



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REDUKSI NOISE PADA PEMROSESAN DATA  
MAGNETOTELLURIK (MT) DENGAN MENGGUNAKAN  
*REMOTE REFERENCE***

**SKRIPSI**

**ANDY RUSBIYANTO**

**0706262104**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPOK  
DESEMBER 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**REDUKSI NOISE PADA PEMROSESAN DATA  
MAGNETOTELLURIK (MT) DENGAN MENGGUNAKAN  
*REMOTE REFERENCE***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**ANDY RUSBIYANTO**

**0706262104**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**DEPOK**

**DESEMBER 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Andy Rusbiyanto**

**NPM : 0706262104**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 16 Desember 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Andy Rusbiyanto  
NPM : 0706262104  
Program Studi : S-1 Reguler  
Judul Skripsi : Reduksi Noise pada Pemrosesan Data Magnetotellurik (MT) dengan Menggunakan *Remote Reference*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 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. Dede Djuhana, M.Si (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Desember 2011

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Adapun judul dari Tugas Akhir yang penulis kerjakan adalah “**Reduksi Noise pada Pemrosesan Data Magnetotellurik (MT) dengan Menggunakan Remote Reference**”.

Penulisan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Program peminatan Geofisika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Yunus Daud, selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, saran, nasehat, dan motivasi kepada penulis.
2. Bapak Supriyanto dan Bapak Dede Djuhana selaku penguji sidang tugas akhir yang telah memberikan kritik dan saran terkait penulisan skripsi.
3. Seluruh Staf pengajar Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya selama perkuliahan.
4. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat setiap saat kepada penulis.
5. Kak Lendri dan Kak Surya, selaku asisten dosen yang telah memberikan bantuan dan bimbingannya.
6. Mas Rahman Saputra, selaku alumni Departemen Fisika UI yang telah memberikan waktu dan tempat kepada penulis untuk bisa berdiskusi mengenai pemrograman.
7. Dzil Mulki Heditama, selaku alumni, asisten dosen, dan teman yang telah memberikan waktu dan tempat kepada penulis untuk berkonsultasi masalah pemrograman.
8. Seluruh Staf Sekretariat Departemen Fisika UI yang telah membantu penulis dalam kelengkapan berkas – berkas Tugas Akhir.

9. Igan dan Arfan selaku teman satu laboratorium yang menjadi teman diskusi selama pelaksanaan Tugas Akhir ini.
10. Dhe yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
11. Semua teman – teman Fisika UI angkatan 2007 baik yang sedang melaksanakan Tugas Akhir juga maupun yang belum.
12. Sahabat – sahabat “Principia Course” yang sama – sama sedang melaksanakan Tugas Akhir juga.
13. Seluruh pihak yang membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu – persatu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan atas kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang disebabkan karena keterbatasan pengetahuan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca agar tugas akhir ini dapat bermanfaat dengan baik.

Depok, Desember 2011

Penulis

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

---

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

Nama : Andy Rusbiyanto  
NPM : 0706262104  
Program Studi : S-1 Reguler  
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 :

Reduksi Noise pada Pemrosesan Data Magnetotellurik (MT) dengan Menggunakan *Remote Reference*

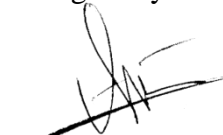
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 16 Desember 2011

Yang menyatakan



(Andy Rusbiyanto)

## ABSTRAK

Nama : Andy Rusbiyanto  
Program Studi : Fisika  
Judul Skripsi : Reduksi Noise pada Pemrosesan Data Magnetotellurik (MT) dengan Menggunakan *Remote reference*

Metode Magnetotellurik (MT) adalah metode geofisika pasif yang digunakan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan menggunakan induksi elektromagnetik. Data yang didapatkan pada pengukuran MT biasanya masih mengandung noise sehingga hasil dari pemrosesan datanya masih kurang baik. Oleh karena itu, noise tersebut harus dikurangi semaksimal mungkin dengan menggunakan metode *remote reference*. Keberadaan *software* untuk melakukan pemrosesan data MT dengan menggunakan *remote reference* masih sangat terbatas. Pada penelitian ini, penulis memfokuskan pada pembuatan program MATLAB untuk pengolahan data MT dari data mentah berupa *time series* sampai mendapatkan hasil akhir berupa kurva resistivitas semu dan fase dengan menggunakan metode MT *remote reference*. Terdapat beberapa tahapan dalam pengolahan data MT *remote reference* ini, yaitu transformasi Fourier dengan teknik *Fast Fourier Transform* (FFT). Kemudian melakukan estimasi impedansi dan perhitungan mencari nilai resistivitas semu dan fase. Setelah itu, langkah terakhir yaitu teknik estimasi robust. Hasil dari kurva resistivitas semu dan fase yang menggunakan *remote reference* terlihat lebih teratur dan *smooth* dibandingkan yang tidak menggunakan *remote reference*. Hal ini membuktikan bahwa pengolahan data MT dengan menggunakan *remote reference* dapat mengurangi noise pada data MT. Adapun hasil dari inversi 2-D memiliki kesesuaian antara program yang dibuat di MATLAB dengan *software* yang telah ada (SSMT2000).

Kata Kunci : fase, *fast fourier transform*, impedansi, magnetotellurik, *remote reference*, robust, resistivitas semu, *time series*  
xiii+70 halaman : 65 gambar  
Daftar Acuan : 16 (1864 – 2011)



## ABSTRACT

Name : Andy Rusbiyanto  
Study Program : Physics  
Title : Noise Reduction in Magnetotelluric (MT) Data Processing using Remote reference

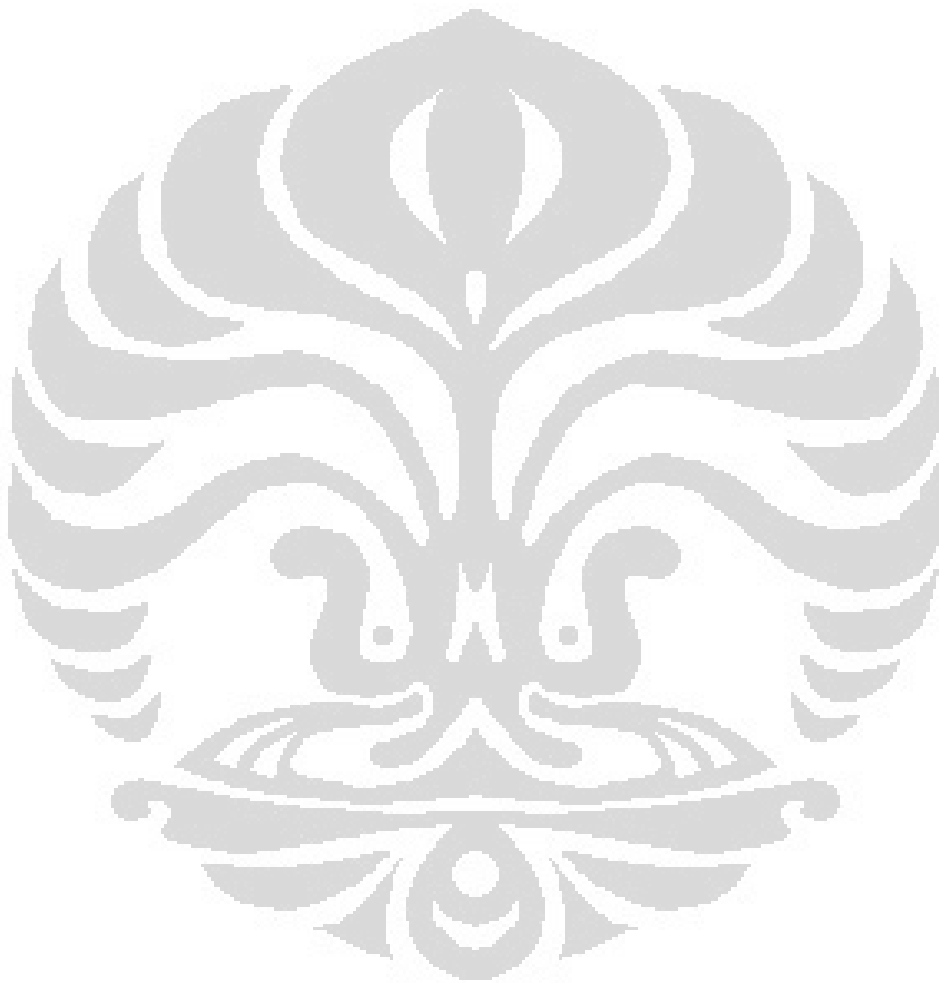
Magnetotelluric method (MT) is a passive geophysical method used to determine the state of the subsurface using electromagnetic induction. The data obtained was usually still contain noise so that the results was still not good. Therefore, noise should be reduced as much as possible by using the remote reference method. The software to perform data processing using a remote reference MT was limited. In this study, the authors focused on the manufacture of MATLAB for processing of MT data from the raw data in the form of time series to obtain the final form of the curve apparent resistivity and phase by using a remote reference MT method. There are several steps in the remote reference MT data processing, Fourier transform technique with Fast Fourier Transform (FFT). Then the impedance estimation and calculations to find the value of apparent resistivity and phase. After that, the last step is robust estimation techniques. The results was better and smoother than those which not using a remote reference. This proved that the MT data processing using a remote reference can reduce noise in MT data. The results of 2-D inversion was matched between a program created in MATLAB with existing software (SSMT2000).

Keywords : apparent resistivity, fast fourier transform, impedance, magnetotelluric, phase, remote reference, robust, time series  
xiii+70 pages : 65 pictures  
Bibliography : 16 (1864 – 2011)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Metode Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Konsep Dasar Metode Magnetotellurik .....	6
2.2 Persamaan Maxwell Pada Metode Magnetotellurik .....	10
2.3 Tensor Impedansi .....	10
2.4 <i>MT Remote Reference</i> .....	13
2.4.1 <i>Data Time Series</i> .....	15
2.4.2 Transformasi Fourier .....	16
2.4.3 Tensor Impedansi .....	20
2.4.4 Resistivitas Semu dan Fase .....	23
<b>BAB 3. PEMBUATAN PROGRAM DAN PENGOLAHAN DATA</b> .....	24
3.1 Pembuatan <i>Source Code</i> dengan Menggunakan MATLAB .....	24
3.1.1 <i>Time Series</i> .....	24
3.1.2 <i>Fast Fourier Transform</i> .....	25
3.1.3 <i>Remove Linear Trends</i> .....	26
3.1.4 <i>Hann (Hanning) Window</i> .....	27
3.1.5 Estimasi Impedansi .....	28
3.1.6 Menghitung Nilai Resistivitas Semu dan Fase .....	28
3.1.7 Estimasi Robust .....	29
3.2 Membuat <i>Graphical User Interface (GUI)</i> pada MATLAB .....	29
3.3 Penggunaan Program MTPower .....	36
3.4 Pengolahan Data dengan Menggunakan SSMT2000 .....	46
3.5 Inversi 2-D .....	48
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	52
4.1 Hasil Pengolahan Data <i>Remote reference</i> dengan MTPower .....	52
4.2 Hasil Pengolahan Data Tanpa <i>Remote reference</i> dengan MTPower ...	57
4.3 Hasil Pengolahan Data <i>Remote reference</i> dengan SSMT2000 .....	58
4.4 Hasil Pengolahan Data Tanpa <i>Remote reference</i> dengan SSMT2000 .	63
4.5 Hasil Inversi 2-D .....	65
4.5.1 Hasil Inversi 2-D dari Pengolahan Data dengan MTPower .....	65

4.5.2 Hasil Inversi 2-D dari Pengolahan Data dengan SSMT2000.....	66
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	67
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran.....	68
<b>DAFTAR ACUAN</b> .....	69



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Skematik alur penelitian.....	4
Gambar 2.1.	Ilustrasi perambatan gelombang elektromagnetik .....	6
Gambar 2.2.	Prinsip dasar metode magnetotellurik.....	7
Gambar 2.3.	Fenomena <i>Solar Wind</i> dan <i>Lightning Activity</i> .....	8
Gambar 2.4.	<i>MT field layout</i> .....	9
Gambar 2.5.	<i>MT Remote reference Field Layout</i> .....	14
Gambar 2.6.	Bentuk sinyal data <i>time series</i> .....	15
Gambar 2.7.	Prinsip Dasar Transformasi Fourier .....	16
Gambar 3.1.	Contoh data dalam domain waktu.....	26
Gambar 3.2.	Contoh data setelah diubah ke dalam domain frekuensi.....	26
Gambar 3.3.	<i>Remove Linear Trends</i> .....	27
Gambar 3.4.	<i>Hanning Window</i> .....	27
Gambar 3.5.	Grafik hasil teknik robust dan <i>least square</i> .....	29
Gambar 3.6.	Tampilan <i>icon GUIDE</i> pada MATLAB.....	30
Gambar 3.7.	Tampilan <i>GUIDE Quick Start</i> .....	30
Gambar 3.8.	Tampilan awal pada pembuatan GUI.....	31
Gambar 3.9.	Tampilan <i>Open Existing GUI</i> pada <i>GUIDE Quick Start</i> .....	32
Gambar 3.10.	Tampilan GUI dari program yang sudah dibuat .....	32
Gambar 3.11.	Tahapan menghubungkan tombol di GUI dengan <i>source code</i> .....	33
Gambar 3.12.	Tampilan GUI yang telah dibuat setelah dilakukan <i>Run Figure</i> .....	33
Gambar 3.13.	Contoh data <i>time series</i> yang sudah diubah ke dalam format ‘.txt’ ...	34
Gambar 3.14.	Kotak dialog ‘Pilih data lokal’ .....	36
Gambar 3.15.	Kotak dialog ‘sedang membaca data’ .....	37
Gambar 3.16.	Kotak dialog ‘Proses Pembacaan Data Berhasil’ .....	37
Gambar 3.17.	Kotak dialog ‘Pilih data remote’ .....	37
Gambar 3.18.	Kotak dialog ‘sedang membaca data’ .....	38
Gambar 3.19.	Kotak dialog ‘Proses Pembacaan Data Berhasil’ .....	38
Gambar 3.20.	Bentuk sinyal <i>time series</i> data MT lokal.....	39
Gambar 3.21.	Kotak dialog ‘pilih data lokal’ .....	39
Gambar 3.22.	Kotak dialog ‘pilih data remote’ .....	40
Gambar 3.23.	Kotak dialog ‘simpan data’ .....	41
Gambar 3.24.	Kotak dialog ‘Masukkan data lokal’ .....	42
Gambar 3.25.	Kotak dialog ‘Masukkan Remote’ .....	42
Gambar 3.26.	Kotak dialog tampilan segmen_awal, segmen_akhir, dan jumlah data .....	43
Gambar 3.27.	Kotak dialog ‘Silakan Tunggu...’ .....	43
Gambar 3.28.	Kotak dialog ‘Simpan Hasil Spektra Lokal’ .....	44
Gambar 3.29.	Kotak dialog ‘Simpan Hasil Spektra Remote’ .....	45
Gambar 3.30.	Kotak dialog ‘Simpan Rho dan Phase’ .....	45
Gambar 3.31.	Tampilan SSMT2000.....	46
Gambar 3.32.	Tampilan <b>Make PFT</b> .....	47
Gambar 3.33.	Proses <b>TS to FT</b> .....	47
Gambar 3.34.	Tampilan <b>Edit PRM</b> .....	48
Gambar 3.35.	Tampilan awal MT2Dinv .....	49
Gambar 3.36.	Tampilan <i>data input</i> MT1 .....	50

Gambar 3.37.	Tampilan <i>data input</i> MT2 .....	50
Gambar 3.38.	Tampilan proses inversi MT_Remote .....	51
Gambar 4.1.	Tampilan sinyal <i>time series</i> MT1 dengan MTPower.....	52
Gambar 4.2.	Tampilan spektra dari data MT1 .....	53
Gambar 4.3.	Tampilan spektra dari data <i>remote reference</i> .....	53
Gambar 4.4.	Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT1 dari MTPower dengan menggunakan <i>remote reference</i> .....	54
Gambar 4.5.	Tampilan sinyal <i>time series</i> titik MT2 dengan MTPower .....	55
Gambar 4.6.	Tampilan spektra dari data MT2 .....	55
Gambar 4.7.	Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT2 dari MTPower dengan menggunakan <i>remote reference</i> .....	56
Gambar 4.8.	Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT1 dari MTPower tanpa <i>remote reference</i> .....	57
Gambar 4.9.	Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT2 dari MTPower tanpa <i>remote reference</i> .....	57
Gambar 4.10.	Tampilan sinyal <i>time series</i> MT1 dengan menggunakan <i>software Synchro Time Series Viewer</i> .....	59
Gambar 4.11.	Tampilan sinyal <i>time series</i> MT2 dengan menggunakan <i>software Synchro Time Series Viewer</i> .....	59
Gambar 4.12.	Tampilan spektra MT1 dengan menggunakan <i>software Synchro Time Series Viewer</i> .....	60
Gambar 4.13.	Tampilan spektra MT2 dengan menggunakan <i>software Synchro Time Series Viewer</i> .....	60
Gambar 4.14.	Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT1 dari MT Editor dengan menggunakan <i>remote reference</i> .....	61
Gambar 4.15.	Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT2 dari MT Editor dengan menggunakan <i>remote reference</i> .....	62
Gambar 4.16.	Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT1 dari MT Editor tanpa <i>remote reference</i> .....	63
Gambar 4.17.	Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT2 dari MT Editor tanpa <i>remote reference</i> .....	64
Gambar 4.18.	Hasil inversi 2-D dari pengolahan data dengan MTPower .....	65
Gambar 4.19.	Hasil inversi 2-D dari pengolahan data dengan SSMT2000.....	66

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi panasbumi merupakan energi yang tersimpan dalam bentuk air panas atau uap pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi. Daerah panasbumi (*geothermal area*) atau medan panasbumi (*geothermal field*) adalah daerah di permukaan bumi dalam batas tertentu dimana terdapat energi panasbumi dalam suatu kondisi hidrologi batuan tertentu (Santoso, 2004).

Secara umum medan panasbumi di Indonesia berasosiasi dengan daerah magmatik dan vulkanik karena pada daerah tersebut tersedia sumber panasbumi. Negara Indonesia yang berada di jalur *ring of fire* atau jalur gunung api merupakan suatu wilayah yang memiliki potensi panasbumi (Fro, 2011).

Diperkirakan potensi panasbumi di Indonesia saat ini telah mencapai 28.000 MW. Pengembangan panasbumi secara total memberikan nilai tambah yang cukup besar bagi pemerintah walaupun harga listrik panasbumi dianggap “tinggi” apabila dibandingkan dengan pembangkit batubara (Darma, 2011).

Agar potensi panas bumi ini dapat dimanfaatkan secara maksimal maka diperlukan pengembangan sumber daya manusia maupun teknik eksplorasi panasbumi yang efektif dan efisien. Ada beberapa metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui potensi panasbumi di bawah permukaan, salah satunya yaitu metode Magnetotellurik (MT).

Metode Magnetotellurik (MT) adalah metode geofisika pasif yang digunakan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan dengan menggunakan induksi elektromagnetik di bawah permukaan Bumi. Pasif maksudnya disini adalah pada metode Magnetotellurik ini menggunakan sumber alami yaitu sumber yang berasal dari dalam Bumi. Sumber dari MT ini ada 2 yaitu *Solar Wind* dan *Lightning Activity*. *Solar wind* memiliki frekuensi rendah yaitu kurang dari 1 Hz, sedangkan *lightning activity* memiliki frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz. Pada dasarnya metode MT ini berlandaskan pada prinsip gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang perambatannya tidak

membutuhkan medium. Pada saat kedua sumber MT yaitu *solar wind* dan *lightning activity* mendekati Bumi maka medan magnetik Bumi yang awalnya konstan akan berubah – ubah akibat diganggu oleh kedua sumber tersebut. Perubahan medan magnetik Bumi ini akan menghasilkan arus listrik dan medan listrik. Arus listrik ini biasa disebut arus eddy. Timbulnya arus eddy disini menyebabkan terjadinya medan magnetik sekunder. Medan listrik dan medan magnetik sekunder inilah yang direkam pada pengukuran MT.

Pengukuran MT dapat dilakukan dengan hanya menggunakan satu stasiun MT saja atau menggunakan dua stasiun MT dengan satu stasiun sebagai *remote reference*. Pengukuran *remote reference* disini hanya merekam medan magnetik saja karena medan magnetik disini nilainya regional. Pada pengukuran MT *remote reference*, data MT selalu direkam secara bersamaan di dua tempat berbeda dengan pengaturan waktu dilakukan dengan menggunakan GPS. Jika sinyal yang terekam pada kedua stasiun itu sama maka kemungkinan sinyalnya itu merupakan sinyal yang sebenarnya. Pengukuran MT *remote reference* harus dilakukan pada daerah yang jauh dari noise. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas data MT.

Apabila noise berupa pergerakan tanah (*ground motion*), jarak stasiun *remote reference* diperbolehkan sekitar 500 m saja. Akan tetapi, apabila noise berasal dari sinyal rangkaian arus listrik DC maka diperlukan jarak stasiun *remote reference* sekitar 500 km (Unsworth, 2008).

Data MT yang didapatkan pada pengukuran MT biasanya masih mengandung noise sehingga hasil dari pemrosesan datanya masih kurang baik. Oleh karena itu, noise pada data MT ini harus dikurangi semaksimal mungkin dengan menggunakan metode *remote reference*.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Memahami langkah – langkah pengolahan data dengan menggunakan metode Magnetotellurik (MT).
2. Mempelajari pengolahan data Magnetotellurik (MT) dengan menggunakan *remote reference*.

3. Melakukan perhitungan *remote reference* dengan menggunakan program MATLAB.

### 1.3 Batasan Masalah

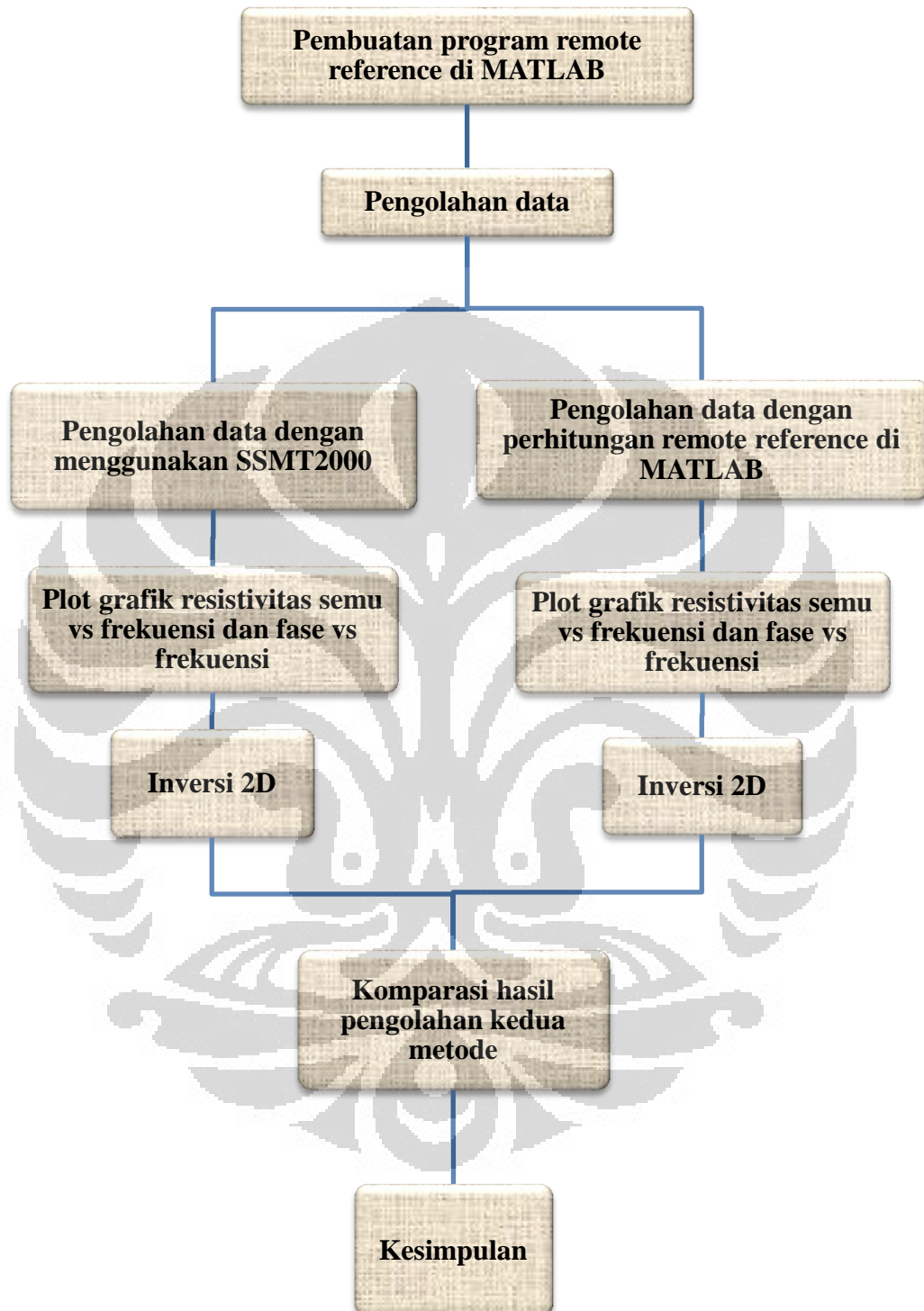
Pada penelitian ini penulis melanjutkan penelitian dari Dzil Mulki Heditama yang berjudul “Pemrosesan Data *Time Series* pada Metode Magnetotellurik (MT) Menjadi Data Resistivitas Semu dan Fase Menggunakan MATLAB”. Penulis melakukan pembuatan program MATLAB untuk pengolahan data MT dari data mentah berupa *time series* sampai mendapatkan hasil akhir berupa kurva resistivitas semu dan fase dengan menggunakan metode MT *remote reference* (Heditama, 2011).

### 1.4 Metode Penelitian

Penelitian dalam rangka melanjutkan penelitian dari Dzil Mulki Heditama ini dilakukan melalui tiga tahapan yaitu studi kepustakaan, proses perhitungan *remote reference*, dan pengolahan data menggunakan SSMT2000. Studi kepustakaan dilakukan dengan mempelajari konsep dari metode Magnetotellurik (MT). Informasi tersebut diperoleh dari berbagai literatur seperti buku, internet, paper, penjelasan dari dosen, dan diskusi dengan mahasiswa lain. Proses perhitungan *remote reference* dilakukan dengan tiga tahapan yaitu mengukur nilai medan magnetik lokal, medan listrik lokal dan nilai remote magnetik. Ketiga data itu dimasukkan kedalam perhitungan untuk melakukan estimasi impedansi ( $Z$ ). Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai resistivitas semu dan fase yang hasilnya kemudian diplot pada kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi (Gamble, Goubau, and Clarke, 1979).

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan SSMT2000 dari data mentah berupa *time series* sampai mendapatkan hasil akhir berupa grafik fungsi resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi. Hasil dari perhitungan *remote reference* dengan pengolahan data SSMT2000 kemudian dikomparasi. Berikut merupakan skematik alur perhitungan *remote reference* dan pengolahan data yang dilakukan dari data mentah hingga didapatkan kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi.





Gambar 1.1. Skematik alur penelitian

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan ini disusun menjadi lima bab dengan penjelasan masing – masing bab terdiri dari beberapa sub bab. Sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Bab 1 ini berisi tentang latar belakang penulis melakukan penelitian ini. Kemudian juga terdapat tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab 2 ini berisi berbagai macam teori dasar yang dapat digunakan penulis sebagai acuan dalam melakukan penelitian ini.

### **BAB 3. PEMBUATAN PROGRAM DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini berisi tentang tahapan – tahapan pembuatan program di MATLAB dan pengolahan data sampai mendapatkan kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi.

### **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil dari pembuatan program di MATLAB dan pengolahan data dengan menggunakan program tersebut dijelaskan pada bab ini.

### **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

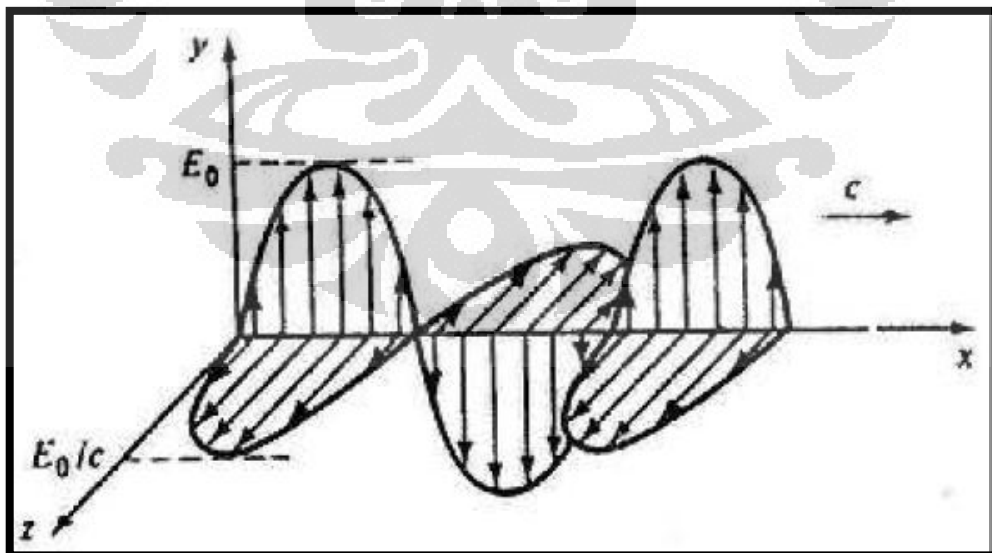
Setelah mendapatkan hasil dari penelitian ini, penulis memberikan kesimpulan dan saran yang dituliskan pada bab 5 ini.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

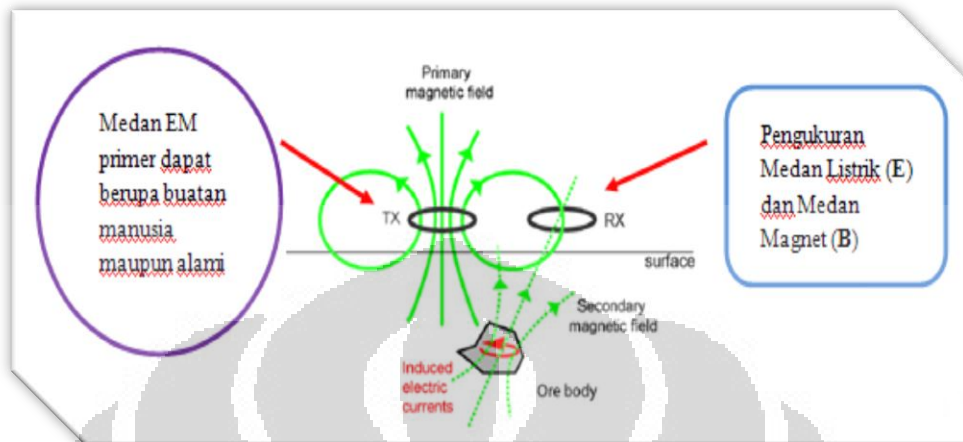
#### 2.1 Konsep Dasar Metode Magnetotellurik

Gelombang Magnetotellurik (MT) adalah gelombang elektromagnetik, yaitu gelombang yang dapat merambat tanpa melalui medium. Gelombang ini merupakan kombinasi antara medan listrik dan medan magnetik yang berosilasi dan membawa energi dari satu tempat ke tempat lainnya. Seorang ilmuwan bernama James Clerk Maxwell (1873) mengajukan sebuah hipotesis mengenai perambatan gelombang elektromagnetik. Hipotesis tersebut yaitu, “*Jika perubahan fluks magnet dapat menimbulkan medan listrik maka perubahan fluks listrik juga harus dapat menimbulkan medan magnetik*”. Hipotesis ini dikenal sebagai sifat simetri medan listrik dengan medan magnetik. Seandainya hipotesis Maxwell ini benar berarti perubahan medan listrik akan menghasilkan perubahan medan magnetik juga, begitupun sebaliknya dan keadaan ini akan terus berulang. Medan magnetik atau medan listrik yang muncul akibat dari perubahan medan listrik atau medan magnetik sebelumnya akan bergerak atau merambat menjauhi tempat awal kejadian. Perambatan medan magnetik dan medan listrik inilah yang disebut sebagai gelombang elektromagnetik (Maxwell, 1864).



Gambar 2.1. Ilustrasi Perambatan Gelombang Elektromagnetik (Griffiths, 1999)

Secara singkat proses terjadinya medan listrik dan medan magnetik di permukaan Bumi adalah sebagai berikut :

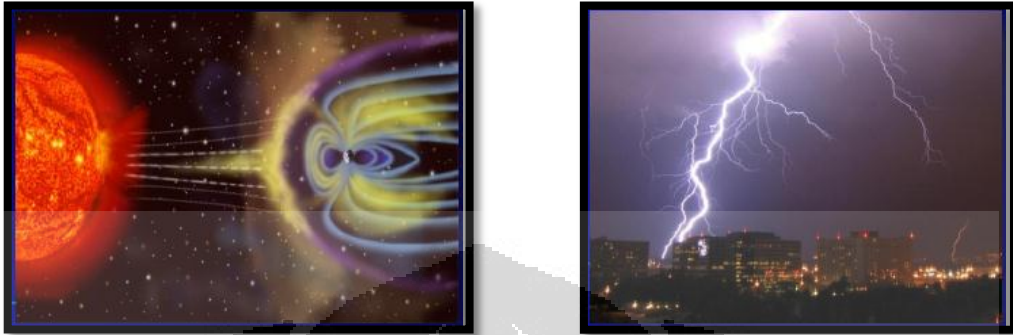


Gambar 2.2. Prinsip Dasar Metode Magnetotellurik (Unsworth, 2006)

Dari gambar di atas dapat dijelaskan pada saat arus dialirkan dari Transmitter TX akan timbul medan magnetik primer maka terjadilah medan elektromagnetik (EM) primer di permukaan Bumi. Arus disini dapat dibuat sendiri ataupun secara alami. Untuk sumber arus yang alami, digunakan pada metode Magnetotellurik. Apabila arus dimatikan kemudian dinyalakan kembali secara berulang, medan magnetik tersebut akan mengalami perubahan. Perubahan medan magnetik ini dikenal sebagai fluks magnet. Jika terdapat benda konduktor atau *ore body* di bawah permukaan Bumi, medan magnetik primer ini akan menghasilkan arus listrik akibat adanya induksi arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan dinamakan arus eddy. Arus eddy ini akan menimbulkan medan magnetik sekunder maka terjadilah medan elektromagnetik sekunder. Medan listrik (E) dan medan magnetik (B) sekunder inilah yang diukur di Receiver RX (Unsworth, 2006).

Metode Magnetotellurik merupakan metode pasif maksudnya disini adalah pada metode ini menggunakan sumber alami. Sumber – sumbernya itu berupa *Solar Wind* dan *Lightning Activity*. *Solar wind* adalah partikel bermuatan yang bergerak dan dipancarkan dari matahari. Partikel ini memiliki frekuensi kurang dari 1 Hz, sedangkan *lightning activity* merupakan fenomena terjadinya petir yang memiliki frekuensi lebih dari 1 Hz. Metode MT ini dapat mendeteksi keadaan

bawah permukaan dari kedalaman 100 m sampai 100 km karena pada metode ini menggunakan frekuensi yaitu 10000 s sampai 10000 Hz (Unsworth. 2008).



Gambar 2.3. Fenomena *Solar Wind* dan *Lightning Activity* (Daud, 2010).

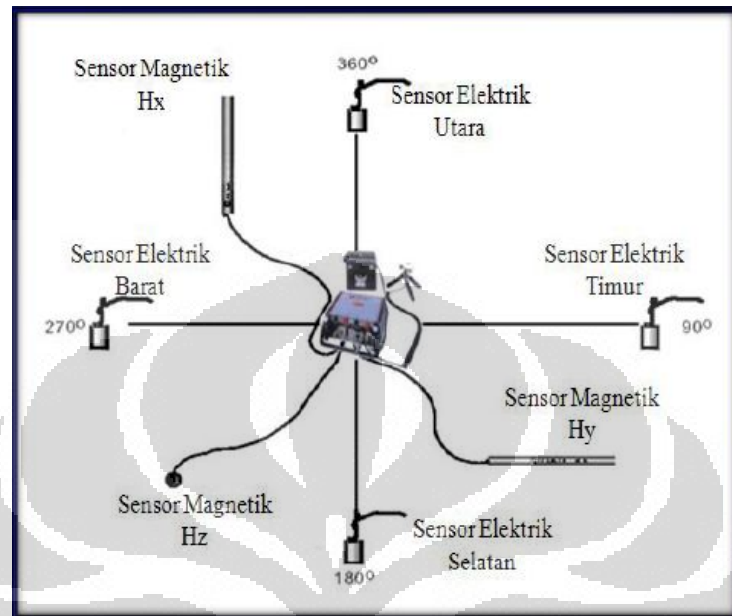
Parameter – parameter yang diukur di lapangan pada metode MT ini adalah medan listrik, medan magnetik, dan time series, sedangkan parameter yang dianalisis adalah resistivitas semu dan fase. Pada metode Magnetotellurik ini, *depth penetration* dari gelombang EM dapat dicari dengan persamaan,

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho_a}{f}} \quad (2.1)$$

dengan  $\delta$  adalah *depth penetration* (m),  $\rho_a$  adalah resistivitas semu ( $\Omega.m$ ), dan  $f$  adalah frekuensi gelombang EM (Hz).

Pengukuran Magnetotellurik dilakukan dengan dua tahapan yaitu pengukuran medan listrik dan pengukuran medan magnetik. Pada pengukuran medan listrik ini, terdapat empat buah elektroda non polarisasi dipasang pada sumbu X dua elektroda ( $E_x$ ) dan sumbu Y dua elektroda ( $E_y$ ). Kemudian diukur tegangan antara elektroda tersebut. Kawat pada instrumen ini sebaiknya ditempatkan di atas tanah. Jika diperlukan, gunakan frekuensi di atas 50 Hz. Pada pengukuran medan magnetik, terdapat 3 komponen sensor magnetik pada pengukuran medan magnetik. Pada saat frekuensinya di atas 0,01 Hz maka dapat digunakan induksi coil. Coil ini berbentuk silinder dengan jutaan lilitan kawat tembaga. Perubahan dalam medan magnetik sepanjang poros dari coil akan menginduksi tegangan pada coil. Coil ini biasanya ditanam untuk meminimalisasi

pergeseran. Untuk frekuensi rendah, digunakan 3 komponen dari flux gate magnetometer. Ini akan memberikan pengukuran yang sebenarnya dari medan magnetik dengan presisi sampai 0,01 nT (Unsworth, 2008).



Gambar 2.4. MT field layout (Daud, 2010)

Pengukuran Magnetotellurik dibagi menjadi 3 macam :

1. Audio Magnetotellurik (AMT)

Biasanya pengukuran dilakukan selama beberapa jam untuk setiap tempat. Menggunakan frekuensi dari 10000 Hz sampai 1 Hz dan mampu mencapai kedalaman hingga 1-2 km. Induksi coil disini digunakan sebagai sensor magnetik.

2. Broadband Magnetotellurik (BMT)

Pengukuran dilakukan selama 1 sampai 2 hari untuk setiap tempat. Mampu mencapai hingga kedalaman 10 km karena frekuensi yang digunakan berkisar antara 1000 Hz sampai 1000 s. Induksi coil digunakan sebagai sensor magnetik.

3. Long Period Magnetotellurik (LMT)

Pengukuran dilakukan selama beberapa minggu untuk setiap stasiun. Metode ini digunakan untuk eksplorasi yang lebih dalam lagi dan menggunakan frekuensi antara 1 sampai 10000 s. Sebagai sensor magnetik, digunakanlah fluxgate magnetometer (Unsworth, 2008).

## 2.2 Persamaan Maxwell Pada Metode Magnetotellurik

Beberapa hukum – hukum, seperti hukum Faraday, hukum Ampere, dan konsep mengenai *displacement current*, telah disusun oleh Maxwell secara sistematis menjadi apa yang kita kenal sekarang yaitu Persamaan Maxwell. Persamaan – persamaan Maxwell tersebut antara lain :

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{Hukum Faraday} \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j}_f + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \text{Hukum Ampere} \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \text{Hukum Kontinuitas Fluks Magnet} \quad (2.4)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \eta_f \quad \text{Hukum Coulomb} \quad (2.5)$$

dimana  $\mathbf{E}$  adalah medan listrik (V/m),  $\mathbf{B}$  adalah induksi magnetik (T),  $\mathbf{H}$  adalah intensitas magnet (A/m),  $\mathbf{D}$  adalah *displacement current* (C/m<sup>2</sup>),  $\mathbf{j}_f$  adalah densitas arus listrik (A/m<sup>2</sup>),  $\eta_f$  adalah densitas muatan listrik (C/m<sup>3</sup>).

Pada persamaan (2.2), Hukum Faraday disini menjelaskan bahwa perubahan induksi medan magnetik terhadap waktu akan menyebabkan timbulnya perubahan medan listrik. Hukum Ampere pada persamaan (2.3) menjelaskan bahwa adanya sumber arus listrik dan perubahan medan listrik terhadap waktu akan menyebabkan terbentuknya medan magnetik. Hukum Kontinuitas pada persamaan (2.4) menyatakan bahwa tidak ada medan magnetik yang bersifat monopol. Pada persamaan (2.5), Hukum Coulomb disini menjelaskan bahwa adanya muatan listrik akan menimbulkan medan listrik (Telford, Geldart, & Sheriff, 2004).

## 2.3 Tensor Impedansi

Impedansi merupakan perbandingan antara medan listrik dan medan magnetik. Pada metode magnetotellurik (MT), salah satu variable yang dicari yaitu tensor impedansi  $Z(\omega)$ . Secara umum, hubungan linier antara medan listrik, medan magnetik, dan impedansi dapat dirumuskan dengan persamaan (2.6) dan (2.7) berikut :

$$E_x(\omega) = Z_{xx}(\omega)H_x(\omega) + Z_{xy}(\omega)H_y(\omega) \quad (2.6)$$

$$E_y(\omega) = Z_{yx}(\omega)H_x(\omega) + Z_{yy}(\omega)H_y(\omega) \quad (2.7)$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}$$

dimana  $[Z]$  merepresentasikan tensor impedansi.

Pada persamaan (2.6) dan (2.7),  $H_x(\omega)$ ,  $H_y(\omega)$ ,  $E_x(\omega)$ , dan  $E_y(\omega)$  adalah transformasi Fourier dari perubahan medan magnetik ( $H$ ) dan medan listrik ( $E$ ). Apabila diasumsikan Bumi 1-D maka nilai impedansi dapat ditunjukkan pada persamaan (2.8) (Vozoff, 1991) :

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{\omega\mu}{k} = (1 + i) \left( \frac{\omega\mu}{2\sigma} \right)^{1/2} \quad (2.8)$$

dimana

$E_x$  = medan listrik pada arah x  $\left(\frac{V}{m}\right)$ ,

$H_y$  = medan magnet pada arah y  $\left(\frac{A}{m}\right)$ ,

$\omega$  = frekuensi angular,

$\mu$  = permeabilitas magnetik  $\left(\frac{H}{m}\right)$ ,

$k$  = bilangan gelombang

Resistivitas semu,  $\rho_a$ , untuk lapisan Bumi dapat diperoleh dari persamaan (2.9) berikut (Cagniard, 1953) :

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (2.9)$$

Apabila kita asumsikan Bumi seragam maka nilai resistivitas semu harus sama pada setiap frekuensi dan medan listrik akan berada di atas medan magnetik pada fase 45 derajat untuk semua frekuensi. Kemudian nilai resistivitas semu dan



fase tersebut diplot pada grafik resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi.

Dua modus independen dari impedansi dianalisis untuk analisis pendekatan Bumi 2-D dalam sistem koordinat Kartesian dengan y searah dengan arah *strike* dan x tegak lurus terhadap arah *strike*. Modus *Transverse Electric* (TE) adalah modus yang medan listriknya searah dengan *strike*, sedangkan modus *Transverse Magnetik* (TM) adalah modus yang medan magnetiknya searah dengan *strike*. Bagian diagonal dari impedansi tensor untuk pendekatan Bumi 2-D adalah nol.

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

dimana

$$Z_{yx} = Z_{TE} = \frac{E_y}{H_x} \quad (2.10)$$

$$Z_{xy} = Z_{TM} = \frac{E_x}{H_y} \quad (2.11)$$

Asumsikan data yang diperoleh dengan menggunakan sistem koordinat  $(x',y')$  dan sistem koordinat struktural  $(x,y)$  dimana y searah dengan *strike*, data MT dirotasi dari  $(x',y')$  ke  $(x,y)$ . Jika sudut rotasi dari  $(x',y')$  ke  $(x,y)$  adalah  $\theta$  maka kita dapat menerapkan matriks rotasi :

$$R = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

sehingga,

$$E = RE' \text{ dan } H = RH'$$

Sudut rotasi ( $\theta$ ) di atas dapat ditentukan dengan melakukan rotasi tensor impedansi secara meningkat atau dapat dihitung secara analitik berdasarkan persamaan berikut :

$$\theta = \frac{1}{4} \tan^{-1} \left( \frac{2R_1R_2 + I_1I_2}{R_1^2 + I_1^2 - R_2^2 - I_2^2} \right) \quad (2.13)$$

dimana

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_e (Z_{xx} - Z_{yy}) \\ I_1 &= I_m (Z_{xx} - Z_{yy}) \\ R_2 &= R_e (Z_{xy} - Z_{yx}) \\ I_2 &= I_m (Z_{xy} - Z_{yx}) \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Tensor impedansi,  $\underline{\underline{Z}}$  merupakan bilangan kompleks yang terdiri dari bagian riil dan imajiner. Oleh karena itu, masing – masing komponen,  $Z_{ij}$  dan  $\underline{\underline{Z}}$  tidak hanya memiliki besar, tetapi juga memiliki fase (Simpson & Bahr, 2005), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut :

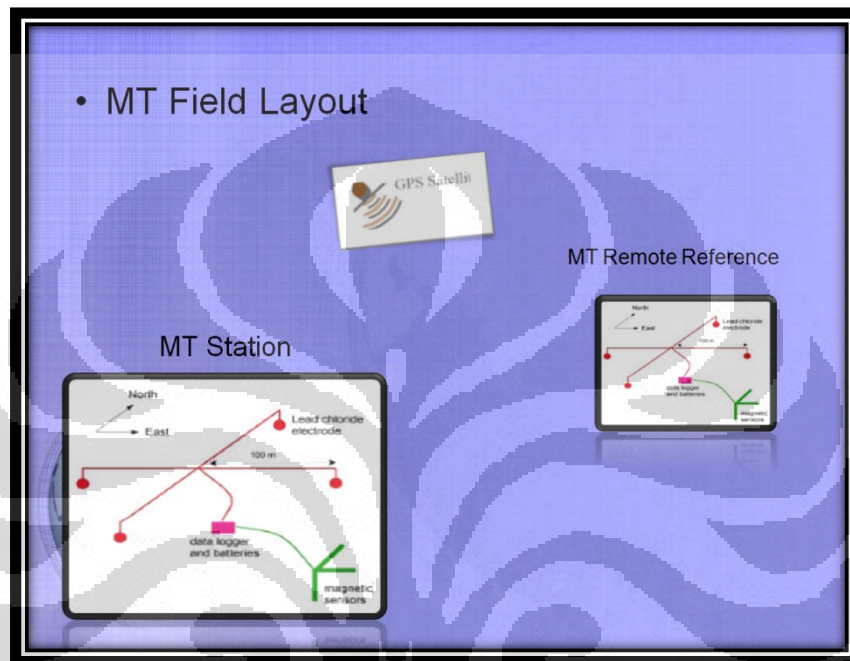
$$\rho_{a,ij}(\omega) = \frac{1}{\mu_0 \omega} |Z_{ij}(\omega)|^2 \quad (2.15)$$

$$\Phi_{ij} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{Z_{ij}\}}{\text{Re}\{Z_{ij}\}} \right) \quad (2.16)$$

#### 2.4 MT Remote reference

Data yang diperoleh dari pengukuran MT pada umumnya memiliki noise lokal yang dapat mengganggu pemodelan maupun interpretasi. Untuk meningkatkan kualitas sinyal yang diinginkan, kita harus memastikan bahwa kombinasi sinyal antara medan listrik dan medan magnetik yang kita dapat adalah kombinasi yang koheren. Pada saat pengukuran MT dilakukan, kita akan memperoleh nilai medan listrik dan medan magnetik di mana ketika sinyal tersebut terekam maka masih terdapat di dalamnya sinyal noise yang tidak kita inginkan. Oleh karena itu, noise pada data MT ini harus dihilangkan dengan menggunakan metode *remote reference* (Unsworth, 2008).

Metode *remote reference* adalah proses penambahan sensor pada suatu titik/stasiun tertentu (*remote*) yang dapat meredam noise pada titik/stasiun pengukuran lokal. Sensor disini biasanya merekam medan magnetik saja karena medan magnetik memiliki nilai regional. Sehingga dapat menjadi acuan untuk nilai medan magnetik lokal.



Gambar 2.5. MT *Remote Reference Field Layout* (Unsworth, 2008)

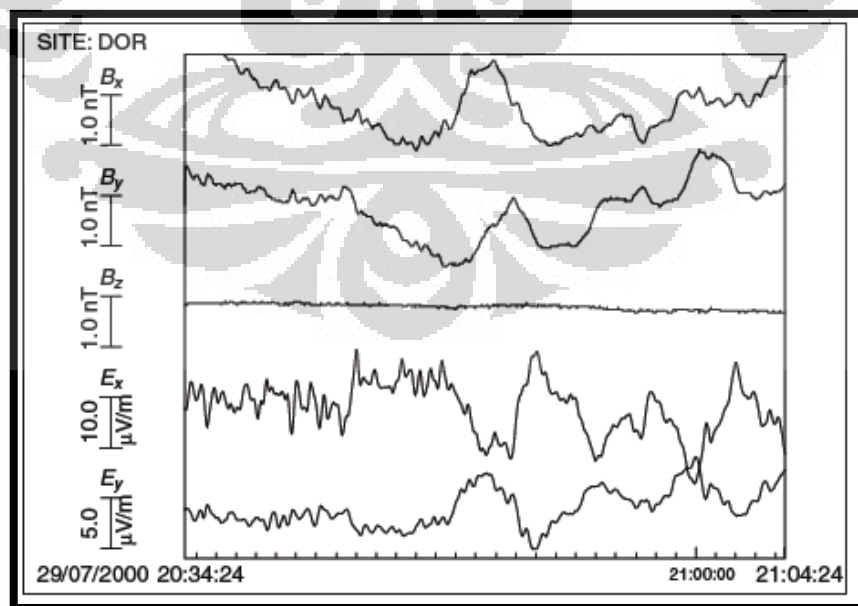
Pada pengukuran MT *remote reference*, data MT selalu direkam secara bersamaan di dua tempat berbeda dengan pengaturan waktu dilakukan dengan menggunakan GPS. Jika sinyal yang terekam pada kedua stasiun itu sama maka kemungkinan sinyalnya itu merupakan sinyal yang sebenarnya. Pengukuran MT *remote reference* harus dilakukan pada daerah yang jauh dari noise. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas data MT. Untuk menghilangkan pergerakan tanah (*Ground Motion*), jarak stasiun MT *remote reference* 500 m sudah cukup, sedangkan untuk menghilangkan sinyal dari rangkaian arus listrik DC, 500 km mungkin diperlukan (Unsworth, 2008).

Pengolahan data MT dilakukan mulai dari data mentah berupa *time series* sampai diperoleh nilai resistivitas semu dan fase. Beberapa parameter fisis pada MT seperti impedansi, resistivitas semu, dan fase merupakan fungsi frekuensi.

Oleh karena itu, domain data *time series* harus dikonversi terlebih dahulu dari domain waktu menjadi domain frekuensi dengan menggunakan transformasi Fourier. Setelah data MT dikonversi menjadi domain frekuensi, kemudian kita melakukan teknik robust untuk mereduksi noise dan membuat data menjadi *smooth*. Dan yang terakhir, kita menghitung nilai impedansi, resistivitas semu, dan fase.

#### 2.4.1 Data Time Series

*Time series* digital yang dikumpulkan selama survey MT totalnya mencapai beberapa Gigabytes. Akan tetapi, data yang akan diinterpretasikan dengan menggunakan skematik model numerik terdiri dari beberapa ratus data per stasiun. Hal ini merepresentasikan bahwa frekuensi yang bergantung pada fungsi transfer. Salah satu *time series* secara bersama memberikan informasi mengenai periode dan penetrasi kedalaman. Langkah awal dalam pengolahan data adalah mentransformasikan data dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Reduksi data kemudian didapat dengan *stacking data* sampai spectra tertentu dalam frekuensi domain. Kedua frekuensi dari segmen yang sama pada *time series* dan frekuensi serupa dari *sequential time series* dapat di-*stack*.

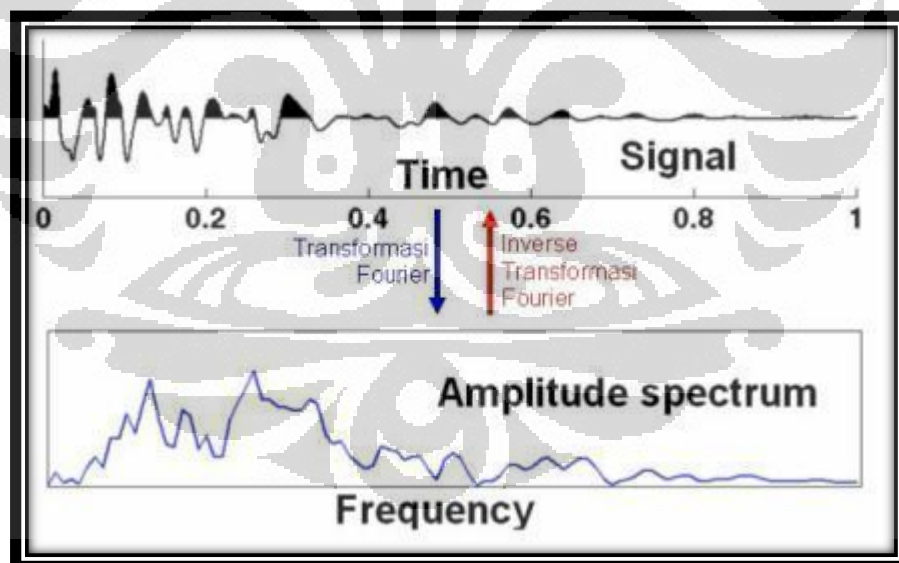


Gambar 2.6. Bentuk sinyal data *time series* (Simpson & Bahr, 2005)

Gambar 2.6 adalah contoh data MT berupa *time series* yang diketahui bahwa *sampling rate*  $\Delta t = 2$  s dan *time window* selama 30 menit. Oleh karena itu, terdapat 900 data diplot untuk setiap komponen. Terdapat lima komponen pada gambar dan data tersebut sebesar 16 bit (2 byte). *Time window* 30 menit tersebut merepresentasikan 9 kbytes data. *Time series* elektromagnetik direkam selama beberapa minggu atau beberapa bulan, sehingga dapat dengan mudah menghasilkan 10 Mbytes data. Di sisi lain, fungsi transfer dari satu stasiun memiliki dataset yang sangat kecil yang digambarkan dengan tensor impedansi pada 30 – 50 *evaluation frequencies* (Simpson & Bahr, 2005).

#### 2.4.2 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah suatu metoda yang digunakan untuk mengubah sinyal suatu gelombang dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Proses sebaliknya adalah Inversi Transformasi Fourier (*Inverse Fourier Transform*) (Abdullah, 2008).



Gambar 2.7. Prinsip Dasar Transformasi Fourier (Abdullah, 2008)

Transformasi Fourier dari fungsi periodik berdasarkan pada ortogonalitas dari fungsi trigonometri. Misalkan pada periode  $T$  dan sudut fase  $\Phi(t) = 2\pi t/T$ , teori ortogonalitas dinyatakan dengan :

$$\int_0^T \cos m\Phi \cos m'\Phi dt = \begin{cases} T & m = m' = 0 \\ \frac{T}{2} & m = m' \neq 0 \\ 0 & m \neq m' \end{cases}$$

$$\int_0^T \sin m\Phi \sin m'\Phi dt = \begin{cases} 0 & m = m' = 0 \\ \frac{T}{2} & m = m' \neq 0 \\ 0 & m \neq m' \end{cases}$$

$$\int_0^T \sin m\Phi \cos m'\Phi dt = 0$$
(2.17)

Jika *time series*  $x(t)$  merupakan superposisi dari beberapa periode yang berbeda maka,

$$x(t) = \sum_{m=0}^{\infty} a_m \cos m\Phi + b_m \sin m\Phi, \quad b_0 = 0$$
(2.18)

Dan koefisien  $a_m$  dan  $b_m$  dapat diperoleh dari :

$$\frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos m\Phi dt = a_m$$

$$\frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin m\Phi dt = b_m$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = a_0$$
(2.19)

Pada umumnya proses yang terjadi secara alami tidak bersifat periodik. Akan tetapi, apabila proses tersebut adalah transisi stasioner  $T \rightarrow \infty$  maka akan menjadi mungkin. Sekuensial diskret dibentuk oleh koefisien Fourier  $c_m$ , ketika  $x(t)$  diganti menjadi  $X(\omega)$  oleh transformasi Fourier. Dengan frekuensi sudut  $\omega = 2\pi m/T$  dan  $m\Phi = \omega t$  maka kita akan mendapatkan persamaan sebagai berikut :

(2.20)

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

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

(2.21)

Dengan menggunakan analogi dari persamaan 2.18, persamaan ini merupakan superposisi dari osilasi beberapa periode yang berbeda. Oleh karena proses digitisasi, konten informasi, dan jumlah koefisien yang terbatas :

(2.22)

$$x_j = \sum_{m=0}^M (a_m \cos m\Phi + b_m \sin m\Phi) + \delta x_i$$

dimana  $\Phi_j = 2\pi j/N$

Koefisien Fourier diperoleh dengan transformasi Fourier diskret :

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j \cos m\Phi_j$$

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j \sin m\Phi_j$$

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j$$

$$a_M = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} (-1)^j$$

dengan  $m = 1, \dots, M \leq N/2$  (2.23)

Secara jelas,  $T = N\Delta t$  merupakan periode terpanjang dan memiliki koefisien  $a_1$  dan  $b_1$ . Periode Nyquist  $T_{NY} = 2\Delta t$  merupakan periode terpendek.

Jika semua osilasi dengan periode lebih pendek dari  $2\Delta t$  telah dihilangkan dari data awal untuk digitisasi maka :

$$X(\omega) = 0 \quad \forall \omega > \omega_{NY} = 2\pi/2\Delta t \quad (2.24)$$

Oleh karena transformasi hanya bisa diterapkan jika  $x(t) = 0$  pada margin, kita perlu untuk menyiapkan *time series* awal untuk diaplikasikan dari persamaan (2.42) dalam dua tahap (Simpson & Bahr, 2005) :

- Menghilangkan *linear trend* :

$$x_i \rightarrow x_i - ia\Delta t$$

dimana

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} x_i i \Delta t}{\sum_{i=1}^{N-1} (i \Delta t)(i \Delta t)} \quad (2.25)$$

- Mengalikan  $x$  dengan *cosine bell* :

$$x_i \rightarrow w_i x_i$$

dimana

$$w_i = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \frac{\pi(i + \frac{N}{2})}{\frac{N}{2}}, \quad \text{jika } i \leq \frac{N}{2} \quad (2.26)$$

atau

$$w_i = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \frac{\pi(\frac{N}{2} - i)}{\frac{N}{2}}, \quad \text{jika } i < \frac{N}{2} \quad (2.27)$$



### Discrete Fourier Transform (DFT)

Transformasi Fourier Diskrit adalah transformasi Fourier yang dihitung secara langsung.

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n \mathbf{W}^{-nk} \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N-1) \quad (2.28)$$

dengan  $\mathbf{W} = e^{i\Omega T}$  dan  $\Omega = \frac{2\pi}{NT}$

### Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah teknik komputasi yang digunakan untuk menangani transformasi Fourier dari data diskrit dengan jumlah yang banyak secara efisien. Efisiensinya terutama berawal dari kemampuannya untuk memanfaatkan sifat – sifat periodik yang terdapat dalam fungsi – fungsi sinus maupun cosines. Pada persamaan berikut,  $G_k$  merupakan suku genap dan  $H_k$  adalah suku ganjil (Heditama, 2011).

$$F_k = G_k + \mathbf{W}^{-k} H_k \quad (2.29)$$

dengan

$$\mathbf{G}_k = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} g_n (\mathbf{W}^2)^{-nk} \quad \text{dan} \quad \mathbf{H}_k = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} h_n (\mathbf{W}^2)^{-nk} \quad (2.30)$$

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

### 2.4.3 Tensor Impedansi

Secara matematis, medan listrik dan medan magnetik yang didapat pada pengukuran MT dapat ditunjukkan dengan persamaan:

$$E_x(\omega) = E_{0x}(\omega) + n_E \quad (2.31)$$

$$H_y(\omega) = H_{0y}(\omega) + n_H \quad (2.32)$$

Dari kedua persamaan di atas dapat dijelaskan bahwa pada pengukuran MT nilai medan listrik dan medan magnetik yang direkam masih mengandung

noise. Noise itu bisa berupa noise listrik ataupun noise magnetik (Unsworth, 2008).

Pada metode MT, salah satu yang dihitung disini adalah nilai impedansi. Impedansi ini dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$Z_{xy}(\omega) = \frac{\langle E_x(\omega)H_y^*(\omega) \rangle}{\langle H_y(\omega)H_y^*(\omega) \rangle} \quad (2.33)$$

Apabila persamaan (2.31) dan (2.32) dimasukkan ke dalam persamaan (2.33) maka impedansinya menjadi :

$$Z_{xy}(\omega) = \frac{\langle (E_{0x}(\omega) + n_E)(H_{0y}^*(\omega) + n_H) \rangle}{\langle (H_{0y}(\omega) + n_H)(H_{0y}^*(\omega) + n_H) \rangle} \quad (2.34)$$

$$Z_{xy}(\omega) = \frac{\langle E_{0x}(\omega)H_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle E_{0x}(\omega)n_H \rangle + \langle n_E H_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle n_E n_H \rangle}{\langle H_{0y}(\omega)H_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle H_{0y}(\omega)n_H \rangle + \langle n_H H_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle n_H n_H \rangle} \quad (2.35)$$

Dengan mengasumsikan medan listrik dan medan magnetik tidak koheren dengan noise maka :

$$\langle H_{0y}(\omega)n_H \rangle = 0 \quad (2.36)$$

$$\langle E_{0x}(\omega)n_H \rangle = 0 \quad (2.37)$$

Kemudian kita juga dapat mengasumsikan bahwa noise medan magnetik dan noise medan listrik itu tidak koheren maka :

$$\langle n_E n_H \rangle = 0 \quad (2.38)$$

Akan tetapi, noise medan magnetik akan koheren dengan medan magnetik itu sendiri sehingga :

$$\langle n_H n_H \rangle \neq 0 \quad (2.39)$$

Dan hasilnya nilai impedansi menjadi :

$$Z_{xy}(\omega) = \frac{\langle E_{0x}(\omega) H_{0y}^*(\omega) \rangle}{\langle H_{0y}(\omega) H_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle n_H n_H \rangle} \quad (2.40)$$

Hal ini berarti bahwa pengaruh dari noise dalam medan magnetik akan membuat impedansi  $Z_{xy}$  menjadi lebih kecil dibandingkan dengan nilai impedansi sebenarnya. Untuk mengatasi masalah tersebut maka diperlukan teknik *remote reference* yang dilakukan dengan mengukur medan magnetik di tempat lain pada waktu yang bersamaan (Unsworth, 2008).

#### Data MT Lokal

$$E_x(\omega) = E_{0x}(\omega) + n_E$$

$$H_y(\omega) = H_{0y}(\omega) + n_H$$

#### Data Remote Magnetik

$$R_y(\omega) = R_{0y}(\omega) + n_R$$

(2.41)

Nilai impedansi sekarang dapat ditulis dengan persamaan :

$$Z_{xy}(\omega) = \frac{\langle E_x(\omega) R_y^*(\omega) \rangle}{\langle H_y(\omega) R_y^*(\omega) \rangle} \quad (2.42)$$

Kemudian dengan memasukkan nilai – nilai data MT lokal dan data *remote reference* menjadi :

$$Z_{xy}(\omega) = \frac{\langle E_{0x}(\omega) R_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle E_{0x}(\omega) n_R \rangle + \langle n_E R_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle n_E n_R \rangle}{\langle H_{0y}(\omega) R_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle H_{0y}(\omega) n_R \rangle + \langle n_H R_{0y}^*(\omega) \rangle + \langle n_H n_R \rangle} \quad (2.43)$$

Dengan mengasumsikan noise medan magnetik di *remote reference* dan di lokasi pengukuran berbeda lokasi sehingga  $\langle n_H n_R \rangle = 0$  dan noise medan listrik tidak koheren dengan noise medan magnetik maka  $\langle n_E n_R \rangle = 0$ .

Dari asumsi – asumsi di atas maka diperoleh nilai impedansi yang sudah dikoreksi dengan teknik *remote reference* menjadi :

$$Z_{xy}^R(\omega) = \frac{\langle E_{0x}(\omega) R_{0y}^*(\omega) \rangle}{\langle H_{0y}(\omega) R_{0y}^*(\omega) \rangle} \quad (2.44)$$

Pada persamaan di atas sudah tidak ada noise magnetik pada perhitungan nilai impedansi. Hal ini berarti noise magnetik pada data lokal sudah dihilangkan dengan menggunakan data remote magnetik sehingga siap dilakukan pemrosesan data (Unsworth, 2008).

#### 2.4.4 Resistivitas Semu dan Fase

Dengan menggunakan elemen *off-diagonal*, nilai resistivitas semu ( $\rho_a$ ) dan fase ( $\Phi$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{xy}|^2 \quad (2.45)$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{yx}|^2 \quad (2.46)$$

$$\Phi_{xy} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{Z_{xy}\}}{\text{Re}\{Z_{xy}\}} \right) \quad (2.47)$$

$$\Phi_{yx} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{Z_{yx}\}}{\text{Re}\{Z_{yx}\}} \right) \quad (2.48)$$

## BAB 3

### PEMBUATAN PROGRAM DAN PENGOLAHAN DATA

#### 3.1 Pembuatan *Source Code* dengan Menggunakan MATLAB

Data MT yang diperoleh pada pengukuran berupa *time series* dengan format '.TS3', '.TS4', dan '.TS5'. Pembuatan *source code* diawali dengan membuat *source code* yang dapat mengubah format data '.TS3', '.TS4', dan '.TS5' menjadi '.txt' agar bisa dibaca di MATLAB. Kemudian membuat *source code* yang dapat menyamakan waktu pengukuran di MT lokal dengan waktu pengukuran di MT *remote reference* sehingga pada pemrosesan data hanya mengambil nilai medan magnetik *remote reference* yang waktunya sama dengan medan magnetik lokal. Setelah itu membuat *source code* untuk menghitung nilai impedansi, resistivitas semu, dan fase. Hasilnya diplot pada grafik resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi.

##### 3.1.1 *Time Series*

Pengolahan data MT *remote reference* dilakukan dengan membuat *source code* menggunakan MATLAB mulai dari data mentah berupa *time series* sampai mendapatkan nilai resistivitas semu dan fase. Data *time series* memiliki format '.TS' yaitu '.TS3', '.TS4', dan '.TS5' dengan masing – masing data di setiap stasiun terdiri dari lima komponen, yaitu komponen medan listrik ( $E_x$ ,  $E_y$ ) dan komponen medan magnetik ( $H_x$ ,  $H_y$ , dan  $H_z$ ). Untuk data dengan format '.TS3', terdiri atas 2400 data dalam 1 detik. Data dengan format '.TS4' memiliki 150 data dalam 1 detik dan data dengan format '.TS5' terdiri dari 15 data dalam 1 detik. Oleh karena data '.TS' berbentuk biner maka agar dapat diproses dalam MATLAB, data tersebut harus diubah ke dalam format ASCII atau '.txt'. Pada pengolahan data MT *remote reference* ini, terdapat dua jenis data yang diubah ke dalam format '.txt'. Kedua data tersebut yaitu data MT lokal dan data MT *remote reference*. Setelah kedua data ini diubah format ke dalam bentuk ASCII, selanjutnya membuat *source code* untuk dapat memilih nilai medan listrik E dan medan magnetik H yang memiliki waktu sama pada data lokal dan data *remote*

*reference*. Hanya nilai medan listrik dan medan magnetik yang memiliki waktu sama saja disini yang akan diproses dengan menggunakan MATLAB.

### 3.1.2 Fast Fourier Transform

Kedua data MT yaitu data lokal dan data *remote reference* masih dalam domain waktu. Oleh karena itu kedua data tersebut harus diubah ke dalam domain frekuensi. Proses mengubah data dari domain waktu menjadi domain frekuensi ini menggunakan teknik *Fast Fourier Transform*. Teknik ini bertujuan agar proses transformasi yang dilakukan lebih cepat dan efisien. Teknik FFT ini sudah tersedia pada program MATLAB sehingga kita tidak perlu membuat fungsi untuk FFT lagi. Pada MATLAB, fungsi FFT adalah sebagai berikut :

$$Y = \text{fft}(x) \text{ dan } y = \text{ifft}(x)$$

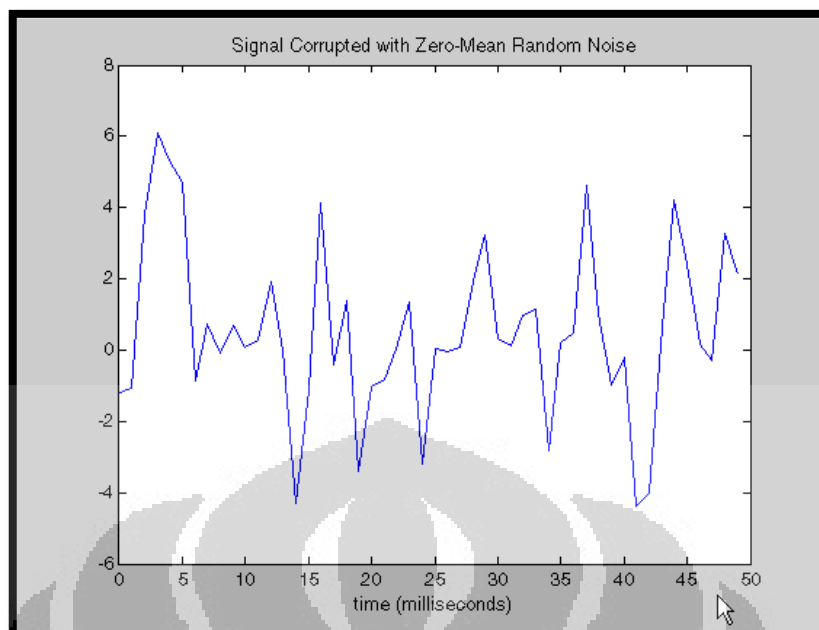
$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j) \omega_N^{(j-1)(k-1)}$$

$$x(j) = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{k=1}^N X(k) \omega_N^{-(j-1)(k-1)}$$

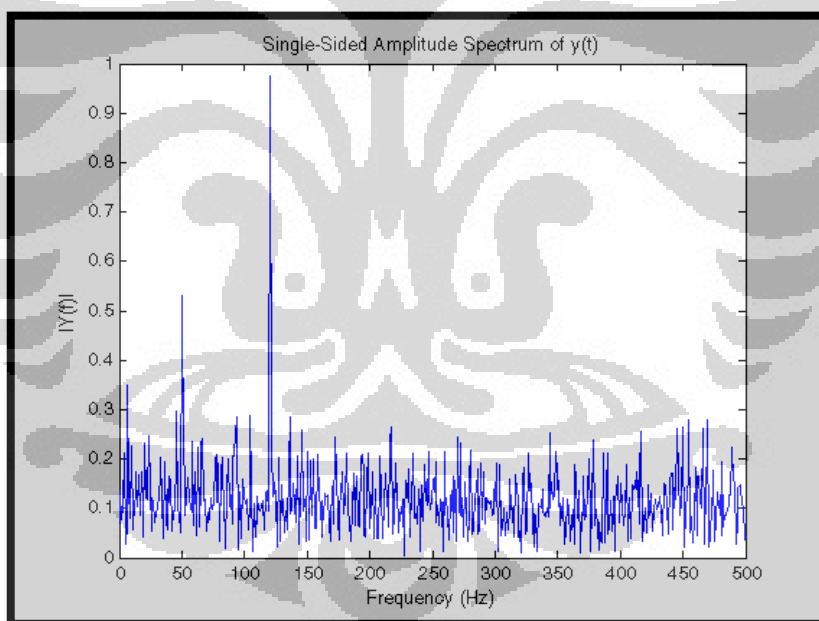
dimana

$$\omega_N = e^{(-2\pi i)/N}$$

Gambar berikut adalah contoh data dalam bentuk domain waktu kemudian diubah ke dalam bentuk domain frekuensi.



Gambar 3.1. Contoh data dalam domain waktu (The Math Works, Inc, 2008)



Gambar 3.2. Contoh data setelah diubah ke dalam domain frekuensi (The Math Works, Inc, 2008)

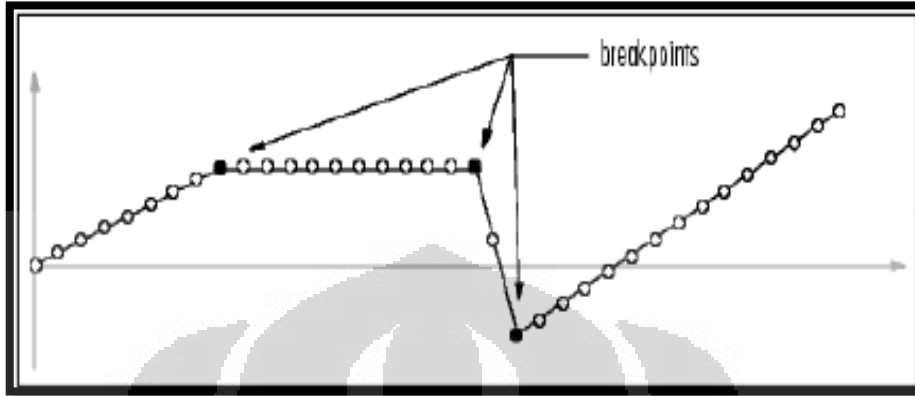
### 3.1.3 Remove Linear Trends

*Remove Linear Trends* adalah proses menghilangkan *linear trend* dari vektor atau matriks, biasanya untuk proses FFT. Pada MATLAB, fungsi untuk melakukan proses *remove linear trends* ini adalah *detrend* (The Math Works, Inc, 2008).

Contoh :

$y = \text{detrend}(x)$

$y = \text{detrend}(x, 'constant')$



Gambar 3.3. *Remove Linear Trends* (The Math Works, Inc, 2008)

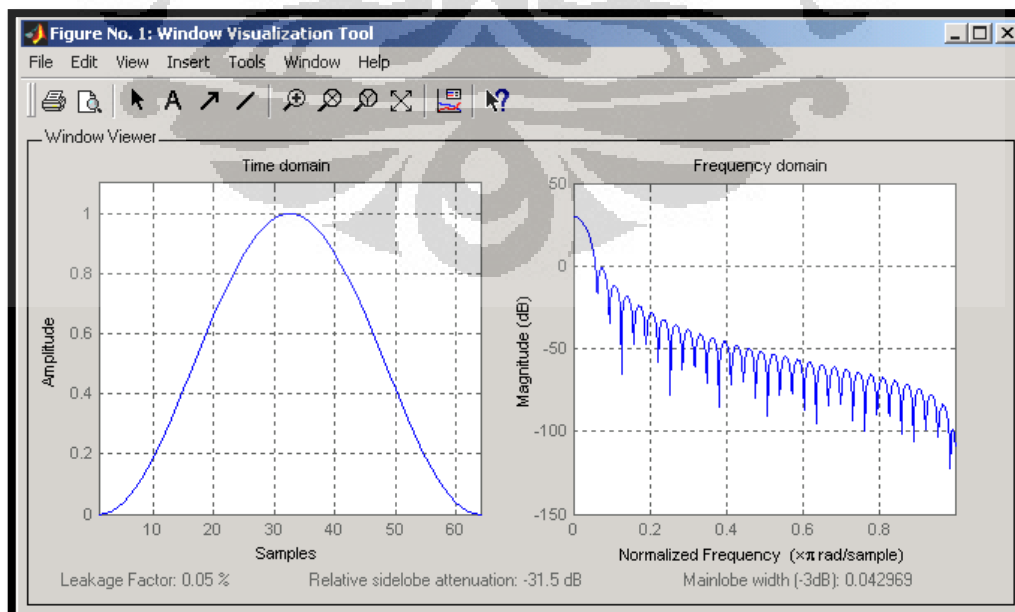
### 3.1.4 Hann (Hanning) Window

*Hanning window* adalah proses untuk mengembalikan titik simetrik ke-n dalam kolom vektor w. Nilai n ini harus integer positif. Koefisien *hanning window* dapat dihitung dengan persamaan (The Math Works, Inc, 2008):

$$w(n) = 0,5 \left( 1 - \cos \left( 2\pi \frac{n}{N} \right) \right), \quad 0 \leq n \leq N$$

Pada MATLAB fungsi *hanning window* adalah sebagai berikut :

$w = \text{hann}(n)$



Gambar 3.4. *Hanning Window* (The Math Works, Inc, 2008)



### 3.1.5 Estimasi Impedansi

Setelah semua data diubah ke dalam domain frekuensi, kita dapat menghitung nilai impedansi. Impedansi disini dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Gamble, Goubau, & Clarke, 1979):

$$Z^R = [ER][HR]^{-1}$$

dengan

$$[ER] = \begin{bmatrix} \overline{E_x R_x^*} & \overline{E_x R_y^*} \\ \overline{E_y R_x^*} & \overline{E_y R_y^*} \end{bmatrix}$$

$$[HR]^{-1} = \frac{\begin{bmatrix} \overline{H_y R_y^*} & -\overline{H_x R_y^*} \\ -\overline{H_y R_x^*} & \overline{H_x R_x^*} \end{bmatrix}}{\overline{H_x R_x^* H_y R_y^*} - \overline{H_y R_x^* H_x R_y^*}}$$

Hasil dari perhitungan ini, nilai impedansi Z akan dalam bentuk matriks 2 x 2, yaitu (Gamble, Goubau, & Clarke, 1979):

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}$$

### 3.1.6 Menghitung Nilai Resistivitas Semu dan Fase

Setelah menghitung nilai impedansi, selanjutnya kita menghitung nilai resistivitas semu dan fase dengan menggunakan persamaan berikut :

- Menghitung Resistivitas Semu

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{xy}|^2$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{yx}|^2$$

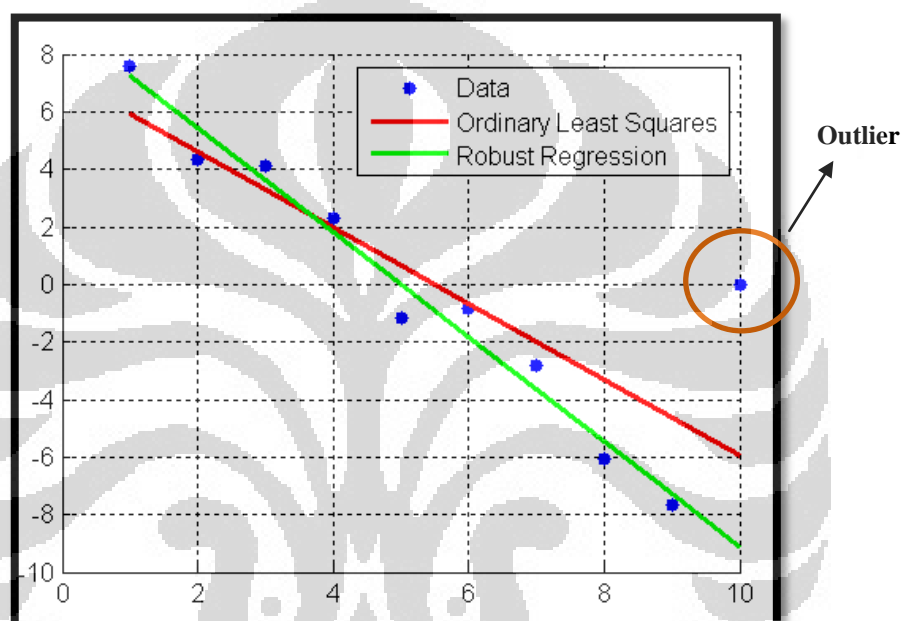
- Menghitung Fase

$$\Phi_{xy} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{Z_{xy}\}}{\text{Re}\{Z_{xy}\}} \right)$$

$$\Phi_{yx} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{Z_{yx}\}}{\text{Re}\{Z_{yx}\}} \right)$$

### 3.1.7 Estimasi Robust

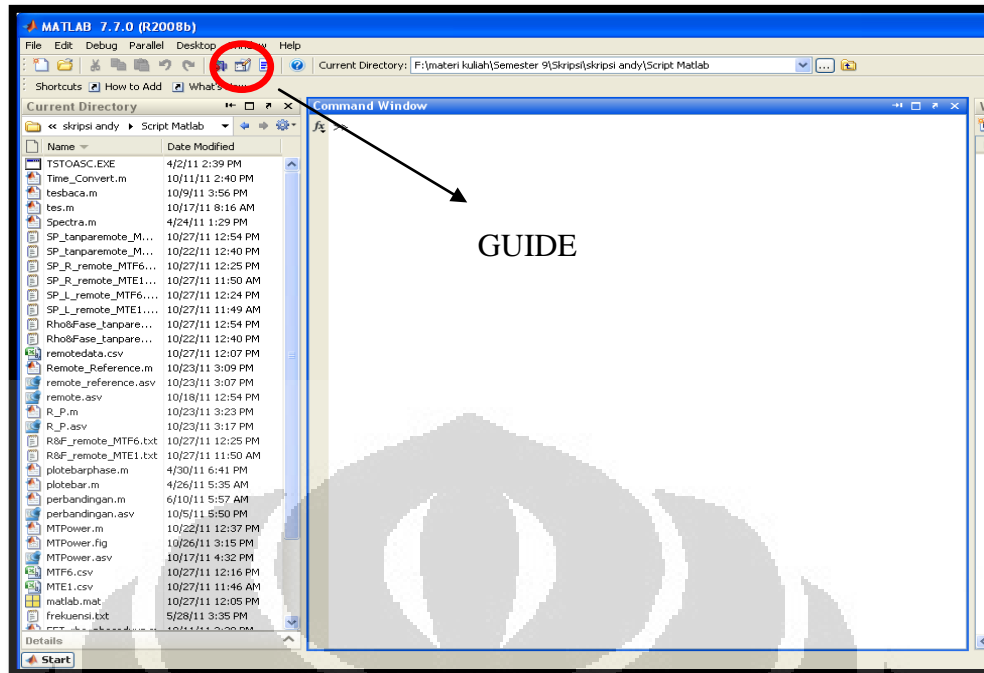
Proses teknik robust merupakan salah satu proses statistik yang bertujuan untuk menghilangkan noise pada data MT. Pada prinsipnya, teknik robust hampir sama dengan teknik *least square*, yaitu mengikuti *trend* data yang lebih dominan dan meminimalisasi pengaruh *outlier* terhadap data. Akan tetapi, pengaruh *outlier* pada robust disini lebih sedikit dibandingkan dengan *least square*. Sehingga grafik hasil dari teknik robust akan terlihat lebih bagus dibandingkan dengan *least square*. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.5. Grafik hasil teknik robust dan *least square* (The Math Works, Inc, 2008)

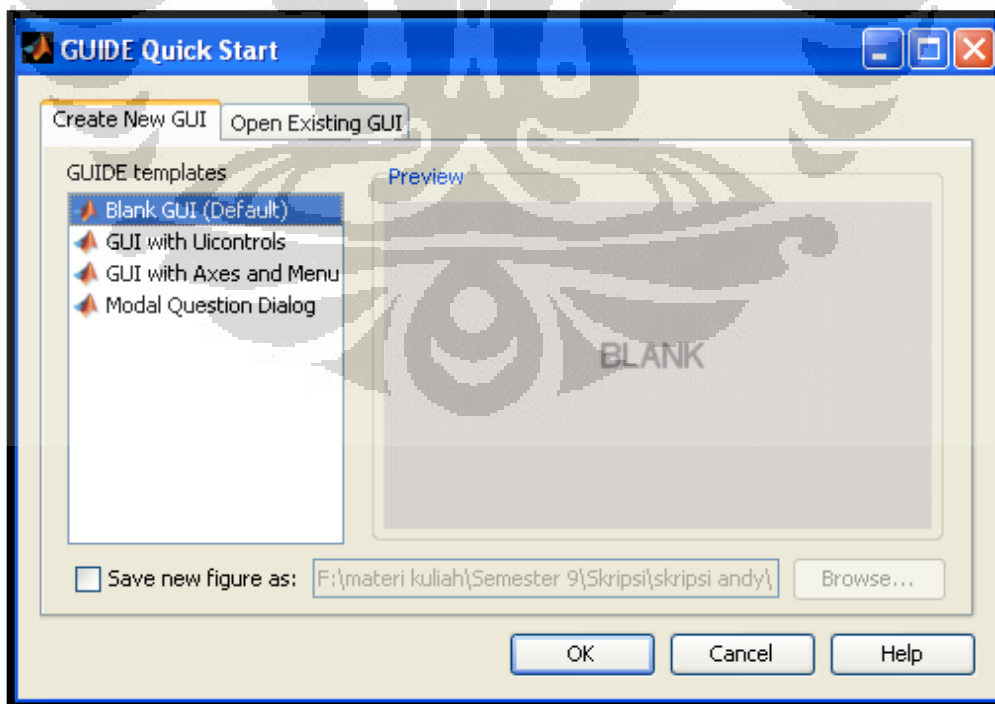
### 3.2 Membuat *Graphical User Interface* (GUI) pada MATLAB

*Graphical User Interface* (GUI) dibuat setelah semua *source code* dibuat dan dapat berjalan dengan baik. Pembuatan tampilan GUI ini dilakukan di MATLAB dengan tujuan untuk mempermudah kita dalam menjalankan program yang dibuat. Hal pertama yang dilakukan adalah memanfaatkan tombol GUIDE yang berada pada *toolbar* di MATLAB.



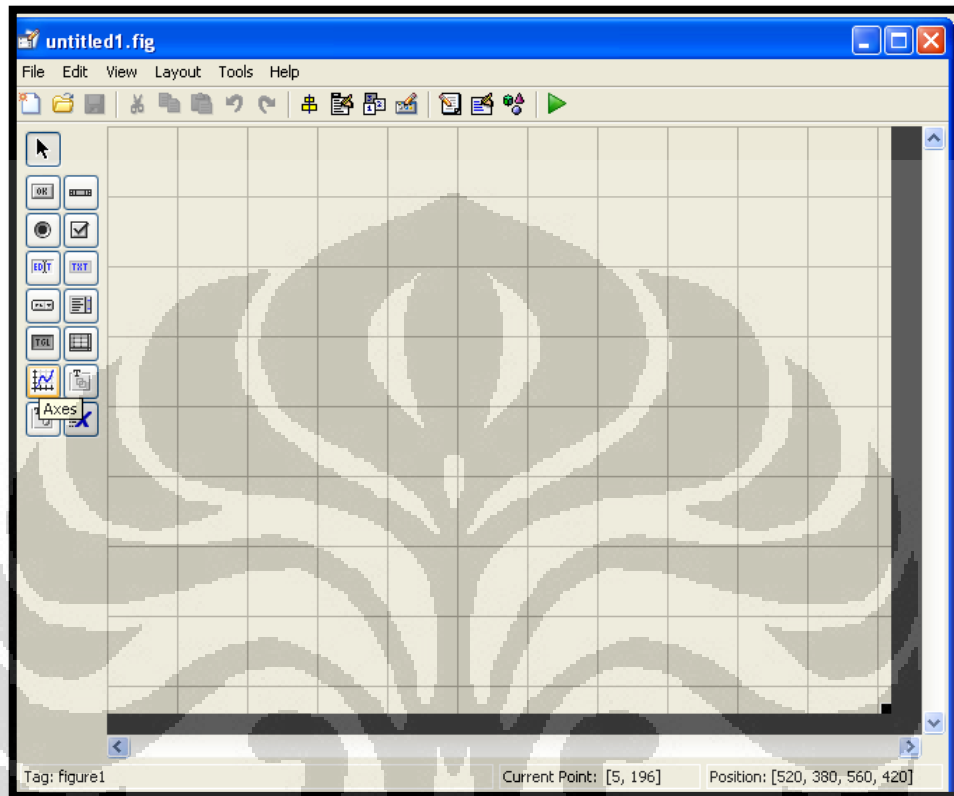
Gambar 3.6. Tampilan *icon* GUIDE pada MATLAB

Setelah itu, tekan tombol GUIDE maka akan terlihat tampilan GUIDE *Quick Start* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut :



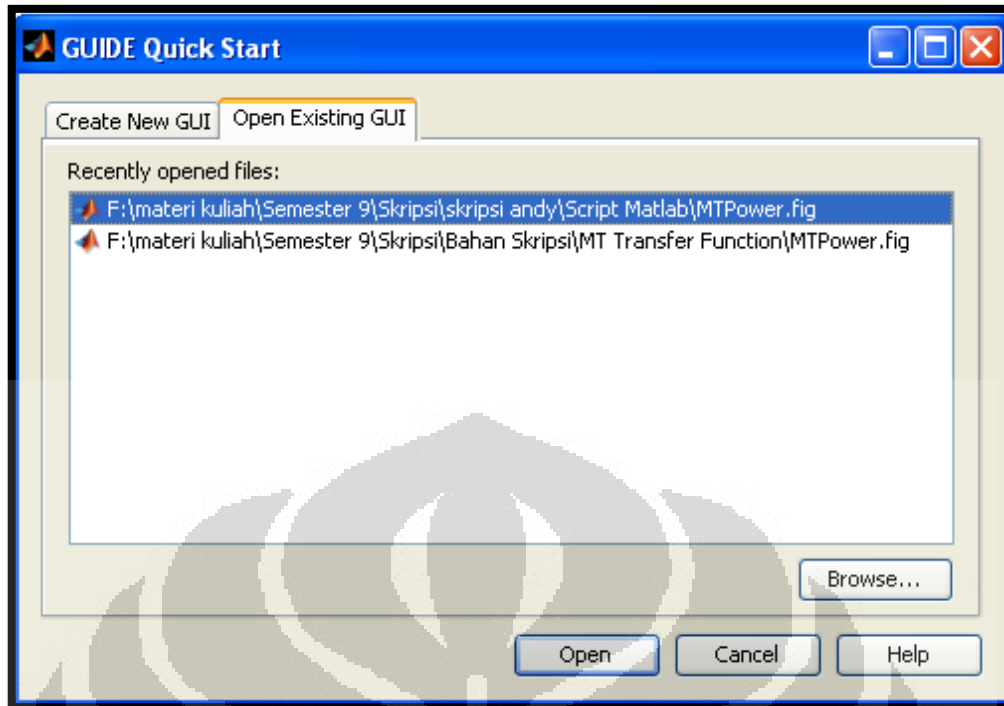
Gambar 3.7. Tampilan GUIDE *Quick Start*

Jika ingin membuat tampilan GUI yang baru maka pilih menu *Create New GUI*, kemudian pilih *Blank GUI (Default)*. Dan hasilnya, dapat dilihat seperti pada Gambar 3.8 berikut :



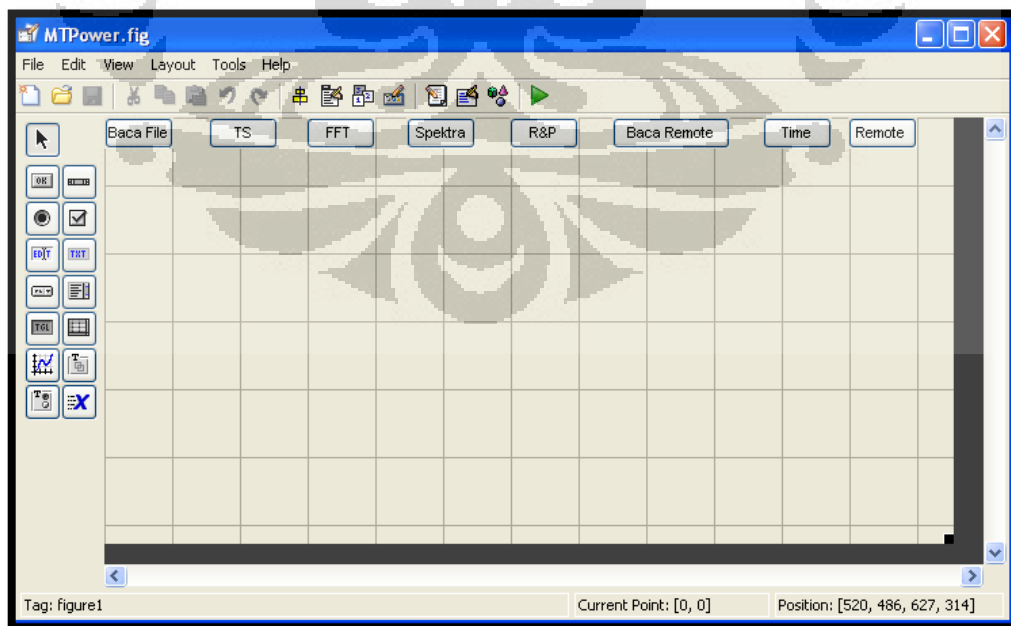
Gambar 3.8. Tampilan awal pada pembuatan GUI

Selanjutnya tampilan GUI dapat dibuat sesuai kebutuhan pemrograman dengan memanfaatkan *icon – icon* yang berada di sebelah kiri pada Gambar 3.8. Apabila sebelumnya sudah membuat GUI maka pilih *Open Existing GUI* pada *GUIDE Quick Start*. Hasilnya akan terlihat pada Gambar 3.9 berikut :



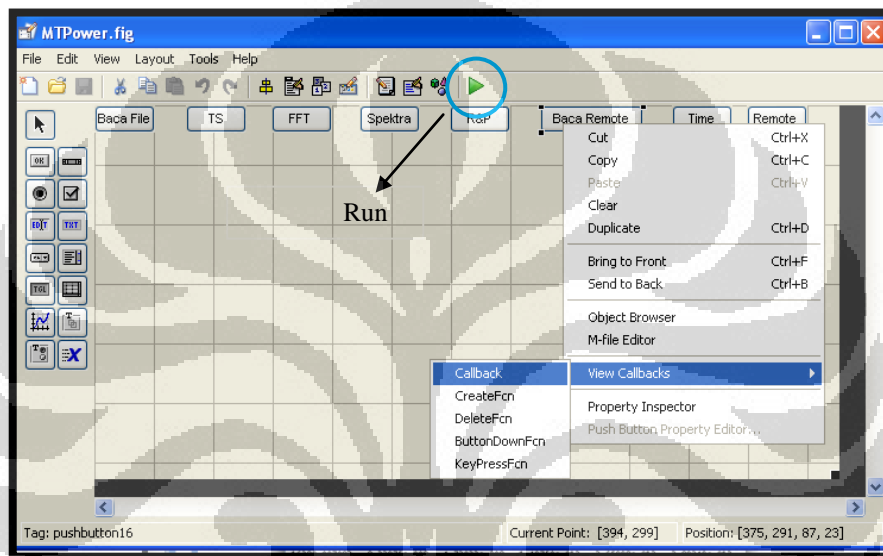
Gambar 3.9. Tampilan *Open Existing GUI* pada *GUIDE Quick Start*

Setelah itu, pilih file GUI yang sudah dibuat sebelumnya. Apabila sudah dipilih, kemudian tekan tombol *open* maka akan terlihat tampilan GUI yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 3.10. Tampilan GUI dari program yang sudah dibuat

Tahapan pembuatan GUI selanjutnya adalah menghubungkan tombol dengan *source code* yang telah dibuat sebelumnya. Cara menghubungkan tombol tersebut dengan *source code* adalah dengan klik kanan pada tombol yang ingin dihubungkan, kemudian pilih perintah *View Callbacks* → *Callback*. Selanjutnya ketik nama file sesuai dengan fungsi *source code* yang dibuat. Tahapan ini dapat ditunjukkan seperti Gambar 3.11 berikut :



Gambar 3.11. Tahapan menghubungkan tombol di GUI dengan *source code*

Setelah semua tombol di GUI dihubungkan dengan *source code*, kemudian lakukan *Run Figure*. Dan hasilnya akan terlihat seperti Gambar 3.12 berikut :



Gambar 3.12. Tampilan GUI yang telah dibuat setelah dilakukan *Run Figure*

Dari Gambar 3.12, dapat dilihat tampilan dari program yang telah dibuat di MATLAB dengan nama MTPower. Nama tersebut diambil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan Dzil Mulki Heditama. Program ini terdapat delapan tombol untuk menjalankan program dimana fungsi dari masing – masing tombol berbeda. Delapan tombol yang dibuat tersebut antara lain (Heditama, 2011) :

➤ **Baca File**

Tombol dari **Baca File** ini berfungsi untuk mengubah data *time series* yang awalnya dalam bentuk ‘.TS’ menjadi ASCII atau ‘.txt’.

```

FILE, , , STR, 1624C06A.TS,
UTC, , , UTC, 2008/12/06 03:00:00,
SNUM, , , Int, 1624,
NCHN, , , Int, 5,
RATE, , , Flt, 2400,
FTYP, , , Int, 17,
16380.000000, -4.67682e-007, 1.03760e-007, 2.51939e-012, 1.07701e-012, -1.03144e-013,
16380.000417, -8.77380e-008, -2.67029e-008, 3.31835e-012, -2.49511e-012, 9.63498e-013,
16380.000833, -2.67029e-008, -2.05994e-008, 1.76573e-012, -1.92618e-012, 2.97699e-013,
16380.001250, -3.50952e-008, -1.90735e-008, -4.39551e-013, -1.97011e-013, -7.20372e-014,
16380.001667, 1.52588e-008, -7.70369e-008, -8.90005e-013, -1.31322e-013, 5.62108e-014,
16380.002083, -8.23975e-008, -2.59399e-008, 2.24407e-012, -2.73687e-013, -4.27312e-013,
16380.002500, 3.50952e-008, -5.79834e-008, 2.35267e-012, -2.28882e-012, 1.19571e-012,
16380.002917, -5.56946e-008, -1.37329e-008, -1.17552e-012, -1.53106e-012, 1.60228e-012,
16380.003333, -6.79016e-008, 1.75476e-008, -1.59191e-012, -3.32899e-014, -2.03096e-012,
16380.003750, -1.22833e-007, 2.21252e-008, 1.79465e-012, -2.09454e-012, -3.45132e-012,
16380.004167, -8.31604e-008, 2.59399e-008, 4.12249e-012, -2.55868e-012, -3.84744e-013,
16380.004583, -6.71387e-008, 4.42505e-008, 1.95019e-012, -4.90617e-013, 3.05367e-012,
16380.005000, -3.61633e-007, 9.99451e-008, -1.23145e-012, 1.22027e-012, 3.01110e-012,
16380.005417, -3.79944e-007, 1.14441e-007, -7.94319e-013, 4.94710e-013, -1.69533e-012,
16380.005833, -7.92457e-008, 7.85338e-008, 1.60995e-012, -3.29597e-012, -4.35197e-012,
16380.006250, -5.64575e-008, 5.11169e-008, 3.49189e-012, -4.32169e-012, -9.64862e-013,
16380.006667, 6.40869e-008, 3.05176e-009, 3.31508e-012, 1.16788e-013, 2.57833e-012,
16380.007083, -8.23975e-008, 4.73022e-008, 1.49750e-012, 3.65998e-012, 2.89349e-012,
16380.007500, -7.05719e-007, 2.42615e-007, 6.55429e-013, 1.70324e-012, -6.31690e-013,
16380.007917, -9.91821e-008, 9.46045e-008, 1.31877e-012, -3.77895e-012, -4.67642e-012,
16380.008333, 3.41034e-007, -6.25610e-008, 2.85393e-012, -5.29528e-012, -1.56135e-012,
16380.008750, -1.50299e-007, 7.55310e-008, 3.24904e-012, 5.72750e-013, 3.84744e-012,
16380.009167, -1.83105e-007, 1.09100e-007, 1.70379e-012, 4.97793e-012, 2.78789e-012,
16380.009583, -1.83105e-007, 9.38416e-008, 8.01141e-013, 2.25580e-012, -1.22954e-012,
16380.010000, -1.53640e-007, 6.84275e-008, 1.94855e-012, -2.11582e-012, -2.58897e-012,
16380.010417, -1.44958e-007, 8.77380e-008, 2.65774e-012, -3.42340e-012, 3.33991e-013,
16380.010833, -1.43433e-007, 9.23157e-008, 9.11653e-013, -6.06040e-013, 2.66565e-012,
16380.011250, -3.96729e-008, 4.42505e-008, 1.46530e-012, 2.14911e-012, 4.14760e-013,
16380.011667, 6.86646e-009, 9.15527e-009, 2.31611e-012, 4.37681e-013, -1.51196e-012,
16380.012083, 4.37764e-008, -4.27246e-008, 4.27098e-012, -5.71659e-013, -1.83288e-012,
16380.012500, 1.10626e-007, -8.85010e-008, 1.91935e-012, -8.85730e-013, -2.38487e-013,
16380.012917, 2.34985e-007, -1.35803e-007, -2.33493e-012, -1.92781e-012, 9.08378e-013,
16380.013333, 3.57819e-007, -1.94550e-007, -1.30158e-012, 6.21867e-013, 1.72671e-012,
16380.013750, 4.98199e-007, -2.60925e-007, 4.80248e-012, 2.69594e-013, 1.28439e-012,
16380.014167, 5.38472e-007, -2.76184e-007, 4.31868e-012, -2.60729e-012, -1.34006e-012,
16380.014583, 4.23431e-007, -2.10571e-007, 4.09848e-013, -5.25544e-013, -3.35983e-012,
16380.015000, 2.25830e-007, -1.34277e-007, -2.19522e-012, 4.80248e-013, -1.11549e-012,
16380.015417, 1.12152e-007, -5.41687e-008, -3.13253e-013, -1.10921e-012, 2.49647e-012,
16380.015833, 5.64575e-008, -1.52588e-008, 2.25526e-012, -1.91008e-012, 1.77146e-012,
16380.016250, 3.95693e-007, -3.89099e-008, 1.91799e-012, -2.33411e-012, -2.47834e-013,
16380.016667, 6.86646e-009, 0.00000e+000, 1.02216e-012, 1.75181e-013, -4.51051e-013,
16380.017083, 6.17981e-008, -1.21307e-007, 5.86667e-013, 7.67032e-013, -8.39615e-013,
16380.017500, 3.05939e-007, -6.21796e-007, 1.29640e-012, -4.07883e-012, -1.30349e-012,
16380.017917, 9.64355e-007, -1.40228e-006, 2.00722e-012, -4.33451e-012, -1.07292e-012,
16380.018333, 1.46332e-006, -1.97978e-006, 1.71634e-013, 5.37315e-013, 1.14682e-012,
16380.018750, 1.48773e-006, -2.18201e-006, -2.26180e-012, 1.59137e-012, 3.19856e-012,
16380.019167, 2.11868e-006, -2.42920e-006, -2.85229e-012, 2.94698e-014, 2.56789e-013,

```

Gambar 3.13. Contoh data *time series* yang sudah diubah ke dalam format ‘.txt’

Dari data tersebut dapat dilihat terdapat enam kolom yang berisi data – data pada pengukuran MT. Kolom pertama berisi data waktu pengukuran MT, kolom kedua dan ketiga berturut – turut adalah medan listrik pada arah sb-x ( $E_x$ ) dan medan listrik pada arah sb-y ( $E_y$ ), sedangkan kolom keempat, kelima, dan keenam berturut – turut adalah medan magnet pada arah sb-x ( $B_x$ ), medan magnet pada arah sb-y ( $B_y$ ), dan medan magnet pada arah sb-z ( $B_z$ ).

➤ **TS**

Tombol **TS** disini berfungsi untuk menampilkan bentuk sinyal dari gelombang *time series*.

➤ **FFT**

Tombol **FFT** berfungsi untuk melakukan proses transformasi Fourier dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* dari data dalam domain waktu menjadi data dalam domain frekuensi. Dan pada tombol ini juga melakukan proses *remove linear trends, hanning window*, perhitungan impedansi, resistivitas semu, dan fase untuk data MT yang tidak menggunakan *remote reference*.

➤ **Spektra**

Fungsi dari tombol **spektra** ini adalah menampilkan bentuk spektra dari hasil proses transformasi Fourier.

➤ **R&P**

Tombol **R&P** disini berfungsi untuk menampilkan kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi dari hasil pemrosesan data.

➤ **Baca Remote**

Tombol **Baca Remote** berfungsi untuk membaca dan mengubah format data *time series* dalam bentuk '.TS' menjadi bentuk '.txt'. Oleh karena pada data ini menggunakan data *remote reference* maka data yang diubah disini ada dua yaitu data MT lokal dan data MT *remote reference*.

➤ **Time**

Fungsi tombol **Time** adalah memilih data medan listrik ( $E_x$ ,  $E_y$ ) dan medan magnetik ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ) yang memiliki waktu yang sama dari data MT lokal dan data MT *remote reference*. Pada tombol ini, data MT yang memiliki waktu berbeda akan dibuang dan tidak dimasukkan ke dalam perhitungan.

➤ **Remote**

Fungsi tombol **Remote** disini hampir sama dengan **FFT**, yaitu melakukan pemrosesan dengan menghitung nilai dari impedansi, resistivitas semu, dan fase dari data MT lokal dan data MT *remote reference*.

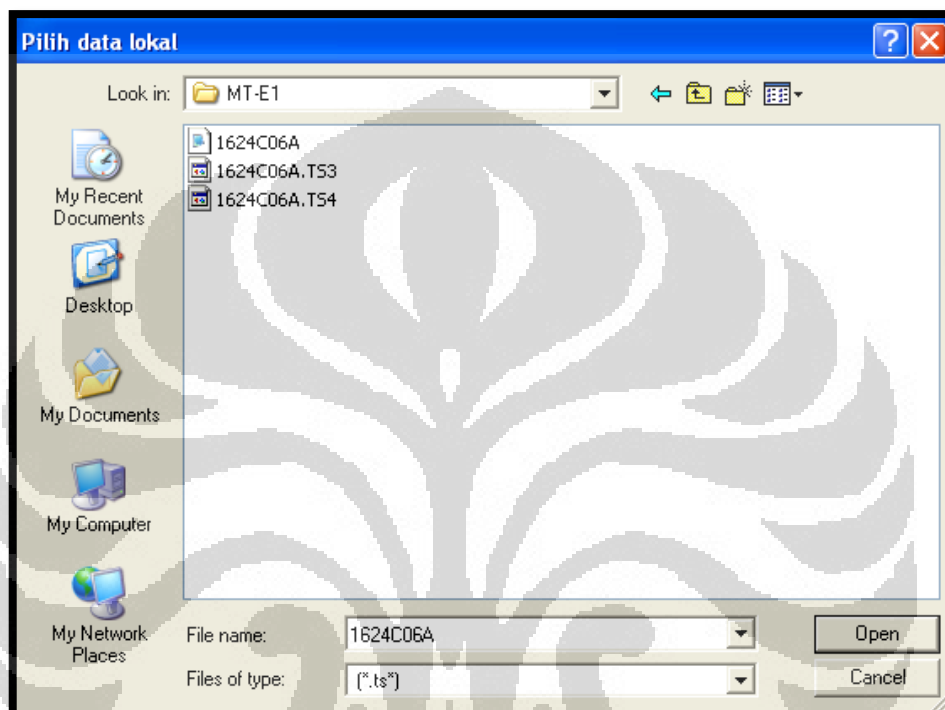
### 3.3 Penggunaan Program MTPower

Program yang telah dibuat disini memiliki delapan tombol dengan masing – masing tombol memiliki fungsi yang berbeda – beda. Akan tetapi, dalam pemrosesan data MT *remote reference*, yang dibutuhkan disini hanya enam tombol saja yaitu tombol **Baca Remote, Time, Remote, TS, Spektra, dan R&P**.



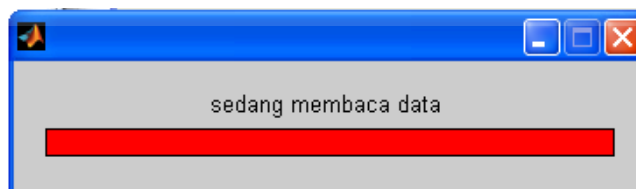
Berikut adalah langkah – langkah pemrosesan data MT *remote reference* dengan menggunakan program yang telah dibuat (Heditama, 2011):

- a) Buka tampilan program yang telah dibuat. Kemudian tekan tombol **Baca Remote** maka akan tampil kotak dialog ‘Pilih data lokal’ seperti yang ditunjukkan Gambar 3.14 berikut :



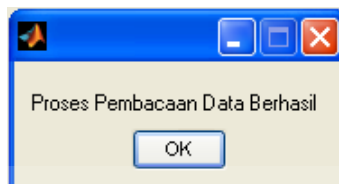
Gambar 3.14. Kotak dialog ‘Pilih data lokal’

Dari Gambar 3.14, terdapat tiga format data *time series* yaitu ‘.TS3’, ‘.TS4’, dan ‘.TS5’. Misalkan kita pilih file **1624C06A.TS3**, kemudian tekan tombol *Open* maka akan tampil kotak dialog ‘sedang membaca data’ seperti yang ditunjukkan Gambar 3.15 berikut :



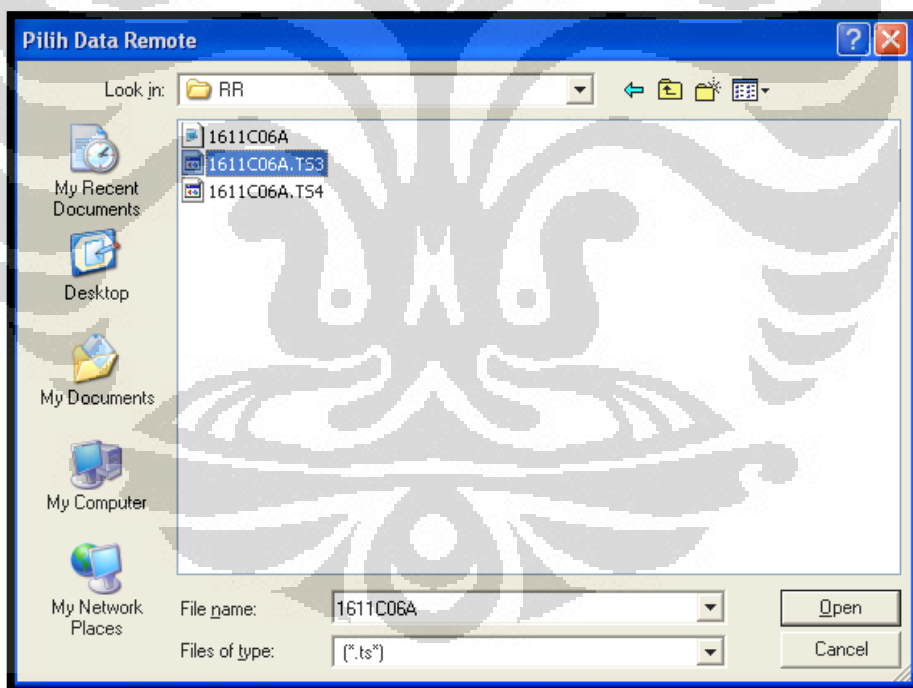
Gambar 3.15. Kotak dialog ‘sedang membaca data’

Pada Gambar 3.15 disini menjelaskan bahwa program sedang melakukan pembacaan data MT lokal dan mengubah format data tersebut dari bentuk '.TS' menjadi bentuk '.txt'. Setelah proses pembacaan data selesai maka akan muncul kotak dialog 'Proses Membaca Data Berhasil' berikut :



Gambar 3.16. Kotak dialog 'Proses Pembacaan Data Berhasil'

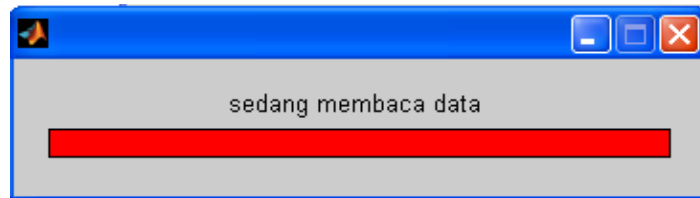
Kemudian, pada program akan muncul kotak dialog lagi. Kotak dialog selanjutnya memberikan perintah untuk memasukkan data MT *remote reference* yang ingin dilakukan proses pembacaan data dan diubah formatnya ke dalam bentuk '.txt'. Berikut adalah gambar kotak dialog 'Pilih data remote' :



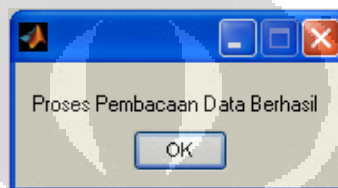
Gambar 3.17. Kotak dialog 'Pilih data remote'

Proses selanjutnya yaitu sama seperti Gambar 3.14 dimana pada proses ini file dengan format '.TS3' dibuka dan dilakukan pembacaan data. Kemudian akan muncul kotak dialog 'sedang membaca data' lagi dan setelah pembacaan data *remote reference* berhasil maka akan muncul kotak dialog 'Proses pembacaan

Data Berhasil'. Hal tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.18 dan Gambar 3.19 berikut:

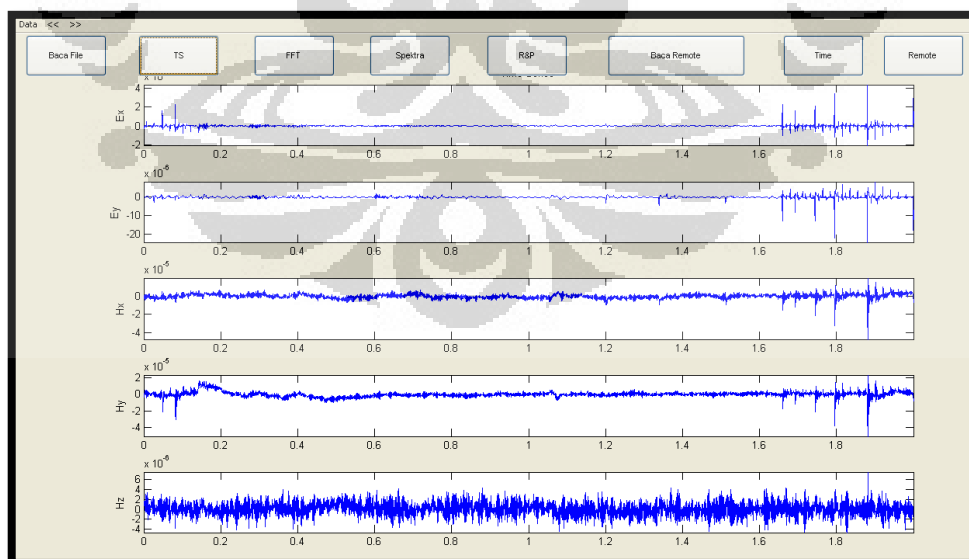


Gambar 3.18. Kotak dialog 'sedang membaca data'



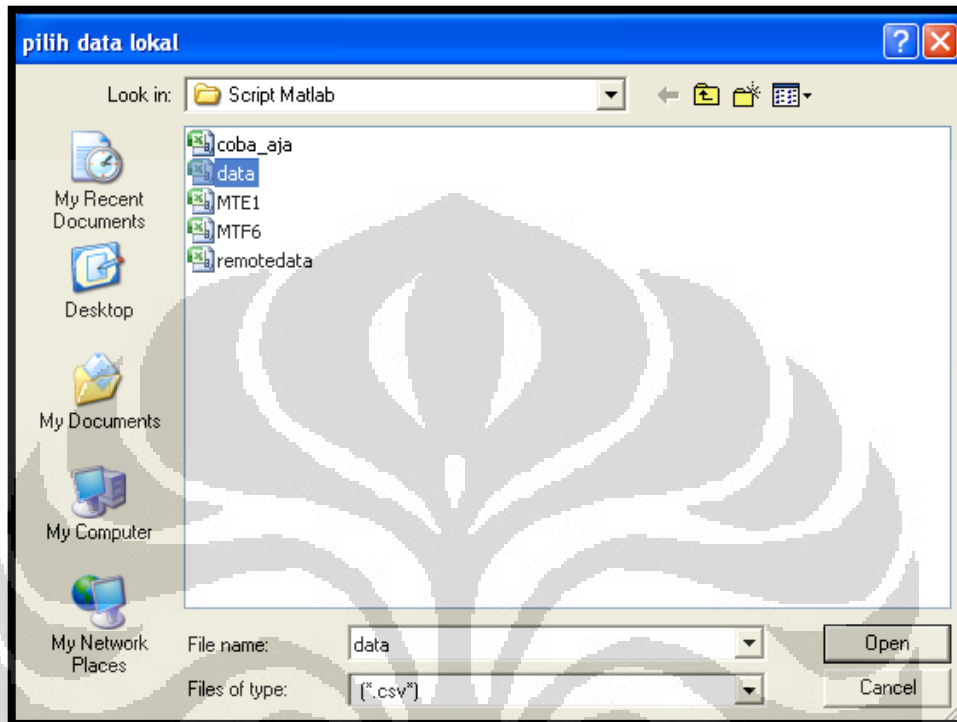
Gambar 3.19. Kotak dialog 'Proses Pembacaan Data Berhasil'

- b) Langkah kedua dalam pemrosesan data MT *remote reference* adalah menekan tombol **TS**. Tombol **TS** disini berfungsi untuk menampilkan bentuk dari sinyal gelombang data MT lokal. Sinyal gelombang ini terdiri dari lima komponen medan listrik dan medan magnetik yaitu  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ , dan  $H_z$ . Bentuk sinyal tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.20.



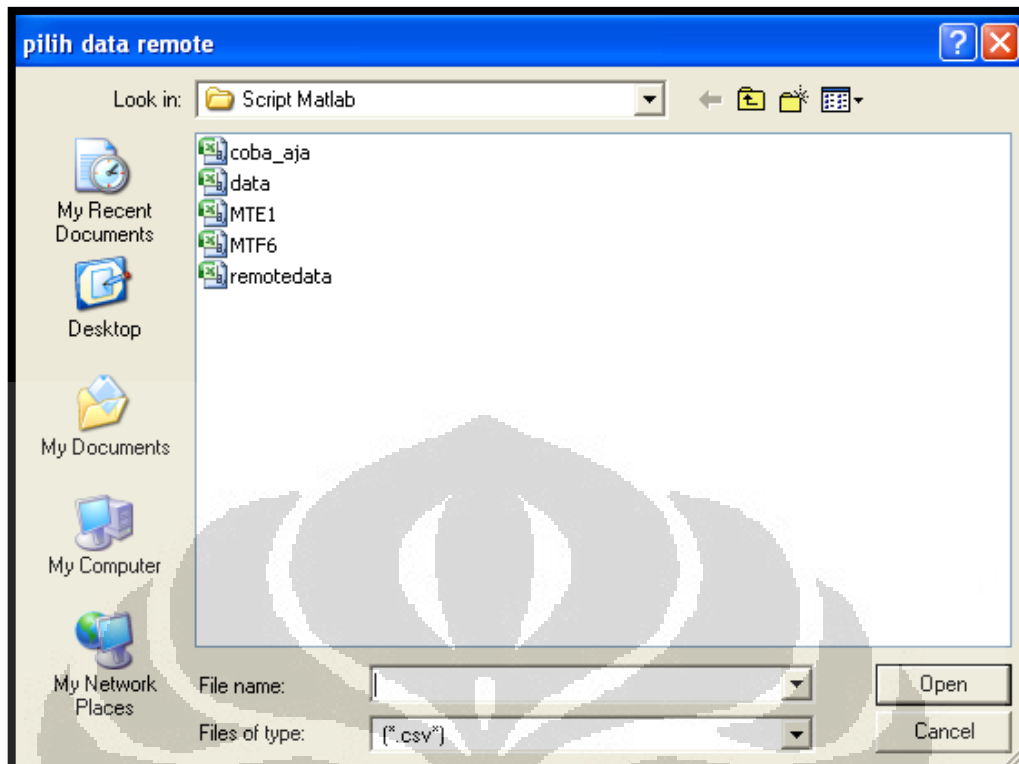
Gambar 3.20. Bentuk sinyal *time series* data MT lokal

- c) Tekan tombol **Time** untuk memilih medan listrik dan medan magnetik yang memiliki waktu pengukuran sama pada MT lokal dan MT *remote reference*. Berikut tampilan pada saat kita menekan tombol **Time** :



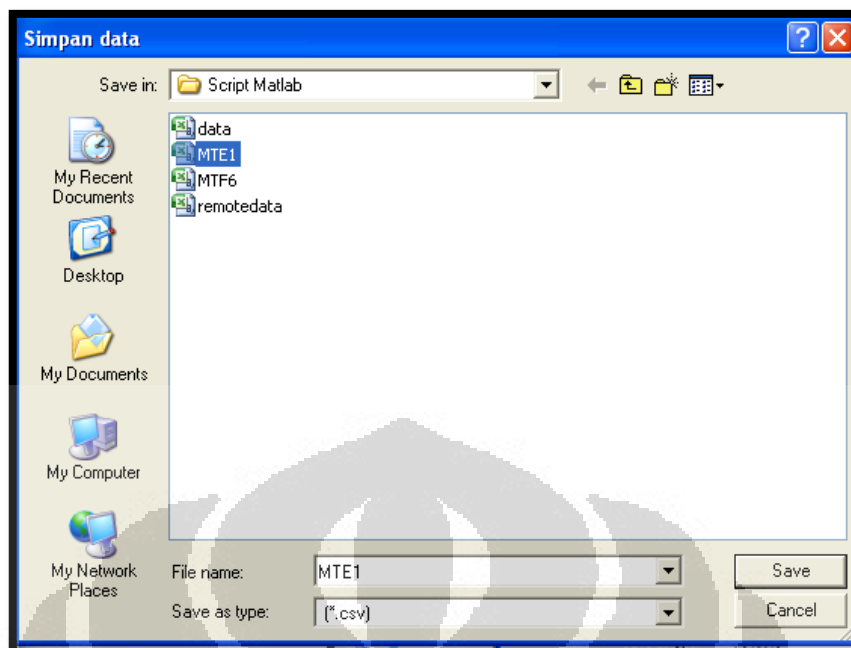
Gambar 3.21. Kotak dialog 'pilih data lokal'

Gambar 3.21 memberikan perintah kepada kita untuk memasukkan data lokal. Kemudian setelah memasukkan data lokal, program akan memberikan perintah kembali untuk memasukkan data remote. Berikut adalah tampilannya :



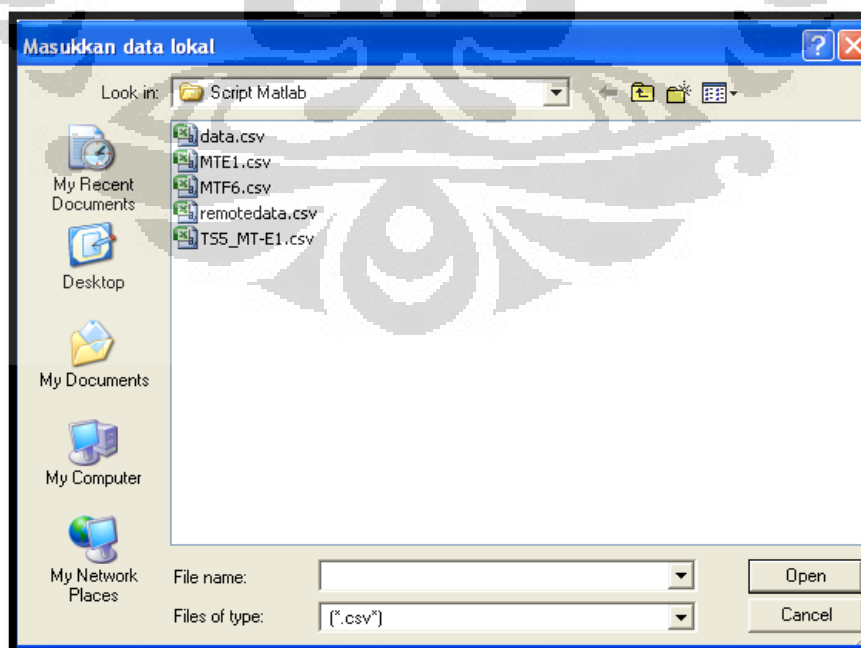
Gambar 3.22. Kotak dialog 'pilih data remote'

Setelah memilih data remote, kemudian tekan tombol **Open** maka program akan melakukan proses pemilihan data lokal dan data *remote reference* sampai bertemu pada waktu yang sama. Apabila data lokal sudah memiliki waktu yang sama dengan data *remote reference* maka dengan seketika program akan menghentikan proses. Selanjutnya, akan tampil kotak dialog untuk menyimpan hasil prosesnya. Lalu simpan hasil proses data tersebut sesuai dengan nama yang diinginkan.



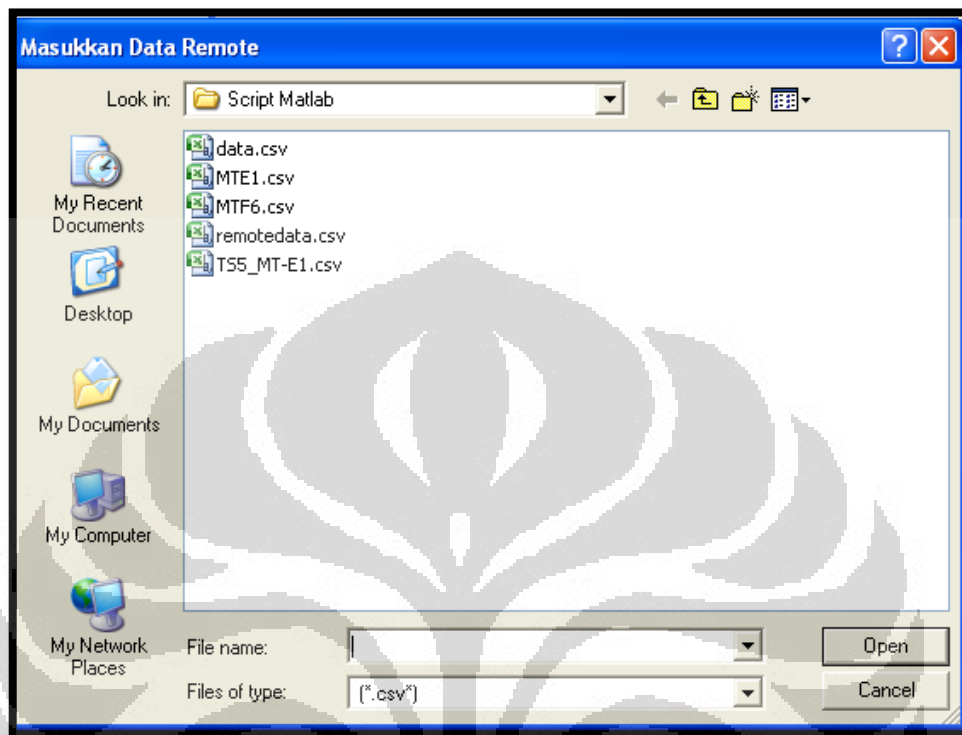
Gambar 3.23. Kotak dialog 'simpan data'

- d) Sampai pada proses ini, kedua data, yaitu data MT lokal dan MT *remote reference* sudah memiliki waktu pengukuran yang sama. Langkah selanjutnya adalah tekan tombol **Remote** maka akan muncul kotak dialog 'Masukkan data lokal'. Masukkan data lokal seperti Gambar 3.24 berikut :



Gambar 3.24. Kotak dialog 'Masukkan data lokal'

Kemudian masukkan data *remote reference*,



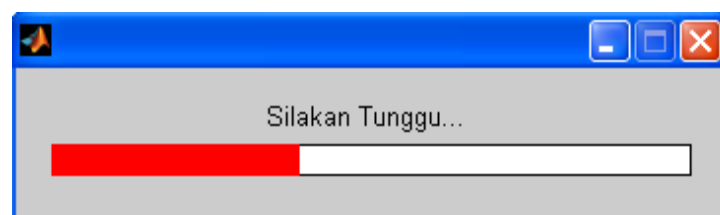
Gambar 3.25. Kotak dialog 'MasukkanRemote'

Sampai sini, kedua data siap untuk diproses. Akan tetapi, sebelum itu kita harus memasukkan data kalibrasi terlebih dahulu agar hasil yang diperoleh menjadi lebih baik. Kemudian kita juga harus memasukkan nilai frekuensi sesuai kebutuhan pemrosesan. Frekuensi disini berfungsi agar kurva resistivitas semu dan fase yang dihasilkan nanti dalam fungsi frekuensi. Selanjutnya, setelah data kalibrasi dan frekuensi dimasukkan maka akan tampil kotak dialog untuk memasukkan jumlah segmen yang ingin diproses. Segmen di sini maksudnya adalah *window* untuk menampilkan data *time series* yang berisi nilai medan listrik dan medan magnetik terhadap waktu pengukuran. Berikut adalah tampilan untuk memasukkan jumlah segmen.



Gambar 3.26. Kotak dialog tampilan segmen\_awal, segmen\_akhir, dan jumlah data

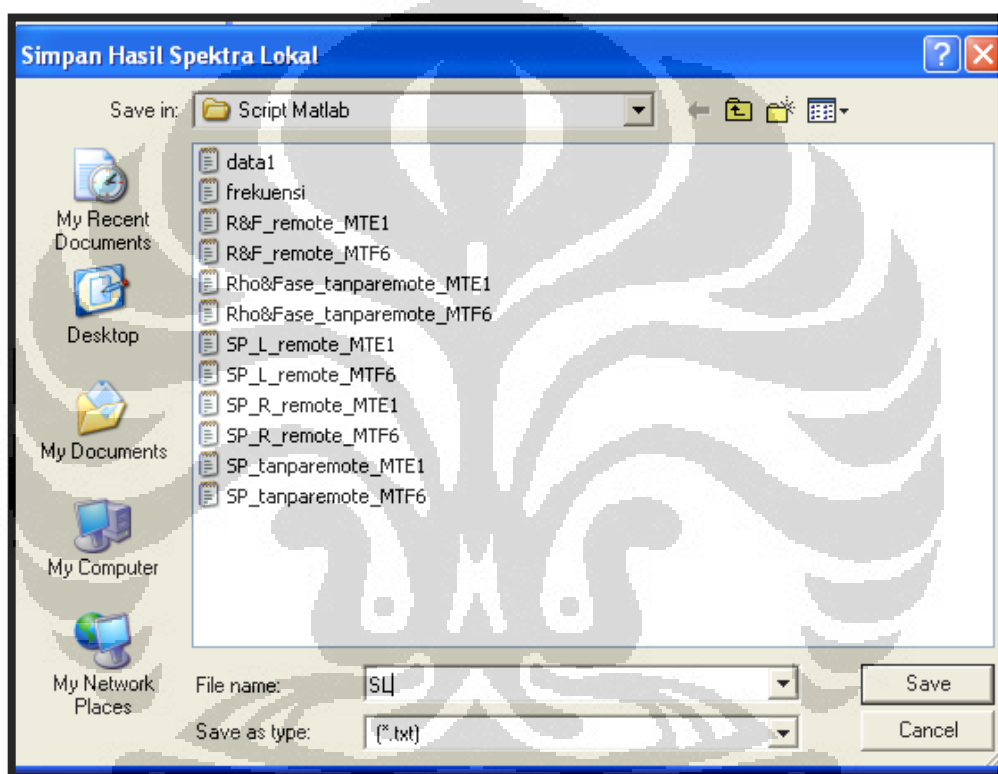
Dari Gambar 3.26, terlihat bahwa pemrosesan dimulai dari segmen 1 dan berakhir pada segmen 100 dengan jumlah data untuk masing – masing segmen adalah 4800 data. Pengisian segmen dapat disesuaikan dengan waktu perekaman data. Setiap segmen memiliki selisih waktu 10 menit dengan segmen berikutnya dengan jumlah data yang berbeda untuk ‘.TS3’, ‘.TS4’, dan ‘.TS5’. Data *time series* ‘.TS3’ memiliki jumlah data sebanyak 4800 data untuk masing – masing segmen, sedangkan ‘.TS4’ dan ‘.TS5’ memiliki masing – masing 2400 data dan 9000 data untuk setiap segmennya. Perekaman untuk setiap sinyal yang masuk itu akan dihitung per detik sehingga untuk data ‘.TS3’ terdapat 2400 data per detik, data ‘.TS4’ terdapat 150 data per detik, dan data ‘.TS5’ terdapat 15 data per detik. Panjang waktu rekaman setiap segmen untuk data ‘.TS3’ adalah 2 detik, ‘.TS4’ adalah 16 detik, dan untuk data ‘.TS5’ adalah 10 menit. Setelah memasukkan jumlah segmen dan jumlah data yang ingin diproses, tekan tombol ‘OK’ maka akan tampil kotak dialog seperti Gambar 3.28 berikut :



Gambar 3.27. Kotak dialog ‘Silakan Tunggu...’

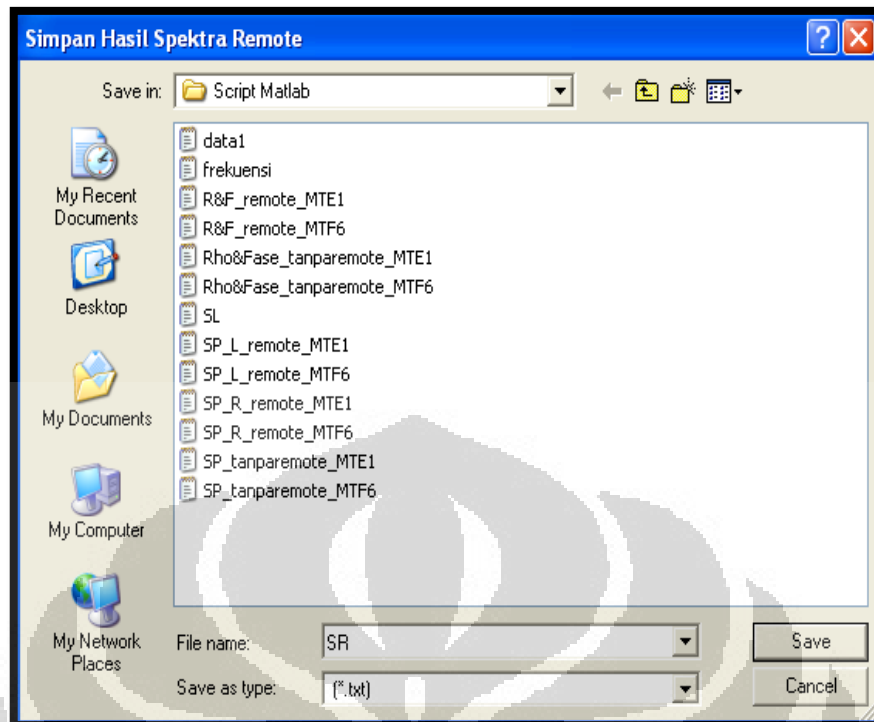


Kotak dialog pada Gambar 3.27 memberikan penjelasan bahwa program sedang melakukan beberapa proses seperti *remove linear trends*, *hanning window*, transformasi Fourier, menghitung nilai impedansi, menghitung nilai resistivitas semu, menghitung fase, dan melakukan proses robust. Setelah proses penghitungan selesai maka akan muncul berturut – turut kotak dialog ‘Simpan Hasil Spektra Lokal’ dan kotak dialog ‘Simpan Hasil Spektra Remote’. Kotak dialog tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.28 dan 3.29.



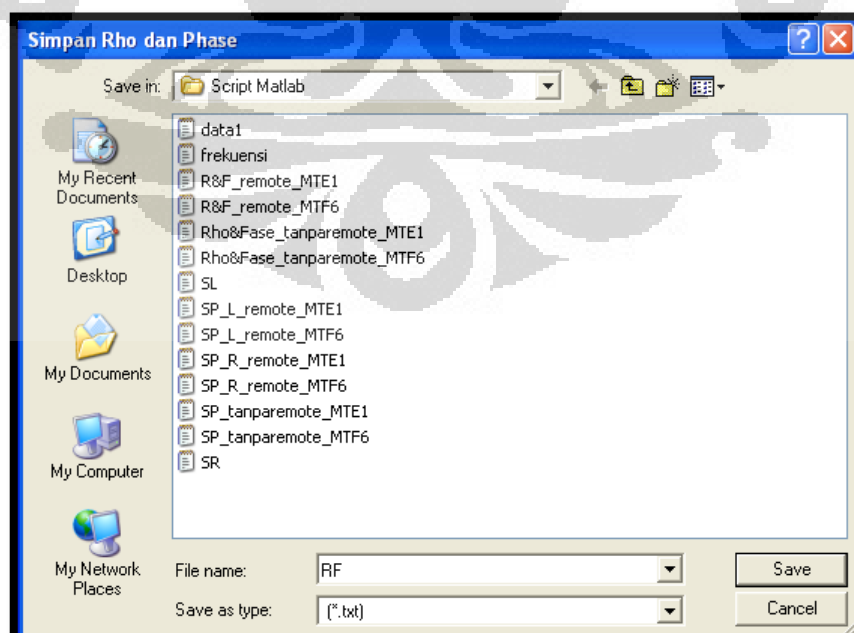
Gambar 3.28. Kotak dialog ‘Simpan Hasil Spektra Lokal’

Kemudian tekan tombol **Save** untuk menyimpan hasil spektra data MT lokal. Setelah menyimpan hasil spektra lokal tersebut maka akan muncul kotak dialog yang memberikan perintah untuk menyimpan hasil spektra data MT *remote reference*.



Gambar 3.29. Kotak dialog 'Simpan Hasil Spektra Remote'

Hasil spektra kedua data telah disimpan maka setelah itu akan muncul kotak dialog untuk menyimpan hasil perhitungan resistivitas semu dan fase. Hasilnya terlihat pada Gambar 3.30 berikut :

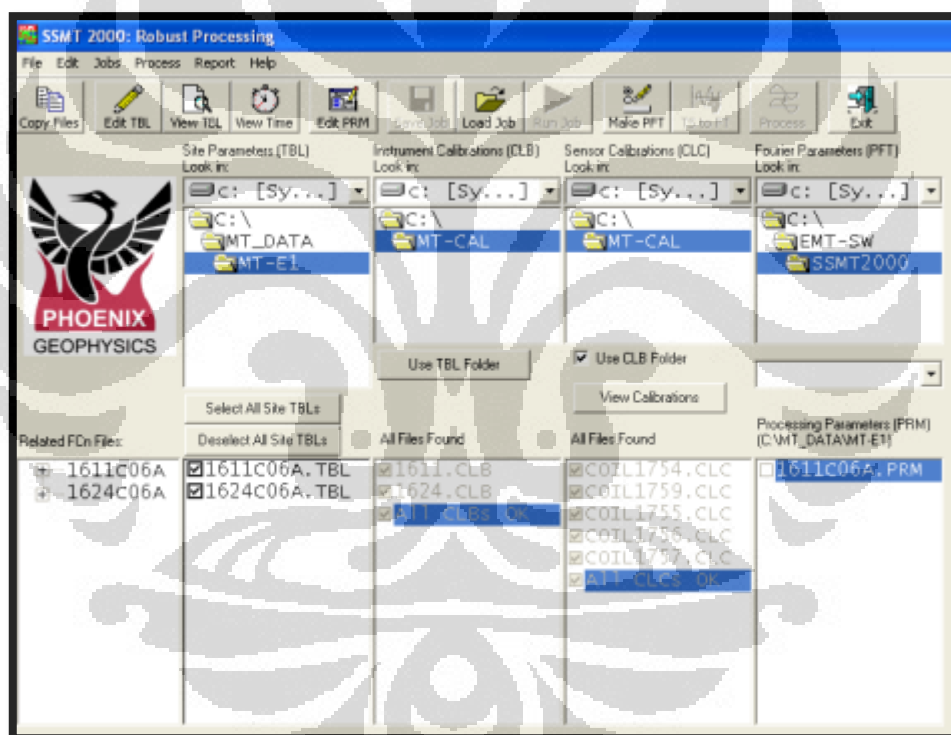


Gambar 3.30. Kotak dialog 'Simpan Rho dan Phase'

- e) Selanjutnya tekan tombol **Spektra** untuk melihat kedua hasil spektra dari data MT lokal dan data MT *remote reference* pada proses Transformasi Fourier.
- f) Tekan tombol **R&P** untuk melihat bentuk kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi.

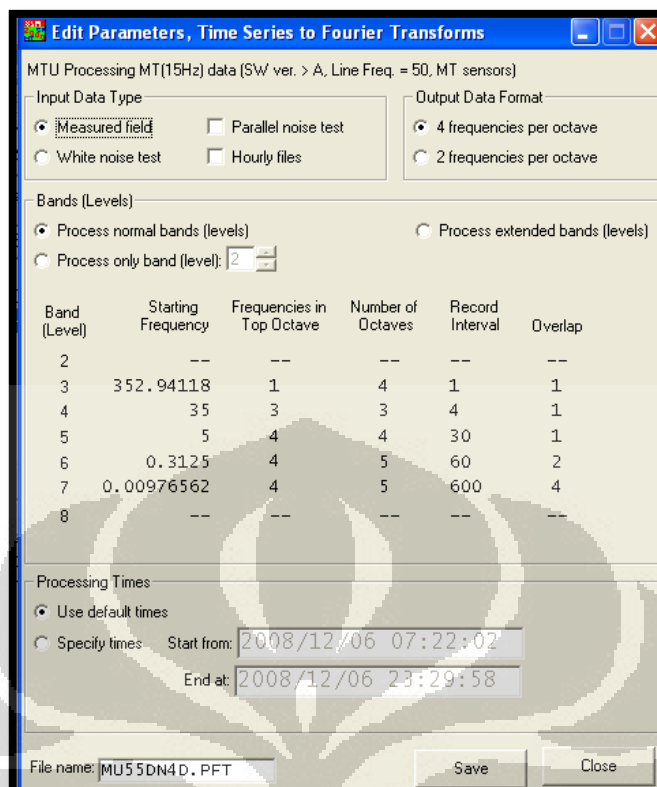
### 3.4 Pengolahan Data dengan Menggunakan SSMT2000

Pengolahan data MT *remote reference* lainnya yaitu dengan menggunakan *software* SSMT2000. Data yang diproses dengan SSMT2000 ini yaitu data dalam bentuk format '.TS3', '.TS4', '.TS5', dan TBL. Gambar 3.32 berikut adalah tampilan *software* SSMT2000 yang sedang memasukkan data MT yang ingin diproses.



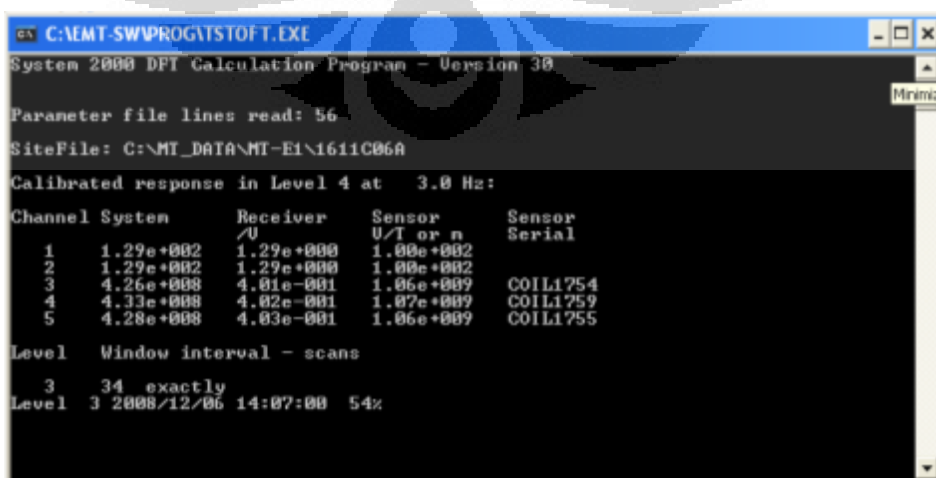
Gambar 3.31. Tampilan SSMT2000

Pada Gambar 3.32 terdapat dua data MT yang dimasukkan yaitu data **1624C06A.TBL** sebagai data MT lokal dan **1611C06A.TBL** sebagai data MT *remote reference*. Kemudian masukkan data kalibrasi dan tekan tombol **Make PFT** maka akan muncul Gambar 3.33 berikut :



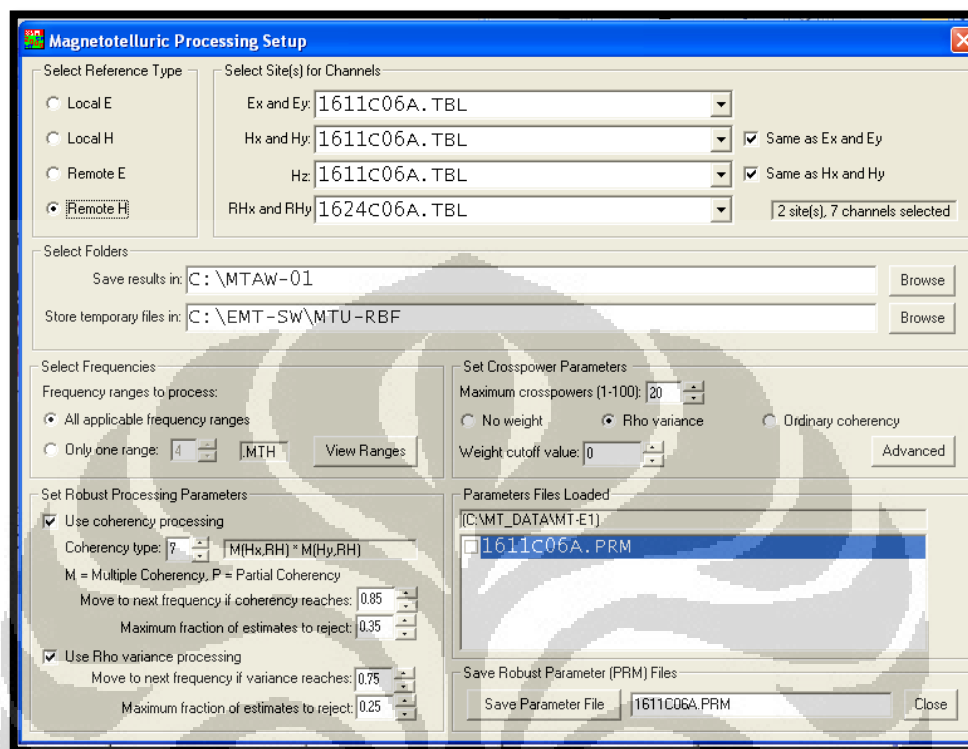
Gambar 3.32. Tampilan Make PFT

Pada Gambar 3.33 terlihat bahwa pengukuran dilakukan mulai dari pukul 07.22.02 sampai pukul 23.29.58. Kemudian tekan tombol **Save** untuk menyimpan hasil edit parameter tersebut. Lalu tekan tombol **TS to FT** untuk melakukan transformasi dari *time series* ke *Fourier Transform*. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.34.



Gambar 3.33. Proses TS to FT

Langkah selanjutnya yaitu melakukan *edit parameter* robust dengan menekan tombol **Edit PRM** sehingga akan muncul tampilan gambar berikut:



Gambar 3.34. Tampilan **Edit PRM**

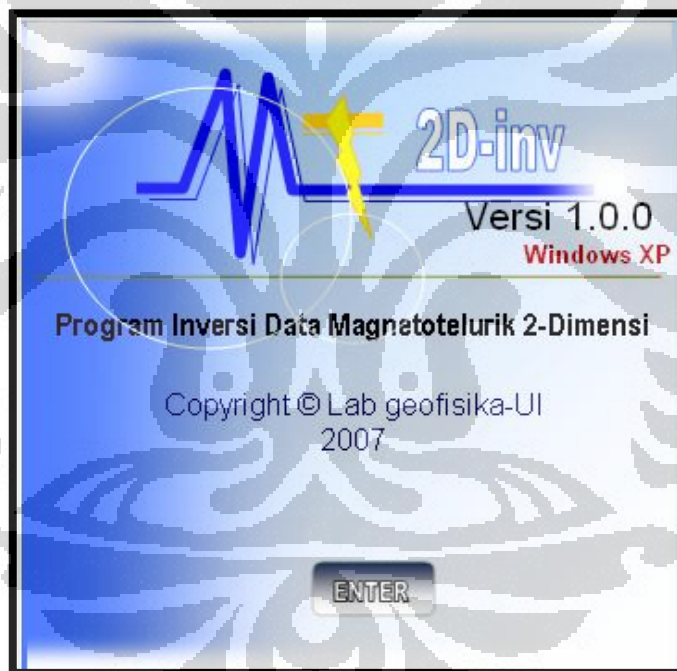
Selanjutnya simpan parameter file lalu *Close*. Langkah terakhir adalah melakukan *reprocess* transformasi Fourier dengan menekan tombol **Process**. Setelah proses selesai, lalu didapatkan *output* berupa data dengan format ‘.MTH’ dan ‘.MTL’. Kedua data dengan format tersebut kemudian ditampilkan dengan memasukkan data tersebut ke dalam *software* MT Editor. Hasilnya terlihat kurva reisivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi. Kemudian bandingkan hasilnya dengan pemrosesan pada saat menggunakan program yang dibuat di MATLAB.

### 3.5 Inversi 2-D

Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistika untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Di dalam proses inversi,

kita melakukan analisis terhadap data lapangan dengan cara melakukan *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Dengan kata lain, proses inversi yaitu proses mengubah data yang diperoleh dari pengukuran menjadi model penampang bawah permukaan. Tujuan dari proses inversi ini adalah mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*).

Setelah mendapatkan kurva resistivitas semu dan fase dari pengolahan data menggunakan MTPower dan SSMT2000, kemudian dilakukan proses inversi pada kedua hasil tersebut (Heditama, 2011). Proses inversi ini dilakukan dengan menggunakan *software* MT2Dinv yang dikembangkan oleh Laboratorium Geofisika, Universitas Indonesia. Berikut adalah tampilan *software* MT2Dinv.



Gambar 3.35. Tampilan awal MT2Dinv

Pada tampilan awal MT2Dinv tersebut, tekan tombol **ENTER** maka akan muncul beberapa kolom isian yang harus kita isi. Kolom isian tersebut yaitu periode atau frekuensi, rho-TM, fase-TM, rho-TE, dan fase-TE. Kelima kolom isian tersebut harus diisi dengan memasukkan nilai resistivitas semu dan fase yang diperoleh dari pengolahan data dengan MTPower dan SSMT2000. Kemudian kita

juga harus mengisi data koordinat dan elevasi dari setiap titik yang ingin diinversi (Heditama, 2011).

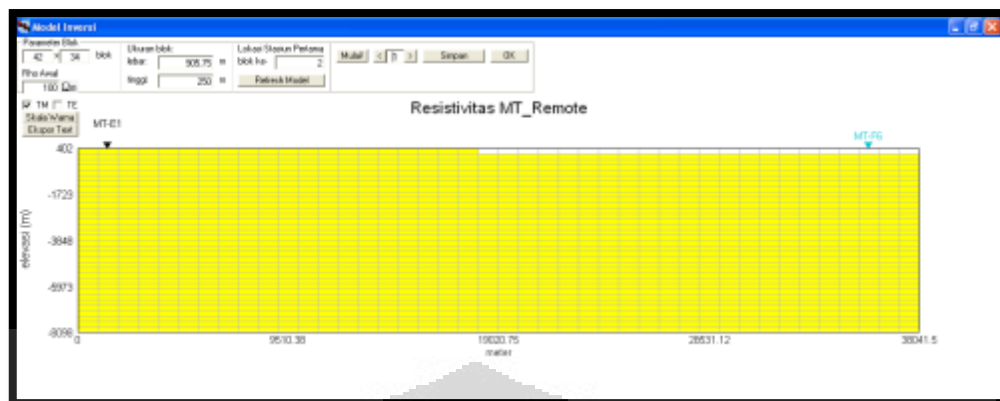
No	Pincode (data)	Ribu TM (elevasi)	Fase TM	Ribu TE (elevasi)	Fase TE
1	1.903704	8.272308	87.080208	9.879889	77.348330
2	1.938175	8.025637	47.184328	7.860321	76.430420
3	1.428971	8.159369	86.175034	8.157594	23.708899
4	1.927971	7.930323	-129.020008	7.745230	71.803871
5	0.900392	5.908030	47.438132	6.285490	27.336981
6	0.854703	4.363625	-76.048134	5.182280	22.964884
7	0.706233	5.046330	-127.962518	6.078526	29.391344
8	0.891396	3.918912	42.936358	4.649712	36.364433
9	0.458211	3.994813	79.338144	5.370887	42.303276
10	0.427390	5.738328	118.170008	6.863448	48.824724
11	0.398872	3.091803	42.075003	7.547627	51.253730
12	0.294716	8.231891	194.272225	7.281789	56.564582
13	0.243982	4.925103	-182.128488	7.271346	59.597153
14	0.212786	4.562676	58.581616	9.782631	61.708231
15	0.179571	5.078872	45.598629	7.841945	65.860754
16	0.148836	5.064217	58.448812	16.518337	70.427212
17	0.123487	4.488149	43.684128	25.719374	73.842634
18	0.106389	13.078128	86.389897	36.874817	76.394482
19	0.098206	11.448828	51.479948	35.887388	76.827337
20	0.072299	11.191819	36.527399	36.823894	77.473999
21	0.061728	15.523399	-41.783799	37.689374	78.142824
22	0.052701	40.494128	46.208118	0.800571	77.400380
23	0.044444	23.965536	53.776452	36.495383	77.008769
24	0.036368	28.128445	47.585148	46.630383	76.832561
25	0.030382	68.728388	46.861811	46.815188	72.836884
26	0.025800	64.067962	80.748198	60.874829	71.814487
27	0.020406	74.139303	84.848133	86.830729	69.319888
28	0.017944	71.611887	52.985887	87.448988	70.230169
29	0.015742	67.381787	84.118128	85.285119	70.888162
30	0.012890	55.438328	58.051388	74.840381	71.363480
31	0.010308	67.272307	36.025988	73.583888	73.897161
32	0.008632	64.204534	66.381288	70.474382	76.427934

Gambar 3.36. Tampilan data input MT1

No	Pincode (data)	Ribu TM (elevasi)	Fase TM	Ribu TE (elevasi)	Fase TE
1	1.903704	0.994880	44.128411	0.231484	15.018891
2	1.938175	0.144911	43.479371	0.198879	28.138879
3	1.428971	0.238977	64.894380	0.107476	28.109443
4	1.927971	0.164888	129.971302	0.794882	19.894889
5	0.900392	0.149449	136.818840	0.124882	28.499192
6	0.854703	0.120749	86.309984	0.094170	18.388813
7	0.706233	0.195896	122.477130	0.090987	26.419816
8	0.891396	0.081889	118.817240	0.070779	29.188136
9	0.458211	0.144289	-115.400880	0.084124	57.898882
10	0.427390	0.118854	113.858880	0.750817	52.737488
11	0.398872	0.171829	88.171731	0.143211	46.953885
12	0.294716	0.288886	200.700880	0.709884	46.523888
13	0.243982	0.140023	26.752520	0.228471	42.238471
14	0.212786	0.136811	49.247623	0.400175	68.537270
15	0.179571	0.215581	65.808781	0.286349	63.571486
16	0.148836	0.134887	78.828385	0.797175	68.087125
17	0.123487	0.325714	103.288882	0.801877	58.977984
18	0.106389	0.071840	65.658880	3.781815	59.954710
19	0.098206	0.460780	71.447888	0.178822	58.528488
20	0.072299	1.460886	64.128686	2.284182	58.868872
21	0.061728	0.812182	78.868177	2.008186	57.108880
22	0.052701	2.188489	79.768484	2.637128	48.767424
23	0.044444	1.488884	79.888883	3.488827	48.837847
24	0.036368	1.768884	46.828886	4.867882	77.138171
25	0.030382	3.117179	48.957882	6.968811	59.884144
26	0.025800	3.498176	68.418117	8.688373	38.718803
27	0.020406	0.968795	90.887132	7.418887	72.888188
28	0.017944	3.381873	94.888882	11.724386	71.088886
29	0.015742	0.537882	87.338482	12.747817	48.388167
30	0.012890	3.718870	88.318480	12.828823	68.098883
31	0.010308	7.472887	94.289784	13.789789	58.888884
32	0.008632	7.888822	92.519889	15.144711	48.638840

Gambar 3.37. Tampilan data input MT2

Setelah itu, data disimpan dalam bentuk format '.DTS' sehingga data siap untuk diinversi. Kemudian tekan tombol inversi dan hasilnya akan terlihat pada Gambar 3.39 berikut.



Gambar 3.38. Tampilan proses inversi MT\_Remote

Dari tampilan Gambar 3.39, terdapat dua titik MT yaitu MT1 dan MT2 yang terpisah sejauh 38,1 km. Dari gambar ini juga terdapat beberapa parameter yang harus kita atur agar hasil dari inversinya menjadi lebih proporsional. Parameter-parameter tersebut seperti ukuran blok, lokasi stasiun pertama, nilai rho awal, dan kurva TE atau TM yang ingin kita pilih. Langkah selanjutnya yaitu menekan tombol **Mulai** untuk memulai melakukan inversi.



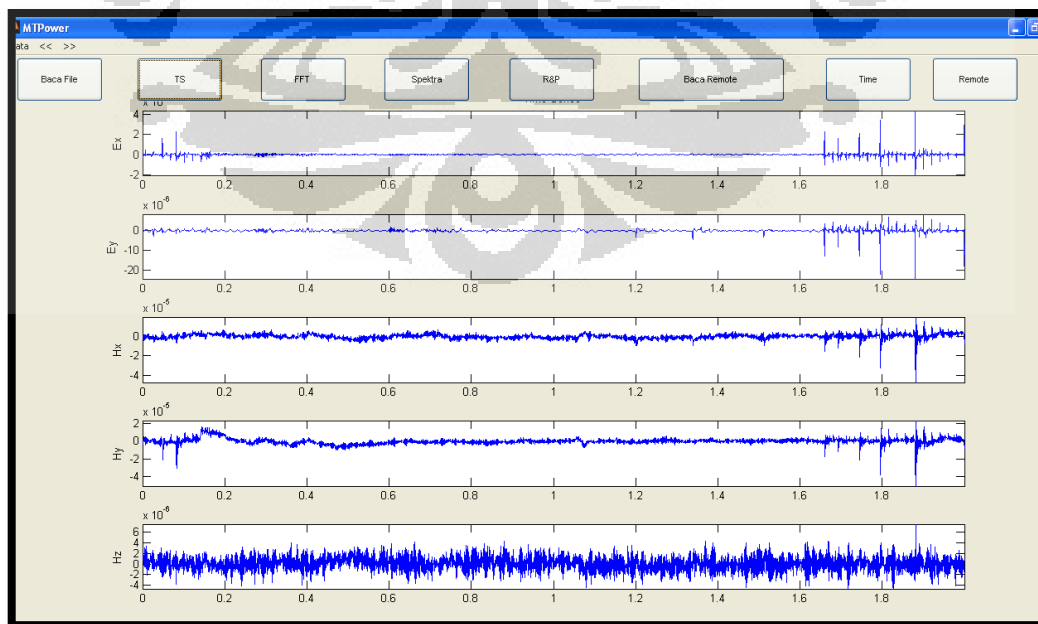
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari pengukuran MT pada umumnya memiliki noise lokal yang dapat mengganggu pemodelan maupun interpretasi. Untuk meningkatkan kualitas sinyal yang diinginkan, kita harus memastikan bahwa kombinasi sinyal antara medan listrik dan medan magnetik yang kita dapat adalah kombinasi yang koheren. Pada saat pengukuran MT dilakukan, kita akan memperoleh nilai medan listrik dan medan magnetik di mana ketika sinyal tersebut terekam maka masih terdapat di dalamnya sinyal noise yang tidak kita inginkan. Oleh karena itu, noise pada data MT ini harus dihilangkan dengan menggunakan metode *remote reference*. Penelitian ini menjelaskan bagaimana metode *remote reference* itu dapat mengurangi noise pada pengolahan data MT.

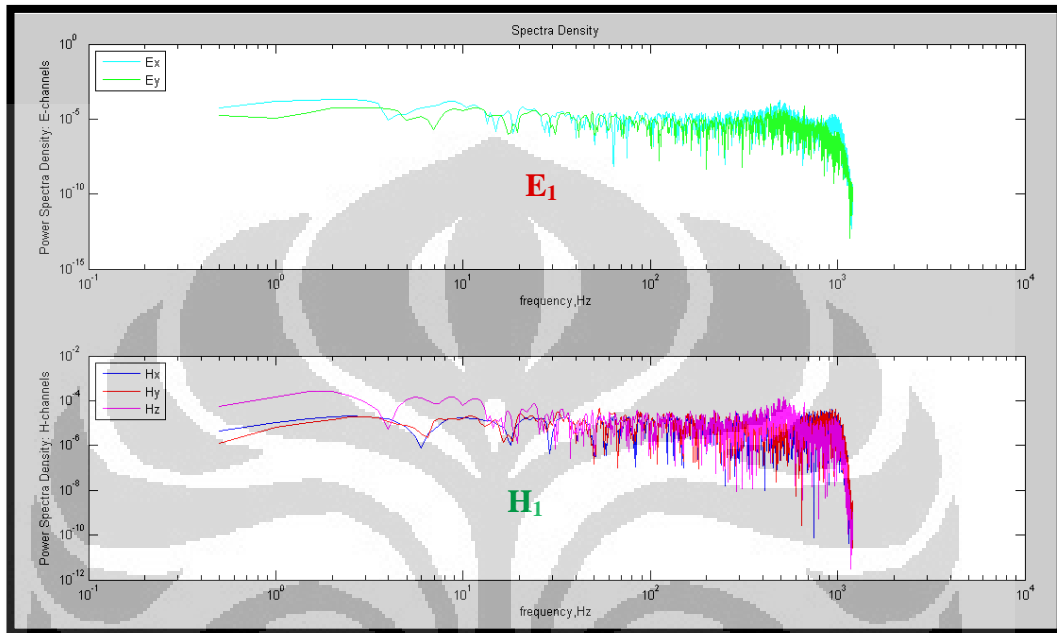
#### 4.1 Hasil Pengolahan Data *Remote reference* dengan MTPower

Terdapat 2 titik pengukuran MT yang diproses dengan menggunakan program MTPower, yaitu titik MT1 dan MT2 (Heditama, 2011). Pengolahan data tersebut meliputi tampilan sinyal *time series*, spektra, kurva resistivitas semu vs frekuensi, dan fase vs frekuensi. Tampilan sinyal *time series* dari titik MT1 dapat dilihat pada Gambar 4.1.

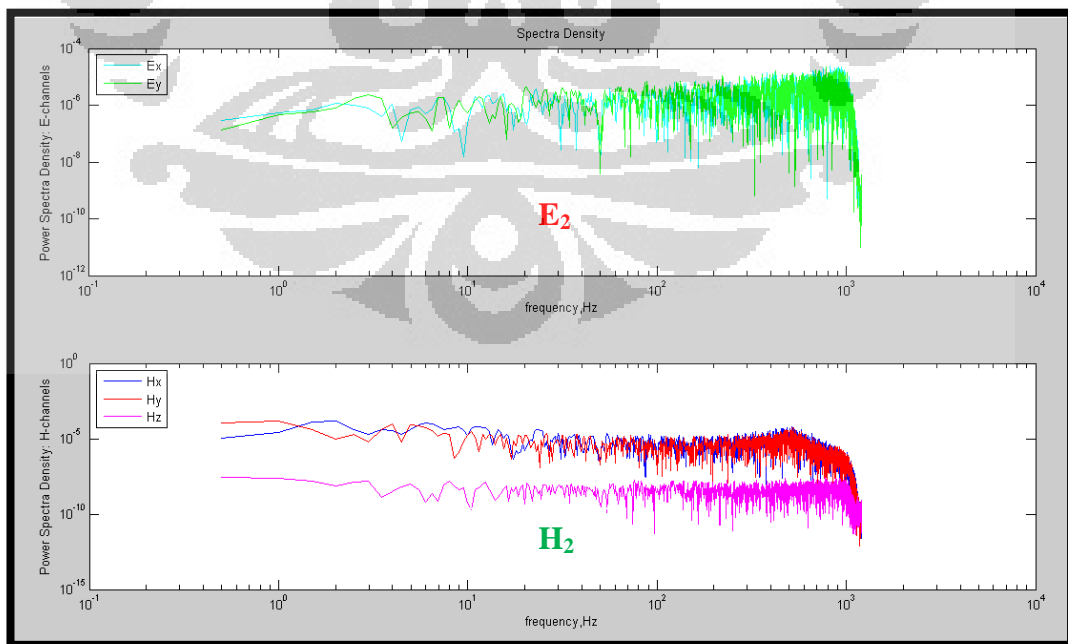


Gambar 4.1. Tampilan sinyal *time series* MT1 dengan MTPower (Heditama,2011)

Selanjutnya, setelah program melakukan transformasi Fourier, yaitu mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi maka akan dihasilkan bentuk spektra dari data MT1 dan data *remote reference* yang dimasukkan. Tampilannya dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3.

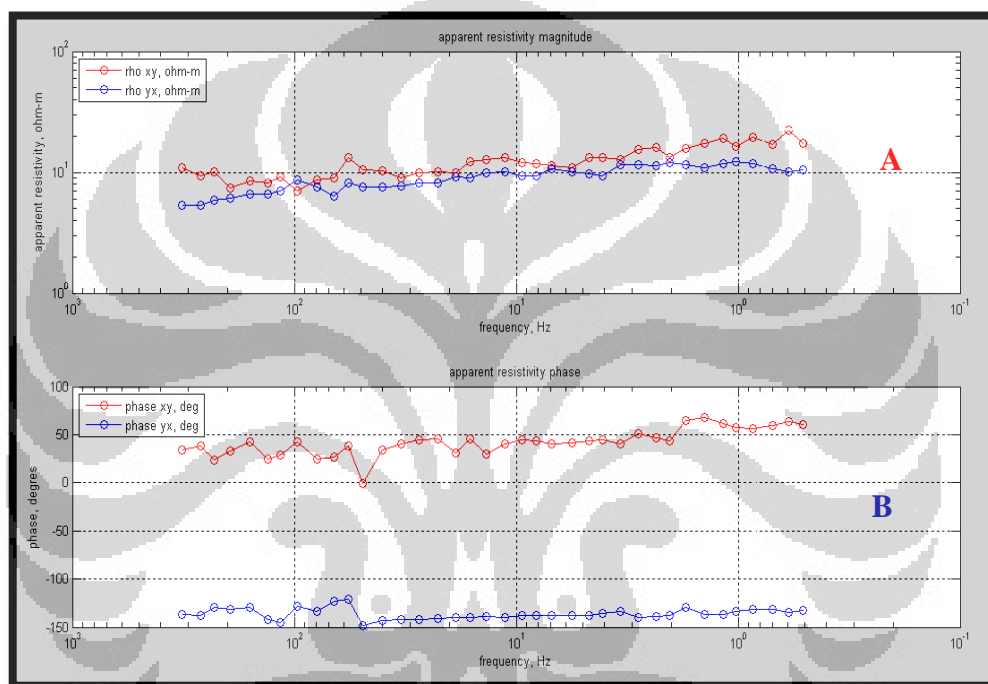


Gambar 4.2. Tampilan spektra dari data MT1



Gambar 4.3. Tampilan spektra dari data *remote reference*

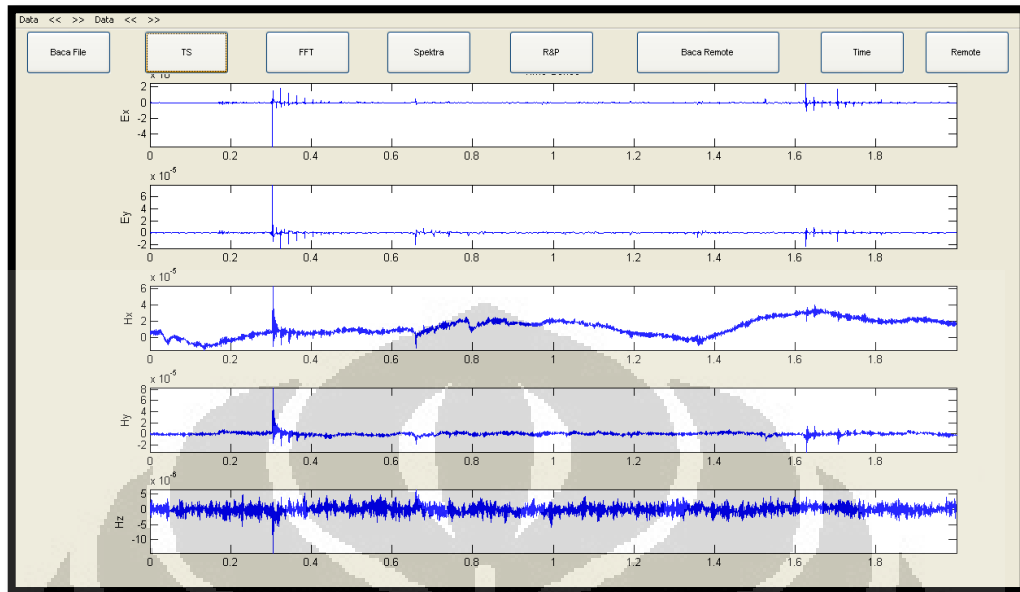
Pada Gambar 4.2 dan 4.3 terlihat bahwa  $E_1$  dan  $E_2$  merupakan tampilan sinyal medan listrik terhadap frekuensi dari titik MT1 dan *remote reference*. Sedangkan gambar  $H_1$  dan  $H_2$  adalah tampilan sinyal dari medan magnetik terhadap frekuensi. Setelah mendapatkan hasil spektra, kemudian lakukan perhitungan untuk mencari nilai impedansi, resistivitas semu, dan fase. Hasilnya diplot pada kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi. Berikut adalah kurva hubungan antara resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi dari titik MT1.



Gambar 4.4. Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT1 dari MTPower dengan menggunakan *remote reference* (Heditama, 2011)

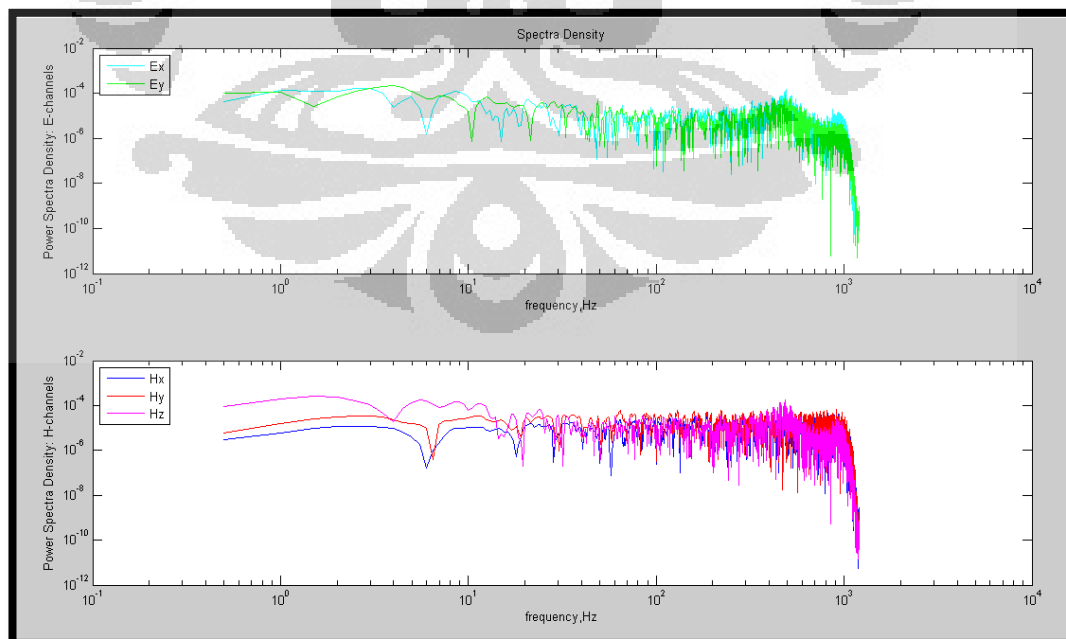
Gambar A merupakan kurva resistivitas semu vs frekuensi dimana terdapat dua jenis kurva, yaitu kurva TE dan TM. Kurva TE ( $\rho_{xy}$ ) ditunjukkan dengan titik - titik berwarna merah, sedangkan kurva TM ( $\rho_{yx}$ ) ditunjukkan dengan titik - titik berwarna biru. Nilai resistivitas semu dari titik MT1 ini berkisar sekitar 10 ohmmeter. Gambar B merupakan kurva fase vs frekuensi. Fase TE ( $\text{phase}_{xy}$ ) ditunjukkan dengan titik - titik berwarna merah, sedangkan fase TM ( $\text{phase}_{yx}$ ) ditunjukkan dengan titik - titik berwarna biru. Pada fase TE nilainya selalu positif dengan nilai berada pada kisaran 50 *degrees*, sedangkan pada fase TM nilainya selalu negatif dan memiliki nilai antara -100 sampai -150 *degrees*.

Pada titik MT2, sinyal *time series* dapat ditunjukkan dengan Gambar 4.5.



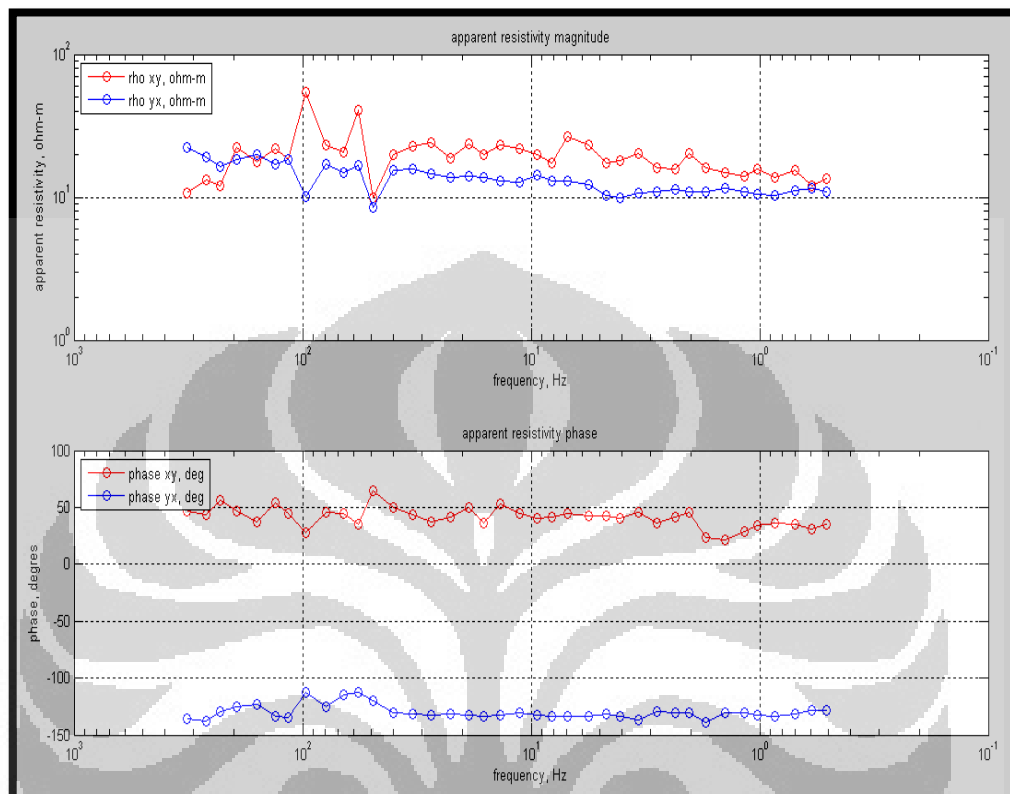
Gambar 4.5. Tampilan sinyal *time series* titik MT2 dengan MTPower (Heditama, 2011)

Gambar 4.5 memperlihatkan bahwa terdapat lima tampilan sinyal *time series* dari medan listrik ( $E_x$ ,  $E_y$ ) dan medan magnetik ( $H_x$ ,  $H_y$ , dan  $H_z$ ) terhadap waktu. Untuk tampilan spektra pada titik MT2 dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Tampilan spektra dari data MT2

Kemudian, untuk nilai resistivitas semu dan fase dari titik MT2 ini ditunjukkan oleh Gambar 4.7 berikut :

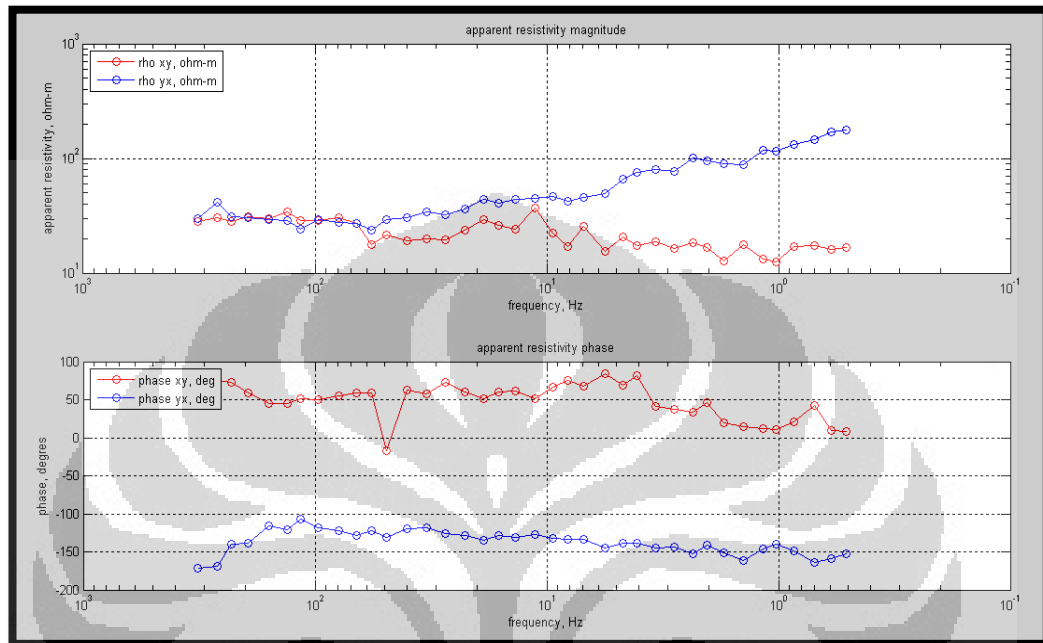


Gambar 4.7. Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT2 dari MTPower dengan menggunakan *remote reference* (Heditama, 2011)

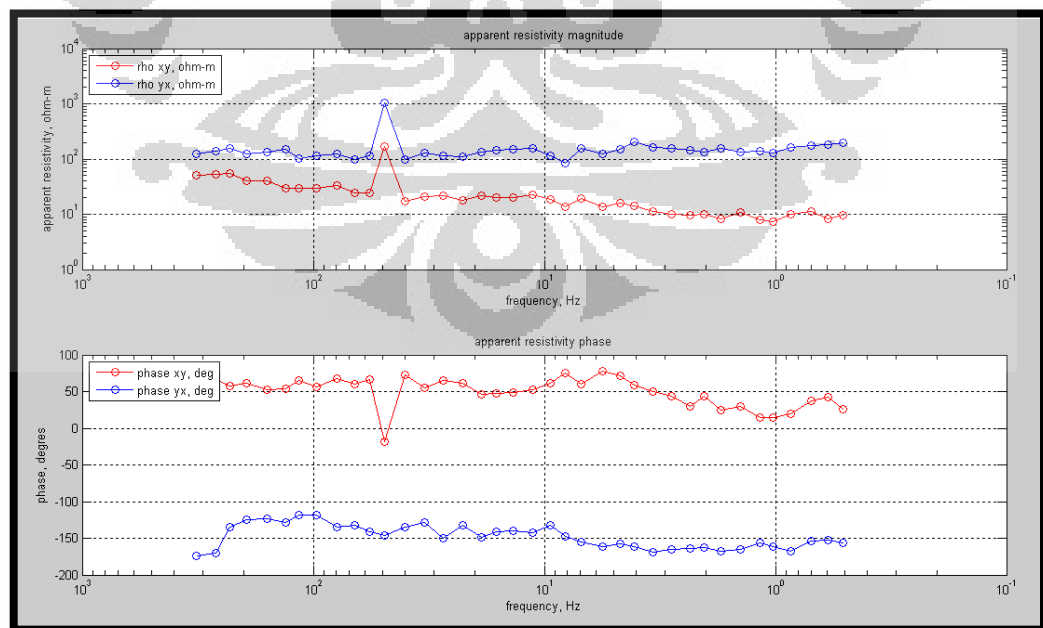
Pada Gambar 4.7, terdapat empat macam kurva, yaitu dua kurva TE dan dua kurva TM. Kurva TE, yaitu resistivitas semu TE ( $\rho_{xy}$ ) dan fase TE (phase TE) dapat ditunjukkan dengan titik – titik berwarna merah. Kurva TM, yaitu resistivitas semu TM ( $\rho_{yx}$ ) dan fase TM (phase yx) ditunjukkan dengan titik – titik berwarna biru. Pada kurva resistivitas semu, terlihat nilai resistivitas semu dari titik MT2 ini yaitu berada pada kisaran 10 ohmmeter. Pada semua frekuensi, fase TE cenderung bernilai positif dengan nilai kisaran 50 *degrees*, sedangkan fase TM cenderung bernilai negatif yang berada pada kisaran -100 *degrees* sampai -150 *degrees*.

## 4.2 Hasil Pengolahan Data Tanpa *Remote reference* dengan MTPower

Apabila data MT1 dan MT2 diproses tanpa menggunakan data *remote reference* maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9 berikut.



Gambar 4.8. Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT1 dari MTPower tanpa *remote reference* (Heditama, 2011)



Gambar 4.9. Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT2 dari MTPower tanpa *remote reference* (Heditama, 2011)

Pada Gambar 4.8 terlihat kurva resistivitas semu TE dan TM dengan nilai antara 10 sampai 100 ohmmeter. Kurva TE ditunjukkan dengan warna merah, sedangkan kurva TM ditunjukkan dengan warna biru. Fase TE pada titik MT1 selalu positif dengan nilai berkisar 50 *degres*, sedangkan fase TM nilainya selalu negatif dengan kisaran -100 sampai -150 *degres*.

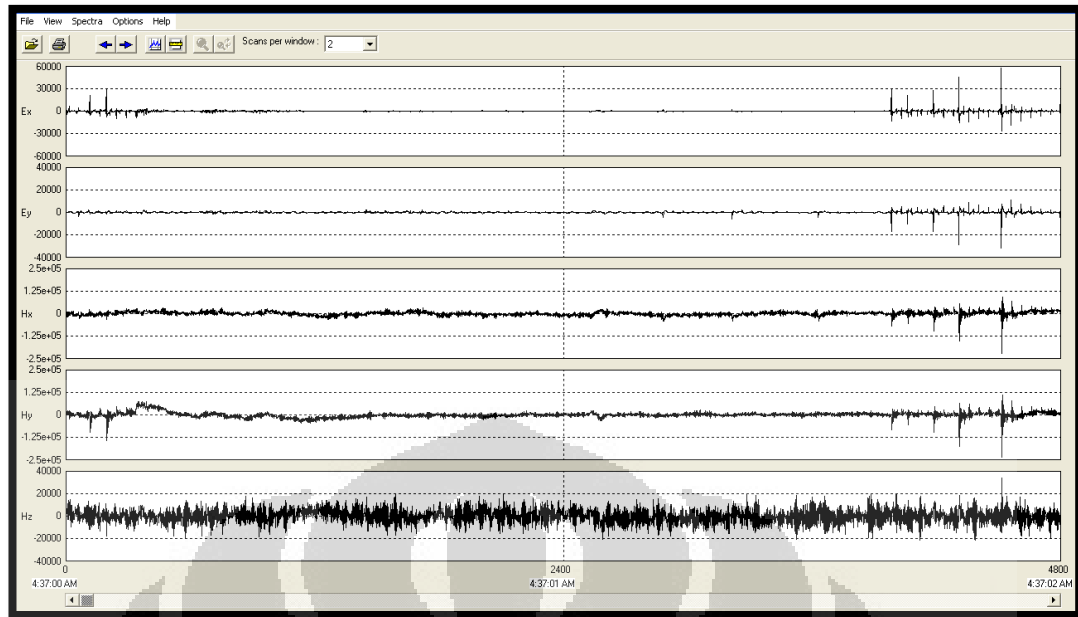
Gambar 4.9 menunjukkan tampilan kurva resistivitas semu dan fase dari titik MT2. Pada titik ini terlihat nilai resistivitas semu TM berkisar 100 ohmmeter dan cenderung lebih besar dibandingkan dengan nilai resistivitas semu TE. Fase TE selalu bernilai positif, sedangkan fase TM selalu bernilai negatif.

Apabila membandingkan Gambar 4.8 dengan Gambar 4.4, dapat dijelaskan bahwa kurva resistivitas semu yang menggunakan *remote reference* terlihat lebih teratur dan antara kurva TE dan TM memiliki nilai resistivitas yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan yang tidak menggunakan *remote reference*. Begitupun dengan kurva fase TE dan TM. Kurva fase TE dan TM dari data yang menggunakan *remote reference* lebih *smooth* dan teratur dibandingkan dengan yang menggunakan *remote reference*.

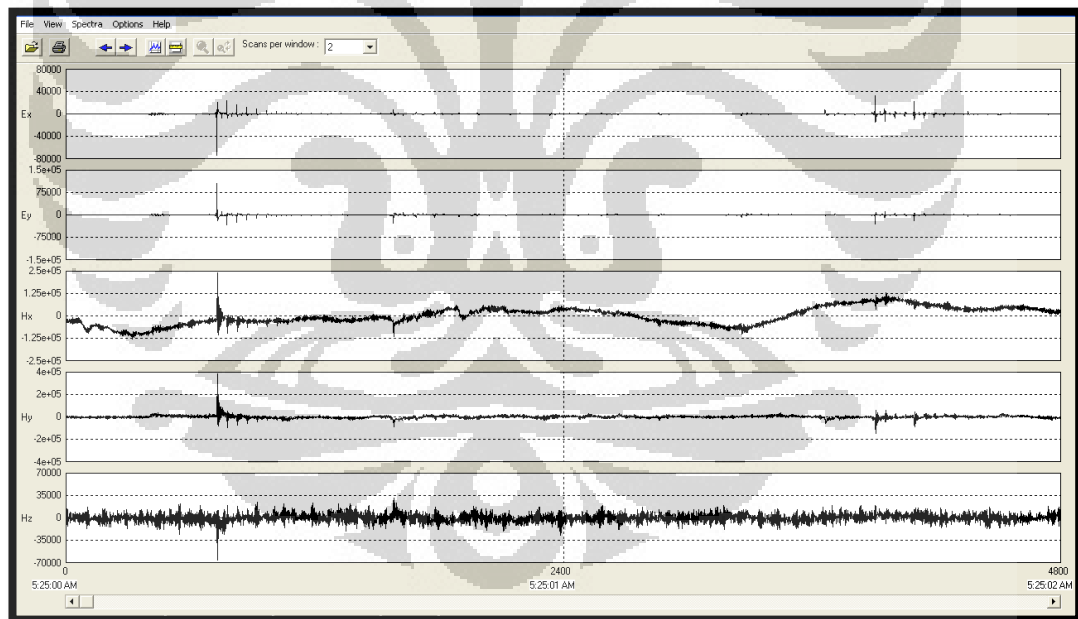
Apabila kita membandingkan Gambar 4.9 dengan 4.7, dapat dijelaskan bahwa kurva resistivitas semu TE dan TM dari data yang menggunakan *remote reference* terlihat jauh lebih teratur dibandingkan dengan yang tidak menggunakan *remote reference*. Kemudian, kurva fase TE dan TM dari data yang menggunakan *remote reference* terlihat jauh lebih teratur dan *smooth* dibandingkan dengan yang tidak menggunakan *remote reference*.

### **4.3 Hasil Pengolahan Data *Remote reference* dengan SSMT2000**

Sinyal *time series* dari hasil pengolahan data MT dengan SSMT2000 dapat dilihat dengan menggunakan *software Synchro Time Series Viewer*. *Software* ini merupakan bagian dari SSMT2000. Berikut adalah tampilan sinyal *time series* dari titik MT1 dan MT2 dengan menggunakan *software Synchro Time Series Viewer*.



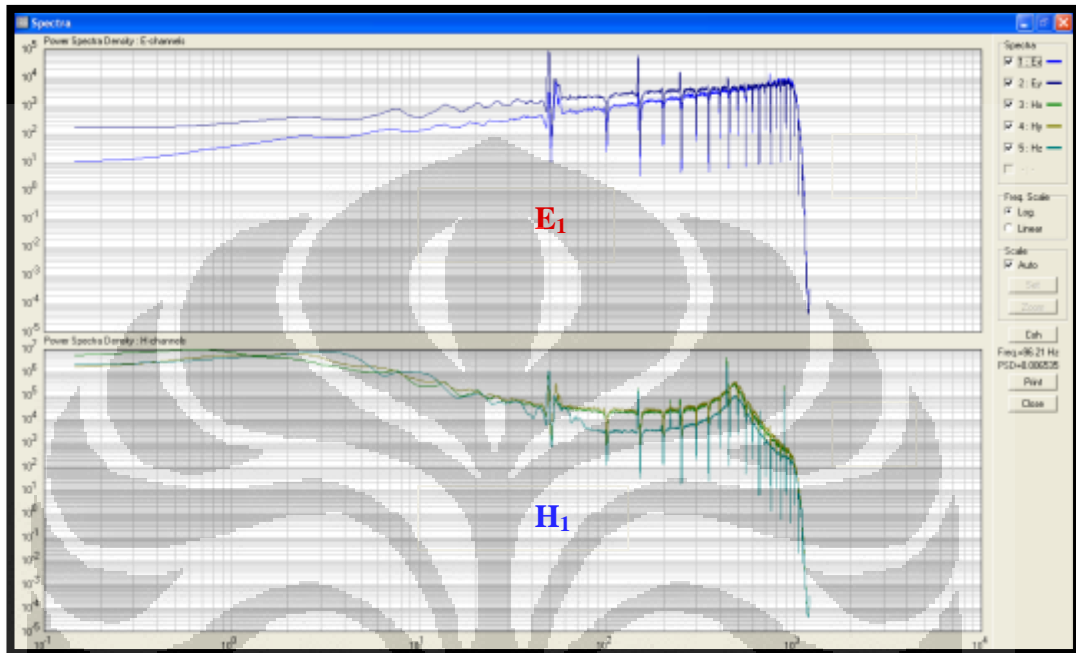
Gambar 4.10. Tampilan sinyal *time series* MT1 dengan menggunakan software *Synchro Time Series Viewer*



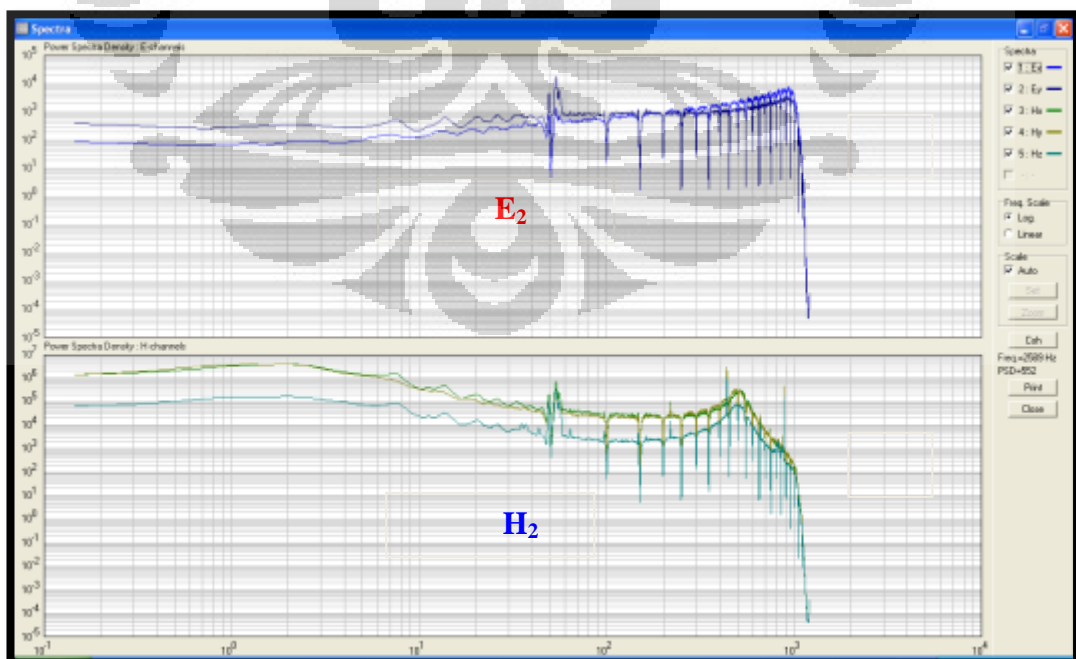
Gambar 4.11. Tampilan sinyal *time series* MT2 dengan menggunakan software *Synchro Time Series Viewer*



Kedua tampilan sinyal *time series* di atas masih dalam bentuk domain waktu. Kemudian, setelah kedua titik diubah ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan transformasi Fourier maka hasilnya akan terlihat pada spektra berikut :

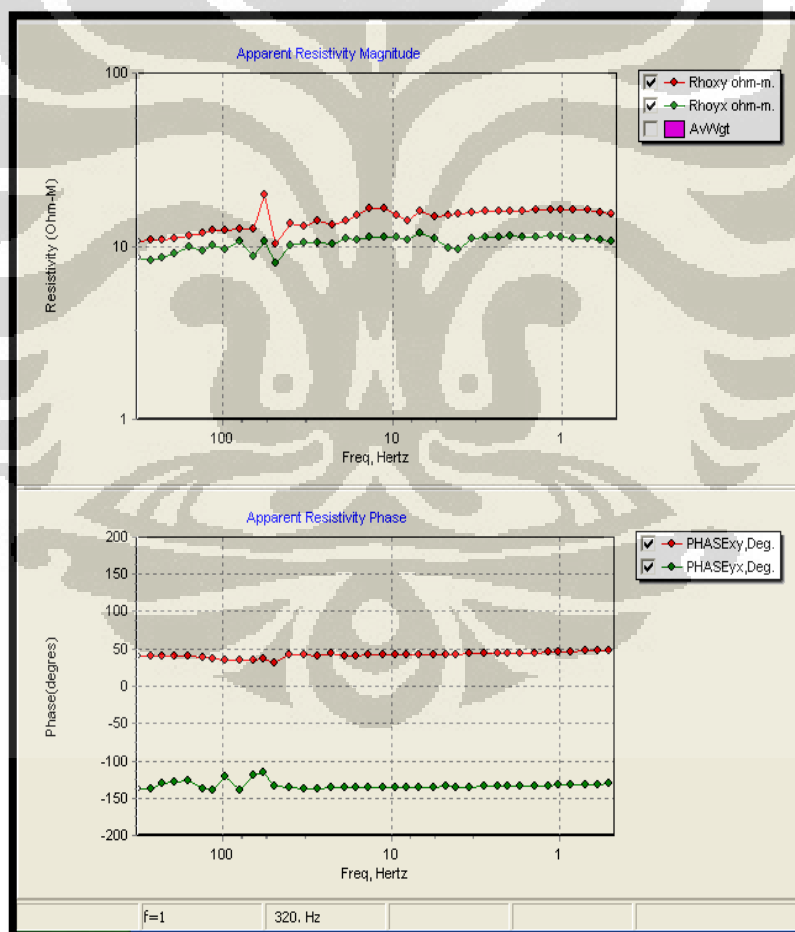


Gambar 4.12. Tampilan spektra MT1 dengan menggunakan *software Synchro Time Series Viewer*



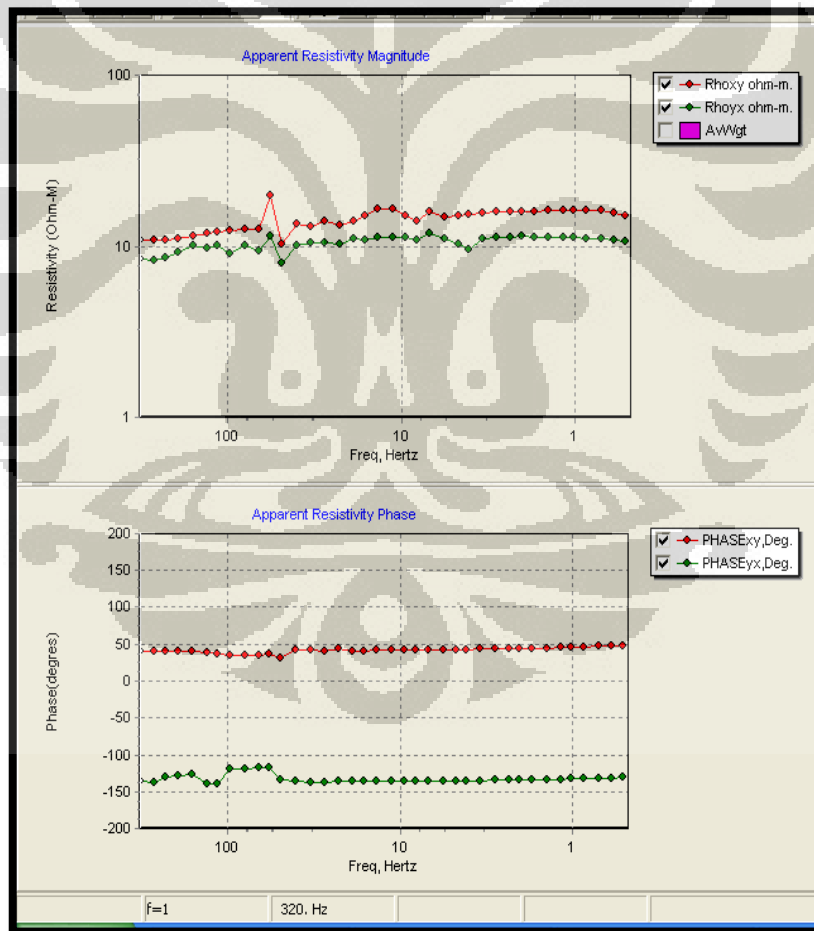
Gambar 4.13. Tampilan spektra MT2 dengan menggunakan *software Synchro Time Series Viewer*

Apabila dilihat dengan tampilan spektra dari MTPower, secara umum kedua program memperlihatkan tampilan spektra yang hampir sama (Heditama, 2011). Dari Gambar 4.12 dan 4.13, tampilan spektra terlihat pada frekuensi antara 0,51 Hz sampai 320 Hz. Gambar  $E_1$  dan  $E_2$  adalah tampilan spektra untuk medan listrik ( $E_x$ ,  $E_y$ ) dari titik MT1 dan MT2, sedangkan Gambar  $H_1$  dan  $H_2$  adalah tampilan spektra untuk medan ( $H_x$ ,  $H_y$ , dan  $H_z$ ) dari titik MT1 dan MT2. Setelah menampilkan hasil spektra, kemudian pada *software* SSMT2000 juga melakukan perhitungan nilai resistivitas semu dan fase. Kurva resistivitas semu dan fase ditampilkan dengan menggunakan *software* MT Editor. Kurva resistivitas semu dan fase hasil pengolahan data dengan SSMT2000 dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan 4.15.



Gambar 4.14. Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT1 dari MT Editor dengan menggunakan *remote reference*

Gambar 4.14 menunjukkan kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi dari pengolahan data dengan SSMT2000 dengan menggunakan MT Editor untuk titik MT1. Pada Gambar ini terdapat empat kurva, yaitu dua kurva TE yang ditunjukkan dengan titik – titik berwarna merah dan dua kurva TM yang ditunjukkan dengan titik – titik berwarna hijau. Pada kurva resistivitas semu vs frekuensi, kurva TE dan TM terlihat relatif *smooth* mulai dari frekuensi 320 Hz sampai 0,51 Hz dengan resistivitas semu berada pada kisaran 10 ohmmeter. Nilai resistivitas semu untuk TE cenderung lebih besar dibandingkan dengan TM. Pada kurva fase vs frekuensi, terlihat bahwa fase TE nilainya selalu positif untuk semua frekuensi dengan kisaran 50 *degrees*, sedangkan fase TM nilainya selalu negatif dengan kisaran antara -150 *degrees* sampai -100 *degrees*.

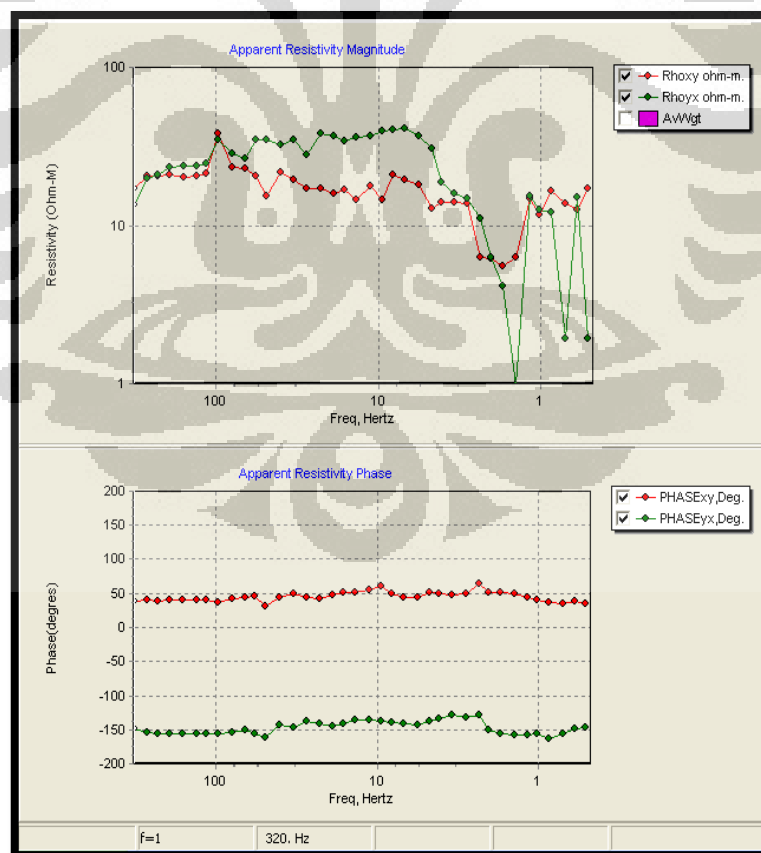


Gambar 4.15. Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT2 dari MT Editor dengan menggunakan *remote reference*

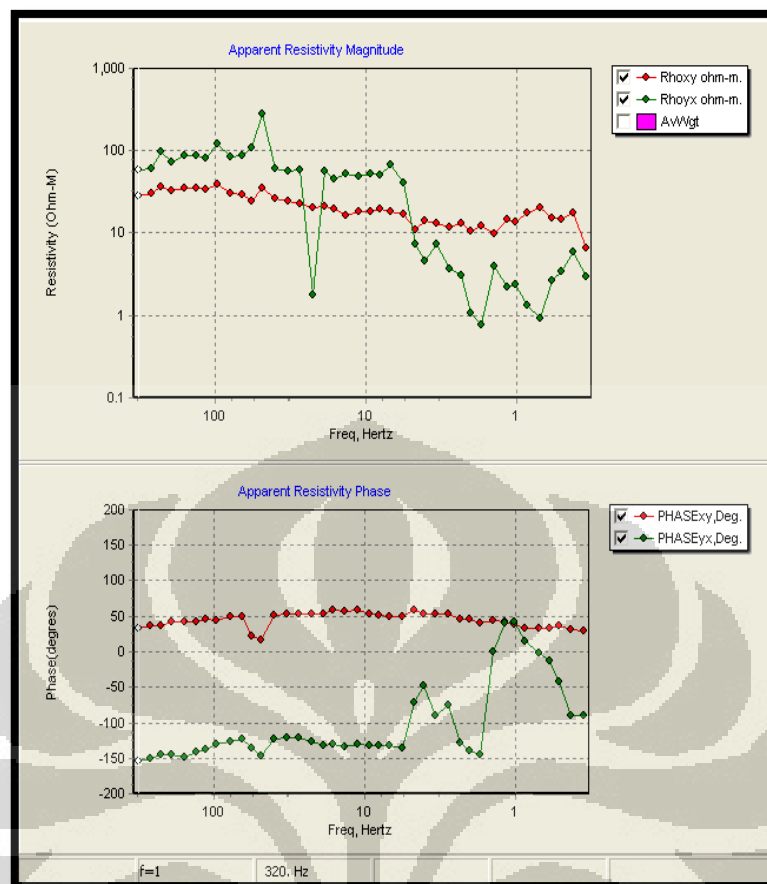
Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi dari pengolahan data dengan SSMT2000 untuk titik MT2 ditunjukkan pada Gambar 4.15. Pada Gambar ini terdapat empat kurva, yaitu dua kurva TE yang ditunjukkan dengan titik – titik berwarna merah dan dua kurva TM yang ditunjukkan dengan titik – titik berwarna hijau. Nilai resistivitas semupada titik MT2 ini berada pada kisaran 10 ohmmeter dimana TE nilainya selalu lebih besar dibandingkan TM. Pada kurva fase vs frekuensi, terlihat bahwa fase TE nilainya selalu positif untuk semua frekuensi dengan nilai pada kisaran 50 *degres*, sedangkan fase TM nilainya selalu negatif dan berada pada kisaran -150 *degres* sampai -100 *degres*.

#### 4.4 Hasil Pengolahan Data Tanpa *Remote reference* dengan SSMT2000

Apabila kita bandingkan hasil pengolahan SSMT2000 tanpa menggunakan *remote reference* maka kurva resistivitas semu dan fase dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan 4.17.



Gambar 4.16. Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT1 dari MT Editor tanpa *remote reference*



Gambar 4.17. Kurva resistivitas semu vs frekuensi dan fase vs frekuensi titik MT2 dari MT Editor tanpa *remote reference*

Pada Gambar 4.16, terlihat kurva resistivitas semu TE ditunjukkan dengan warna merah, sedangkan kurva resistivitas semu TM ditunjukkan dengan warna hijau. Kedua kurva tersebut memiliki nilai resistivitas antara 10 sampai 100 ohmmeter pada frekuensi 0,51 Hz sampai 320 Hz. Kurva resistivitas semu TE dan TM pada gambar ini lebih tidak teratur dibandingkan dengan yang menggunakan *remote reference*. Fase dari titik MT1 ini terlihat lebih *smooth* dengan nilai fase TE sekitar 50 *degrees* dan fase TM memiliki nilai sekitar -150 *degrees*.

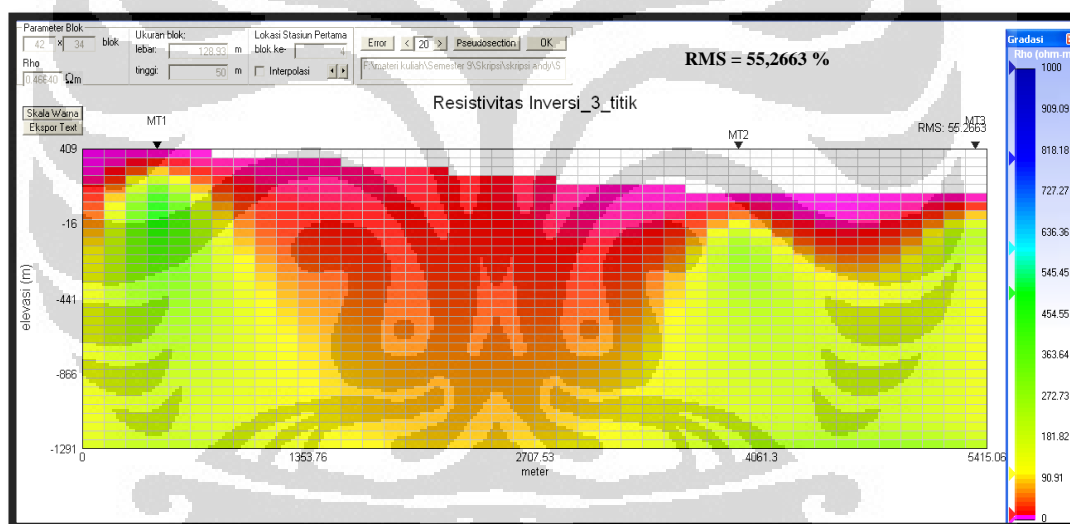
Titik MT2 dari pengolahan SSMT2000 tanpa menggunakan *remote reference* ditunjukkan pada Gambar 4.17. Dari gambar tersebut terlihat kurva resistivitas semu TM sangat tidak teratur. Hal ini disebabkan kemungkinan banyaknya sinyal noise di daerah tersebut. Nilai resistivitas semu TE masih terlihat teratur dengan kisaran 10 sampai 100 ohmmeter. Fase TE memiliki nilai yang selalu positif, sedangkan fase TM nilainya selalu negatif.

#### 4.5 Hasil Inversi 2-D

Setelah mendapatkan hasil dari pengolahan data dengan menggunakan MTPower, kemudian langkah selanjutnya adalah melakukan proses inversi 2-D. Proses inversi 2-D ini dilakukan dengan membandingkan hasil dari MTPower dan SSMT2000. Inversi 2-D disini menggunakan *software* MT2Dinv (Heditama, 2011).

##### 4.5.1 Hasil Inversi 2-D dari Pengolahan Data dengan MTPower

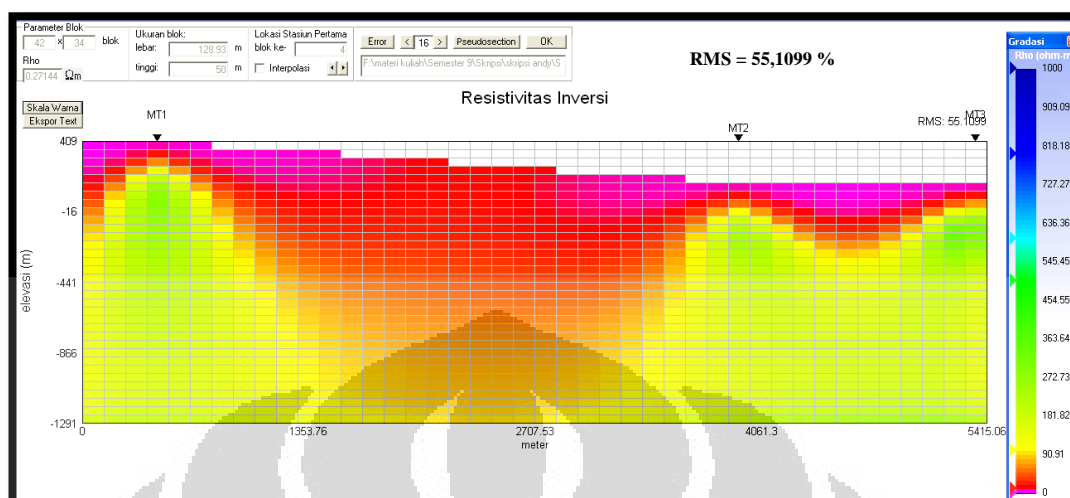
Dari pengolahan data dengan menggunakan MTPower maka diperoleh nilai resistivitas semu dan fase. Kemudian dilakukan proses inversi dengan menggunakan *software* MT2Dinv. Hasil proses inversi dengan *software* ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18. Hasil inversi 2-D dari pengolahan data dengan MTPower (Heditama, 2011)

Gambar 4.18 menunjukkan hasil inversi dari *output* pengolahan data dengan menggunakan program MTPower. Pada Gambar 4.18, hasil inversi yang didapatkan memiliki nilai RMS *error* sekitar 55,2663 %. Hasil inversi dari MTPower ini mampu mendeteksi hingga kedalaman 1000 m (Heditama, 2011). Daerah yang memiliki nilai resistivitas rendah ditunjukkan dengan daerah yang berwarna merah muda, sedangkan daerah yang berwarna hijau menunjukkan adanya benda yang memiliki nilai resistivitas yang tinggi.

#### 4.5.2 Hasil Inversi 2-D dari Pengolahan Data dengan SSMT2000



Gambar 4.19. Hasil inversi 2-D dari pengolahan data dengan SSMT2000

Gambar 4.19 merupakan hasil inversi dari *output* pengolahan data MT dengan menggunakan *software* SSMT2000. Dari Gambar 4.15 tersebut dapat ditunjukkan bahwa nilai resistivitas rendah ditandai dengan daerah yang berwarna merah muda, sedangkan daerah yang berwarna hijau merupakan daerah yang memiliki resistivitas tinggi. Secara umum, nilai *RMS error* dari proses inversi data pada pengolahan dengan SSMT2000 ini sekitar 55,1099 %.

Secara umum kedua hasil inversi dari pengolahan data kedua program memperlihatkan kondisi bawah permukaan yang relatif sama. Apabila membandingkan antara hasil inversi dari *output* program MTPower dengan SSMT2000 maka dari kedua hasil tersebut terdapat perbedaan, tetapi perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan. Perbedaan tersebut ditunjukkan dengan daerah yang berwarna hijau pada hasil inversi dari *output* SSMT2000 lebih luas. Hal ini berarti pada hasil inversi dari pengolahan data dengan SSMT2000 memiliki nilai resistivitas yang lebih besar dibandingkan dengan hasil inversi dari *output* MTPower. Kedua hasil inversi inipun memiliki *RMS error* yang tidak terlalu berbeda sehingga dapat dikorelasi dengan baik (Heditama, 2011).

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian mengenai reduksi noise pada pemrosesan data MT dengan menggunakan *remote reference* ini menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

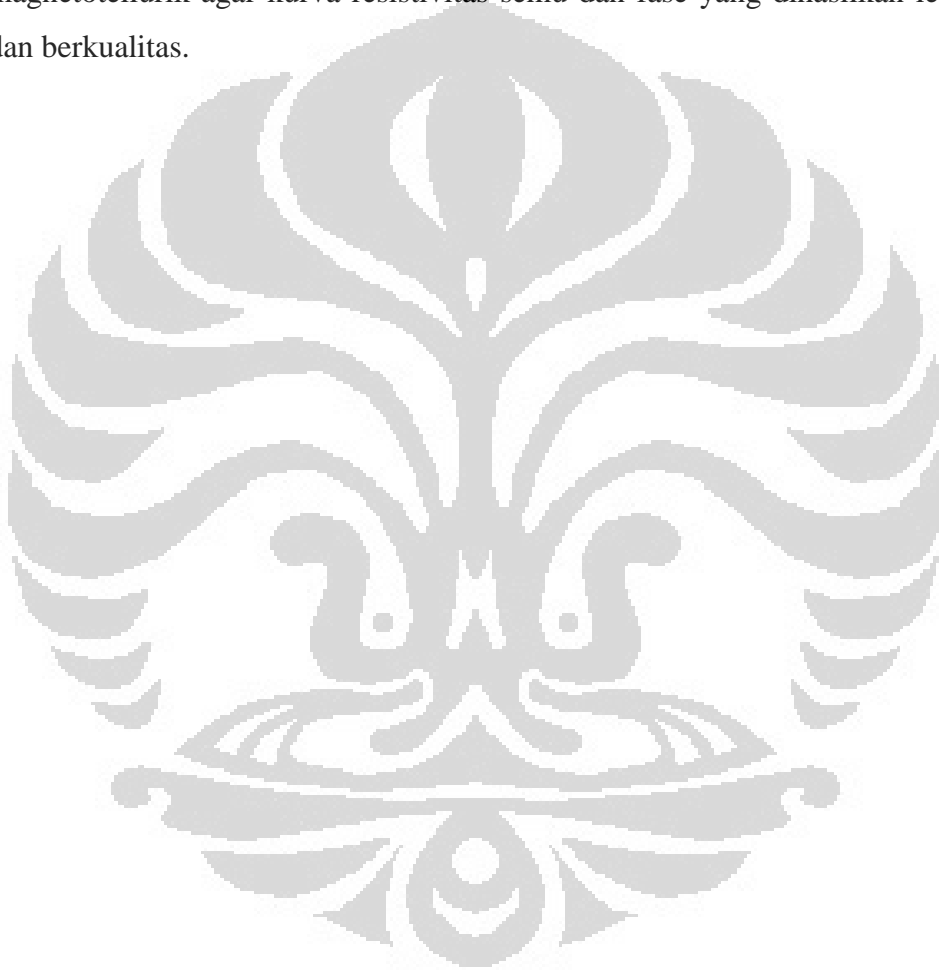
1. Pengolahan data magnetotellurik *remote reference* tidak hanya dapat dilakukan dengan menggunakan *software* SSMT2000 saja, melainkan juga dapat dilakukan dengan menggunakan program MTPower, yaitu program yang dibuat pada MATLAB (Heditama, 2011).
2. Apabila membandingkan antara pengolahan data MT tanpa *remote reference* dengan yang menggunakan *remote reference* maka kurva resistivitas semu dan fase yang menggunakan *remote reference* terlihat lebih teratur dengan error yang lebih kecil dibandingkan dengan yang tidak menggunakan *remote reference*. Hal tersebut membuktikan bahwa pengolahan data MT dengan menggunakan *remote reference* dapat mengurangi noise pada data MT.
3. Ada beberapa tahapan yang digunakan untuk melakukan proses pengolahan data MT dari data *time series* hingga mendapatkan nilai resistivitas semu dan fase. Tahapan – tahapan tersebut antara lain :
  - Proses transformasi Fourier dengan menggunakan teknik *fast fourier transform* yang berfungsi untuk mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi.
  - *Remove linear trends*, yaitu proses untuk menghilangkan tren linier dari suatu vektor atau matriks.
  - *Hanning window*, yaitu proses untuk mengembalikan titik simetrik ke- $n$  dalam kolom  $w$ .
  - Estimasi robust, yaitu proses yang dilakukan untuk mengikuti tren data yang lebih dominan dan meminimalisasi pengaruh *outlier* terhadap data. Secara umum estimasi robust memiliki tujuan untuk menghilangkan noise pada data MT.



- Melakukan perhitungan untuk mencari nilai impedansi, resistivitas semu, dan fase.

## 5.2 Saran

Penelitian mengenai pengolahan data MT dengan menggunakan *remote reference* ini terbukti dapat mengurangi sinyal noise pada data MT. Akan tetapi, agar hasil dari pengolahan data MT menjadi lebih bagus dan berkualitas maka disarankan memasukkan nilai kalibrasi yang sesuai dengan alat pada pengukuran magnetotellurik agar kurva resistivitas semu dan fase yang dihasilkan lebih baik dan berkualitas.



## DAFTAR ACUAN

- Abdullah, Agus. (2008). Analisis Fourier-Deret Fourier-Transformasi Fourier. Dari <http://ensiklopediseismik.blogspot.com/2008/02/analisis-fourier-deret-fourier.html>
- Cagniard, L. (1953). Basic Theory of the Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. *Geophysics* 18.
- Darma, Surya. (2011). Current Outlook On Geothermal Sector In Indonesia. Seminar Teknik Geofisika – ITB 2011.
- Daud, Yunus. (2010). *Electromagnetic Method : Success Story in Geothermal Exploration & Possibility for Hydrocarbon Exploration*. Diktat Kuliah. Depok.
- Fro, Jack. (2011). Pengaruh Sesar Terhadap Permeabilitas Batuan Pada Medan Panas Bumi. Dari <http://ptbudie.wordpress.com/2011/01/01/pengaruh-sesar-terhadap-permeabilitas-batuan-pada-medan-panasbumi/>
- Gamble, T. B., W. M. Goubau, and J. Clarke. (1979). Magnetotellurics with a remote reference, *Geophysics*, 44, 53-68.
- Gamble, T. B., W. M. Goubau, and J. Clarke. (1979). Error analysis for remote reference magnetotellurics, *Geophysics*, 44, 959-968.
- Griffiths, David J. (1999). *Introduction to Electrodynamics Third Edition*. New Jersey : Prentice Hall
- Heditama, Dzil Mulki. (2011). *Pemrosesan Data Time Series Pada Metode Magnetotellurik (MT) Menjadi Data Resistivitas Semu Dan Fase Menggunakan MATLAB*. Skripsi. Jurusan Fisika, Universitas Indonesia.
- Maxwell, James Clerk, (1864). "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field", Philosophical Transactions of the Royal Society of London 155, 459-512 (1865). (This article accompanied a December 8, 1864 presentation by Maxwell to the Royal Society.).
- Santoso, Djoko. (2004). Catatan Kuliah “Eksplorasi Energi Geothermal”. Bandung: Penerbit ITB.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (2004). *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press.

The Math Works, Inc. (2008). MATLAB The Language of Technical Computing, from MATLAB software.

Unsworth, Martyn. (2006). Overview of electromagnetic exploration methods. *Geophysics 424*.

Unsworth, Martyn. (2008). Magnetotellurics – field technique. *Geophysics 424*.

Vozoff, K. (1991). The Magnetotelluric Method, Electromagnetic Method in Applied Geophysics-Application. *SEG*.

