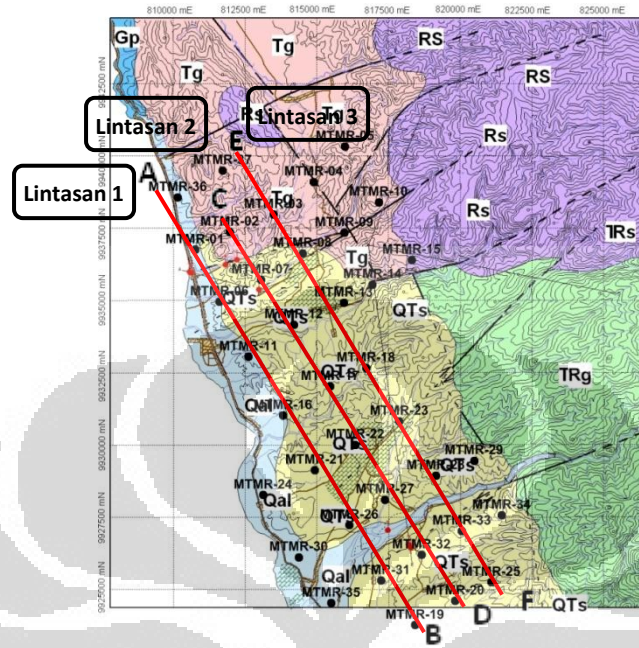
## 5.2 Kurva Hasil Koreksi *Static Shift*

Koreksi *static shift* dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan efek *static shift*. Dari hasil koreksi static shift pada 37 kurva MT, didapatkan hasil yang bagus dengan berhimpitannya kurva apparent resistivity dari TE dan TM untuk semua titik. Kurva dari hasil koreksi static tersebut dapat dilihat di halaman lampiran dimana kurva disajikan dalam bentuk *frequency vs apparent resistivity*.

## 5.3 Penampang Lintasan Hasil Inversi 2D

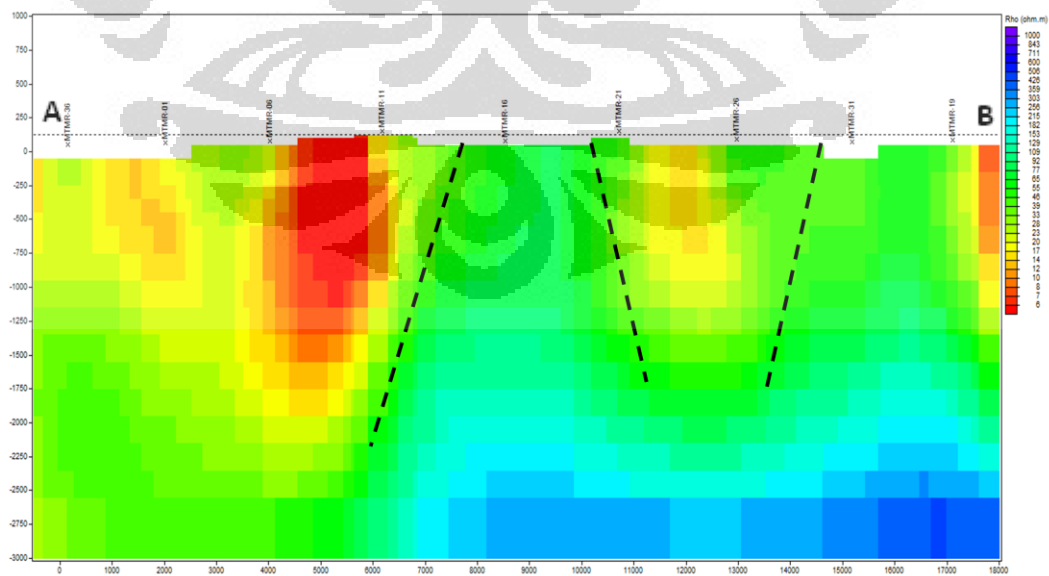
Setelah koreksi stasic shift selesai dilakukan, maka kita dapat menghasilkan penampang 2D dari tiga lintasan yang telah dipilih seperti pada

Gambar 5.2. Selanjutnya akan ditampilkan hasil inversi 2D dari masing-masing lintasan beserta analisisnya.



Gambar 5.2 Pemilihan lintasan inversi 2-D dari gabungan peta geologi dan peta topografi titik MT Marana

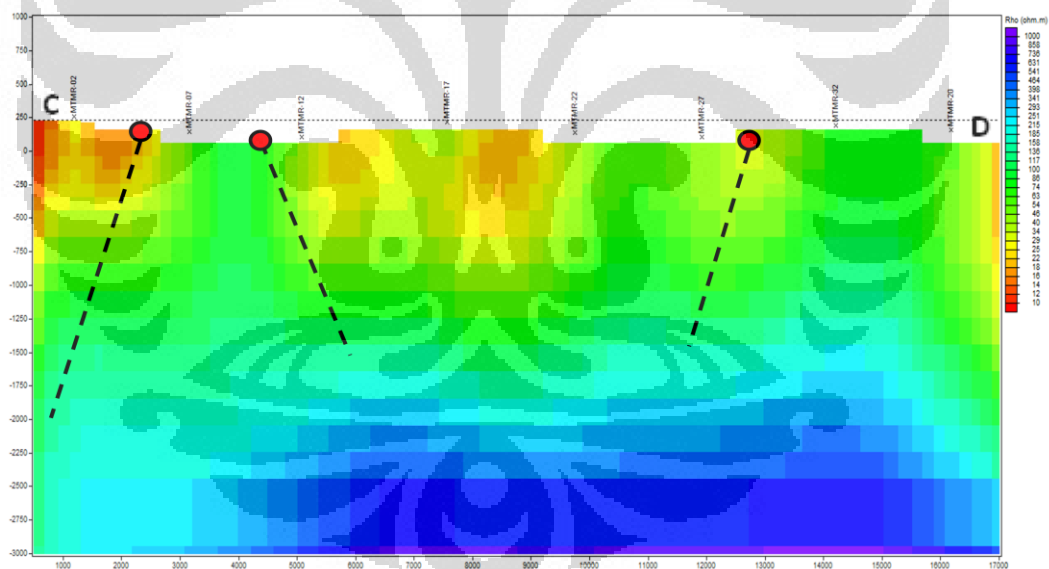
### Lintasan 1



Gambar 5.3 Hasil Inversi 2D pada Lintasan 1

Lintasan 1 terdiri dari 9 titik yang berarah barat-laut-tenggara, yaitu MTMR-36, MTMR-01, MTMR-06, MTMR-11, MTMR-16, MTMR-21, MTMR-26, MTMR-31, MTMR-19. Pada penampang lintasan 1 ini, terdapat resistivitas yang rendah ( $<10 \Omega\text{m}$ ) dibawah titik MTMR-36 hingga MTMR-11, dan dibawah titik MTMR-21 hingga MTMR-26. Berdasarkan data geologi, terdapat struktur yang memotong lintasan diantara titik MTMR-11 dan MTMR-16; MTMR-16 dan MTMR-21; dan diantara MTMR-26 dan MTMR-31. Nilai resistivitas yang tinggi ( $>300 \Omega\text{m}$ ) diduga merupakan sumber panas. Lalu struktur tersebut menjadi jalan masuknya air hingga ke sumber panas. Panas di teruskan dengan proses konveksi ke sekitarnya sehingga terbentuk lapisan yang memiliki resistivitas rendah yang diduga merupakan *clay cap*.

## Lintasan 2

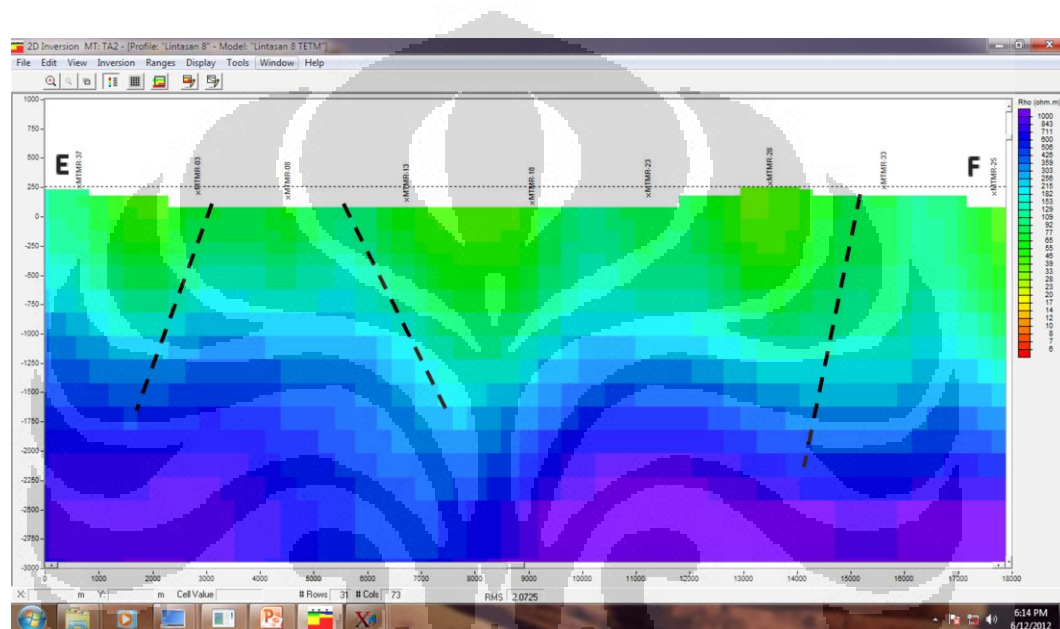


Gambar 5.4 Hasil Inversi 2D pada Lintasan 2

Lintasan 2 terdiri dari 8 titik yang berarah barat-laut-tenggara, yaitu MTMR-02, MTMR-07, MTMR-12, MTMR-17, MTMR-22, MTMR-27, MTMR-32, MTMR-20. Pada penampang lintasan 2 di atas, terdapat resistivitas yang rendah ( $<10 \Omega\text{m}$ ) dibawah titik MTMR-02 hingga MTMR-07, MTMR-12 hingga MTMR-22, juga di sekitar titik MTMR-27. Berdasarkan data geologi, terdapat

struktur yang memotong lintasan seperti yang terlihat pada Gambar 5.6. tepat di atas struktur tersebut terdapat mata air panas. Diduga struktur tersebut merupakan jalur keluarnya panas ke permukaan sehingga muncul mata air panas. Dan lapisan yang memiliki resistivitas rendah tersebut diduga merupakan *clay cap* yang memiliki batas bawah <750 m. Sehingga diduga reservoir berada dari kedalaman 750m hingga batas atas *heat source*  $\pm$  1500m

### Lintasan 3



Gambar 5.5 Hasil Inversi 2D pada Lintasan 3

Lintasan 3 terdiri dari 9 titik yang berarah barat-laut-tenggara, yaitu MTMR-37, MTMR-03, MTMR-8, MTMR-13, MTMR-18, MTMR-23, MTMR-28, MTMR-33, MTMR-25. Pada penampang lintasan 3 di atas, terdapat tidak terlihat adanya nilai resistivitas rendah, melainkan resistivitas yang tinggi dengan batas atas yang lebih tinggi dibanding 2 penampang sebelumnya. Dari penampang lintasan 3 ini dapat diinterpretasikan bahwa semakin ke timur maka *heat source* atau dalam lapangan ini berupa batuan granit semakin membuka ke arah timur. Sehingga reservoir berada di dua penampang sebelumnya atau ke arah barat.

## 5.4 Pembahasan

### 5.4.1 Data Geologi

Jenis morfologi daerah penyelidikan didominasi oleh perbukitan bergelombang terjal, perbukitan bergelombang sedang-lemah, hingga pedataran yang tersusun oleh kerucut instrusi batuan granit dengan ketinggian 200-1500 m dari permukaan laut. Secara umum bentuk topografi condong melandai ke arah pantai.

Gejala penampakan panas bumi di permukaan daerah penelitian Marana diduga berlatar belakang tubuh granit muda yang menerobos batuan metamorf sehingga menghasilkan intrusi besar secara regional dan menghasilkan struktur geologi (sesar) sebagai media pemunculan panas bumi ke permukaan. Keberadaan sesar tersebut juga menjadi jalur masuknya air dari permukaan ke bawah permukaan.

### 5.4.2 Data Geokimia

- Tipe air panas

Komposisi air panas banyak dipengaruhi oleh kandungan gas, jenis batuan yang dilalui, tekanan dari fluida, temperatur, serta lamanya proses hidrotmal. Tipe air panas yang berada di lokasi penelitian beberapa diantaranya adalah mata air panas Masaingi, Marana 1, dan Marana 2 yang berada di barat laut daerah penelitian. Berdasarkan data geokimia, ketiga mata air panas tersebut dapat dikelompokkan ke dalam tipe air klorida yang berarti air panas tersebut berasal langsung dari reservoir.

Mata air panas yang berada di selatan daerah penelitian, yaitu mata air panas Bayosa, Yampo 1, dan Yampo 2. Berdasarkan data geokimia, ketiga mata air panas tersebut dapat dikelompokkan ke dalam tipe bikarbonat.

- Suhu bawah permukaan

Air panas tipe klorida pada mata air panas Masaingi, Marana 1, dan Marana 2 dengan pH netral merupakan tipe yang paling cocok untuk digunakan sebagai geotermometer karena kandungan silika  $\text{SiO}_2$  pada mata air panas tersebut

merupakan indikator yang baik dan sangat berguna. Berdasarkan perhitungan pada Tabel 3.4 didapatkan bahwa pendugaan suhu bawah permukaan menunjukkan kisaran temperatur minimum antara 154 – 237 °C dengan menggunakan Geotermometer “SiO<sub>2</sub> *adiabatic cooling*” dan “Na/K Giggenbach”.

### 5.4.3 Data Gravitasi

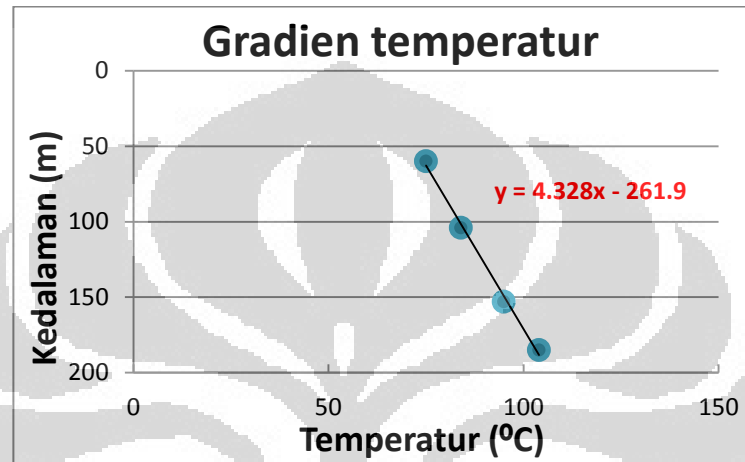
Anomali gayaberat mengindikasikan adanya 7 sesar di daerah penelitian, tiga sesar berarah timurlaut-barat daya, dan dua sesar masing-masing berarah baratlaut-tenggara dan mendekati timur-barat. Anomali Bouguer menunjukkan terdapat densitas tinggi dibagian tengah daerah penelitian dengan pola membuka ke arah timur menuju perbukitan terjal. Anomali positif yang relatif tinggi (>5mgal) di timurlaut air panas Masaingi bila dibandingkan dengan anomali sekitarnya yang tampak pada anomali sisa mengindikasikan adanya intrusi batuan granit muda yang diperkirakan sebagai tubuh panas. Argument ini diperkuat dengan adanya jalur patahan yang mengarah ke timur dan timurlaut pada mata air panas Masaingi.

Hasil anomali regional menunjukkan liniasi dan kerapatan kontur yang mengindikasikan sesar dominan yang berarah timurlaut-baratdaya. Keberadaan sesar tersebut diperkirakan sebagai pengontrol kenampakan manifestasi panas bumi di daerah Marana (mata air panas Marana 1, 2, 3 serta Masaingi). Keberadaan kutub positif dan kutub negatif pada anomali sisa mempertegas keberadaan sesar regional yang berarah baratlaut-tenggara dan 2 sesar yang berarah baratdaya-timurlaut yang memotong kompleks mata air panas Masaingi.

### 5.4.4 Sumur Landaian Suhu

Pada pengukuran logging temperatur dari sumur MM-1 pada kedalaman 60 m diperoleh nilai maksimum temperatur terukur adalah 75°C, pada kedalaman 104

m diperoleh nilai maksimum temperatur terukur adalah 84°C, pada kedalaman 153 m diperoleh nilai maksimum temperatur terukur adalah 95°C, dan pada kedalaman 185 m diperoleh nilai maksimum temperatur terukur adalah 104°C (Nanlohi et al., 2005). Dari nilai temperatur dan kedalaman dapat di peroleh gradient temperatur yang dapat digunakan untuk menghitung pendugaan nilai temperatur di resevoir.



Gambar 5.6 Kurva gradien temperatur.

Dari nilai gradien temperatur di atas maka kita dapat menduga temperatur di reservoir pada kedalaman 750, yaitu

$$x = \frac{y - 261.9}{4.328}$$

$$x = \frac{750 - 261.9}{4.328}$$

$$x = 233^{\circ}\text{C}$$

dengan y adalah temperatur dan x adalah kedalaman.



## 5.5 Interpretasi Terpadu

Dari hasil pengolahan data Magnetotellurik dan data-data pendukung, yaitu data geologi, geokimia, dan data gravitasi maka diperoleh suatu argument yang dapat menjelaskan sistem geotermal dari lapangan panas bumi Marana. Gambar 5.10 menggambarkan suatu model panas bumi pada lapangan Marana.

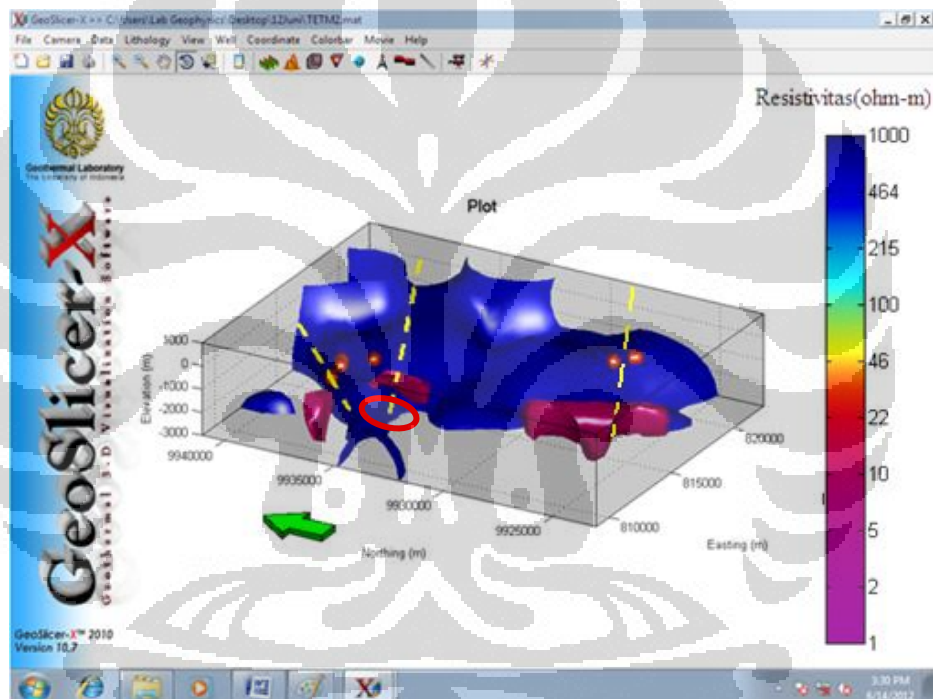
Penampang model panas bumi menggambarkan bentuk dan posisi akumulasi panas di sepanjang struktur rekahan, dengan memotong struktur graben yang berarah barat-laut-tenggara. Air meteorik yang masuk, sebagian dapat meresap ke bawah permukaan melalui struktur, rekahan, maupun pori-pori batuan menjadi air tanah dan sebagian lagi teralirkan langsung ke sungai. Kemudian panas dari peluruhan radioaktif di batuan intrusi granit terakumulasi dengan air tanah membentuk sistem air panas yang terperangkap pada struktur dan menjadi awal dari suatu reservoir.

Dari data magnetotelluric dan data gravitasi diketahui sumber panas berupa granit berada di bawah mata air panas Masaingi dengan arah membuka ke timurlaut. Selain itu diperoleh kecocokan pendugaan struktur dari data gravitasi dan data MT, yaitu terdapat 2 struktur berarah baratdaya-timur laut di sekitar mata air panas masaingi.

Dari hasil inversi data magnetotelluric dan gabungan dari data pendukung, diperoleh suatu konseptual model seperti pada Gambar 5.7. Dari konseptual tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut. Terdapat 2 keberadaan reservoir yang terpisah atau tidak berhubungan, dilihat dari tidak adanya kemenerusan dari *clay cap* maupun dari *heat source*. Reservoir pertama berada di bawah kompleks mata air panas masaingi yang memiliki nilai resistivitas 30-100  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 750-1500 m, dengan batas atas merupakan *clay cap* dan abates bawah merupakan *heat source*. Lalu terdapat struktur yang diduga sebagai jalur aliran panas ke permukaan yang ditandai dengan munculnya mata air panas di permukaan. Dugaan temperatur di reservoir pertama dari data geokimia adalah 237°C sedangkan dari data sumur dengan menggunakan perhitungan gradien temperatur didapatkan kisaran nilai 233°C pada kedalaman 750m. Kedua nilai tersebut

berbeda sangat tipis atau dapat dikatakan cocok. Sehingga reservoir pertama ini dapat dikategorikan ke dalam *Moderate Temperature Geothermal System*.

Reservoir kedua berada di bawah kompleks mata air panas Yampo. Namun kedalaman dari *clay cap* sangat dalam yaitu 1000m ke bawah sehingga reservoirnya juga akan sangat dalam. Reservoir yang dalam akan memiliki temperatur yang rendah, begitu juga dugaan potensi, didukung oleh data geokimia yang menunjukkan bahwa temperatur permukaan dan temperatur bawah permukaan dari kompleks mata air panas Yampo  $<150^{\circ}\text{C}$ . Oleh sebab itu, hanya reservoir pertama yang akan dianggap memiliki potensi yang baik.



Gambar 5.7 Konseptual model panasbumi pada lapangan Marana

## 5.6 Potensi Panasbumi

Perkiraan potensi panasbumi pada reservoir di bawah kompleks mata air panas Masaingi dapat dihitung dari nilai temperatur bawah permukaan dan luas daerah dugaan reservoir sehingga diperoleh perhitungan sebagai berikut (Putra, 2006):

$$Q = k \times A \times (T_{Res} - T_{cut\ off})$$

dengan  $Q$  = Potensi energi panasbumi terduga (MWe)

$k$  = Faktor konversi (MWe/°C km<sup>2</sup>), 0.1 untuk fluida dan 0.19 untuk fuida dan batuan.

$A$  = Luas daerah potensi (Km<sup>2</sup>)

$T_{\text{res}}$  = Temperatur reservoir (°C)

$T_{\text{cut off}}$  = Temperatur cut off (°C)

Dengan pendugaan temperatur reservoir sebesar 237 °C dan luas daerah reservoir ± 2 Km<sup>2</sup> maka diperoleh nilai potensi panasbumi sebagai berikut:

$$Q = 0.19 \text{MWe}/^\circ\text{C km}^2 \times 2 \text{Km}^2 \times (237 - 150^\circ\text{C})$$

$$Q = 33 \text{ MWe}$$

## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

1. Tahapan pengolahan data MT 2-dimensi terdiri atas seleksi data *time-series*, transformasi *Fourier*, *robust processing*, seleksi *cross power*, koreksi *static shift*, dan inversi 2-dimensi.
2. MT merupakan metode yang sangat tepat digunakan untuk memetakan sistem panasbumi. Karakterisasi dari sistem panasbumi berdasarkan nilai resistivitas adalah *clay cap* memiliki nilai resistivitas  $<10 \Omega\text{m}$ , reservoir memiliki nilai resistivitas  $30\text{-}100 \Omega\text{m}$ , dan sumber panas memiliki nilai resistivitas  $>300 \Omega\text{m}$ .
3. Reservoir panasbumi diduga berada di bawah kompleks mata air panas Masaingi pada kedalaman  $750\text{-}1500 \text{ m}$  dengan dugaan temperatur  $154\text{-}237 \text{ }^\circ\text{C}$  sehingga sistem panasbumi Marana termasuk ke dalam *Moderate Temperature Geothermal System*.
4. Potensi dari reservoir panasbumi di lapangan Marana diduga sebesar  $33\text{MWe}$  dengan luas area  $2 \text{ Km}^2$ .

#### 6.2 Saran

1. Jika akan dilakukan pengeboran eksplorasi maka disarankan di bawah kompleks mata air panas Masaingi.
2. Tidak menutup kemungkinan untuk melakukan pemanfaatan dari lapangan panasbumi Marana sebagai energi listrik setelah dilakukan beberapa sumur eksplorasi.

## DAFTAR REFERENSI

- Daud, Yunus, 2010, *Diktat Kuliah : Metode Magnetotelluric (MT)*, Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Indonesia.
- Daud, Yunus, 2010, *Diktat Kuliah : Introduction to Geothermal System and Technology*, Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Indonesia.
- Goff, F., & Janik, C. J. (2000). *Encyclopedia of Volkanoes*. Academic Press.
- Nanlohi, F., Boegis, Z., Dikdik R. (2005). *Pemboran Sumur Landaian Suhu MM-1, Lapangan Panas Bumi Marana, kabupaten Donggala – Sulawesi Tengah*
- Nanlohi, F., Boegis, Z., Dikdik R. (2005). *Pemboran Sumur Landaian Suhu MM-2, Lapangan Panas Bumi Marana, kabupaten Donggala – Sulawesi Tengah*
- Newman, G. A., Hoversten, M., Gasperikova, E., & Wannamaker, P. E. (2005). *3D Magnetotelluric Characterization of The Coso Geothermal Field*. California: Proceedings 30<sup>th</sup> Workshop on Geotrermal Reservoir Engineering.
- Oskooi, B. (2005). *1D Interpretation of The Magnetotelluric Data from Travale Geothermal Field in Italy*, Jurnal of The Earth & Space Physics. Vol. 32, No. 2, 2006.
- Porkhial, S., Rigor, D. M., Bayrante, L. F, & Layugun, D. B. (2010). *Magnetotelluric Survey of NW Sabalan Geothermal Project, Iran*. Proceedings World Geothermal Congress.
- Pusat Sumber Daya Geologi dan Mineral. (2004). *Laporan terpadu Daerah Panas Bumi Marana/Marawa, kab. Donggala – Provinsi Sulawesi Tengah*.
- Putra, R. A. (2006) *Pemodelan Geofisika Terpadu Sistem Panas Bumi Marana/Marawa Kab. Donggala, Sulteng Berdasarkan Data Gravitasi dan Geolistrik*. Depok: Universitas Indonesia.
- Rodi, W. & Mackie, R. L. (2001). *Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. Geophysics 66: 174-187
- Simpson, F., & Bahr, K. (2005). *Practical Magnetotellurics*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Siripunvaraporn, Weerachai. (2012) *Three-Dimensional Magnetotelluric Inversion: An Introductory Guide for Developers and Users*. Surv Geophys 33: 5-27

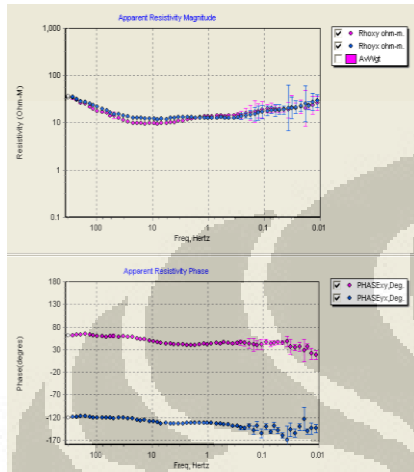
- Subdit Panas Bumi. (2005). *Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Marana Kabupaten Donggala – Sulawesi Tengah*. Indonesia: Author
- Suhanto, E. (2005). *Hasil Kegiatan Eksplorasi Panas Bumi Tahun 2004, Direktorat Investasi Sumber Daya Mineral*. Indonesia: Subdit Panas Bumi
- Sulistyo, A. (2010). *Pemodelan Static Shift Menggunakan MT2dFor*. Depok: Universitas Indonesia.
- Suparno, S. (2007). *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika-FMIPA, Universitas Indonesia.
- Suryantini & Wibowo, H. (2010). *Application of Fault and Fracture Density (FFD) Method for Geothermal Exploration in Non-Volcanic Geothermal System; a Case Study in Sulawesi-Indonesia*. Indonesia: Geoaplika
- Unsworth, M. (2008). *Bahan Mata Kuliah Metode Elektromagnetik*.



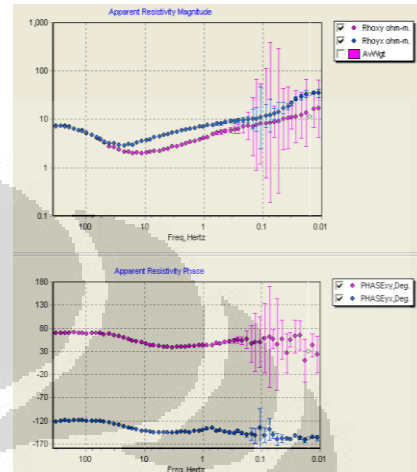
# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Kurva MT hasil seleksi cross power menggunakan MTeditor

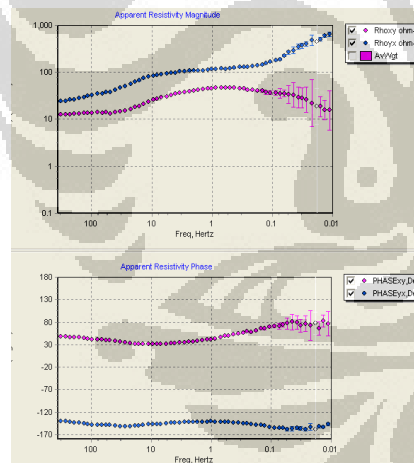
Titik MTMR-01



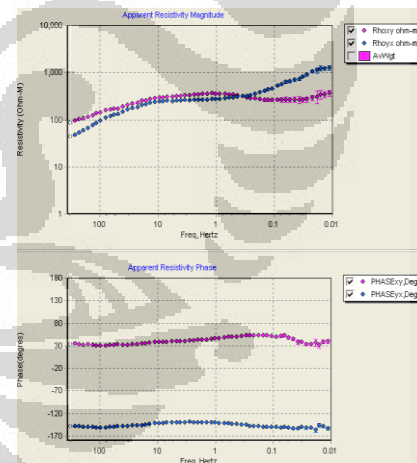
Titik MTMR-02



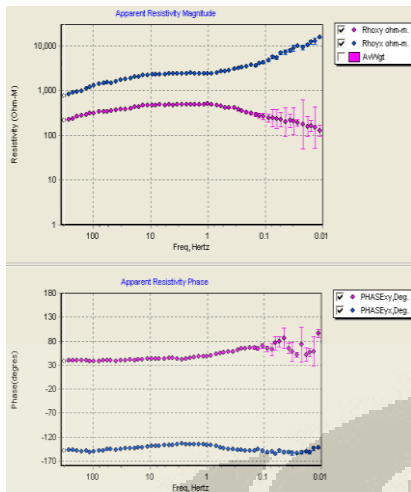
Titik MTMR-03



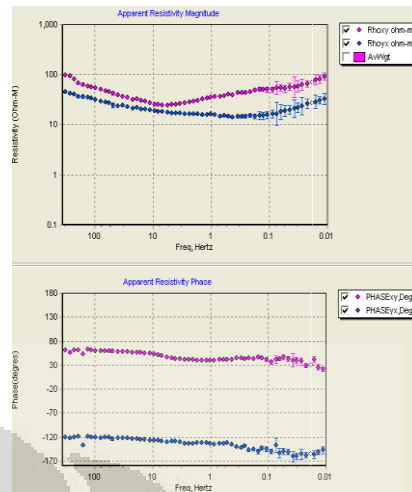
Titik MTMR-04



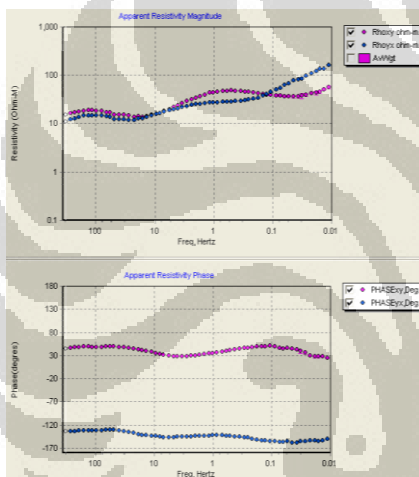
Titik MTMR-05



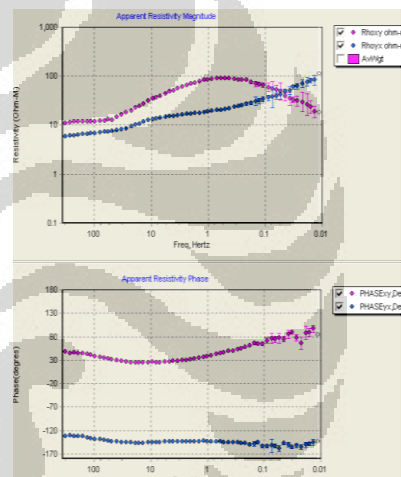
Titik MTMR-06



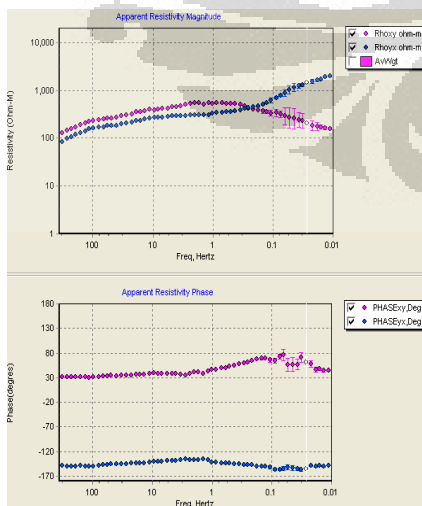
Titik MTMR-07



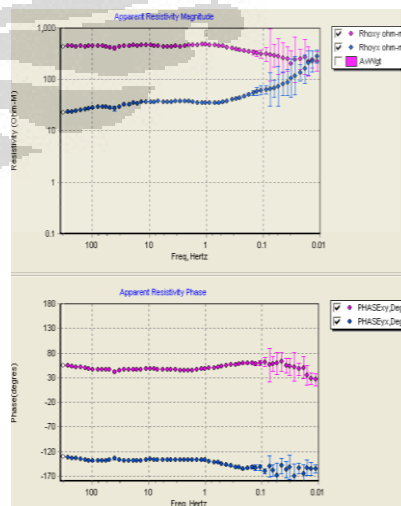
Titik MTMR-08



Titik MTMR-09

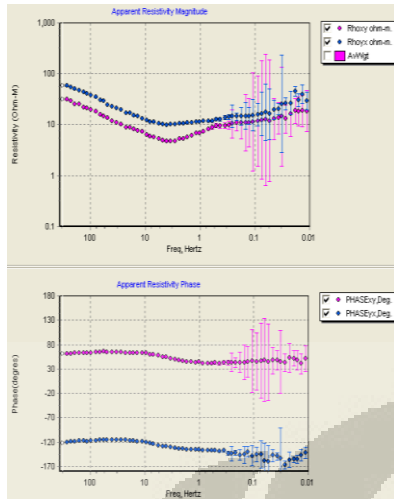


Titik MTMR-10

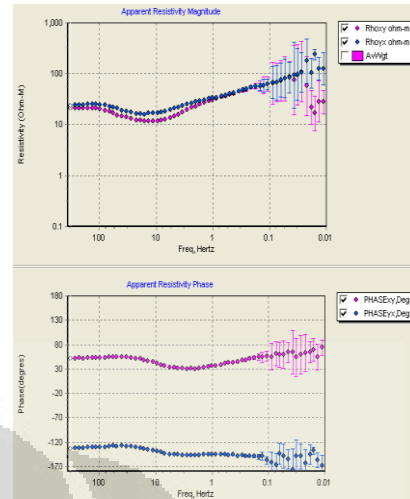




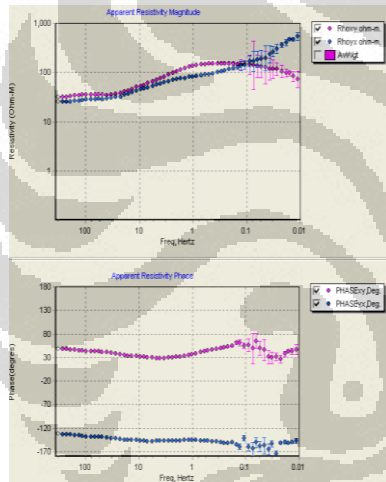
Titik MTMR-11



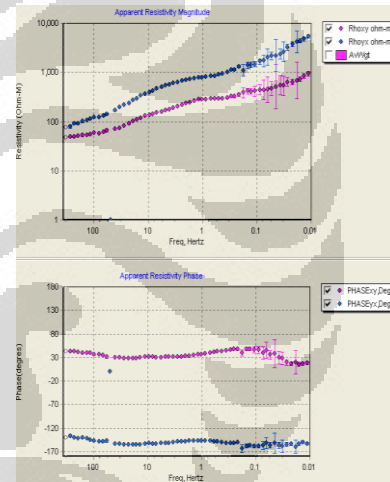
Titik MTMR-12



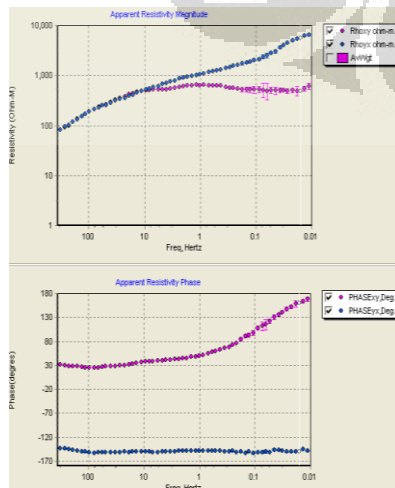
Titik MTMR-13



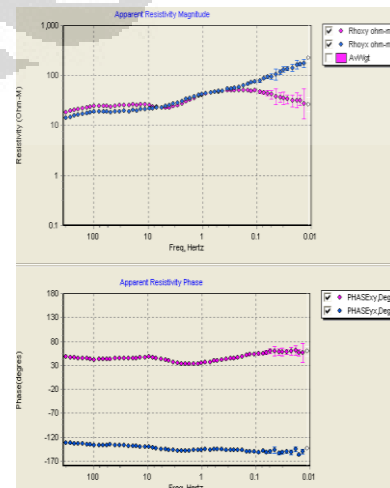
Titik MTMR-14



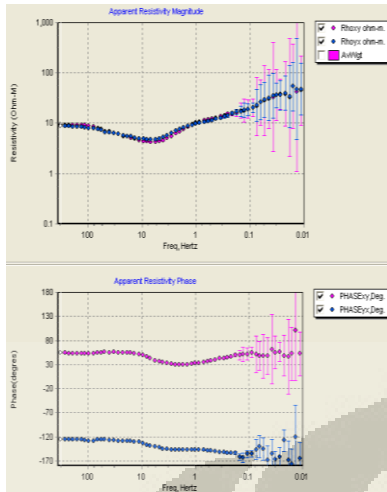
Titik MTMR-15



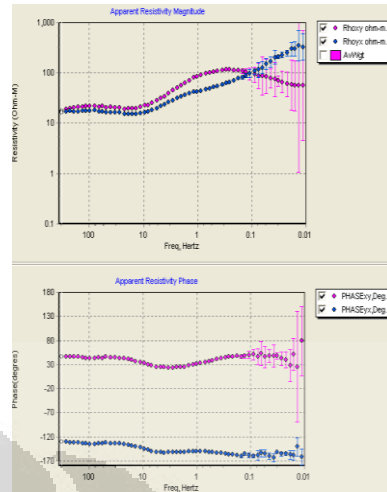
Titik MTMR-16



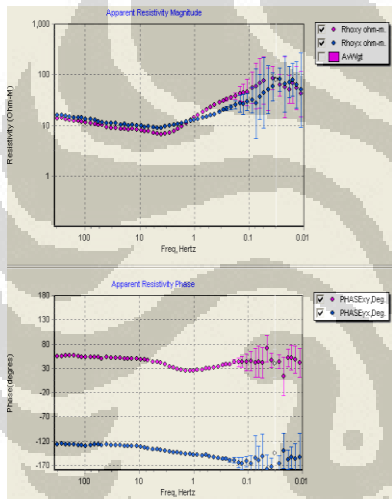
Titik MTMR-17



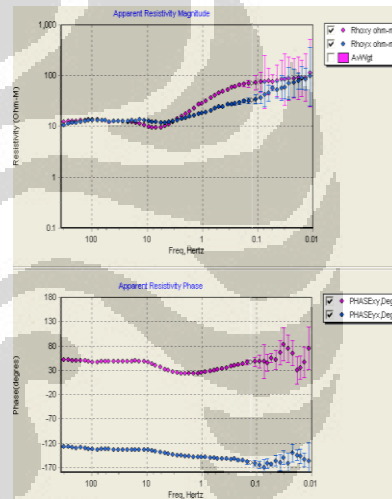
Titik MTMR-18



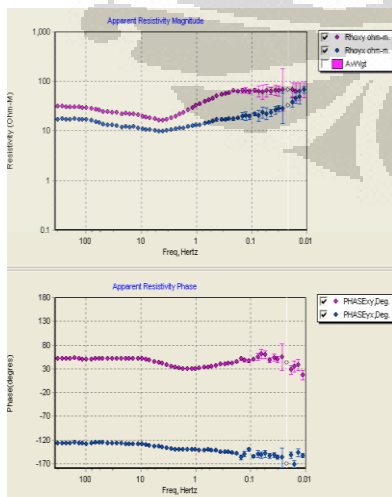
Titik MTMR-19



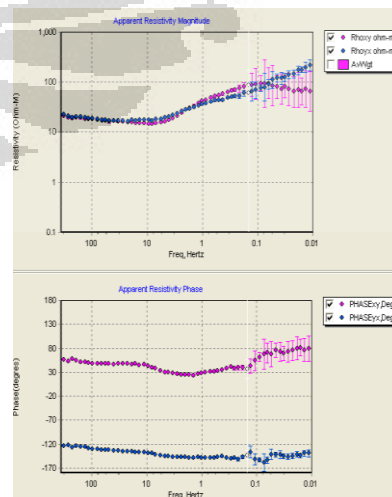
Titik MTMR-20



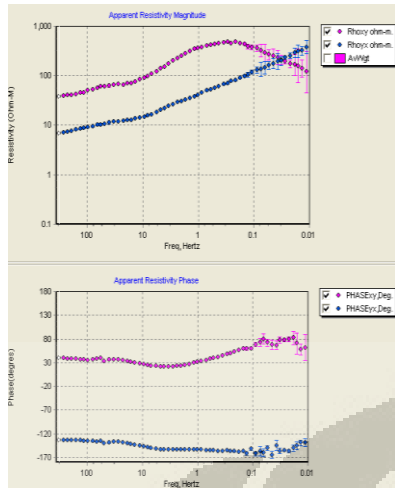
Titik MTMR-21



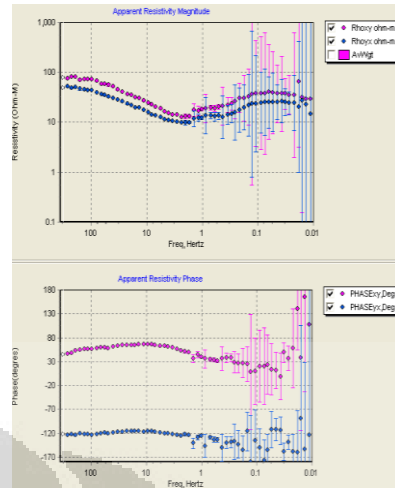
Titik MTMR-22



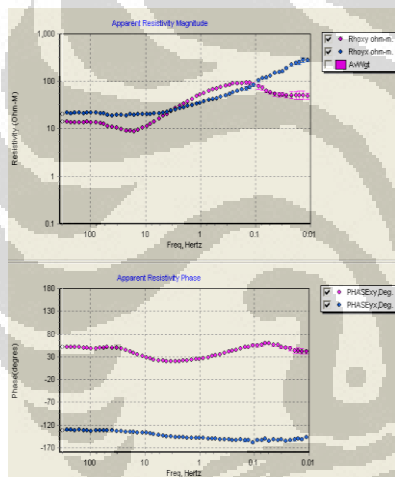
Titik MTMR-23



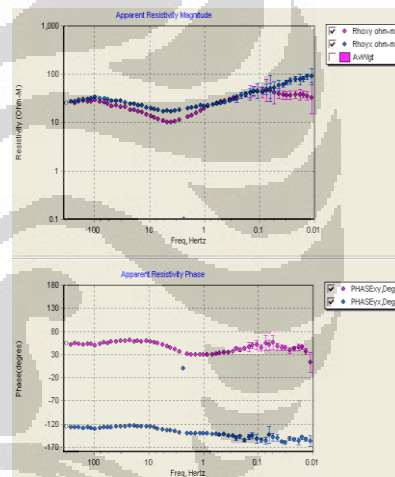
Titik MTMR-24



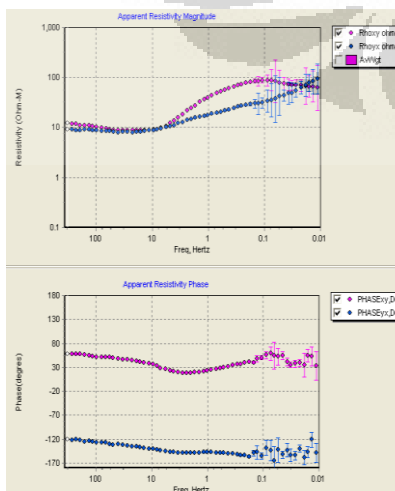
Titik MTMR-25



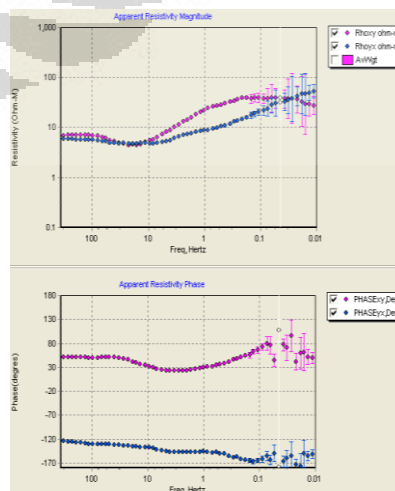
Titik MTMR-26



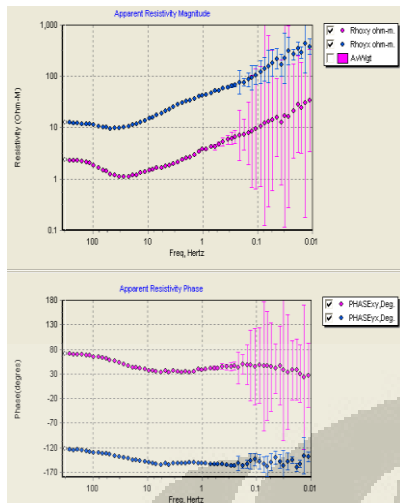
Titik MTMR-27



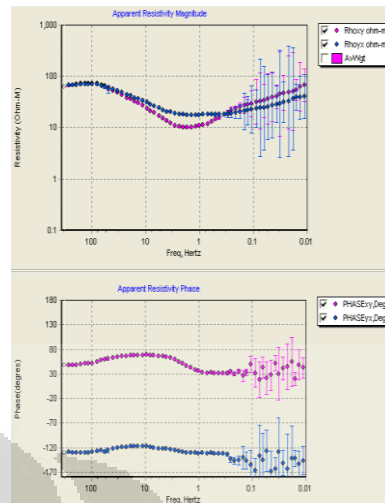
Titik MTMR-28



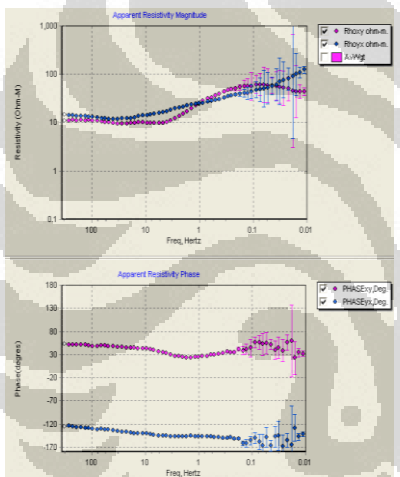
Titik MTMR-29



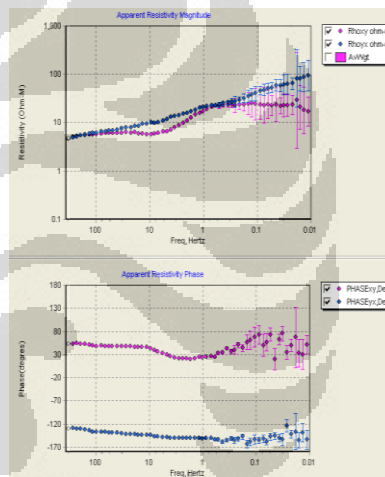
Titik MTMR-30



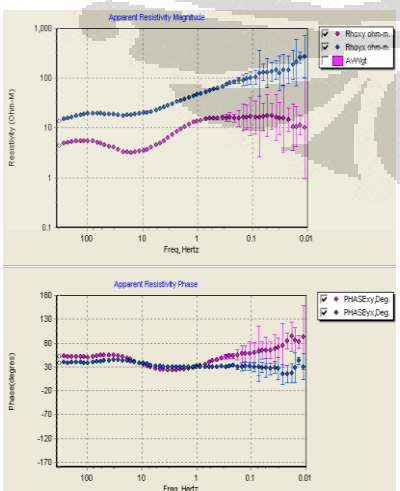
Titik MTMR-31



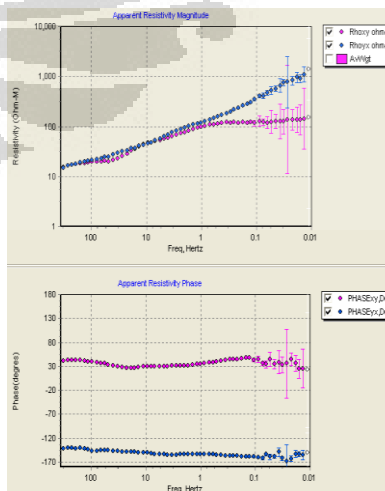
Titik MTMR-32



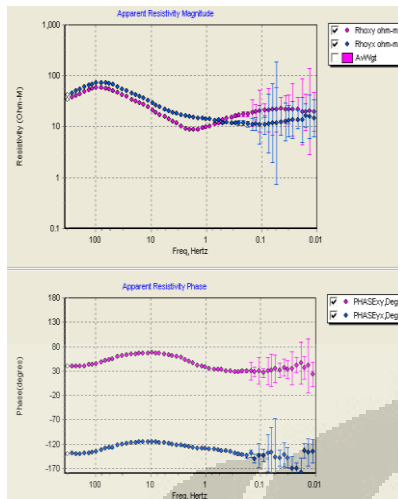
Titik MTMR-33



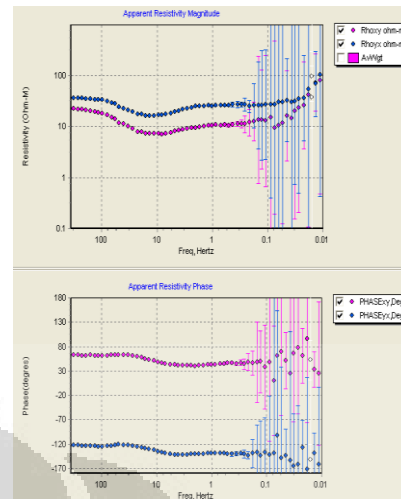
Titik MTMR-34



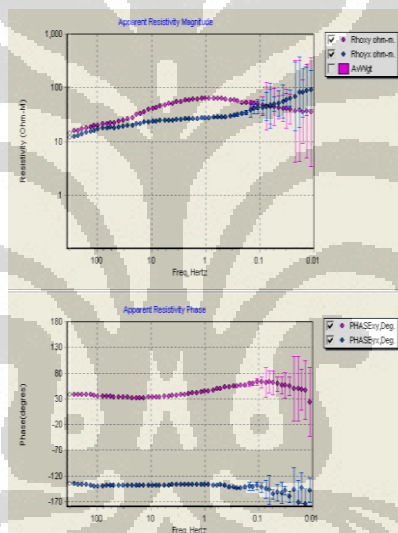
Titik MTMR-35



Titik MTMR-36



Titik MTMR-37



## Lampiran 2. Kurva hasil koreksi *static shift*

