



TUGAS AKHIR - RF 184838

**PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK
MENGUNAKAN ROTASI TENSOR IMPEDANSI PADA
LAPANGAN PANAS BUMI ARJUNO-WELIRANG**

CATUR RIZKILLAH CANCERIO
NRP 0341154000002

DOSEN PEMBIMBING
WIEN LESTARI, S.T, M.T
NIP. 19811002 201212 2003

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



TUGAS AKHIR - RF 184838

**PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK
MENGUNAKAN ROTASI TENSOR IMPEDANSI PADA
LAPANGAN PANAS BUMI ARJUNO-WELIRANG**

CATUR RIZKILLAH CANCERIO
NRP 0341154000002

DOSEN PEMBIMBING
WIEN LESTARI, S.T, M.T
NIP. 19811002 201212 2003

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

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



FINAL PROJECT - RF 184838

2D INVERSION MODELLING OF MAGNETOTELLURIC DATA USING IMPEDANCE TENSOR ROTATION IN ARJUNO- WELIRANG GEOTHERMAL FIELD

CATUR RIZKILLAH CANCERIO
NRP 0341154000002

ADVISOR
WIEN LESTARI, S.T, M.T
NIP. 19811002 201212 2003

Department of Geophysical Engineering
Faculty of Civil Enviromental and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul **"PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK MENGGUNAKAN PROTASI TENSOR IMPEDANSI 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

Catur Rizkillah Cancerio

NRP. 0341154000002

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN


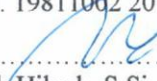
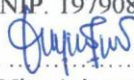
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

Tugas akhir ini diajukan oleh :

NAMA : Catur Rizkillah Cancerio
NRP : 0341154000002
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Pemodelan Inversi 2-D Data Magnetotelurik Menggunakan Rotasi Tensor Impedansi 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)
Anik-Hilyah, S.Si, M.T
NIP. 19790813 200812 2 002
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

PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK MENGGUNAKAN ROTASI TENSOR IMPEDANSI PADA LAPANGAN PANAS BUMI ARJUNO-WELIRANG

Nama Mahasiswa : Catur Rizkillah C
NRP : 0341154000002
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing : Wien Lestari, S.T., M.T.

ABSTRAK

Prospek panas bumi wilayah Gunung Arjuno dan Gunung Welirang memiliki potensi cadangan terduga sebesar 280 Mwe, namun potensi energi tersebut belum dikembangkan sebagai lapangan produksi panas bumi yang membangkitkan tenaga listrik. Metode MT adalah salah satu metode geofisika pasif yang digunakan dalam eksplorasi panas bumi. Karakteristik sifat pasif tersebut memungkinkan mengukur semua sinyal termasuk yang mengandung *noise*. *Noise* tersebut timbul karena kompleksitas dan ketidakhomogenan Bumi, hal tersebut mengakibatkan tensor impedansi yang terukur tidak tegak lurus dengan arah *strike*. Solusi dari permasalahan tersebut adalah melakukan rotasi terhadap struktur sebelum proses inversi 2D, hal itu dilakukan untuk memenuhi asumsi inversi 2D bahwa strukturnya memanjang. Pada penelitian ini akan melakukan rotasi tensor impedansi berdasarkan *geo-electrical strike* sebelum pemodelan data. Hasil dari penelitian ini adalah nilai sudut *geo-electrical strike* yang didapatkan dengan cara analisis terhadap data *tipper strike* bernilai 50° , sehingga dilakukan rotasi tensor impedansi sebesar 50° . Sistem panas bumi arjuno-welirang berada pada wilayah Formasi Gunung api Kuarter Bawah (Qp) dan Gunung api Arjuna-Welirang (Qvaw) yang terdiri dari lapisan *cap rock* dengan nilai resistivitas 5-10 Ωm , batuan penudung pada Formasi Gunung api Arjuna-Welirang tersebut diperkirakan berasal dari produk lava welirang (Qlw) yang telah mengalami proses alterasi, sedangkan batuan penudung pada Formasi Kuarter Bawah diperkirakan berasal dari lava tua produk Welirang (Qlaw) yang masif dan belum terekahkan secara kuat. Lapisan *reservoir* dengan nilai resistivitas 11-60 Ωm , yang diperkirakan berasal dari batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang berupa aliran piroklastik (Qapaw). Lapisan *heat Source* dengan nilai resistivitas 80-300 Ωm yang diperkirakan berasal dari kegiatan vulkanisme lava tua produk Gunung Arjuno-Welirang (Qlaw).

Kata kunci : *Geo-electrical strike*, Metode magnetotelurik, Pemodelan inversi 2D, Rotasi tensor impedansi

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

2D INVERSION MODELLING OF MAGNETOTELLURIC DATA USING IMPEDANCE TENSOR ROTATION IN ARJUNO-WELIRANG GEOTHERMAL FIELD

Name : Catur Rizkillah C
Student ID : 0341154000002
Departement : Geophysical Engineering
Advisor : Wien Lestari, S.T., M.T.

ABSTRACT

The geothermal prospect of the Mount Arjuno and Mount Welirang regions has a potential reserve of 280 Mwe, but the energy potential has not yet been developed as a geothermal production field that generates electricity. The MT method is one of the passive geophysical methods used in geothermal exploration. This characteristic of passivity allows to measure all signals including those containing noise. The noise arises because of the complexity and inhomogeneity of the Earth, this causes the measured impedance tensor not to be perpendicular to the direction of strike. The solution to this problem is to rotate the structure before the 2D inversion process, it is done to fulfill the 2D inversion assumption that the structure is elongated. In this study, the impedance tensor rotation will be based on geo-electrical strike before data modeling. The results of this study are that the geo-electrical strike angle value obtained by analysis of tipper strike data is 500, so that the impedance tensor rotation is 500. The arjuno-Welirang geothermal system is in the Lower Quaternary Volcano Formation (Qp) and Arjuna – Welirang (Qvaw) volcano which consists of a cap rock layer with a resistivity value of 5-10 Ωm , the cap rock in the Arjuna – Welirang Volcano Formation is estimated that originate from a lava welirang (Qlw) product which has undergone an alteration process, while the cap rock in the Lower Quaternary Formation it is estimated that originate from the massive Lava product of Welirang (Qlaw) which has not been strongly deformation. The reservoir layer has a resistivity value of 11-60 Ωm , which which is estimated that originate from Arjuno-Welirang volcanic rock products in the form of pyroclastic flow (Qapaw). Heat Source layer with a resistivity value of 80-300 Ωm which is estimated to originate from the activities of old lava volcanism products of Mount Arjuno-Welirang (Qlaw).

Key words : Geo-electrical strike, Impedance tensor rotation, Magnetotelluric method, 2-D inverse modelling.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya laporan Tugas Akhir yang berjudul **"PEMODELAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK MENGGUNAKAN ROTASI TENSOR IMPEDANSI PADA LAPANGAN PANAS BUMI ARJUNO-WELIRANG"** ini dapat terselesaikan. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan dengan baik, tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu, Bapak, dan semua keluarga atas dukungan moril maupun materi selama menjalani tugas akhir ini.
2. Dr. Widya Utama, DEA selaku ketua Departemen Teknik Geofisika ITS.
3. Wien Lestari, S.T.,M.T selaku 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 banyak memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
6. Seluruh anggota Tim Elnusa (Dini dan Nadia) yang telah banyak membantu dalam mengerjakan Tugas Akhir.
7. Nadia Putri Luckytasari yang telah membantu dalam memberikan saran dan dukungan selama penulisan tugas akhir ini.
8. Seluruh teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2015 (TG4) Khususnya teman-teman KP PSG (Firman, Veren, Dinda, Nadia) yang telah memberikan semangat kepada penulis.
9. dan semua orang yang terlibat dalam pembuatan tugas akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Semoga Allah membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 10 Juli 2019

Catur Rizkillah Cancerio
NRP. 0341154000002

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

HALAMAN	
JUDUL	Error!
Bookmark not defined.	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
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
2.1.1.1 <i>Fisiografi Regional</i>	3
2.1.1.2 <i>Stratigrafi Regional</i>	4
2.1.2 Geologi Lokal Arjuno-Welirang.....	6
2.1.2.1 <i>Geomorfologi</i>	6
2.1.2.2 <i>Struktur Geologi</i>	8
2.1.2.3 <i>Sistem Geologi</i>	10
2.1.3 Metode Geofisika.....	11
2.1.3.1 <i>Sistem Panas Bumi</i>	11
2.1.3.2 <i>Prinsip Dasar Metode Magnetotelurik</i>	13
2.1.3.3 <i>Persamaan Maxwell</i>	13
2.1.3.4 <i>Tensor Impedansi</i>	14
2.1.3.5 <i>Rotasi Tensor Impedansi</i>	16
2.1.3.6 <i>Koreksi Static Shift</i>	18
2.1.3.7 <i>Inversi Occam 1D</i>	19
2.1.3.8 <i>Inversi Non-linear Conjugate Gradient (NLCG)</i>	20
2.2 Penelitian Terdahulu.....	22
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Perangkat dan Data	27
3.2 Desain Pengukuran Magnetotelurik	27

3.3 Diagram Alir Penelitian	28
3.3.1 <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) dan <i>Robust Processing</i>	29
3.3.2 Menghitung Nilai Koherensi Data.....	33
3.3.3 Rotasi Tensor Impedansi.....	34
3.3.4 Seleksi <i>Crosspower</i>	35
3.3.5 Pengolahan data TDEM(<i>Time domain Electromagnetic</i>).....	36
3.3.6 <i>Smoothing</i> Data Tahap Lanjut dan <i>Static Shift Correction</i>	37
3.3.7 Pemodelan Inversi 1D.....	40
3.3.8 Pemodelan 2-D Metode <i>Non-Linear Conjugate Gradient</i> (NLCG).....	43
3.3.8.1 <i>Forward Modelling 2D</i>	43
3.3.8.2 Metode <i>L'Curve</i>	44
3.4 Jadwal penelitian.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Nilai Koherensi	53
4.2 Sudut Rotasi Tensor Impedansi	53
4.3 Resistivitas Semu	54
4.4 Koreksi Static Shift	55
4.5 Hasil Pemodelan dan Interpretasi.....	57
4.5.1 Hasil Pemodelan Inversi.....	57
4.5.2 Interpretasi.....	65
4.6 <i>Cross Section Model</i>	74
BAB V KESIMPULAN	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79
BIOGRAFI PENULIS	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fisiografi Pulau Jawa (Van Bemmelen, 1949).....	3
Gambar 2.2 Peta geologi regional daerah panasbumi kompleks Gunung Arjuno- Welirang (Hadi dkk.,2010.....	5
Gambar 2.3 Peta geomorfologi daerah panasbumi kompleks Gunung Arjuno- Welirang (Hadi dkk., 2010).....	7
Gambar 2.4 Peta geologi regional daerah panasbumi kompleks Gunung Arjuno- Welirang (Hadi dkk.,2010.....	8
Gambar 2.5 Model konseptual sistem panas bumi arjuno-welirang (Daud dan Fikri, 2013).....	11
Gambar 2.6 Sistem Panas Bumi (DiPippo, 2012).....	12
Gambar 2.7 Prinsip dasar metode magnetotelurik (Unsworth, 2008 dan Sulisty dkk., 2015).....	13
Gambar 2.8 Komponen medan listrik dan medan magnet dalam polarisasi TE dan TM pada model 2D (Chave dan Jones, 2012).....	15
Gambar 2.9 Rentang nilai resistivitas batuan (Chave dan Jones, 2012).....	16
Gambar 2.10 Vektor induksi asli dominan menunjuk ke arah Selatan pada periode lebih dari 10 s (Adão, 2015).....	17
Gambar 2.11 Fenomena pergeseran <i>static</i> akibat heterogenitas dekat permukaan (Sulistyo dkk., 2015).....	18
Gambar 2.12 Fenomena pergeseran <i>static</i> akibat Perbedaan topografi (Sulistyo dkk., 2015).....	19
Gambar 2.13 Fenomena pergeseran <i>static</i> akibat kontak vertical (Sulistyo dkk., 2015).....	19
Gambar 2.14 Perbandingan inversi menggunakan metode LM (a), metode Occam (b), dan model asli (c) (Aster dkk., 2013).....	20
Gambar 2.15 Hasil Pemodelan data magnetotelurik <i>line 2</i> (Rachmaningtias dkk., 2014).....	22
Gambar 2.16 Penampang dua dimensi dari tahanan jenis dari titik 1 sampai 8 yaitu dari lintasan yang berarah barat – timur (Gaffar dkk., 2014)	23
Gambar 2.17 Diagram rose (a) frekuensi 320 – 100 Hz (b) frekuensi 100 – 10 Hz (c) 10 – 1Hz (Febrika dkk., 2017).....	24
Gambar 2.18 Model 2D lintasan F di lapangan panas bumi “GYF” (Febrika dkk., 2017).....	24
Gambar 2.19 Diagram rose. (a) frekuensi 320 – 44 Hz (b) frekuensi 44 – 0.3 Hz (c) 0.3 – 0.004 Hz (Ramdhani dkk., 2017).....	25
Gambar 2.20 Model 2 dimensi lintasan 2 (Ramdhani dkk., 2017).....	25

Gambar 2.21 Parameter distorsi Groom-Bailey untuk titik LIT007 (a) dan LIT008 (b) untuk menemukan sudut <i>strike</i> di antara 25° hingga 30°.....	26
Gambar 3.1 Desain Akuisisi Data Magnetotelurik Lapangan Panas Bumi Arjuno-Welirang Setelah di <i>Overlay</i> dengan Peta Geologi Regional.....	28
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.3 Tampilan Awal Perangkat Lunak <i>SSMT2000</i>	30
Gambar 3.4 <i>Setting</i> Parameter FFT.....	31
Gambar 3.5 <i>Setting</i> Parameter <i>Robust Processing</i>	31
Gambar 3.6 <i>Robust Processing</i>	32
Gambar 3.7 Tampilan <i>setting robust processing remote reference</i>	33
Gambar 3.8 Contoh perhitungan koherensi.....	34
Gambar 3.9 <i>Input</i> data <i>tipper</i> dan estimasi sudut <i>geo-electrical strike</i>	34
Gambar 3.10 Sebelum pemilihan <i>crosspower</i> data MT-05.....	36
Gambar 3.11 Setelah diseleksi <i>crosspower</i> data MT-05.....	36
Gambar 3.12 Proses <i>masking</i> data TDEM.....	37
Gambar 3.13 Bentuk kurva inversi 1-D data TDEM.....	37
Gambar 3.14 Tampilan Awal Perangkat Lunak <i>WinGLink</i>	38
Gambar 3.15 Peta Elevasi Lintasan.....	38
Gambar 3.16 Kurva TE (merah) dan TM (biru) Sebelum <i>Smoothing</i> dan <i>Static Shift Correction</i>	39
Gambar 3.17 <i>Setting</i> Parameter <i>Smoothing</i>	39
Gambar 3.18 Kurva TE (merah) dan TM (biru) Setelah <i>Smoothing</i> dan <i>Static Shift Correction</i>	40
Gambar 3.19 <i>Setting</i> Parameter Pemodelan <i>Occam 1D</i>	40
Gambar 3.20 Hasil Pemodelan <i>Occam 1D</i>	41
Gambar 3.21 <i>Setting</i> Penentuan Nilai Resistivitas dan Kedalaman Pemodelan 1D.....	41
Gambar 3.22 Hasil Akhir Pemodelan Inversi 1D Metode <i>Occam</i>	42
Gambar 3.23 Hasil <i>Cross Section</i> Pemodelan 1D.....	42
Gambar 3. 24 Model Awal Penampang Resistivitas 2D.....	43
Gambar 3.25 <i>L'Curve</i> semua lintasan.....	46
Gambar 3.26 Hasil Pemodelan 2D Metode NLCG.....	47
Gambar 3.27 Grafik pengerjaan tugas akhir.....	51
Gambar 4.1 nilai sudut geoelectrical strike untuk periode 0.1-10s (kiri), 10-100s (tengah), dan 100-1000s (kanan).....	53
Gambar 4.2 Peta geologi regional daerah panasbumi Gunung Arjuno-Welirang (Hadi dkk., 2010).....	54
Gambar 4.3 Kurva <i>rho apparent</i> data MT76.....	55

Gambar 4.4 Data MT67 sebelum koreksi efek statik.....	56
Gambar 4.5 Data MT67 setelah koreksi efek statik.....	56
Gambar 4.6 Hasil pemodelan xsection 1-D.....	58
Gambar 4.7 Hasil pemodelan 2-D lintasan 1.....	59
Gambar 4.8 Hasil pemodelan xsection 1-D lintasan 2.....	60
Gambar 4.9 Hasil pemodelan 2-D lintasan 2.....	61
Gambar 4.10 Hasil pemodelan xsection 1-D lintasan 3.....	62
Gambar 4.11 Hasil pemodelan 2-D lintasan 3.....	63
Gambar 4.12 Hasil pemodelan xsection 1-D lintasan 4.....	64
Gambar 4.13 Hasil pemodelan 2-D lintasan 4.....	65
Gambar 4.14 Interpretasi hasil pemodelan lintasan 1.....	66
Gambar 4.15 Interpretasi Hasil Pemodelan Lintasan 2.....	68
Gambar 4.16 Interpretasi Hasil Pemodelan Lintasan 3.....	70
Gambar 4.17 Interpretasi Hasil Pemodelan Lintasan 4.....	72
Gambar 4.18 <i>Cross section</i> model semua lintasan.....	72

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Perbandingan nilai <i>RMS</i> , dan <i>Roughness</i> Sebagai Parameter <i>L'Curve</i>	44
Tabel 3.2 Rencana dan realisasi pengerjaan tugas akhir.....	48
Tabel 4.1 Nilai koherensi data.....	53

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jawa Timur bagian selatan berada pada jalur vulkanik yang dikenal dengan jalur *ring of fire*, yaitu rentetan gunung api, baik yang aktif, maupun gunung api yang tidak aktif. Gunung-gunung tersebut berasosiasi dengan pembentukan sistem panas bumi. Berdasarkan informasi sebaran potensi panas bumi Indonesia (ESDM, 2017), prospek panas bumi di daerah Jawa Timur mempunyai potensi energi listrik ± 1024 MWe, sedangkan wilayah Gunung Arjuno dan Gunung Welirang sendiri memiliki potensi kelas cadangan terduga sebesar 280 Mwe, namun potensi energi tersebut belum ada yang dikembangkan sebagai lapangan produksi panas bumi yang membangkitkan tenaga listrik. (ESDM, 2017). Eksplorasi panas bumi berkaitan dengan ilmu kebumihan, termasuk bidang geofisika. Fenomena arus telurik diaplikasikan melalui metode magnetotelurik. Dalam metode ini, arus telurik digunakan sebagai sumber untuk menginduksi material bawah permukaan sehingga diperoleh informasi persebaran nilai resistivitas bawah permukaan. Metode magnetotelurik merupakan metode yang diandalkan dalam eksplorasi panas bumi karena memiliki jangkauan kedalaman yang cukup besar yaitu mencapai ratusan kilometer (Oskooi, 2011).

Rachmaningtias dkk. (2014) melakukan penelitian identifikasi struktur resistivitas daerah geothermal "T" berdasarkan hasil pemodelan 2D data magnetotelurik. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik panas bumi area *geothermal* "T". Proses ini dilakukan berdasarkan hasil pemodelan 2 dimensi data magnetotelurik. Hasil pemodelan data magnetotelurik menunjukkan persebaran struktur resistivitas dengan nilai 0- 10 ohm.m dengan ketebalan 1 km dikatakan sebagai *clay cap*. Zona *reservoir* dengan nilai 10-100 ohm.m pada kedalaman 1-2 km, sedangkan zona *heat source* berada pada kedalaman 2-3 km, dengan nilai resistivitas 100-1000 ohm.m. Karakteristik metode magnetotelurik (MT) yang bersifat pasif memungkinkan mengukur semua sinyal, termasuk yang mengandung *noise*. *Noise* tersebut timbul karena kompleksitas dan ketidakhomogenan Bumi. Hal tersebut mengakibatkan tensor impedansi yang terukur tidak tegak lurus dengan arah *strike*, sehingga dapat mempengaruhi hasil pemodelan data magnetotelurik secara 2-D (Simpson dan Bahr, 2005).

Solusi dari permasalahan tersebut adalah melakukan rotasi terhadap *geoelectrical strike* sebelum proses inversi 2-D, hal itu dilakukan untuk memenuhi asumsi inversi 2D bahwa strukturnya memanjang sampai tak hingga (Jones dan Groom, 1992). Proses rotasi tensor dilakukan menggunakan *dara tipper strike* pada *software* Mteditor dan *Geo Rose*. Nilai *tipper strike*

berfungsi untuk mengetahui arah *geoelectrical strike* yang dominan dan dijadikan sebagai sudut acuan rotasi tensor impedansi (Adão, 2015). Selanjutnya dilakukan pemodelan menggunakan *software WinGLink*, pemodelan dapat dilakukan dengan metode *Occam* untuk 1-D, dan metode *Non Linear Conjugate Gradient (NLCG)* untuk 2-D. Hasil pemodelan inversi setelah rotasi tensor akan dilakukan validasi berdasarkan informasi geologi agar diperoleh hasil yang representatif terhadap struktur bawah permukaan lapangan panas bumi Arjuno-Welirang.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian pada tugas akhir ini adalah bagaimana menentukan sudut *geo-electrical strike* untuk rotasi tensor impedansi serta bagaimana memodelkan inversi 2-D data magnetotelurik pada lapangan panas bumi Arjuno-Welirang.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan topik permasalahan dalam penelitian pada tugas akhir ini, penulis menyimpulkan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Data yang digunakan untuk pengolahan adalah data hasil pengukuran Magnetotelurik dari PT. Elnusa Tbk di daerah Arjuno-Welirang dalam format time series.
2. Data merupakan milik PT. Elnusa Tbk.
3. Pemodelan inversi yang digunakan yaitu pemodelan inversi 2D dengan batas rms yang diperoleh maksimal 8 %.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah menentukan sudut *geo-electrical strike* untuk rotasi tensor impedansi serta untuk memodelkan inversi 2-D data magnetotelurik pada lapangan panas bumi Arjuno-Welirang.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini yaitu dapat mengetahui pengaruh *geoelectrical strike* pada saat pengolahan data Magnetotelurik.

1.6 Target Luaran

Target luaran dari penelitian ini adalah publikasi jurnal Geosaintek

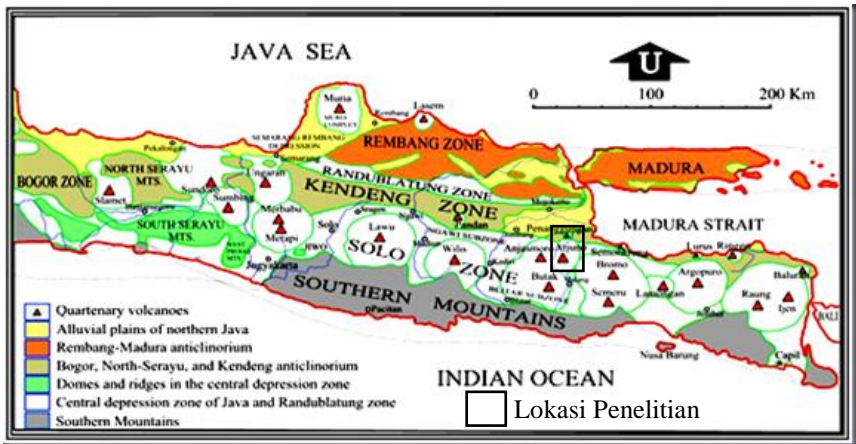
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Geologi Regional Arjuno-Welirang

2.1.1.1 Fisiografi Regional

Secara administratif Gunung Arjuno-Welirang termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Malang, Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis Gunung Arjuno-Welirang berada pada koordinat $112^{\circ}29'12''$ – $112^{\circ}37'39''$ BT sampai $7^{\circ}37'56''$ – $7^{\circ}49'51''$ LS atau terletak pada koordinat UTM antara 665500 – 679250 mT dan 9139000 – 9158200 mU pada proyeksi peta Universal Transverse Mercator (UTM) Datum WGS 1984 zona 49S



Gambar 2.1 Fisiografi pulau jawa (Van Bemmelen, 1949)

Menurut Van Bemmelen (1949), secara umum Jawa Timur dibagi menjadi empat zona jalur fisiografi, yaitu Zona Rembang di bagian Utara, kemudian ke bagian Selatan terdapat Zona Kendeng dan Zona Solo, serta di bagian paling Selatan adalah Zona Pegunungan Selatan seperti yang terlihat pada gambar 2.1. Batuan yang mendasari kegiatan Gunung Arjuno-Welirang merupakan hasil sedimentasi pada zona Kendeng, yang sekarang merupakan daerah Dataran Jawa Timur bagian tengah. Pengendapan sedimentasi Tersier pada zona Kendeng terdiri dari Formasi Kerek, 'Kerek Limestone', Formasi Kalibeng Bawah, Formasi Kalibeng Atas dan Pucangan-Kabuh-Notopuro. Formasi Kerek dan Kalibeng secara garis besar merupakan sedimen klastika

halus bersifat gampingan, kumpulan hancuran tersebut merupakan hasil penghancuran batuan vulkanik. Kumpulan batuan yang menutupi formasi ini merupakan hasil sedimen piroklastika kasar dan halus, terdiri dari Formasi Pucangan Kabuh-Notopuro. Kumpulan batuan tersebut mencirikan endapan yang berbentuk dalam suasana fluvial, seperti Formasi Kabuh. Kelompok Gunung Arjuno-Welirang merupakan kompleks Gunung api tua yang terbentuk pada kala Kwartir Bawah. Komplek Gunung api tersebut menumpang di atas 'Djombang Layers'. Kumpulan batuan tersebut dapat dikembangkan dengan Formasi Pucangan, di mana dapat dibedakan menjadi fasies darat dan laut. Batuan yang tertua di daerah panas bumi Arjuno-Welirang adalah batuan Vulkanik Anjasmoro yang kegiatan vulkaniknya berlangsung pada Pleistosen Tengah bagian atas. (Hadi dkk., 2010)

2.1.1.2 Stratigrafi Regional

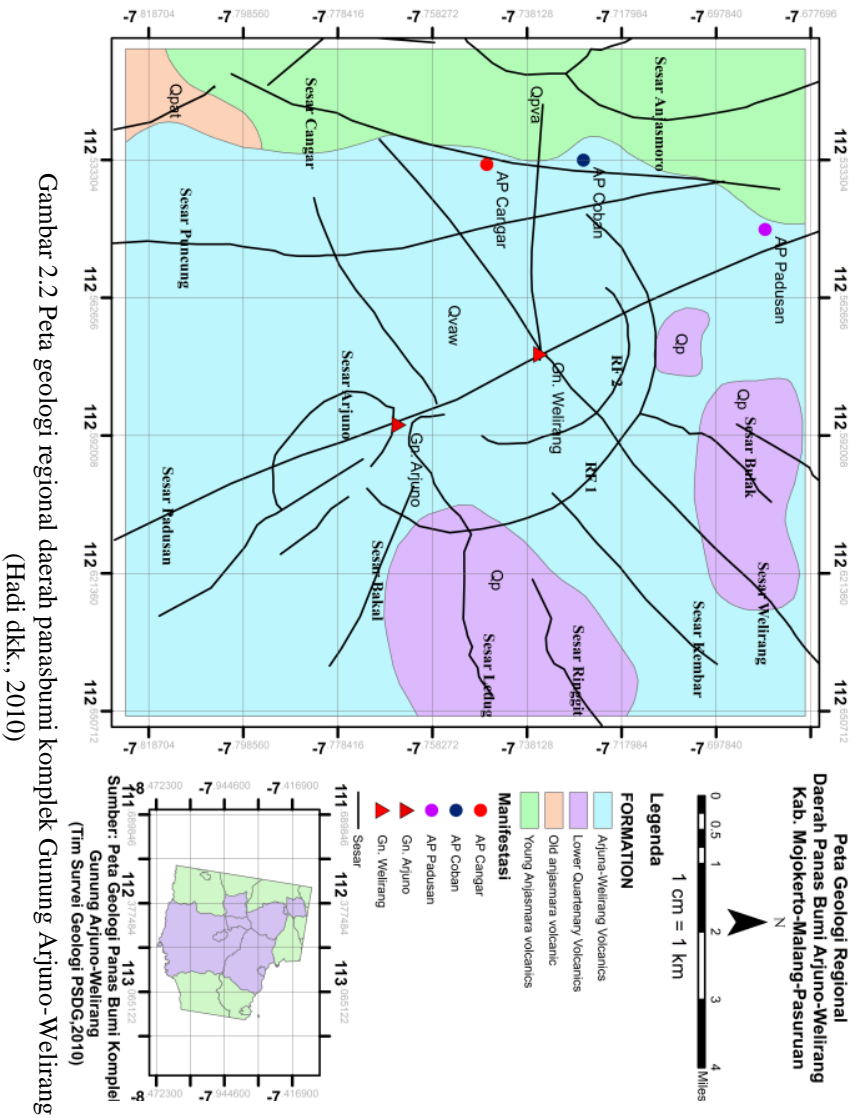
Secara stratigrafis batuan di daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi 4 satuan batuan, yaitu: Batuan Gunung api Anjasmoro Tua (Qpat), Gunung api Anjasmara Muda (Qpva), Gunung api Kwartir Bawah (Qp), Gunung api Arjuno-Welirang (Qvaw) (Hadi dkk., 2010). Persebaran satuan batuan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2

Batuan Gunung api Anjasmoro Tua mempunyai pelamparan di bagian barat daerah penelitian dengan bentuk melingkar ke arah Gunung Anjasmoro. Batuan tersusun oleh breksi Gunung api, tufa breksi, lava dan tufa. Breksi Gunung api mempunyai ukuran pasir sampai bongkah, bentuk fragmen menyudut sampai membulat tanggung, kemas tertutup, komponen terdiri dari andesit, basal dan batuapung di dalam masadasar tufa. Di bagian tengah terdapat sisipan tufa dan lava andesit. Tufa breksi tersusun oleh material Gunung api berukuran pasir sampai bom, sedikit mengandung sisipan lava. Tufa berukuran pasir sedang – halus, terdapat sisipan breksi Gunung api. Lava terdiri dari lava andesit – basal dengan komposisi augit-piroksen.

Batuan Gunung api Anjasmoro Muda tersusun oleh breksi Gunung api, tufa breksi, lava dan intrusi andesit porfir. Breksi Gunung api berukuran pasir kasar sampai bom, komposisi tersusun oleh andesit, basal dan batuapung. Secara setempat-setempat satuan ini diterobos oleh retas andesit-basal. Tufa breksi berukuran pasir kasar – bom, dan tersusun oleh fragmen andesit, batuapung dan basal. Lava berstruktur vesikuler, komposisi tersusun oleh basal. Intrusi andesit porfir berkomposisi andesit sebagian terdapat komposisi basal.

Batuan Gunung api Kawi – Butak tersusun oleh breksi Gunung api, tufa, lava, aglomerat dan lahar. Breksi Gunung api berukuran pasir kasar – bom, komponen terdiri dari andesit, basal, batuapung, dalam basa dasar tufa pasiran. Tufa berukuran pasir kasar – halus, komponen terdiri dari tufa dan batuapung dengan sisipan breksi. Lava tersusun oleh andesit, basal, andesit piroksen, basal olivin dan basal piroksen. Aglomerat berukuran pasir kasar – bom, komponen

terdiri dari andesit, basal, batuapung dan obsidian. Lahar berukuran pasir halus – kerakal.



Gambar 2.2 Peta geologi regional daerah panasbumi kompleks Gunung Arjuno-Welirang (Hadi dkk., 2010)

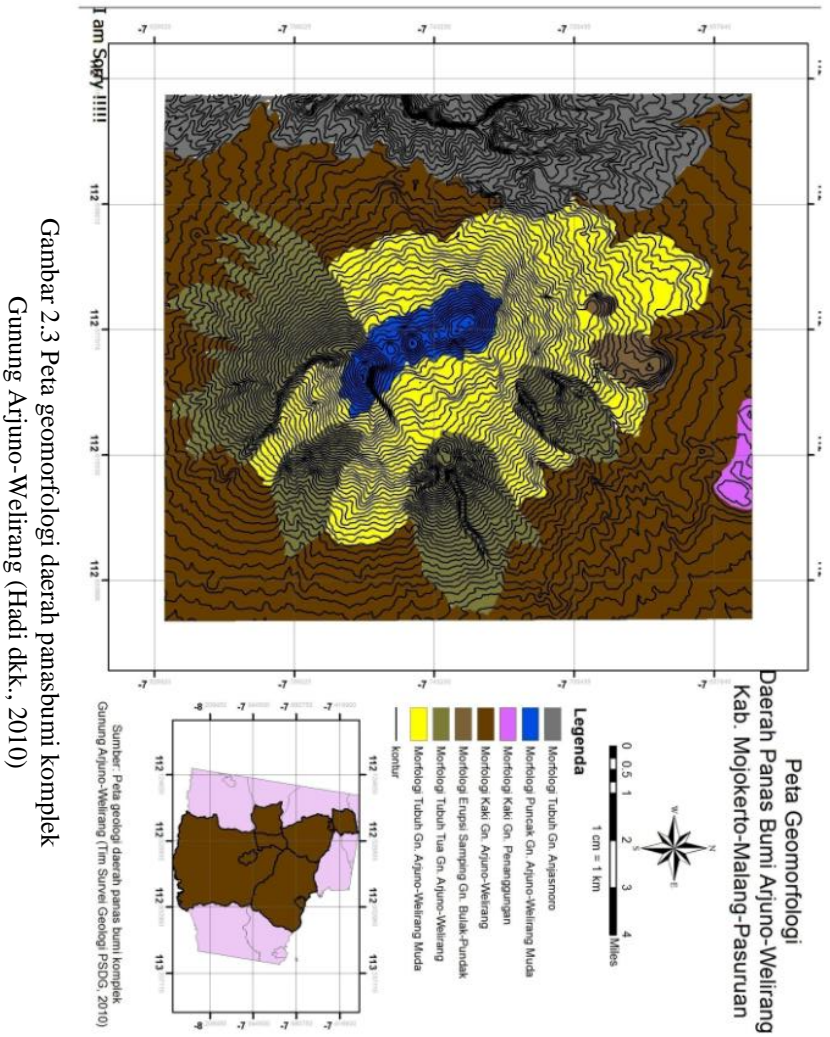
Batuan Gunung api Arjuno–Welirang tersusun oleh breksi Gunung api, lava, breksi tufaan dan tufa. Breksi Gunung api berukuran pasir kasar – bom, komponen terdiri dari andesit, basal, batuapung dan obsidian di dalam masadasar tufa pasiran. Lava tersusun oleh andesit-basal yang mengandung feldspar dan piroksen. Breksi tufan berukuran pasir kasar – bom. Komponen tersusun oleh andesit, basal, batuapung, obsidian dan mafik mineral. Tufa berukuran pasir kasar – halus, sedikit mengandung batuapung.

2.1.2 Geologi Lokal Arjuno-Welirang

2.1.2.1 Geomorfologi

Satuan morfologi di kompleks Arjuno-Welirang dapat dibedakan menjadi tujuh satuan geomorfologi sesuai gambar 2.3 (Hadi dkk., 2010) yaitu:

- a. Satuan geomorfologi tubuh Gunung Anjasmoro
Kondisi daerah terjal dan curam, sungai-sungai membentuk pola sub paralel dengan lembah sempit berbentuk V. Litologi penyusun berupa lava dan aliran piroklastik produk Gunung Anjasmoro Satuan morfologi tersusun oleh batuan lava andesitik produk Gunung Arjuno-Welirang tua.
- b. Satuan geomorfologi tubuh tua kompleks Arjuno-Welirang
Kondisi daerah terjal dengan sungai-sungai membentuk pola sub-dendritik dan bentuk lembah yang sempit.
- c. Satuan geomorfologi erupsi samping Gunung Bulak dan Pundak
Puncak ketinggian berada di Gunung Pundak dan Gunung Bulak yang tersusun oleh lava andesit. Kemiringan lereng terjal dengan sungai membentuk pola aliran radial.
- d. Satuan geomorfologi tubuh muda Gunung Arjuno-Welirang
Tersusun oleh batuan lava andesit, aliran piroklastik produk gunungapi Sin-Arjuno Welirang seperti Gunung Arjuno, Gunung Welirang, Gunung Bakal serta Gunung Kembar I dan II. Kemiringan lereng antara bergelombang hingga terjal dengan sungai- sungai yang membentuk pola pengaliran radial dan sub-dendritik serta lembah V yang dalam.
- e. Satuan puncak Gunung Arjuno-Welirang
Satuan ini menempati bagian tengah dari kompleks Gunung Arjuno-Welirang pada masing-masing puncak Gunung Arjuno, Gunung Welirang, Gunung Bakal serta Gunung Kembar I dan II. Tersusun oleh batuan lava andesit dan aliran piroklastik.



Gambar 2.3 Peta geomorfologi daerah panas bumi komplek Gunung Arjuno-Welirang (Hadi dkk., 2010)

f. Satuan kaki Gunung Arjuno-Welirang
Tersusun oleh batuan lava andesit aliran piroklastik, longsoran vulkanik dan lahar. Kemiringan lereng bergelombang dengan pola pengaliran sungai sub-radial dengan sungai yang cukup lebar (>5 m) dan membentuk lembah U. Berfungsi sebagai daerah

limpasan (discharge), tempat munculnya air panas Cangar, Padusan dan Coban. Disamping itu banyak pula muncul mata air dingin dengan debit yang besar

g. Satuan kaki Gunung Penanggungan

Tersusun oleh aliran piroklastik produk Gunung Penanggungan. Kemiringan lereng landai.

2.1.2.2 Struktur Geologi

Struktur geologi yang berkembang dikelompokkan sesuai arah sesar, yaitu arah utara-selatan, baratlaut-tenggara, baratdaya-timurlaut, dan barat-timur. Selain itu terbentuk beberapa stuktur vulkanik seperti *ring fracture* dan zona amblasan (Hadi dkk., 2010). Persebaran struktur geologi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5

a. Sesar Berarah Utara Selatan.

Beberapa sesar pada arah ini diwakili oleh sesar Cangar, sesar Puncung dan sesar Claket, berupa kelurusan manifestasi, munculnya gawir sesar dan air terjun serta perbedaan ketinggian pada topografi yang cukup terjal.

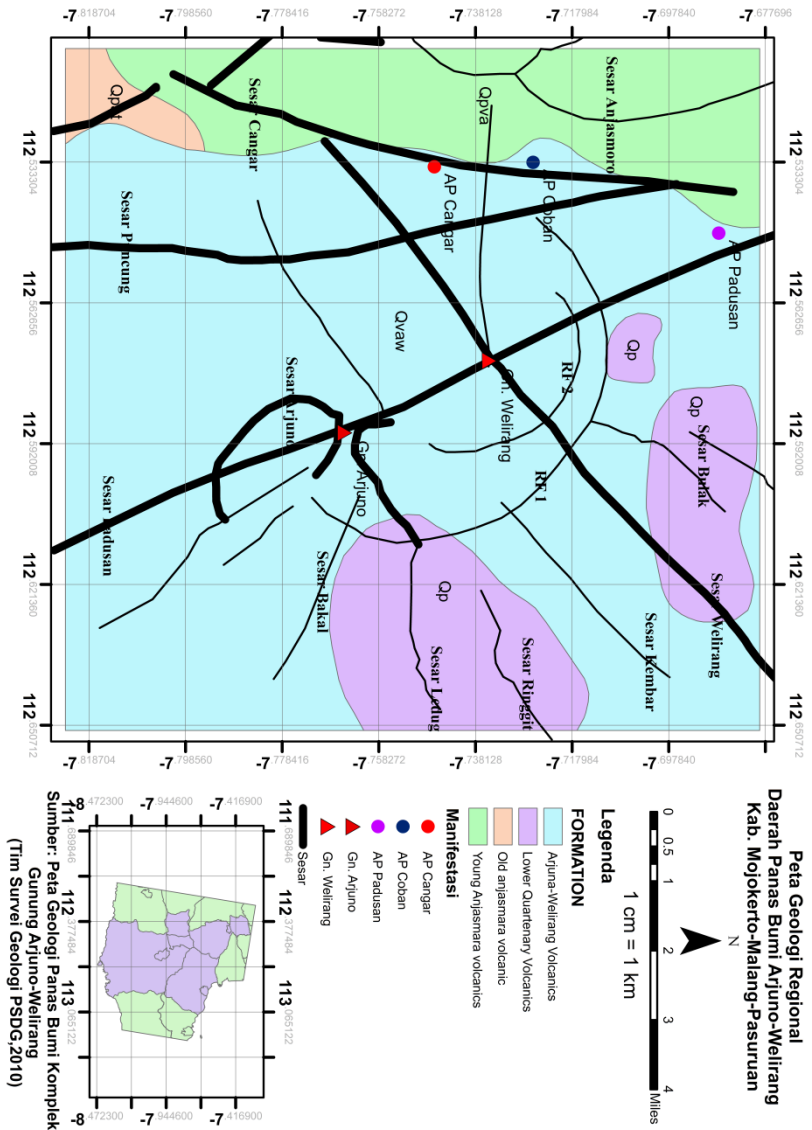
b. Sesar Berarah Barat Laut - Tenggara.

Sesar ini diperkirakan sebagai pola struktur yang muncul berupa antitetik dari sesar utama dengan arah baratdaya - timurlaut sejajar pola Meratus. Sesar ini diwakili oleh sesar Padusan, sesar Kemiri, dan sesar Bakal. Sesar Kemiri dan sesar Claket diperkirakan membentuk suatu daerah graben yang bagian turunnya diisi oleh aliran piroklastik Welirang. Kenampakan dilapangan dicirikan oleh kelurusan air panas dan topografi yang terjal. Sesar-sesar ini kemungkinan mengontrol munculnya air panas di sekitar Padusan dan berpengaruh dalam pembentukan daerah impermeabel dalam system Panas bumi Arjuno - Welirang.

c. Sesar Berarah Baratdaya - Timurlaut.

Sesar ini diperkirakan sebagai sesar utama yang mempengaruhi munculnya kompleks Gunung api Arjuno-Welirang. Sejajar dengan arah sesar basement yang berpola Meratus. Memiliki kecenderungan berasosiasi terhadap munculnya Gunung Penanggungan yang menerus ke arah lumpur Sidoarjo. Sesar ini diwakili oleh Sesar Welirang, sesar Kembar dan sesar Bulak. Kenampakan di lapangan berupa gawir yang membentuk air terjun.

Gambar 2.4 Peta geologi regional daerah panasbumi Gunung Arjuno-Welirang (Hadi dkk., 2010)



d. Sesar Berarah Barat - Timur.

Sesar ini diwakili oleh sesar Ledug dan sesar Ringit. Penarikan sesar didasarkan pada kelurusan topografi dan citra *landsat*.

e. Rim Kaldera Anjasmoro.

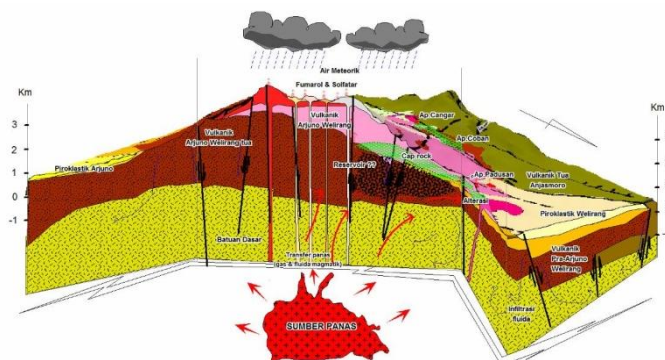
Sesar ini berjenis sesar normal yang membentuk gawir curam dan melingkar. Kenampakan di lapangan dapat dilihat jelas dari arah jalan menuju Cangar. Diperkirakan merupakan bentukan dari sisa kaldera tua yang terbentuk akibat aktivitas vulkano tektonik di kompleks Anjasmoro. Sektor *collapse* atau amblasan. Sesar yang terbentuk berupa sesar normal ditunjukkan dengan bentukan yang khas setengah melingkar dengan arah bukaan ke tenggara dan timurlaut. Sesar-sesar ini ditunjukkan oleh sesar Arjuno. Disamping itu sektor amblasan ditarik berdasarkan kelurusan dari tubuh tua Gunung Arjuno-Welirang dengan daerah bukaan ke arah baratdaya. Amblasnya daerah ini kemungkinan diakibatkan oleh aktivitas vulkanik Gunung Arjuno-Welirang yang memuntahkan material vulkaniknya sehingga terjadi kekosongan dan memicu munculnya produk vulkanik baru seperti Gunung Arjuno-Welirang muda, Gunung Kembar I,II dan Gunung Bakal.

2.1.2.3 Sistem Geologi

Sistem panas bumi kompleks Arjuno-Welirang menurut Daud dan Fikri, (2013) dikategorikan sebagai *young-igneous system*. Lapisan reservoir diperkirakan berada pada batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang Tua baik berupa lava ataupun piroklastik. Batuan tersebut dianggap cukup baik karena telah mengalami proses deformasi pada periode Plistosen Akhir sehingga memungkinkan membentuk pola rekahan yang intensif dan bersifat permeabel. Reservoir panas bumi diperkirakan berada di bawah batuan penudung dengan ditandai oleh sebaran tahanan jenis sedang (20 – 100 Ohm-m) yang tersebar di bagian tengah antara fumarol Gunung Welirang, mata air panas Cangar, mata air panas Coban, dan mata air panas Padusan. Puncak dari reservoir ini diperkirakan berada di bagian barat G.Welirang dekat Ap.Coban dengan kedalaman sekitar 1500 meter di bawah permukaan tanah. Puncak reservoir ini semakin mendalam ke sebelah utara dan baratdaya yang dapat mencapai kedalaman sekitar 2500 meter di bawah permukaan tanah. Batuan penudung ini diperkirakan memiliki sifat *impermeable* dengan kandungan mineral lempung jenis montmorilonit yang cukup tinggi pada daerah alterasi di Utara Gunung Welirang.

Batuan alterasi yang terbentuk merupakan tipe argilik. Alterasi tersebut muncul pada lava produk erupsi samping Gunung Pundak. Batuan penudung ini diperkirakan berada pada zona struktur graben yang dibatasi oleh sesar Kemiri dan sesar Claket – Bulak pada elevasi 1400 mdpl. Selain data alterasi, kemungkinan lainnya yang dapat diinterpretasikan sebagai batuan penudung adalah lava muda produk Welirang yang masif dan belum terekahkan secara kuat. Tahanan jenis rendah tersebar dari mulai permukaan hingga kedalaman sekitar 3000 meter dengan ketebalan antara 1000 meter hingga 2500 meter.

Seluruh Air panas termasuk tipe bikarbonat. Sumber panas diperkirakan berasal dari Gunung Arjuno – Welirang yang secara sejarah erupsi berumur Kuarter dan pada tahun 1950 terjadi erupsi hidrotermal di puncak Gunung Welirang maka diambil kesimpulan bahwa sumber panas pada sistem ini berasal dari kegiatan vulkanisme produk Gunung Welirang. Hasil pentarikan umur batuan pada lava welirang muda adalah ± 200.000 tahun. Model konseptual sistem panas bumi dapat dilihat pada gambar 2.6

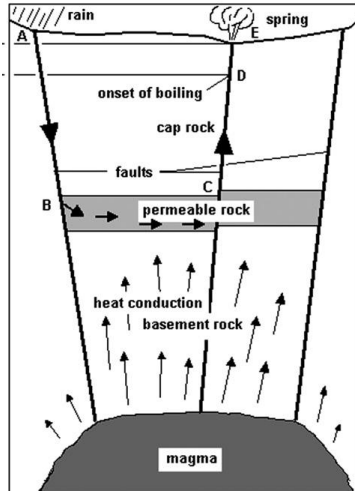


Gambar 2.5 Model konseptual sistem panas bumi Arjuno-Welirang (Daud dan Fikri, 2013)

2.1.3 Metode Geofisika

2.1.3.1 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi dapat digambarkan sebagai konveksi fluida pada kerak bumi teratas di mana dalam ruang terperangkap, transfer panas dari sumber panas (*heat source*) ke penyimpanan panas dalam keadaan permukaan yang bebas (*free surface*). Sistem panas bumi sendiri umumnya dibangun atas lima elemen utama yaitu *heat source*, *reservoir*, *cap rock*, struktur geologi yang umumnya merupakan patahan dan terakhir adalah fluida (DiPippo, 2012).



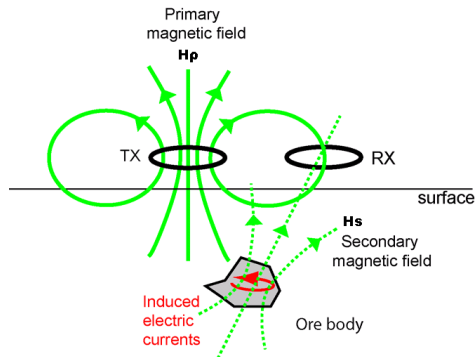
Gambar 2.6 Sistem panas bumi (DiPippo, 2012)

Sistem panas bumi memiliki lima elemen penting. Pada gambar 2.6 Magma berperan sebagai *heat source* dari sistem panas bumi. Kemudian ada *permeable rock* yang berperan sebagai *reservoir*. Pada *basement rock* akan mengalami *heat conduction* dari magma menuju *reservoir*. Hujan berperan sebagai fluida yang mengalir melalui patahan A menuju *reservoir*. Huruf A pada gambar merupakan patahan yang berfungsi sebagai *recharge area* yaitu wilayah yang berperan dalam mengalirkan fluida ke *reservoir* yang digambarkan pada huruf B. Sistem panas bumi akan terperangkap pada *reservoir* dikarenakan adanya lapisan penudung atau *cap rock* pada huruf C, yang kemudian diteruskan alirannya ke permukaan melewati patahan D yang vertikal ke arah permukaan. Manifestasi akan dapat dilihat pada permukaan bumi berupa *spring* yang digambarkan pada huruf E. Berdasarkan asosiasi terhadap tatanan geologinya, Sistem panas bumi di Indonesia dikelompokkan menjadi tiga jenis meliputi sistem panas bumi vulkanik, vulkano-tektonik dan non-vulkanik. Sistem panas bumi vulkanik merupakan sistem panas bumi yang berasosiasi dengan gunung api yang berumur kuartar dan terletak di pegunungan vulkanik dari Sumatera, Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara, sebagian Maluku dan Sulawesi Utara, sedangkan untuk vulkano-tektonik merupakan sistem panas bumi yang berasosiasi dengan struktur patahan graben dan kerucut vulkanik. Model sistem panas bumi tersebut dapat ditemukan didaerah Sumatera pada jalur sistem sesar semangko. Selanjutnya sistem panas bumi non-vulkanik merupakan sistem panas bumi yang berasosiasi dengan struktur patahan graben, aktivitas sesar, dan aktivitas sisa vulkanik. Secara umur geologi sistem panas bumi ini relatif lebih tua dari pada dua sistem sebelumnya

dan sistem tersebut terdapat didaerah Sulawesi bagian barat dan selatan (Saptadji, 2009).

2.1.3.2 Prinsip Dasar Metode Magnetotelurik

Metode magnetotelurik (MT) merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika pasif yang memanfaatkan medan elektromagnetik alam. Medan EM tersebut ditimbulkan oleh berbagai proses fisik yang cukup kompleks sehingga spectrum frekuensinya sangat lebar (10^{-5} Hz – 10^4 Hz). Metode magnetotellurik (MT) merupakan salah satu metode geofisika yang dinilai paling baik digunakan dalam eksplorasi panas bumi karena memiliki kemampuan untuk memetakan nilai resistivitas batuan sistem panas bumi (Oskooi, 2011). Metode tersebut mengukur dua komponen orthogonal medan listrik (E) dan dua komponen orthogonal medan magnet (B), proses tersebut digambarkan oleh gambar 2.7.



Gambar 2.7 Prinsip dasar metode magnetotelurik (Sulistyo dkk., 2015)

Medan elektromagnetik alami (medan elektromagnetik primer) sebagai sumber metode magnetotelurik sampai ke Bumi dengan memiliki variasi terhadap waktu. Medan elektromagnetik tersebut menginduksi *ore body* di bawah permukaan Bumi sehingga *eddy current* (arus telluric) yang menimbulkan medan elektromagnetik sekunder. *Receiver* (RX) yang berada di permukaan menangkap total medan elektromagnetik sebagai penjumlahan dari medan elektromagnetik primer dan medan elektromagnetik sekunder (Chave dan Jones, 2012)

2.1.3.3 Persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell merupakan sintesis hasil-hasil eksperimen empiris mengenai fenomena listrik-magnet yang didapatkan oleh Faraday, Ampere, Gauss, dan Coloumb di samping yang dilakukan oleh Maxwell sendiri. Dalam

bentuk differensial, persamaan Maxwell dalam domain frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut:

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

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

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

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

Dimana ,

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 (Columb/m²)

q: rapat muatan listrik (Columb/m³)

Persamaan (2.1) diturunkan dari hukum Faraday yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik menyebabkan medan listrik dengan gaya gerak listrik berlawanan dengan variasi fluks magnetik yang menyebabkannya. Persamaan (2.2) merupakan generalisasi terorema Ampere dengan memperhitungkan hukum kekekalan muatan. Persamaan tersebut menyatakan bahwa medan magnet timbul akibat fluks total arus listrik yang disebabkan oleh arus konduksi dan arus perpindahan. Persamaan (2.3) menyatakan hukum Gauss yaitu fluks elektrik pada suatu ruang sebanding dengan muatan total yang ada dalam ruang tersebut. Sedangkan persamaan (2.4) yang identik dengan persamaan (2.3) berlaku untuk medan magnet, namun dalam hal ini tidak ada monopol magnetik (Chave dan Jones, 2012).

2.1.3.4 Tensor Impedansi

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

$$E_X(\omega) = Z_{XX}(\omega)H_X(\omega) + Z_{XY}(\omega)H_Y(\omega) \quad (2.5)$$

$$E_Y(\omega) = Z_{YX}(\omega)H_X(\omega) + Z_{YY}(\omega)H_Y(\omega) \quad (2.6)$$

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_{XX} & Z_{XY} \\ Z_{YX} & Z_{YY} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Dimana $[\mathbf{Z}]$ merepresentasikan tensor impedansi.

$H_X(\omega)$, $H_Y(\omega)$, $E_X(\omega)$, dan $E_Y(\omega)$ adalah transformasi Fourier dari perubahan medan magnetik (\mathbf{H}) dan medan listrik (\mathbf{E}). Apabila diasumsikan

Bumi 1-D maka nilai impedansi dapat ditunjukkan pada persamaan (Jupp dan Vozoff, 1976) :

$$Z_{XY} = \frac{E_X}{H_Y} = \frac{\omega\mu}{k} = (1+i) \left(\frac{\omega\mu}{2\sigma}\right)^2 \quad (2.8)$$

Dimana

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

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

ω = frekuensi angular

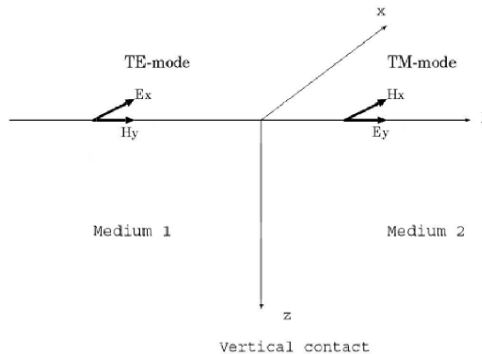
μ = permeabilitas magnetik ($\frac{H}{m}$)

k = bilangan gelombang

Resistivitas semu (ρ_a) untuk lapisan Bumi dapat diperoleh dari persamaan berikut (Cagniard, 1953) :

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

Apabila kita asumsikan Bumi seragam maka nilai resistivitas semu harus sama pada setiap frekuensi dan medan listrik akan berada di atas medan magnetik pada fase 45 derajat untuk semua frekuensi. Kemudian nilai resistivitas semu dan fase tersebut di *plot* pada grafik resistivitas semu terhadap frekuensi dan fase terhadap frekuensi. Dua modus independen dari impedansi dianalisis untuk analisis pendekatan Bumi 2-D dalam sistem koordinat Kartesian dengan x searah dengan arah *strike* dan y tegak lurus terhadap arah *strike* sesuai pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Komponen medan listrik dan medan magnet dalam polarisasi TE dan TM pada model 2D (Chave dan Jones, 2012)

Modus *Transverse Electric* (TE) adalah modus yang medan listriknya searah dengan *strike*, sedangkan modus *Transverse Magnetic* (TM) adalah

modus yang medan magnetiknya searah dengan *strike*. Bagian diagonal dari impedansi tensor untuk pendekatan Bumi 2-D adalah nol.

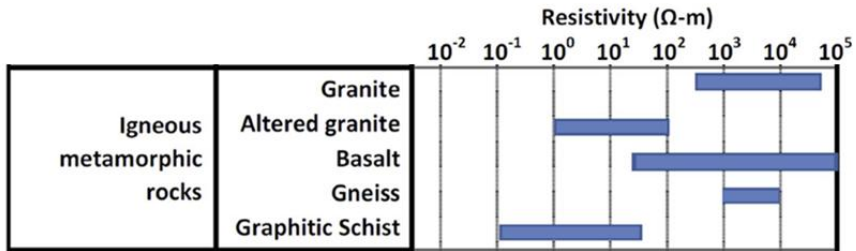
$$[Z] = \begin{bmatrix} 0 & Z_{XY} \\ Z_{YX} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Dimana:

$$Z_{YX} = Z_{TE} = \frac{E_Y}{H_X} \quad (2.11)$$

$$Z_{XY} = Z_{TM} = \frac{E_X}{H_Y} \quad (2.12)$$

Beberapa studi menunjukkan adanya kaitan erat antara resistivitas dengan porositas, kandungan fluida (air atau gas) dan temperatur formasi batuan. Namun pengaruh masing-masing faktor terhadap batuan sangat kompleks karena dapat saling tumpang tindih (*overlap*). Akan tetapi secara umum diketahui bahwa porositas tinggi yang disertai dengan kandungan gas biasanya dicirikan dengan resistivitas yang juga relatif tinggi. Sebaliknya bila fluidanya berupa air maka nilai resistivitas menjadi rendah. Untuk nilai resistivitas beberapa jenis batuan dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Rentang nilai resistivitas batuan (Chave dan Jones, 2012)

2.1.3.5 Rotasi Tensor Impedansi

Pada medium 2-D dengan sumbu x atau sumbu y searah dengan jurus (*strike*) maka $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$, namun $Z_{xy} \neq Z_{yx}$. Secara matematis, kita bisa menghitung tensor impedansi yang seolah-oleh diperoleh dengan sistem koordinat pengukuran lain melalui rotasi. Hal ini sangat berguna karena arah jurus struktur tidak diketahui saat pengukuran dilakukan.

Tensor impedansi terotasi Z^* dirumuskan sebagai berikut :

$$Z^* = \mathbf{R} \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{R}^T \quad (2.13)$$

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

dimana \mathbf{R} adalah matriks rotasi θ searah jarum dan \mathbf{R}^T adalah transpose dari \mathbf{R} . Dengan asumsi model 2-D, arah jurus struktur dapat diperkirakan dengan merotasikan tensor hingga diperoleh tensor impedansi dengan elemen anti

diagonal (Z_{xy} atau Z_{yx}) maksimal dan elemen diagonal (Z_{xx} dan Z_{yy}) minimal. Salah satu metoda klasik untuk memperkirakan arah tersebut adalah metoda **Swift** (Jupp dan Vozoff, 1976) :

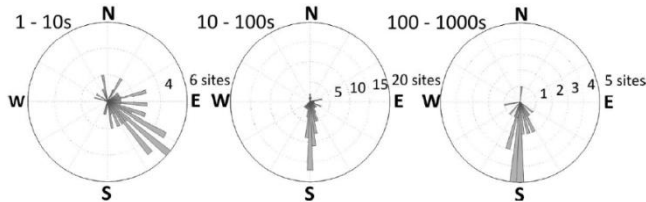
$$\theta_0 = \frac{1}{4} \tan^{-1} \left(\frac{2R_1R_2 + I_1I_2}{R_1^2I_1^2 - R_2^2 - I_2^2} \right) \quad (2.15)$$

Dimana:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = R_e(Z_{XX} - Z_{YY}) \\ I_1 = I_m(Z_{XX} + Z_{YY}) \\ R_2 = R_e(Z_{XY} + Z_{YX}) \\ I_2 = I_m(Z_{XY} - Z_{YX}) \end{array} \right. \quad (2.16)$$

Perlu diingat bahwa arah θ_0 seperti didefinisikan di atas masih mengandung ambiguitas $\pm 90^\circ$ sehingga diperlukan data lain seperti tipper ataupun data geologi untuk lebih memastikan estimasi tersebut.

Dalam pengaplikasiannya sudut rotasi dapat menggunakan *geo-electrical strike*. *Geo-electrical strike* merupakan arah dari aliran arus listrik yang melewati suatu batuan dengan resistivitas yang konstan sepanjang arah aliran (Khyzhnyak, 2014). *Geo-electrical strike* dapat diperoleh dari nilai *tipper strike* sebagai data pada *software Diagram Rose* sesuai pada gambar 2.10.

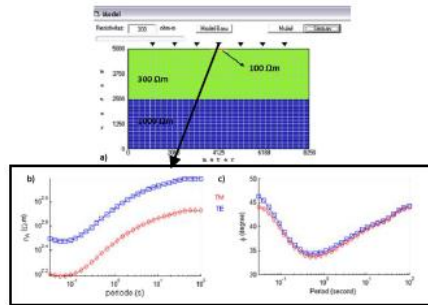


Gambar 2.10 Vektor induksi asli dominan menunjuk ke arah selatan pada periode lebih dari 10 s (Adão, 2015)

Saat memperkirakan *geo-electrical strike*, periode antara 1 hingga 10 juga menyebar pada vektor induksi asli dan tidak memiliki kesimpulan. Sedangkan *diagram rose* pada periode 10 hingga 100 s dan 100 hingga 1000 s menunjukkan menunjuk ke arah Selatan vektor induksi. Dari gambar 2.10, estimasi *geo-electrical strike* didominasi oleh arah E-W untuk set data tertentu. Sebagai sistem koordinat yang telah dicatat pada masing masing titik memiliki kecocokan dengan *geo-electric strike*, maka dilakukan rotasi dengan $\pm 90^\circ$ pada data tersebut (Adão, 2015).

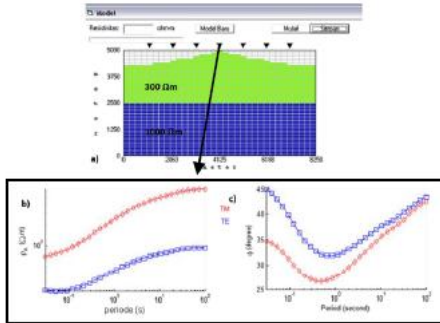
2.1.3.6 Koreksi Static Shift

Fenomena *static shift* dapat terjadi karena adanya heterogenitas permukaan, efek topografi, dan kontak vertikal. Heterogenitas permukaan dapat terjadi karena adanya lapisan yang tidak homogen di bawah permukaan yang dapat menyebabkan arah medan listrik terakumulasi pada batas heterogenitas tersebut. Dampaknya adalah medan listrik yang dihasilkan dari batas resistivitas akan mengurangi pengukuran medan listrik sehingga membuat nilai impedansi yang diukur berkurang dan menurunkan nilai resistivitas semu dari bagian resistif. Selain itu, pada bagian dimana medan listriknya resistif akan diperkuat sehingga bagian resistif tersebut menjadi semakin resistif. Hal ini mengakibatkan efek heterogenitas permukaan akan mempengaruhi semua frekuensi pada titik-titik pengukuran. Dampaknya adalah pengukuran MT akan tergeser ke atas jika melewati lapisan yang resistif dan sebaliknya akan tergeser ke bawah jika melewati lapisan konduktif sesuai gambar 2.11 (Sulistyo dkk., 2015).



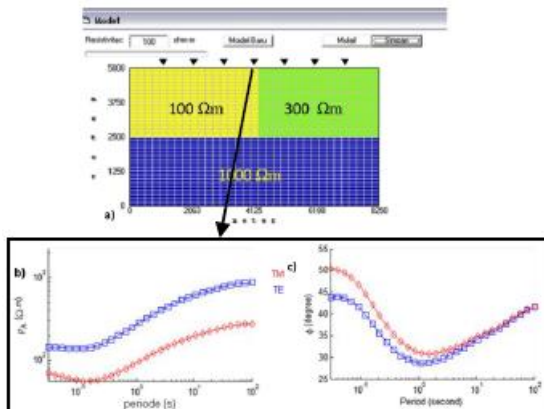
Gambar 2.11 Fenomena pergeseran *static* akibat heterogenitas dekat permukaan (Sulistyo dkk., 2015)

Perbedaan topografi yang mencolok juga mengakibatkan terjadinya *static shift*. Perbedaan topografi akan menghasilkan medan listrik paling rendah berada di puncak dan paling tinggi berada di lembah sehingga resistivitas terendah yang terukur berada di puncak dan resistivitas tertinggi yang terukur berada di lembah semakin besar pula pergeseran *static* yang terjadi sesuai pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Fenomena pergeseran *static* akibat perbedaan topografi (Sulistyo dkk., 2015)

Sedangkan kontak vertikal adalah kondisi dimana dua buah formasi batuan yang memiliki nilai resistivitas yang kontras dan saling kontak satu sama lain secara vertikal. Pada bagian yang lebih resistif, kurva *Transverse Magnetic* (TM) akan berada diatas kurva *Transverse Electric* (TE). Pada kasus ini, *static shift* tersebut tidak terjadi pada periode tinggi. *Static shift* akan terjadi pada semua periode jika stasiun pengukuran terletak tepat pada kontak vertikal sesuai gambar 2.13 (Sulistyo dkk., 2015).



Gambar 2.13 Fenomena pergeseran *static* akibat kontak vertikal (Sulistyo dkk., 2015)

2.1.3.7 Inversi Occam 1D

Inversi *Occam* merupakan bentuk metode inversi yang memanfaatkan tingkat kekasaran model yang hasilnya tidak tergantung pada estimasi awal

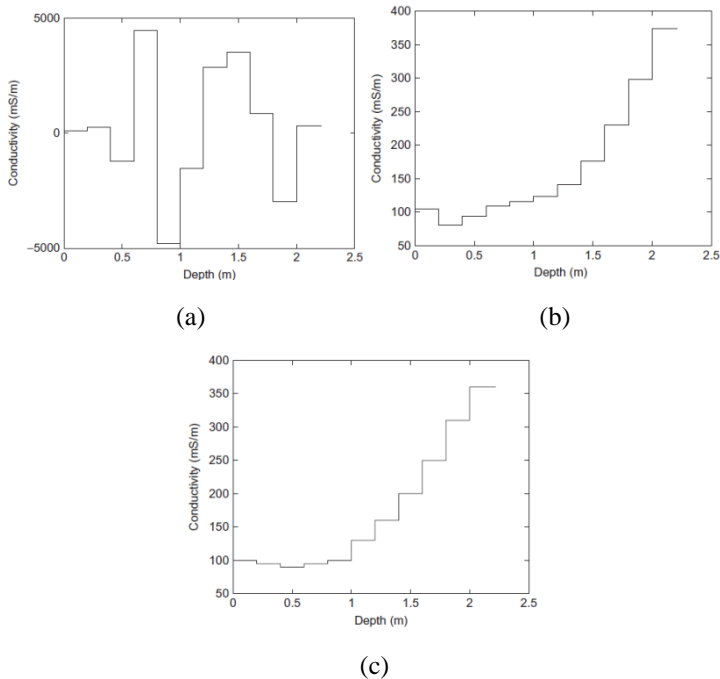
(Aster dkk., 2013). Perbedaan inversi *occam* dengan inversi yang lain dapat dilihat pada gambar 2.14.

Inversi *occam* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$R_1 = \int \left(\frac{dm}{dx} \right)^2 \text{ atau } R_1 = \sum_{i=2}^N (m_i - m_{i-1})^2 \quad (2.15)$$

Dimana R_1 merupakan fungsi *roughness* orde 1, $m(z)$ merupakan nilai resistivitas. Semakin tinggi orde pada fungsi tersebut, nilai *error* yang dihasilkan akan semakin kecil. Solusi untuk model 1D dari algoritma inversi *Occam* adalah:

$$mn+1 = [\mu \partial^T \partial + (WJn)^T WJn]^{-1} (WJn)^T Wd_n \quad (2.16)$$



Gambar 2.14 Perbandingan inversi menggunakan metode LM (a), metode Occam, dan model asli (c) (Aster dkk., 2013)

2.1.3.8 Inversi Non-linear Conjugate Gradient (NLCG)

Pemecahan masalah pemodelan inversi 2D menggunakan algoritma NLCG dilakukan sebagai mencari solusi model yang meminimumkan fungsi objektif ψ . Secara umum, fungsi yang menghubungkan data dengan parameter model adalah fungsi *non-linear*, oleh karena itu, pemodelan inversi data

magnetotelurik menggunakan model 2D dengan persamaan dan algoritma penyelesaian inversi NLCG 2D (Grandis, 2015). Secara umum problem inversi adalah suatu cara yang dapat meminimumkan *error* kuadrat. Yaitu dengan menggunakan persamaan 2.19 (Rodi dan Mackie, 2001)

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

Dengan \mathbf{e} adalah vektor *error*, \mathbf{F} adalah vektor fungsi *forward modeling*, \mathbf{m} adalah parameter model dan \mathbf{d} adalah vektor data. Agar solusi menjadi stabil, perlu persamaan tambahan sebagai fungsi penstabil. Penyelesaian problem dengan persamaan tambahan ini disebut fungsi regularisasi (Rodi & Mackie, 2001). Persamaan regularisasi dapat dilihat pada persamaan 2.20. ψ adalah fungsi objektif yang akan diminimumkan, $\|\mathbf{d}-\mathbf{F}(\mathbf{m})\|^2$ adalah *data misfit*, λ adalah pengali *Lagrange*, dan R adalah regularisasi yang berfungsi sebagai *stabilizer*.

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

Inversi *Non-Linear Conjugate Gradient* (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 psi menjadi problem minimisasi satu dimensi dengan parameter alfa ($\min\Psi(\alpha)$). *Line-search* inilah yang sifatnya non-linier (Rodi & Mackie, 2001). Inversi NLCG lebih baik dalam meminimumkan fungsi dibandingkan dengan metode *steepest descent*, dimana metode *steepest descent* bergerak zig-zag dalam menurunkan fungsi. Sedangkan NLCG bergerak seperti arah *conjugate gradient*. Beberapa skema dalam *line-search* ini adalah:

1. Nilai fungsi objektif terkecil disimpan sebagai Ψ_{best} (α_{best}).
2. Jika fungsi objektif dalam tahap iterasi *line-search* lebih besar dari Ψ_{best} , dilakukan *bisection*.

$$\alpha_{K+1} = \frac{1}{2}(\alpha_K + \alpha_{best}) \quad (2.19)$$

3. Sebaliknya, jika fungsi objektif iterasi saat ini lebih kecil dari Ψ_{best} , dilakukan pengecekan, apakah turunan beda tanda.

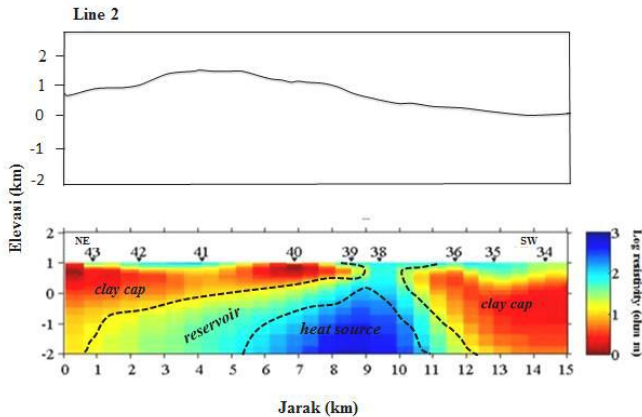
- 3.1. Jika turunan beda tanda, berarti mungkin kedua titik telah mengapit lokasi minimum. Untuk kasus ini dilakukan interpolasi kubik untuk aproksimasi lokasi minimum.
- 3.2. Jika turunan sama tanda, dilakukan aproksimasi kuadratik.

Iterasi *line-search* tersebut terus dilakukan hingga dipenuhi salah satu kriteria: jumlah iterasi *line-search* lebih besar dari 5 iterasi atau $|\Psi_{best} - \Psi| < 0.03\Psi_{best}$. *Loop* utama adalah *loop conjugate gradient*. Dalam *loop* ini dihitung arah

conjugate. Setelah arah *conjugate* ditemukan, dilakukan minimisasi 1-dimensi (*line-search*). Setelah minimisasi 1-dimensi selesai (untuk tiap iterasi), dilakukan pengecakan tiga *flag* (Rodi dan Mackie, 2001).

2.2 Penelitian Terdahulu

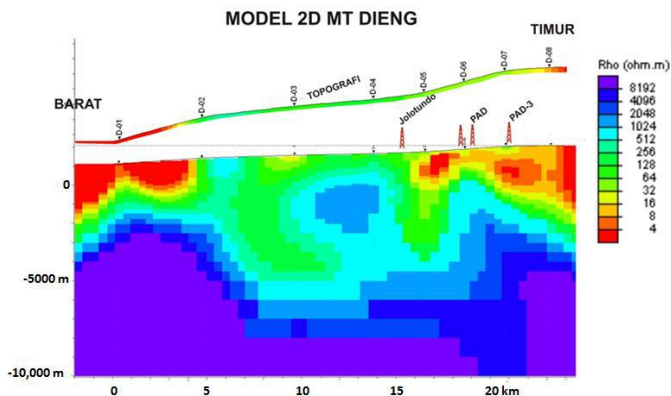
Rachmaningtias dkk., (2014) melakukan penelitian identifikasi struktur resistivitas daerah geothermal “T” berdasarkan hasil pemodelan 2D datamagnetotelurik. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik panas bumi area *geothermal* “T”. Proses ini dilakukan berdasarkan hasil pemodelan 2 dimensi data magnetotelurik. Hasil pemodelan data magnetotelurik menunjukkan persebaran struktur resistivitas dengan nilai 0- 10 ohm.m dengan ketebalan 1 km dikatakan sebagai *clay cap*. Zona *reservoir* dengan nilai 10-100 ohm.m pada kedalaman 1-2 km, sedangkan *heat source* berada pada kedalaman 2-3 km, dengan nilai resistivitas 100-1000 ohm.m. Dari hasil persebaran struktur resistivitas dapat digambarkan area yang berprospek *geothermal* seluas 12 km² sesuai pada gambar 2.15



Gambar 2.15 Hasil Pemodelan data magnetotelurik *line 2* (Rachmaningtias dkk., 2014)

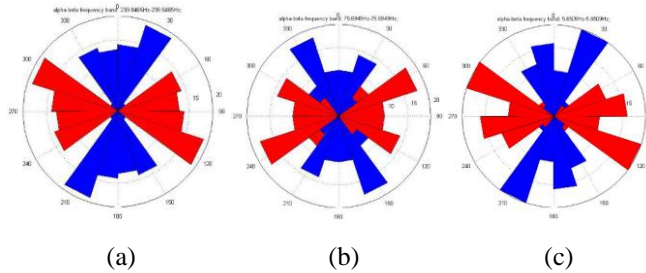
(Gaffar dkk., 2014) melakukan penelitian melalui Pusat Penelitian Geoteknologi di Dieng untuk memperluas daerah prospeknya. Untuk itu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode magnetotelurik yang dilakukan pada lintasan berarah timur – barat, dengan jumlah stasiun pengukuran sebanyak 8 lokasi dan jarak antara stasiun 2 - 4 km. Dari penampang tahanan jenis dua dimensi terlihat bahwa di bagian timur terdapat tahanan jenis rendah di permukaan hingga 16 Ohm - m dengan kedalaman 1000 dan 2000 m yang dapat ditafsirkan sebagai batuan lunak atau batuan alterasi. Dalam sistem panas bumi, batuan dengan tahanan jenis seperti ini dapat dianggap sebagai

batuan penutup (*cap rock*). Di bawah batuan penutup ini terdapat batuan yang memiliki tahanan jenis berkisar 20-500 Ohm - m dengan ketebalan sekitar 1000-2000 meter yang diinterpretasikan sebagai batupasir kasar, yang dalam sistem panas bumi sebagai batuan *reservoir*. Lebih lanjut di bawah batuan reservoir ini, terdapat batuan dengan nilai tahanan jenis lebih besar dari 1000 Ohm – m, yang dapat ditafsirkan sebagai batuan beku yang masih mengandung panas. Di wilayah barat (daerah Wanayasa) terdapat susunan batuan yang kurang lebih sama dengan yang terdapat pada bagian timur (daerah Dieng). Sehingga dapat disarankan bahwa prospek panas bumi dapat dikembangkan ke sebelah barat yaitu pada daerah Wanayasa dan sekitarnya sesuai pada gambar 2.16



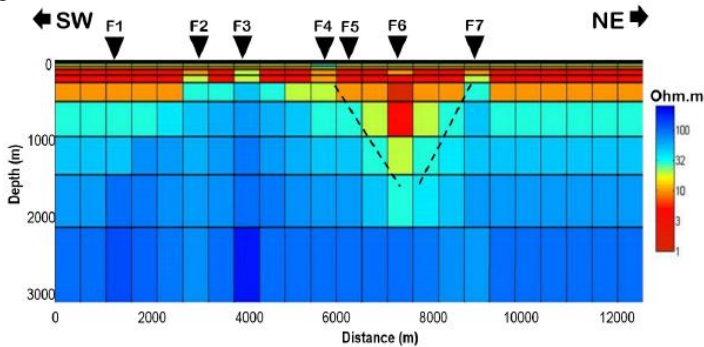
Gambar 2.16 Penampang dua dimensi dari tahanan jenis dari titik 1 sampai 8 yaitu dari lintasan yang berarah barat – timur (Gaffar dkk., 2014)

Febrika, dkk (2017) melakukan penelitian tentang identifikasi *geoelectrical strike* dan dimensionalitas berdasarkan analisis *phase tensor* untuk pemodelan 2d magnetotelurik di lapangan panas bumi “GYF”. Metode yang digunakan ialah dengan menganalisis *phase tensor* terhadap data dengan menggunakan beberapa *coding* Matlab milik PT Pertamina *Geothermal Energy*. Selain menggunakan Matlab, data tersebut juga diolah dengan menggunakan beberapa *software* milik PT Pertamina *Geothermal Energy* untuk melihat kurva resistivitas semu vs periode, melakukan analisa *polar diagram*, serta melakukan pemodelan inversi 1D dan 2D seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Diagram rose (a) frekuensi 320 – 100 Hz (b) frekuensi 100 – 10 Hz (c) 10 – 1Hz (Febrika dkk., 2017)

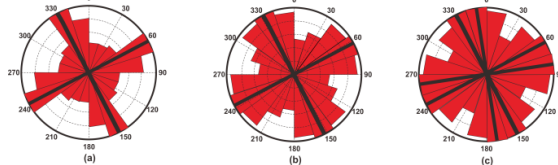
Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut ialah berdasarkan analisis *phase tensor* yang telah dilakukan maka diperoleh informasi bahwa arah *geoelectrical strike* di lapangan panas bumi “GYF” berarah N60°W atau 300° dan dimensionalitas struktur bawah permukaan terdiri dari struktur 1D, 2D, dan 3D sesuai gambar 2.18.



Gambar 2.18 Model 2D lintasan F di lapangan panas bumi “GYF” (Febrika dkk., 2017)

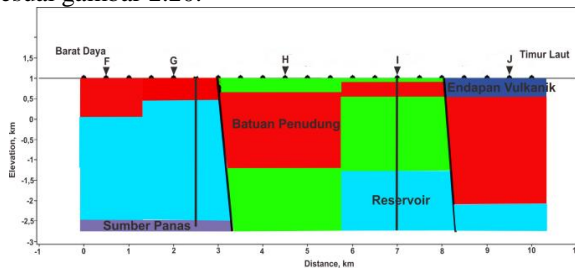
Ramdhani dkk., (2017) dalam penelitiannya yang berjudul pemodelan 2 dimensi data magnetotellurik berdasarkan analisis *phase tensor* dalam penentuan *geoelectrical strike* dan dimensionalitas data di Lapangan Panas Bumi “X”. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi dimensionalitas data, arah *geoelectrical strike* dan memetakan distribusi resistivitas struktur bawah permukaan di lapangan panas bumi tersebut. Hasil analisis dimensionalitas data menunjukkan bahwa dimensionalitas data MT di lapangan panas bumi “X” terdiri dari struktur dengan dimensionalitas 1D, 2D dan 3D. Struktur dengan dimensionalitas 1D berada pada rentang frekuensi 320 – 44 Hz, struktur dengan dimensionalitas 2D berada pada rentang frekuensi 44

– 0.3 Hz dan struktur dengan dimensionalitas 3D berada pada rentang frekuensi 0.3 – 0.004 Hz di lapangan panas bumi “X”. Diagram *rose* pada rentang frekuensi 320 – 0.3 Hz yang dikombinasikan dengan arah struktur regional di lapangan panas bumi “X” menunjukkan bahwa arah *geoelectrical strike* memiliki arah N330°E sesuai pada gambar 2.219.



Gambar 2.19 Diagram rose. (a) frekuensi 320 – 44 Hz (b) frekuensi 44 – 0.3 Hz (c) 0.3 – 0.004 Hz (Ramdhani dkk., 2017)

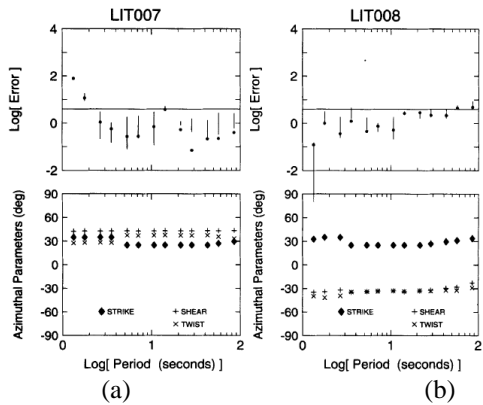
Pemodelan 1 dan 2 dimensi hanya dilakukan pada rentang frekuensi 320 – 0,3 Hz. Data dirotasi ke arah *geoelectrical strike* sebelum masuk tahap pemodelan. Model 2 dimensi terdiri dari lima lintasan yang tegak lurus dengan arah struktur di lapangan. Model 2 dimensi menunjukkan lapisan batuan penuding yang memiliki nilai resistivitas 5 - 20 Ohm-m yang menebal ke arah Barat Laut sedangkan lapisan *reservoir* memiliki nilai resistivitas 80 - 120 Ohm-m yang menipis ke arah Barat Laut. Sumber panas memiliki rentang resistivitas 400 - 500 Ohm-m dan terletak di kedalaman 3,5 km di bawah permukaan sesuai gambar 2.20.



Gambar 2.20 Model 2 dimensi lintasan 2 (Ramdhani dkk., 2017)

Jones dan Groom (1992) melakukan penelitian berjudul *Strike-angle determination from the magnetotelluric impedance tensor in the presence of noise and local distortion: rotate at your peril!*. Penelitian tersebut bertujuan untuk melakukan analisis properti rotasi untuk meminimalkan untuk menghasilkan nilai *error* yang kecil serta menentukan *strike* dominan yang tidak dipengaruhi oleh *noise* lokal dan regional. Metode yang digunakan adalah dengan membuat histogram dari nilai *phase* kemudian menentukan dapat

ditentukan sudut rotasinya. Penentuan sudut *strike* 2D dapat menggunakan *induction arrow*. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Parameter distorsi Groom-Bailey untuk titik LIT007 (a) dan LIT008 (b) untuk menemukan sudut *strike* di antara 25° hingga 30° .

BAB III

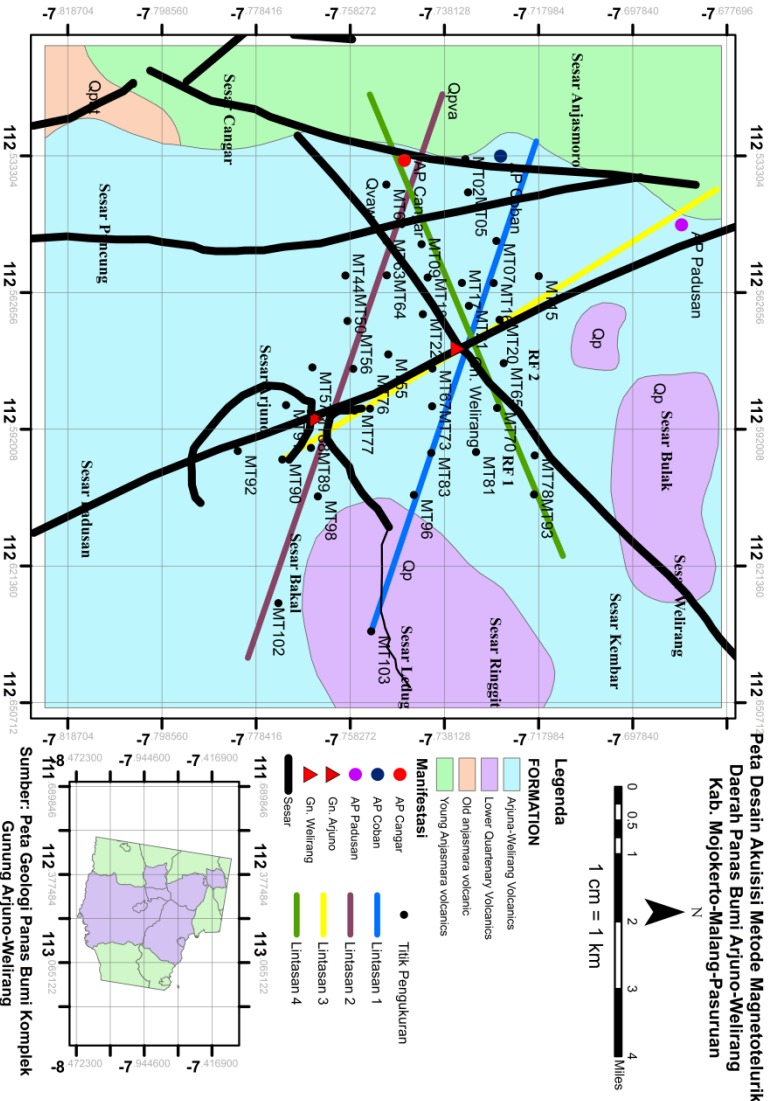
METODE PENELITIAN

3.1 Perangkat dan Data

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1 unit *laptop* dan perangkat lunak yang digunakan yaitu SSMT 2000, MTEditor, WinGlink, serta Georose. Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan data magnetotelurik berjumlah 40 titik yang tersebar di daerah Pegunungan Arjuno-Welirang.

3.2 Desain Pengukuran Magnetotelurik

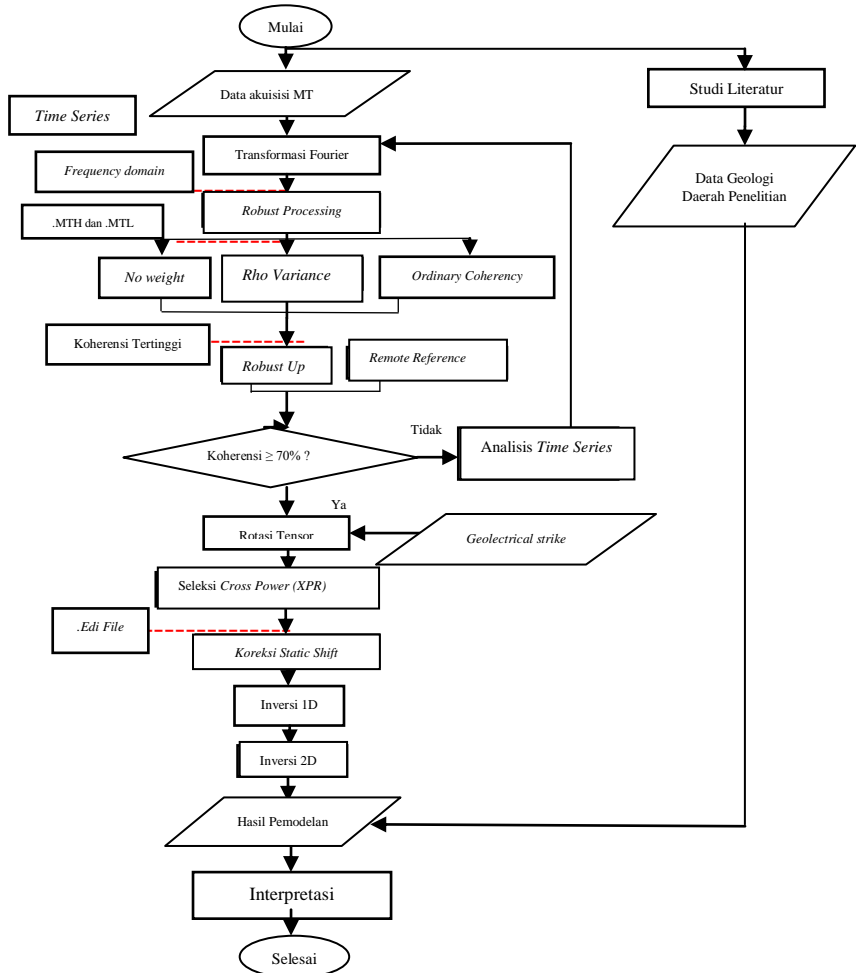
Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan data yang bersumber dari hasil akuisisi yang telah dilakukan oleh tim survei PT. Elnusa. Desain akuisisi data magnetotelurik pada lapangan panas bumi arjuno-welirang dibuat sebanyak empat lintasan. Lintasan pertama memiliki 11 titik pengukuran yaitu MT 02, MT 05, MT 07, MT 21, MT 22, MT 67, MT 73, MT 83, MT 96, dan MT 103 dengan arah lintasan barat-timur yang menghubungkan antara air panas coban, solfatara/fumarol dan Gunung Welirang. Lintasan kedua memiliki 15 titik pengukuran yaitu MT 44, MT 50, MT 56, MT 57, MT 62, MT 63, MT 64, MT 76, MT 77, dan MT 89, MT 90, MT 91, MT 98, MT 99 dan MT 102 dengan arah lintasan barat-timur yang menghubungkan antara air panas cangar dan Gunung Arjuno. Lintasan ketiga memiliki 15 titik pengukuran yaitu MT 15, MT 16, MT 17, MT 21, MT 22, MT 55, MT 56, MT 67, MT 76, MT 77, MT 88, MT 89, MT 90, dan MT 92 dengan arah lintasan tenggara-barat yang menghubungkan manifestasi air panas padusan, solfatara/fumarol, Gunung welirang dan di akhiri di Gunung Arjuno. Lintasan keempat memiliki 13 titik pengukuran yaitu MT 62, MT 63, MT 09, MT 18, MT 17, MT 21, MT 22, MT 65, MT 67, MT 70, MT 81, MT 78, dan MT 93 dengan arah lintasan barat daya-timur laut yang menghubungkan air panas cangar, solfatara/fumarol dan Gunung Welirang. Visualisasi desain survei dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Desain akuisisi data magnetotelurik lapangan panas bumi Arjuno-Weirang setelah di overlay dengan peta geologi regional

3.3 Diagram Alir Penelitian

Prosedur pengolahan data magnetotelurik dari awal hingga interpretasi yang dilakukan penulis sesuai dengan diagram alir pada gambar 3.2.



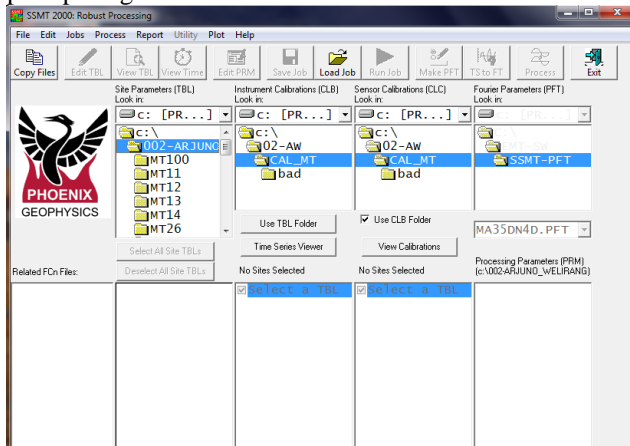
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

Alur pengolahan data magnetotelurik dilakukan dari *Fast Fourier Transform* (FFT), *robust processing*, rotasi tensor impedansi, seleksi *cross power*, *smoothing* tahap lanjut, koreksi *static shift*, inversi 1D, inversi 2D, dan interpretasi. Adapun penjelasan langkah prosedur dijelaskan pada bagian-bagian dibawah ini.

3.3.1 *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Robust Processing*

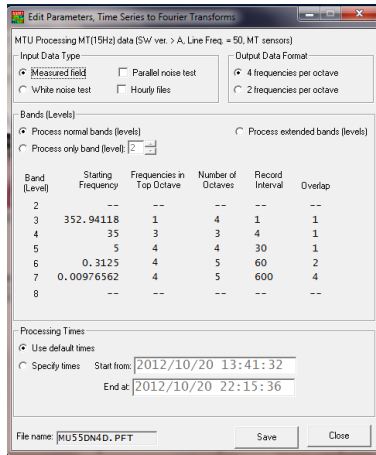
Proses pertama yaitu *input raw data* yang berformat *time series*. Format *time series* ditunjukkan dengan ekstensi *.TBL* pada data. Pada tampilan pertama

SSMT 2000, ditampilkan empat kolom utama untuk input *raw data*. Apabila data sudah di *input* sesuai lokasi *file* pada komputer, tampilan SSMT 2000 akan berubah seperti pada gambar 3.3.



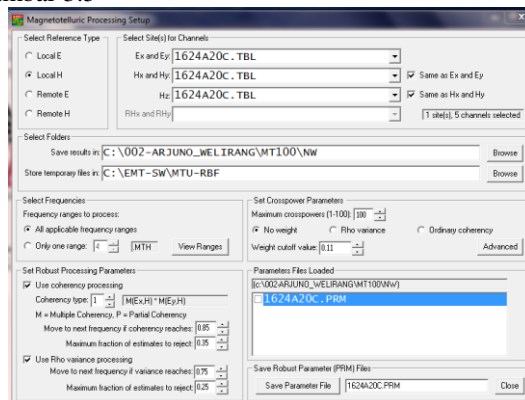
Gambar 3.3 Tampilan awal perangkat lunak SSMT2000.

Setelah input data selesai, dilanjutkan ke proses *Fast Fourier Transform* yang ada pada menu *Make PFT*. Kemudian akan ditampilkan *toolbox Fast Fourier Transform* seperti pada gambar 3.4. Pada *toolbox Make PFT* terdapat beberapa parameter. *Input data type* merupakan jenis data yang ingin di *input*. Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan pengaturan *default* untuk *input data type*. Pengaturan *default* pada *toolbox* ini menampilkan *measured field* yang berarti data mentah hasil pengukuran lapangan tanpa ada *filtering* atau *noise test*. *Output data format* berfungsi sebagai mengatur jumlah oktav yang ditetapkan pada setiap pembagian frekuensi yang nantinya akan ditampilkan berupa *grid*. *Grid* tersebut dikenal dengan istilah *decade*. Pada pengaturan ini, peneliti menggunakan pengaturan 4 frekuensi per oktav yang nantinya akan membagi frekuensi dengan kelipatan 10 per *decade* nya. Kemudian dilanjutkan untuk *parameter bands*. Pada pengaturan ini dapat ditentukan lebar frekuensi yang akan di ditampilkan pada hasil FFT nantinya. Semakin lebar frekuensinya, maka keluaran data akan menampilkan hasil pengukuran pada frekuensi terkecil. Pada pengaturan ini, peneliti menggunakan pengaturan *process normal bands* untuk memperoleh data dengan frekuensi terkecil. Pada parameter *processing time*, dapat diatur waktu mulai dan berakhirnya pengukuran di lapangan. Pengaturan waktu dilakukan dengan memotong 30 menit di awal dan di akhir. Setelah dilakukan *setting* parameter, data disimpan dan dilakukan FFT untuk mendapatkan data dengan ekstensi *.PFT*.



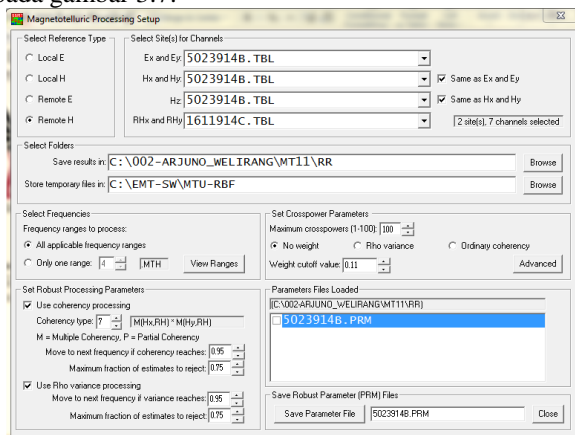
Gambar 3.4 Setting parameter FFT.

Proses berikutnya yaitu *robust processing*. Pada dasarnya, prinsip *robust processing* sama dengan prinsip *least-square* biasa, yaitu mencari *trend data* yang lebih dominan dan meminimalisir pengaruh *outlier* pada data. *Robust processing* membagi data *time series* kedalam segmen-segmen dengan ukuran yang sama. Setiap segmen diolah sehingga menghasilkan satu data parsial atau lebih dikenal dengan istilah *crosspower* dari satu titik data respon fungsi transfer. Pada *robust processing* ini akan menghasilkan data berformat .MTH dan .MTL yang selanjutnya akan dibuka pada perangkat lunak *MT-Editor*. *Robust Processing* terdapat pada menu *Processing* yang ditampilkan seperti seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Setting parameter *robust processing*.

Excel dan dilakukan perhitungan menggunakan *Ms Excel*. Untuk nilai koherensi yang tertinggi dilakukan *robust processing upgrade* dengan menaikkan nilai *setting robust process* parameter nilai *move to next frequency if coherency reaches set value* menjadi 0.95 dan 0.75. *Remote reference* dilakukan untuk mengurangi *cultural noise* yang diakibatkan oleh aktivitas makhluk hidup. *Remote reference* dilakukan dengan cara memilih *remote H* pada *reference type* kemudian *input* data magnetotelurik yang memiliki koherensi tinggi serta waktu pengukuran yang sama pada channel RHx dan RHy sesuai pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Tampilan *setting robust processing remote reference*

3.3.2 Menghitung Nilai Koherensi Data

Menghitung nilai koherensi dapat dilakukan dengan melakukan konversi data .MTH .MTL menjadi data *excel* , kemudian merata-ratakan koherensi data TE dan TM , selanjutnya dijumlah serta dibagi dua sesuai pada gambar 3.8

27.5	0.989202	0.989202	0.989202	27.5	0.813988	0.813988	0.813988
33	0.99016	0.99016	0.99016	33	0.808485	0.808485	0.808485
40	0.988445	0.988445	0.988445	40	0.791416	0.791416	0.791416
49	0.992655	0.992655	0.992655	49	0.694995	0.694995	0.694995
57	0.990591	0.990591	0.990591	57	0.755797	0.755797	0.755797
66	0.987251	0.987251	0.987251	66	0.769472	0.769472	0.769472
79	0.982801	0.982801	0.982801	79	0.770668	0.770668	0.770668
97	0.980624	0.980624	0.980624	97	0.802948	0.802948	0.802948
115	0.977983	0.977983	0.977983	115	0.77715	0.77715	0.77715
132	0.976848	0.976848	0.976848	132	0.770939	0.770939	0.770939
159	0.973815	0.973815	0.973815	159	0.722467	0.722467	0.722467
194	0.968563	0.968563	0.968563	194	0.736268	0.736268	0.736268
229	0.959421	0.959421	0.959421	229	0.782811	0.782811	0.782811
265	0.954486	0.954486	0.954486	265	0.764147	0.764147	0.764147
320	0.929251	0.929251	0.929251	320	0.730585	0.730585	0.730585
	0.974227				0.814714		
	0.894471						

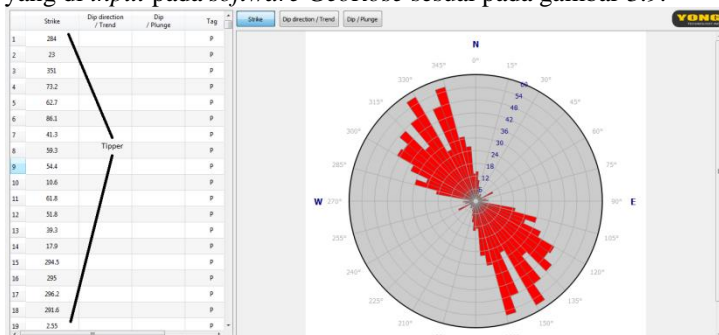
Koherensi data

Rata-rata koherensi TE dan TM

Gambar 3.8 Contoh perhitungan koherensi

3.3.3 Rotasi Tensor Impedansi

Rotasi tensor merupakan rotasi kurva data magnetotelurik terhadap arah struktur utama yang berupa patahan pengontrol manifestasi panas bumi, arah *strike* struktur, dan sesar yang menimbulkan manifestasi panas bumi. Derajat rotasi ini berdasarkan analisis *geo-electrical* yang diperoleh dari data *tipper strike* yang di *input* pada *software GeoRose* sesuai pada gambar 3.9.

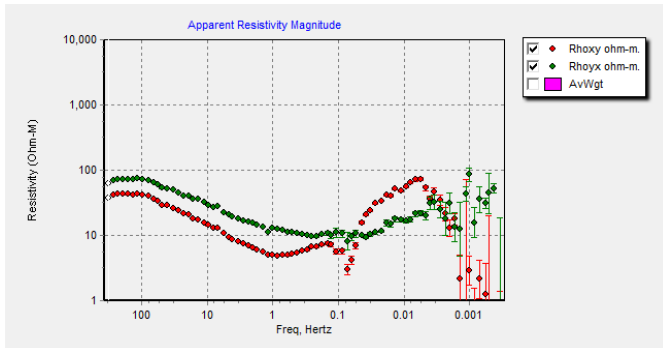


Gambar 3.9 Input data *tipper strike* dan estimasi sudut *geo-electrical strike*

Selain melalui *geoelectrical strike* derajat rotasi juga memperhatikan informasi geologi berupa struktur sesar di daerah penelitian. Rotasi tensor tersebut akan mempengaruhi pola kurva data magnetotelurik, apabila tidak dicantumkan rotasi tersebut maka data yang diolah tidak menunjukkan informasi struktur yang sebenarnya. Sebab pada dasarnya pengolahan data magnetotelurik sangat mempertimbangkan pola struktur pengontrol daerah sistem panas bumi. Sehingga hasil yang diperoleh berdasarkan bukti tersebut akan memperkuat dugaan struktur bawah permukaan bumi yang begitu kompleks.

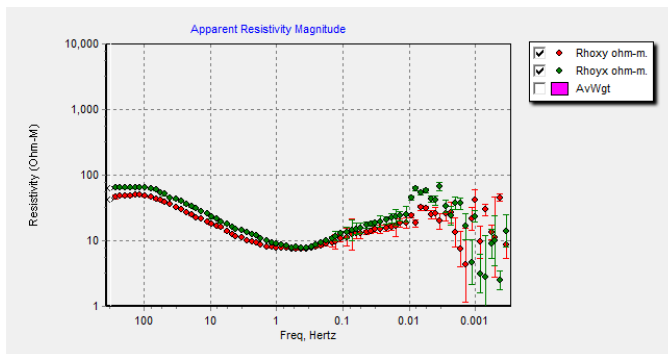
3.3.4 Seleksi *Crosspower*

Crosspower merupakan kumpulan data parsial yang berupa pasangan nilai resistivitas dan fase dengan frekuensi yang sama. Proses seleksi *crosspower* bertujuan untuk memilih dan memilah data yang paling sesuai dan menghasilkan *trend* kurva resistivitas dan fase yang *smooth* dan baik. Banyaknya *crosspower* menentukan banyaknya data parsial, sehingga pada saat pengeditan semakin banyak *crosspower* yang digunakan maka akan semakin detail pembagian data resistivitas dan fase. Proses *editing* terdiri dari dua cara yaitu dilakukan secara otomatis maupun manual. Proses *editing* dilakukan dengan menekan *toolbar editing*. Untuk proses *editing* yang lebih efisien maka dilakukan *autoediting* terlebih dahulu lalu kemudian manual *edit*. *Autoedit* merupakan fasilitas yang disediakan *MTEditor* dimana data yang di *kill* bukan merupakan data namun merupakan *noise*. Biasanya untuk data yang relatif bagus setelah *autoedit* sudah mulai *smooth*, namun untuk data yang lebih *complicated* perlu dilakukan manual *edit*. Setelah berwarna putih, hal ini berarti proses *kill* berhasil. Idealnya pada saat menyeleksi *crosspower* harus mendapatkan kurva yang *smooth* dengan nilai koherensi atau kualitas data yang tinggi. Untuk mendapatkan kurva yang diinginkan serta kualitas data yang baik, hal yang perlu diperhatikan yaitu dengan melihat besar sudut *trend* dan pembobotan tahanan jenis. Untuk pembobotan tahanan jenis dapat dilihat dengan mengaktifkan *AvWgt* maka akan muncul pembobotan yang berwarna ungu di bawah kurva. Besar kecilnya pembobotan akan mempengaruhi kualitas data, untuk meminimalisir mendapatkan kualitas data yang rendah maka pembobotan dengan nilai yang kecil harus di matikan. Hasil dari pemrosesan robust pada SSMT berupa file ekstensi *.Mth* dan *.Mtl*, kemudian diolah lebih lanjut dengan aplikasi *MTEditor* untuk penyeleksian *crosspower* pada *trend* kurva data MT seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Sebelum pemilihan *crosspower* data MT-05

Kemudian diseleksi *crosspower* pada setiap titik frekuensinya untuk diperoleh pola kurva data MT yang lebih halus seperti gambar 3.11.



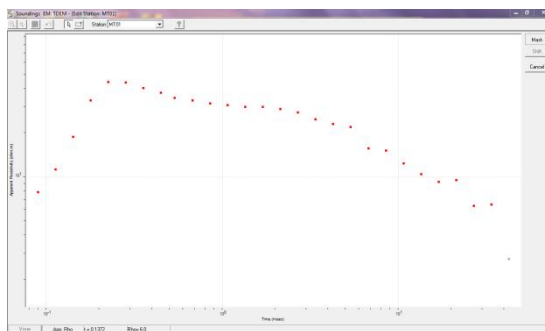
Gambar 3.11 Setelah diseleksi *crosspower* data MT-05

Begitu juga untuk data stasiun pengukuran lainnya diseleksi *crosspower* agar didapatkan pola kurva yang lebih halus (lihat dilampiran), seleksi *crosspower* pada penelitian ini dilakukan hingga frekuensi 0.01 Hz. Selanjutnya semua data yang sudah *smooth* kemudian disimpan dalam ekstensi EDI.File untuk pengolahan di aplikasi *WinGLink*.

3.3.5 Pengolahan data TDEM(*Time domain Electromagnetic*)

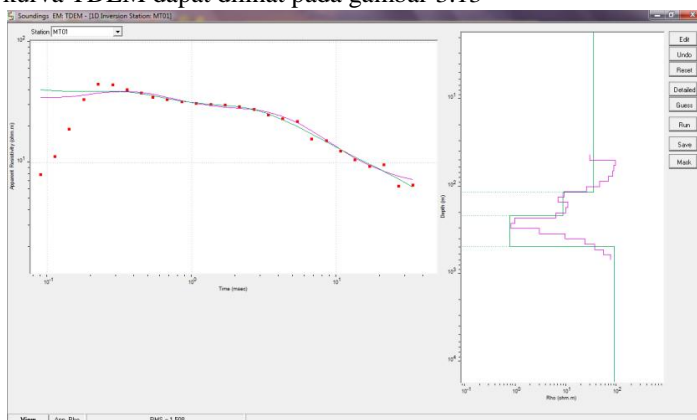
Static shift correction dilakukan menggunakan data *Time Domain Elektromagnetic* (TDEM). TDEM adalah metode elektromagnetik aktif yang memanfaatkan difusi dari gelombang elektromagnetik untuk membedakan lapisan di bawah permukaan berdasarkan perbedaan nilai konduktivitas atau resistivitas batuan. Pengukuran TDEM dilakukan pada frekuensi diatas 100 Hz

yang hasilnya akan lebih akurat pada lapisan dangkal. Pengolahan data TDEM dilakukan dengan melakukan *masking* seperti gambar 3.12,



Gambar 3.12 Proses *masking* data TDEM

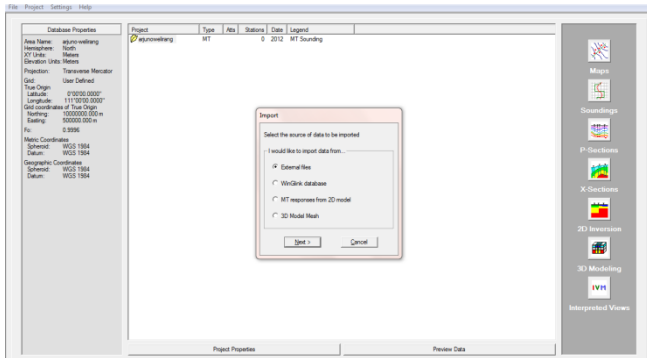
kemudian dilakukan inversi 1-D untuk memperoleh bentuk kurva TDEM, bentuk kurva TDEM dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Bentuk kurva inversi 1-D data TDEM

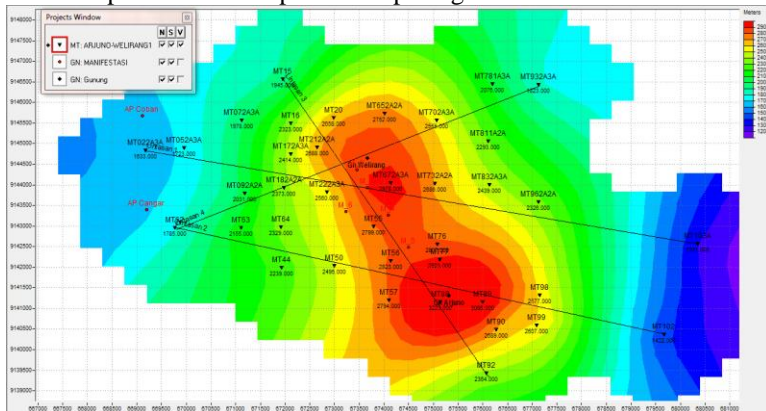
3.3.6 Smoothing Data Tahap Lanjut

Setelah dilakukan seleksi *crosspower* pada perangkat lunak *MT-Editor*, data disimpan dalam format *.EDI* untuk dapat dibuka pada perangkat lunak *WinGLink*. Pada perangkat lunak *WinGLink*, hal yang dilakukan pertama adalah membuat *project* dengan meng-*import* data *.EDI* sesuai gambar 3.14.



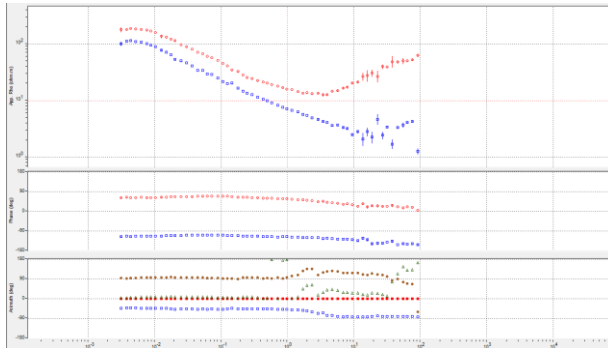
Gambar 3.14 Tampilan awal perangkat lunak WinLink.

Sebelum melakukan *smoothing* tahap lanjut, data .EDI yang telah di *import* ke *project* dilakukan *ploting* koordinat pada peta. Setelah dilakukan *ploting* koordinat, akan dihasilkan peta elevasi wilayah pengukuran. Kemudian dilakukan *profiling* 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 3.15.



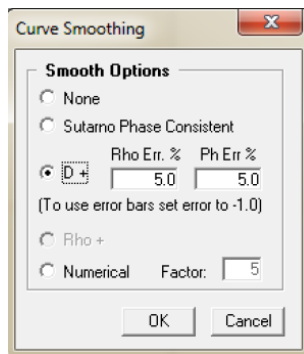
Gambar 3.15 Peta elevasi lintasan.

Setelah dibuat peta elevasi, dilanjutkan ke proses *smoothing* data pada menu *sounding*. Parameter yang digunakan dalam proses *smoothing* tersebut terdapat tiga pilihan yang meliputi *smoothing* D+, Sutarno, dan Numerical. Data sebelum dilakukan *smoothing* ditunjukkan pada gambar 3.16.



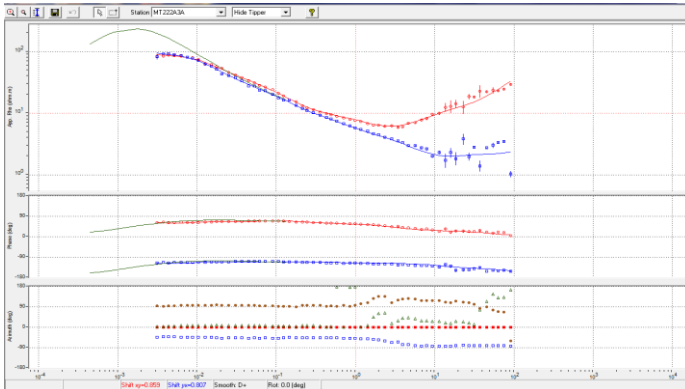
Gambar 3.16 Kurva TE (merah) dan TM (biru) sebelum *smoothing*.

Pada penelitian ini digunakan *Smoothing D+*. *Smoothing D+* merupakan proses penghalusan kurva data magnetotelurik berdasarkan pola kurva *rho apparent* terhadap pola kurva derajat fase magnetotelurik. Proses ini juga melibatkan parameter *error bar* sebagai dasar dalam proses penghalusan pola kurva, semakin besar *error bar*nya maka hasil *smoothing*nya akan menghasilkan kurva *smoothing* yang semakin menjauhi dari pola kurva data observasi. Sebab pada dasarnya, D+ dapat menduga bentuk kurva tersebut dengan mempertimbangkan efek *error bar*nya pada kurva *rho apparent* dan derajat fase. Setelah proses *smoothing*, dibuat kurva *smoothing* dari kurva hasil *editing* dengan berbagai metode.



Gambar 3.17 *Setting* parameter *smoothing*.

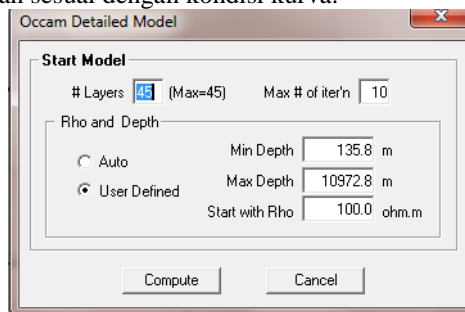
Metode D+ membuat kurva *smoothing* berdasarkan nilai pada kurva TE-TM dan kurva fase dengan batas error yang ditentukan pada masing-masing kurva, seperti yang ditunjukkan seperti pada gambar 3.17. kemudian data TDEM yang telah diolah di integrasikan dengan data MT yang telah melalui proses *smoothing*. Data setelah *smoothing* dan telah terkoreksi efek *static* dapat dilihat pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 Kurva TE (merah) dan TM (biru) Setelah *Smoothing* dan *Static Shift Correction*.

3.3.7 Pemodelan Inversi 1D

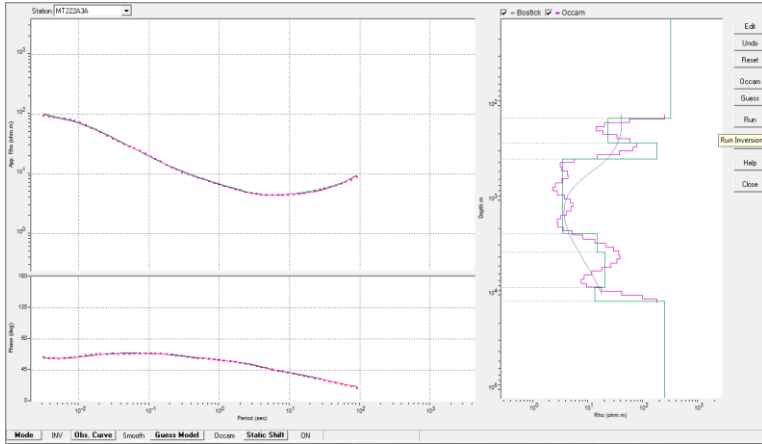
Proses selanjutnya yaitu membuat model 1-D. Pada perangkat lunak *WinGLink*, pemodelan 1D dapat dilakukan dengan metode *Occam*. Pemodelan 1-D dapat dibuat berdasarkan kurva hasil *editing* atau *smoothing*. Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan kurva *smoothing* untuk pemodelan 1-D kurva yang digunakan untuk pemodelan dapat ditentukan menggunakan kurva TE, TM atau *Invariant*. Kurva *invariant* adalah kurva yang dihasilkan dari nilai tengah kurva TE dan TM. Parameter pemodelan inversi *Occam* 1-D dapat dilihat pada gambar 3.19. Parameter inversi *Occam* terdiri dari jumlah lapisan, iterasi, *start resistivity*, dan kedalaman. Jumlah lapisan ditentukan secara default oleh perangkat lunak *WinGLink*. Perangkat lunak *WinGLink* dapat menentukan lapisan sesuai dengan kondisi kurva.



Gambar 3.19 *Setting* parameter pemodelan *Occam* 1-D.

Semakin banyak kenaikan dan penurunan nilai resistivitas pada kurva, maka lapisan yang akan ditentukan oleh perangkat lunak *WinGLink* akan semakin banyak. Iterasi ditentukan secara *default* oleh perangkat lunak *WinGLink*

dengan maksimal iterasi yaitu 10. Penentuan kedalaman dapat dilakukan dengan mode *automatic*. Perangkat lunak *WinGLink* juga dapat menentukan kedalaman awal dan akhir yang sesuai dengan perhitungan dengan rumus skin depth tetapi *start resistivity* juga ditentukan *automatic* sehingga tidak dapat diubah. Pada penelitian ini, penentuan kedalaman dan *start resistivity* dilakukan secara *automatic*.



Gambar 3.20 Hasil pemodelan *Occam* 1-D.

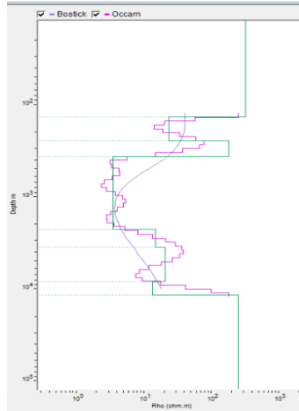
Setelah didapatkan hasil pemodelan *Occam* pada gambar 3.20, selanjutnya dilakukan penentuan nilai resistivitas dan kedalaman yang representatif dengan kurva observasi. Penentuan ini bertujuan untuk memeriksa kembali hasil inversi *Occam* 1-D dengan melihat nilai kedalaman dan resistivitas yang representatif dengan kurva observasi. Nilai resistivitas terhadap kedalaman dapat dilihat pada gambar 3.21.

The figure shows the '1D Model Parameters' dialog box. It contains two sections: 'Model Parameters' and 'Inversion Parameters'. The 'Model Parameters' section has a table with 8 rows, each representing a layer. The columns are '# Fixed Resistivity' and 'Fixed Thickness (m)'. The 'Inversion Parameters' section has radio buttons for 'Amplitude + Phase' (selected) and 'Amplitude Only', and input fields for 'Max R.M.S. (%)' (5.0) and 'Max # of iterations' (10). Buttons for 'Insert', 'Delete', 'Import', 'Guess', 'OK', and 'Cancel' are also present.

#	Fixed Resistivity	Fixed Thickness (m)
1	312.76	134.37
2	22.91	111.51
3	176.18	116.32
4	3.46	1875.86
5	14.64	1277.48
6	20.18	4759.82
7	13.15	3261.29
8	241.78	

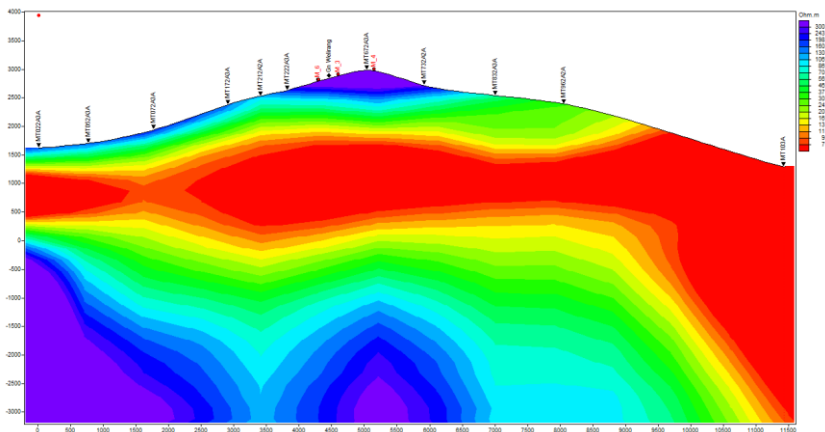
Gambar 3.21 Penentuan nilai resistivitas dan kedalaman pemodelan 1-D.

Pada perangkat lunak *WinGLink*, pemodelan 1-D metode *Occam* memiliki kelemahan pada penentuan model frekuensi rendah. Hasil pemodelan inversi *Occam* cenderung mengalami penurunan resistivitas pada frekuensi rendah bagian akhir. Pada kasus tersebut, solusi yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan penetapan hasil pemodelan berdasarkan kedalaman.



Gambar 3.22 Hasil akhir pemodelan inversi 1-D Metode Occam.

Hasil pemodelan 1-D metode *Occam* yang representatif dengan kurva *smoothing* ditetapkan dengan kedalaman maksimal 4000 meter. Gambar 3.22 di atas adalah hasil pemodelan 1-D metode *Occam*. Selanjutnya, hasil pemodelan 1-D di korelasikan pada masing-masing data yang berada pada satu lintasan pengukuran. Korelasi dari hasil pemodelan 1-D tersebut dikenal dengan istilah *cross section modelling*. Berikut adalah hasil *cross section* dari hasil pemodelan 1-D pada gambar 3.23

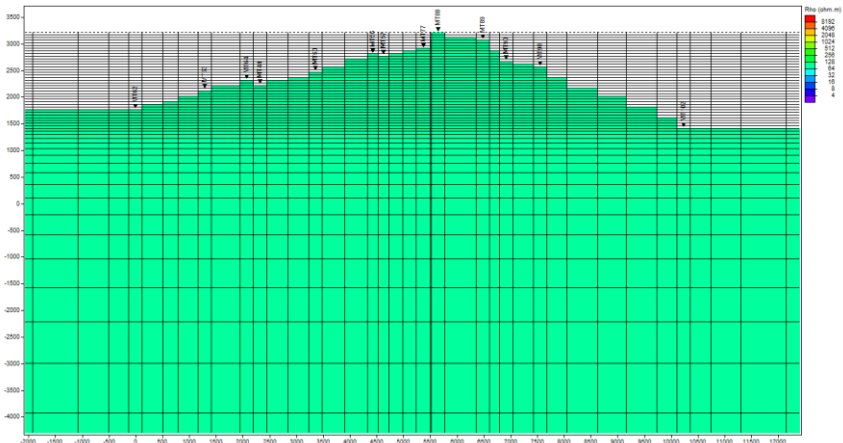


Gambar 3.23 Hasil *cross section* pemodelan 1-D.

3.3.8 Pemodelan 2-D Metode *Non-Linear Conjugate Gradient* (NLCG)

3.3.8.1 *Forward Modelling 2D*

Proses selanjutnya yaitu membuat pemodelan 2-D dari data. Pada perangkat lunak *WinGLink*, Metode pemodelan 2-D menggunakan metode *Non-Linear Conjugate Gradient* (NLCG). Langkah awal dari pemodelan tersebut adalah dengan membuat *forward modelling* penampang resistivitas dengan nilai resistivitas yang dianggap homogen. *Forward modelling* dibuat dengan memasukkan parameter jumlah *decade*, *start resistivity* berdasarkan nilai resistivitas dominan pada kurva, dan koreksi topografi *Decade* pada kurva berjumlah lima *decade* dengan *range* frekuensi 10^{-1} , 10^0 , 10^1 , 10^2 , dan $>10^2$ sedangkan *start resistivity* ditetapkan dengan nilai 100 Ωm . Nilai *decade* dan *start resistivity* tersebut berlaku untuk keempat lintasan. Koreksi topografi diatur otomatis oleh perangkat lunak *WinGLink* yang disesuaikan dengan koordinat pengukuran. Hasil *forward modelling* ditunjukkan pada gambar 3.24.



Gambar 3. 24 Model Awal Penampang Resistivitas 2D.

Parameter lainnya yaitu menentukan nilai resistivitas minimum dan maksimum. Nilai resistivitas minimum ditetapkan berdasarkan nilai resistivitas paling rendah pada setiap kurva, begitu juga dengan nilai maksimum. Nilai resistivitas minimum berada pada 7 Ωm dan nilai resistivitas maksimum berada pada 300 Ω . *Data error* adalah toleransi *error* pada data hasil dari proses inversi. *Error floor* adalah toleransi *error* pada proses inversi yang ditentukan, sehingga apabila proses inversi melebihi batas *error floor* yang ditentukan maka proses inversi akan berhenti secara otomatis. Nilai *data error* dan *error floor* ditentukan dengan nilai 5% untuk *rho*, dan 10% untuk *phase*. Nilai tersebut adalah nilai ideal berdasarkan *manual book* dari *WinGLink*.

Pada penelitian ini, *mode* inversi yang digunakan adalah *mode* TE-TM. *Mode* TE-TM sendiri adalah *mode* inversi dimana hasil pemodelannya berdasarkan dari kedua kurva yaitu kurva TE dan TM. Hasil pemodelan menggunakan *mode* TE-TM ini merupakan hasil inversi yang lebih kompleks dibandingkan dengan menggunakan salah satu *mode* yaitu TE atau TM saja. *Mode* TE-TM juga mempertimbangkan kualitas masing-masing dari kurva untuk mengidentifikasi bawah permukaan serta memenuhi sifat gelombang elektromagnetik dari pengolahan data magnetotelurik.

3.3.8.2 Metode *L'Curve*

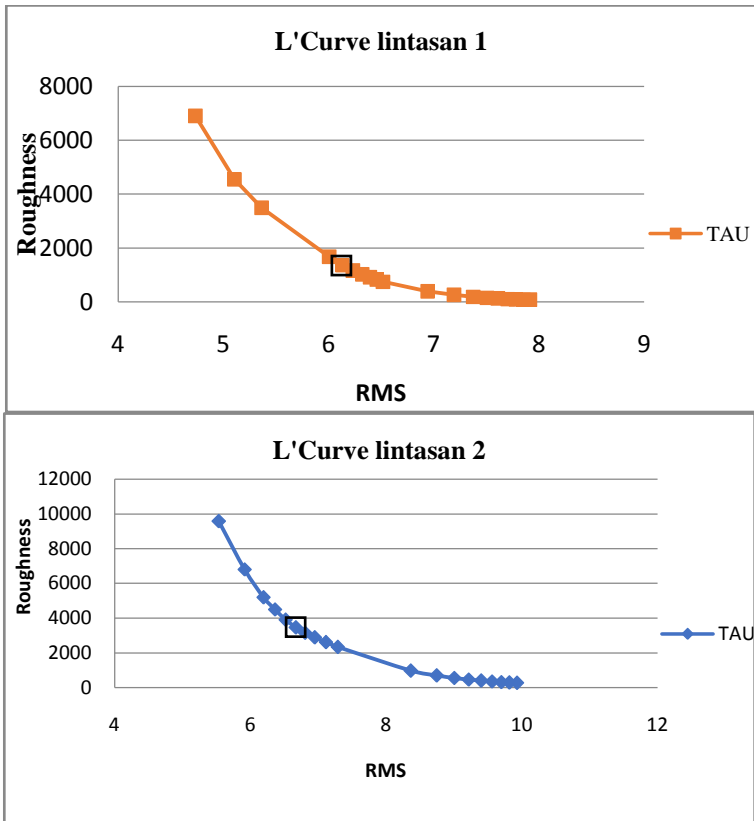
Tau merupakan parameter regularisasi yang berfungsi sebagai pembobot antara data dan model. Parameter ini adalah sebagai pengontrol *roughness* model. Sehingga hal ini berkaitan dengan hasil fungsi objektif. Semakin kecil nilai *tau* maka model akan mempunyai nilai *roughness* yang besar dan juga sebaliknya yakni, semakin besar nilai *tau* maka model mempunyai nilai *roughness* kecil. Untuk itu perlu diberikan nilai *tau* yang optimum dengan menggunakan *L'Curve*. Metoda *L'Curve* merupakan solusi optimasi data hasil inversi dengan variasi nilai *tau* yang berbeda. Pada penelitian ini nilai *tau* yang dimasukkan adalah 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100. Tabel 3.1 adalah tabel nilai *tau* berbanding dengan *roughness*, dan *RMS error*.

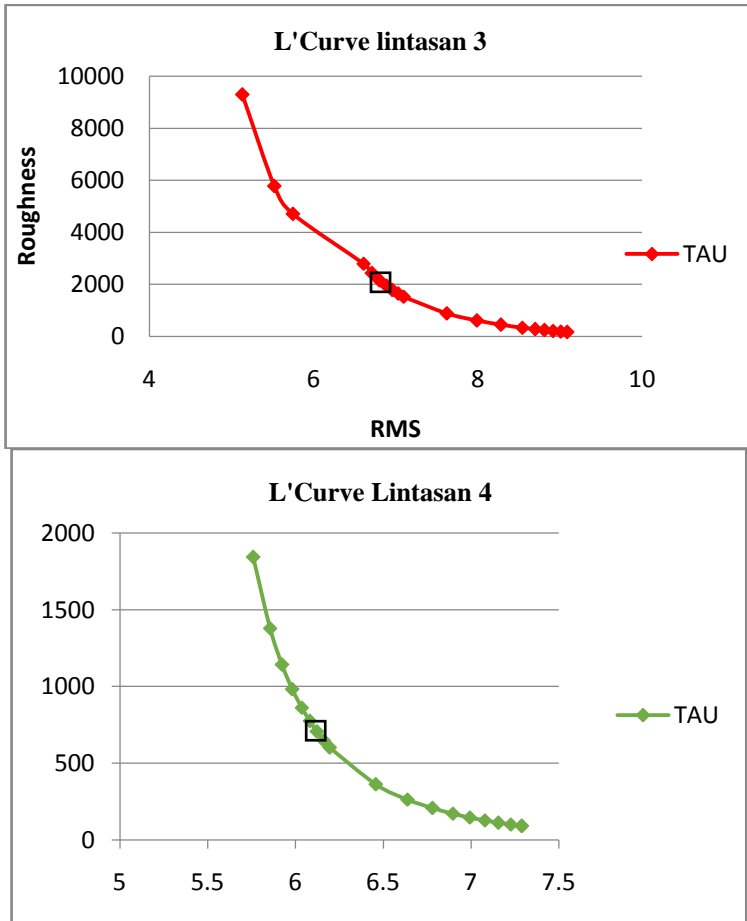
Tabel 3. 1 Perbandingan nilai *RMS*, dan *Roughness* Sebagai Parameter *L'Curve*

Lintasan 1		Lintasan 2		Lintasan 3		Lintasan 4	
<i>Roughness</i>	<i>Error</i>	<i>Roughness</i>	<i>Error</i>	<i>Roughness</i>	<i>Error</i>	<i>Roughness</i>	<i>Error</i>
6905.3	4.734488	9582.7	5.536263	9293	5.130218	1843.5	5.75963
4556	5.105705	6806.4	5.914595	5778	5.52167	1380.1	5.85491
3493.5	5.364287	5194.9	6.19387	4712.7	5.746926	1143.4	5.92274
1671.5	6.005957	4499.6	6.362558	2801.2	6.606675	982.4	5.98181
1369.4	6.129512	3902.6	6.518127	2433.4	6.709046	862.8	6.03523
1165.4	6.231812	3460.1	6.670683	2153.7	6.803971	775.4	6.08105
1021.3	6.317623	3151.7	6.809319	1942.3	6.888887	707.5	6.12162
912.2	6.391116	2882.3	6.949191	1785.3	6.960636	650.1	6.16023
826.3	6.455079	2603.5	7.113403	1651.4	7.02932	603.5	6.19515
751.3	6.516898	2331.4	7.288439	1535	7.095397	362.4	6.45794
392.2	6.939335	963.1	8.366925	891.3	7.623147	264	6.63826
261.2	7.193672	688.4	8.746683	619.2	7.988695	208.2	6.77988
194.1	7.375735	551.6	9.00626	458.1	8.282681	171.9	6.89705

155.7	7.507211	462.2	9.21941	341	8.54218	147	6.9938
130.3	7.610857	397.9	9.404173	283.9	8.696349	128.3	7.07896
111.1	7.7043	349.8	9.565379	246.9	8.812867	113.4	7.15582
96.7	7.783242	313.8	9.701253	217.8	8.918014	101.2	7.22682
85.5	7.853555	285.7	9.818462	195.1	9.009735	91.5	7.28975
76.8	7.912808	262	9.929397	177.3	9.089107	91.5	7.28975

Berdasarkan tabel tersebut, dibuat *L'Curve* dengan memasukkan parameter *roughness* dan RMS seperti gambar 3.25.

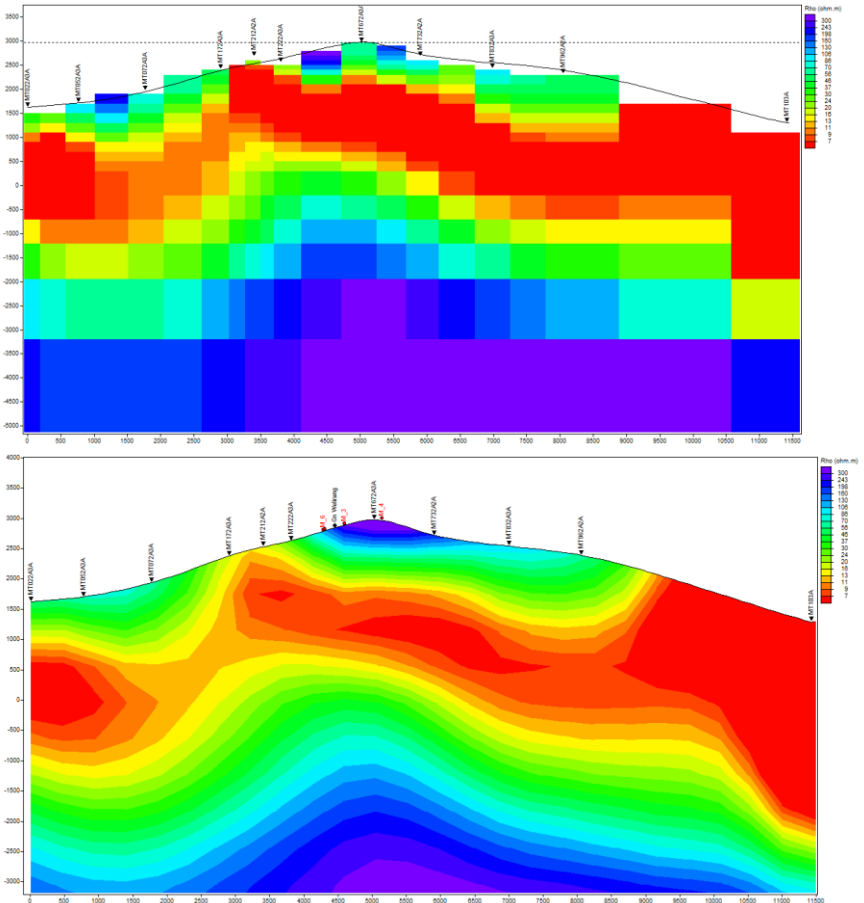




Gambar 3.25 *L'curve* semua lintasan

Nilai *tau* atau parameter regularisasi pada algoritma NLCG berfungsi untuk fungsi objektif. Fungsi objektif akan semakin besar apabila nilai *tau* juga semakin besar. Nilai tersebut berbanding lurus dengan nilai *RMS* akan tetapi berbanding terbalik dengan nilai *roughness* atau kekasaran model. Nilai *tau* ideal yang dibutuhkan untuk pemodelan ini yaitu nilai yang memiliki fungsi objektif yang kecil dengan nilai *roughness* dan *RMS* yang kecil juga. Pengoptimuman model juga dipengaruhi oleh faktor iterasi inversi. semakin banyak iterasi yang dilakukan, nilai *RMS error* akan semakin kecil akan tetapi belum tentu representatif. Pada proses iterasi, akan terlihat pola penurunan *RMS error* pada masing-masing iterasi. Pemilihan jumlah iterasi dilihat

berdasarkan pola penurunan tersebut. Penelitian ini menetapkan jumlah iterasi sebanyak 30 kali karena penurunan *RMS error* yang signifikan terhenti pada iterasi ke 30. Sedangkan, pada iterasi 30 keatas, penurunan *RMS error* hanya terjadi pada desimal ke empat, sehingga jika nilai *RMS error* pada iterasi 30 keatas dibulatkan menjadi 2 desimal, sama seperti nilai *RMS error* pada iterasi ke 30. Hasil Pemodelan 2D ditunjukkan pada gambar 3.26.



Gambar 3.26 Hasil Pemodelan 2D Metode NLCG.

3.4 Jadwal penelitian

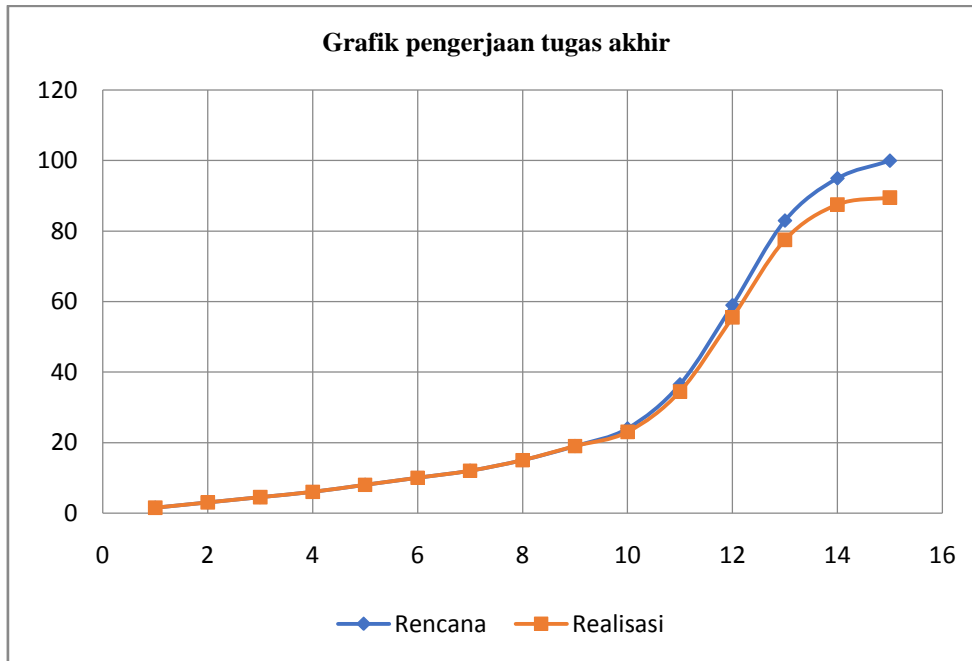
Jadwal dari penelitian ini dapat ditampilkan dalam tabel 3.2 dan grafik pada gambar 3.27.

Tabel 3.2 Rencana dan realisasi pengerjaan tugas akhir

No	Kegiatan	Rincian Kegiatan	Bobot (%)	Durasi (Minggu)	Rencana															Bahan Pendukung	Output
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
					Februari				Maret				April				Mei				
					1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3		
1	Studi Awal	Studi Literatur (Bab I, II, III)	12	14	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Paper, Jurnal, buku, dan Laporan TA Sebelumnya	Memahami Pengolahan data Magnetotelurik dan geologi daerah penelitian	
		Studi Geologi (Bab I, II, III)	2	4	0.5	0.5	0.5	0.5											Peta geologi, Paper, Jurnal, dan buku		
		Pengumpulan Data (Bab I, II, III)	3	5	0.5	0.5	0.5	0.5	1												Microsoft Word
2	Pengolahan Data	QC Data	5	5						1	1	1	1	1						MT Editor	Mendapatkan Nilai Koherensi data sesuai kebijakan perusahaan

		<i>Robust Processing</i>	8	5									1	1	1	2	3			SSMT 2000	Memperoleh data dalam format .MTH dan .MTL	
		memperoleh data <i>geoelectrical</i>	8	2												3	5			Geo Rose dan Peta Geologi	Mengetahui nilai <i>geoelectrical</i> dan <i>geological strike</i>	
		Rotasi Tensor Impedansi	11	2													5	6		MT Editor	Memperoleh data MT yang telah terotasi tensor impedansi	
		Seleksi <i>Crosspower</i>	15	3												4	5	6		MT Editor	Memperoleh <i>trend</i> data MT yang <i>smooth</i>	
		Koreksi <i>Static shift</i>	10	5									1	1	1	2	4			WinGlink dan ZondMT2D	Memperoleh nilai koreksi statik dan data telah terkoreksi statik	
		Inversi 2D	10	2														5	5	WinGlink	Model hasil inversi 2D	
3	Interpretasi Data	Analisis emodelan inversi 2D Data MT menggunakan rotasi tensor impedansi pada lapangan panas bumi	5	2															2	3	WinGlink	Perbandingan Hasil Inversi 2d dengan rotasi tensor impedansi menggunakan sudut <i>geoelectrical</i> dan <i>geological strike</i>

		"X"																			
4	Penyusunan Laporan Tugas Akhir	BAB IV	7	5										0.5	1.5	2	2				
		BAB V	4	2														2	2		
Rencana			100		1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	3	4	5	12.5	22.5	24	12	5		
Kumulatif Rencana					1.5	3	4.5	6	8	10	12	15	19	24	36.5	59	83	95	100		
Realisasi					1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	3	4	4	11.5	21	22	10	2		
Kumulatif Realisasi					1.5	3	4.5	6	8	10	12	15	19	23	34.5	55.5	77.5	88.5	90.5		



Gambar 3.27 Grafik pengerjaan tugas akhir

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Nilai Koherensi

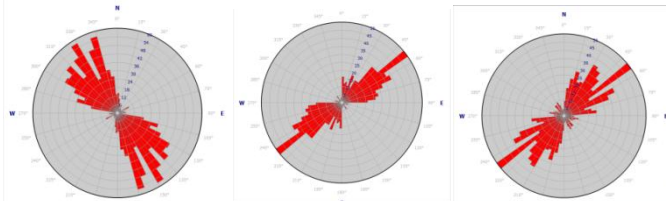
Proses *robust* menghasilkan nilai koherensi data yang terdapat pada tabel 4.1. Berdasarkan tabel 4.1 diketahui rentang nilai koherensi setelah proses *robust* berkisar antara 41.5%-94.9% dengan nilai koherensi terendah berada pada titik MT56 dan koherensi tertinggi berada pada titik MT73. Peningkatan nilai koherensi paling signifikan terjadi pada stasiun pengukuran MT56 dengan perubahan nilai sebesar 91%. Dari hasil proses *robust* terlihat bahwa respon data terhadap tiap parameter *robust* berbeda, oleh karena itu analisis nilai koherensi dari setiap parameter *robust* yang berbeda perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Dari hasil proses *robust* terlihat bahwa semua data memenuhi standar kualitas data yaitu memiliki nilai koherensi $\geq 75\%$, sehingga tidak perlu dilakukan analisis *time series*. Untuk seluruh nilai koherensi data dapat dilihat pada lampiran tugas akhir ini.

Tabel 4.1 Nilai koherensi data

SITE NAME	KOHERENSI HASIL ROBUST				
	NW	RV	OC	UP	RR
MT02	0.894359	0.911374	0.918242	0.952548	
MT05	0.9658	0.96639	0.966774	0.961916	
MT07	0.7976767	0.8095797	0.8111088	0.820851	
MT09	0.945895	0.947477	0.947191	0.962342	
MT73	0.9498108	0.9522506	0.950984	0.976393	
MT56	0.4158249	0.5319946	0.5206457	0.5163448	0.7945073

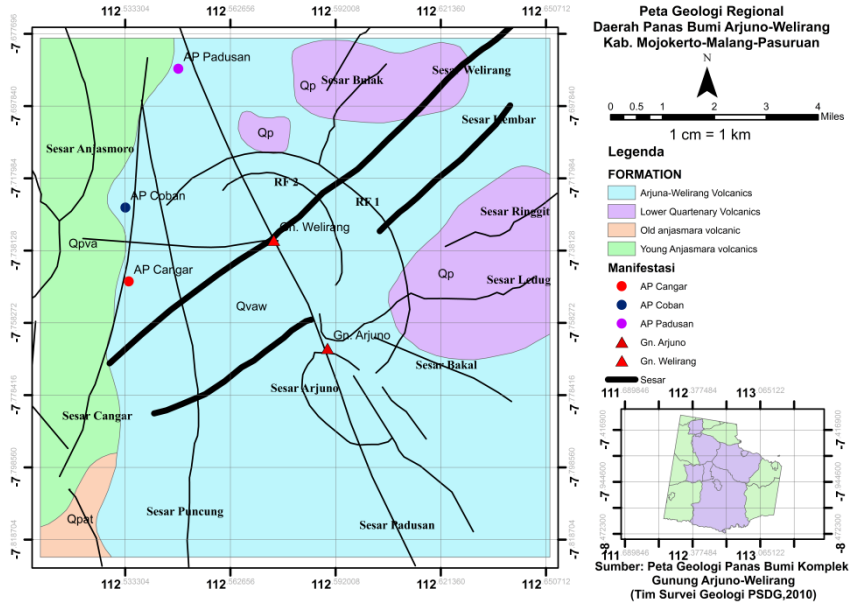
4.2 Sudut Rotasi Tensor Impedansi

Sudut geo-electrical strike berdasarkan nilai *Tipper* dari data tersebut sesuai gambar 4.1



Gambar 4.1 nilai sudut geo-electrical strike untuk periode 0.1-10s (kiri), 10-100s (tengah), dan 100-1000s (kanan)

Estimasi sudut *geo-electrical strike* tidak dapat ditentukan untuk periode dibawah 10 s karena pada periode tersebut didominasi pengaruh struktur lokal. Sedangkan, diagram *rose* pada periode 10-100 s dan 100-1000 menunjukkan arah dominan strike yaitu N 50⁰ E. Jadi, kita harus merotasikan sebesar 50⁰ terhadap semua data. Hal ini sesuai jika dibandingkan dengan informasi struktur geologi didaerah penelitian pada gambar 4.2 terdapat sesar utama dengan arah timur laut-barat daya yaitu Sesar Welirang dan Sesar Kembar.

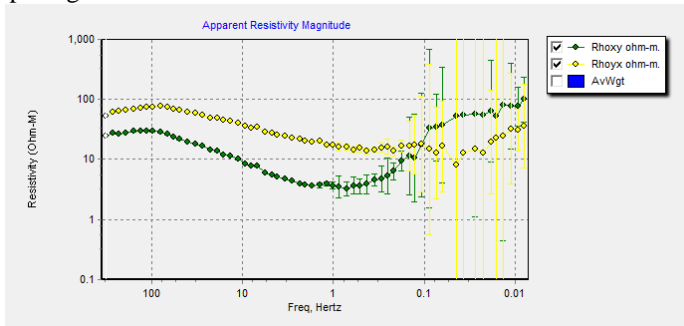


Gambar 4.2 Peta geologi regional daerah panasbumi Gunung Arjuno-Welirang (Hadi dkk., 2010)

4.3 Resistivitas Semu

Nilai resistivitas semu pada data magnetotelurik mengindikasikan persebaran nilai resistivitas secara lateral maupun terhadap kedalaman. Nilai tersebut tidak menunjukkan nilai *resistivitas* yang sebenarnya namun menunjukkan pola persebaran *resistivitas semu* sebagai respon dari perambatan gelombang elektromagnetik dibawah permukaan bumi. Distribusi nilai resistivitas semu disajikan dalam bentuk kurva *non linear* yang menampilkan perubahan nilai resistivitas semu terhadap frekuensi alami gelombang elektromagnetik bumi. Kurva tersebut ditampilkan menjadi dua jenis yaitu kurva XY dan YX. Kedua kurva ini terlihat sama secara kasat mata namun memiliki makna yang berbeda. Pada kurva XY menyajikan distribusi nilai resistivitas semu yang menggunakan teori *transverse electric (TE)* sedangkan kurva YX seperti kurva sebelumnya tetapi menggunakan teori *transverse magnetic (TM)*. TE dan TM sebagai teori yang menafsirkan informasi

pengukuran magnetotelurik melalui persamaan matematis dan fisis hingga didapatkan kurva resistivitas semu terhadap frekuensi. Kurva TE dan TM terdapat pada gambar 4.3.

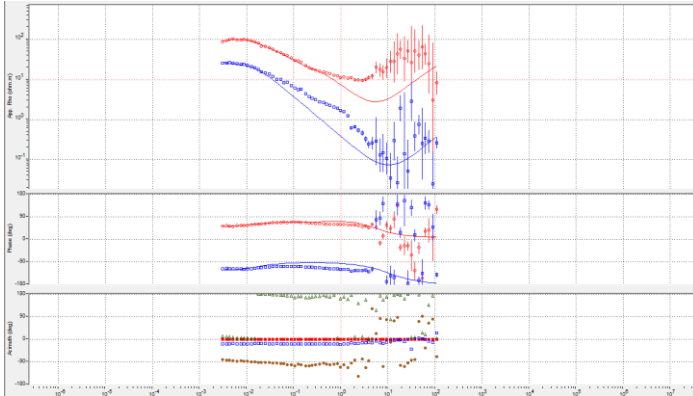


Gambar 4.3 Kurva ρ_{apparent} data MT76

Kurva XY berwarna merah dan YX berwarna kuning memiliki pola yang hampir mirip dikarenakan memiliki kecenderungan nilai resistivitas semu yang bertambah terhadap nilai frekuensi yang terukur. Dari gambar tersebut dapat diperoleh informasi bahwa ada indikasi respon struktur lapisan batuan penunjang dan *heat source*. Respon batuan penunjang dapat dilihat pada nilai resistivitas kedua kurva yang sangat rendah yaitu dibawah 10 ohm-m pada frekuensi 1 hz – 0.1 hz sedangkan lapisan *heat source* terdapat pada frekuensi rentang 0.1-0.01 hz yang ditunjukkan respon naiknya nilai resistivitas sampai mendekati nilai 100 ohm-m. Kurva XY dan YX menampilkan informasi tentang nilai resistivitas semu yang dapat dimungkinkan nilai tersebut masih dipengaruhi oleh efek statik. Oleh sebab itu analisa pola kurva resistivitas semu sebatas analisa kualitatif tentang jumlah lapisan bumi yang terukur oleh metode magnetotelurik.

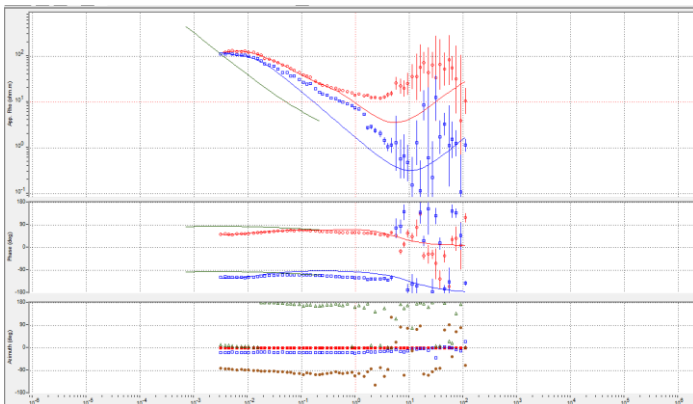
4.4 Koreksi *Static Shift*

Kondisi ideal pada data magnetotelurik adalah kurva resistivitas semu XY dan YX saling berhimpit dan pada fasenya memiliki pola derajat yang hampir mirip. Tetapi data yang diperoleh dari pengukuran magnetotelurik menampilkan kedua kurva saling menjauh. Penyebab dari hal tersebut adalah efek statik. Pada dasarnya efek statik merupakan fenomena alami yang ditemukan pada data pengukuran magnetotelurik. Efek tersebut membuat kurva XY dan YX mengalami *shifting* yang mengakibatkan distribusi nilai resistivitasnya kurang akurat. Solusi untuk meminimalkan efek statik dengan melakukan metode koreksi statik. Pada penelitian ini koreksi statik menggunakan data TDEM (Time Domain Elektromagnetik) yang memberikan informasi nilai resistivitas semu yang lebih akurat. Pergeseran *static* yang terjadi terdapat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Data MT67 sebelum koreksi efek statik

Setelah dikoreksi terlihat kurva XY yang berwarna merah dan YX yang berwarna biru saling berhimpit pada frekuensi 320 dan secara keseluruhan persebaran nilai resistivitasnya meningkat terhadap frekuensi yang terukur, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.5. Namun, terdapat kekurangan pada data MT67 berupa ditemukan *error bar* (garis vertikal merah) pada frekuensi rentang 1 – 0,01 Hz yang relatif banyak. *Error* tersebut mengakibatkan keambiguan nilai resistivitas pada frekuensi rendah. Sehingga dapat terjadi kesalahan pada penafsiran nilai resistivitasnya. Agar lebih detail penafsiran informasi tersebut maka perlu menggunakan metode inversi.



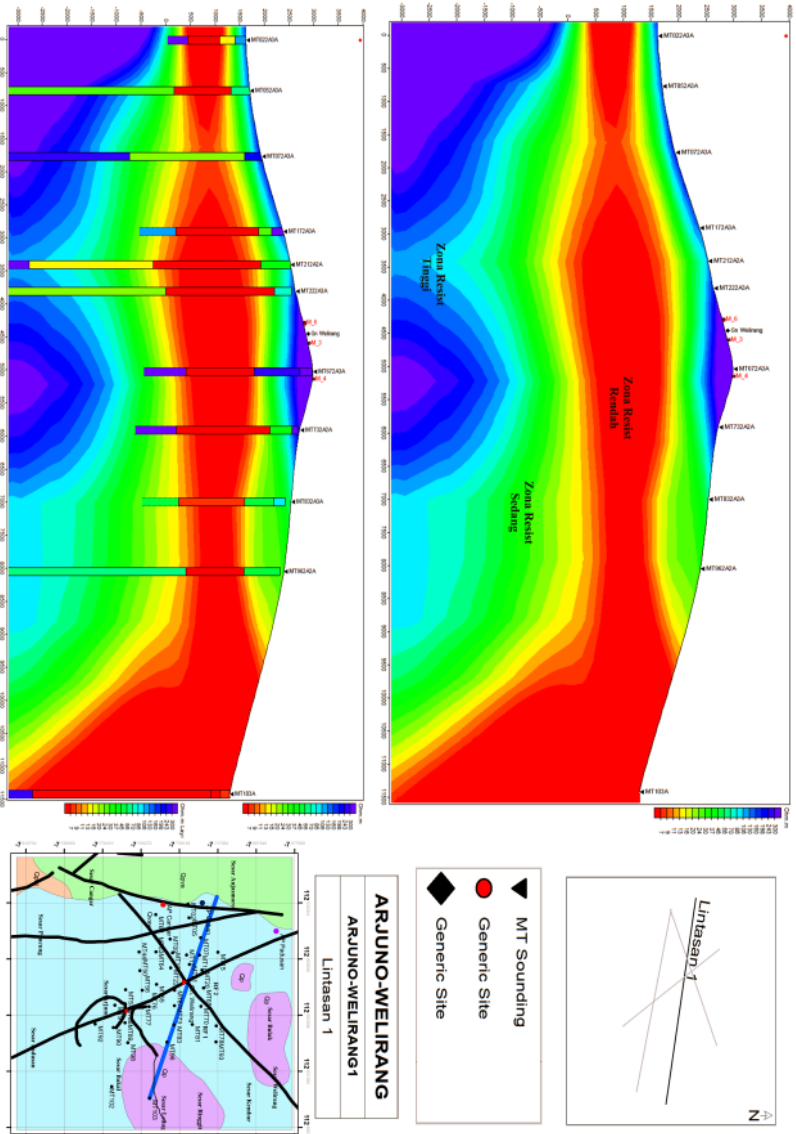
Gambar 4.5 Data MT-67 setelah koreksi efek statik

4.5 Hasil Pemodelan dan Interpretasi

4.5.1 Hasil Pemodelan Inversi

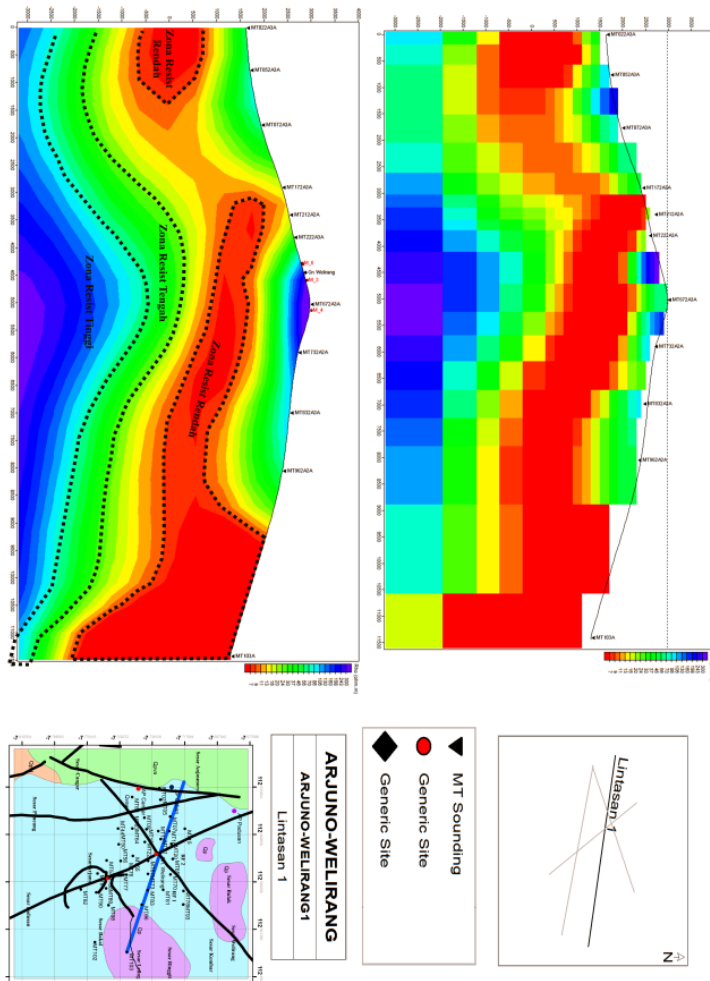
Berdasarkan hasil *cross section* 1-D lintasan 1 pada gambar 4.6, terdapat tiga zona resistivitas yaitu zona resistivitas rendah, sedang, dan tinggi.

Gambar 4.6 Hasil pemodelan xsection 1-D lintasan 1

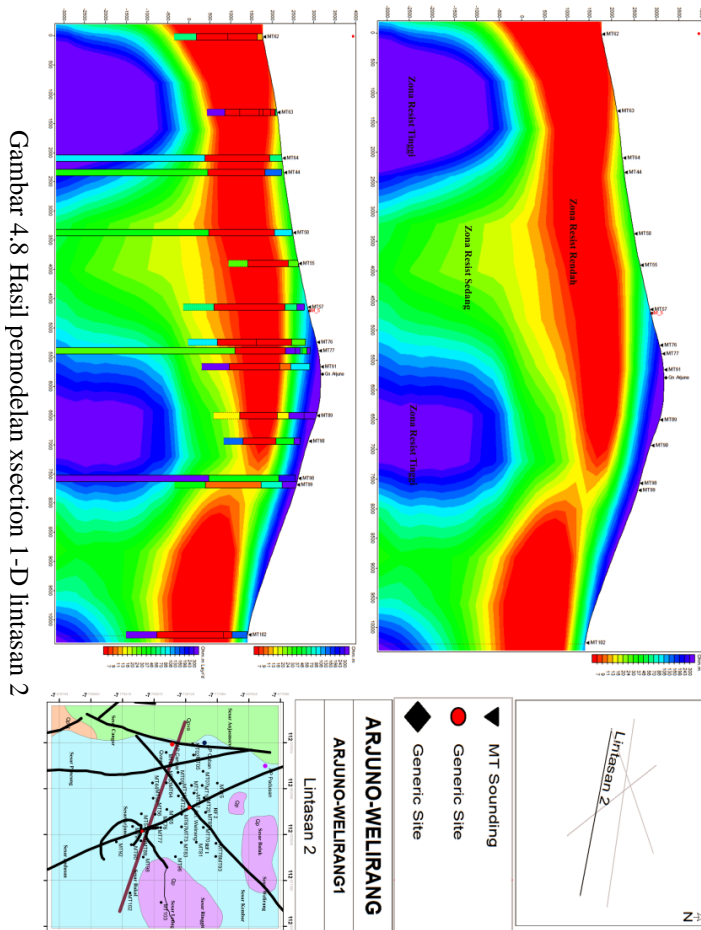


Zona resistivitas rendah dengan rentang nilai resistivitas sebesar 5–10 Ω m memiliki ketebalan mencapai 5000 meter yang semakin menebal ke arah timur dan panjang sekitar 11600 meter. Zona resistivitas sedang dengan rentang nilai resistivitas sebesar 11–60 Ω m memiliki ketebalan mencapai 1200 meter yang semakin menebal ke arah timur dan panjang sekitar 11000 meter. Zona resistivitas tinggi dengan rentang nilai resistivitas sebesar 70–300 Ω m memiliki ketebalan mencapai 3000 meter yang semakin menebal ke arah barat dan panjang sekitar 9400 meter, kemudian dikorelasikan antara hasil model inversi 1-D dengan model yang telah dibuat. Selanjutnya akan ditampilkan hasil model inversi 2-D

Gambar 4.7 Hasil pemodelan 2-D lintasan 1



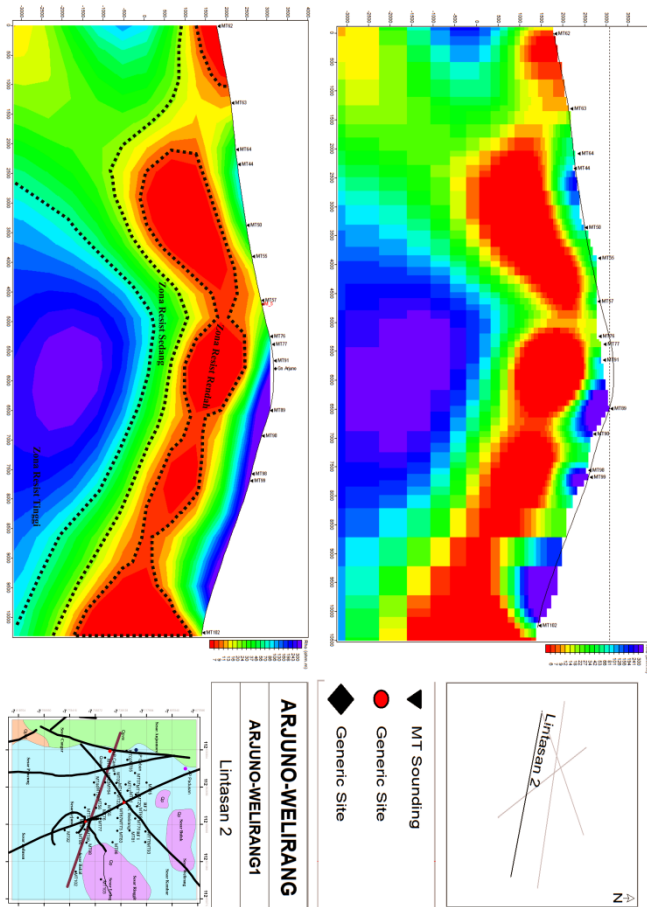
Berdasarkan hasil pemodelan inversi 2-D pada gambar 4.7, terdapat lapisan resistivitas rendah dengan ketebalan mencapai 4000 meter dan panjangsekitar 11500 meter dengan rentang nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm . Kemudian terdapat lapisan dengan nilai resistivitas sedang pada kedalaman 1000–2000 meter dengan rentang resistivitas 11–60 Ωm . Selanjutnya terdapat lapisan dengan nilai resistivitas tinggi pada kedalaman 2500–4000 meter dengan rentang nilai resistivitas 70–300 Ωm . Nilai resistivitas pada hasil pemodelan 2D memiliki *trend* yang sama dengan nilai resistivitas pada hasil pemodelan 1D, yakni penebalan zona resistivitas rendah ke arah timur, namun terdapat perbedaan yaitu zona resistivitas rendah yang mengalami ketidakteraturan pada titik MT07



Gambar 4.8 Hasil pemodelan xsection 1-D lintasan 2

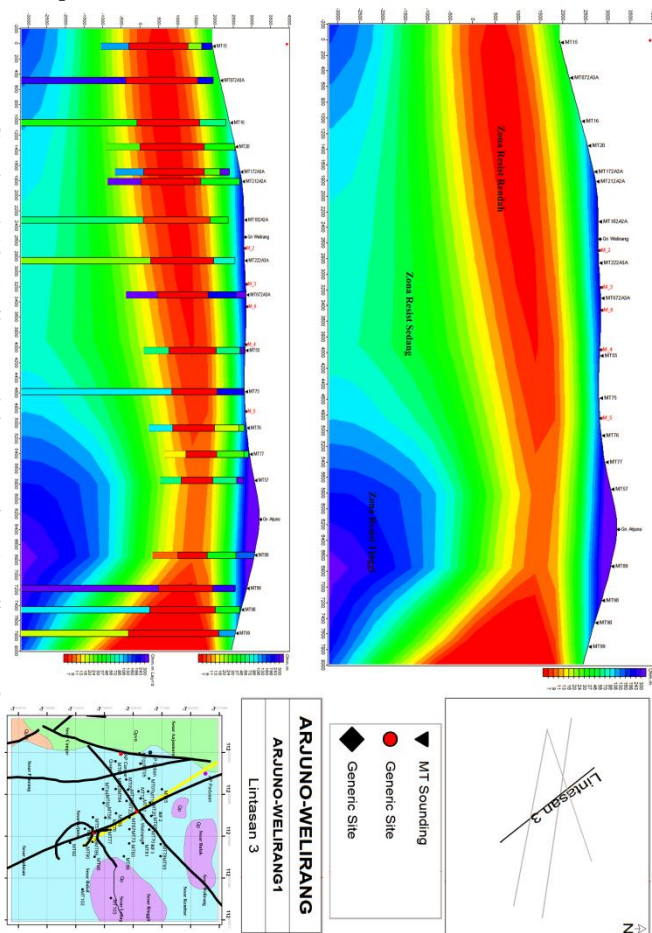
Berdasarkan hasil *cross section* 1-D lintasan 2 pada gambar 4.8, terdapat tiga zona resistivitas yaitu zona resistivitas rendah, sedang, dan tinggi. Zona resistivitas rendah dengan rentang nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm memiliki ketebalan mencapai 2500 meter yang semakin menebal ke arah barat dan panjang sekitar 13000 meter. Zona resistivitas sedang dengan rentang nilai resistivitas sebesar 11–60 Ωm memiliki ketebalan mencapai 3000 meter yang semakin menebal ke arah timur dan panjang sekitar 13000 meter. Zona resistivitas tinggi dengan rentang nilai resistivitas sebesar 70–300 Ωm memiliki ketebalan mencapai 2500 meter dan panjang sekitar 3000 meter, kemudian dikorelasikan antara hasil model inversi 1-D dengan model yang telah dibuat. Selanjutnya akan ditampilkan hasil model inversi 2-D.

Gambar 4.9 Hasil pemodelan 2-D lintasan 2



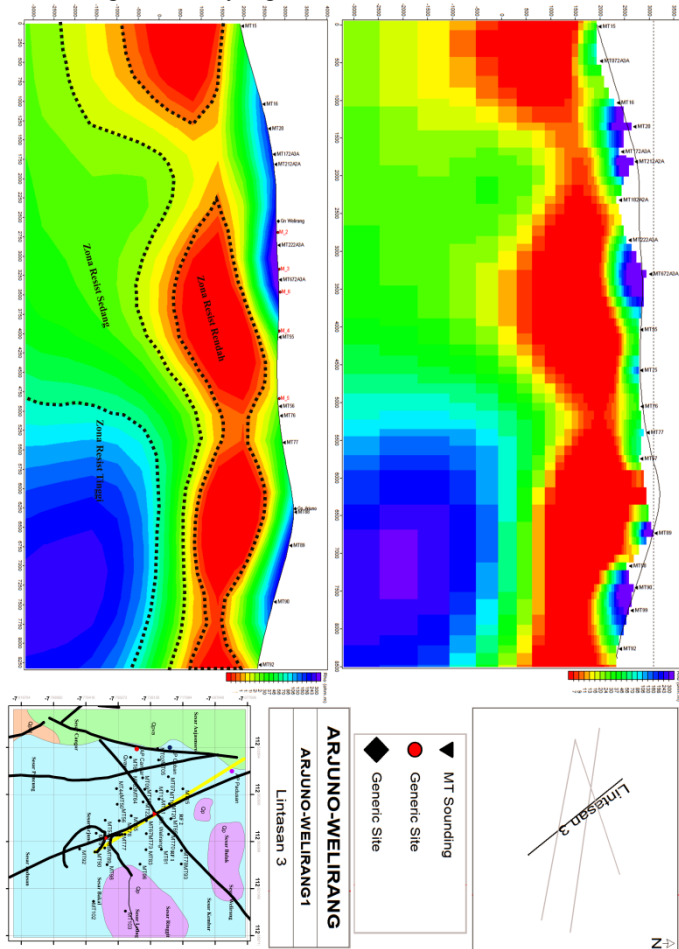
Berdasarkan hasil pemodelan inversi 2-D pada gambar 4.9, terdapat lapisan resistivitas rendah dengan rentang nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm yang memiliki ketebalan mencapai 3000 meter dan panjang sekitar 8500 meter dengan. Kemudian terdapat lapisan dengan nilai resistivitas sedang dengan rentang resistivitas 11-60 Ωm pada kedalaman 0-3000 meter. Selanjutnya terdapat lapisan dengan nilai resistivitas tinggi dengan rentang nilai resistivitas 70–300 Ωm yang memiliki ketebalan 3000 meter dan panjang sekitar 7000 meter. Nilai resistivitas pada hasil pemodelan 2D memiliki *trend* yang berbeda dengan nilai resistivitas pada hasil pemodelan 1D, yakni penebalan zona resistivitas rendah yang berbeda dan terdapat ketidakteraturan zona resistivitas rendah pada titik MT63.

Gambar 4.10 Hasil pemodelan xsection 1-D lintasan 3



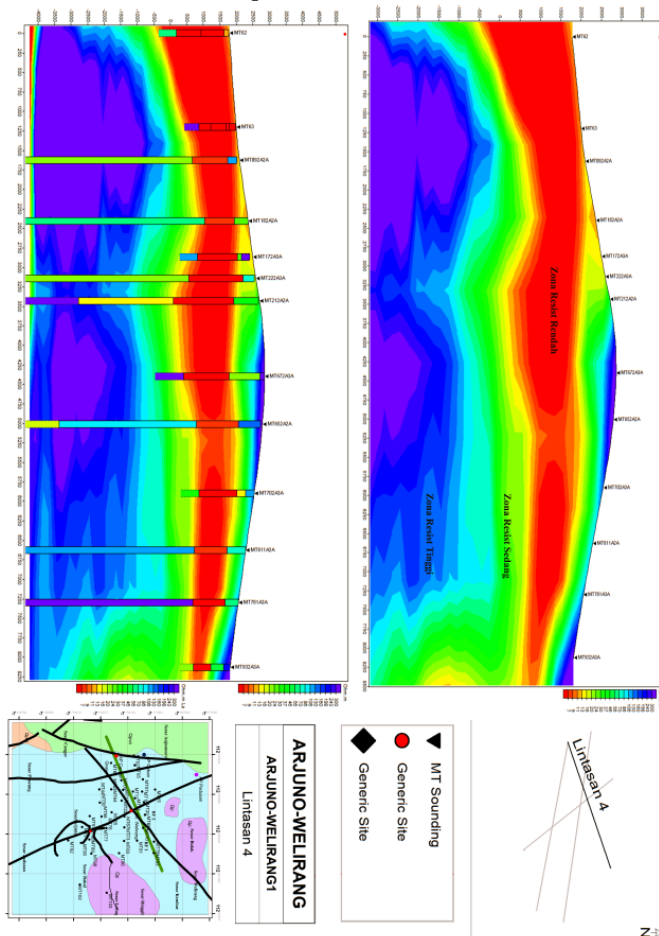
Berdasarkan hasil *cross section* 1-D lintasan 3 pada gambar 4.10, terdapat tiga zona resistivitas yaitu zona resistivitas rendah, sedang, dan tinggi. Zona resistivitas rendah dengan rentang nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm memiliki ketebalan mencapai 2500 meter yang semakin menebal ke arah selatan dan panjang sekitar 8000 meter. Zona resistivitas sedang dengan rentang nilai resistivitas sebesar 11–60 Ωm memiliki ketebalan mencapai 2500 meter yang semakin menebal ke arah utara dan panjang sekitar 8000 meter. Zona resistivitas tinggi dengan rentang nilai resistivitas sebesar 70–300 Ωm memiliki ketebalan mencapai 2500 meter yang semakin menebal ke arah selatan dan memiliki panjang sekitar 3000 meter, kemudian dikorelasikan antara hasil model inversi 1-D dengan model yang telah dibuat.

Gambar 4.11 Hasil pemodelan 2-D lintasan 3



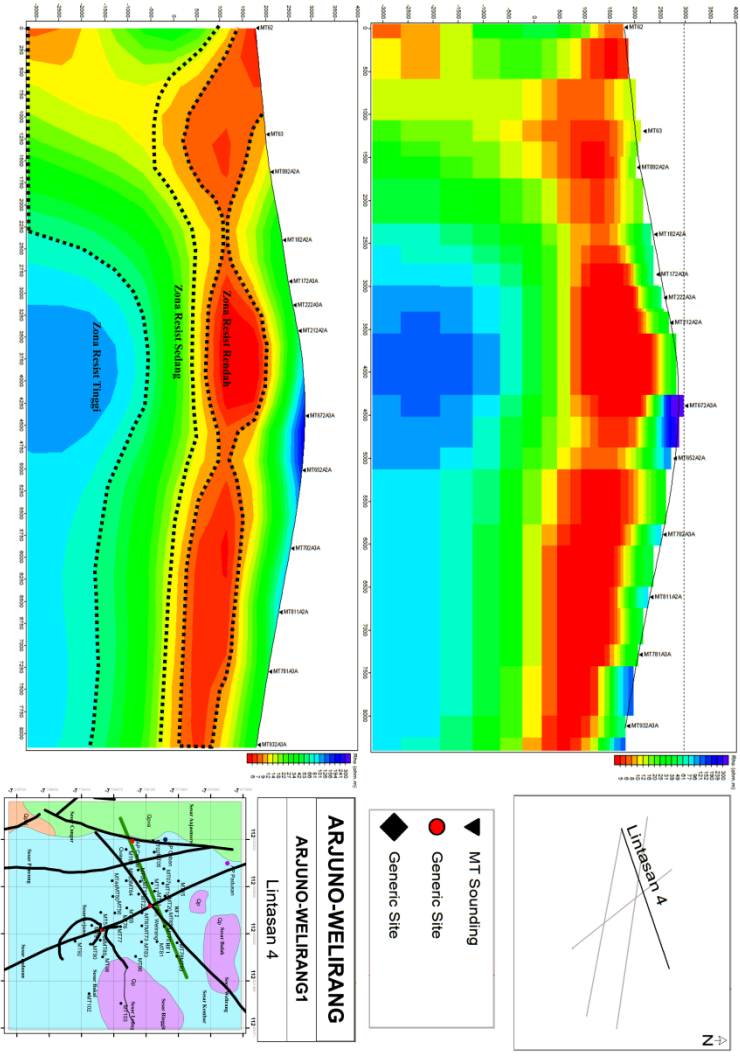
Selanjutnya akan ditampilkan hasil model inversi 2-D. Berdasarkan hasil pemodelan inversi 2-D pada gambar 4.11, terdapat lapisan resistivitas rendah dengan rentang nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm yang ketebalan mencapai 2500 meter dan panjang sekitar 8500 meter, kemudian terdapat lapisan dengan nilai resistivitas sedang pada kedalaman 0-3000 meter dengan rentang resistivitas 11-60 Ωm . Selanjutnya terdapat lapisan dengan nilai resistivitas tinggi pada kedalaman 0-3000 meter dengan rentang nilai resistivitas 70–300 Ωm serta memiliki panjang sekitar 3000 meter. Nilai resistivitas pada hasil pemodelan 2D memiliki *trend* yang sama dengan nilai resistivitas pada hasil pemodelan 1D, namun terdapat perbedaan yaitu zona resistivitas rendah yang mengalami ketidakteraturan pada titik MT21.

Gambar 4.12 Hasil pemodelan xsection 1-D lintasan 4



Berdasarkan hasil *cross section* 1-D lintasan 4 pada gambar 4.12, terdapat tiga zona resistivitas yaitu zona resistivitas rendah, sedang, dan tinggi. Zona resistivitas rendah dengan rentang nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm memiliki ketebalan mencapai 2000 meter yang semakin menebal ke arah timur dan panjang sekitar 8500 meter. Zona resistivitas sedang dengan rentang nilai resistivitas sebesar 11–60 Ωm memiliki ketebalan mencapai 3000 meter yang semakin menebal ke arah barat dan panjang sekitar 8500 meter.

Gambar 4.13 Hasil pemodelan 2-D lintasan 4

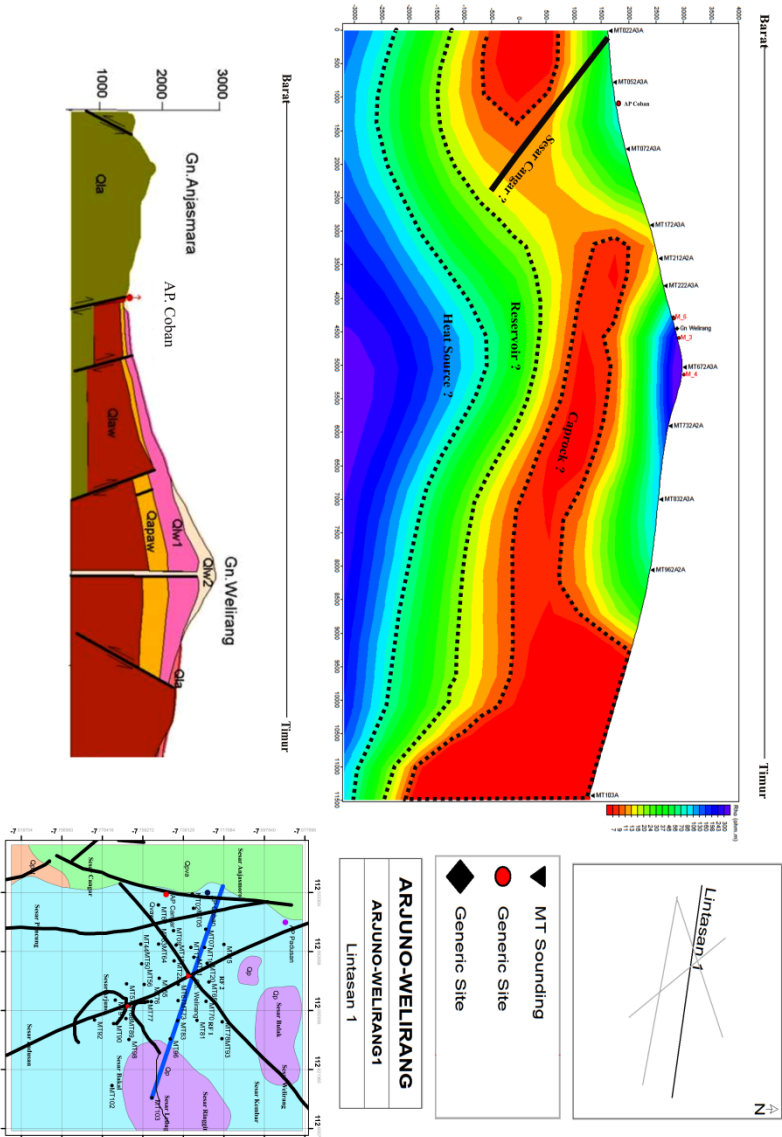


Zona resistivitas tinggi dengan rentang nilai resistivitas sebesar 70–300 Ωm memiliki ketebalan mencapai 2500 meter dan panjang sekitar 7500 meter, kemudian dikorelasikan antara hasil model inversi 1-D dengan model yang telah dibuat. Selanjutnya akan ditampilkan hasil model inversi 2-D

Berdasarkan hasil pemodelan inversi 2-D pada gambar 4.13, terdapat lapisan resistivitas rendah dengan rentang nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm yang memiliki ketebalan mencapai 1500 meter dan panjang sekitar 8000 meter. Kemudian terdapat lapisan dengan nilai resistivitas sedang dengan rentang resistivitas 11-60 Ωm yang memiliki ketebalan mencapai 4000 meter yang semakin menebal ke arah barat, selanjutnya terdapat lapisan dengan nilai resistivitas tinggi dengan rentang nilai resistivitas 70–300 Ωm yang memiliki ketebalan 3000 meter dan panjang sekitar 8000 meter. Nilai resistivitas pada hasil pemodelan 2D memiliki *trend* yang sama dengan nilai resistivitas pada hasil pemodelan 1D, yakni penebalan zona resistivitas rendah ke arah barat.

4.5.2 Interpretasi

Interpretasi dilakukan dengan cara integrasi hasil pemodelan dengan data geologi. Lapangan panas bumi Arjuno-Welirang berada pada lingkup vulkanik, yaitu terletak pada kompleks Gunung Arjuno dan Welirang. Jika dilihat pada peta desain akuisisi, Lintasan 1 melwati 2 formasi yaitu Formasi Gunung api Kuarter Bawah (Qp) dan Gunung Api Arjuna–Welirang (Qvaw) yang menghubungkan antara air panas coban, solfatara/fumarol dan Gunung Welirang, pada lintasan ini berarah dari barat ke timur. Lintasan tersebut melewati dua buah kelurusan sesar yang mengarah dari utara-selatan yaitu Sesar Cangar dan padusan serta sebuah sesar yang mengarah timur laut-barat daya yaitu Sesar Welirang. Solfatara/fumarol pada lintasan 1 berada di atas lapisan dengan resistivitas tinggi yang ditandai dengan warna biru tepatnya di antara titik MT22-MT67 dan MT67-MT73. Gambar 4.14 menjelaskan interpretasi dari pengolahan data magnetotelurik lapangan panas bumi Arjuno-Welirang pada lintasan 1. Lapisan yang memiliki nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan penudung atau *cap rock*. Batuan penudung pada Formasi Gunung api Arjuna–Welirang tersebut diperkirakan berasal dari produk lava welirang (Qlw) yang telah mengalami proses alterasi, sedangkan batuan penudung pada Formasi Kuarter Bawah diperkirakan berasal dari lava tua produk Welirang (Qlaw) yang masif dan belum terekahkan secara kuat. Nilai resistivitas rendah pada Formasi Kuarter Bawah tersebut tersebar mulai dari permukaan hingga kedalaman sekitar 3000 meter dengan ketebalan antara 1000 meter hingga 2500. Kemudian, pada elevasi 500 hingga -500 meter terdapat lapisan dengan rentang nilai resistivitas 11-60 Ωm .



Gambar 4.14 Interpretasi hasil pemodelan Lintasan 1

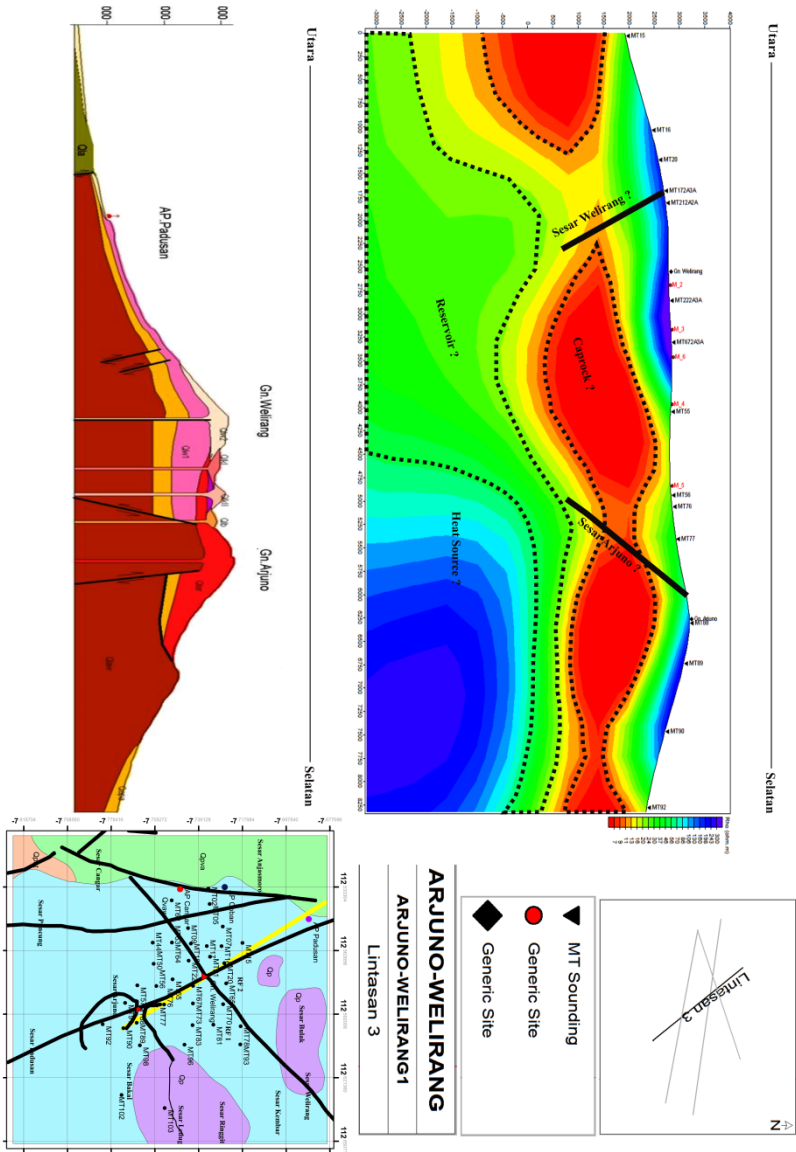
Lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai lapisan *reservoir* yang diperkirakan berasal dari batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang berupa aliran piroklastik (Qapaw). Batuan tersebut dianggap cukup baik kerana telah mengalami proses deformasi pada periode Plistosen Akhir sehingga

memungkinkan membentuk pola rekahan yang intensif dan bersifat permeabel. Lapisan yang sangat resistif pada elevasi dibawah -1000 meter diinterpretasikan sebagai lapisan *heat source* dengan nilai resistivitas mencapai 300 Ωm . *Heat source* diperkirakan berasal dari kegiatan vulkanisme lava tua produk Gunung Arjuno-Welirang (Qlaw) . Pada bagian atas *cap rock*, terdapat lapisan yang memiliki nilai resistivitas lebih tinggi dari *cap rock* yaitu 30-60 Ωm , lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai lapisan *overburden* atau lapisan tanah penutup. Nilai tahanan jenis batuan memperlihatkan ketidakhomogenitas (*resistivity discontinuity*), terutama pada nilai tahanan jenis yang bernilai rendah. Ketidakhomogenitas resistivitas pada titik MT07 diduga terdapat zona sesar atau zona *fracture* yang diperkirakan sebagai Sesar Cagar yang berarah utara-selatan.

Lintasan 2 berada pada Formasi Gunung Api Arjuno-Welirang yang menghubungkan antara air panas cagar dan Gunung Arjuno yang membentang dari arah barat ke timur. Lintasan tersebut melewati dua kelurusan sesar yang mengarah dari utara-selatan yaitu Sesar Puncung serta sebuah sesar yang merupakan sesar amblasan yaitu Sesar Arjuno. Solfatara/fumarol pada lintasan 2 berada di atas lapisan dengan resistivitas tinggi yang ditandai dengan warna biru tepatnya di sebelah timur titik MT57. Gambar 4.15 menjelaskan interpretasi dari pengolahan data magnetotelurik lapangan panas bumi Arjuno-Welirang pada lintasan 2. Lapisan yang memiliki nilai resistivitas sebesar 5-10 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan penutup atau *cap rock*. Batuan penutup tersebut diperkirakan berasal dari produk lava Arjuno (Qlar) yang telah mengalami proses alterasi. Nilai resistivitas rendah tersebut tersebar mulai dari elevasi sekitar 2200 meter hingga 1200 meter dengan ketebalan mencapai 1000 meter. Selanjutnya, pada elevasi 1500 hingga 500 meter terdapat lapisan dengan rentang nilai resistivitas 11-60 Ωm . Lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai lapisan *reservoir* yang diperkirakan berasal dari batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang berupa aliran piroklastik (Qapaw). Batuan tersebut dianggap cukup baik karena telah mengalami proses deformasi pada periode Plistosen Akhir sehingga memungkinkan membentuk pola rekahan yang intensif dan bersifat permeabel. Lapisan yang sangat resistif pada elevasi dibawah 0 meter diinterpretasikan sebagai lapisan *heat source* dengan nilai resistivitas sebesar 80-300 Ωm . *Heat source* diperkirakan berasal dari kegiatan vulkanisme lava tua produk Gunung Arjuno-Welirang (Qlaw).

terdapat degradasi nilai tahan jenis dengan nilai $> 10 \Omega\text{m}$ yang mencirikan bahwa didaerah tersebut terdapat sesar dan dibuktikan dengan adanya air panas cangar, sesar tersebut diperkirakan sebagai Sesar Puncung yang berarah utara-selatan.

Lintasan 3 berada pada Formasi Gunung Api Arjuna–Welirang yang menghubungkan manifestasi solfatara/fumarol di Gunung Welirang dan di akhiri di Gunung Arjuno yang membentang dari arah barat laut ke tenggara, lintasan tersebut melewati dua kelurusan sesar. Sesar pertama mengarah dari barat daya-timur laut yaitu Sesar Welirang, sesar kedua merupakan sesar amblasan yaitu Sesar Arjuno. Solfatara/fumarol pada lintasan 3 berada di atas lapisan dengan resistivitas tinggi yang ditandai dengan warna biru tepatnya di antara Gunung Welirang dan Gunung Arjuno. Gambar 4.16 menjelaskan interpretasi dari pengolahan data magnetotelurik lapangan panas bumi Arjuno-Welirang pada lintasan 3. Lapisan yang memiliki nilai resistivitas sebesar $5\text{--}10 \Omega\text{m}$ diinterpretasikan sebagai lapisan penudung atau *cap rock*. Batuan penudung tersebut diperkirakan berasal dari produk lava welirang (Qlw) dan lava Arjuno (Qlar) yang telah mengalami proses alterasi. Nilai resistivitas rendah tersebut tersebar pada elevasi 2500 meter dengan ketebalan antara 1000 hingga 1500 meter. Selanjutnya, pada elevasi 1500 hingga 0 meter terdapat lapisan dengan rentang nilai resistivitas $11\text{--}60 \Omega\text{m}$. Lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai lapisan *reservoir* yang diperkirakan berasal dari batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang berupa aliran piroklastik (Qapaw). Batuan tersebut dianggap cukup baik kerana telah mengalami proses deformasi pada periode Plistosen Akhir sehingga memungkinkan membentuk pola rekahan yang intensif dan bersifat permeabel. Lapisan yang sangat resistif pada elevasi dibawah 0 meter diinterpretasikan sebagai lapisan *heat source* dengan nilai resistivitas sebesar $80\text{--}300 \Omega\text{m}$. *Heat source* diperkirakan berasal dari kegiatan vulkanisme lava tua produk Gunung Arjuno-Welirang (Qlaw). Pada bagian atas *cap rock*, terdapat lapisan yang memiliki nilai resistivitas lebih tinggi dari *cap rock* yaitu $30\text{--}60 \Omega\text{m}$, lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai lapisan *overburden* atau lapisan tanah penutup.

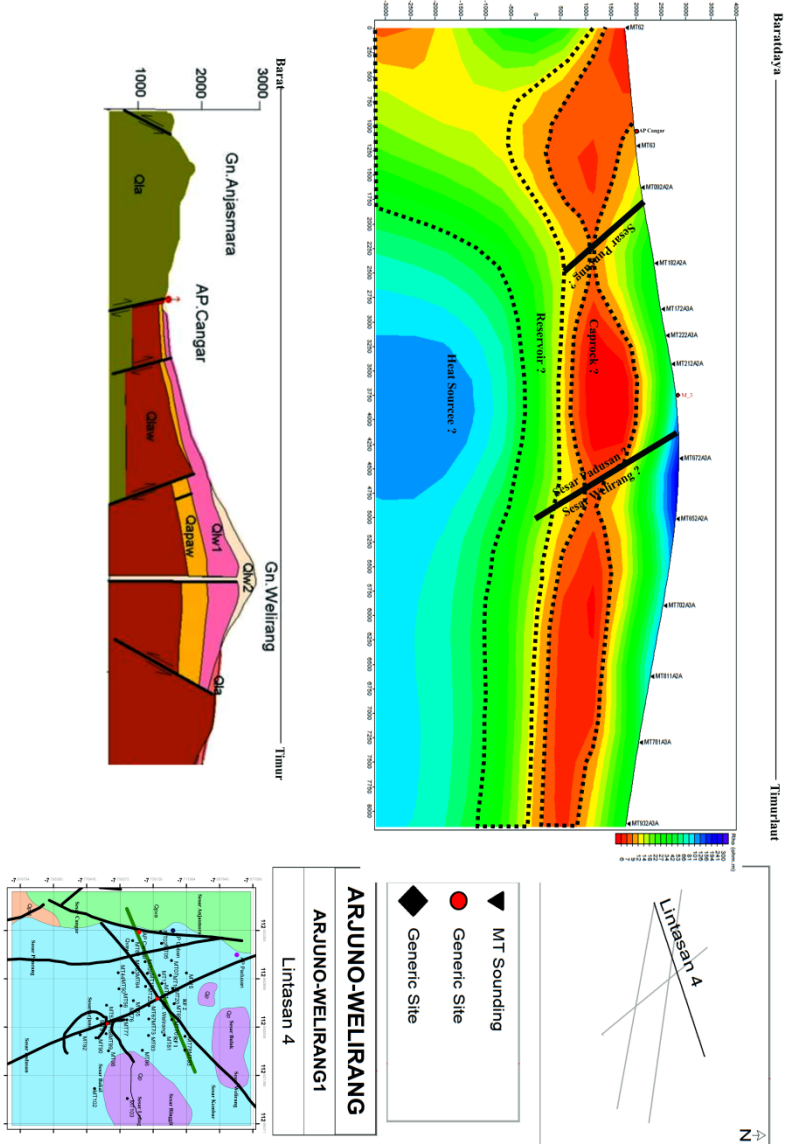


Gambar 4.16 Interpretasi hasil pemodelan lintasan 3

Nilai tahanan jenis batuan memperlihatkan ketidakterusan (*resistivity discontinuity*), terutama pada nilai tahanan jenis yang bernilai rendah yaitu pada titik MT21 dan MT77 serta terdapat degradasi nilai tahanan jenis dengan nilai $> 10 \Omega m$ yang mencirikan bahwa di daerah tersebut terdapat sesar dan

dibuktikan dengan adanya manifestasi solfatar/fumarol, sesar tersebut diperkirakan sebagai Sesar Welirang dan Sesar Arjuno.

Lintasan 4 berada pada Formasi Gunung Api Arjuno–Welirang yang menghubungkan air panas cangar, solfatar/fumarol dan Gunung Welirang yang membentang dari arah barat daya ke timur laut, lintasan tersebut melewati tiga kelurusan sesar. Sesar pertama mengarah dari barat daya-timur laut yaitu Sesar Welirang, sesar kedua mengarah dari utara-selatan yaitu Sesar Puncung, sedangkan sesar ketiga mengarah dari barat laut-tenggara. Solfatar/fumarol pada lintasan 4 berada di atas lapisan dengan resistivitas tinggi yang ditandai dengan warna biru tepatnya di antara titik MT22-MT67. Gambar 4.17 menjelaskan interpretasi dari pengolahan data magnetotelurik lapangan panas bumi Arjuno-Welirang pada lintasan 4. Lapisan yang memiliki nilai resistivitas sebesar 5–10 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan penudung atau *cap rock*. Batuan penudung tersebut diperkirakan berasal dari produk lava welirang (Qlw) yang telah mengalami proses alterasi. Nilai resistivitas rendah tersebut tersebar mulai dari permukaan dengan ketebalan mencapai 2500 meter. Selanjutnya, pada elevasi 500 hingga -500 meter terdapat lapisan dengan rentang nilai resistivitas 11-60 Ωm . Lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai lapisan *reservoir* yang diperkirakan berasal dari batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang berupa aliran piroklastik (Qapaw). Batuan tersebut dianggap cukup baik karena telah mengalami proses deformasi pada periode Plistosen Akhir sehingga memungkinkan membentuk pola rekahan yang intensif dan bersifat permeabel. Lapisan yang sangat resistif pada elevasi dibawah -0 meter diinterpretasikan sebagai lapisan *heat source* dengan nilai resistivitas sebesar 80-300 Ωm . *Heat source* diperkirakan berasal dari kegiatan vulkanisme lava tua produk Gunung Arjuno-Welirang (Qlaw). Pada bagian atas *cap rock*, terdapat lapisan yang memiliki nilai resistivitas lebih tinggi dari *cap rock* yaitu 30-60 Ωm , lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai lapisan *overburden* atau lapisan tanah penutup.



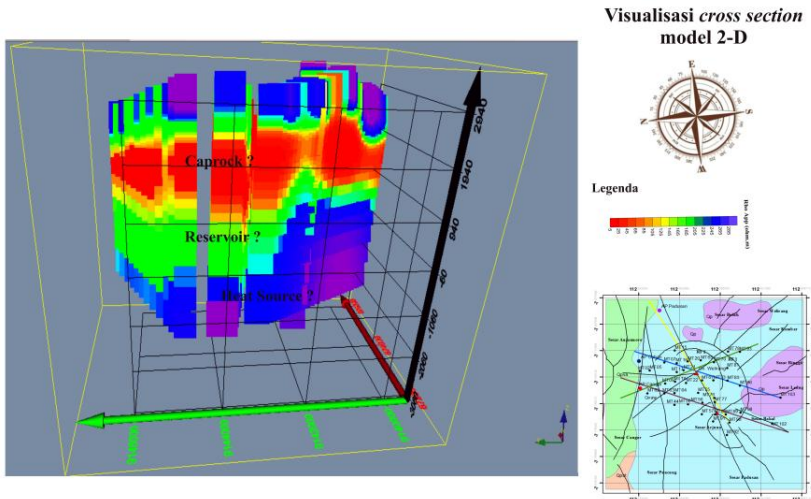
Gambar 4.17 Interpretasi hasil pemodelan lintasan 4

Nilai tahanan jenis batuan memperlihatkan ketidakmenerusan (*resistivity discontinuity*), terutama pada nilai tahanan jenis yang bernilai rendah yaitu pada titik MT18 dan di antara MT67-MT65 serta dibuktikan dengan adanya

manifestasi solfatar/fumarol dan air panas cangar, sesar tersebut diperkirakan sebagai Sesar Puncung, Sesar Welirang dan Sesar Padusan.

4.6 Cross Section Model

Model penampang resistivitas hasil inversi 2D kemudian divisualisasikan ke dalam bentuk *cross section model*. Pemodelan ini dilakukan untuk melihat kemenerusan persebaran resistivitas bawah permukaan daerah lapangan panas bumi Arjuno-Welirang. Terdapat 4 Lintasan pengukuran yang divisualisasikan ke dalam *cross section model* sesuai dengan total *line* pengukuran. Hasil *cross section model* pada daerah Arjuno-Welirang dapat dilihat pada gambar 4.18



Gambar 4.18 *Cross section* model semua lintasan

Berdasarkan *cross section model* yang telah dibuat dapat dilihat persebaran resistivitas bawah permukaan yang ada mulai dari lapisan konduktif hingga lapisan dengan nilai resistivitas yang tinggi. Berdasarkan gambar dapat dilihat zona konduktif (5–10 Ωm) tersebar merata pada daerah penelitian mulai dari barat-timur, barat laut-tenggara dan barat daya-timur laut yang diperkirakan berasal dari produk lava welirang yang telah mengalami proses alterasi, maupun berasal dari lava tua produk Welirang yang masif dan belum terekahkan secara kuat. Begitu juga dengan zona yang berpotensi sebagai area reservoir dengan nilai resistivitas sedang (11–60 Ωm) yang diperkirakan berada pada batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang Tua berupa aliran piroklastik, berdasarkan *cross section model* zona reservoir terlihat cenderung menebal ke arah timur laut dan utara hingga ketebalan 1 km. Sedangkan zona resistivitas

tinggi (80-300 Ω m) diinterpretasikan sebagai zona *heat source* yang semakin menebal ke arah tenggara yang diperkirakan berasal dari aktivitas vulkanisme gunung Arjuno-Welirang.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN

Kesimpulan yang di dapatkan dari penelitian ini adalah nilai sudut *geoelectrical strike* yang didapatkan dengan cara melakukan analisis terhadap data *tipper strike* bernilai 50^0 , sehingga untuk seluruh data magnetotelurik dilakukan rotasi tensor impedansi sebesar 50^0 . Sistem panas bumi lapangan arjuno-welirang berada pada wilayah Formasi Gunung api Kuartir Bawah (Qp) dan Gunung api Arjuna–Welirang (Qvaw) yang terdiri dari lapisan *cap rock* dengan nilai resistivitas 5-10 Ωm dengan ketebalan 1000-2500 meter, Batuan penudung pada Formasi Gunung api Arjuna–Welirang tersebut diperkirakan berasal dari produk lava welirang (Qlw) yang telah mengalami proses alterasi, sedangkan batuan penudung pada Formasi Kuartir Bawah diperkirakan berasal dari lava tua produk Welirang (Qlaw) yang masif dan belum terekahkan secara kuat. Lapisan *reservoir* dengan nilai resistivitas 11-60 Ωm dengan ketebalan 1000-1500, lapisan tersebut diperkirakan berasal dari batuan produk Vulkanik Arjuno-Welirang berupa aliran piroklastik (Qapaw). Lapisan *heat source* dengan nilai resistivitas 80-300 Ωm dengan ketebalan 2000-3000 meter, *heat source* diperkirakan berasal dari kegiatan vulkanisme lava tua produk Gunung Arjuno-Welirang (Qlaw). Terdapat kelurusan sesar yang diperlihatkan adanya ketidakmenerusan (*resistivity discontinuity*), terutama pada nilai tahanan jenis yang bernilai rendah yaitu pada titik MT07, MT77, MT18 dan di antara MT67-MT65 serta dibuktikan dengan adanya manifestasi solfatar/fumarol, air panas cangar, dan air panas coban, sesar tersebut diperkirakan sebagai Sesar Cangar, Sesar Arjuno, Sesar Puncung, Sesar Welirang dan Sesar Padusan.

5.2 SARAN

Identifikasi sistem panas bumi akan lebih optimal jika diintegrasikan dengan data penunjang lainnya seperti data penelitian geofisika dengan metode yang berbeda, dan sampel geokimia pada lapangan pengukuran agar hasil interpretasi lebih lebih akurat dengan paramter yang lebih kompleks.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Adão, J.S.F. (2015), *The Electrical Resistivity of the Posidonia Black Shale – from Magnetotelluric Exploration to Rock Samples*, Freien Universität Berlin, Postdam.
- Aster, R.C., Borchers, B. dan Thurber, C.H. (2013), *Parameter Estimation and Inverse Problems*, Elsevier, New York.
- Cagniard, L. (1953), "Basic Theory of the Magnetotelluric Method.", *Geophysics.*, Vol.8., hal. 605-635.
- Chave, A.D. dan Jones, A.G. (2012), *THE MAGNETOTELLURIC METHOD: Theory and practice*, Cambridge University Press, New York.
- Daud, Y. dan Fikri, F. (2013), *Pemodelan Sistem Geothermal Arjuno Welirang, Jawa Timur dengan menggunakan Inversi Data Magnetotelurik 3-Dimensi*, Universitas Indonesia, Depok.
- DiPippo, R. (2012), *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*, 3 Ed., Elsevier, Massachusetts.
- ESDM, K. (2017), *Potensi Panas Bumi Indonesia*, 1 Ed., Direktorat Panas Bumi Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Febrika, G.Y., Setyawan, A., Irham, M. dan Raharjo, I.B. (2017), "Identifikasi geological strike dan dimensionalitas berdasarkan analisis phase tensor untuk pemodelan 2D magnetotelurik di lapangan panas bumi "GYF"", *Youngster Physics Journal*, Vol.6, No.2, hal. 115–122.
- Gaffar, E.Z., Permama, H., Indarto, S., Sudrajat, Y. dan Nyanjang (2014), "PEMODELAN PANASBUMI KOMPLEK DATARAN TINGGI DIENG DENGAN METODE MAGNETOTELURIK", *PROSIDING PEMAPARAN HASIL PENELITIAN PUSAT PENELITIAN GEOTEKNOLOGI LIPI.*
- Grandis, H. (2015), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Jakarta.
- 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*, Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi.
- Jones, A.G. dan Groom, R.W. (1992), "Strike-Angle Determination from the Magnetotelluric Impedance Tensor in the Presence of Noise and Local Distortion: Rotate at Your Peril!", *Geophysical Journal International*, Vol.113, hal. 524–534.
- Jupp, D.L.B. dan Vozoff, K. (1976), "Two-Dimensional Magnetotelluric Inversion", *Geophysical Journal International*, Vol.50, hal. 333–352.

- Khyzhnyak, M. (2014), *Geoelectric Strike and Its Application in Magnetotellurics*, University of Iceland, Iceland.
- Oskooi, B. (2011), "2D inversion of the Magnetotelluric data from Travale Geothermal Field in Italy", *Journal of the Earth & Space Physics*, Vol.36, No.4, hal. 1–18.
- Rachmaningtias, N., Setyawan, A. dan Raharjo, I.B. (2014), "IDENTIFIKASI STRUKTUR RESISTIVITAS DAERAH GEOTHERMAL “T” BERDASARKAN HASIL PEMODELAN 2D DATAMAGNETOTELURIK", *Youngster Physics Journal*, Vol.3, No.2, hal. 143–146.
- Ramdhani, F., Setyawan, A. dan Raharjo, I.B. (2017), "Pemodelan 2 dimensi data magnetotellurik berdasarkan analisis phase tensor dalam penentuan geoelectrical strike dan dimensionalitas data di Lapangan Panas Bumi “X”", *Youngster Physics Journal*, Vol.6, No.3, hal. 8.
- Rodi, W. dan Mackie, R.L. (2001), "Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion", *Geophysics.*, Vol.66, No.1, hal. 174–187.
- Saptadji, N.M. (2009), *Karakterisasi Reservoir Panas Bumi*, Bandung.
- Simpson, F. dan Bahr, K. (2005), *Practical Magnetotellurics*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Sulistyo, A., Daud, Y. dan Ningsih, N.U. (2015), "Comparison Between Geostatistical (Cokriging and Averaging) Methods And Time Domain Electromagnetic (TDEM) Method for Static Shift Correction of Magnetotelluric (MT) Data", *Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition.*,
- Van Bemelen, R. (1949), *The Geology of Indonesia Vol IA, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, 2nd. Netherland

LAMPIRAN

1. Nilai Koherensi Data

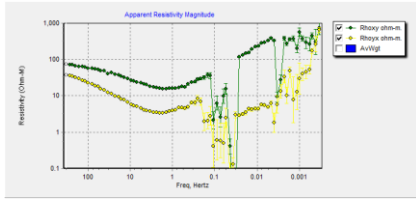
SITE NAME	KOHERENSI HASIL ROBUST				
	NW	RV	OC	UP	RR
MT02	0.894359	0.911374	0.918242	0.952548	
MT05	0.9658	0.96639	0.966774	0.961916	
MT07	0.7976767	0.8095797	0.8111088	0.820851	
MT09	0.945895	0.947477	0.947191	0.962342	
MT15	0.8469169	0.8867773	0.6586215	0.859042	
MT16	0.8940336	0.9107553	0.9010375	0.9268262	
MT17	0.961639	0.964226	0.962754	0.962342	
MT18	0.877395	0.893176	0.885037	0.962342	
MT20	0.93158	0.942025	0.934169	0.962342	
MT21	0.9088372	0.9191023	0.9150075	0.9331572	
MT22	0.894471	0.89606	0.898285	0.962342	
MT44	0.9435322	0.944714	0.9446623	0.9595309	
MT50	0.930866	0.9414754	0.9422157	0.9550763	
MT55	0.8937263	0.8993421	0.893494	0.894171	
MT56	0.4158249	0.5319946	0.5206457	0.5163448	0.7945073
MT57	0.7227505	0.7335531	0.7343645	0.7470822	0.7993818
MT62	0.759279	0.7557738	0.7582638	0.751159	
MT63	0.746911	0.7660188	0.755306	0.7705466	
MT64	0.8574003	0.8827728	0.8768768	0.8697526	
MT65	0.8398016	0.8496528	0.8486515	0.8758689	
MT67	0.9258327	0.9274688	0.9277178	0.9467472	
MT70	0.9082864	0.9143083	0.914868	0.9334287	
MT73	0.9498108	0.9522506	0.950984	0.976393	
MT76	0.7454181	0.7722629	0.7750098	0.7614141	
MT77	0.8024024	0.8366968	0.8201004	0.7127551	
MT78	0.88514	0.892285	0.892991	0.820226	

MT81	0.8434606	0.8304424	0.8492916	0.849303	
MT83	0.834036	0.834847	0.8373154	0.8460284	
MT88	0.736211	0.757245	0.747233	0.761818	
MT89	0.653889	0.751492	0.727149	0.67242	0.665889
MT90	0.913791	0.917145	0.917485	0.936404	
MT92	0.7909767	0.8213022	0.8125815	0.8303984	
MT93	0.91031	0.913826	0.915868	0.922915	
MT96	0.7338462	0.736799	0.7297287	0.7530628	
MT98	0.751082	0.815868	0.781162	0.74569	
MT102	0.895369	0.90194	0.901394	0.848347	
MT103	0.7912898	0.7995787	0.7995787	0.854159	
MT91	0.678019	0.751678	0.69955	0.682819	0.703804

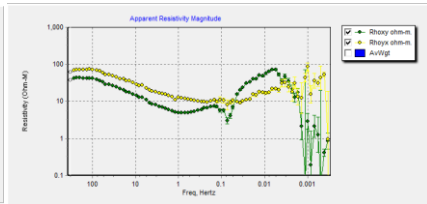
Keterangan: merupakan nilai koherensi tertinggi

2. Raw Data

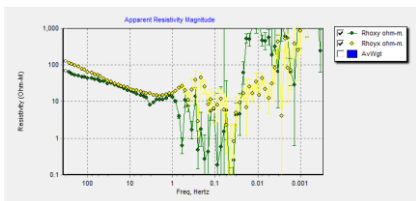
a. Sebelum Seleksi Crosspower



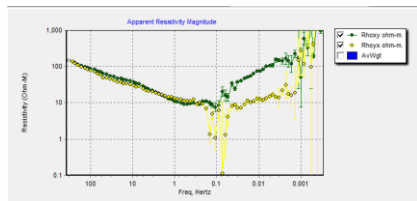
MT02



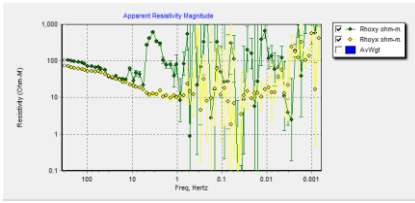
MT05



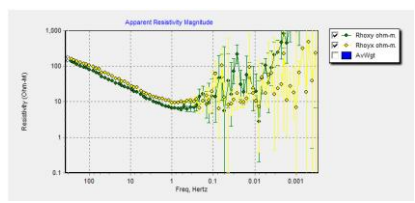
MT07



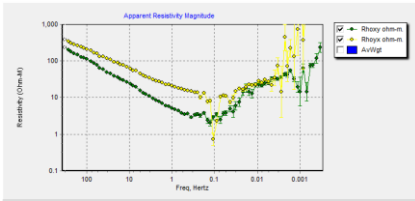
MT09



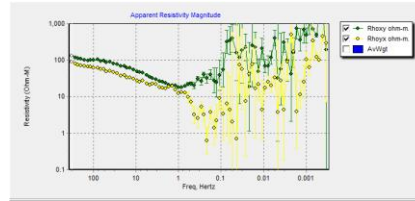
MT15



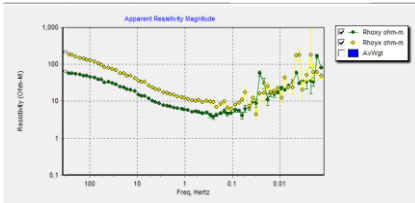
MT16



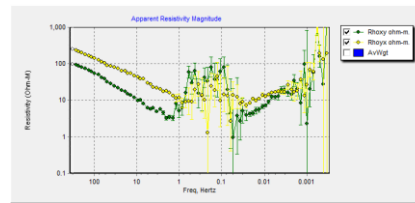
MT17



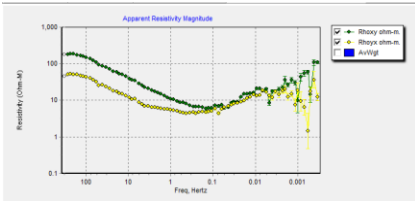
MT18



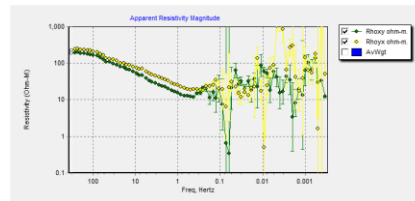
MT20



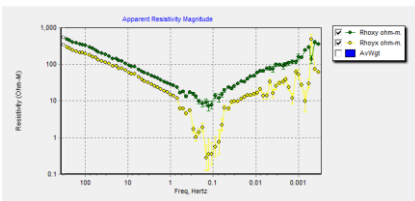
MT21



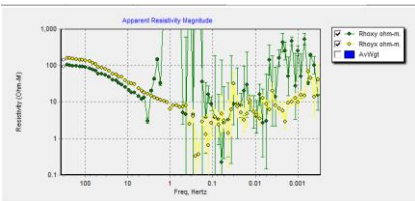
MT22



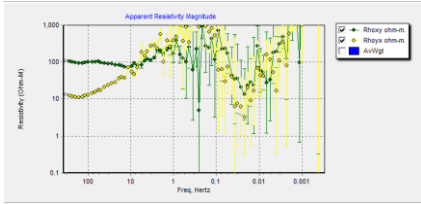
MT44



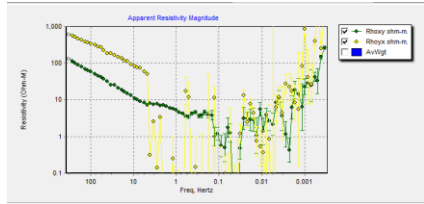
MT50



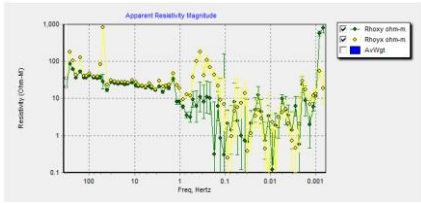
MT55



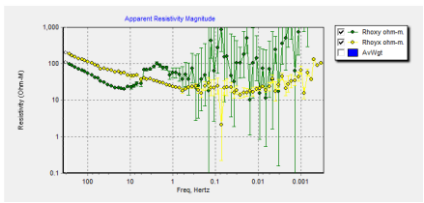
MT56



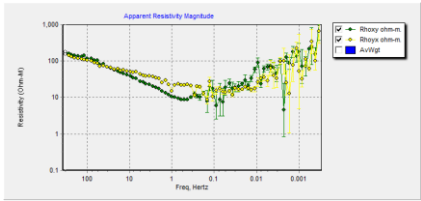
MT57



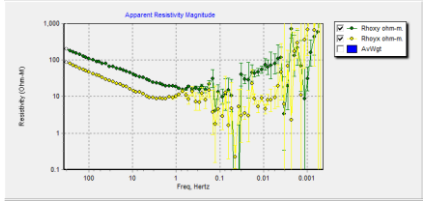
MT62



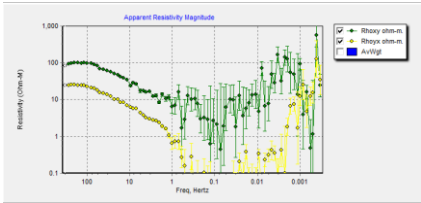
MT63



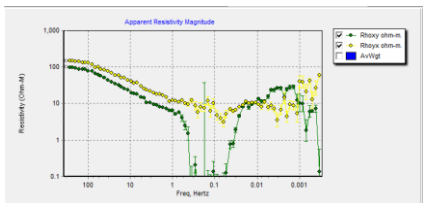
MT64



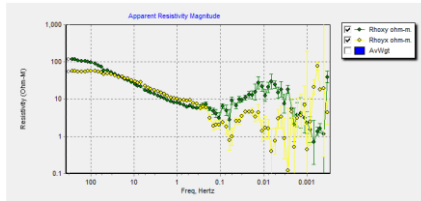
MT65



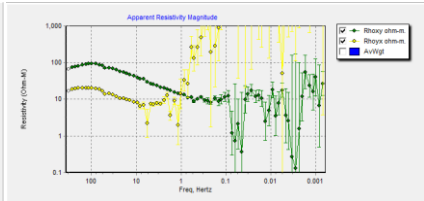
MT67



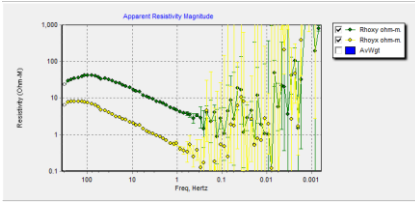
MT70



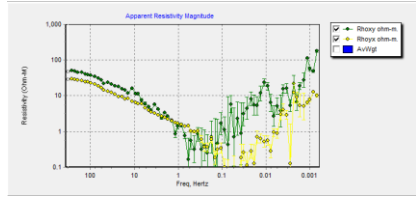
MT73



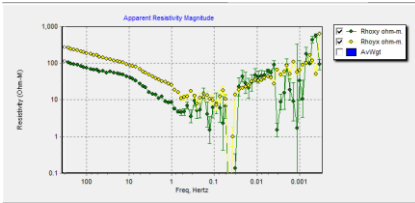
MT76



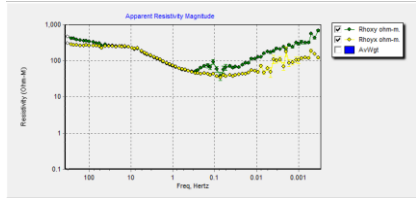
MT77



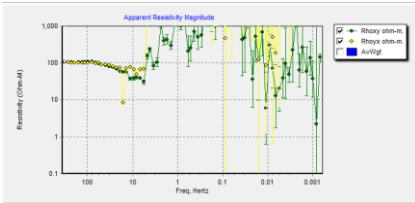
MT78



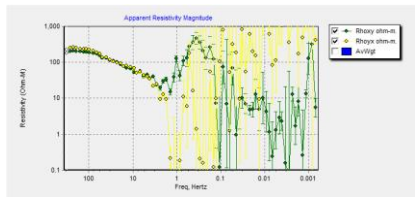
MT81



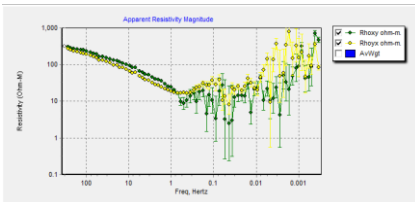
MT83



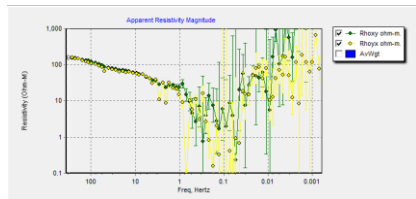
MT88



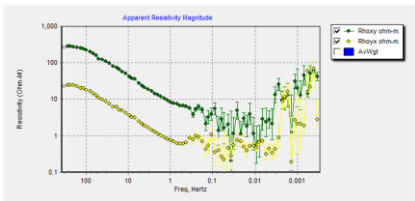
MT89



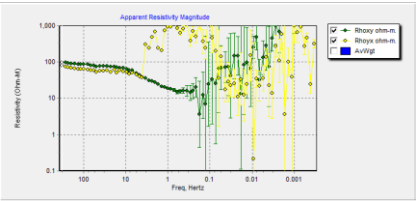
MT90



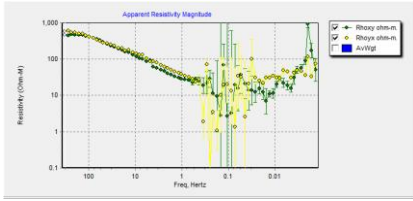
MT92



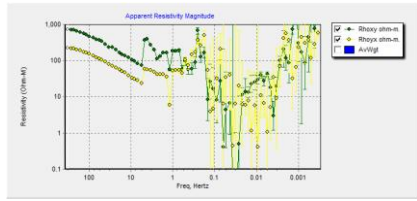
MT93



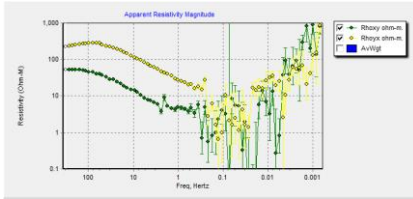
MT96



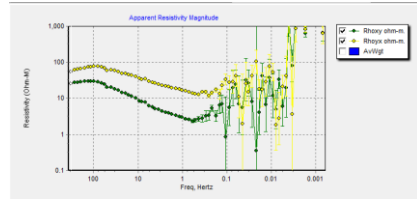
MT98



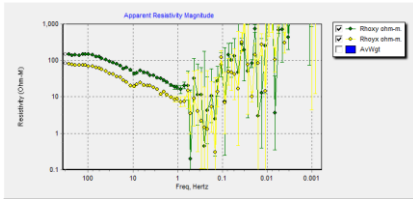
MT102



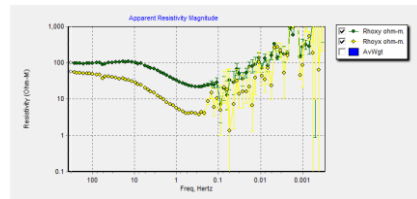
MT103



MT76

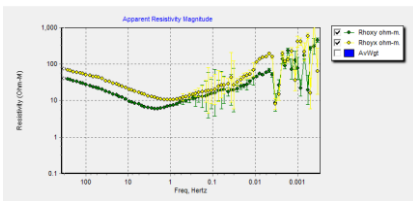


MT91

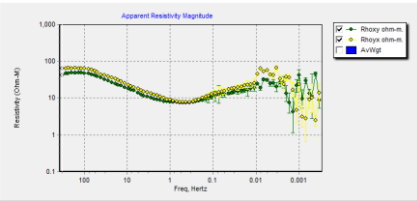


MT99

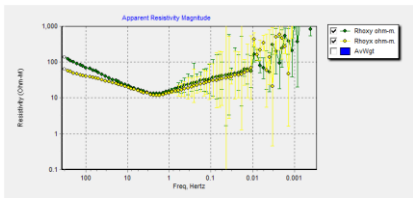
a. Setelah Seleksi *Crosspower*



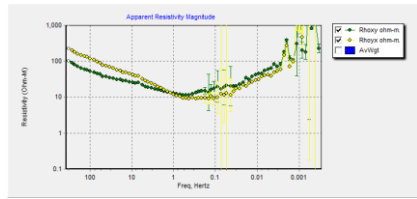
MT02



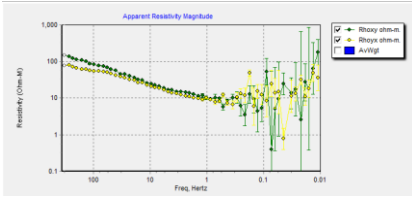
MT05



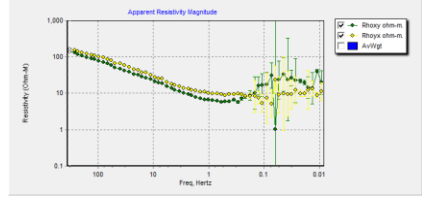
MT07



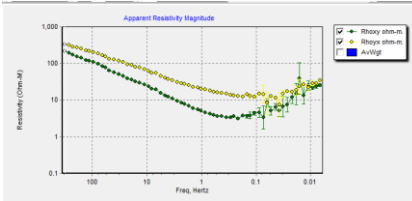
MT09



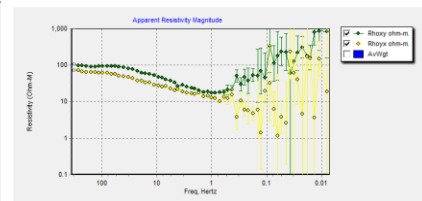
MT15



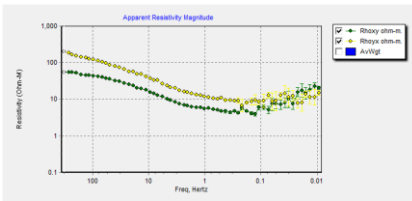
MT16



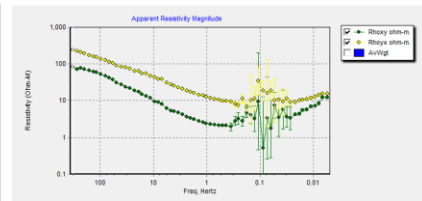
MT17



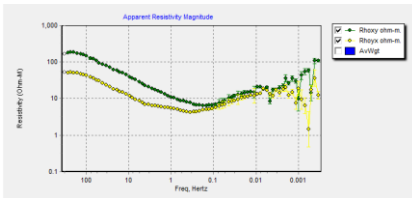
MT18



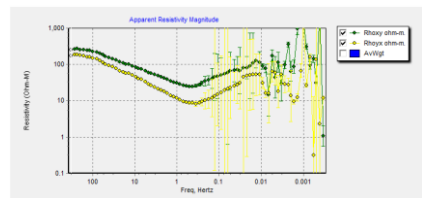
MT20



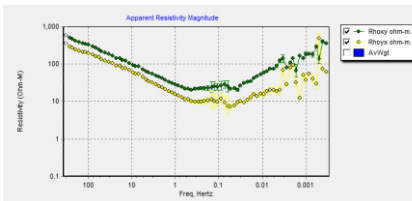
MT21



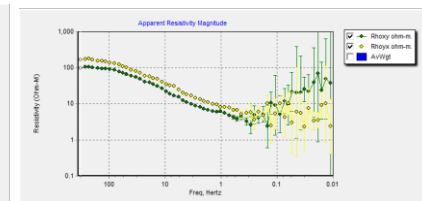
MT22



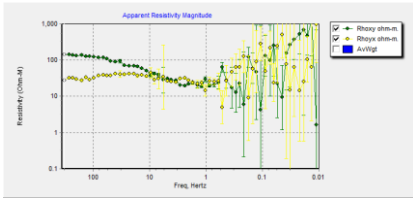
MT44



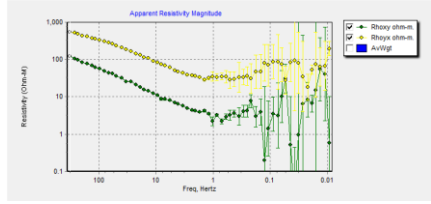
MT50



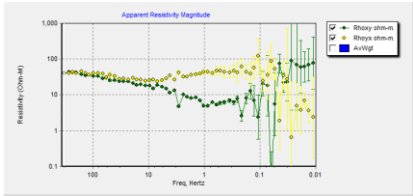
MT55



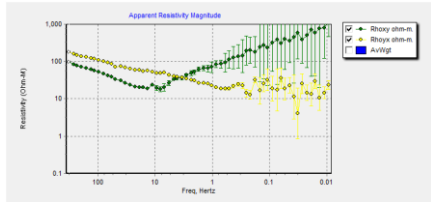
MT56



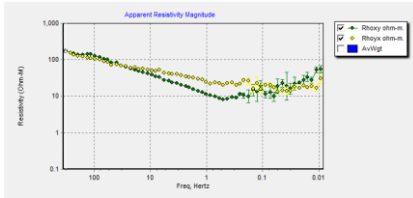
MT57



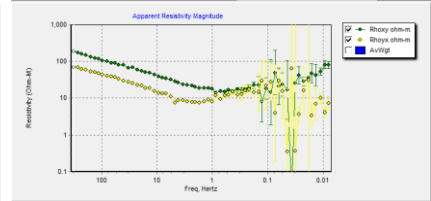
MT62



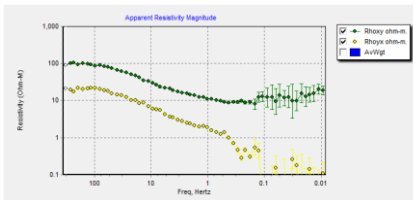
MT63



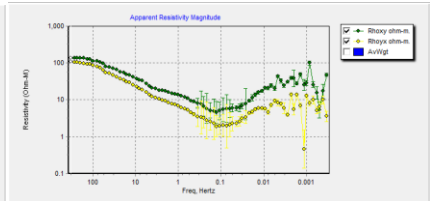
MT64



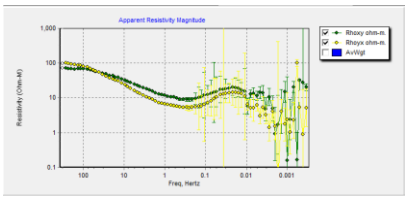
MT65



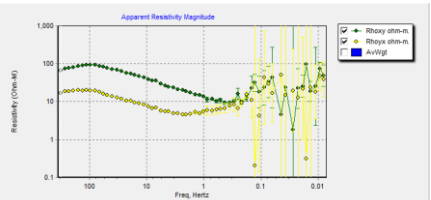
MT67



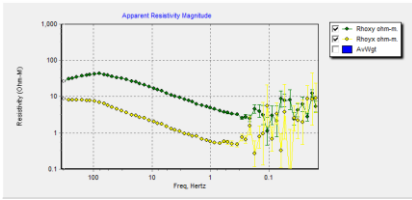
MT70



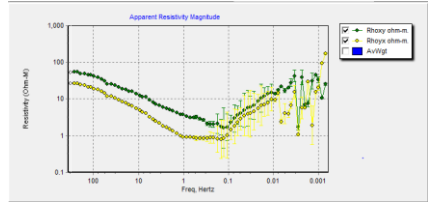
MT73



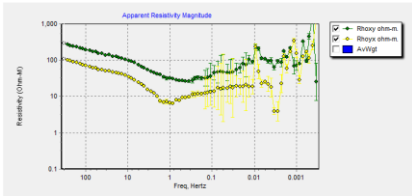
MT76



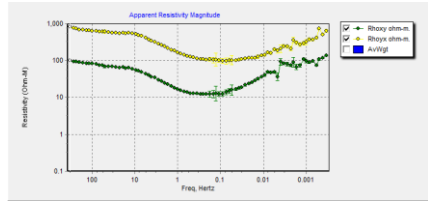
MT77



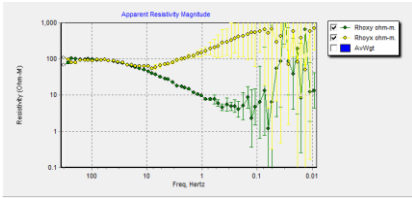
MT78



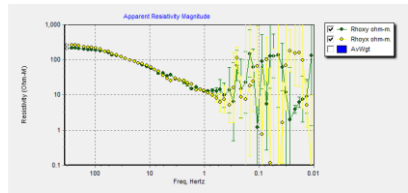
MT81



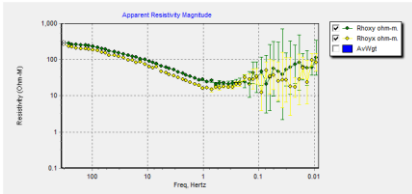
MT83



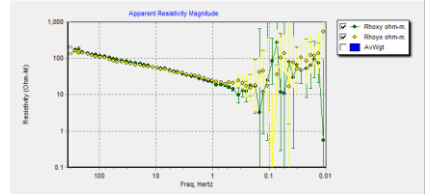
MT88



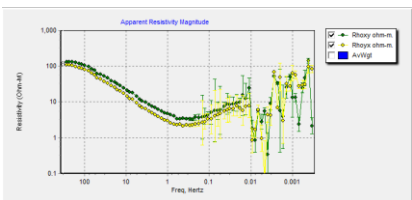
MT89



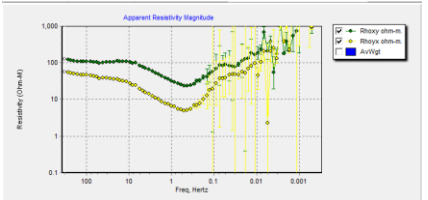
MT90



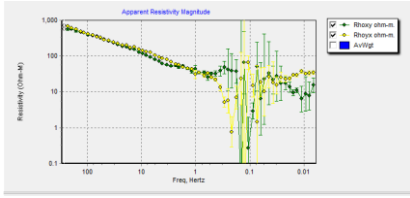
MT92



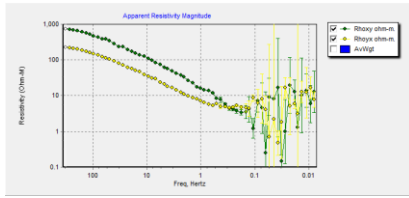
MT93



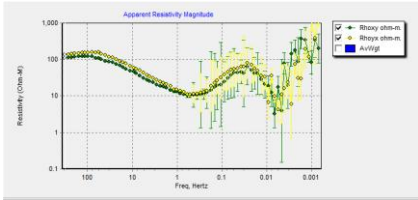
MT96



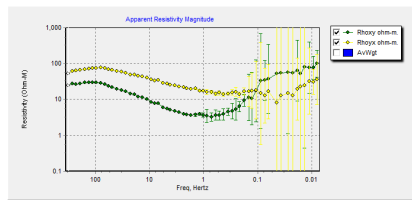
MT98



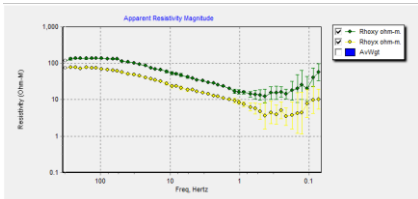
MT102



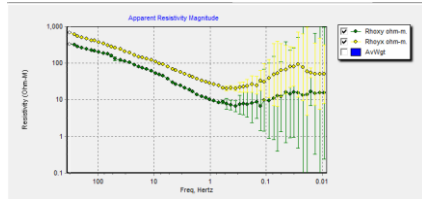
MT103



MT76

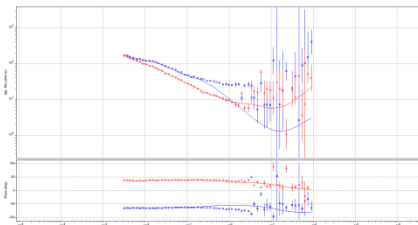


MT91

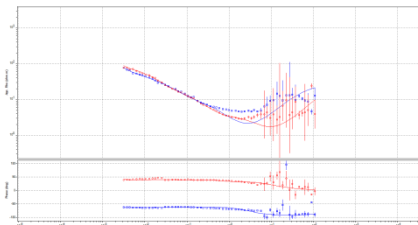


MT99

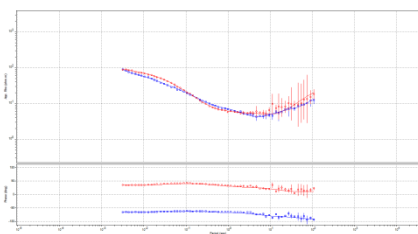
c. Sesudah *smoothing* dan *static shift correction*



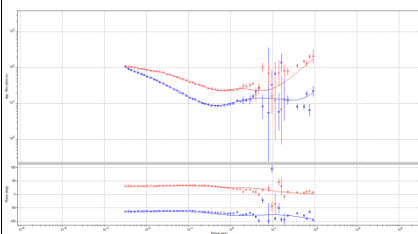
MT15



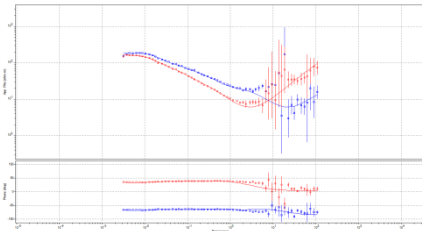
MT16



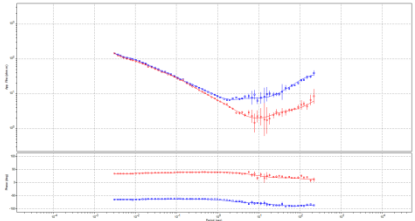
MT20



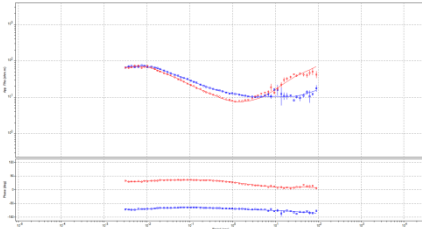
MT02



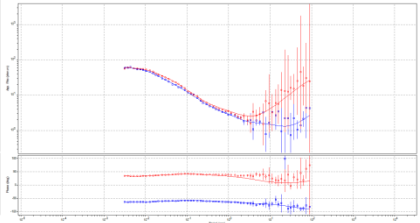
MT44



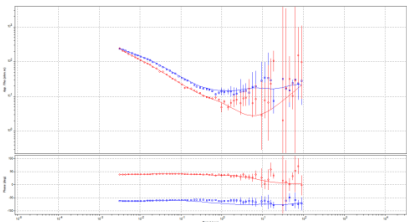
MT50



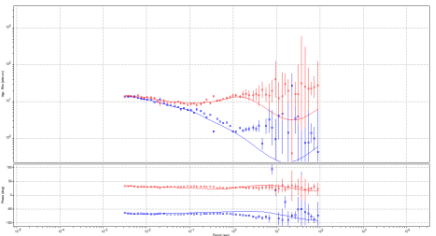
MT05



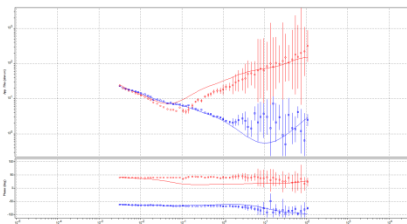
MT55



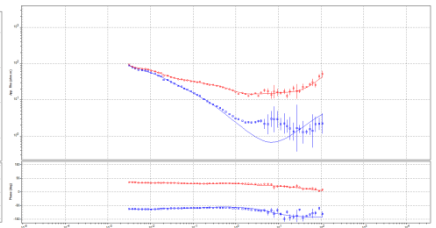
MT57



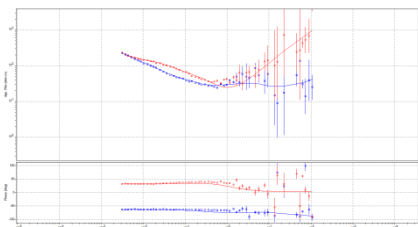
MT62



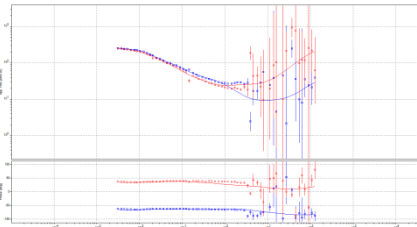
MT63



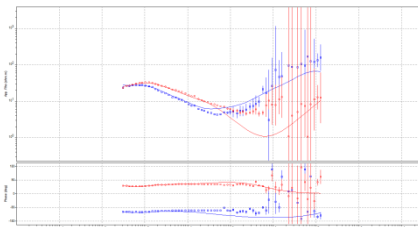
MT64



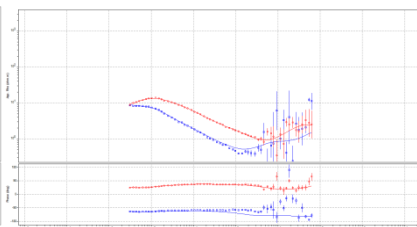
MT07



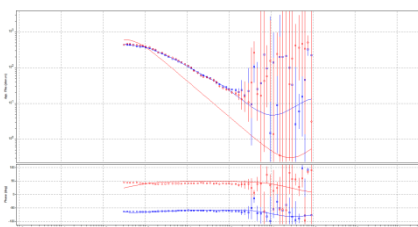
MT75



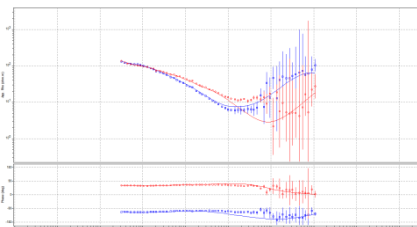
MT76



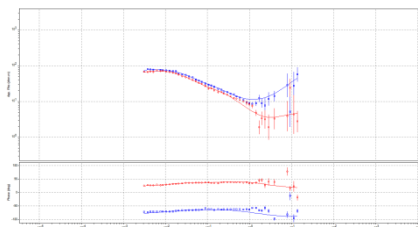
MT77



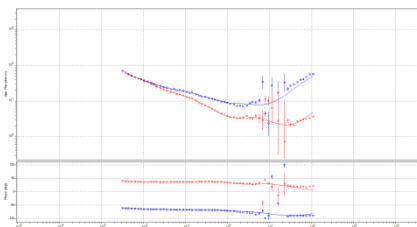
MT89



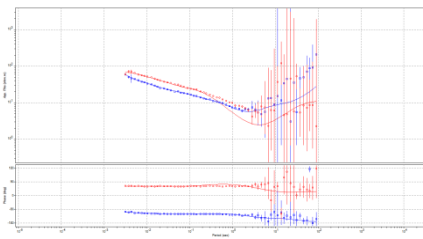
MT90



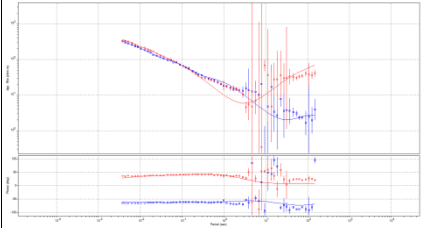
MT91



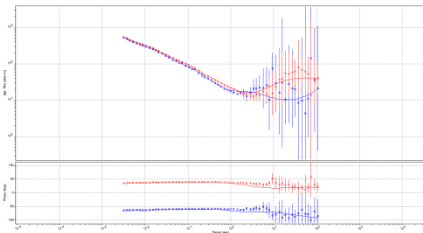
MT09



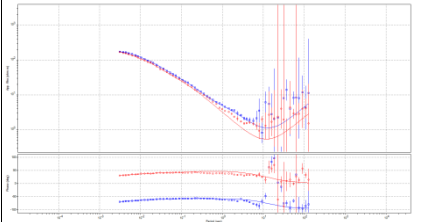
MT92



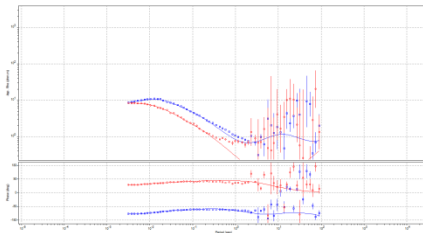
MT98



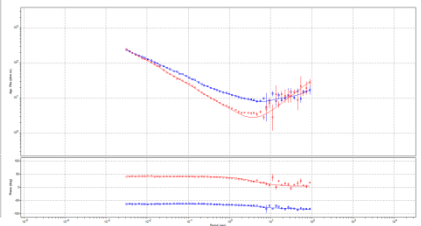
MT99



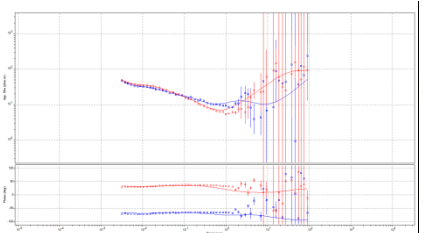
MT102



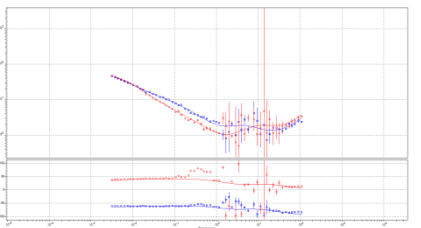
MT103



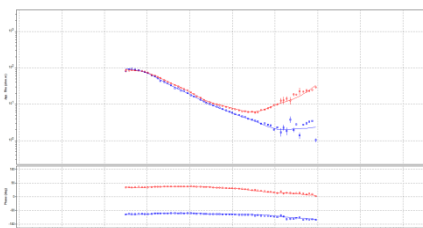
MT17



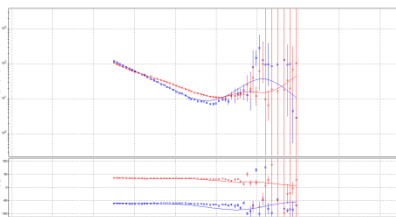
MT18



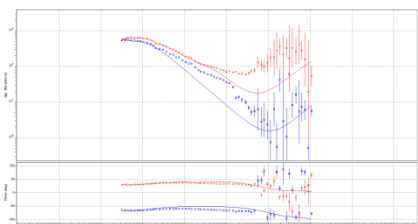
MT21



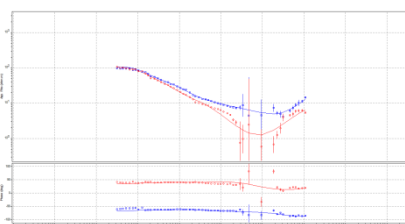
MT22



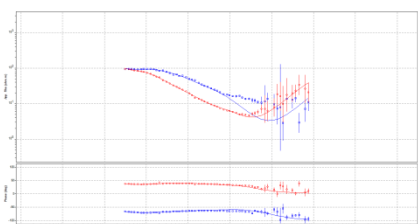
MT65



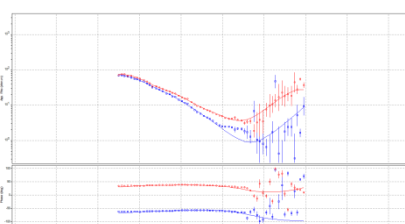
MT67



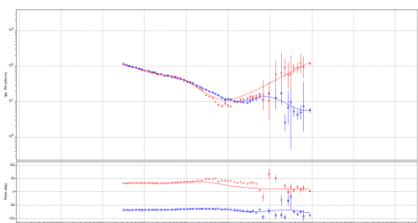
MT70



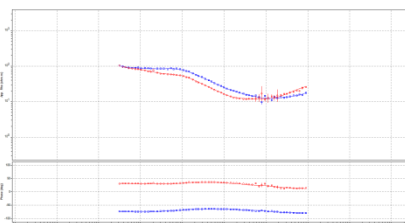
MT73



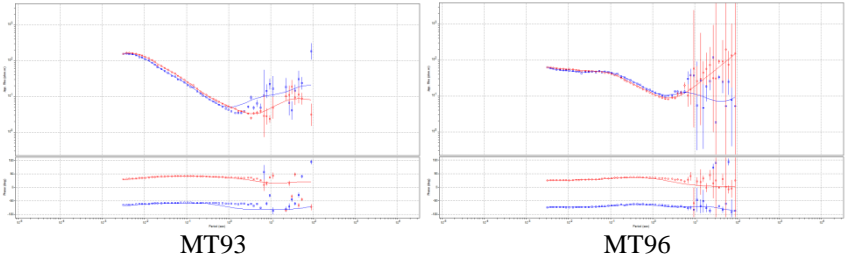
MT78



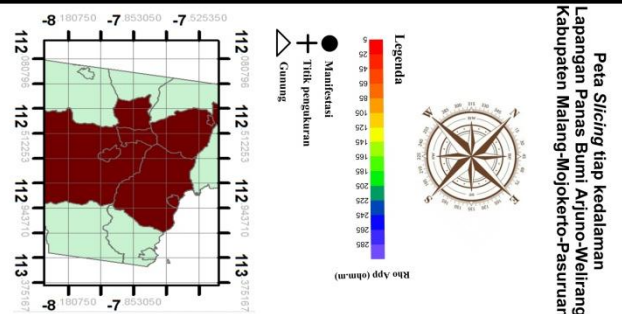
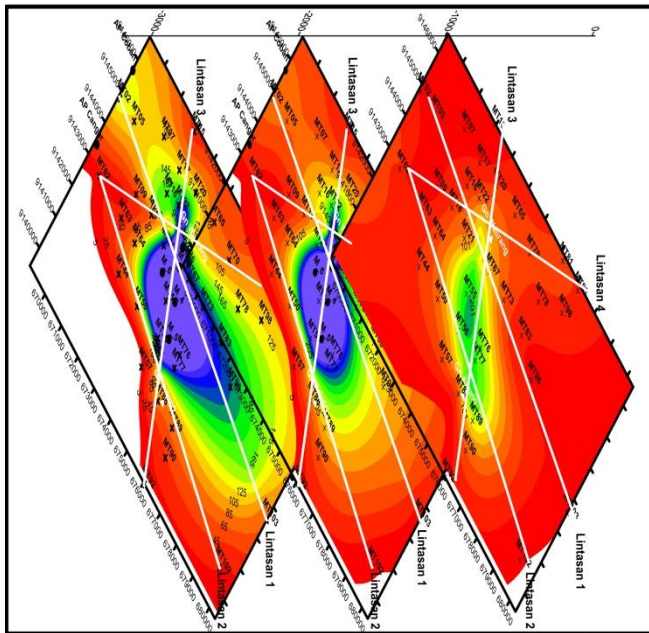
MT81



MT83



3. Peta *slicing* per-kedalaman



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Catur Rizkillah Cancerio lahir di Bangkalan, 10 Juli 1996 dari pasangan Bapak Abd Muis dan Ibu Kusweni. Penulis merupakan anak kelima dari 7 bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di SDN Pangeranan 3 (2003-2009), kemudian melanjutkan sekolah di SMPN 2 Bangkalan (2009-2012), kemudian SMAN 1 Bangkalan (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 kesejahteraan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS) periode 2016-2017, staff Divisi Sosial Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) “KMTG Al-ardh” periode 2016-2017, kepala divisi eksternal Ikatan Mahasiswa Bangkalan di ITS (IMaBITS) periode 2016-2017, ketua departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS) periode 2017-2018, koordinator divisi pendidikan Gerakan Sosial Kepemudaan “BangkalanBisa !” periode 2017-sekarang. Penulis juga aktif mengikuti kompetisi keilmiahan , diantaranya menjadi finalis ITS EXPO Paper Competition tahun 2016, finalis Geography Information System Competition di Universitas Gajah Mada tahun 2017, serta penulis merupakan presenter ilmiah pada acara “The 43rd IPA Convention & Exhibition (2019). Penulis juga pernah melakukan penelitian secara tim tentang Potensi Persebaran Rembesan Minyak Nginden, Semolowaru, Surabaya, pada tahun 2016 serta 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: catur15@mhs.geofisika.its.ac.id