



TUGAS AKHIR - RF 184838

**PERBANDINGAN MODE TE, TM DAN TE-TM TERHADAP
PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK
PADA LAPANGAN PANAS BUMI ARJUNO WELIRANG**

NADIA PUTRI LUCKYTASARI
0341154000038

DOSEN PEMBIMBING:
WIEN LESTARI, ST., M.T

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RF 184838

**PERBANDINGAN MODE TE, TM DAN TE-TM TERHADAP
PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK PADA
LAPANGAN PANAS BUMI ARJUNO WELIRANG**

NADIA PUTRI LUCKYTASARI
0341154000038

DOSEN PEMBIMBING:
WIEN LESTARI, ST., M.T

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2019

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



FINAL PROJECT - RF 184838

**COMPARISON OF TE, TM AND TE-TM MODES IN 2-D
INVERSION MODELLING OF MAGNETOTELLURIC DATA IN
GEOTHERMAL AREA ARJUNO WELIRANG**

NADIA PUTRI LUCKYTASARI

NRP 0341154000038

ADVISOR

WIEN LESTARI, ST., M.T

Department of Geophysical Engineering
Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2019

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “**Perbandingan Mode TE, TM dan TE-TM Terhadap Pemodelan Inversi 2-D Data Magnetotelurik Pada Lapangan Panas Bumi Arjuno Welirang**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juli 2019

Nadia Putri Luckytasari

NRP. 0341154000038


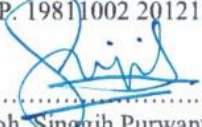

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

Tugas akhir ini diajukan oleh :
NAMA : Nadia Putri Luckytasari
NRP : 0341154000038
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Perbandingan Mode TE, TM dan TE-TM
Terhadap Pemodelan Inversi 2-D Data Magnetotelurik Pada Lapangan Panas
Bumi Arjuno Welirang


Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 Juli 2019

1.  (Pembimbing)
Wien Lestari, S.T, M.T
NIP. 19811002 201212 2 003
2.  (Penguji 1)
Moh. Singgih Purwanto, S.Si., MT
NIP. 19800916 200912 1 002
3.  (Penguji 2)
Nita Ariyanti, S.T, M.Eng



Mengetahui,
Kepala Laboratorium Petrofisika
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


.....
Wien Lestari, S.T, M.T
NIP. 19811002 201212 2 003

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERBANDINGAN MODE TE, TM DAN TE-TM TERHADAP PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK PADA LAPANGAN PANAS BUMI ARJUNO WELIRANG

Nama mahasiswa : Nadia Putri Luckytasari
NRP : 0341154000038
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing : Wien Lestari, S.T., M.T.

ABSTRAK

Metode Magnetotelurik adalah metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui distribusi nilai resistivitas batuan di bawah permukaan bumi. Data tersebut kemudian diolah menggunakan prinsip *fourier transform*, *robust processing* dan *seleksi crosspower* hingga diperoleh variasi impedansi. Penelitian ini menggunakan data sekunder metode magnetotelurik sebanyak 30 titik pengukuran di daerah manifestasi panas bumi Arjuno Welirang dengan tipe sistem panas bumi vulkanik. Hasil pengolahan dan analisis data magnetotelurik kemudian diinversi untuk mengetahui pemodelan distribusi resistivitas bawah permukaan. Pada penelitian ini membahas sensitivitas dari mode TE (*transverse electric*), mode TM (*transverse magnetic*) dan mode TE-TM serta identifikasi sistem panas bumi daerah penelitian. Hasil pengolahan data dengan menggunakan mode TE memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan resistivitas rendah (konduktif) secara lateral, mode TM memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan resistivitas tinggi secara vertikal dan mode TE-TM memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan kontras nilai resistivitas secara lateral maupun secara vertikal. Hasil inversi dengan mode TE tidak menunjukkan adanya struktur pada daerah penelitian, sedangkan hasil inversi dengan mode TM dan dengan mode TE-TM menunjukkan adanya struktur yang diperkirakan berupa sesar. Sistem panas bumi yang teridentifikasi berada pada Formasi Gunung Api Arjuno – Welirang (Qvaw). Lapisan batuan penutup (*cap rock*) dengan nilai resistivitas 7 – 12 Ωm setebal 2000 m yang diperkirakan berasal dari Lava Muda Produk Welirang (Qlw) dan Lava Arjuno (Qlar). Lapisan *reservoir* dengan nilai resistivitas 13 – 65 Ωm setebal 500 m yang diperkirakan sebagai Aliran Piroklastik Arjuno Welirang (Qapaw). Lapisan *heat source* dengan nilai resistivitas 70 – 300 Ωm setebal 3000 m yang diperkirakan berasal dari Lava Pra Arjuno Welirang (Qlaw). Kontras resistivitas pada resistivitas rendah yang diduga sebagai Sesar Welirang dan Sesar Padusan.

Kata kunci: inversi 1-D, inversi 2-D, mode TE, mode TE-TM, mode TM

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

COMPARISON OF TE, TM AND TE-TM MODES IN 2-D INVERSION MODELLING OF MAGNETOTELLURIC DATA IN GEOTHERMAL AREA ARJUNO WELIRANG

Name : Nadia Putri Luckytasari
Student ID : 0341154000038
Departement : Teknik Geofisika
Advisor : Wien Lestari, S.T., M.T.

ABSTRACT

Magnetotelluric method is a geophysical method that can be used to determine the distribution of resistivity values of rocks beneath the earth's surface. The data is then processed using the fourier transform, robust processing and crosspower selection principles to obtain impedance measurements. This study uses secondary data on magnetotelluric method as many as 30 measurement points in the Arjuno Welirang geothermal manifestation area with a type of volcanic geothermal system. The results of processing and analysis of magnetotelluric data were then inversed to determine the modeling of subsurface resistivity distributions. This study discusses the sensitivity of TE (transverse electric), TM (transverse magnetic) and TE-TM modes as well as identification of geothermal systems in the study area. The results of data processing using TE mode have good sensitivity in mapping low resistivity (conductive) laterally, TM mode has good sensitivity in mapping vertically high resistivity and TE-TM mode has good sensitivity in mapping resistivity values laterally or even vertically. The inversion result with TE mode does not indicate the presence of structures in the study area, while the inversion results with TM mode and TE-TM mode indicate the presence of a structure that is estimated to be a fault. The identified geothermal system is in the Arjuno - Welirang Volcano Formation (Qvaw). Cap rock with a resistivity value of 7 - 12 Ω m and thick as 2000 m which is estimated to come from Young Lava Welirang Products (Qlw) and Lava Arjuno (Qlar). Reservoir with a resistivity value of 13 - 65 Ω m and thick as 500 m which is estimated as Arjuno Welirang Pyroclastic Flow (Qapaw). Heat source with resistivity values of 70 - 300 Ω m and thick as 3000 m which is estimated to come from Lava Pra Arjuno Welirang (Qlaw). Contrast resistivity at low resistivity is suspected as Welirang Fault and Padusan Fault.

Keyword: 1-D Inversion, 2-D inversion, TE mode, TE-TM Mode, TM mode

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya laporan Tugas Akhir dengan judul **“PERBANDINGAN MODE TE, TM DAN TE-TM TERHADAP PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK PADA LAPANGAN PANAS BUMI ARJUNO WELIRANG”** dapat terselesaikan. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu, Alm. Bapak, dan keluarga atas segala doa, restu, dukungan dan motivasi selama menjalani tugas akhir ini.
2. Dr. Widya Utama, DEA selaku ketua Departemen Teknik Geofisika ITS.
3. Wien Lestari, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing selama penyusunan tugas akhir yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan.
4. Deni Saputra, S.Si.,M.Si selaku pembimbing eksternal yang telah memberikan arahan serta dukungan selama penyusunan tugas akhir.
5. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
6. Seluruh anggota Tim Elnusa yang telah banyak membantu dan berbagi pengalaman selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Catur Rizkillah Cancerio yang telah memberikan dukungan, kritik dan saran selama penulisan tugas akhir ini.
8. Waadini Nur Fitri yang telah berjuang bersama selama pengerjaan tugas akhir ini.
9. Seluruh teman-teman Teknik Geofisika ITS terutama TG4 dan tim KP PSG yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan pada pengerjaan tugas akhir ini.
10. Seluruh pihak yang senantiasa membantu saya baik secara moril maupun materil yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

Semoga Allah membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari bahwa pengembangan ilmu tidak berhenti pada suatu hasil. Kritik, saran maupun diskusi diperlukan agar kebermanfaatan laporan tugas akhir ini dapat semakin dirasakan bagi pembaca maupun pribadi penulis.

Surabaya, 19 Juli 2019

Nadia Putri Luckyasari

NRP. 0341154000038

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Target Luaran	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Dasar Teori	3
2.1.1 Geologi Regional Arjuno-Welirang	3
2.1.2 Geologi Lokal Daerah Penelitian	5
2.1.2.1 <i>Sistem Geologi</i>	5
2.1.3 Metode Geofisika.....	6
2.1.3.1 <i>Sistem Panas Bumi</i>	6
2.1.3.2 <i>Metode Magnetotelurik</i>	7
2.1.3.3 <i>Resistivitas Batuan Pada Survei Magnetotelurik</i>	9
2.1.3.4 <i>Persamaan Maxwell</i>	9
2.1.3.5 <i>Kedalaman penetrasi (skin depth)</i>	10
2.1.3.6 <i>Mode Pengukuran Magnetotelurik</i>	11
2.1.4 Fungsi Transfer Magnetotelurik.....	12
2.1.4.1 <i>Impedansi Magnetotelurik dan Apparent Resistivity</i>	13
2.1.5 Pemodelan 1-Dimensi	13
2.1.6 Pemodelan 2-Dimensi	14
2.1.6.1 <i>Inversi Non-Linear Conjugate Gradient 2-D</i>	14
2.2 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III METODE PENELITIAN	19

3.1 Perangkat dan Data.....	19
3.2 Desain Pengukuran Magnetotelurik	19
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	20
3.3.1 Pembuatan Lintasan dan Titik Pengukuran	21
3.3.2 Pengolahan Data TDEM (<i>Time Domain Electromagnetic</i>)	22
3.3.3 Koreksi <i>Static Shift</i> dan <i>Smoothing</i>	23
3.3.4 Pemodelan Inversi 1-D	25
3.3.5 Pemodelan Inversi 2-D <i>Non-Linear Conjugate Gradient</i>	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Koreksi <i>Static Shift</i>	37
4.2 Hasil Pemodelan Inversi 1-D.....	39
4.3 <i>Cross Section</i>	41
4.3.1 <i>Cross Section</i> Lintasan 1	41
4.3.2 <i>Cross Section</i> Lintasan 2	43
4.4 Interpretasi dan Hasil Perbandingan Inversi 2-D.....	46
4.4.1 Interpretasi.....	46
4.4.1.1 <i>Interpretasi Lintasan 1</i>	46
4.4.1.1 <i>Interpretasi Lintasan 2</i>	48
4.4.1 Cross Section Model 2-D.....	50
4.4.2 Hasil Perbandingan Inversi 2-D.....	50
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Simpulan.....	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN	59
BIOGRAFI PENULIS.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Daerah Panas Bumi Arjuno-Welirang.....	4
Gambar 2.2 Peta Desain Akuisisi Daerah Panas Bumi Arjuno – Welirang.....	5
Gambar 2.3 Model konseptual sistem panas bumi Arjuno-Welirang (Daud dan Fahmi, 2013).....	6
Gambar 2.4 Penggambaran skematik dari sebuah sistem panas bumi yang ideal (Dickson dan Fanelli, 2004).....	7
Gambar 2.5 Konsep Dasar Metode Magnetotelurik (Unsworth, 2005)	8
Gambar 2.6 Rentang nilai resistivitas batuan (Chave dan Jones, 2012)	9
Gambar 2.7 Skin depth sebagai fungsi frekuensi sinyal magnetotelurik dan resistivitas bumi (Xiao, 2004).....	10
Gambar 2.8 Perbedaan mode TE dan mode TM (Simpson dan Bahr, 2005)....	12
Gambar 2.9 Hasil pemodelan X-section untuk line 1 (a). data dengan mode TE, (b) data dengan mode TM (Nuraini, 2017)	17
Gambar 2.10 Hasil pemodelan 2-D data magnetotelurik (a) data dengan mode TE, (b) data dengan mode TM (Nuraini, 2017)	18
Gambar 3.1 Desain Akuisisi Penelitian	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	20
Gambar 3.3 Tampilan Awal WinGLink	21
Gambar 3.4 Peta Elevasi Lintasan	22
Gambar 3.5 Parameter Inversi TDEM	22
Gambar 3.6 Inversi 1-D TDEM di sekitar titik MT09	23
Gambar 3.7 Titik MT09 sebelum dilakukan koreksi static shift	24
Gambar 3.8 Titik MT09 setelah dilakukan koreksi static shift	24
Gambar 3.9 Parameter smoothing	25
Gambar 3.10 Titik MT09 setelah smoothing	25
Gambar 3.11 Parameter inversi 1-D	26
Gambar 3.12 Hasil Inversi 1-D titik MT09 dengan menggunakan (a) mode TE (b) mode TM dan (c) mode TE-TM.....	27
Gambar 3.13 Cross Section Lintasan 1 (a) Mode TE (b) Mode TM dan (c) Mode TE-TM.....	29
Gambar 3.14 Cross Section Lintasan 2 (a) Mode TE (b) Mode TM dan (c) Mode TE-TM.....	30
Gambar 3.15 Model Awal Penampang Resistivitas 2-D	31
Gambar 3.16 Parameter Inversi 2-D	32
Gambar 3.17 Hasil Inversi 2-D Lintasan 1 (a) Mode TE (b) Mode TM dan (c) Mode TE-TM.....	34

Gambar 3.18 Hasil Inversi 2-D Lintasan 2 (a) Mode TE (b) Mode TM dan (c) Mode TE-TM	35
Gambar 4.1 Titik MT09 sebelum dilakukan koreksi static shift.....	38
Gambar 4.2 Titik MT09 setelah dilakukan koreksi static shift.....	38
Gambar 4.3 Inversi 1-D dengan mode TE pada lintasan 1 titik MT15.....	39
Gambar 4.4 Inversi 1-D dengan mode TM pada lintasan 1 titik MT15	40
Gambar 4.5 Inversi 1-D dengan mode TE-TM pada lintasan 1 titik MT15	40
Gambar 4.6 Penampang cross section lintasan 1 mode TE	42
Gambar 4.7 Penampang cross section lintasan 1 mode TM	42
Gambar 4.8 Penampang cross section lintasan 1 mode TE-TM.....	43
Gambar 4.9 Penampang cross section lintasan 2 mode TE	44
Gambar 4.10 Penampang cross section lintasan 2 mode TM	45
Gambar 4.11 Penampang cross section lintasan 2 mode TE-TM.....	45
Gambar 4.12 Interpretasi pemodelan inversi 2-D lintasan 1 (a) mode TE (b) mode TM dan (c) TE-TM.....	47
Gambar 4. 13 Interpretasi pemodelan inversi 2-D lintasan 2 (a) mode TE (b) mode TM dan (c) mode TE-TM.....	49
Gambar 4.14 Visualisasi cross section inversi 2-D	50
Gambar 4.15 Peta nilai resistivitas per ketinggian 1000, kedalaman 1000, kedalaman 3000 mode TE.....	51
Gambar 4.16 Peta nilai resistivitas per ketinggian 1000, kedalaman 1000, kedalaman 3000 mode TM.....	52
Gambar 4.17 Peta nilai resistivitas per ketinggian 1000, kedalaman 1000, kedalaman 3000 mode TE-TM.....	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode Magnetotelurik merupakan metode elektromagnetik pasif yang melibatkan medan listrik dan medan magnet alami yang saling tegak lurus di permukaan bumi dan digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas batuan di bawah permukaan bumi hingga kedalaman beberapa puluh kilometer (Simpson dan Bahr, 2005). Parameter yang diukur dari Metode Magnetotelurik adalah sinyal elektromagnetik alami, berupa medan magnet bumi (H_x , H_y dan H_z) dan medan listrik bumi (E_x dan E_y). Data tersebut kemudian diolah menggunakan prinsip *fourier transform*, *robust processing* dan *seleksi crosspower* hingga diperoleh variasi impedansi (Hermance, 1973). Sementara itu, parameter yang dianalisis adalah *phase* dan *apparent resistivity*. Berdasarkan data tersebut kemudian dilakukan inversi untuk mengetahui resistivitas bawah permukaan. Pemetaan resistivitas bawah permukaan dapat digunakan untuk mengetahui sistem panas bumi dengan lebih akurat (Daud dan Iskandar, 2013).

Mode TE (*transverse electric*) adalah salah mode dalam magnetotelurik dimana komponen medan listrik sejajar dengan arah struktur utama. Komponen yang terdapat pada sumbu y dan z hanya komponen magnetiknya saja. Mode TM (*transverse magnetic*) adalah komponen yang menunjukkan bahwa medan magnet sejajar dengan arah struktur utamanya. Komponen yang terdapat pada sumbu y dan z hanya komponen elektriknya saja (Simpson dan Bahr, 2005). Perbandingan mode TE dan mode TM terhadap pemodelan 2-D data magnetotelurik telah dilakukan pada beberapa penelitian. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kirana (2015), pengolahan data magnetotelurik 2-D ini dilakukan menggunakan modus TE (*transverse electric*), modus TM (*transverse magnetic*) dan modus TE-TM. Hasil dari ketiga inversi ini menunjukkan penampakan tahanan jenis yang berbeda. Pada hasil inversi dengan modus TE, tidak terlihat adanya respon dari struktur. Sedangkan hasil inversi dengan modus TM menunjukkan adanya struktur yang memisahkan sebaran tahanan jenis tinggi dan lebih sesuai untuk menentukan arah *strike* struktur regional. Sedangkan hasil inversi dengan modus TE-TM memberikan gabungan dari kedua modus TE dan TM yang memberikan hasil paling lengkap. Berdasarkan hasil inversi dengan modus TE, TM dan TE-TM, dapat diperkirakan arah *strike* struktur sesar yang mengontrol sistem panasbumi di daerah penelitian. Penelitian yang telah dilakukan oleh Nuraini (2017) didapatkan hasil bahwa data dengan mode TE (*transverse electric*) memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan nilai resistivitas dibawah permukaan secara lateral, sedangkan untuk data dengan mode TM (*transverse magnetic*) memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan nilai resistivitas dibawah permukaan secara vertikal. Oleh karena pentingnya pemahaman lebih lanjut

mengenai hal tersebut, maka dalam penelitian tugas akhir ini akan dikaji lebih dalam mengenai pengaruh mode TE (*transverse electric*), mode TM (*transverse magnetic*) dan mode TE-TM (gabungan TE dan TM) terhadap pemodelan data 2-D data magnetotelurik pada lapangan panasbumi Arjuno Welirang.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana perbandingan pemodelan resistivitas bawah permukaan pada data magnetotelurik dengan mode TE (*transverse electric*), mode TM (*transverse magnetic*) dan mode TE-TM serta bagaimana identifikasi sistem panas bumi dari hasil pengolahan data magnetotelurik.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian tugas akhir ini meliputi tentang:

1. Pengolahan data magnetotelurik menggunakan model inversi 1-D dan 2-D
2. Algoritma inversi yang digunakan pada inversi 1-D adalah inversi Occam dan inversi 2-D adalah inversi NLCG.
3. Data yang digunakan berupa data *.EDI* magnetotelurik dan TDEM milik PT Elnusa Tbk.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Perbandingan pemodelan resistivitas bawah permukaan data magnetotelurik dengan menggunakan mode TE (*transverse electric*), mode TM (*transverse magnetic*) dan mode TE-TM.
2. Identifikasi sistem panas bumi dari hasil pengolahan data magnetotelurik.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian tugas akhir ini yaitu dapat mengetahui hasil perbandingan dari pengolahan mode pada data magnetotelurik dan mengetahui sistem panas bumi di daerah penelitian.

1.6 Target Luaran

Target luaran dari penelitian tugas akhir ini adalah paper yang dipublikasikan di Jurnal Geosaintek dan Publikasi Online ITS (POMITS).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

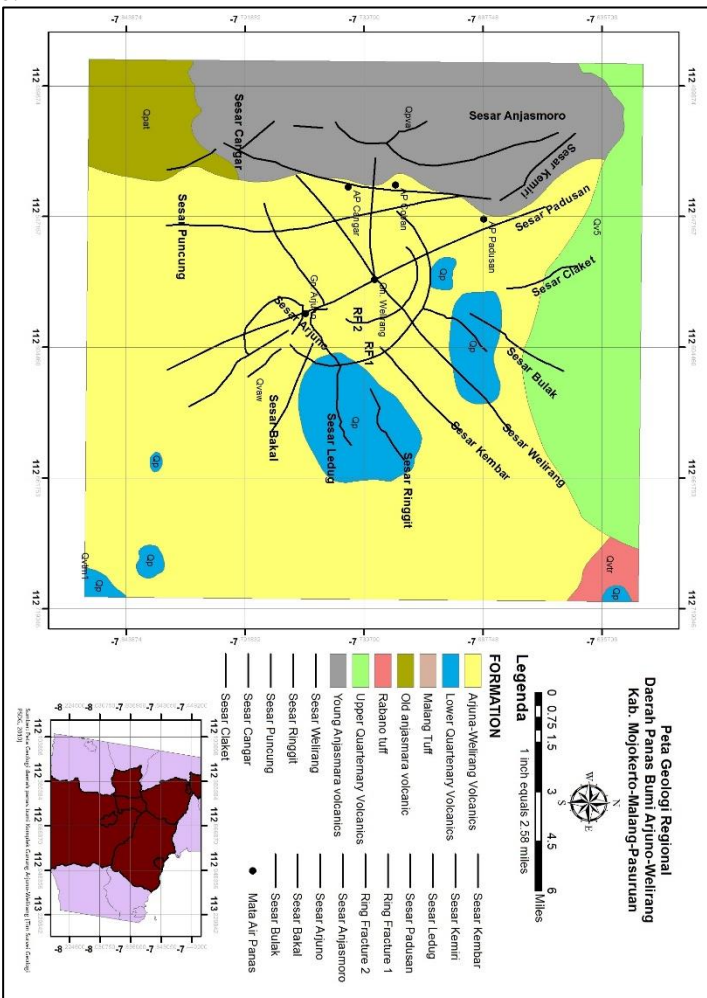
2.1.1 Geologi Regional Arjuno-Welirang

Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang adalah salah satu dari rangkaian gunung api aktif berumur Kuartar yang berada di Jawa Timur. Menurut Bemmelen (1949), fisiografi Jawa Timur dibagi menjadi lima zona, yang terdiri dari Zona Rembang, Zona Randublatung, Zona Kendeng, Zona Solo dan Zona Pegunungan Selatan. Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang termasuk dalam Zona Solo yang terbentuk karena adanya pergerakan dari lempeng Indo-Australia di Samudra Hindia yang mendorong kerak benua pada Jawa Timur bagian selatan, sehingga terjadi penunjaman pada kerak Samudra yang diikuti dengan pengangkatan kerak benua sehingga membentuk jalur-jalur magma. Secara fisiografi, Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang termasuk dalam sabuk vulkanik Kuartar Zona Solo yang terletak antara Zona Pegunungan Serayu Utara – Kendeng dan Pegunungan Selatan. Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang termasuk ke dalam rangkaian Kompleks Andjasmoro – Ardjuno – Welirang – Kelud – Kawi – Butak (Bemmelen, 1949).

Menurut Peta Geologi Lembar Malang, Jawa Santosa dan Suwanti (1992), produk gunungapi di Arjuno – Welirang terdiri dari aliran lava dan piroklastik. Urutan formasi batuan daerah Arjuno – Welirang dari tua ke muda, yaitu: *Old Anjasmara Volcanics* (Batuan Gunung Api Anjasmara Tua), *Lower Quaternary Volcanics* (Batuan Gunung Api Kuartar Bawah), *Malang Tuff* (Tuf Malang), *Arjuna Welirang Volcanics* (Batuan Gunung Api Arjuna Welirang), *Rabano Tuff* (Tuf Rabano), *Upper Quaternary Volcanics* (Batuan Gunung Api Kuartar Atas) dan *Young Anjasmara Volcanic* (Batuan Gunung Api Anjasmara Muda). Komponen stratigrafi Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang terdapat pada gambar 2.1.

Menurut Hadi dkk., (2010), satuan batuan di daerah Arjuno – Welirang terdiri atas 17 satuan. Satuan batuan daerah Arjuno – Welirang dapat dijelaskan sebagai berikut: Lava Kembar II (2) (Qlk2(2)), Aliran Piroklastik Kembar I (Qapk2), Lava Bakal (Qlb), Lava Arjuno-Welirang (Qltaw), Aliran Piroklastik Kembar II (1) (Qapk1), Lava Kembar II (1) (Qlk2), Lava Kembar I (Qlk1), Lava Arjuno (Qlar), Lava Welirang I (Qlw1), Aliran Piroklastik Tua Arjuno–Welirang (Qaptaw), Erupsi Samping (Qes), Aliran Piroklastik Welirang I (Qapw1), Aliran Piroklastik Penanggungan (Qapp), Qda, Aliran Piroklastik Arjuno Welirang (Qapaw), Lava Welirang II (Qlw2), Lava Arjuno Welirang (Qlaw). Struktur geologi pada Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang (lampiran) dapat diklasifikasikan berdasarkan arah kelurusan pola strukturnya. Sesar berarah Utara – Selatan diwakili oleh Sesar Cengar, Sesar Puncung dan Sesar Claket. Sesar berarah Baratlaut – Tenggara diwakili oleh Sesar Padusan,

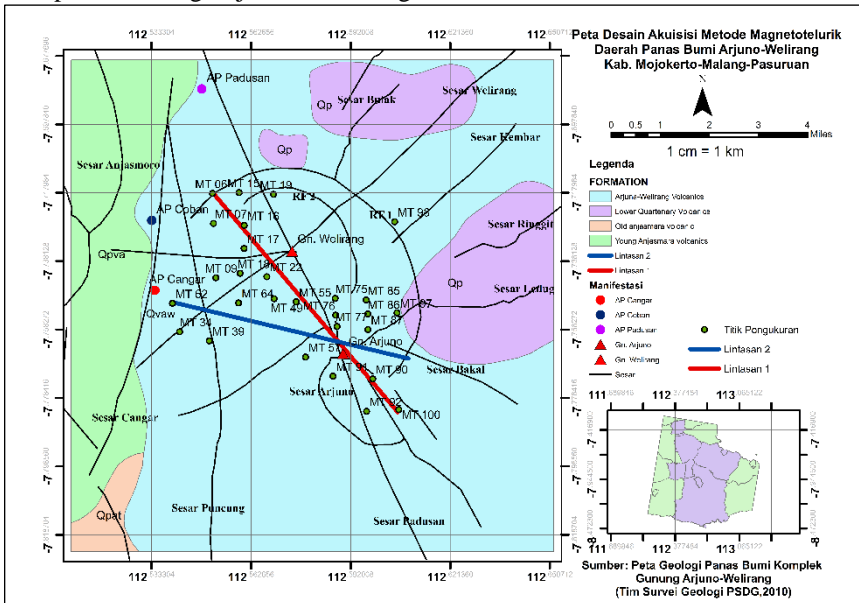
Sesar Kemiri, dan Sesar Bakal. Sesar berarah Baratdaya – Tmurlaut yang diperkirakan sebagai sesar utama yang mempengaruhi munculnya Kompleks gunungapi Arjuno – Welirang diwakili oleh Sesar Welirang, Sesar Kembar dan Sesar Bulak. Sesar berarah Barat - Timur diwakili oleh Sesar Ledug dan Sesar Ringit. Struktur geologi Rim Kaldera Anjasmoro terdiri dari Sesar Anjasmoro. Sektor amblasan (*collapse*) terdiri dari *Ring Fracture 1*, *Ring Fracture 2* dan Sesar Arjuno.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Daerah Panas Bumi Arjuno-Welirang

2.1.2 Geologi Lokal Daerah Penelitian

Hasil penyelidikan panas bumi yang dilakukan oleh PT. Elnusa Tbk pada tahun 2012 menghasilkan peta geologi lokal yang digunakan sebagai acuan dalam identifikasi sistem panas bumi daerah penelitian. Lokasi penyelidikan dengan menggunakan Metode Magnetotelurik sebanyak 30 titik pengukur yang berada di sekitar Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang yang berada di Kabupaten Mojokerto, Malang, Pasuran (gambar 2.2). Berdasarkan gambar 2.2, daerah penelitian berada di stratigrafi *Arjuna Welirang Volcanics* (Batuan gunungapi Arjuno Welirang) dan *Young Anjasmara Volcanics* (Batuan Gunungapi Anjasmara Muda). Pada daerah penelitian terdapat sebaran manifestasi panas bumi berupa tiga kelompok air panas, yaitu Air Panas Padusan, Air Panas coban dan Air Panas Cangar. Selain itu, terdapat manifestasi panas bumi berupa fumarol dan masing-masing berada di puncak kerucut Kompleks Gunung Arjuno – Welirang.

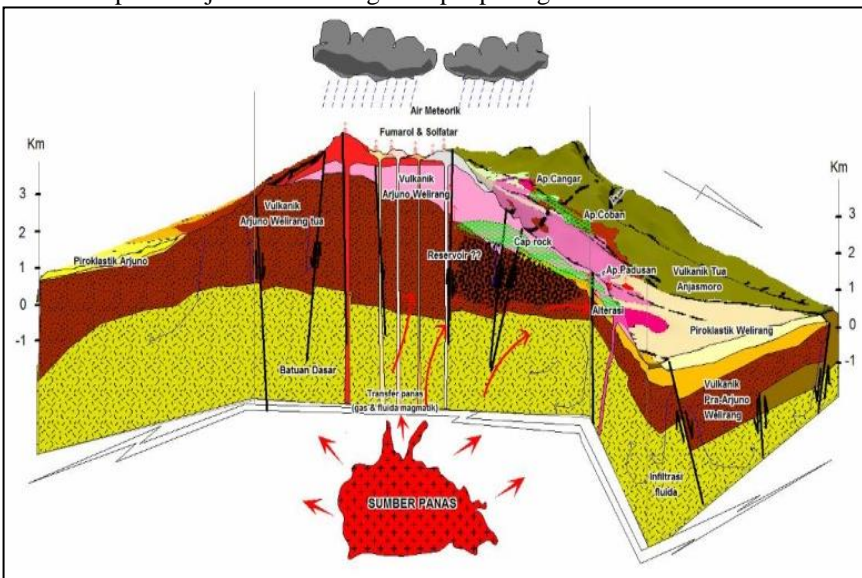


Gambar 2.2 Peta Desain Akuisisi Daerah Panas Bumi Arjuno – Welirang

2.1.2.1 Sistem Geologi

Sistem panas bumi kompleks Arjuno – Welirang termasuk dalam tipe *young-igneous system*, hal tersebut dikarenakan daerah penelitian berada di daerah vulkanik. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Daud dan Fahmi (2013), batuan alterasi yang terbentuk merupakan alterasi tipe argilik yang muncul pada lava produk erupsi samping Gunung Pundak. Batuan penutup

dengan nilai resistivitas rendah diinterpretasikan berada pada zona struktur graben yang dibatasi oleh Sesar Kemiri dan Sesar Claket – Bulak. Selain itu batuan lain yang diinterpretasikan sebagai batuan penuding adalah lava muda produk Welirang yang masih massif dan belum terekahkan dengan ketebalan 2500 m. Lapisan reservoir yang dicirikan dengan nilai resistivitas sedang berada di bawah batuan penuding diperkirakan berada pada batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang Tua baik berupa lava maupun piroklastik yang telah mengalami deformasi pada periode Pleistosen Akhir sehingga memungkinkan membentuk pola rekahan yang intensif dan bersifat permeabel. Air panas pada kompleks ini termasuk dalam tipe bikarbonat yang berasal dari Gunung Arjuno – Welirang yang secara erupsi berumur Kuarter. Adapun model konseptual panas bumi Kompleks Arjuno – Welirang terdapat pada gambar 2.3.



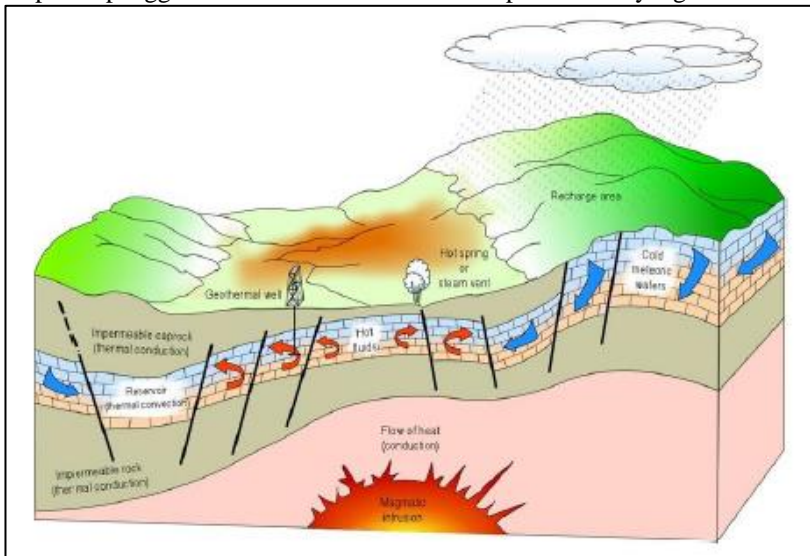
Gambar 2.3 Model konseptual sistem panas bumi Arjuno-Welirang (Daud dan Fahmi, 2013)

2.1.3 Metode Geofisika

2.1.3.1 Sistem Panas Bumi

Sumber panas bumi terbentuk dari dapur magma yang terdapat dibawah permukaan bumi. Panas yang berasal dari magma akan berpindah melalui proses konveksi maupun konduksi ke batuan sekitarnya dengan bantuan air. Proses transfer panas pada fluida panas secara konveksi ke batuan disekitarnya terjadi hingga tercapai kesetaraan temperatur. Volume dan tekanan akan meningkat seiring terjadinya peningkatan temperatur (Rulia, 2012).

Manifestasi permukaan dapat digunakan sebagai petunjuk adanya potensi panas bumi dibawah permukaan disekitar lokasi. Manifestasi permukaan adalah fluida yang keluar dari permukaan akibat tekanan pada fluida. Manifestasi permukaan yang berupa uap disebut dengan fumarol dan manifestasi permukaan yang berupa air panas disebut sebagai *hot spring*. Proses akumulasi panas terjadi apabila terdapat fluida yang terperangkap dibawah batuan *impermeable*. Lokasi terjadi proses akumulasi panas disebut dengan *reservoir*. Batuan alterasi adalah batuan impermeable yang mengalami perubahan struktur dan sifat batuan akibat proses akumulasi panas. Batuan alterasi berfungsi sebagai batuan penuding atau clay cap untuk menjaga akumulasi panas di reservoir (Dickson dan Fanelli, 2004). Berdasarkan pernyataan diatas, terdapat tiga elemen penting pada sistem geotermal: (1) batuan reservoir bersifat permeable, (2) air untuk menghantarkan panas dari reservoir menuju permukaan, dan (3) sumber panas. Gambar 2.4 merupakan penggambaran sederhana dari sistem panas bumi yang ideal.



Gambar 2.4 Penggambaran skematik dari sebuah sistem panas bumi yang ideal (Dickson dan Fanelli, 2004)

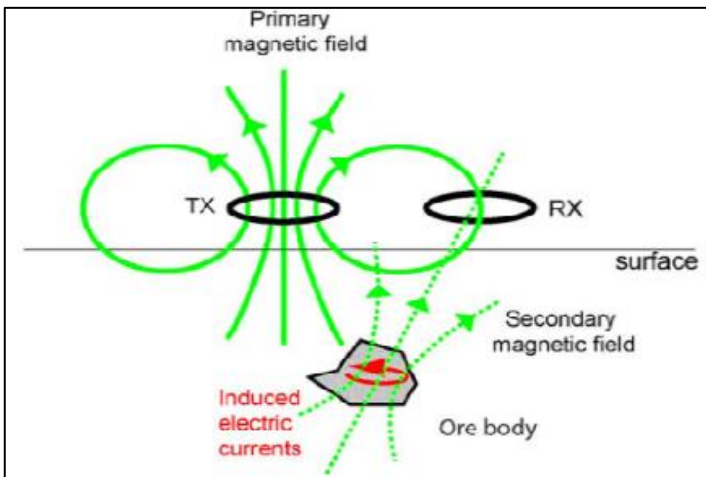
Berdasarkan kriteria geologi, geofisika, hidrologi dan engineering, sistem panas bumi terdiri dari lima tipe dasar: *Young Igneous System*, *Tectonic System*, *Geopressure System*, *Hot Dry Rock System* dan *Magma Tap System*.

2.1.3.2 Metode Magnetotelurik

Metode Magnetotelurik merupakan metode elektromagnetik pasif yang melibatkan medan listrik dan medan magnet alami yang saling tegak lurus di permukaan bumi dan digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas batuan di

bawah permukaan bumi (Simpson dan Bahr, 2005). Metode magnetotelurik akan mengukur secara pasif komponen medan listrik (E) dan medan magnet (H) yang berubah terhadap waktu. Perbandingan antara medan listrik dengan medan magnet yang saling tegak lurus disebut sebagai impedansi yang merupakan sifat kelistrikan suatu medium (Simpson dan Bahr, 2005). Metode magnetotelurik memiliki cakupan frekuensi yang terekam sebesar 300 hingga 0.001 Hz (Rulia, 2012).

Konsep yang mendasari gelombang magnetotelurik pada gelombang elektromagnetik terdapat pada gambar 2.5. Sumber metode magnetotelurik yang berupa medan elektromagnetik alami (medan elektromagnetik primer) sampai ke bumi dengan memiliki variasi terhadap waktu. Medan elektromagnetik tersebut menginduksi *ore body* dibawah permukaan Bumi sehingga timbul *eddy current* (arus *telluric*) yang menghasilkan medan elektromagnetik sekunder. *Receiver* (RX) yang terdapat di permukaan menangkap total medan elektromagnetik sebagai penjumlahan dari medan elektromagnetik primer dan medan elektromagnetik sekunder (Unsworth, 2005).



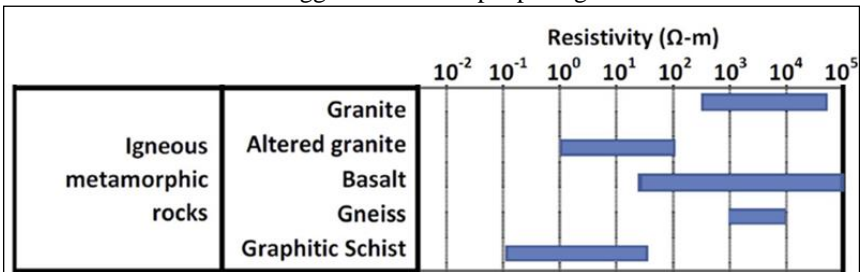
Gambar 2.5 Konsep Dasar Metode Magnetotelurik (Unsworth, 2005)

Metode Magnetotelurik merupakan salah satu metode geofisika yang penting dan sering digunakan dalam investigasi sistem panas bumi. Hal tersebut dikarenakan penetrasi gelombang magnetotelurik mampu mencapai ratusan meter hingga puluhan kilometer (Simpson dan Bahr, 2005). Metode magnetotelurik dapat digunakan untuk mencari tahu kedalaman yang cocok untuk eksplorasi geotermal. Selain itu, produktivitas dan kualitas data telah berkembang seiring dengan berkembangnya peralatan akuisisi pada beberapa tahun terakhir serta teknik interpretasi telah berkebang dan digunakan dalam

beberapa studi kasus (Uchida dkk., 2002). Sumber sinyal elektromagnetik pada frekuensi tinggi ($f > 1$ Hz) dihasilkan oleh aktivitas petir diseluruh dunia, khususnya didekat ekuator. Sinyal akan menjalar disepanjang ionosfer. Sumber sinyal elektromagnetik pada frekuensi rendah ($f < 1$ Hz) dihasilkan oleh solar wind. (Vozoff, 1991).

2.1.3.3 Resistivitas Batuan Pada Survei Magnetotelurik

Pada akuisisi magnetotelurik dihasilkan informasi mengenai nilai resistivitas terhadap kedalaman. Nilai resistivitas yang dihasilkan memiliki rentang nilai tinggi hingga paling rendah. Nilai resistivitas yang tinggi adalah benda yang bersifat resistif, sedang nilai resistivitas rendah adaalah benda yang bersifat konduktif. Gambaran umum material umum material bumi yang memiliki sifat konduktif hingga resistif terdapat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rentang nilai resistivitas batuan (Chave dan Jones, 2012)

2.1.3.4 Persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell ini tercipta karena Maxwell ingin menunjukkan bahwa fenomena listrik dan magnet dapat dideskripsikan melalui suatu persamaan yang melibatkan medan listrik dan medan magnet. Medan listrik adalah daerah atau ruang disekitar muatan listrik. Besarnya medan listrik di suatu titik adalah besarnya gaya Coloumb yang dialami oleh satuan muatan positif di titik tersebut. Arah pada medan listrik di suatu titik adalah sama dengan arah daripada gaya Coloumb di titik tersebut, sedangkan medan magnet dapat dihasilkan dari material yang secara alami bersifat magnet dan dapat juga oleh arus listrik. Kita dapat mendefinisikan bahwa medan magnet adalah ruang disekitar sebuah penghantar yang mengangkut arus (Chave dan Jones, 2012). Dalam bentuk diferensial, persamaan Maxwell dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (\text{Hukum Faraday}) \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (\text{Hukum Ampere}) \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \mathbf{q} \quad (\text{Hukum Gauss}) \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = \mathbf{0} \quad (\text{Hukum Gauss Magnetik}) \quad (2.4)$$

dengan :

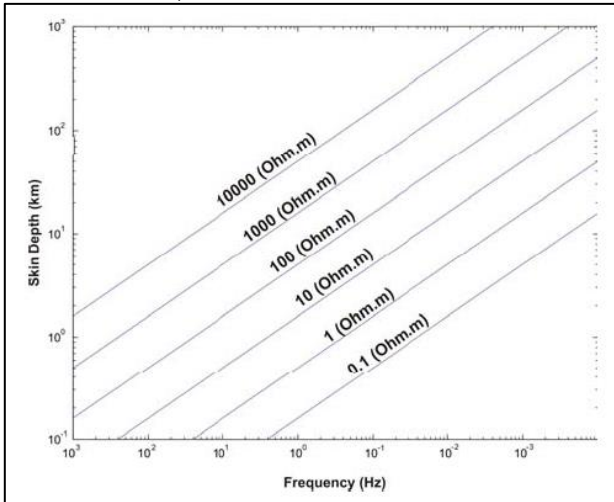
\mathbf{E} : medan listrik (Volt/m)

- B** : fluks atau induksi magnetik (Weber/m² atau Tesla)
- H** : medan magnet (Ampere/m)
- j** : rapat arus (Ampere/m²)
- D** : perpindahan listrik (Coloumb/m²)
- q** : rapat muatan listrik (Coloumb/m³)

2.1.3.5 Kedalaman penetrasi (skin depth)

Skin depth menyatakan seberapa dalam gelombang elektromagnetik dapat terpenetrasi ke dalam bumi. *Skin depth* dapat diartikan sebagai fungsi kedalaman, amplitude gelombang berkurang hingga kurang lebih menjadi sepertiga amplitude awal. *Skin depth* dapat dituliskan dalam persamaan (2.5).

$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \tag{2.5}$$



Gambar 2.7 Skin depth sebagai fungsi frekuensi sinyal magnetotelurik dan resistivitas bumi (Xiao, 2004)

Gambar 2.7

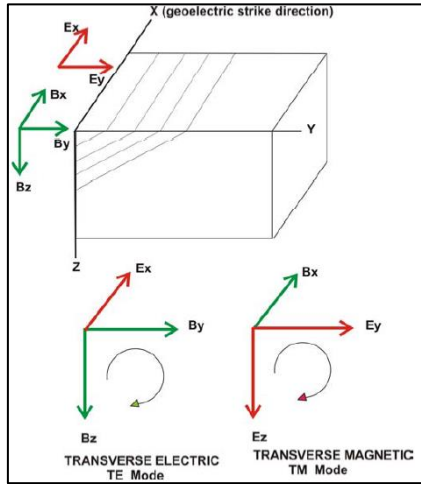
Gambar 2.7 menjelaskan bagaimana frekuensi dan resistivitas berpengaruh terhadap penetrasi magnetotelurik. Dengan δ adalah *skin depth*, ρ adalah resistivitas batuan (Ωm), dan f adalah frekuensi. Maka semakin kecil frekuensi gelombang, makin jauh penetrasinya. Inilah konsep yang digunakan dalam metode magnetotelurik yang menggunakan natural source dengan gelombang elektromagnetik yang berfrekuensi kecil.

2.1.3.6 Mode Pengukuran Magnetotelurik

Resistivitas bervariasi terhadap salah satu sumbu horizontal dan kedalaman. Berdasarkan gambar 2.8, perbedaan konduktivitas terdapat pada kontak vertikal (*strike*) yang diasumsikan berada pada sumbu x. Ketika arus listrik melewati bidang kontak, hal tersebut menyebabkan perbedaan dan perubahan konduktivitas, sehingga menyebabkan medan listrik yang melewati sumbu y (E_y) mengalami diskontinyu. Secara umum, terdapat dua mode pengukuran magnetotelurik yang terdiri dari Mode *Transverse Electric* (TE) dan Mode *Transverse Magnetik* (Mode TM). Selain itu, terdapat mode gabungan antara mode TE dan mode TM yang disebut sebagai mode TE-TM.

Mode *Transverse Electric* (TE) adalah salah satu mode dalam eksplorasi magnetotelurik dengan komponen medan listrik sejajar dengan arah struktur utama. Komponen yang terdapat pada sumbu y dan z hanya komponen magnetiknya saja. Pada mode TE, medan listrik yang melewati sumbu x (E_x) dapat berasosiasi (kontinyu) pada sumbu x. Hal tersebut karena medan listrik sejajar dengan kontak vertikal (*strike*), sehingga mode TE dapat memetakan lapisan konduktif secara lateral dengan baik.

Mode *Transverse Magnetik* (Mode TM) adalah komponen yang menunjukkan bahwa medan magnet sejajar dengan arah struktur utamanya. Pada mode ini komponen yang menunjukkan pada bidang arah sumbu y dan z hanya komponen medan listrik saja, sedangkan komponen medan magnet sejajar dengan arah struktur utama. Pada mode TM, medan listrik yang melewati sumbu y (E_y) mengalami diskontinyuitas, hal tersebut disebabkan oleh perbedaan konduktivitas akibat kontak vertikal (*strike*) pada sumbu x. Oleh karena itu, mode TM tidak baik dalam memetakan anomali atau lapisan secara lateral. Medan listrik yang melewati sumbu z (E_z) dapat berasosiasi dengan baik (kontinyu) dan tidak terpengaruh adanya perbedaan konduktivitas pada kontak vertikal (*strike*), sehingga mode TM dapat memetakan anomali atau lapisan secara vertikal dengan baik. Sedangkan mode TE-TM merupakan gabungan antara mode TE dan mode TM, sehingga pada mode TE-TM dapat memetakan anomali atau lapisan secara lateral dan vertikal dengan baik pada resistivitas tinggi maupun sedang. Ilustrasi mode pengukuran magnetotelurik terdapat pada gambar 2.8 (Simpson dan Bahr, 2005).



Gambar 2.8 Perbedaan mode TE dan mode TM (Simpson dan Bahr, 2005)

Persamaan mode TE dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} = \frac{\partial B_z}{\partial t} = i\omega B_z \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = \frac{\partial B_y}{\partial t} = -i\omega B_y \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial B_z}{\partial z} - \frac{\partial B_y}{\partial z} = \mu\sigma E_x \quad (2.8)$$

Sedangkan persamaan mode TM, dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\frac{\partial B_x}{\partial y} = \mu\sigma E_z \quad (2.9)$$

$$\frac{-\partial B_x}{\partial z} = \mu\sigma E_y \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = i\omega B_x \quad (2.11)$$

2.1.4 Fungsi Transfer Magnetotelurik

Fungsi transfer magnetotelurik atau respon magnetotelurik adalah fungsi yang berhubungan dengan komponen medan elektromagnetik yang berada pada frekuensi tertentu. Fungsi ini tidak bergantung terhadap sumber elektromagnetik dan hanya bergantung terhadap sifat kelistrikan sebuah material. Fungsi transfer magnetotelurik mengkarakterisasi distribusi konduktivitas sebuah material sesuai dengan frekuensi yang diukur (Castells, 2006).

2.1.4.1 Impedansi Magnetotelurik dan Apparent Resistivity

Data magnetotelurik direkam dalam domain waktu dan dianalisis dalam domain frekuensi. Hal tersebut berarti bahwa sinyal yang terekam dalam domain waktu harus dilakukan transformasi *fourier* ketika pengolahan data. Medan elektrik dan medan magnetik terekam pada dua arah horizontal dan saling tegak lurus (Simpson dan Bahr, 2005). Arah sumbu X didefinisikan sebagai arah utara dan arah sumbu Y didefinisikan sebagai arah timur. Impedansi Z_{xy} adalah perbandingan dari medan elektrik pada arah sumbu X, E_x dan medan magnetik pada arah sumbu Y, H_y (persamaan 2.12)

$$Z_{xy}(\omega) = \frac{E_x(\omega)}{H_y(\omega)} \quad (2.12)$$

Impedansi bergantung pada frekuensi dan memiliki satuan Ohm (Ω). Komponen medan elektrik dan medan magnetik dapat digunakan untuk menghitung tensor impedansi yang terdapat pada persamaan 2.13.

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} E_x(\omega) \\ E_y(\omega) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Z_{xx}(\omega) & Z_{xy}(\omega) \\ Z_{yx}(\omega) & Z_{yy}(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{B_x(\omega)}{\mu_0} \\ \frac{B_y(\omega)}{\mu_0} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} Z_{xx}(\omega) & Z_{xy}(\omega) \\ Z_{yx}(\omega) & Z_{yy}(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_x(\omega) \\ H_y(\omega) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Dasar dari keseluruhan analisis data magnetotelurik terdapat pada persamaan 2.13, tensor impedansi mempunyai informasi mengenai kondisi bawah permukaan bumi pada titik tertentu sebagai fungsi frekuensi. Perhitungan *apparent resistivity* pada masing-masing elemen tensor impedansi tiap frekuensi adalah salah satu cara untuk memeriksa data magnetotelurik (persamaan 2.14)

$$\rho_{a,ij}(\omega) = \frac{1}{\mu_0 \omega} |Z_{ij}(\omega)|^2 \quad (2.14)$$

Apparent resistivity dalam persamaan (2.14) dapat dianggap sebagai rata-rata resistivitas bumi terhadap *sampled volume* dari sinyal elektromagnetik, dalam bentuk frekuensi (periode). Jika *true resistivity* dari bumi bervariasi terhadap kedalaman, maka *apparent resistivity* akan bervariasi terhadap frekuensi (periode).

2.1.5 Pemodelan 1-Dimensi

Pada kasus 1-D, distribusi resistivitas medium hanya bergantung pada kedalaman saja. Distribusi resistivitas tersebut diperoleh dari perbandingan medan listrik dan medan magnet yang menjalar secara tegak lurus di bawah permukaan bumi pada arah osilasi yang konstan. Gelombang tersebut akan teratenuasi seiring bertambahnya kedalaman yang juga dipengaruhi oleh frekuensi gelombang dan nilai resistivitas medium yang dilaluinya.

Inversi Occam memiliki tujuan untuk mencari model yang memiliki normalisasi seminimal mungkin dan sesuai dengan data. Tujuan tersebut secara matematis dapat dicapai dengan cara menemukan titik stasioner dari sebuah fungsi yang tidak terkontrain $U(\mathbf{m}, \lambda)$ (persamaan 2.15).

$$U((\mathbf{m}, \lambda) = (\mathbf{m} - \mathbf{m}_0)^T C_m^{-1} (\mathbf{m} - \mathbf{m}_0) + \lambda^{-1} \{ (\mathbf{d} - \mathbf{F}[\mathbf{m}])^T C_d^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{F}[\mathbf{m}]) - X^* \} \quad (2.15)$$

Dengan \mathbf{m} adalah resistivitas model, \mathbf{m}_0 adalah prior model, \mathbf{d} adalah data hasil observasi, $\mathbf{F}[\mathbf{m}]$ adalah respon dari model, \mathbf{C}_d adalah matrix data kovarian, \mathbf{X}^* adalah besar error yang diinginkan dan λ^{-1} adalah faktor pengalim lagrange (Siripunvaraporn dkk., 2005). *Penalty function* $W(\mathbf{m})$ digunakan untuk mendapatkan titik stasioner secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$W\lambda(\mathbf{m}) = (\mathbf{m} - \mathbf{m}_0)^T C_m^{-1} (\mathbf{m} - \mathbf{m}_0) + \lambda^{-1} \{ (\mathbf{d} - \mathbf{F}[\mathbf{m}])^T C_d^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{F}[\mathbf{m}]) \} \quad (2.16)$$

Ketika λ bernilai tetap, U dan $W\lambda$ memiliki nilai stasioner yang sama. Dengan meminimalisasi $W\lambda$ dengan berbagai nilai λ , nilai stasioner U dapat ditentukan (Siripunvaraporn dkk., 2005).

2.1.6 Pemodelan 2-Dimensi

Pada pemodelan 2-D berupa model bawah permukaan yang terdiri dari blok-blok ukuran dengan ukuran yang berbeda. Parameter 2-D adalah nilai tahanan jenis dari tiap blok yang mempunyai dimensi lateral (x) dan vertikal (z).

2.1.6.1 Inversi Non-Linear Conjugate Gradient 2-D

Inversi NLCG adalah suatu inversi yang terdiri dari 2 *loop*, yaitu *loop conjugate-gradient* dan *loop line-search* yang dapat meminimumkan suatu fungsi (Rodi dan Mackie, 2001). *Loop* sekunder melakukan *line-search*. Minimisasi fungsi objektif menjadi problem minimisasi satu dimensi dengan parameter alfa ($\min \Psi(\alpha)$). *Line-search* inilah yang sifatnya non-linier (Rodi dan Mackie, 2001). Inversi NLCG lebih baik dalam meminimumkan fungsi dibandingkan dengan metode *steepest descent*. Yang mana metode *steepest descent* bergerak *zig-zag* dalam menurunkan fungsi. Sedangkan NLCG bergerak seperti arah *conjugate gradient*. Secara umum problem inversi adalah suatu cara yang dapat meminimumkan *error* kuadrat, yaitu dengan menggunakan persamaan (2.17) (Rodi dan Mackie, 2001).

$$\|e\| = \|d - F(m)\|^2 \quad (2.17)$$

Dengan adalah vektor *error*, F adalah vektor fungsi *forward modeling*, m adalah parameter model dan d adalah vektor data. Persamaan regularisasi dapat dilihat pada persamaan (2.18) Ψ adalah fungsi objektif yang akan diminimumkan, $\|d - F(m)\|^2$ adalah *data misfit*, λ adalah pengali Lagrange, dan R adalah regularisasi yang berfungsi sebagai *stabilizer*.

$$\Psi(m,\lambda) = ||d-F(m)||^2 + \lambda.R(m) \quad (2.18)$$

2.2 Penelitian Terdahulu

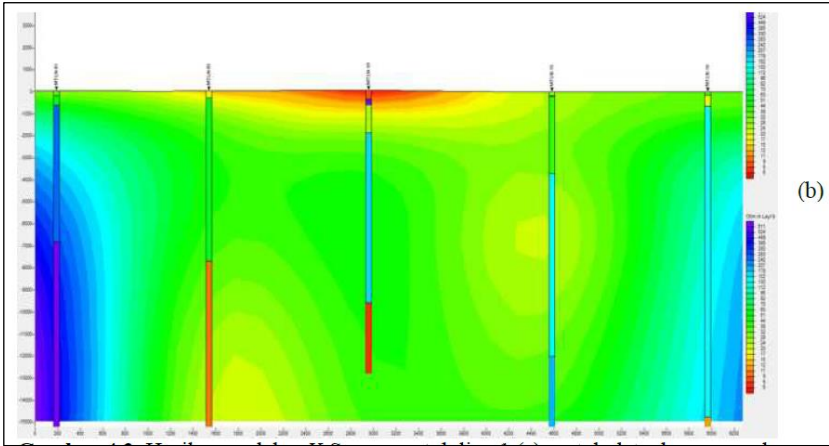
Beberapa penelitian menjadi sumber, acuan dan referensi dalam mengerjakan penelitian tugas akhir ini. Zarkasyi dkk., (2014) telah melakukan penelitian dengan judul “Survei Magnetotellurik (MT) dan Time Domain Electro Magnetic (TDEM) Daerah Panas Bumi Dua Saudara, Provinsi Sulawesi Utara”. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan struktur tahanan jenis bawah permukaan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi. Desain pengukuran melingkupi manifestasi panas bumi yang muncul di beberapa titik dengan asumsi lintasan pemodelan berarah baratdaya-timurlaut. Data pengukuran diproses menggunakan algoritma robust kemudian setelah dilakukan analisis *strike* dan *data editing*, data dimodelkan secara 2 dimensi. Interpretasi hasil pemodelan menunjukkan adanya lapisan bertahanan jenis di bawah 10 Ωm terdeteksi sampai kedalaman sekitar 500 – 750 meter yang diperkirakan sebagai lapisan penudung dan disusul lapisan batuan bertahanan jenis 50-250 Ωm di bawahnya sebagai lapisan reservoir sistem panas bumi.

Penelitian kedua telah dilakukan oleh Kirana (2015) dengan judul “Pemodelan Data MT 2-D dan Perbandingan Modus TE dan TM Studi Kasus: Lapangan Panasbumi Marana, Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah”. Pengolahan data magnetotellurik 2-D ini dilakukan menggunakan modus TE (*transverse electric*), modus TM (*transverse magnetic*) dan modus TE-TM. Hasil dari ketiga inversi ini menunjukkan penampang tahanan jenis yang berbeda. Pada hasil inversi dengan modus TE, tidak terlihat adanya respon dari struktur. Sedangkan hasil inversi dengan modus TM menunjukkan adanya struktur yang memisahkan sebaran tahanan jenis tinggi. Hasil inversi dengan modus TM menunjukkan respon bawah permukaan yang dianggap lebih baik. Hasil nversi dengan modus TM dianggap lebih sesuai untuk menentukan arah *strike* struktur regional. Sedangkan hasil inversi dengan modus TE-TM memberikan gabungan dari kedua modus TE dan TM yang memberikan hasil paling lengkap. Berdasarkan hasil inversi dengan modus TE, TM dan TE-TM, dapat diperkirakan arah *strike* struktur sesar yang mengontrol sistem panasbumi di daerah penelitian.

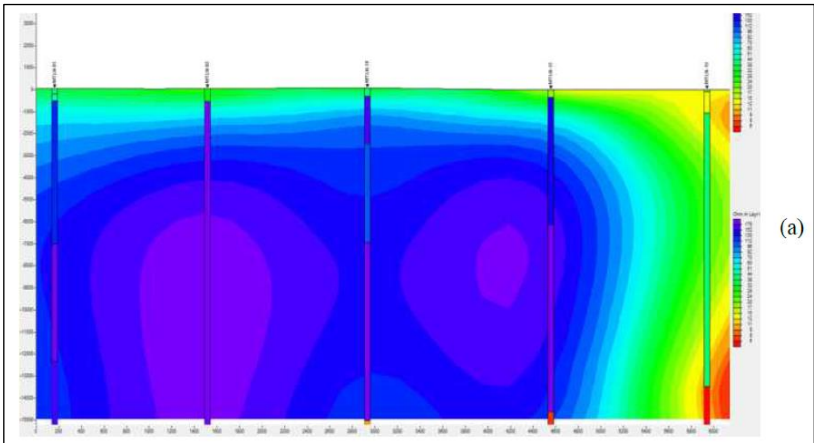
Penelitian ketiga telah dilakukan oleh Wachsbu dan Santosa (2016) dengan judul “Pemodelan Data Magnetotellurik dengan Remote Reference Untuk Eksplorasi Cekungan Migas Studi Kasus: Lapangan EM-4”. Pemodelan data magnetotellurik digunakan untuk eksplorasi cekungan migas dengan parameter berupa resistivitas semu dan fase. Data magnetotellurik yang digunakan berupa line JBS4 yang terdiri dari 71 titik pengukuran dan line JBS8 yang terdiri dari 66 titik pengukuran. Data magnetotellurik dilengkapi dengan data *remote reference* yang digunakan untuk meminimalisir *noise* sehingga didapatkan data yang lebih baik. Tahapan pengolahan data magnetotellurik dimulai dari seleksi time series, transformasi Fourier, *robust processing*, seleksi *cross power*, dan inversi 2

dimensi. Pada hasil penelitian ini didapatkan bahwa metode magnetotelurik dapat menampilkan model bawah permukaan dengan baik. Pada hasil interpretasi terpadu dari hasil inversi magnetotelurik dan data pendukung berupa peta anomali gaya berat, didapatkan model bawah permukaan dan didapatkan dua zona interest pada lapangan EM-4 berupa cekungan Bantarkalong dan cekungan Citanduy dengan sedimen yang cukup tebal dan memiliki nilai resistivitas dominan sebesar 119 Ω m.

Penelitian keempat telah dilakukan oleh Nuraini (2017) dengan judul “Analisis Resistivitas Terhadap Pengaruh Mode Pada Pengolahan Data Magnetotelurik”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan hasil pemodelan resistivitas bawah permukaan pada data magnetotelurik yang menggunakan mode TE (*transverse electric*), dan mode TM (*transverse magnetic*) serta mengidentifikasi sistem panas bumi dari hasil pengolahan data magnetotelurik. Penelitian ini menggunakan data sekunder survei magnetotelurik sebanyak 22 titik yang terdiri dari data *time series* hasil pengukuran, data *site* parameter, data kalibrasi sensor dan data kalibrasi alat. Selain itu, penelitian ini menggunakan data geologi sebagai data pendukung. Pada penelitian ini terdapat hasil berupa; Pengaruh mode pengukuran dalam pemodelan data dapat mempengaruhi nilai resistivitas yang dihasilkan baik dalam pemodelan 1-D maupun model 2-D. Data dengan mode TE (*transverse electric*) memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan nilai resistivitas dibawah permukaan secara lateral, sedangkan untuk data dengan mode TM (*transverse magnetic*) memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan nilai resistivitas dibawah permukaan secara vertikal. Sistem panasbumi yang teridentifikasi dalam penelitian ini dapat dijelaskan berdasarkan nilai resistivitas pada model 2-D yang menunjukkan adanya batuan penudung, *reservoir*, dan sumber panas. Lapisan penudung (*cap rock*) terdapat pada zona nilai resistivitas < 50 Ω m, lapisan *reservoir* terdapat pada zona resistivitas antara 50-200 oh.m, dan sumber panas (*heat source*) terdapat pada zona resistivitas > 200 Ω m. Berdasarkan data geologi lapisan penudung (*cap rock*) berasal dari alterasi batuan metamorf dan batuan sedimen (alterasi lempung). *Reservoir* terbentuk pada batuan metamorf dengan jenis filit dan batuan sedimen dengan jenis batupasir dan batu gamping. Sumber panasnya berasal dari kerak benua yang mengalami deformasi (*shearing*).

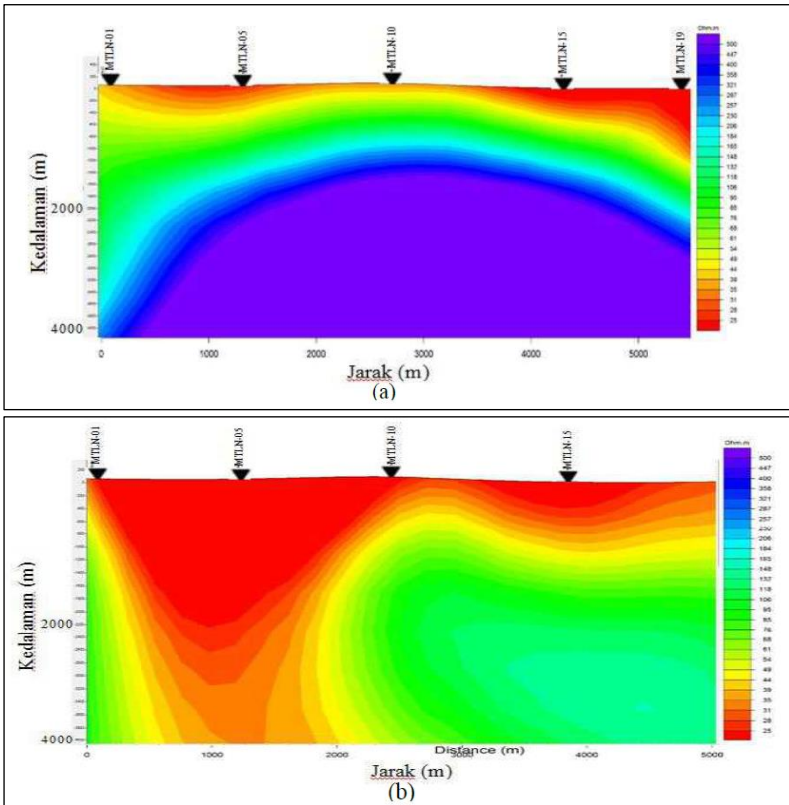


(b)



(a)

Gambar 2.9 Hasil pemodelan X-section untuk line 1 (a). data dengan mode TE, (b) data dengan mode TM (Nuraini, 2017)



Gambar 2.10 Hasil pemodelan 2-D data magnetotelurik (a) data dengan mode TE, (b) data dengan mode TM (Nuraini, 2017)

Penelitian kelima telah dilakukan oleh Rahmawati dkk., (2018) dengan judul “Identifikasi Sistem Panas Bumi daerah Cangar, Jawa Timur Menggunakan Metode Magnetotelurik”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran resistivitas sehingga dapat diketahui sistem panas bumi yang ada di daerah penelitian. Akuisisi data magnetotelurik dilakukan sebanyak 11 titik dengan spasi 70 meter sampai 150 meter yang terbagi menjadi 5 lintasan. Berdasarkan hasil pengolahan data magnetotelurik diperoleh rentang nilai resistivitas berkisar antara $4 \Omega\text{m} - 2000 \Omega\text{m}$. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa sistem panas bumi di daerah Cangar terdiri dari lapisan penudung ($\leq 21 \Omega\text{m}$), lapisan reservoir ($21 \Omega\text{m} - 167 \Omega\text{m}$) dan lapisan sumber panas ($\geq 167 \Omega\text{m}$). Panas bumi Cangar diduga dikontrol oleh patahan Cangar.

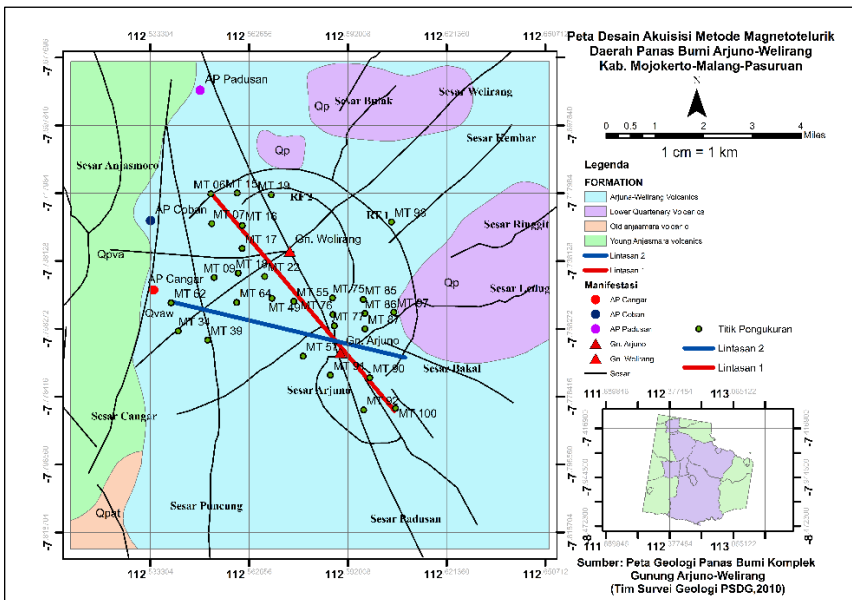
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Perangkat dan Data

Penelitian ini menggunakan 30 data magnetotelurik dalam format .EDI dan 30 data TDEM dalam format .USF daerah Arjuno Welirang hasil akuisisi PT Elnusa Tbk. Data magnetotelurik dan TDEM pada penelitian ini diolah dengan menggunakan perangkat lunak *WinGLink*.

3.2 Desain Pengukuran Magnetotelurik

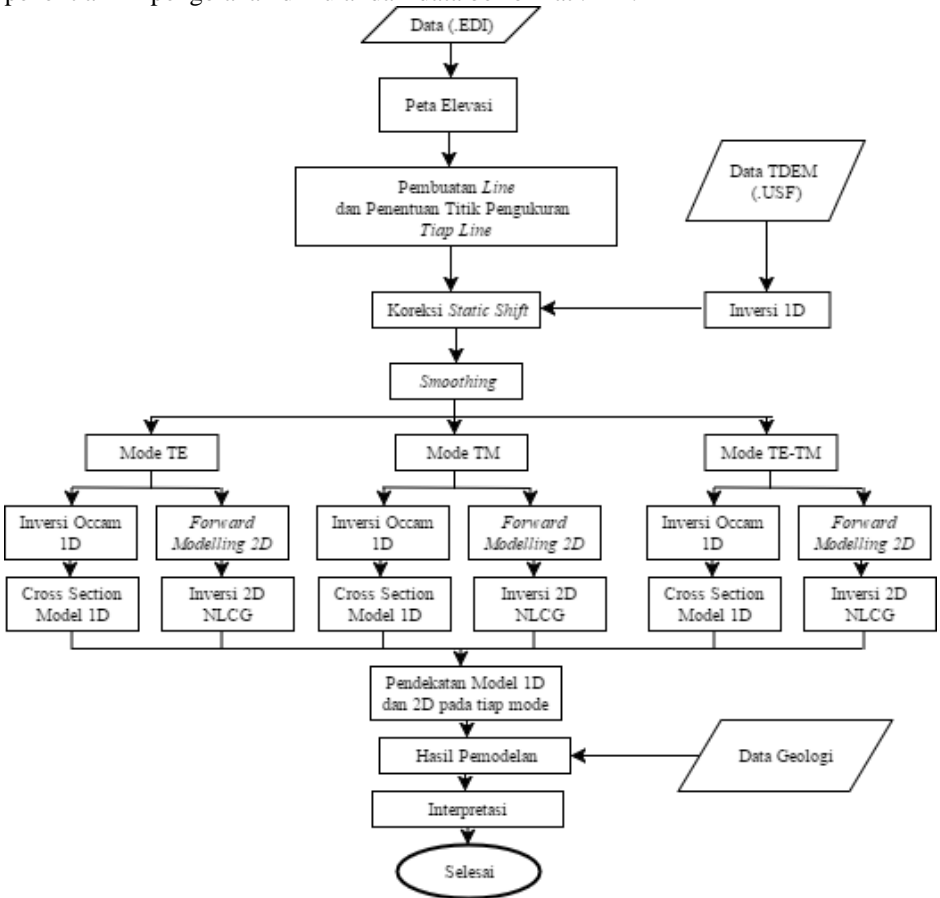
Daerah penelitian berada di Daerah Panas Bumi Arjuno-Welirang sejumlah 2 lintasan (gambar 3.1). Lintasan 1 membentang dari baratlaut - tenggara yang terdiri dari 19 titik pengukuran, sedangkan lintasan 2 membentang dari arah barat ke timur yang terdiri dari 16 titik pengukuran. Berdasarkan gambar 3.1, daerah penelitian berada pada Formasi Gunungapi Arjuno Welirang (Qvaw). Sesar yang mengontrol panas bumi di daerah penelitian adalah Sesar Welirang dan Sesar Padusan.



Gambar 3.1 Desain Akuisisi Penelitian

3.3 Diagram Alir Penelitian

Proses pengolahan data magnetotelurik hingga interpretasi dapat terdapat pada diagram alir dibawah ini (gambar 3.2). Pengolahan data pada penelitian ini pengolahan dimulai dari data berformat .EDI.



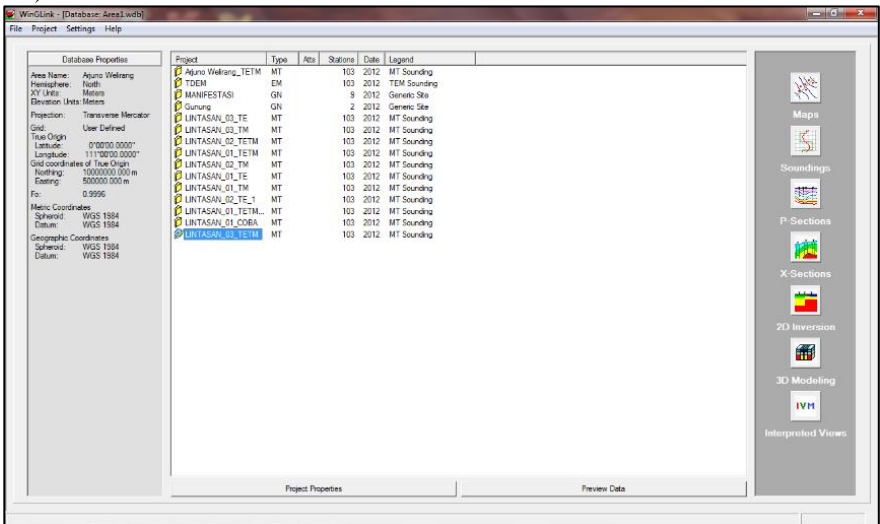
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Alur dari penelitian ini dimulai dari *import* data magnetotelurik dengan format .EDI kemudian menampilkan peta elevasi untuk membuat lintasan pengukuran dan titik yang akan digunakan, setelah itu dilakukan koreksi *static shift* menggunakan data TDEM yang dilanjutkan dengan *smoothing* data tahap lanjut. Data yang telah dilakukan *smoothing* kemudian dilakukan inversi 1-D untuk mode TE, TM, dan TE-TM yang selanjutnya ditampilkan model *cross section* dari lintasan tersebut, selanjutnya dilakukan pemodelan inversi 2-D

dengan mode TE, TM dan TE-TM. Adapun penjelasan langkah prosedur dijelaskan pada bagian-bagian dibawah ini.

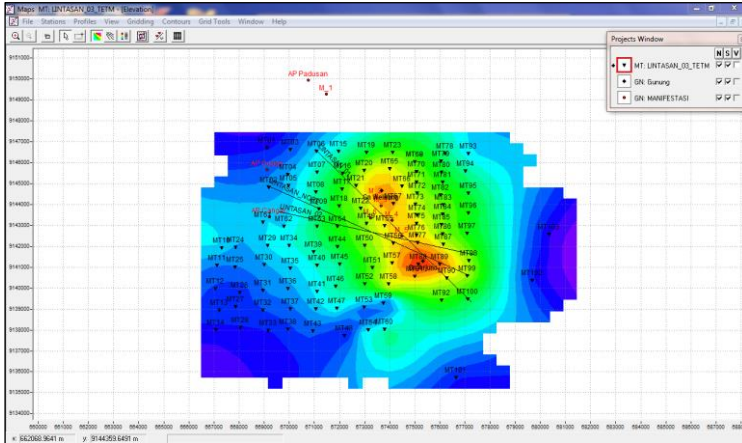
3.3.1 Pembuatan Lintasan dan Titik Pengukuran

Penelitian tugas akhir ini dimulai dari pengolahan data magnetotelurik dengan format .EDI yang dapat dibuka dan diolah dengan menggunakan perangkat lunak *WinGLink*. Data magnetotelurik dengan format .EDI didapatkan dari proses pengolahan *robust processing* dan *crosspower*. Pada pengolahan dengan menggunakan perangkat lunak *WinGLink*, hal yang pertama kali dilakukan adalah membuat *database* dan *project* serta *import* data .EDI (gambar 3.3).



Gambar 3.3 Tampilan Awal WinGLink

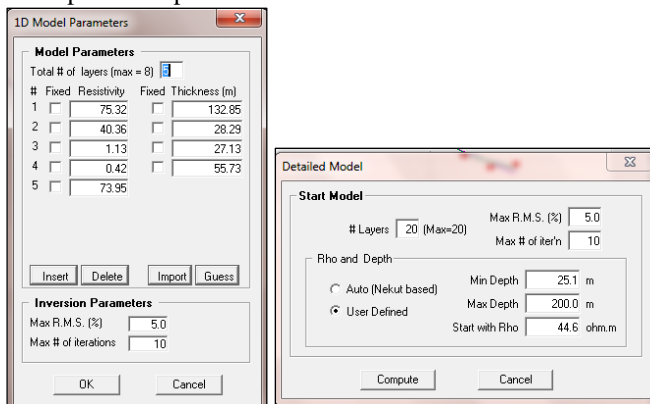
Data magnetotelurik dengan format .EDI yang telah di *import* ke *project* kemudian dilakukan *plotting* koordinat pada peta yang terdapat pada menu “MAPS” sehingga menghasilkan peta elevasi pada wilayah pengukuran. Setelah itu dilakukan *profiling* atau pembuatan lintasan pada peta sesuai titik pengukuran. Proses ini berguna sebagai menentukan wilayah yang akan dilakukan permodelan. Peta elevasi tersebut menggambarkan desain akuisisi dari data yang akan diolah, peta elevasi untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.4.



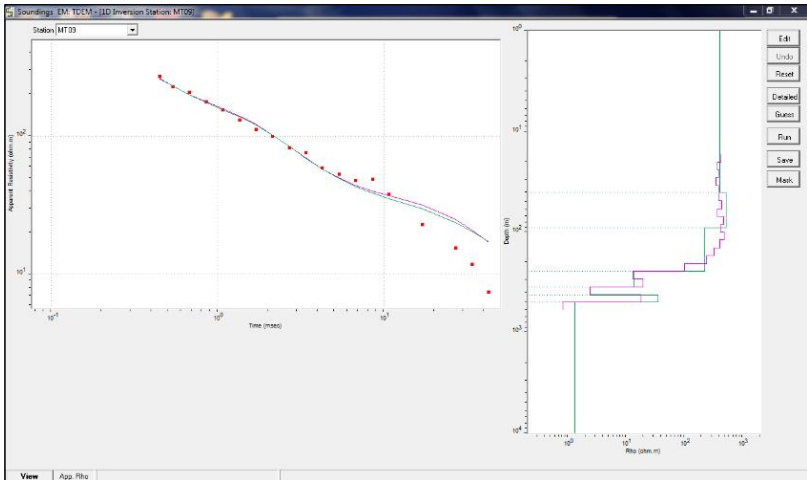
Gambar 3.4 Peta Elevasi Lintasan

3.3.2 Pengolahan Data TDEM (*Time Domain Electromagnetic*)

TDEM (*Time Domain Electromagnetic*) adalah metode elektromagnetik aktif yang memanfaatkan difusi dari gelombang elektromagnetik untuk membedakan lapisan di bawah permukaan berdasarkan perbedaan nilai konduktivitas atau resistivitas batuan. Pengukuran TDEM dilakukan pada frekuensi diatas 100 Hz sehingga hasilnya akan lebih akurat pada lapisan dangkal. Pengolahan inversi 1-D data TDEM menggunakan model parameter sebanyak 8 layer sedangkan untuk *detail* model menggunakan layer sebanyak 20. Maksimal RMS yang digunakan sebesar 5% dengan iterasi 10 serta parameter kedalaman maksimum 200 meter (gambar 3.5). Adapun hasil inversi 1-D terdapat pada gambar 3.6, hasil inversi 1-D TDEM leseluruh lintasan 1 dan lintasan 2 terdapat di lampiran.



Gambar 3.5 Parameter Inversi TDEM



Gambar 3.6 Inversi 1-D TDEM di sekitar titik MT09

3.3.3 Koreksi *Static Shift* dan *Smoothing*

Setelah dilakukan pengolahan TDEM selanjutnya dilakukan koreksi *static shift* yang terdapat pada menu “*SOUNDING*” pada perangkat lunak *WinGLink*. Koreksi *static shift* dilakukan pada kurva TE (*transverse electric*) yang berwarna merah dan kurva TM (*transverse magnetic*) untuk menghilangkan efek statik yang biasa terjadi di lapisan dangkal pada data. Efek statik menyebabkan kurva TE dan kurva TM menjadi terpisah yang idealnya dalam kondisi berhimpit. Pada penelitian ini koreksi *static shift* dilakukan dengan menggunakan data *Time Domain Elektromagnetic* (TDEM). Hal tersebut dikarenakan TDEM hanya melibatkan pengukuran medan magnet sekunder akibat terjadinya induksi medan magnet primer sehingga data TDEM tidak mengalami efek *static shift*. Pengolahan koreksi *static shift* dilakukan pada masing-masing titik pengukuran, salah satu contoh titik MT sebelum dilakukan koreksi *static shift* dan sesudah dilakukan koreksi *static shift* terdapat pada gambar 3.7 dan 3.8.



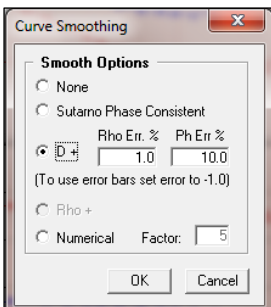
Gambar 3.7 Titik MT09 sebelum dilakukan koreksi static shift



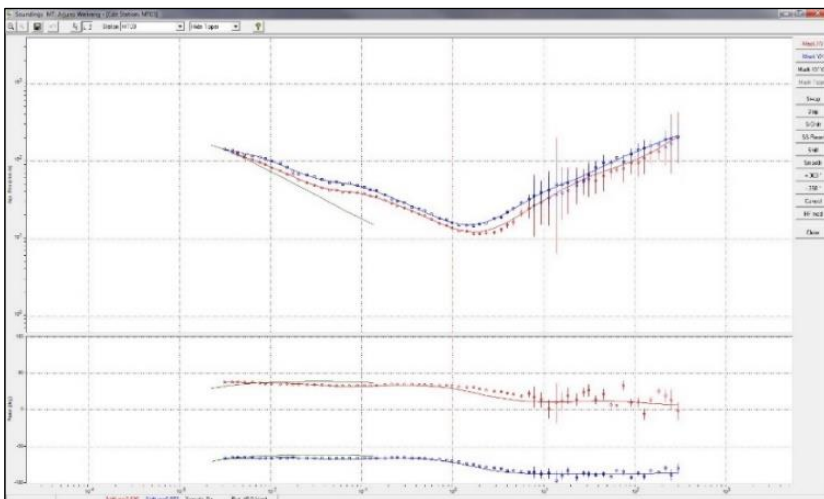
Gambar 3.8 Titik MT09 setelah dilakukan koreksi static shift

Proses *smoothing* adalah proses penghalusan kurva magnetotelurik berdasarkan pola kurva *rho apparent* terhadap pola kurva derajat fase magnetotelurik. Proses *smoothing* pada penelitian ini menggunakan metode D+ yaitu metode *smoothing* untuk membuat kurva *smoothing* berdasarkan nilai pada kurva TE-TM dan kurva fase dengan batas error yang ditentukan pada masing-masing kurva. Parameter *rho error* yang digunakan sebesar 1% dan *phase error*

sebesar 10% (gambar 3.9). Hasil kurva MT yang telah dilakukan proses *smoothing* terdapat pada gambar 3.10.



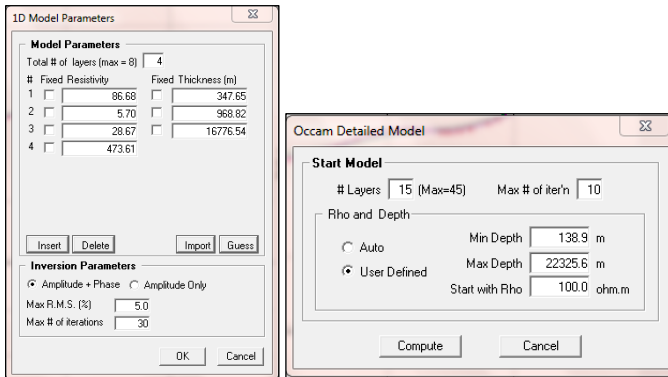
Gambar 3.9 Parameter *smoothing*



Gambar 3.10 Titik MT09 setelah *smoothing*

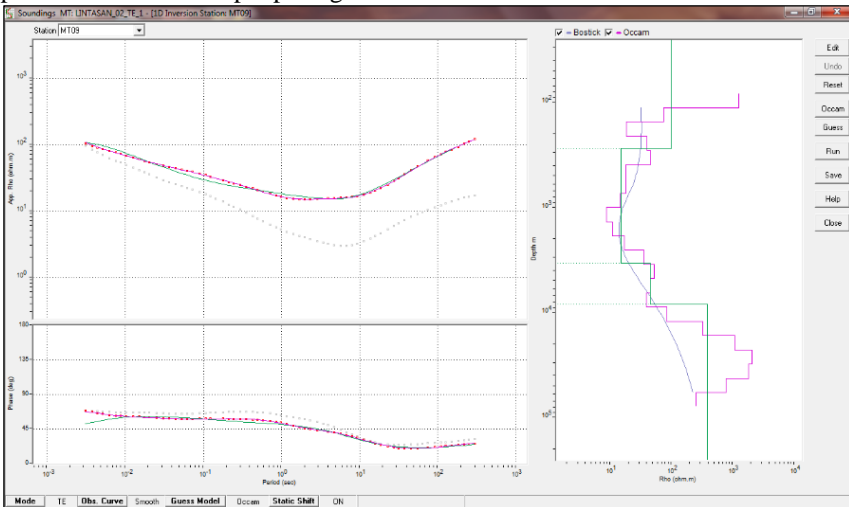
3.3.4 Pemodelan Inversi 1-D

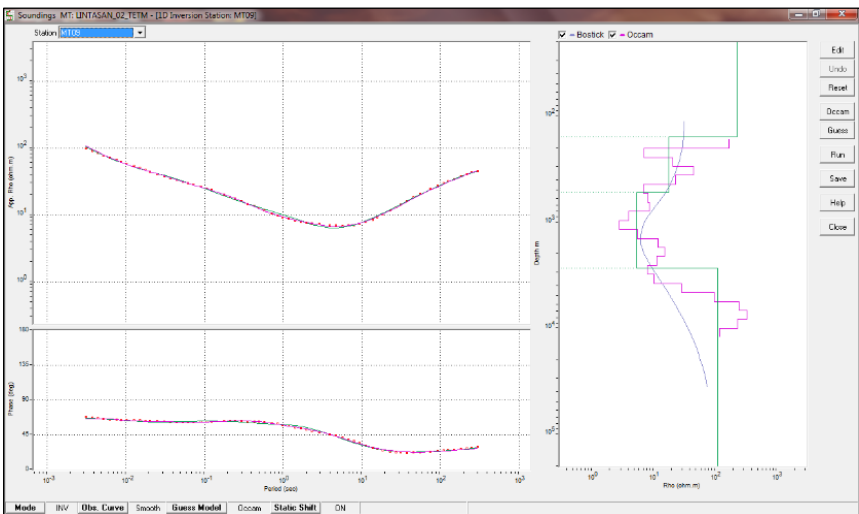
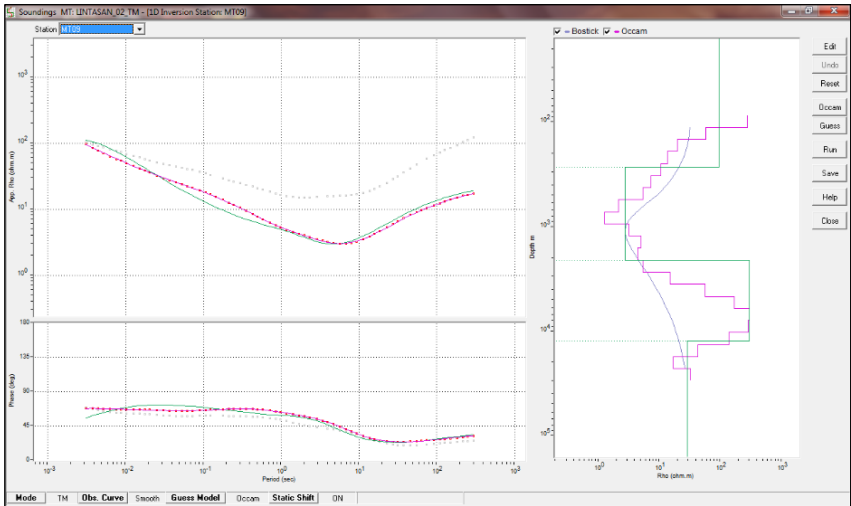
Pada pengolahan inversi 1-D data magnetotelurik pada perangkat lunak *WinGLink*, algoritma yang digunakan adalah Occam. Parameter inversi 1-D terdiri dari sejumlah 4 *layer*, nilai maksimum RMS yang ditentukan secara *default* yaitu 5 dan dan maksimum iterasi yang ditentukan secara *default* yaitu 30. Sedangkan parameter inversi Occam terdiri dari jumlah *layer* sejumlah 4, nilai maksimum iterasi sebanyak 10 kali, *start resistivity* sebesar 100 Hz dan kedalaman minimum serta kedalaman maksimum yang ditentukan secara *default* (gambar 3.11).



Gambar 3.11 Parameter inversi 1-D

Pemodelan inversi 1-D pada penelitian ini dibuat berdasarkan kurva hasil *smoothing*. Inversi 1-D ini dilakukan dalam 3 mode (Mode TE, Mode TM dan Mode TE-TM). Hasil inversi 1-D mode TE, mode TM dan mode TE-TM pada titik MT09 terdapat pada gambar 3.12.

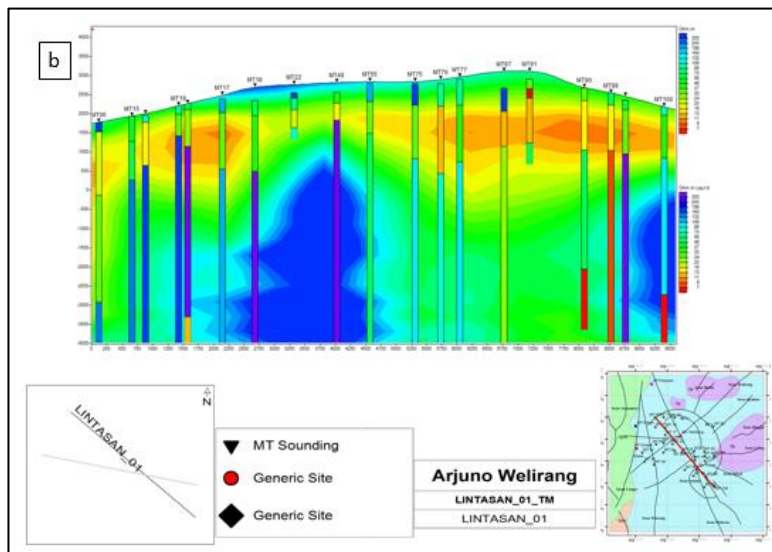
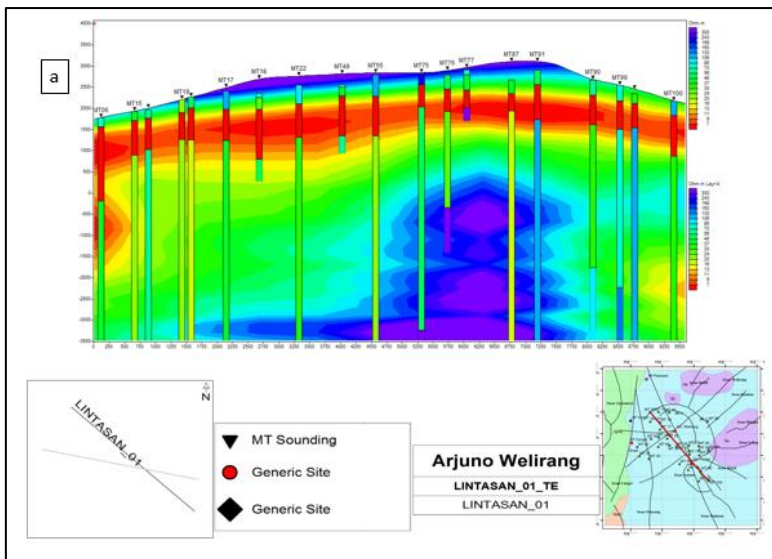


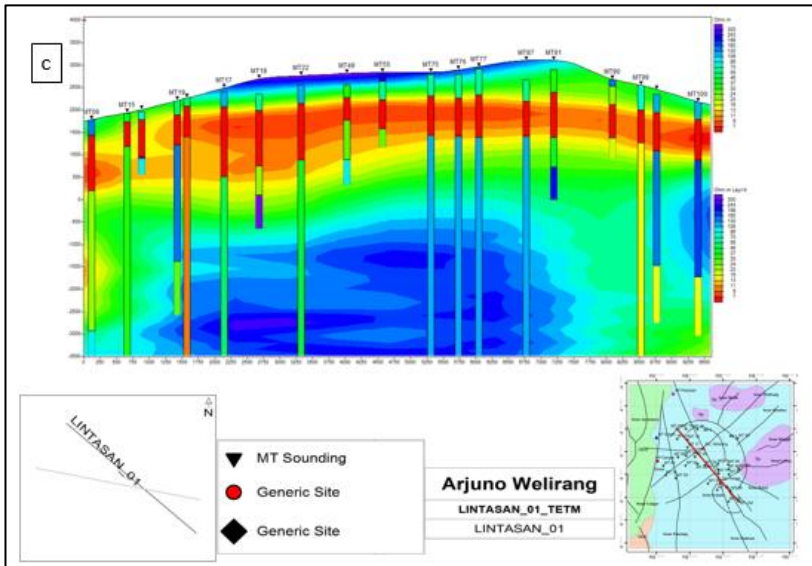


Gambar 3.12 Hasil Inversi 1-D titik MT09 dengan menggunakan (a) mode TE (b) mode TM dan (c) mode TE-TM

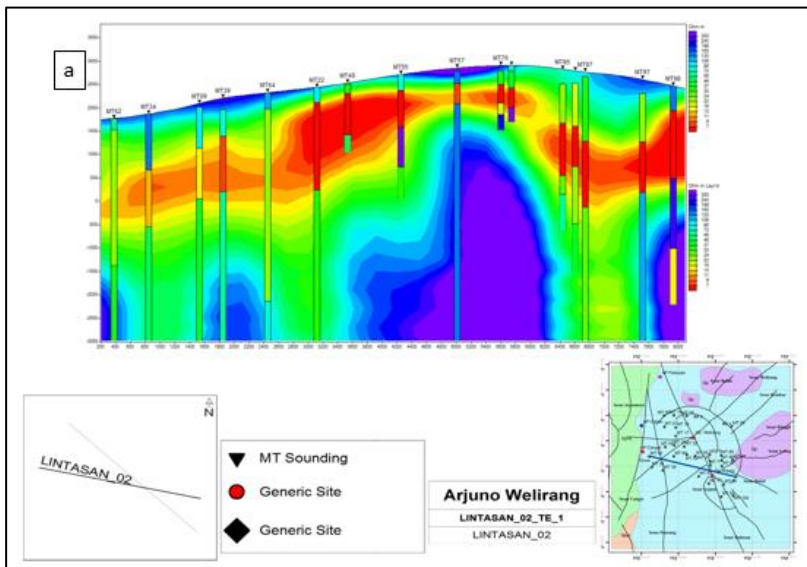
Cross section merupakan hasil pemodelan inversi 1-D pada masing-masing titik pengukuran dalam satu lintasan yang dikorelasikan dan ditampilkan dalam bentuk penampang jarak dan elevasi. Parameter yang digunakan pada *cross section* adalah faktor interpolasi. Titik *sounding* merupakan visualisasi titik pengukuran yang telah dilakukan inversi 1-D. Hasil *cross section* dengan

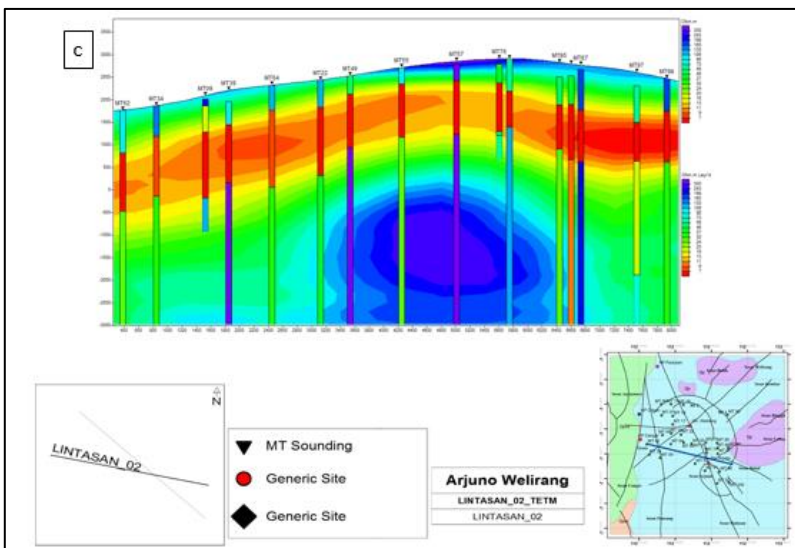
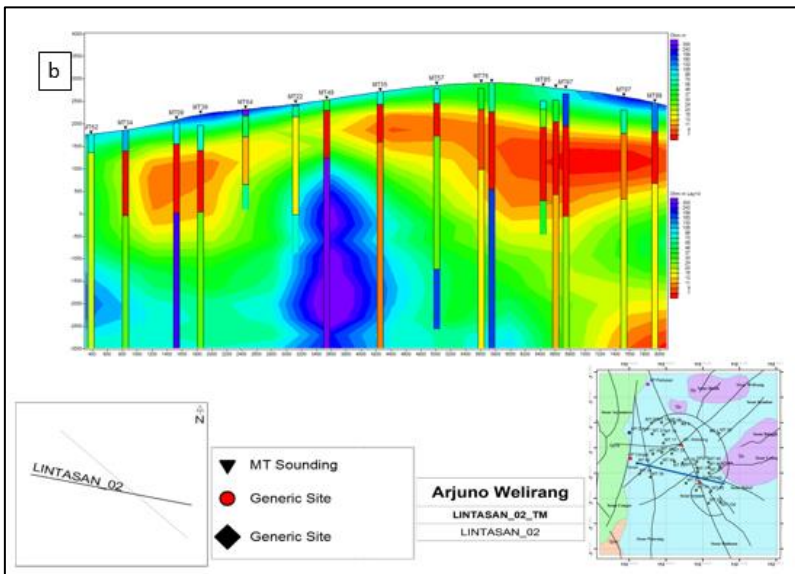
interpolasi sejumlah 5 pada mode TE, mode TM dan mode TE-TM terdapat pada gambar 3.13 (lintasan 1) dan gambar 3.14 (lintasan 2).





Gambar 3.13 Cross Section Lintasan 1 (a) Mode TE (b) Mode TM dan (c) Mode TE-TM



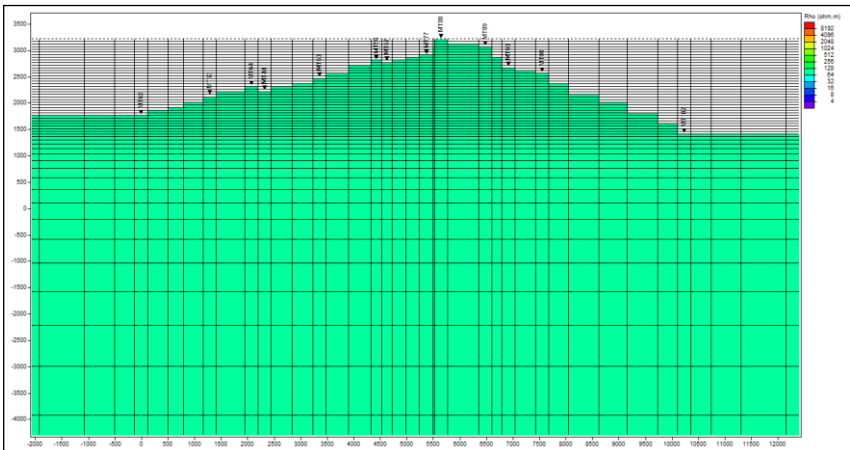


Gambar 3.14 Cross Section Lintasan 2 (a) Mode TE (b) Mode TM dan (c) Mode TE-TM

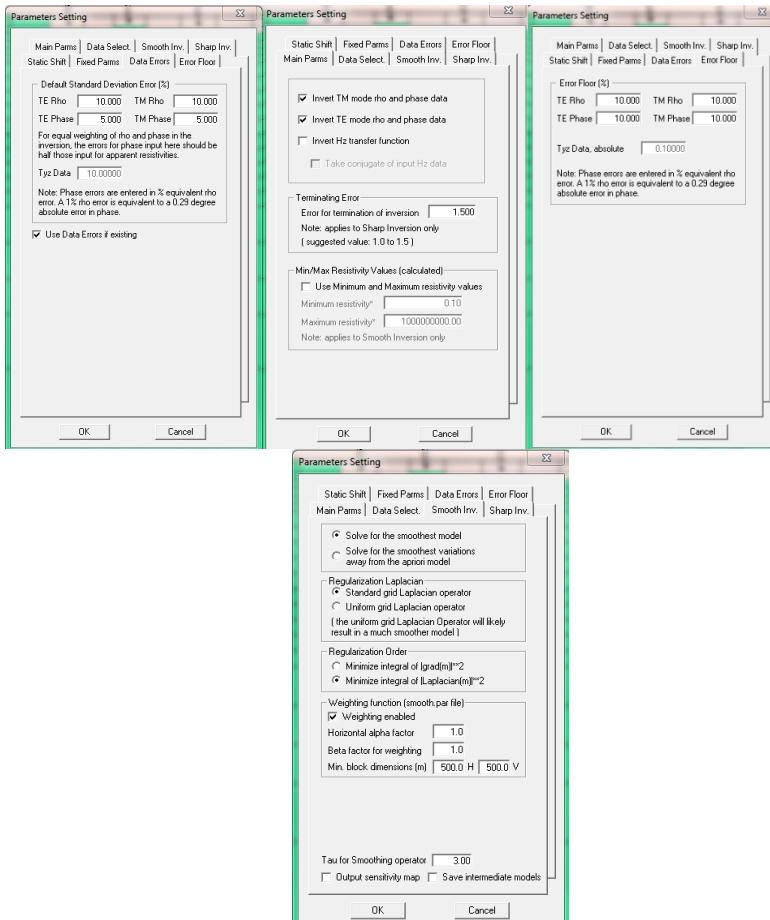
3.3.5 Pemodelan Inversi 2-D *Non-Linear Conjugate Gradient* (NLCG)

Setelah dilakukan inversi 1-D, pengolahan selanjutnya adalah membuat model inversi 2-D yang ada pada menu “2-D INVERSION” pada perangkat lunak *WinGLink*. Analisis yang dilakukan dalam proses inversi ini adalah analisis data lapangan dengan cara melakukan pencocokan antara model secara matematis dengan data lapangan. Tujuan untuk membuat pemodelan 2-D adalah untuk mendapatkan distribusi nilai resistivitas bawah permukaan terhadap kedalaman serta untuk estimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*). Seperti halnya pengolahan pada inversi 1-D, pada pengolahan 2-D ini dilakukan dengan 3 mode, yaitu mode TE, mode TM dan mode TE-TM. Hasil dari pemodelan 2-D nantinya akan diinterpretasi untuk mengetahui kondisi bawah permukaan.

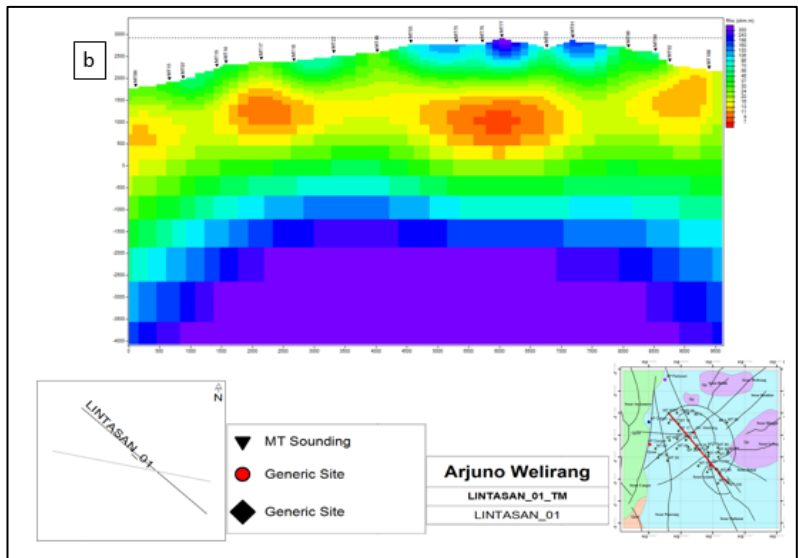
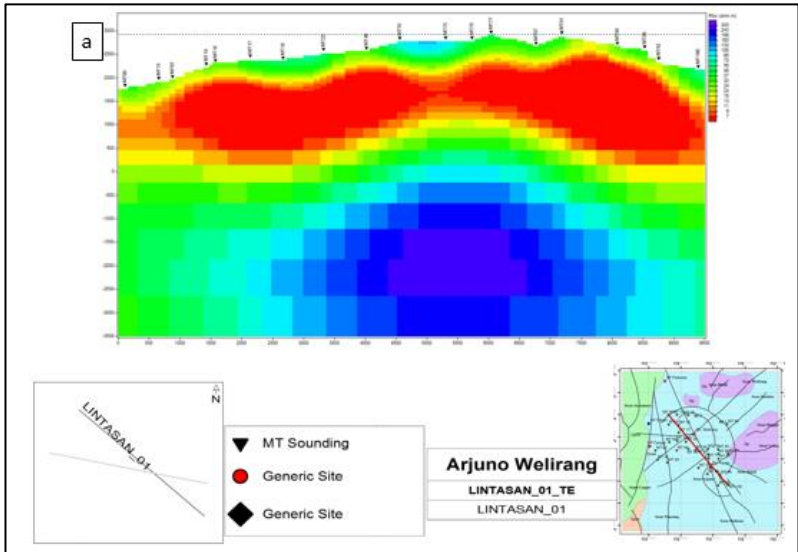
Pemodelan inversi 2-D dimulai dengan menentukan parameter mesh *initial* model, pada penelitian ini menggunakan parameter ‘*reset mesh to default*’ dan pilih ‘*user define*’ sehingga didapatkan model awal seperti pada gambar 3.15. Proses yang dilakukan setelah membuat model awal yaitu mengatur parameter inversi yang digunakan, antara lain mengatur mode yang digunakan, nilai resistivitas minimum, jumlah kelipatan (*decade*), nilai *smoothing* faktor tau, *rho* dan *phase error floor*. Pada penelitian ini mode yang digunakan adalah mode TE, TM dan TE-TM, nilai resistivitas maksimum sebesar 300 Ωm , nilai decade sebesar 4, nilai frekuensi decade berjumlah 5 (100Hz, 10 Hz, 1 Hz, 0.1 Hz, 0.01 Hz) dan nilai tau yang diinput adalah 3. Iterasi inversi 2-D yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 30 iterasi. Parameter inversi 2-D terdapat pada gambar 3.16 sehingga menghasilkan pemodelan inversi 2-D yang terdapat pada gambar 3.17 dan 3.18.

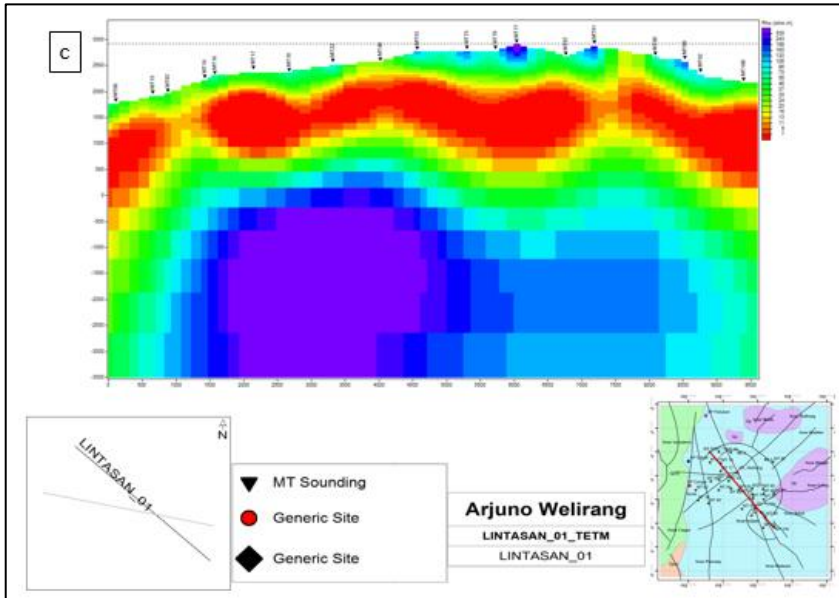


Gambar 3.15 Model Awal Penampang Resistivitas 2-D

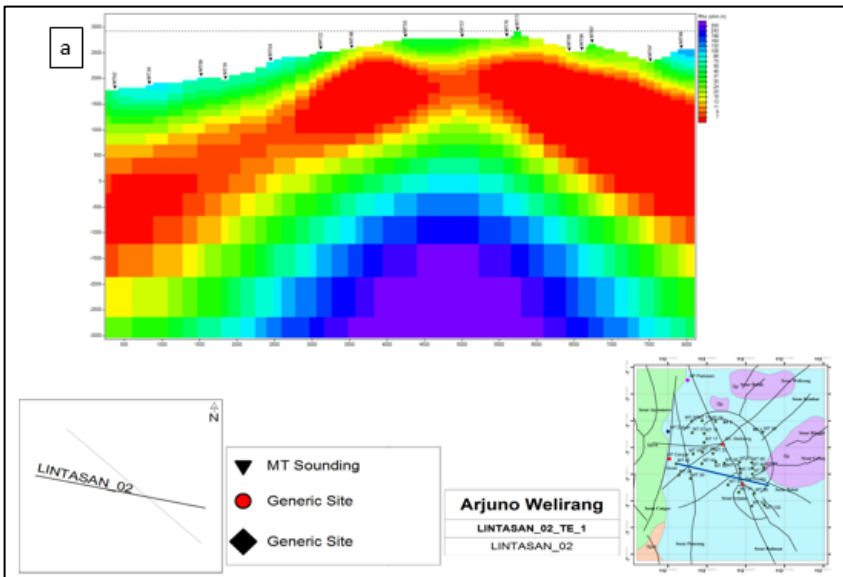


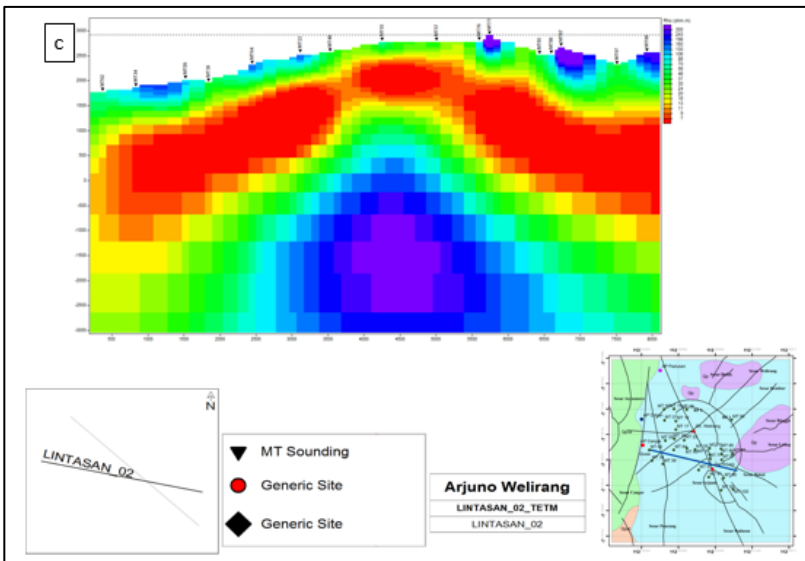
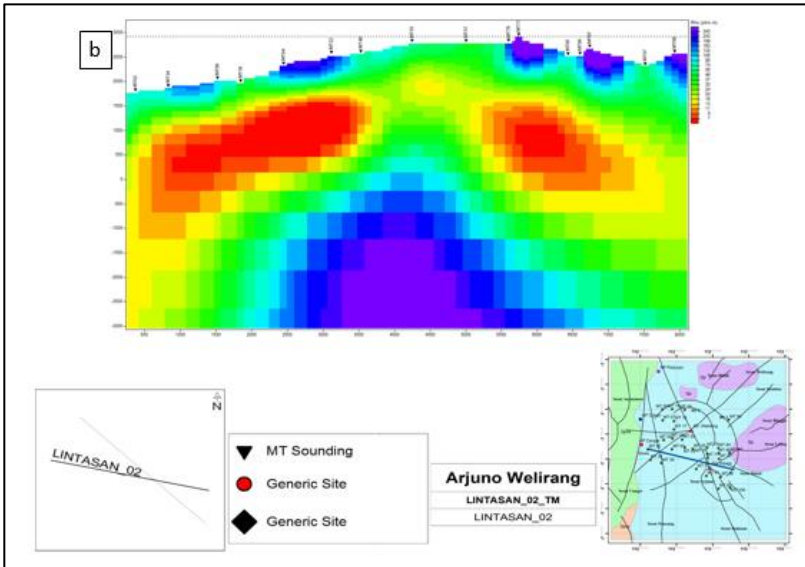
Gambar 3.16 Parameter Inversi 2-D





Gambar 3.17 Hasil Inversi 2-D Lintasan 1 (a) Mode TE (b) Mode TM dan (c) Mode TE-TM





Gambar 3.18 Hasil Inversi 2-D Lintasan 2 (a) Mode TE (b) Mode TM dan (c) Mode TE-TM

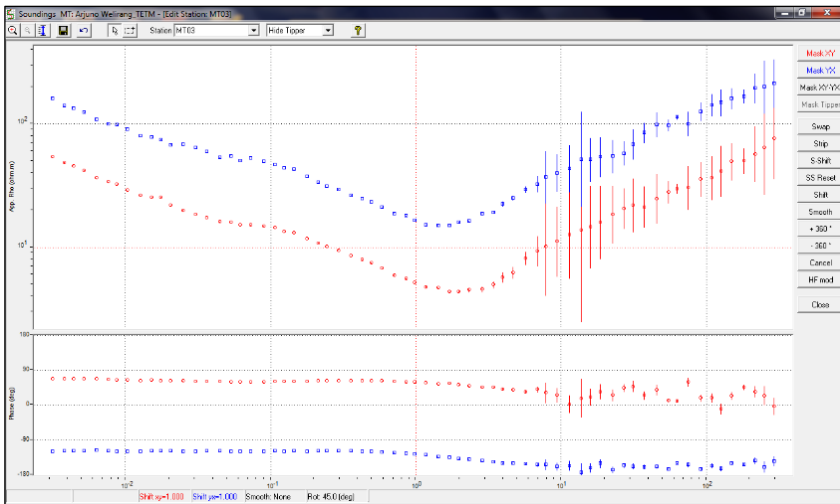
HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

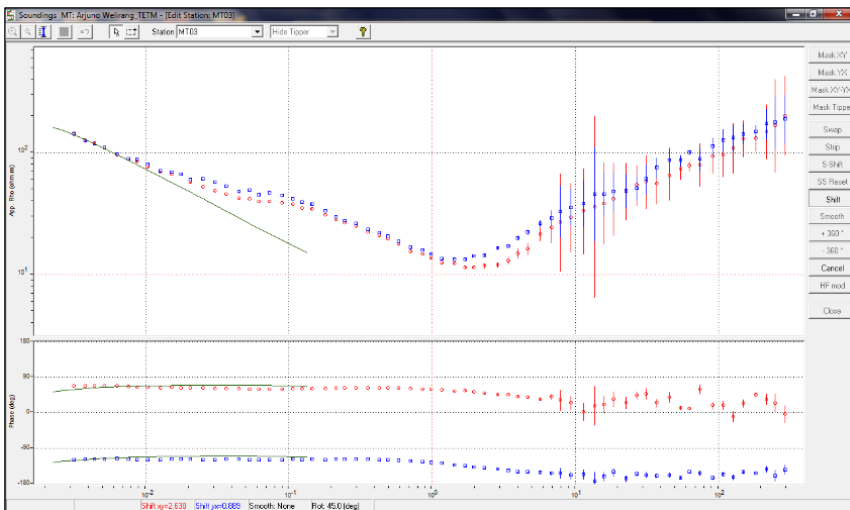
4.1 Koreksi *Static Shift*

Pada pengukuran magnetotelurik terdapat kemungkinan terjadinya *static shift* yang dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: heterogenitas dekat permukaan, efek topografi dan adanya kontak vertikal (struktur). Data magnetotelurik yang mengalami distorsi yang disebabkan oleh heterogenitas lokal dekat permukaan disebabkan oleh akumulasi muatan listrik pada batas konduktivitas medium, menimbulkan medan listrik sekunder yang tidak bergantung pada frekuensi. Hal tersebut menyebabkan kurva *sounding* magnetotelurik dapat bergeser ke atas ataupun ke bawah. Data magnetotelurik yang mengalami distorsi yang disebabkan oleh topografi terjadi apabila medan magnet listrik tegak lurus dengan strike dari topografi, dengan kata lain hanya terjadi pada mode TM (*transverse magnetic*) yang selalu berasosiasi dengan efek galvanik. Oleh karena itu, resistivitas semu akibat efek *galvanic* bernilai tinggi pada bagian lembah dan bernilai rendah pada bagian puncaknya. Terdapat perbedaan karakter pada data magnetotelurik yang mengalami distorsi yang disebabkan oleh kontak vertikal, yaitu pergeseran tidak terjadi pada periode rendah namun terjadi pada periode tinggi, seperti *splitting curve*.

Untuk menghilangkan atau mengurangi *static shift* tersebut, diperlukan koreksi *static shift*. Terdapat dua informasi pada pengolahan data magnetotelurik, yaitu mode TE (*transverse electric*) dan mode TM (*transverse magnetic*). Kedua informasi tersebut dapat dilihat pada kurva *rho apparent* yang terbagi menjadi dua kurva, yaitu kurva XY (kurva mode TE) dan kurva YX (kurva mode TM). Kurva TE dan kurva TM mempunyai kecenderungan pola yang berbeda, tetapi idealnya kedua kurva saling berimpit. Pada data pengukuran, kedua kurva jarang ditemui berimpit. Hal tersebut menyebabkan keambiguitasan informasi bawah permukaan yang disebabkan oleh nilai-nilai *rho apparent* kedua kurva tidak memiliki kemiripan. Sehingga pada studi kasus tersebut diperlukan koreksi *static shift*. Pada penelitian ini koreksi *static shift* dilakukan dengan menggunakan data TDEM (*Time Domain Electromagnetic*) yang diukur di sekitar masing-masing titik pengukuran. Data TDEM tidak mengalami *static shift* karena TDEM hanya melibatkan pengukuran medan magnet sekunder akibat terjadinya induksi medan magnet primer. Koreksi *static shift* dengan menggunakan data TDEM pada penelitian ini dilakukan dengan menggeser kurva TE dan TM pada titik di frekuensi 320 Hz, hal tersebut dikarenakan *static shift* biasanya terjadi pada kedalaman dangkal sehingga kurva akan berhimpit pada frekuensi 320 Hz dan titik kurva lainnya mengikuti polanya masing-masing. Pengolahan koreksi *static shift* dilakukan pada masing-masing titik pengukuran, salah satu contoh titik MT sebelum dilakukan koreksi *static shift* dan sesudah dilakukan koreksi *static shift* terdapat pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Titik MT09 sebelum dilakukan koreksi *static shift*



Gambar 4.2 Titik MT09 setelah dilakukan koreksi *static shift*

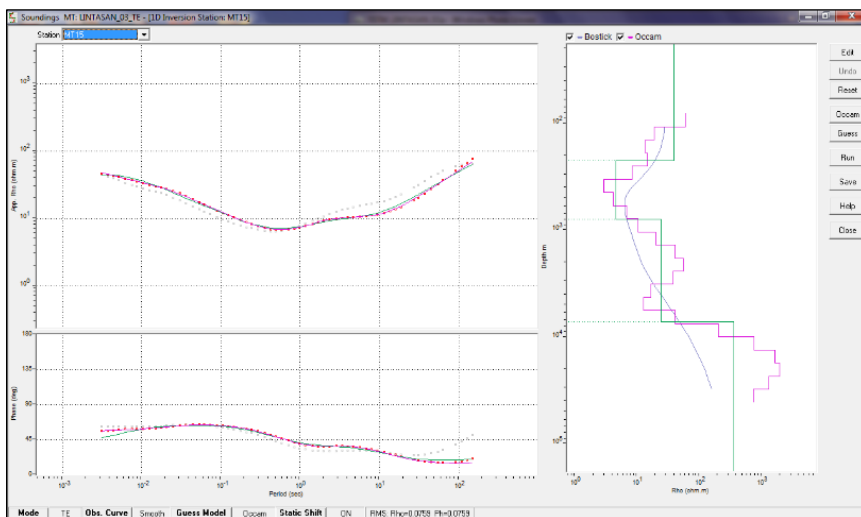
Pada kurva resistivitas terhadap periode (gambar 4.1) sebelum dilakukan koreksi *static shift* dapat diketahui bahwa pada frekuensi 320 Hz kurva TE (merah) bernilai sebesar 54,5 Ωm dan kurva TM (biru) bernilai 162,1 Ωm . Berdasarkan nilai rho data TDEM titik MT09 pada frekuensi yang sama (320 Hz) sebesar 143,6 Ωm , sehingga kurva TE dan kurva TM digeser sesuai dengan

nilai pada data TDEM. Pada penelitian ini, koreksi *static shift* hanya dilakukan pada kedalaman yang dangkal (frekuensi 320 Hz) karena data magnetotelurik kurang akurat dalam merekam pada kedalaman yang dangkal. Pengolahan koreksi *static shift* lintasan 1 dan lintasan 2 terdapat pada lampiran.

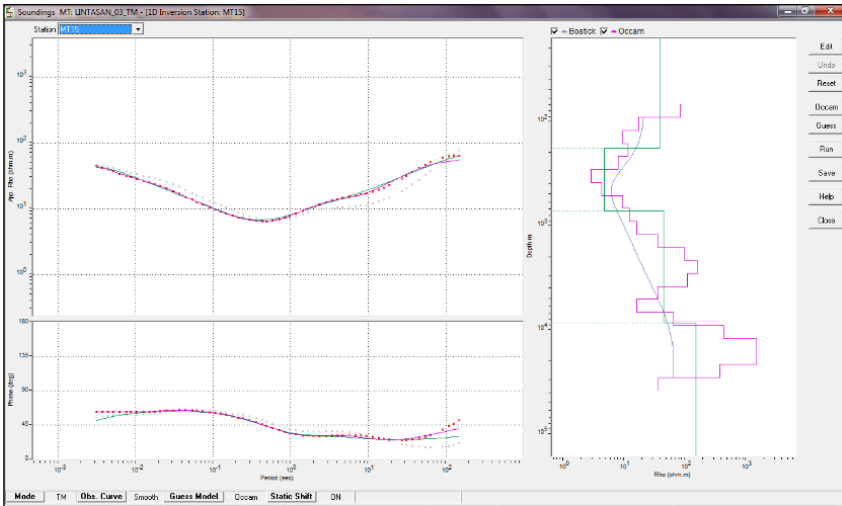
4.2 Hasil Pemodelan Inversi 1-D

Inversi 1-D pada penelitian ini menggunakan algoritma *Occam*. Data setiap titik pengukuran pada setiap lintasan akan dimodelkan 1-D pada mode TE, mode TM dan mode TE-TM. Pada inversi 1-D terdapat dua kurva yang terdiri dari kurva kalkulasi dan kurva observasi. Kurva *sounding* berisi informasi nilai resistivitas terhadap kedalaman. Pada tahap ini dilakukan pergeseran-pergeseran kurva kalkulasi agar mendekati tren kurva observasi, sehingga kedua kurva saling berhimpitan dan menghasilkan nilai *error* yang terkecil.

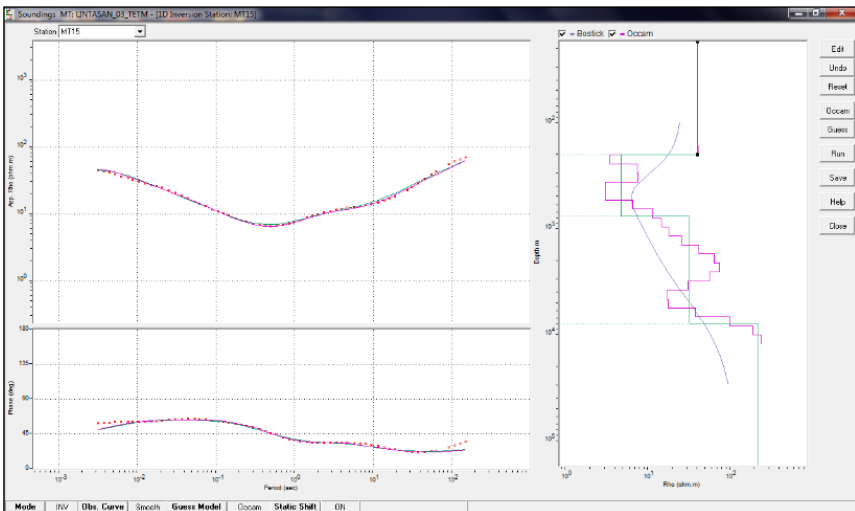
Berikut adalah hasil pemodelan inversi 1-D salah satu titik (MT15) pada lintasan 1 dengan menggunakan mode TE (gambar 4.3), selain itu dilakukan pula pemodelan inversi 1-D dengan menggunakan mode TM (gambar 4.4) dan mode TE-TM (4.5).



Gambar 4.3 Inversi 1-D dengan mode TE pada lintasan 1 titik MT15



Gambar 4.4 Inversi 1-D dengan mode TM pada lintasan 1 titik MT15



Gambar 4.5 Inversi 1-D dengan mode TE-TM pada lintasan 1 titik MT15

Pemodelan inversi 1-D mode TE pada lintasan 1 dilakukan untuk seluruh titik *sounding* dan diperoleh nilai *RMS error* maksimum dari masing-masing mode. *RMS error* pada mode TE lintasan 1 sebesar 0.0811, pada mode TM sebesar 0.0897 dan pada mode TE-TM sebesar 0.1147. Pada titik MT15 ini dapat diketahui bahwa nilai resistivitas yang dihasilkan perkedalam diperoleh dari proses mencocokkan kurva kalkulasi (kurva kanan) dengan kurva observasi

(kurva kiri), sehingga didapatkan bentuk kurva yang paling ideal dengan nilai *error* terkecil.

Perbedaan kurva yang dihasilkan dari data dengan mode TE (gambar 4.3), mode TM (gambar 4.4) dan mode TE-TM (gambar 4.5) menyebabkan perbedaan nilai resistivitas yang dihasilkan dan juga perbedaan kedalaman untuk setiap titik sounding. Perbedaan tersebut terjadi akibat perbedaan nilai *rho apparent* dan *phase* dari setiap kurva TE dan TM. Perbedaan bentuk hasil inversi kurva kalkulasi dan kurva observasi dari masing-masing mode tidak begitu mencolok, sehingga nilai resistivitas yang dihasilkan tidak begitu berbeda. Kurva observasi masing-masing mode berbentuk sesuai dengan kurva sistem panas bumi, yaitu kurva dengan nilai resistivitas resistif – konduktif – resistif, sebagaimana dapat dilihat bahwa pada kurva observasi berbentuk seperti huruf ‘V’. Perbedaan nilai resistivitas pada kurva observasi mode TE dan TM terdapat pada frekuensi rendah 1 Hz s.d 0,01 dan pada mode TE bernilai lebih konduktif dibandingkan dengan mode TM yang lebih resistif. Sementara itu kurva observasi pada mode TE-TM berada diantara kurva mode TE dan kurva mode TM.

4.3 Cross Section

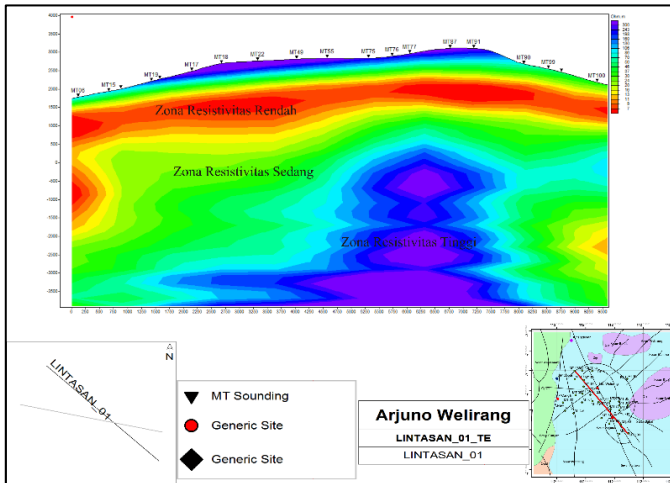
4.3.1 Cross Section Lintasan 1

Cross section adalah penampang korelasi dan hasil interpolasi inversi 1-D yang terdiri dari titik-titik pengukuran dalam satu lintasan. Berdasarkan penampang *cross section* lintasan 1 yang membentang dari barat laut ke tenggara mode TE (gambar 4.6), dapat diketahui bahwa terdapat tiga zona resistivitas yang terdiri dari zona resistivitas rendah, zona resistivitas sedang dan zona resistivitas tinggi. Zona resistivitas rendah dengan nilai resistivitas sebesar 7-12 Ωm memiliki ketebalan yang hampir sama hingga ke arah tenggara yaitu setebal 2000 m yang menipis ke arah tenggara. Zona resistivitas sedang dengan nilai resistivitas sebesar 13 – 65 Ωm memiliki ketebalan sebesar 500 m dan terdapat zona dengan resistivitas tinggi ditengahnya dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm . Zona resistivitas tinggi dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm setebal 3500 m pada jarak 4500 – 7500 m dari titik pertama pada lintasan 1 atau diantara titik MT55 dan MT91.

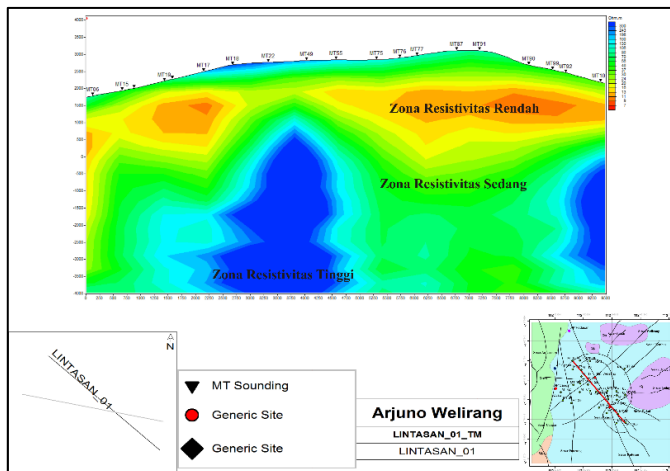
Pada penampang *cross section* lintasan 1 mode TM (gambar 4.7), zona resistivitas rendah bernilai lebih tinggi daripada mode TE yaitu sebesar 11-18 Ωm setebal 1500 m yang menebal ke arah tenggara. Zona resistivitas sedang dengan nilai resistivitas sebesar 20– 65 Ωm memiliki ketebalan sebesar 500 m dan terdapat zona dengan resistivitas tinggi ditengahnya dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm . Zona resistivitas tinggi dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm setebal 3500 m pada jarak 2500 – 4500 m dari titik pertama pada lintasan 1 atau diantara titik MT17 dan MT55.

Berdasarkan penampang *crosssection* lintasan 1 mode TE-TM (gambar 4.8), zona resistivitas rendah dengan nilai resistivitas sebesar 7-12 Ωm setebal

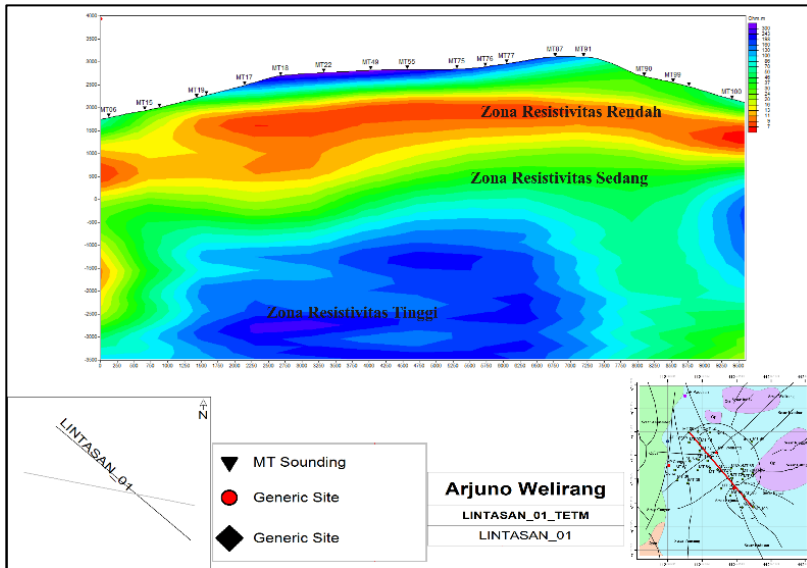
1700 m yang menipis ke arah tenggara. Zona resistivitas sedang dengan nilai resistivitas sebesar 13 – 65 Ωm setebal 3500 m yang menebal ke arah tenggara dan terdapat zona dengan resistivitas tinggi ditengahnya dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm . Zona resistivitas tinggi dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm setebal 2500 m pada jarak 1250 – 7200 m dari titik pertama pada lintasan 1 atau diantara titik MT19 dan MT91.



Gambar 4.6 Penampang *cross section* lintasan 1 mode TE



Gambar 4.7 Penampang *cross section* lintasan 1 mode TM



Gambar 4.8 Penampang *cross section* lintasan 1 mode TE-TM

Dari ketiga model *cross section* lintasan 1 yang telah dihasilkan dapat dilihat bahwa pada mode TE dapat memetakan nilai resistivitas rendah dengan baik dan tidak ada kontras resistivitas pada zona resistivitas rendah. Nilai resistivitas pada zona resistivitas rendah mode TE-TM tidak terlalu kontras dan mempunyai nilai resis yang lebih tinggi daripada mode TE. Sedangkan zona resistivitas rendah pada mode TM mempunyai nilai resis tertinggi diantara mode TE dan mode TE-TM dan terdapat kontras resistivitas. Zona resistivitas rendah mode TE pada titik awal pengukuran sangat tebal, setebal 3000 m, yang kemudian menipis ke arah tenggara. Namun hal tersebut tidak terdapat pada mode TM maupun mode TE-TM. Zona resistivitas tinggi paling ideal divisualisasikan pada mode TM. Sehingga dapat dilihat bahwa penetrasi lateral untuk data dengan mode TE lebih baik daripada data dengan mode TM dan penetrasi vertikal untuk data dengan mode TM lebih baik daripada data dengan mode TE. Selain itu data dengan mode TE dapat mem-visualisasikan zona resistivitas rendah atau zona konduktif yang paling baik.

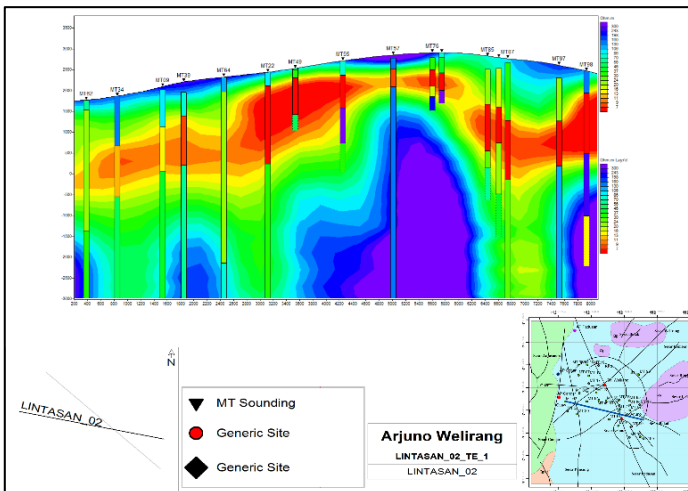
4.3.2 Cross Section Lintasan 2

Sama halnya dengan *cross section* lintasan 1, *cross section* pada lintasan 2 terbagi atas beberapa zona resistivitas yaitu zona resistivitas rendah, zona resistivitas sedang dan zona resistivitas tinggi. Berdasarkan penampang *cross section* lintasan 2 yang membentang dari barat ke timur mode TE (gambar 4.9), zona resistivitas rendah berada pada nilai resistivitas sebesar 7-12 Ωm dengan

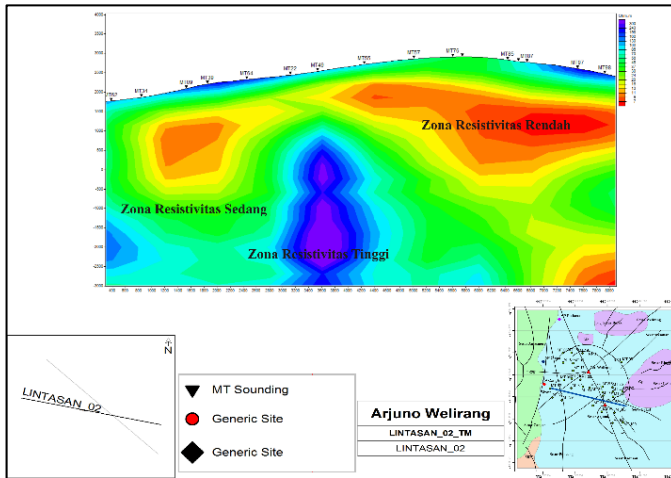
tebal 2000 m yang menipis di bagian tengah dan menebal ke arah timur. Zona resistivitas sedang dengan nilai resistivitas sebesar 13 – 65 Ωm memiliki ketebalan sebesar 3000 m yang menipis di bagian tengah. Zona resistivitas tinggi dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm setebal 3500 m pada jarak 4400 – 6200 m dari titik pertama pada lintasan 2 atau diantara titik MT55 dan MT85.

Pada penampang *crosssection* lintasan 2 mode TM (gambar 4.10), zona resistivitas rendah berada pada nilai resistivitas sebesar 9-15 Ωm dengan tebal 1500 m yang menebal ke arah timur. Zona resistivitas sedang dengan nilai resistivitas sebesar 16 – 65 Ωm memiliki ketebalan sebesar 2500 m yang menipis pada bagian tengah. Zona resistivitas tinggi dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm setebal 3000 m pada jarak 3000 – 4200 m dari titik pertama pada lintasan 2 atau diantara titik MT22 dan MT55.

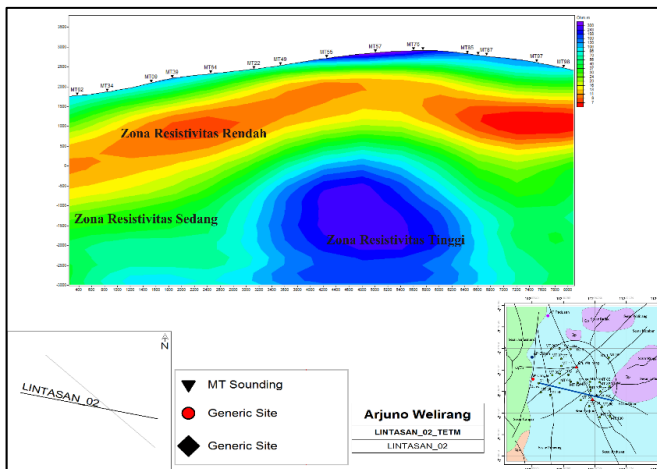
Pada penampang *cross section* lintasan 2 mode TE-TM (gambar 4.11), zona resistivitas rendah berada pada nilai resistivitas sebesar 7-12 Ωm dengan tebal 1500 m yang menipis ke arah timur. Zona resistivitas sedang dengan nilai resistivitas sebesar 13 – 65 Ωm memiliki ketebalan sebesar 3000 m yang menipis pada bagian tengah. Zona resistivitas tinggi dengan nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ωm setebal 2500 m pada jarak 4000 – 5400 m dari titik pertama pada lintasan 2 atau diantara titik MT49 dan MT76.



Gambar 4.9 Penampang *cross section* lintasan 2 mode TE



Gambar 4.10 Penampang *cross section* lintasan 2 mode TM



Gambar 4.11 Penampang *cross section* lintasan 2 mode TE-TM

Dari ketiga model *cross section* lintasan 2 yang telah dihasilkan dapat dilihat bahwa pada mode TE dapat memetakan nilai resistivitas rendah dengan baik dan tidak ada kontras resistivitas pada zona resistivitas rendah. Nilai resistivitas pada zona resistivitas rendah mode TE-TM tidak terlalu kontras dan mempunyai nilai resis yang lebih tinggi daripada mode TE. Sedangkan zona resistivitas rendah pada mode TM mempunyai nilai resis tertinggi diantara mode TE dan mode TE-TM dan terdapat kontras resistivitas. Zona resistivitas tinggi paling ideal divisualisasikan pada mode TM. Sehingga dapat dilihat bahwa

penetrasi lateral untuk data dengan mode TE lebih baik daripada data dengan mode TM dan penetrasi vertikal untuk data dengan mode TM lebih baik daripada data dengan mode TE. Selain itu data dengan mode TE dapat mem-visualisasikan zona resistivitas rendah atau zona konduktif yang paling baik.

4.4 Interpretasi dan Hasil Perbandingan Inversi 2-D

4.4.1 Interpretasi

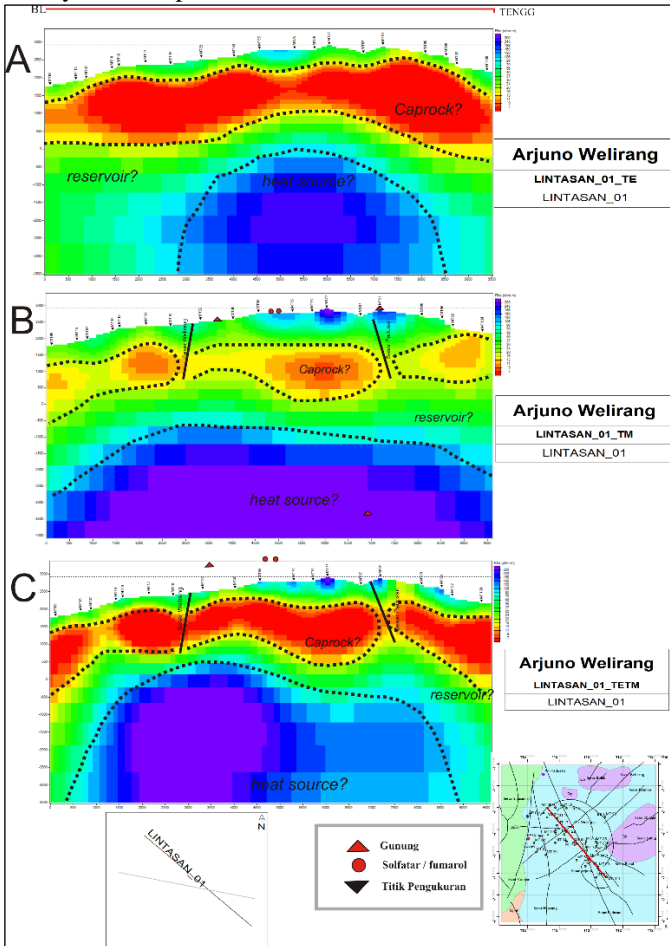
Berdasarkan studi literatur, sistem panas bumi terdiri atas *heatsource*, *reservoir* dan batuan penudung. Sistem panas bumi diidentifikasi berdasarkan penampang resistivitas data hasil inversi 2-D dan mengacu pada klasifikasi resistivitas yang tercantum dalam gambar 2.6 dengan data pendukung berupa peta geologi. Daerah penelitian berada di kompleks Gubung Arjuno – Welirang.

4.4.1.1 Interpretasi Lintasan 1

Lintasan 1 berada di Formasi Gunung Api Arjuno – Welirang (Qvaw) yang menghubungkan Air Panas Padusan, solfatara / fumarol, Gunung Welirang dan diakhiri dengan Gunung Arjuno yang membentang dari arah barat laut ke tenggara. Berdasarkan informasi geologi, lintasan ini melewati dua buah sesar yaitu Sesar Welirang dan Sesar Padusan. Sesar Welirang mengarah dari timur laut ke barat daya, sedangkan Sesar Padusan mengarah dari utara ke selatan. Interpretasi lintasan 1 terdapat pada gambar 4.12.

Solfatara/fumarol pada lintasan 1 berada dilapisan dangkal dengan resistivitas tinggi, tepatnya diantara titik pengukuran MT55 dan MT75. Lapisan pada ketinggian 2000 – 2500 m diinterpretasikan sebagai lapisan *overburden* dengan rentang resistivitas 105 – 200 Ω m. Lapisan resistivitas rendah dengan nilai rentang 7 – 12 Ω m yang terbentang dari titik MT06 sampai titik MT100 diinterpretasikan sebagai lapisan batuan penudung yang diduga merupakan lava muda produk welirang (Qlw) yang masih masif dan belum terekahkan secara kuat. Rendahnya nilai resistivitas batuan vulkanik tersebut mencerminkan batuan pada Formasi Gunung Api Arjuno – Welirang (Qvaw) yang telah mengalami proses alterasi. Pada data dengan mode TE lapisan batuan penudung tersebar pada ketinggian 2000 - 0 m (setebal 2000 m), pada data mode TM tersebar pada ketinggian 1500 - 0 m (setebal 1500 m) dan pada data mode TE-TM tersebar pada ketinggian 1700 – 0 m (setebal 1700 m). Dibawah lapisan batuan penudung, terdapat sebaran nilai resistivitas sedang dengan rentang resistivitas 13 – 65 Ω m yang diinterpretasikan sebagai lapisan *reservoir* dan diduga merupakan Aliran Piroklastik Arjuno (Qapaw) yang telah mengalami deformasi pada masa kuarter tengah sehingga kemungkinan membentuk pola rekahan dan bersifat permeabel. Pada data dengan mode TE lapisan batuan *reservoir* tersebar pada kedalaman 0 – 3500 yang menipis di bagian tengahnya, pada data mode TM tersebar pada kedalaman 0 – 1700 m dan pada mode TE-TM tersebar pada kedalaman 0 – 3000 yang menipis di bagian tengahnya. Lapisan resistif dengan nilai rentang nilai

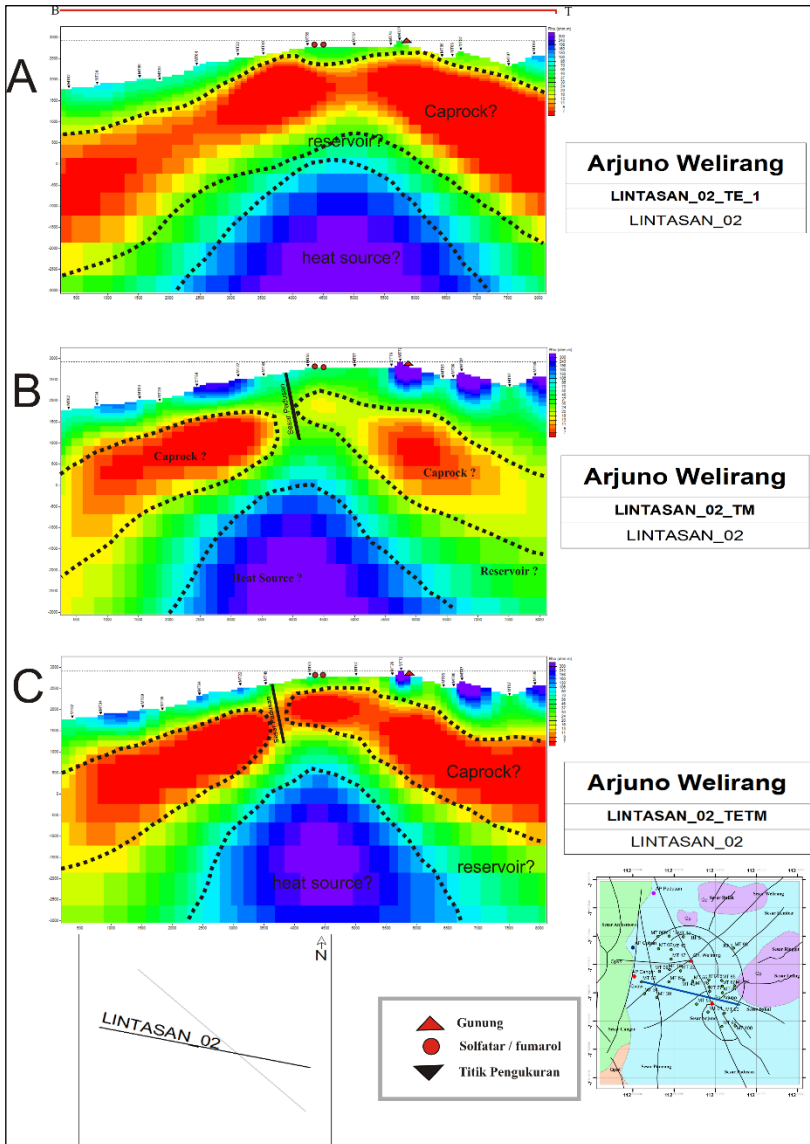
resistivitas sebesar 70 – 300 Ω m diinterpretasikan sebagai *heat source* atau sumber panas yang mengontrol sistem panas bumi ini. Lapisan *heatsource* diduga sebagai Lava Pra Arjuno Welirang (Qlaw). Lapisan *heat source* pada mode TE, mode TM dan mode TE-TM terdapat pada kedalaman yang sama yaitu 0 – 3000 m, tetapi lapisan *heat source* pada mode TM membentang dari titik awal pengukuran hingga titik akhir pengukuran pada lintasan 1. Interpretasi Sesar Welirang dan Sesar Padusan berdasarkan pemodelan inversi 2-D pada lintasan 1 hanya terlihat pada mode TM dan mode TE-TM.



Gambar 4.12 Interpretasi pemodelan inversi 2-D lintasan 1 (a) mode TE (b) mode TM dan (c) TE-TM

4.4.1.1 Interpretasi Lintasan 2

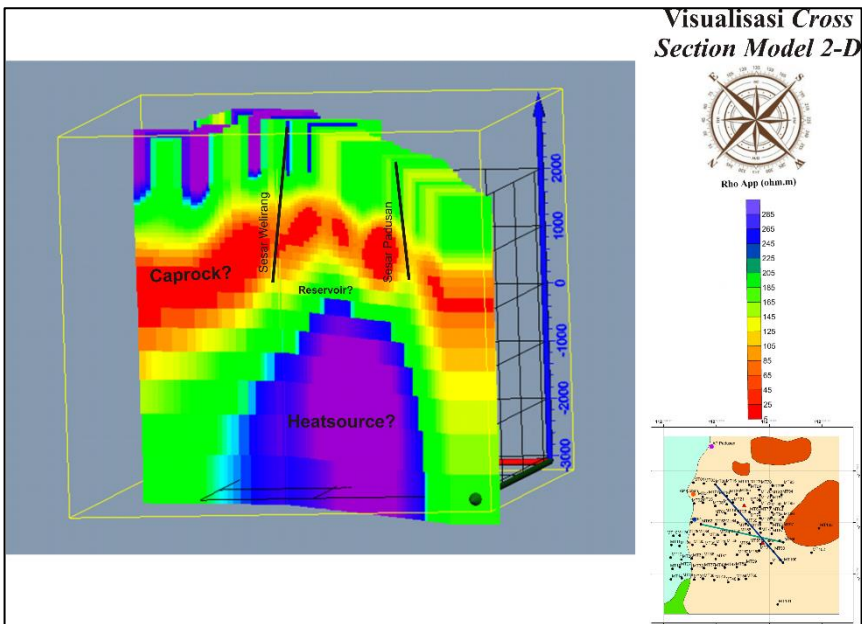
Lintasan 2 berada di Formasi Gunung Api Arjuno – Welirang (Qvaw) yang menghubungkan Air Panas Cangar dan Gunung Arjuno yang membetang dari arah barat ke timur. Berdasarkan informasi geologi, lintasan ini melewati satu buah sesar yaitu Sesar Padusan yang mengarah dari utara ke selatan. Interpretasi lintasan 2 terdapat pada gambar 4.13. Lapisan pada ketinggian 1500 - 2000 m diinterpretasikan sebagai lapisan *overburden* dengan rentang resistivitas 105 – 200 Ω m. Lapisan resistivitas rendah dengan nilai rentang 7 – 12 Ω m yang terbentang dari titik MT62 sampai titik MT98 diinterpretasikan sebagai lapisan batuan penudung yang diduga merupakan Lava Arjuno (Qlar) yang masih masif dan belum terekahkan secara kuat. Rendahnya nilai resistivitas batuan vulkanik tersebut mencerminkan batuan vulkanik dari Gunung Arjuno yang telah mengalami proses alterasi. Pada data dengan mode TE lapisan batuan penudung tersebar pada ketinggian 1700 hingga kedalaman 1000 m (setebal 2000 m), pada data mode TM tersebar pada ketinggian 1000 m hingga kedalaman 1000 (setebal 2000 m) dan pada data mode TE-TM tersebar pada ketinggian 1700 hingga kedalaman 1000 m (setebal 2000 m). Dibawah lapisan batuan penudung, terdapat sebaran nilai resistivitas sedang dengan rentang resistivitas 13 – 65 Ω m yang diinterpretasikan sebagai lapisan *reservoir* dan diduga merupakan Aliran Piroklastik Arjuno (Qapaw) yang telah mengalami deformasi pada masa kuartir tengah sehingga kemungkinan membentuk pola rekahan dan bersifat permeabel. Pada data dengan mode TE, mode TM dan mode TE-TM lapisan batuan *reservoir* tersebar pada kedalaman 0 – 3000 (setebal 500 m). Lapisan resistif dengan nilai rentang nilai resistivitas sebesar 70 – 300 Ω m diinterpretasikan sebagai *heat source* atau sumber panas yang mengontrol sistem panas bumi ini. Lapisan *heat source* diduga sebagai Lava Pra Arjuno Welirang (Qlaw). Lapisan *heat source* pada mode TE, mode TM dan mode TE-TM terdapat pada kedalaman yang sama yaitu 0 – 3000 m pada jarak 2500 – 5500 m dari titik pertama (MT62). Interpretasi Sesar Padusan berdasarkan pemodelan inversi 2-D pada lintasan 1 hanya terlihat pada mode TM dan mode TE-TM.



Gambar 4. 13 Interpretasi pemodelan inversi 2-D lintasan 2 (a) mode TE (b) mode TM dan (c) mode TE-TM

4.4.1 Cross Section Model 2-D

Model penampang resistivitas hasil inversi 2-D divisualisasikan dalam bentuk *cross section* model yang terdiri dari 2 lintasan, yaitu lintasan 1 dan lintasan 2. Visualisasi *cross section* dilakukan untuk mengetahui persebaran resistivitas bawah permukaan dari kedua lintasan yang saling berpotongan pada daerah penelitian lapangan panas bumi Arjuno-Welirang (gambar 4.14). Berdasarkan visualisasi *cross section* didapatkan hasil yang sesuai pada korelasi lintasan 1 dan lintasan 2. Hal tersebut dapat dilihat bahwa komponen sistem panas bumi (*caprock*, *reservoir* dan *heatsource*) mempunyai geometri yang mirip dan mempunyai ketebalan yang sama serta terlihat kemenerusan pada kedua lintasan yang berpotongan. Bukti lainnya yaitu pada Sesar Welirang yang terdapat pada lintasan 1 dan lintasan 2, pada perpotongan lintasan 1 dan lintasan 2 terdapat kontras resistivitas yang diinterpretasikan sebagai Sesar Welirang. Sesar Padusan diinterpretasikan pada kontras resistivitas yang terdapat di lintasan 1.

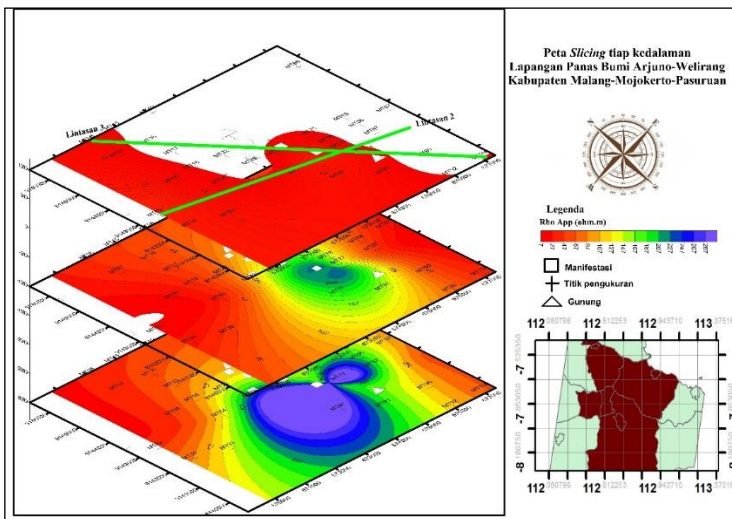


Gambar 4.14 Visualisasi *cross section* inversi 2-D

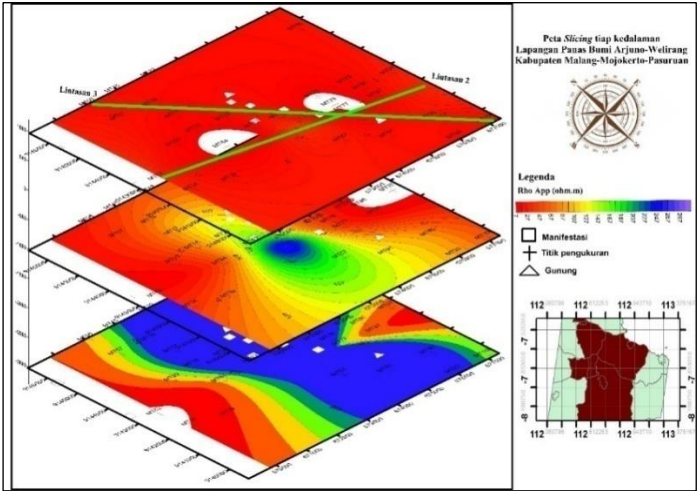
4.4.2 Hasil Perbandingan Inversi 2-D

Model yang diperoleh dari hasil inversi memiliki komponen kedalaman, jarak dan nilai resistivitas. Inversi 2-D dimodelkan dengan menggunakan batas maksimum nilai resistivitas sebesar 300 Ω m. Pada model

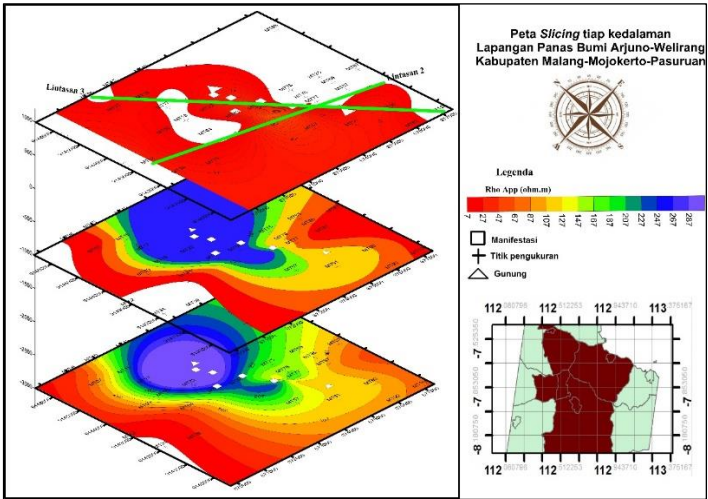
antara data dengan mode TE, mode TM dan mode TE-TM (gambar 4.15, gambar 4.16 dan gambar 4.17) memiliki perbedaan nilai resistivitas dalam beberapa bagian, namun pada dasarnya memiliki pola yang hampir mirip. Hal ini disebabkan karena pada mode TE (*transverse electric*), komponen yang terdapat pada bidang arah y dan z hanya komponen magnetik saja, sehingga TE memiliki sifat yang tidak dapat mengalirkan arus listrik melewati batas antara daerah yang memiliki perbedaan nilai yang memiliki nilai resistivitas yang berbeda (Gambar 4.15). Sedangkan pada mode TM (*transverse magnetic*), komponen yang terdapat pada bidang y dan z merupakan komponen listrik, sehingga TM mampu mengalirkan arus listrik melewati batas antara bagian yang memiliki perbedaan resistivitas.



Gambar 4.15 Peta nilai resistivitas per ketinggian 1000, kedalaman 1000, kedalaman 3000 mode TE



Gambar 4.16 Peta nilai resistivitas per ketinggian 1000, kedalaman 1000, kedalaman 3000 mode TM



Gambar 4.17 Peta nilai resistivitas per ketinggian 1000, kedalaman 1000, kedalaman 3000 mode TE-TM

Secara lebih rinci, berdasarkan peta nilai resistivitas pada ketinggian 1000 m masing-masing mode menunjukkan nilai resistivitas yang rendah (konduktif). Pada peta nilai resistivitas kedalaman 1000 m mode TE terdapat zona resistivitas sedang di bagian tengah., pada mode TM terdapat zona resistivitas tinggi di bagian tengah dan pada mode TE-TM zona resistivitas tinggi berada di sebelah

utara. Pada kedalaman 1000 m mode TM dan mode TE-TM, zona resistivitas rendah tidak seluas pada mode TE. Zona resistivitas tinggi pada kedalaman 3000 m mode TE berada di sebelah selatan dan pada mode TE-TM berada di sebelah utara, sedangkan pada mode TM terdapat di bagian utara hingga selatan. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa mode TE mempunyai kemampuan yang baik dalam memetakan nilai resistivitas rendah (konduktif) secara lateral. Mode TM mempunyai kemampuan yang baik dalam memetakan nilai resistivitas tinggi (resistif) secara vertikal. Mode TE-TM mempunyai kemampuan yang baik dalam memetakan nilai resistivitas rendah maupun tinggi secara lateral maupun vertikal.

Pada hasil inversi 2-D (gambar 4.15) dengan mode TE tidak terdapat kontras resistivitas pada kedalaman dangkal, sehingga tidak menunjukkan adanya struktur pada daerah penelitian. Sedangkan pada hasil inversi 2-D dengan mode TM dan mode TE-TM (gambar 4.16 dan gambar 4.17) terdapat kontras resistivitas pada kedalaman dangkal, sehingga diinterpretasikan terdapat adanya struktur yang diperkirakan berupa sesar pada daerah penelitian. Interpretasi struktur tersebut divalidasi dengan data pendukung berupa data geologi. Maka, hasil inersi dengan mode TM dan mode TE-TM dianggap lebih sesuai untuk menentukan strike struktur regional.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan tujuan pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Pengaruh mode pengukuran dalam pemodelan data dapat mempengaruhi nilai resistivitas yang dihasilkan baik dalam pemodelan inversi 1-D maupun pemodelan inversi 2-D. Hasil pengolahan data dengan menggunakan mode TE (*transverse electric*) memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan resistivitas rendah (konduktif) secara lateral. Hasil pengolahan data dengan mode TM (*transverse magnetic*) memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan resistivitas tinggi secara vertikal. Hasil pengolahan data dengan mode TE-TM memiliki sensitivitas yang baik dalam memetakan kontras nilai resistivitas secara lateral maupun secara vertikal. Hasil inversi dengan mode TE tidak menunjukkan adanya struktur pada daerah penelitian, sedangkan hasil inversi dengan mode TM dan dengan mode TE-TM menunjukkan adanya struktur yang diperkirakan berupa sesar di daerah penelitian.
2. Sistem panas bumi yang teridentifikasi dalam penelitian ini berada pada Formasi Gunung Api Arjuno – Welirang (Qvaw). Lapisan batuan penutup (*cap rock*) dengan nilai resistivitas 7 – 12 Ωm setebal 1700 m yang diperkirakan berasal dari lava muda produk welirang (Qlaw) Lava Arjuno (Qlar). Lapisan *reservoir* dengan nilai resistivitas 13 – 65 Ωm setebal 500 m yang diperkirakan sebagai Aliran Piroklastik Arjuno (Qapaw) Lapisan *heat source* dengan nilai resistivitas 70 – 300 Ωm setebal 2500 m yang diperkirakan berasal dari Lava Pra Arjuno Welirang (Qlaw). Terdapat kontras resistivitas pada resistivitas rendah yang diduga sebagai Sesar Welirang dan Sesar Padusan.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengembangan terhadap perangkat lunak WinGLink pada inversi 1-D metode Occam dan inversi 2-D metode NLGG, sehingga meminimalisir adanya efek galvanik pada lapisan yang dangkal.
2. Identifikasi sistem panas bumi lebih optimal apabila diintegrasikan dengan data pendukung geokimia agar hasil interpretasi lebih akurat dengan parameter yang lebih lengkap.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

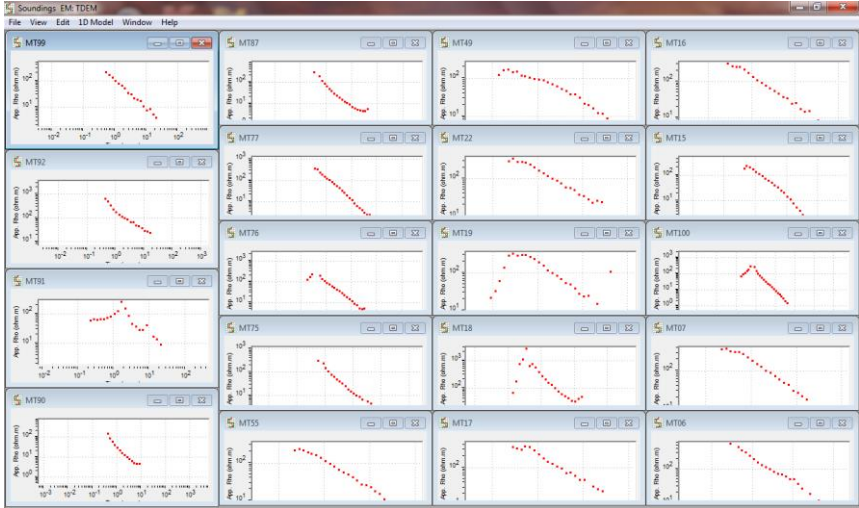
- Bemmelen, V.R.. (1949), *The Geology of Indonesia Vol. IA*, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherland.
- Castells, A.M. (2006), *A Magnetotelluric Investigation of Geoelectrical Dimensionality and Study of the Central Betic Crustal Structure Anna Martí i Castells*, Universitat de Barcelona.
- Chave, A.D. dan Jones, A.G. (2012), *Introduction to the Magnetotelluric Method*, Chave, Al. D. dan Jones, Al. G. eds., Cambridge University Press, New York. Diambil dari <https://www.cambridge.org/core> .
- Daud, Y. dan Fahmi, F. (2013), *Pemodelan Sistem Geotermal Arjuno Welirang, Jawa Timur Dengan Menggunakan Inversi Data Magnetotellurik 3-Dimensi*, Depok.
- Daud, Y. dan Iskandar, C. (2013), *Pemodelan dan Inversi 3-Dimensi Data Magnetotellurik untuk Mendelineasi Sistem Geotermal*, Depok.
- Dickson, M.H. dan Fanelli, M. (2004), *What is Geothermal Energy?*, Instituto di Geoscienze e Georisorse, Pisa.
- Hadi, M.N., Kusnadi, D. dan Rezky, Y. (2010), *Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Arjuno - Welirang, Kabupaten Mojokerto dan Malang, Provinsi Jawa Timur*, hal. 405–416,.
- Hermance, J.F. (1973), "Processing of Magnetotelluric Data", *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, hal. 349–364,.
- Kirana, K. (2015), *Pemodelan Data MT 2-D dan Perbandingan Modus TE dan TM Studi kasus: Lapangan Panasbumi Marana, Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah*, Diambil dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>.
- Nuraini, F. (2017), *Analisis Resistivitas Terhadap Pengaruh Mode Pada Pengolahan Data Magnetotellurik (Studi Kasus Daerah Panasbumi 'Z')*, Universitas Hasanuddin.
- Rahmawati, Maryanto, S. dan Susilo, A. (2018), "Identifikasi Sistem Panas Bumi Daerah Cangar, Jawa Timur menggunakan Metode Magnetotelurik", *Journal of Physical Science and Engineering*, Vol.2, No.2, hal. 72–82. <http://doi.org/2541-2485>.
- Rodi, W. dan Mackie, R.L. (2001), "Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion", *Geophysics*, Vol.66, No.1, hal. 174–187.
- Rulia, C. (2012), *Pengolahan Data Magnetotellurik 2-Dimensi Pada Lapangan Panasbumi Marana, Sulawesi Tengah*, Universitas Indonesia.
- Santosa, S. dan Suwarti, T. (1992), *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Bandung.
- Simpson, F. dan Bahr, K. (2005), *Practical Magnetotellurics*, The Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge.
- Siripunvaraporn, W., Egbert, G. dan Lenbury, Y. (2005), "Three-dimensional

- Magnetotelluric Inversion: Data-Space Method", *Elsevier*, Vol.150, hal. 3–14. <http://doi.org/10.1016/j.pepi.2004.08.023>.
- Uchida, T., Lee, T.J. dan Honda, M. (2002), "2-D and 3-D interpretation of Magnetotelluric Data in the Bajawa Geothermal Field, Central Flores, Indonesia", *Bulletin of Geological Survey of Japan*, Vol.53, hal. 265–283.
- Unsworth, M. (2005), "New Developments in Conventional Hydrocarbon Exploration with Electromagnetic Methods Focus Article Cont ' d", *Focus Article (Coordinated by Helen Isaac)*, No.April, hal. 35–39.
- Vozoff, K. (1991), *Electromagnetic Method in Applied Geophysics*, Berkeley, USA.
- Wachsibu, M.M. dan Santosa, B.J. (2016), "Pemodelan Data Magnetotelurik dengan Remote reference untuk Eksplorasi Cekungan Migas Studi Kasus: Lapangan EM-4", *Jurnal Sains dan Seni ITS (POMITS)*, Vol.1, hal. 1–7.
- Zarkasyi, A., Supriyadi, Y. dan Widodo, S. (2014), "Survei Magnetotelurik (MT) dan Time Domain Electro Magnetic (TDEM) Daerah Panas Bumi Dua Saudara, Provinsi Sulawesi Utara", *Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun 2014*, Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung, <http://doi.org/0261-0811>.

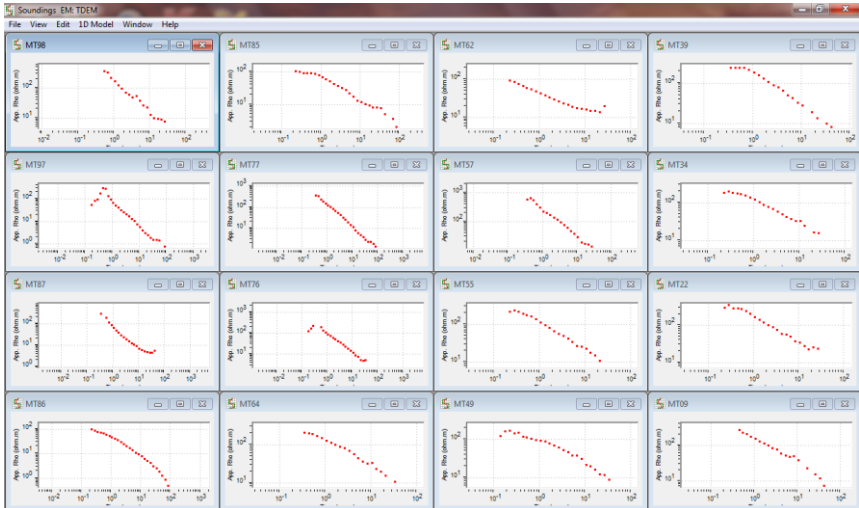
LAMPIRAN

1. Hasil Pengolahan Inversi 1-D TDEM

A. Lintasan 1



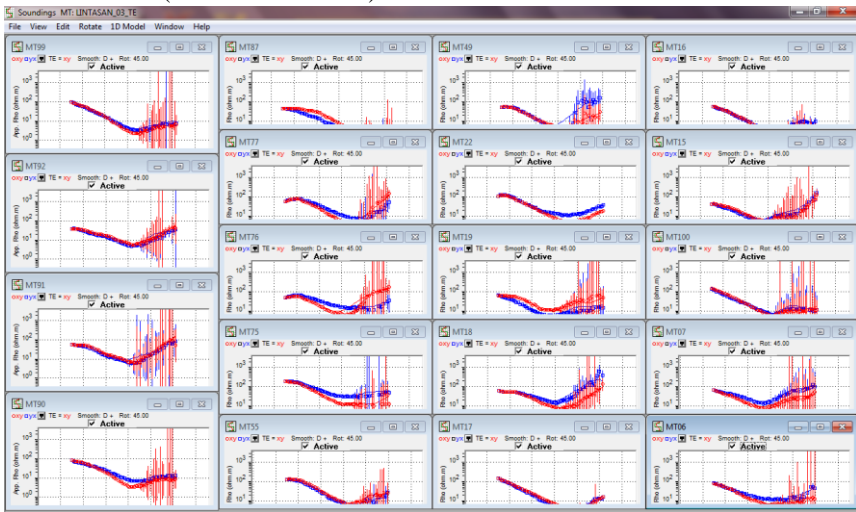
B. Lintasan 2



2. Hasil Pengolahan *Static Shift*

A. Lintasan 1

- Mode TE (*transverse electric*)



- Mode TM (*transverse magnetic*)

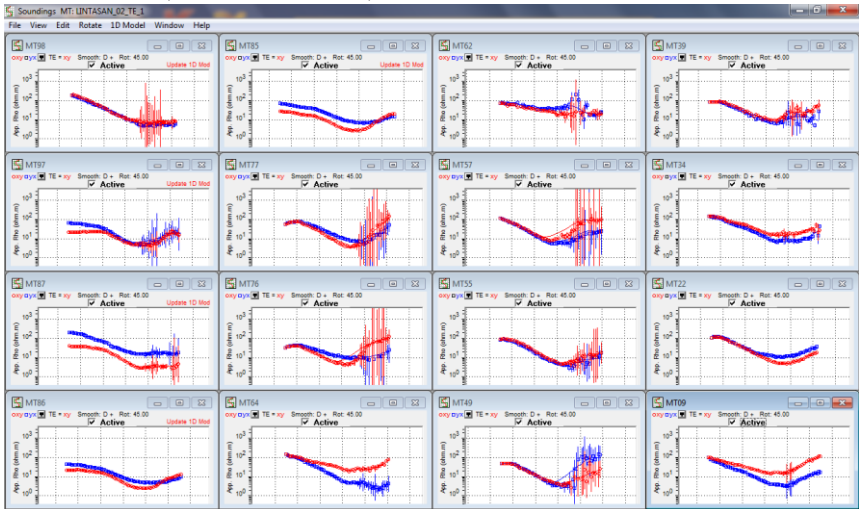


- Mode TE-TM

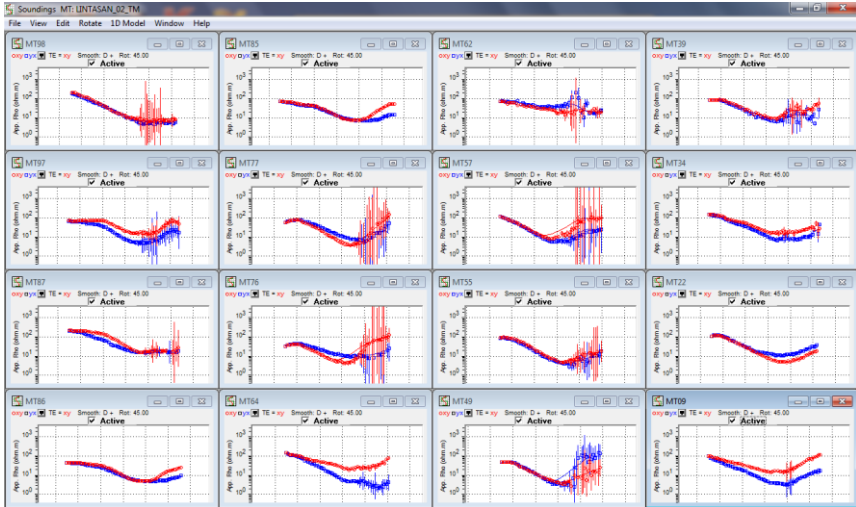


B. Lintasan 2

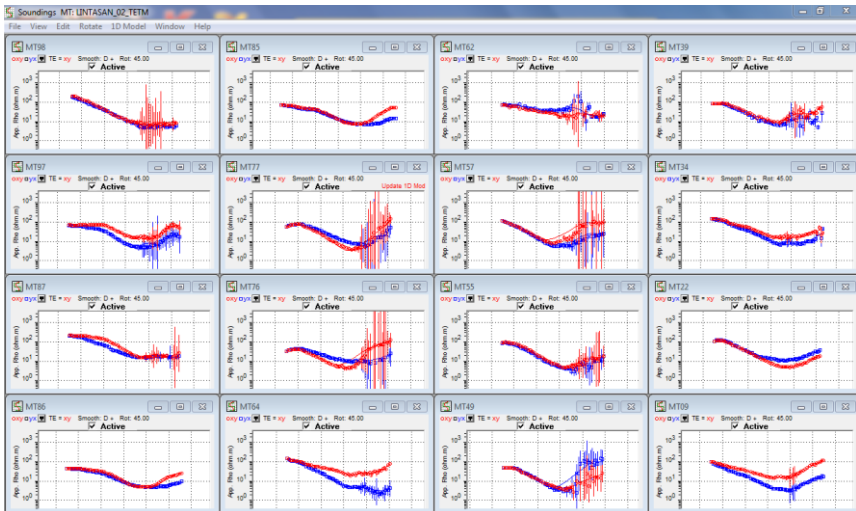
- Mode TE (transverse electric)



- Mode TM (transverse magnetic)



- Mode TE-TM



BIOGRAFI PENULIS



Nadia Putri Luckytasari lahir di Bantul, 10 April 1997 dari pasangan Bapak (Alm) Isdarmaya dan Ibu Arum Puspitorini. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di SDN Sonosewu (2003-2009), kemudian melanjutkan sekolah di SMPN 2 Yogyakarta (2009-2012), kemudian SMAN 2 Yogyakarta (2012-2015), terakhir penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama Menjadi mahasiswa di ITS, penulis aktif dalam kegiatan organisasi, diantaranya pernah menjadi staff Departemen *Big Event* Himpunan Mahasiswa Teknik

Geofisika ITS (HMTG ITS) periode 2016-2018, Bendahara *Society of Exploration Geophysicists* Institut Teknologi Sepuluh Nopember Student Chapter (SEG ITS SC) periode 2016-2017, Kepala Departemen Kewirausahaan HMGI Wilayah IV periode 2017-2018, Kepala Departemen Internal *Society of Exploration Geophysicists* Institut Teknologi Sepuluh Nopember Student Chapter (SEG ITS SC) periode 2017-sekarang. Penulis juga pernah melakukan penelitian secara tim tentang Identifikasi Manifestasi Panas Bumi di Desa Lombang, Kabupaten Sumenep, Madura pada tahun 2018. Penulis juga memiliki pengalaman melaksanakan kerja praktik di Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung serta melakukan tugas akhir di PT. Elnusa Tbk. Jika ingin berdiskusi lebih jauh mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi email: nadia.putri15@mhs.geofisika.its.ac.id

