TUGAS AKHIR - SF 184801

INTERPRETASI DATA GEOFISIKA MAGNETOTELURIK (MT) UNTUK DAERAH POTENSI PANAS BUMI DENGAN VARIASI MESH DAN KOREKSI STATIK

ARIF PURNAMA AJI
NRP 01111540000097

Dosen Pembimbing
Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si.

Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

TUGAS AKHIR - SF 184801

INTERPRETASI DATA GEOFISIKA MAGNETOTELURIK (MT) UNTUK DAERAH POTENSI PANAS BUMI DENGAN VARIASI MESH DAN KOREKSI STATIK

ARIF PURNAMA AJI
NRP 01111540000097

Dosen Pembimbing
Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si.

Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

FINAL PROJECT – SF 184801

MAGNETOTELLURIC (MT) GEOPHYSICAL DATA INTERPRETATION FOR GEOTHERMAL POTENTIAL AREAS WITH MESH AND STATIC CORRECTION VARIATIONS

ARIF PURNAMA AJI
NRP 01111540000097

Advisor
Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si.

Physics Department
Faculty of Science and Data Analitics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LEMBAR PENGESAHAN

Interpretasi Data Geofisika Magnetotelurik (Mt) untuk Daerah Potensi Panas Bumi dengan Variasi Mesh dan Koreksi Statik

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains
Pada
Bidang Studi Geofisika
Program Studi 1 Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ARIF PURNAMA AJI
01111540000097

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr.rer.nat Eko Minarto, S.Si, M.Si
NIP. 19750201999031.004

Surabaya, Juni 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

INTERPRETASI DATA GEOFISIKA MAGNETOTELURIK (MT) UNTUK DAERAH POTENSI PANAS BUMI DENGAN VARIASI MESH DAN KOREKSI STATIK

Nama	**: Arif Purnama Aji**
NRP	**: 01111540000097**
Departemen	**: Fisika, FSAD ITS**
Pembimbing	**: Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si.**

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara yang terletak di cicin api pasifik memiliki aktifitas vulkanik yang aktif dan sumber cadangan panas bumi yang melimpah. Letak reservoir panas bumi biasa ditemukan dikisaran 1000 hingga 2000 meter dibawah permukaan laut untuk itu dibutuhkan metode ekplorasi yang tepat untuk memetakan struktur bawah permukaan dari beda resistivitasnya. Salah satu medote yang efektif untuk ekplorasi panas bumi adalah metode elektromagnetik magnetotelurik. Metode magnetotelurik menangkap sinyal dari medan listrik dan medan magnet yang telah menginduksi batuan yang bersumber dari aktifitas badai matahari hingga petir dalam fungsi *time series.* Data kemudian dilakukan pengolahan hingga didapatkan nilai tahanan jenis yang nantinya akan dipakai untuk menggambarkan struktur bawah permukaan mulai dari sumber panas bumi, reservoir, hingga batuan penudung. Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi mesh dan *static correction* dalam proses interpretasi untuk mengetahui perbedaan hasil interpretasi yang didapat, diantara penggunaan mesh yang dipakai adalah 100, 60, dan 50. Penggunaan mesh sendiri didasari oleh mayoritas nilai resistivitas data yang didapatkan dari interpretasi adalah 50 dan 60 dan mesh *default* 100. Sehingga

diketahui bahwa penurunan mesh dapat membuat hasil interpretasi menjadi lebih halus dan penggunaan *static correction* akan menurunkan nilai RMS.

Kata Kunci: Elektromagnetik, Magnetotelurik, Mesh,

Static Correction

MAGNETOTELLURIC (MT) GEOPHYSICAL DATA INTERPRETATION FOR GEOTHERMAL POTENTIAL AREAS WITH MESH AND STATIC CORRECTION VARIATIONS

Name	**: Arif Purnama Aji**
NRP	**: 01111540000097**
Major	**: Physics, FSAD-ITS**
Advisor	**: Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si.**

ABSTRACT

Indonesia is a country located in the Pacific Ring, has many active volcanic activity and abundant geothermal resources. Geothermal energy can be utilized as a renewable alternative resource with minimal emissions. The location of geothermal reservoirs is usually found in the range of 1000 to 2000 meters below sea level so an accurate exploration method is needed to map subsurface structures from resistivity differences. One effective method for geothermal exploration is the magnetotelluric electromagnetic method. The magnetotelluric method captures signals from the electric and magnetic fields which have induced rocks originating from solar storm activity to lightning in the time series function. Afterward, the resistivity type could be obtained by processing the data which used to describe subsurface structures from geothermal sources, reservoirs, to hoods. In this research, several variations of mesh and static correction were carried out in the interpretation process to determine the differences in interpretation results obtained, the mesh that used in this research were 100, 60, and 50. So, it is known that the decrease in mesh can made the interpretation results become smoother and the use of static correction will decrease the RMS value.

Keywords: Electromagnetic, Magnetotelurik, Mesh, Static Correction

KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur kepada Allah SWT karna dengan segala rahmat dan hidayahnya penulis mampu menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul "**Interpretasi Data Geofisika Magnetotelurik (MT) Untuk Daerah Potensi Panas Bumi Dengan Variasi Mesh Dan Koreksi Statik**" tugas akhir ini penulis susun untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam masa penulisannya berbagai pihak telah membantu penulis untuk meyelesaikan tugas akhir untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. rer.nat Eko Minarto, M.Si. , selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan saran dan nasihat untuk terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Tony Rahadinata, S.Si. , selaku pembimbing intansi dari PSDMBP dan ketua tim lapangan yang telah memberikan banyak sekali ilmu, pengalaman, serta pelajaran tentang akuisisi data, pengolahan, interpretasi dan lapangan.
3. Bapak Saifudin P.hD dan bapak gontjang Prajitno, M.Si. , dosen penguji yang senantiasa memberikan kritik demi kesempurnaan penyelesaian laporan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Gatut Yudhoyono M.T, selaku kepala departemen fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Drs. Bachtera Indarto, M.Si. selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan nasehat dan motivasi baik dalam dunia perkuliahan maupun pelajarah hidup.
6. Seluruh Dosen departemen fisika ITS yang telah membangun penulis menjadi pribadi yang lebih kuat dan mampu bersaing di dunia luar.

7. Kedua orang tua penulis Saiful Ma arif dan Nur Hayati serta adik-adik penulis Hana Indah Wahyuni dan Ahsana Nadia Firdaus, yang tak kenal lelah memberikan penulis semangat, motivasi, doa, kasih sayang, kekuatan, dan segala yang penulis butuhkan, sekaligus menjadi ispirasi sepanjang hayat penulis.
8. Fita Irfana, yang senantiasa memberikan semangat, motivasi, dan alasan bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Keluarga besar penulis yang telah memberikan dorongan moral untuk penulis.
10. Pak Tony, Pak Reza, Pak Budi, Pak Nandang, Pak Sahmali, Bu Dewi, Mas Angga, Mas Bagus, Mas Yanmark, William yang telah memberikan banyak sekali ilmu dan pengalaman yang berharga selama di lapangan.
11. Sahabat seperjuangan, Muhammad Firdaus, yang menemani dan berbagi suka maupun duka dengan penulis selama dalam perantauan.
12. Aditya, Yuan, Iqbal, Hafif, Asrori, Heri, Irda, dan Erik yang telah memberikan penulis tempat bernaung dan kebutuhan penulis selama penulis menyelesaikan penelitian di Bandung.
13. Teman diskusi, Dyah Daniar Rochim, Istajarul Alim, Yoviedha Bella Vascilescu, Irda Mulya Rozika, dan William Jhanesta, yang selalu memberikan penulis ide cemerlang dalam penulisan tugas akhir ini.
14. Keluarga lab geofisika, lab fisika dasar, lab instrumentasi, lab akustik, dan bengkel UPMB.
15. Keluarga kontrakan ITS, Yama, Eko, Gilang, Irda, Syani, Diwang, Ibram, Cholil, Alif, Arya, Sulton, Riski, Fahrur, yang selalu memberikan penulis keceriaan ditengah suntuknya penulisan tugas akhir ini.

16. Keluarga fisika ITS 2015, positron yang telah menjadi keluarga kedua penulis, tempat penulis berbagi kebahagiaan dan keluh kesah selama menyelesaikan studi di Surabaya.
17. Semua pihak lain yang terlibat dalam perjalanan menyelesaikan penulisan tugas akhir yang tak mampu penulis sebutkan satu persatu.

Berkat bantuan dari pihak tersebut penulis mampu menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan implifikasi bagi halayak akademisi. Namun penulis menyadari, bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini sehingga kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan.

Mei 2020

Penulis

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ii
TITLE PAGE ivv
LEMBAR PENGESAHAN..... vii
ABSTRAK viiii
ABSTRACT x
KATA PENGANTAR..... xii
DAFTAR ISI xvi
DAFTAR GAMBAR.....xxi
DAFTAR TABEL xxiii
BAB I 1
PENDAHULUAN.....1
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian.....2
1.4 Manfaat Penelitian.....3
1.5 Batasan Masalah.....3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan.....3
BAB II 7
TINJAUAN PUSTAKA.....7
2.1 Metode Magnetotelurik 7
2.2 Hukum Maxwell.....8
2.3 Skin Depth.....9

2.4 Tensor Impedansi 10
2.5 Sumber Sinyal Magnetotelurik 11
2.6 Resistivitas bawah Permukaan Bumi 14
2.7 Pemodelan dan Inversi 15
2.8 Panas Bumi 18
2.8.1 Sistem Panas Bumi 18
2.8.2 Klasifikasi Panas Bumi 20
BAB III 23
METODOLOGI 23
3.1 Waktu Dan Tempat Pelaksanaan 23
3.2 Lokasi Penelitian 23
3.3 Alur Tahapan Penelitian 24
3.3.1 Studi Literatur 24
3.3.2 Akuisisi Data Magnetotelurik 24
3.3.3 Pengolahan Data 25
3.3.4 Interpretasi Hasil 27
3.4 Diagram Alir Penelitian 28
3.3 Diagram Alir Pengolahan Data Magnetotelurik 29
BAB IV 31
HASIL DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Akuisisi dan Analisis Data Magnetotelurik 31
4.1.1 Akuisisi Data Magnetotelurik 31
4.1.2 Seleksi *Cross Power* 33
4.1.3 *Masking* dan *Smoothing* 35

4.1.4 Koreksi Pergeseran Statik.....35
4.1.5 Pemodelan Inversi 1 Dimensi.....36
4.1.6 Pemodelan Inversi 2 Dimensi.....36
4.2 Interpretasi danPembahasan.....38
BAB V.....42
KESIMPULAN DAN SARAN.....42
5.1 Kesimpulan.....42
5.2 Saran.....42
DAFTAR PUSTAKA.....44
LAMPIRAN.....46
BIODATA PENULIS.....71

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Visualisasi Petir……12

Gambar 2.2 Solar Wind……13

Gambar 2.3 Nilai Resistivitas Batuan……....…….15

Gambar 2.4 Perbedaan Pemodelan Kedepan dan Pemodelan Inversi……..16

Gambar 2.5 Sistem Panas Bumi……...19

Gambar 3.1 Peta Lokasi Akuisisi Data ……....24

Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian……....28

Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data Magnetotelurik……29

Gambar 4.2 Bentuk Sinyal Data *Time Series* MT…….32

Gambar 4.1 Layout Pengukuran Metode Magnetotelurik…….33

Gambar 4.3 Kurva Hasil Masking dan Smoothing……..…….35

Gambar 4.4 Kurva Boystik Inversi 1 Dimensi……..36

Gambar 4.5 Hasil Interpretasi Data Magnetotelurik 2 Dimensi…37

Gambar 4.6 Hasil Interpretasi dan pendugaan sebaran potensi panas bumi ……..…….....39

Gambar 4.7 Hasil Interpretasi Menggunakan Mesh 100……..….40

Gambar 4.8 Hasil Interpretasi Menggunakan mesh 50……..…...40

Gambar 4.9 Sebaran Data Resistivitas Hasil Interpretasi…….....41

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Sistem Panas Bumi Berdasarkan Temperatur……..……21

Tabel 4.1 nilai RMS pada penelitian……38

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara kepulauan terbesar yang dilewati oleh cincin api pasifik membuat Indonesia memiliki aktivitas vulkanik yang tinggi hal ini ditandai dengan banyaknya gunung berapi yang ada di Indonesia. Tingginya aktivitas vulkanik ini sendiri memberikan dampak baik dan buruknya pada masyarakat sekitar. Positifnya lahan pertanian disekitar gunung berapi relatif subur dan kaya akan mineral, juga banyaknya sumber daya alam yang ramah lingkungan berupa panas bumi yang berada dibawah permukaan, dilain sisi dampak negatif yang dapat dirasakan erat kaitannya dengan kebencanaan mulai dari terkena dampak awan vulkanik sampai dengan dampak dari aliran lahar dinginnya.

Berdasarkan data dari International Geothermal Association, Indonesia memiliki cadangan sumber panas bumi terbesar didunia. Sekitar 40% sumber cadangan panas bumi dunia berada dibawah wilayah kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Hasil eksploitasi sumber panas bumi di Indonesia saat ini telah mencapai 1.197 MW. (Hermawan, 2011) Hal tersebut menjadikan Indonesia berada di deretan 5 besar sebagai negara paling banyak menghasilkan listrik dari sumber panas bumi. Diantaranya urutan 5 besar negara tersebut dimulai dari Amerika Serikat sebagai negara terbesar penghasil listrik tenaga panas bumi, disusul oleh Filipina, Indonesia, Meksiko, dan yang kelima ditempati oleh Italia.

Dari data sebelumnya, Indonesia memang menjadi negara terbesar dalam hal pemilik cadangan sumber panas bumi didunia. Namun dari segi eksploitasi, Indonesia masih harus

mengalah dari negara-negara lain seperti Amerika Serikat dan Filipina karena eksploitasi panas bumi Indonesia masih berkisar 4-5% dari kapasitas panas bumi yang dimiliki.

Sumber daya panas bumi merupakan sumber daya geologi yang potensial untuk dijadikan sebagai salah satu sumber energi alternatif bagi kebutuhan energi nasional. Dalam kerangka Undang Undang No. 30 Tahun 2007 tetang energi, panas bumi dimasukan kedalam energi terbarukan, dimana pada pasal 20 disebutkan bahwa pemerintah wajib meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Dalam kebijakan energi nasional , seperti tertuang dalam Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional , pemerintah telah menetapkan bahwa di tahun 2025 penggunaan energi panas bumi sebagai energi terbrukan mencapai 5% dari kebutuhan energi nasional, atau diproyeksikan minimal sekitar 9500 MVe. (Wahjosoedibjo dan Hasan, 2018)

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang ditemukan penulis setelah dilakukan analisa kinerja berdasarkan lalar belakang yang dibahas, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi mesh dan efek static dalam interpretasi data geofisika menggunakan metode magnetotelurik?
2. Bagaimana cara mengetahui daerah potensi panas bumi menggunakan hasil interpretasi data menggunakan metode magnetotelurik?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi mesh dan efek static dalam interpretasi data geofisika menggunakan metode magnetotelurik.
2. Mengidentifikasi daerah potensi sumber panas bumi menggunakan hasil interpretasi 2D metode magnetotelurik.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui persebaran daerah yang memiliki sumber panas bumi.
2. Memberikan informasi mengenai daerah sumber panas bumi yang mampu dioptimalkan.
3. Mengetahui pengaruh variasi mesh dan efek tatik dalam interpretasi data geofisika magnetotelurik.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder dari Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, yang terletak di daerah Sumatra Utara.
2. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode magnetotelurik.
3. Penelitian ini diolah menggunakan *software SSMT200 Phoenix Geophysics, MTeditor, WinGlink, MS Exell, CorelDRAW 2017*.
4. Daerah akuisisi data dilakukan pengolahan data magnetotelurik merupakan area prospek panas bumi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan penulis dalam penulisan laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan dalam laporan Tugas Akhir ini yaitu berisi tentang Latar Belakang penelitian, Rumusan Masalah pada penelitian, Tujuan dari penelitian, Manfaat dari penelitian, Batasan Masalah penelitian dan Sistematika Penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi tentang konsep dasar dan teori penunjang penelitian mengenai Konsep Dasar elektromagnetik, Konsep magnetotelurik,

BAB III : Metodologi

Bab metodologi berisi tentang Waktu dan Tempat Pelaksanaan, Kondisi Umum Daerah Penelitian, Peralatan dan Bahan, Cara Akuisisi dan Pengolahan Data, dan Diagram Alir Penelitian.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab analisa dan pembahasan merupakan inti dari penulisan laporan Tugas Akhir yang berisi pengolahan data serta analisa tentang hasil dari penelitian dengan metode yang telah digunakan.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Bab kesimpulan dan saran yaitu berisi kesimpulan umum dari analisa yang berdasarkan pada tujuan penelitian dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka merupakan sumber referensi pengambilan bahan atau literatur pada penuliasan laporan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Lampiran merupakan sebagian data data penelitian yang dilakukan serta dapat mencantumkan gambar dokumentasi selama pelaksanaan kegiatan penyusunan laporan Tugas Akhir.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Magnetotelurik

Metode magnetotelurik (MT) merupakan suatu metode geofisika pasif yang menggunakan sumber sinyal berupa gelombang elektromagnetik (EM). Dikatakan metode geofisika pasif karena metode ini memanfaatkan gelombang elektromagnetik alami yang ada di ionosfer bumi yang kemudian berinteraksi dengan medium konduktor atau dalam hal ini disebut bumi. Interaksi yang dihasilkan akan memberikan respon nilai resistivitas yang bervariasi. Respon dari bervariasinya nilai resistivitas tersebut nantinya dapat menggambarkan bagaimana kondisi batuan dibawah permukaan bumi yang diteliti. Medan EM yang digunakan dalam metoda ini mempunyai rentang frekuensi yang panjang (0.0001-1000 Hz) sehingga mampu untuk investigasi dari kedalaman beberapa puluh hingga ribuan meter dibawah permukaan bumi. (Kadir, 2011).

Metode MT dapat menggambarkan kondisi struktur batuan dibawah permukaan bumi hingga pada kedalaman hingga ratusan kilometer mencapai perbatasan kerak dengan mantel bumi. Hal ini disebabkan karena metode MT menggunakan sumber sinyal dengan nilai frekuensi yang kecil sehingga kemampuan gelombang dalam melakukan penetrasi menjadi lebih tinggi untuk mencapai kedalaman tertentu (Kadir, 2011).

Dalam melakukan eksplorasi panas bumi, metode MT merupakan salah satu metode geofisika yang cukup efektif apabila dikaitkan dengan hasil akhir eksplorasi panas bumi itu sendiri. Hal ini disebabkan karena metode MT dapat membantu dalam menjelaskan serta menentukan bagaimana model konseptual dari sistem panas bumi berdasarkan pola persebaran resistivitasnya.

Selain itu, dengan mengetahui model konseptual juga dapat memperkirakan potensi dari sistem panas bumi dengan melihat geometri dari luas reservoir. Metode ini juga dapat membantu memperkirakan lokasi titik pengeboran pada daerah prospek yang biasanya berupa patahan dengan melihat kontras nilai resistivitas dari sistem panas bumi tersebut sehingga kemungkinan keberhasilan pengeboran lebih meningkat (Kadir, 2011).

2.2 Persamaan Maxwell

Metode magnetotelurik sendiri dikembangkan dan harus memenuhi persamaan Maxwell. Dimana ada empat hukum yang harus memenuhi diantaranya: Hukum Faraday, Hukum Ampere, Hukum Gauss Listrik, dan Hukum Gauss Magnet. Keempat persamaan Maxwell tersebut dapat dituliskan sebagai berikut (*Telford et al,1990*)

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2,1)$$

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

$$\nabla \cdot D = q \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.4)$$

Dimana:
- E : Medan Listrik (Volt/Meter)
- B : Fluks Induksi Magnetik (Tesla)
- H : Medan Magnet (Ampere/Meter)
- j : Rapat Arus Listrik (Ampere/Meter^2)
- D :Perpindahan Listrik (Coulomb/Meter^2)
- q :Rapat Muatan Listrik (Coulomb/Meter^2)

Persamaan (2.1) merupakan Hukum Faraday yang menyatakan bahwa adanya fluks induksi magnetik yang bervariasi terhadap waktu dapat menimbulkan medan listrik dengan arah yang berlawanan.

Persamaan (2.2) adalah Hukum Ampere yang menyatakan bahwa medan magnet yang melingkupi suatu ruang dihasilkan oleh arus total yang melingkupi ruang tersebut, dimana arus total merupakan jumlah dari arus konduki dan perpindahan arus listrik yang bervariasi terhadap waktu.

Persamaan (2.3) yakni Hukum Gauss Listrik yang menyatakan bahwa rapat muatan listrik sebanding dengan medan listrik yang mengalir pada suatu ruangan.

Persamaan (2.4) yaitu hukum gauss magnet yang menyatakan bahwa medan magnet bersifat dipole dan tidak mempunyai monopole-monopole sehingga tidak memiliki muatan yang meliputinya.

Persamaan maxwell yang ada diatas kemudian dapat digantikan dengan persamaan konstitutif linier berikut, (*zhdanov, 2009*)

$$D = \varepsilon E \quad (2.5)$$

$$B = \mu H \quad (2.6)$$

$$J = \sigma E \quad (2.7)$$

Dimana,

ε : Permitivitas Listrik (Farad/Meter)

μ : Permeabilitas Magnetic (Hendry/Meter)

σ : Konduktivitas Listrik (Siemens/Meter)

Sehingga persamaan (2.1) dan (2.2) dapat dituliskan kembali berdasarkan persamaan konstitutif linier menjadi seperti berikut,

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

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

2.3 Skin Depth

Dalam magnetotelurik dikenal istilah skin depth untuk perambatan medan electromagnet di bumi yang konduktif merupakan jarak dimana amplitude gelombang telah berkurang

menjadi 1/e dari amplitudonya dipermukaan bumi (Zhdanov, 2009). *Skin depth* dapat ditulis dalam fungsi dari informasi medium dan besaran gelombang yang dinyatakan dalam persamaan (2.10) (Berdichecsky dan Dimitrev, 2002)

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \tag{2.10}$$

Dengan $\omega = 2\pi f$ dan $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (Hendry/Meter). Sehingga persamaan (2.10) dapat dituliskan menjadi persamaan (2.11).

$$\delta = 503.3\sqrt{\frac{\rho}{f}} \tag{2.11}$$

2.4 Tensor Impedansi

Data magnetotellurik lapangan yang berupa data medan magnet dan medan listrik akan diubah menjadi domain frekuensi untuk mendapatkan besaran impedansi. Masing-masing dari medan magnet dan medan listrik yang diukur merupakan besaran vektor dua arah sehingga nilai dari impedansi merupakan suatu tensor. Impedansi menyatakan hubungan vektor medan magnet dan vektor medan listrik yang saling tegak lurus yang dapat dituliskan pada persamaan (2. 12) (Berdichevsy Dan Dimitrev, 2008)

$$EE_\tau = [Z]H_\tau \tag{2.12}$$

Dimana,

$$E_\tau = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix}, \qquad H_\tau = \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix}$$

Sehingga persamaan (2.12) dapat ditulis menjadi persamaan (2.13).

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

Atau dapat dijabarkan menjadi persamaan (2.14)

$$E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y$$
$$E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \quad (2,14)$$

Dalam nilai tensor impedansi, komponen Z_{xx} & Z_{yy} disebut elemen diagonal. Sedangkan komponen Z_{xy} & Z_{yx} disebut elemen anti diagonal(Simspson dan bahr, 2005).

Pada persamaan (2.14) merupakan bilangan kompleks dengan elemen real dan imajiner. Oleh karenanya, nilai Z selain memiliki nilai besaran juga memiliki nilai fase. Selain itu, nilai besaran tensor impedansi juga dapat dinyatakan dalam nilai tahanan jenis ekuivalen berdasarkan persamaan rekursif. Adapun persamaan tahanan jenis ekuivalen dapat ditulis pada persamaan (2. 15) dan persamaan fase dapat ditulis pada persamaan (2.16)

$$\rho_{a.ij} = \frac{1}{\omega\mu_0}\left|Z_{ij}\right|^2 \quad (2.15)$$
$$\emptyset_{ij} = \tan^{-1}\left(\frac{im\{Z_{ij}\}}{re\{Z_{ij}\}}\right) \quad (2.16)$$

2.5 Sumber Sinyal Magnetotelurik

Dalam metode MT, medan magnetik yang terukur di permukaan bumi merupakan sumber sinyal alami yang berasal dari dalam maupun luar bumi dalam rentang frekuensi yang bervariasi. Untuk komponen medan magnetik yang berasal dari dalam bumi disebabkan oleh mantel bumi terhadap inti bumi yang disebabkan oleh arus konveksi serta medan-medan magnet yang berada di kerak bumi, sedangkan untuk komponen sumber medan magnet yang berasal dari luar bumi berasal dari medan magnet yang dihasilkan di atmosfer dan magnetosfer (Unsworth, 2008).

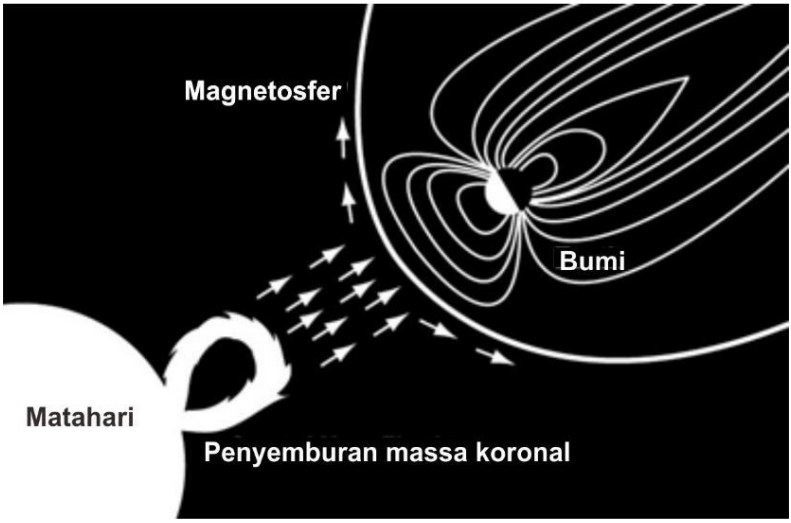
Kedua sumber medan magnetik tersebut mempunyai nilai bervariasi terhadap waktu yang memungkinkan dapat menghasilkan sumber sinya EM yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber sinyal dalam eksplorasi MT. Namun, variasi yang dihasilkan dari sumber sinyal yang berasal dari dalam bumi sangatlah kecil dan dalam frekuensi yang sangat rendah sehingga sumber sinyal yang digunakan hanyalah sumber sinyal yang berasal dari komponen luar bumi karena mempunyai rentang frekuensi di atas dan di bawah 1 Hz (Unsworth, 2008).

Gambar 2.1 visualisasi petir (pexels, 2018)

Klasifikasi sumber sinyal MT dapat dibedakan berdasarkan rentang frekuensinya. Untuk sinya MT berfrekuensi tinggi memiliki frekuensi yang lebih besar daripada 1 Hz. Dimana sinyal MT tersebut berasal dari aktivitas petir yang terjadi di ionosfer pada seluruh bagian bumi yang kemudian akan menjalar hingga permukaan bumi seperti pada visualisasi Gambar 2.1. Pada saat petir ini mencapai permukaan bumi, dengan seketika itu pula medan magnet bumi mengalami perubahan. Apabila petir ini mencapai permukaan bumi berulang kali maka medan magnet di bumi akan terus-menerus mengalami perubahan. Sehingga akan

menghasilkan fluks magnet yang selanjutnya fluks magnet ini akan menginduksi arus listrik di bawah permukaan bumi serta menghasilkan medan magnet sekunder yang kemudian terekam pada alat MT. Untuk frekuensi yang lebih tinggi hingga mencapai 2 KHz sinyal tidak dapat merambat dengan baik karena amplitode yang dihasilkan sinyal tersebut sangatlah kecil, tetapi untuk frekuensi yang lebih besar lagi, yaitu 5 KHz sinyal EM akan dapat menjalar dengan baik kembali (Unsworth, 2008).

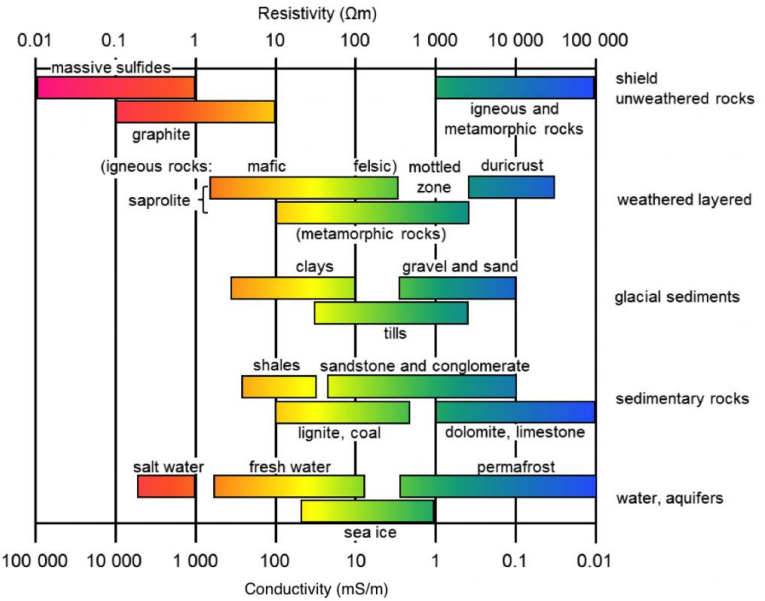
Kemudian untuk rentang frekuensi rendah merupakan frekuensi yang berada di bawah 1 Hz. Dimana sumber sinyal MT ini dihasilkan di bagian magnetosfer melalui fenomena alam yang disebut dengan solar wind. solar wind merupakan suatu fenomena pergerakan ion H dan He yang kemudian berinteraksi dengan medan magnet bumi. Interaksi dengan medan magnet bumi menyebabkan solar wind ini terdefleksi sehingga terbentuklah magnetosfer. Adapun visualisasi terjadinya solar wind dapat disajikan pada Gambar 2.2 (Unsworth, 2008).



Gambar 2.2 solar wind (NASA, 2018)

2.6 Resistivitas Bawah Permukaan Bumi

Keluaran dari data magnetotelurik merupakan nilai resistivitas. Dimana pada resistivitas bawah permukaan bumi memiliki nilai yang berbeda-beda bergantung pada jenis material bahan penyusun lapisan bawah permukaan. Sebelum dilakukan permodelan, nilai resistivitas yang didapatkan pada magnetotelurik merupakan data resistivitas semu atau apparent resistivity. Resistivitas semu adalah resistivitas medium homogen ekivalen. Artinya jika medium tak-homogen diganti dengan medium homogen dengan resitivitas sebesar ρa maka diperoleh $Z1$ sebagai impedansi yang nilainya berekivalen (Grandis, 2009).Harga resistivitas semu yang telah mengalami proses matematis dapat dijadikan sebagai resistivitas sebenarnya berdasarkan kedalaman. Data resistivitas sebenarnya tersebut kemudian dapat dicocokan dengan literatur pada Gambar 2.3 secara geologi sehingga dapat diketahui struktur lapisan bawah permukaan bumi (Grandis, 2009).



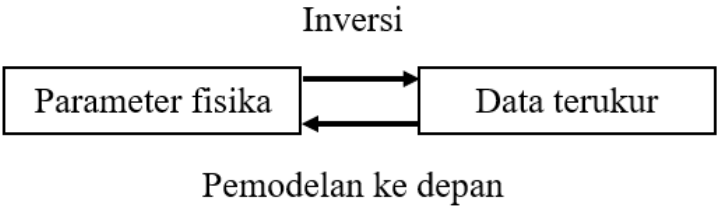
Gambar 2.3 Nilai Resistivitas Batuan (Grandis, 2009)

2.7 Pemodelan dan Inversi

Ilmu geofisika merupakan kegiatan pengukuran atau eksplorasi lapangan berdasarkan aturan dari metode geofisika yang dipakai. Dari hasil pengukuran di lapangan didapatkan data yang dapat dioleh sehingga menghasilkan pengukuran yang bergantung pada kondisi dan sifat fisik batuan bawah permukaan. Dari data hasil pengukuran itu biasa disebut sebagai data observasi.

Seringkali terjadi beberapa hambatan yang akan muncul dalam eksplorasi geofisika, seperti kehadiran *noise* pada data yang terukur. Selain itu kendala ketidak lengkapan atau kekurangan data. Namun, dengan analisis data yang benar, dimungkinkan akan diperoleh informasi yang relatif valid berdasarkan keterbatasan data yang dimiliki. Dalam melakukan analisis, sejumlah informasi

mengenai pengambilan data juga diperlukan seperti nilai *sampling rate* yang optimal, akurasi data, model matematika yang berperan untuk menghubungkan antara data lapangan dan distribusi parameter fisis yang hendak dicari. Setelah proses analisis dilakukan, dapat dibawah pemodelan bawah permukaan yang akan menjadi modal dasar dalam proses interpretasi data. (Supriyanto, 2007).



Gambar 2.4 Perbedaan Pemodelan ke depan dengan Pemodelan Inversi (Sungkono, 2011)

Dalam geofisika, model dan parameter model digunakan untuk mengkarakterisasi suatu kondisi geologi bawah permukaan. Pemodelan sendiri berarti proses estimasi model dan parameter model berdasarkan data yang didapat pada permukaan bumi. Model sendiri tidak hanya menyatakan representasi kondisi geologi oleh besaran fisis tetapi mencakup pula hubungan matematik atau teoritik antara parameter model dengan respons model (Grandis, 2009) Gambar 2.7 menjelaskan bahwa jika sudah memiliki data hasil pengamatan yang telah ditransformasikan ke dalam bentuk parameter model, atau biasa disebut dengan (*inverse modeling*). Sedangkan untuk pemodelan ke depan (*forward modeling*) adalah jika kita memiliki parameter model yang selanjutnya ditransformasikan ke dalam bentuk data pengamatan (Sungkono, 2011).

Pemodelan ke depan (*forward modeling*) menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika telah diketahui harga parameter model bawah permukaan. Perhitungan data teoritis menggunakan persamaan matematik yang diturunkan dari konsep fisika yang mendasari fenomena yang diamati. Dalam pemodelan data metode geofisika, dicari suatu model yang menghasilkan respons yang cocok dengan data lapangan yang ada. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di daerah penelitian. Untuk mendapatkan kesesuaian antara data teoritis (respons model) dengan data lapangan dapat dilakukan dengan mengubah harga parameter model. Proses pemodelan ke depan tidak hanya mencakup perhitungan respons model tetapi juga proses yang dilakukan untuk mendapatkan model yang sesuai dengan data (Grandis, 2009).

Inversi didefinisikan sebagai proses menentukan perkiraan parameter model berdasarkan data dan model. Inversi adalah pemetaan dari data menjadi pemodelan, dan kemudian direkonstruksi sebagai distribusi sifat fisika bawah permukaan. Inversi sendiri biasa dikenal dengan pemodelan inversi, simulasi inversi, dan masalah inversi (Manual EarthImager 2D, 2002).

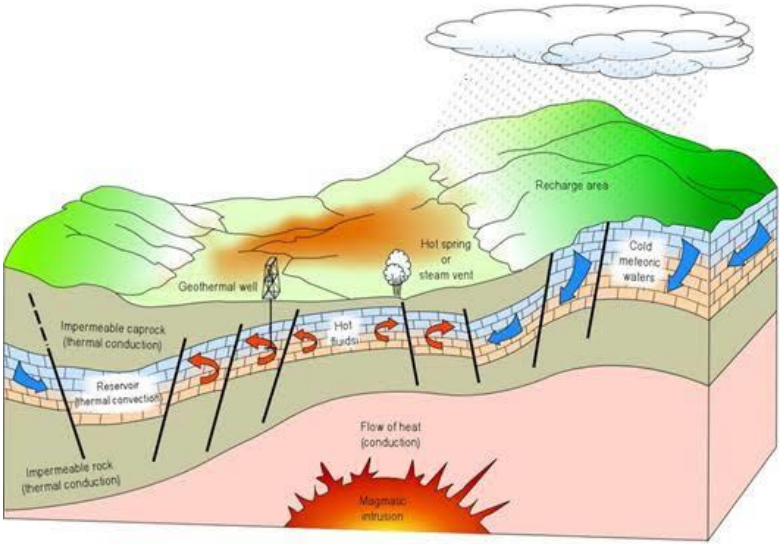
Pemodelan inversi (*inverse modeling*) sering dikatakan sebagai "kebalikan" dari pemodelan ke depan. Teori inversi didefinisikan sebagai suatu kesatuan metode matematika dan statistika untuk mendapatkan informasi yang berguna suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Sistem fisika yang dimaksud adalah fenomena yang kita amati, hasil pengamatan terhadap sistem adalah data sedangkan informasi yang ingin diperoleh dari data adalah model atau parameter model (Menke, 1984 dalam Grandis, 2009).

Pemodelan inversi menggunakan mekanisme modifikasi model agar didapatkan kecocokan antara data perhitungan dan data pengamatan yang lebih baik dilakukan secara otomatis. Pemodelan inversi sering kali disebut sebagai *data fitting*, karena dalam prosesnya dicari parameter model yang menghasilkan respons yang sesuai dengan data pengamatan yang ada. Kesesuaian antara respons model dengan data pengamatan dinyatakan oleh suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian minimum fungsi objektif berasosiasi dengan proses pencarian model optimum. Karakteristik minimum suatu fungsi digunakan untuk pencarian parameter model. Model dimodifikasi sedemikian mungkin hingga respons model menjadi sesuai dengan data (Grandis, 2009).

2.8 Panas Bumi

2.8.1 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi dapat digambarkan sebagai konveksi fluida pada kerak bumi teratas dimana dalam ruang terperangkap, transfer panas dari sumber panas (heat source) ke penyimpan panas dalam keadaan permukaan yang bebas (free surface). Sistem panas bumi sendiri umumnya dibangun atas lima elemen utama yaitu heat source, reservoir, lapisan penudung, struktur geologi yang biasanya merupakan patahan dan yang terakhir adalah fluida yang merupakan pembawa panas seperti pada Gambar 2.5 Dimana struktur geologi patahan akan sangat membantu dalam jalannya air dari permukaan agar terperangkap dan dipanaskan hingga bertemperatur tinggi (Dickson, 2004).



Gambar 2.5 Sistem Panas Bumi (Dickson,2004)

Heat source merupakan sumber panas dari sistem panas bumi. *Heat source* bisa merupakan intrusi magmatik yang memiliki suhu yang sangat tinggi (>600 °C) dimana kedalamannya yang relatif dangkal (3-5 km). Reservoir merupakan volume dari hot *permeable rocks*, tempat menyimpan panas dan tempat sirkulasi fluida yang mengekstrak panas. Diatas reservoir terdapat lapisan penudung atau biasa disebut *cap rocks* yang merupakan lapisan clay. Lapisan clay merupakan lapisan impermeabel yang berfungsi untuk menjaga panas agar tetap terakumulasi didalam zona reservoir. Fluida panas bumi merupakan air, sebagian besar merupakan air meteoric. Sedangkan struktur geologi yang dimaksud merupakan rekahan atau patahan yang akan menjadi jalur dilaluinya fluida atau air dari permukaan menuju reservoir atau jalur yang akan dilalui uap panas atau fluida panas dari reservoir menuju permukaan dalam bentuk manifestasi permukaan. Terakhir adalah fluida yang dalam hal ini merupakan air sebagai media penyimpan panas (Kadir, 2011).

Fuida berasal dari air meteoric yang masuk ke batuan bawah permukaan melalui rekahan atau lapisan batuan yang permeabel. Sampai dibawah permukaan, air meteoric akan menjadi panas jika terjadi kontak dengan heat source. Karena air panas memiliki densitas yang rendah maka ia cenderung bergerak keatas melalui rekahan atau lapisan batuan permeabel dan akan muncul dipermukaan sebagai geyser atau manifestasi permukaan lainnya. Perubahan fasa bisa terjadi dalam perjalanannya, yaitu pada saat temperatur air telah mencapai temperatur saturasinya atau temperatur titik didihnya. Jika hal ini terjadi maka fluida akan berupa campuran uap air. Bila pada kedalaman tertentu temperatur air lebih besar dari temperatur saturasinya maka didalam sistem hanya terdapat satu fasa saja, yaitu fasa uap. Sehingga manifestasi panas bumi dipermukaan merupakan ekspresi permukaan dari sistem konveksi yang sangat besar (White, 1973).

2.8.2 Klasifikasi Panas Bumi

Kriteria yang biasa digunakan untuk mengklasifikasi sumber daya panas bumi berdasarkan entalpi menunjukan energi panas yang dimiliki fluida. Namun, pada kenyataannya pengklasifikasiannya tidak berdasarkan harga entalpi melainkan berdasarkan temperatur karena entalpi merupakan fungsi dari temperatur pada sistem panas bumi tersebut (Kadir, 2011).

Berdasarkan fluida produksi dan jenis kandungan utamanya, sistem hidrothermal dibedakan menjadi dua, yaitu sistem satu fasa dan sistem dua fasa. Pada sistem satu fasa, sistem umumnya berisi air yang mempunyai temperatur 90-180 °C dan tidak terjadi pendidihan selama eksplorasi. Sistem dua fasa dibagi menjadi dua lagi, yaitu sistem dominasi uap (vapour dominated system) dan sistem dominasi air (water dominated system) (Dickson, 2004)

1. Vapour dominated system, yaitu sistem panas bumi dimana sumur-sumurnya memproduksi uap kering atau

uap basah karena rongga-rongga batuan reservoir-nya sebagian besar merupakan uap panas. Dalam sistem ini uap mengisi rongga-rongga atau rekahan-relahan, sedangkan air mengisi pori-pori batuan (Dickson, 2004).

2. Water dominated system, yaitu sistem panas bumi dimana sumur-sumurnya menghasilkan fluida dua fasa berupa campuran uap-air. Dalam sistem dominasi air, air mengisi ronggarongga atau rekahan-rekahan (Dickson, 2004).

Tabel 2.1 klasifikasi sitem panas bumi berdasarkan temperatur (Dickson, 2004)

Resource	***Temperature***
Low entalpy	*<125 °C*
Intermediate entalpy	*125-225 °C*
High entalpy	*> 225 °C*

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

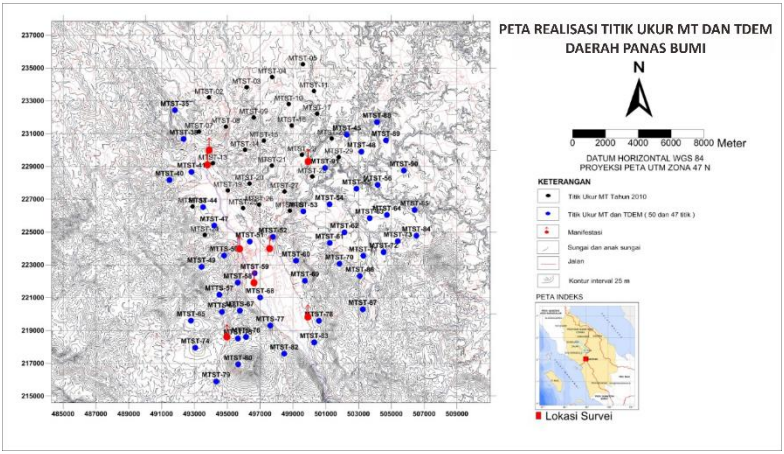
BAB III
METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Desember 2019 sampai dengan Mei 2020, dengan judul "**Interpretasi Data Geofisika Magnetotelurik (MT) Untuk Daerah Potensi Panas Bumi Dengan Variasi Mesh Dan Koreksi Statik**". Untuk keperluan laporan Tugas Akhir penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2019 sampai dengan bulan Maret 2019 bertempat di daerah potensi panas bumi, Dan dilanjutkan dengan pengolahan data di Pusat Sumber Daya Mineral Batubara Dan Panas Bumi, Jl. Soekarno Hatta No.444 Bandung-Jawa Barat, 40254.

3.2 Lokasi Penelitian

Secara administratif daerah panas bumi termasuk kedalam wilayah Provinsi Sumatra Utara, sedangkan secara geografis terdapat pada posisi 3,856°-3,675° lintang selatan dan 119,611°-119,794° bujur timur kesampaian daerah penyelidikan ditempuh dari kota Medan dengan jarak ± 270 km atau 6 jam perjalanan menggunakan kendaraan roda empat, Selain itu juga dapat menggunakan pesawat dari Medan atau Jakarta menuju bandara Silangit, Siborongborong yang kemudian dilanjutkan dengan jalur darat sekitar 30 menit.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Akuisisi Data

3.3 Alur Tahapan Penelitian

Penelitian ini secara keseluruhan dapat dibuat dalam diagram alir yang tertera pada gambar 3.2.

3.3.1 Studi literratur

Pada tahap awal untuk melakukan sebuah penelitian perlu dilakukan studi literatur. Dalam tahapan ini perlu memahami mengenai konsep pengolahan data magnetotelurik untuk intepretasi serta perlu dilakukan pemahaman tentang konsep konsep hukum Maxwell yang menjadi penerapan dasar metode magnetotellurik.

3.3.2 Akuisisi Data Magnetotelurik

Dalam penelitian ini dilakukan akuisisi data sebagai berikut :

1. Data yang didapatkan berasal dari pengukuran dengan menggunakan alat *MT Unit Phoenix Geophysic.*
2. Titik pengukuran dan data ketinggian didapatkan dari alat GPS.

3. Peta penempatan elektroda.

Untuk peta penempatan elektroda belum bisa ditampilkan karna merupakan property rahasia milik kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Data di atas akan diolah menggunakan *software* untuk pengolahan dan interpretasi untuk mendapatkan model inversi dua dimensi (2D), software yang digunakan adalah:

1. *Notepad* atau *Notepad++*
2. *Microsoft Office 365*
3. *Microsoft Exell 365*
4. *SSMT 2000 Phoenix Geophysics*
5. *MT Editor*
6. *Winglink*
7. *CorelDRAW 2017*

3.3.3 Pengolahan Data

Agar lebih mudahnya diagram alir pengolahan data akan ditampilkan pada tabel atau flowchart (gambar 3.1) pengolahan data magnetotellurik.

Data mentah bahan hasil akuisisi dan kalibrasi dari akuisisi data lapangan perlu dilakukan perubahan domain waktu menjadi domain frekuensi dengan metode transformasi fourier menggunakan piranti lunak *SSMT2000*. Hal ini dikarenakan informasi kedalaman penetrasi hanya dapat diperoleh dari nilai frekuensi berdasarkan skindepth. Selain itu perlu dilakukan tahap Processing atau teknik pemrosesan data berbasis statistika yang memanfaatkan pembobotan ulang dari sisa untuk mengidentifikasikan dan menghapus pencilan luar data yang terbias oleh non gaussian noise. (Windarto.2008)

Proses pengolahan data magnetotellurik kemudian berlanjut menggunakan peranti MTeditor untuk melakukan proses rotasi tensor agar sesuai dengan kondisi geologi pada tahap ini juga dilakukan smoothing kurva resistivitas x y dan X berdasarkan seleksi Cross power Hal tersebut dikarenakan hasil dari proses filter pada saat pengukuran hanyalah menghilangkan sebagian pencilan luar Adapun untuk noise acak karena gangguan saat akuisisi lapangan perlu dilakukan secara manual pada tahap seleksi Cross power.

Setelah kurva resistivitas didapatkan hasil yang smooth berdasarkan seleksi Cross power, maka tahap selanjutnya dapat dilanjutkan menggunakan peranti lunak winGlink untuk membuat lintasan yang akan dibuat model 2 dimensi dan memilih titik mana yang akan digunakan sebagai parameter inversi dua dimensi. Kemudian tahap selanjutnya dapat dilakukan untuk analisis seluruh titik menggunakan hasil kerja saat menggunakan piranti lunak MTeditor analisis ini bertujuan untuk memperhalus kurva hasil seleksi Cross power yang bila secara matematis tidak dapat ditemukan solusi terbaiknya Adapun metode yang digunakan pada teknik yaitu dengan menghapus data noise pada Satu Frekuensi agar didapatkan solusi terbaik.

Tahapan smoothing Dalam penelitian ini menggunakan metode D+. Kurva smoothing dan data pengukuran tiap frekuensi untuk bagian resistivitas dipertahankan agar kurang dari 5% untuk nilai errornya. Sedangkan untuk bagian fase digunakan 5% atau 10% untuk nilai errornya. Pengukuran yang dirasa memiliki tren kurva fase yang lebih relatif baik digunakan 5% dan untuk yang kurang baik dapat digunakan 10%.

Penelitian ini juga menggunakan koreksi efek pergeseran statik. idealnya kurva TE dan TM dalam magnetotelurik akan saling berhimpitan Namun karena beberapa sebab kurva tersebut

dapat saling tidak berhimpitan sehingga perlu dilakukan koreksi efek pergeseran statistik dalam penelitian ini metode yang digunakan yaitu pendekatan rata-rata median metode ini melihat respon antar seluruh Stasiun pengukuran kemudian dilakukan proses perataan pada suatu frekuensi di bawah permukaan. Bila telah dilakukan koreksi statik sift atau efek pergeseran Static dengan benar maka dapat dilanjutkan untuk analisis sounding 1 dimensi dan berakhir pada inversi model 2 dimensi sehingga didapatkan penampang resistivitas setiap lintasan.

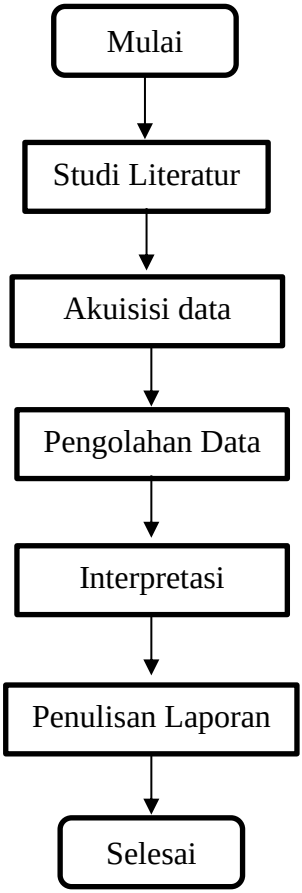
Perubahan mesh di sini dilakukan dengan cara mengedit dan melakukan rata-rata rho dari keseluruhan data kemudian dilanjutkan dengan mengatur parameter select data dan melakukan iterasi Kembali untuk mendapatkan hasil. lalu untuk variasi statistik nya sendiri dilakukan dengan cara mengedit Static shift di menu inversi pada software winGlink kemudian memilih atau mengklik 3 kali titik data pada penampang hingga semua titik berubah menjadi warna ungu kemudian dilanjutkan dengan mengklik Tab inversi lalu pilih lock Static shift kemudian dilanjutkan dengan running interasi seperti biasa.

3.3.4 Interpretasi Hasil

Hasil dari pemodelan resistivitas dua dimensi berdasarkan metode geofisika magnetotellurik serta analisis geologi yang telah didapatkan perlu dilakukan analisa secara berkesinambungan antar data tersebut di mana data tersebut bila digambarkan dapat mengidentifikasi struktur bawah permukaan bumi untuk daerah sistem panas bumi secara lebih akurat.

3.4 diagram alir penelitian

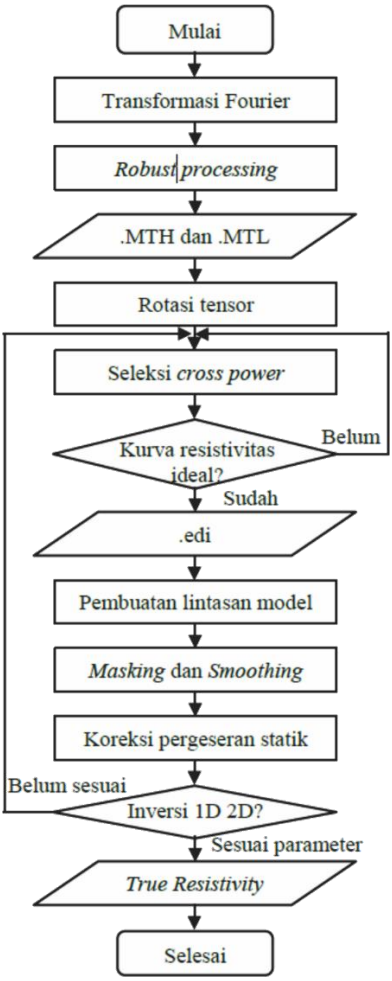
Adapun diagram alir penelitian yang dilakukan dapat disajikan sebagai berikut,



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.5 Diagram Alir Pengolahan Data Magnetotelurik

Untuk tahapan proses yang dilakukan pada pengolahan data magnetotelurik dapat dijadikan sebagai berikut,



Gambar 3.3 diagram alir pengolahan data magnetotelurik

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

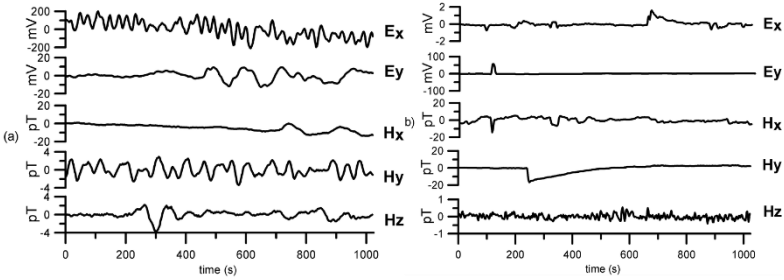
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Akuisisi dan Analisis data magnetotelurik

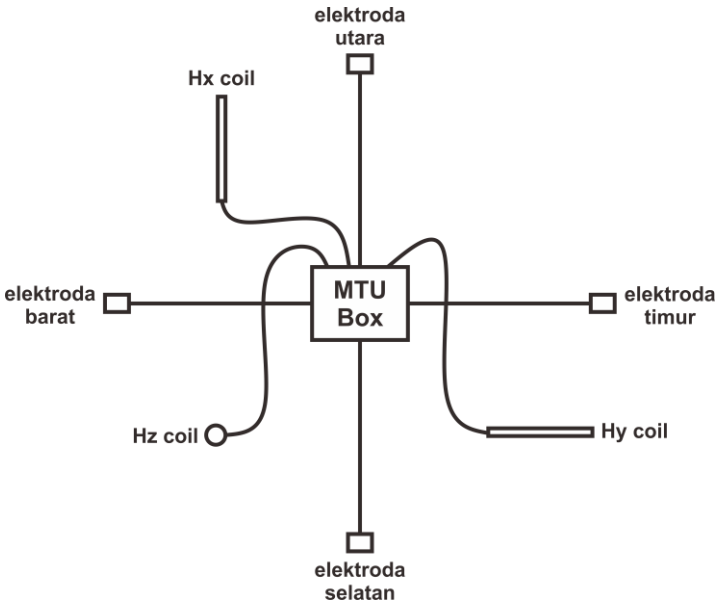
4.1.1 Akuisisi Data Magnetotelurik

Data magnetotelurik yang digunakan adalah data pada suatu daerah di Sumatra akuisisi data dilakukan oleh tim penelitian dari pusat sumber daya mineral batubara dan panas bumi PSDMBP dengan anggota 10 orang terdiri dati tim geofisika, tim pengeboran, dan tim geologi. Akuisisi data magnetotelurik menggunakan konfigurasi tensor dengan layout sebagaimana yang disertakan pada gambar. Pada pengukuran data MT koil Hx menghadap he arah utara dengan sisi yang terdapat kabel berada di selatan sedangkan untuk koil Hy menghadap ke timur dan sisi yang terdapat kabel berada di sebelah barat, pemasangan layout dan penyambungan layout ke MTU sebagai pengukur sangat penting karna apabila terjadi kesalahan seperti kesalahan pemasangan atau terbaliknya kabel pot utara-selatan, barat-timur, maupun arah koil akan sangat mempengaruhi hasil data yang didapatkan. Akuisis data sendiri dilakukan dengan durasi antara 16-18 jam. Akuisisi data sendiri dilakukan dengan durasi yang cukup lama karna diharapkan pengukuran dapat mencakup data frekuensi rendah yang memadai, karna normalnya pada akuisisi data frekuensi rendah akan membutuhkan durasi waktu yang relative lebih banyak dari akuisisi data frekuensi tinggi, di masing-masing titik pengukuran untuk jarak antar titik pengukuran pada satu lintasan berjarak 1 km. pada pengukuran data yang didapatkan adalah data time domain yang nantinya akan diubah menjadi domain frekuensi dengan menggunakan transformasi fourier. Setelah mengubah data yang berupa time domain ke domain frekuensi yang nantinya akan didapatkan kurva resistivitas dan kurva fase.

Pengolahan data MT dilakukan dari data mentah berupa *time series* sampai diperoleh nilai resistivitas semu dan fase. Digital *time series* yang dikumpulkan selama survey MT, totalnya mencapai beberapa Gigabytes. Namun, data yang akan diinterpretasi dengan menggunakan skematik model numerik terdiri dari beberapa ratus data per stasiun yang merepresentasikan frekuensi yang bergantung pada fungsi transfer. Langkah awal yang dilakukan dalam pengolahan data magnetotelurik adalah mengubah domain data time series dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Hal tersebut dilakukan dengan menggunakan transformasi Fourier. Secara prinsip, transformasi Fourier adalah suatu operasi matematis yang mengubah sinyal menjadi spektrum. Proses transformasi ke dalam domain frekuensi ini dilakukan karena parameter fisis seperti impedansi, resistivitas semu, dan fase merupakan fungsi frekuensi. Proses transformasi Fourier ini meliputi beberapa proses lainnya, seperti proses *trend removal*, proses *cosines bell*, dan transformasi Fourier diskrit. Proses ini akan menghasilkan garis-garis spectral yang diskrit pada spektra mentah dari kelima komponen terukur (Hx, Hy, Hz, Ex, dan Ey).



Gambar 4.1 Bentuk Sinyal Data T*ime Serries* MT (simpson bahr, 2005)



Gambar 4.2 layout pengukuran data magnetotelurik di lapangan

4.1.2 Seleksi *cross power*

Pada dasarnya akuisisi data magnetotellurik dilapangan dipengaruhi banyak faktor noise yang mengakibatkan data memiliki nilai error noise sendiri, bisa diakibatkan oleh aktifitas manusia saat akuisisi data maupun aktifitas sumber medan elektromagnetik berupa petir di area pengukuran, noise juga dapat diakibatkan oleh badai matahari. Akibatnya data yang terekam pada MT-unit akan mengalami sedikit kekacauan pada beberapa nilai frekuensi. Utuk meminimalisir data error pada frekuensi tersebut dapat menggunakan seleksi cross power Seleksi Cross power sendiri merupakan salah satu tahapan yang ada dalam pengolahan data magnetotellurik tujuan dari seleksi Cross power adalah mendapatkan hasil kurva yang lebih baik dan mengurangi gangguan atau noise yang didapatkan dari pengukuran baik itu

yang berasal dari alam atau noise alami dan noise yang disebabkan oleh aktivitas manusia secara teori kurva resistivitas semu dan fase magnetotellurik harus dalam keadaan smooth dan memiliki tren kenaikan dan penurunan kurva yang relatif landai untuk mencapai kondisi yang demikian perlu mematikan beberapa data pada tiap frekuensi kurva resistivitas dan fase hasil kurva yang lebih baik akan berpengaruh dalam pemodelan yang akan dilakukan.

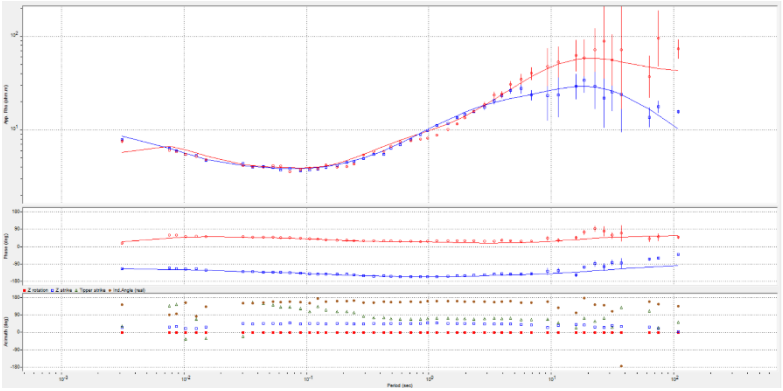
Jumlah cros power adalah jumlah titik pada tiap frekuensi yang dapat dimatikan maupun dihidupkan sebagai contoh apabila pada data yang digunakan jumlah cross powernya adalah 50 titik artinya akan terdapat maksimal 50. Yang dapat dimatikan atau dihidupkan kembali namun semakin kecilnya frekuensi yang digunakan akan semakin sedikit juga data yang dapat dimatikan maupun dihidupkan kembali disini dikarenakan semakin kecil frekuensi akan digunakan relatif lebih lama sehingga dalam pengukuran yang sama data frekuensi tinggi akan merekam lebih banyak Data daripada frekuensi rendah pada pengukuran kali ini data yang digunakan adalah data pengukuran dengan rentang antara 320 Hz sampai dengan 0,0001 Hz namun dalam pengolahan data sendiri digunakan batas minimum yang dipakai adalah 0,01 hz di sini penggunaan data minimum 0,01 juga karena data yang ditampilkan di bawah frekuensi tersebut akan sangat sedikit pengurangan data atau pembatasan data ini sendiri akan mengakibatkan penetrasi kedalaman model akan berkurang namun tidak akan banyak mengurangi hasil interpretasi karena mengingat data pembanding yang berupa informasi geologi penelitian sebelumnya dan hasil perhitungan dasar konsep skin depth sistem reservoir berkisar antara rentang frekuensi tersebut.

Dalam seleksi cross Power kurva resistivitas semu dan kurva fase akan selalu berlawanan dimana artinya pada suatu kurva magnetotellurik ini apabila pada Resistivitas semu pada tren naik

maka pada kurva fase akan didapatkan tren turun begitu pula sebaliknya dalam frekuensi yang sama.

4.1.3 *Masking* dan *Smoothing*

Setelah melalui proses seleksi cross power masih diperlukan tahapan masking dan smoothing karna tidak semua data hasil seleksi cross power menghasiljan kurva yang smooth atau halus. Pada proses smoothing sendiri umumnya menggunakan proses smoothing D+ yang konsepnya tetap menjaga tren kurva resistivitas semu dan kurva fasa. Pada kurva smoothing ini idealnya adalah tidak adanya kenaikan atau penurunan tren kurva secara tajam.



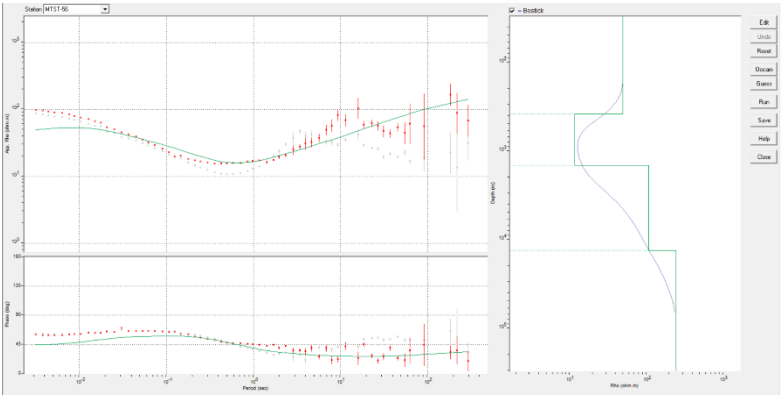
Gambar 4.3 kurva hasil masking dan smoothing

4.1.4 Koreksi pergeseran statik

Selain itu dalam proses pengolahan data magnetotellurik juga ada tahapan yang disebut dengan koreksi Static atau Static shift, koreksi Static shift sangat penting mengapa karena biasanya disebabkan oleh adanya heterogenitas batuan di permukaan karena adanya koreksi titik kemudian kurva resistivitas semua akan mengalami pergeseran secara vertikal.

4.1.5 Pemodelan inversi 1 dimensi

Setelah melakukan tahapan tahapan yang sudah saya sebutkan tadi kemudian masuk pada pemodelan 1 dimensi pemodelan 1 dimensi ini sendiri sangat penting untuk melakukan pemodelan dua dimensi sebagai acuan serta pembanding dan pengontrol pada model 2 dimensi pada prosesnya dalam pengolahan data ini digunakan metode invarian yakni gabungan antara mode TE dan mode TM pada kurva resistivitas semu dan fase. Dalam pemodelan inversi 1 dimensi ada beberapa metode pemodelan seperti metode occam dan metode boystik pada proses ini ini dilakukan dengan menggunakan mode inversi occam sebagai alogaritma. Alogaritma membuat model yang mana secara otomatis akan membentuk model atas dan skindepth.

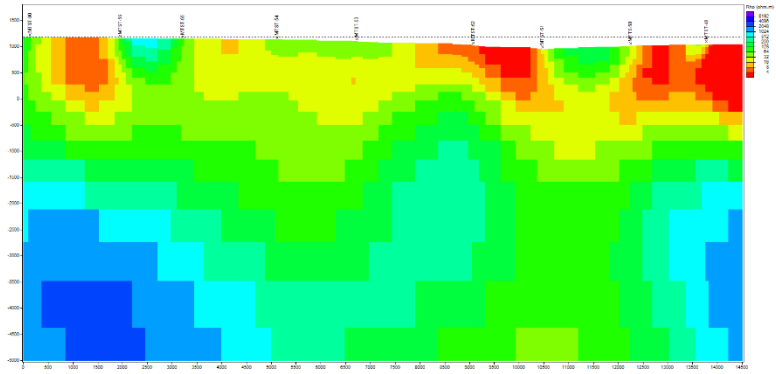


Gambar 4.4 hasil dan kurva boystik dalam inversi 1 dimensi

4.1.6 Pemodelan inversi 2 dimensi

Untuk pemodelan 2 dimensi sendiri merupakan model yang menampilkan resistivitas berdasarkan arah vertikal dan horizontal pada penelitian ini pemodelan dua dimensi juga dilakukan dengan mode invariant yakni gabungan dari mode TE

dan mode TM. Hasil dari inversi 2 dimensi akan ditampilkan pada gambar dibawah.



gambar 4.5 hasil pemodelan 2 dimensi

Hasil dari pemodelan 2 dimensi ini sendiri menunjukkan bahwa bahwa pada permukaan didominasi oleh resistivitas yang relative rendah dan pada heat source diindikasikan berwarna biru dan untuk reservoirnya sendiri terletak di bawah warna merah yang diindikasikan sebagai keprok di sini warna merah yang diindikasikan sebagai caprock atau gambar seperti mangkok terbalik biasanya mengindikasikan bagusnya atau adanya keberadaan sistem panas bumi.

Untuk nilai RMS sendiri merupakan nilai yang mempresentasikan hasil smoothing model yang telah terbentuk . sedangkan untuk iterasi disini menggunakan sebanyak 100 iterasi namun dari seluruh maksimal iterasi yang digunakan adalah 70 iterasi interaksi paling sedikit adalah 47 iterasi Untuk mengetahui jumlah iterasi dan nilai RMS yang dilakukan pada penelitian ini dapat ditampilkan pada tabel berikut.

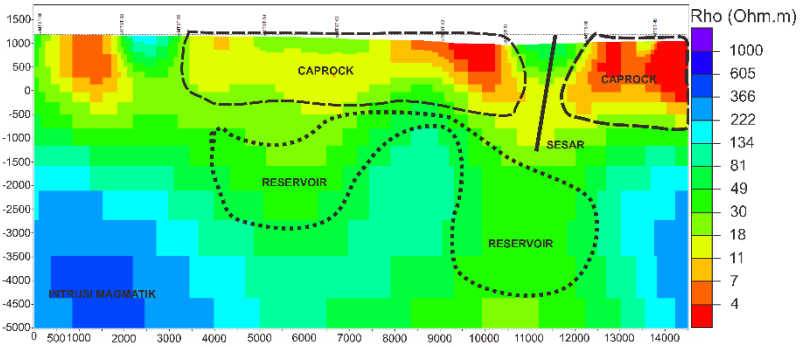
Tabel 4.1 tabel nilai RMS pada penelitian

mesh	nilai rms	iterasi	rms statik	iterasi statik
100	2.652	70	2.379	52
60	2.489	59	2.094	51
50	2.197	65	2.183	47

adanya perbedaan jumlah iterasi yang disini dikarenakan nilai RMS yang diproses oleh program sudah mencapai nilai minimal apabila nilai RMS sudah mencapai nilai minimum, maka secara otomatis program akan menggantikan iterasi banyaknya interaksi juga bergantung pada parameter inisial model, alogaritma inversi yang digunakan dan korelasi antar model dengan data.

4.2 Interpretasi dan Pembahasan

Pada hasil interpretasi dapat dilihat bahwa data menunjukkan pada permukaan nilai resistivitas yang relatif rendah ditemukan pada beberapa titik ditunjukan dengan warna merah yang diindikasikan sebagai batuan penudung jika dibandingkan dengan nilai bahwa permukaan pada zona reservoir sendiri diduga disini terletak di bawah zona merah yang berbentuk seperti mangkok terbalik daerah ini diduga sebagai daerah kontak antara reservoir dan source atau sumber panas bumi. Zona reservoir sendiri ditemukan di kedalaman 500 sampai 3000 meter dibawah permukaan laut.

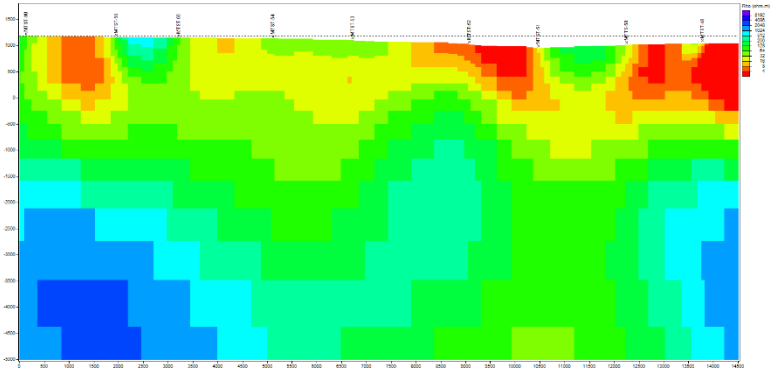


gambar 4.6 hasil interpretasi

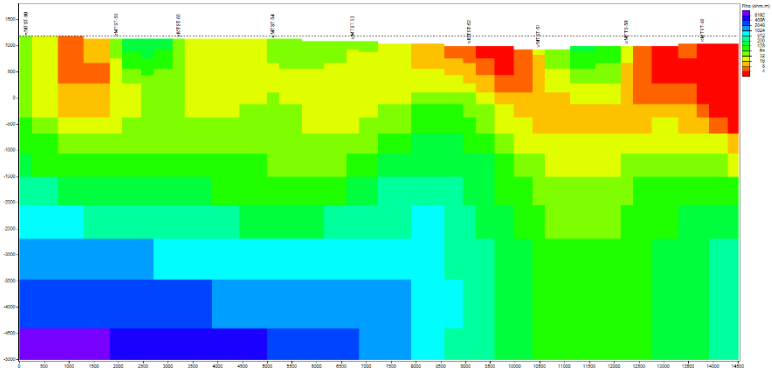
adanya sekat antara dua zona berwarna merah di sini diduga sebagai sesar, anomali tersebut dapat kembali dicocokkan dengan data geologi untuk mengetahui kepastian dari letak sesar tersebut sedangkan untuk source atau daerah intrusi magmatiknya sendiri digambarkan dengan warna biru atau zona dengan resistivitas tinggi dari sekitarnya dengan kedalaman sekitar lebih dari 4 km di bawah permukaan laut.

Setelah dilakukan interpretasi disini dilihat bahwa zona reservoir terletak di sebelah kiri penampang dua dimensi dan dapat dilakukan pengukuran dengan lintasan lintasan yang lain untuk mengetahui pola persebaran reservoir dan menentukan interpretasi yang lebih baik.

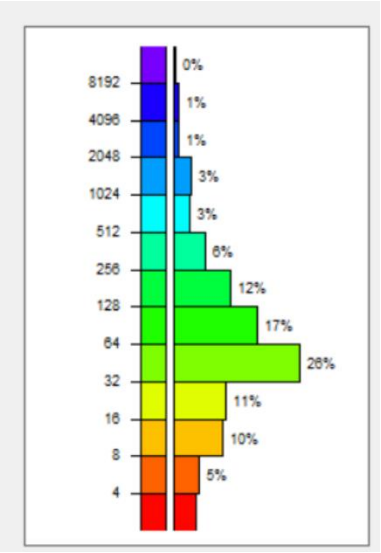
Dalam pengolahan data dapat dilakukan variasi efek static dengan langkah ini akan didapat nilai RMS yang lebih kecil. nilai RMS nya bisa lebih kecil karna pada kondisi data yang memiliki efek statik dia akan terkoreksi sehingga kurva matchingnya akan menjadi lebih bagus.



gambar 4.7 hasil interpretasi menggunakan mesh 50



gambar 4.8 hasil interpretasi menggunakan mesh 100



gambar 4.9 sebaran nilai resistivtas data

variasi mesh pada interpretasi di software *winGlink* pengaruhnya di sini yakni pada mesh semakin rapat mesh yang digunakan akan semakin smooth hasil interpretasi yang didapatkan variasi mesh yang digunakan adalah 100, 60 dan 50 penggunaan angka sekian berdasarkan nilai rata-rata kebanyakan rho yang didapat seperti pada data yang telah ditampilkan nilai mayoritas rho bernilai dikisaran 50-60.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

setelah dilakukan penelitian dan pengolahan serta interpretasi data magnetotelurik system panas bumi, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada pengolahan data magnetotelurik dapat menggunakan variasi mesh dan efek static, semakin kecil mesh yang digunakan akan semakin smooth hasil interpretasi yang disajikan, untuk variasi efek static dapat meminimalisir nilai RMS karna pada data yang memiliki nilai static akan terkoreksi dan kurva matchingnya menjadi lebih baik.
2. pada daerah penelitian system panas bumi ini dapat dilihat bahwa adanya lapisan penudung di permukaan dengan nilai resistivitas kurang dari 10 ohm.m dan adanya zona reservoir yang memiliki nilai resistivitas berkisar antara 10 sampai 40 ohm.m berada dibawah lapisan penudung dan menyebar disepanjang daerah penelitian. Kemudian zona intrusi magmatik sendiri dilihat memiliki nilai resistivitas tinggi dan terletak disebelah kiri.

5.2 Saran

Pada penelitian yang telah dilakukan ini dapat ditambahkan titik pengukuran untuk mengetahui persebaran system panas bumi di daerah tersebut dan perlunya data penunjang seperti informasi geologi dan geokimia agar interpretasi dapat dilakukan lebih maksimal, serta perlunya dilakukan analisa sumur

bor untuk mengetahui secara pasti model system panas bumi yang lebih spesifik dan detail.

DAFTAR PUSTAKA

Berdichevsky, Mark N., & Dimitrev, V. I. 2008. *Models And Methods OfMagnetotellurics.* Berlin: Springer Science & Business Media.

Berdichevsky, Mark N., & Dimitrev, V. I. 2002. *Magnetotellurics In The Concept Of The Theory Of Ill-Posed Problems.* Tulsa: Seg Books.

Dickson, M. H., & Flanelli, M. 1995. *Geothermal Energy: Utilization And Technology.*Chichester: John Willley & Sons.

Grandis, H. 2009. *Penganar Pemodelan Inversi Geofisika*. Jakarta: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.

Hermawan,D., Widodo, S., S, R., K, D., Kholid, M., Zarkassyi, A., &J,W. 2011. *Geologi, Geokimia, Dan Geofisika Daerah Panas Bumi Sumanin Provinsi Sumatera Barat.* Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.

Journal Of The Balkan Geophysical Society, Vol. 5, No. 2, May 2002. Dickson, Mary H. 2004. *What Is Geothermal Energy?.* Pisa: Instituto Di Geoscienze E Georisorse

Kadir, Tri. 2011. *Metode Magnetotelluric (MT) Untuk Eksplorasi Panas Bumi Daerah Hilli, Sulawesi Barat Dengan Data Pendukung Metode Gravitasi*. Depok: Universitas Indonesia.

Menke, W. 2018. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory.* London: Academic Press.

Nabighian, M. N. 1991. *Electromagnetic Methods In Applied Geophysics.* Tulsa: SEG Books.

Reynold, J.M.1997. *An Introduction To Applied And Environmental Geophysics*. England: John Willey & Sons Inc.

Santoso,D.2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Sharma, Prem V. 1997. Environmental An Engineering Geophysics. Cambridge University Press.

Simpson, F., & Bahr, K. 2005. *Practical Magnetotellurics*. Cambridge:Cambridge University Press.

Supriyanto, S. 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi.* Depok: Universitas Indonesia.

Telford,W.M., Geldort, L.P., Dan Sheriff,R.E.1990. *Applied Geophysics 2nd Edition*. New York: Cambridge University Press.

Unsworth, M. 2008. Lecture Notes Geophysics 424.

Vozoff, K. 1972. *The Magnetotelluric Method In The Exploration Of Sedimentary Basins. Geophysics*, 98-141.

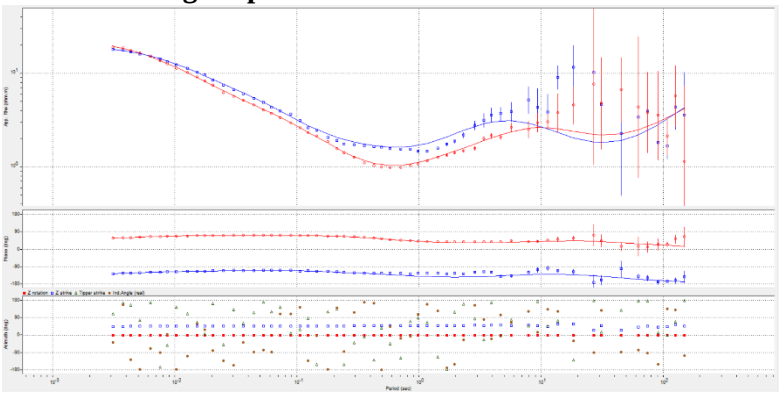
White, D E. 1973. *Characteristics Of Geothermal Resources*. Stanford: StanfordUniversity Press.

Windarto, D. S. 2008. *Metoda Geofisika Magnetotelurik Dalam Geofisika Eksplorasi*. Jakarta: P.T. Pertamina.

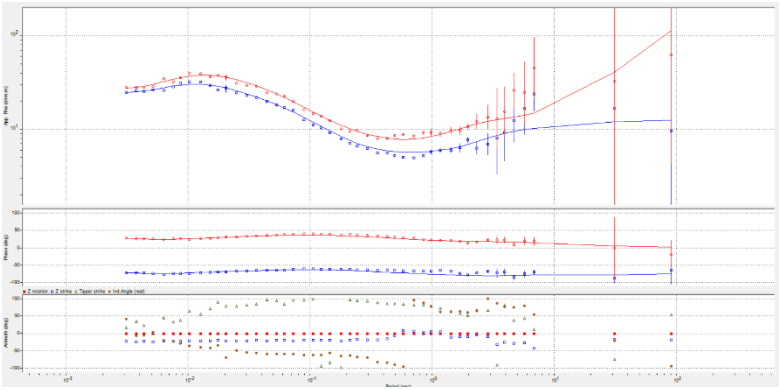
Zhdanov, M. S, 2009. *Geophysical Electromagnetic Theory And Methods,* Amsterdam: Elsevier Science.

LAMPIRAN

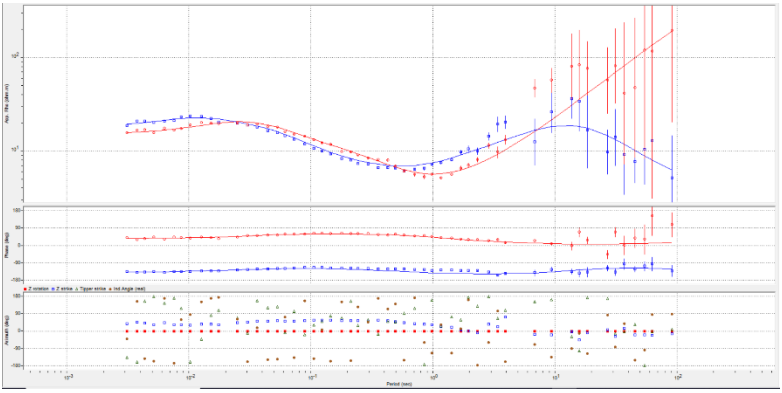
Lampiran A. Kurva Resistivitas Semu dan Fase Hasil Masking Dan Smoothing Tiap Stasiun



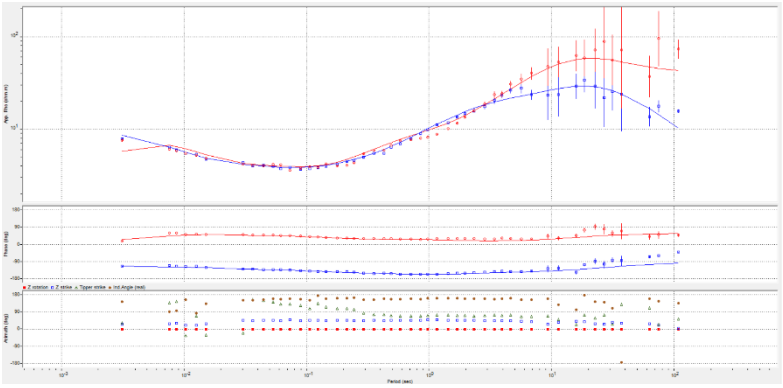
Gambar A.1 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 49



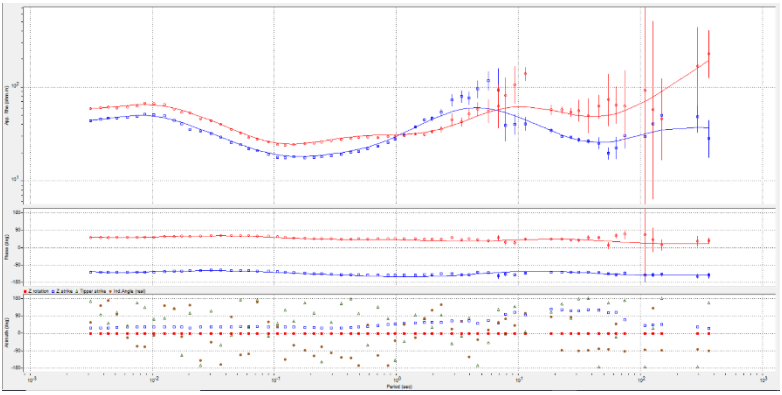
Gambar A.2 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 50



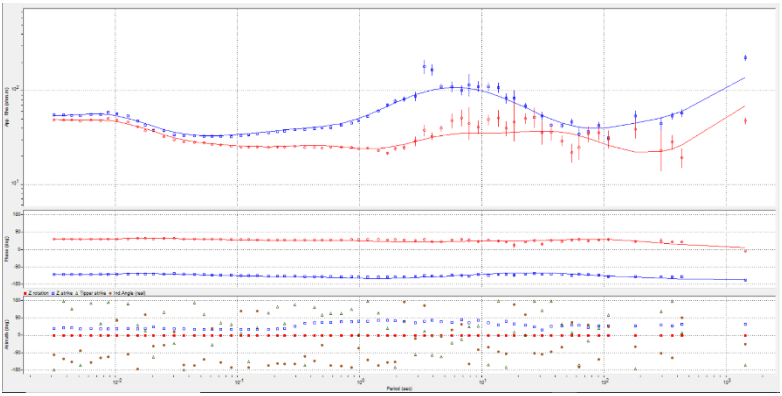
Gambar A.3 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 51



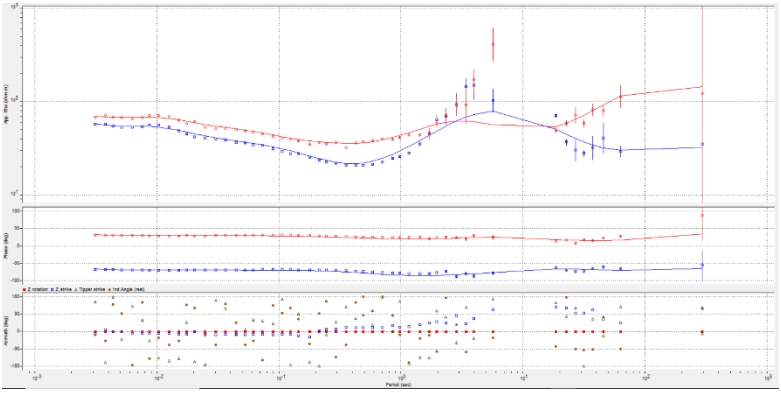
Gambar A.4 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 52



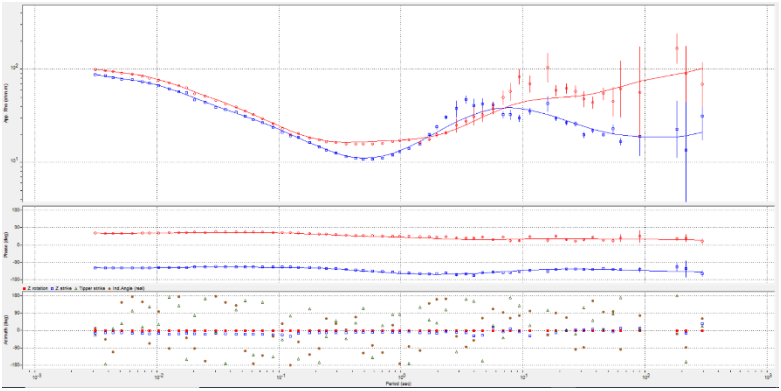
Gambar A.5 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 53



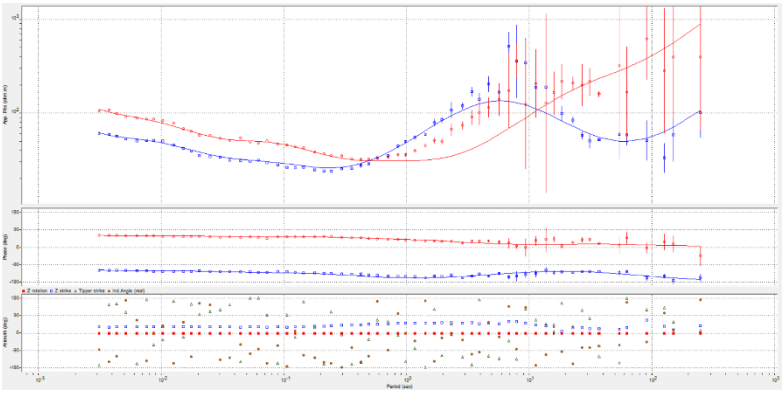
Gambar A.6 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 54



Gambar A.7 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 55

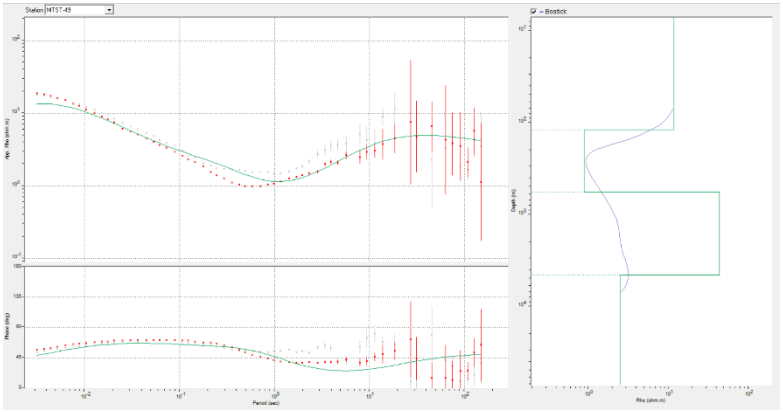


Gambar A.8 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 56

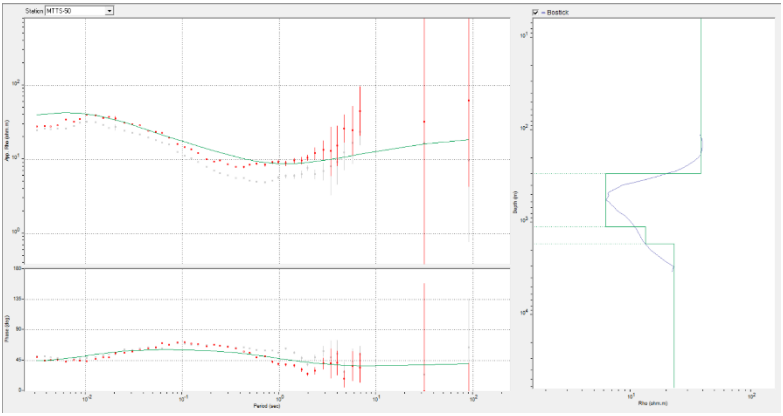


Gambar A.9 kurva fase (bawah) dan resistivitas semu (atas) titik 90

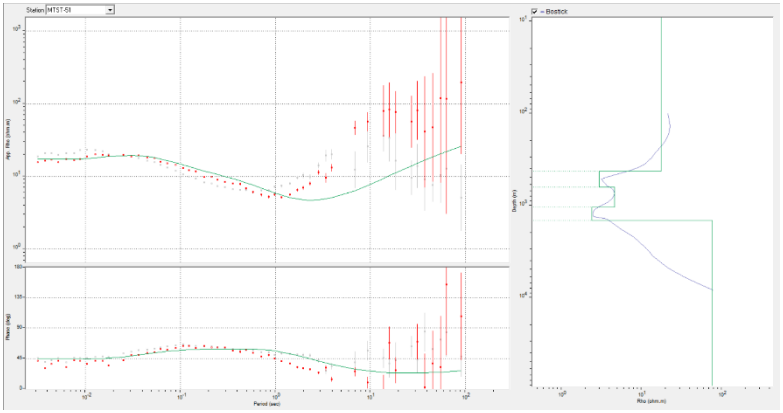
Lampiran B. Kurva Boystik Dalam Proses Inversi 1 Dimensi



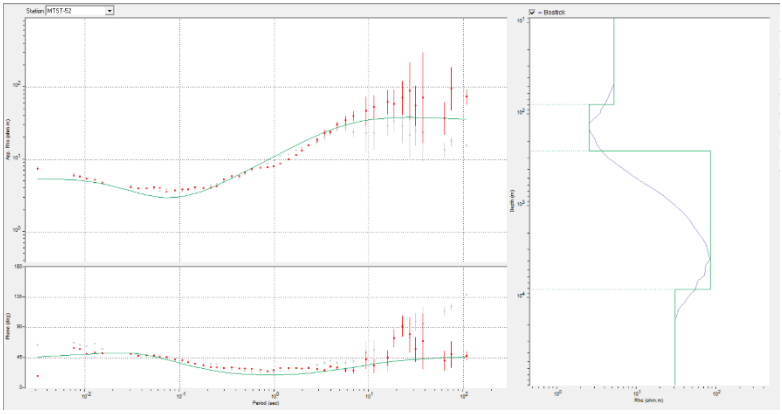
Gambar B.1 kurva boystik inversi 1D titik 49



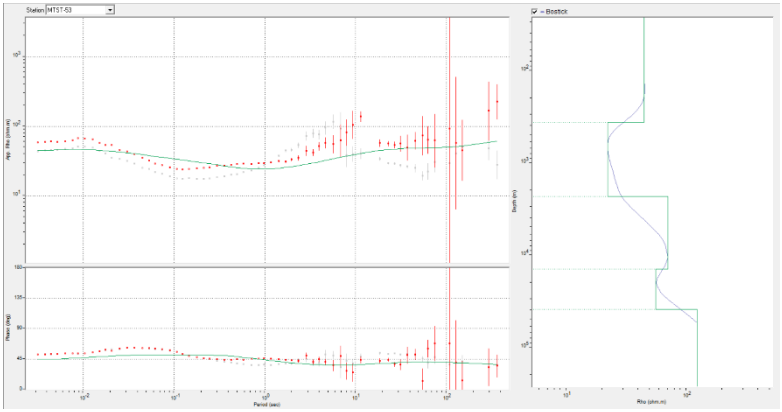
Gambar B.2 kurva boystik inversi 1D titik 50



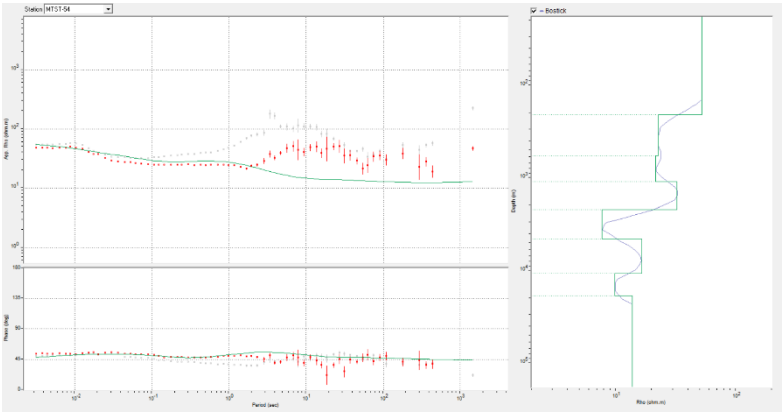
Gambar B.3 kurva boystik inversi 1D titik 51



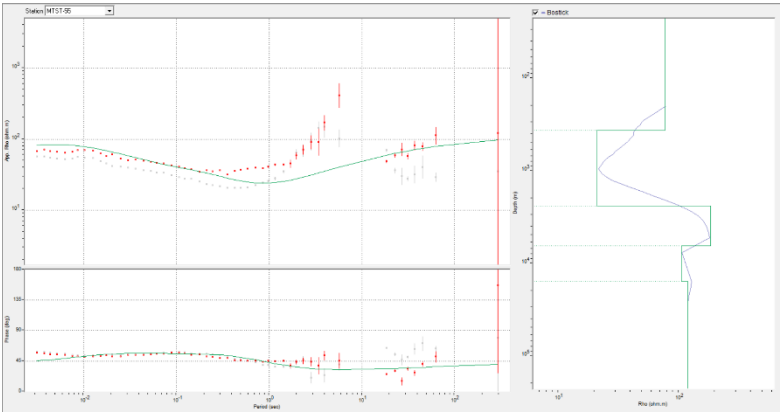
Gambar B.4 kurva boystik inversi 1D titik 52



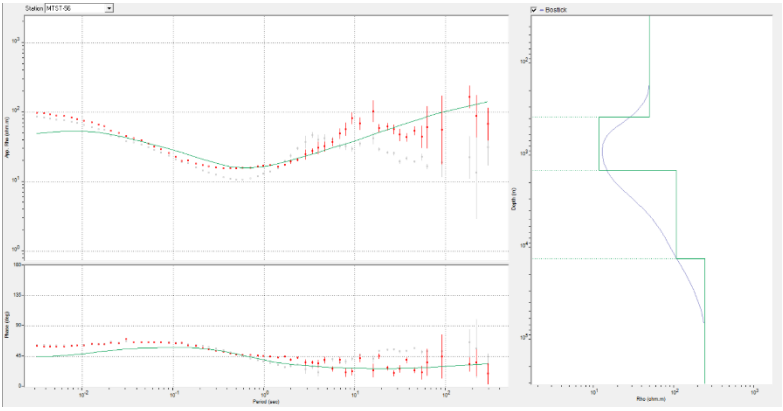
Gambar B.5 kurva boystik inversi 1D titik 53



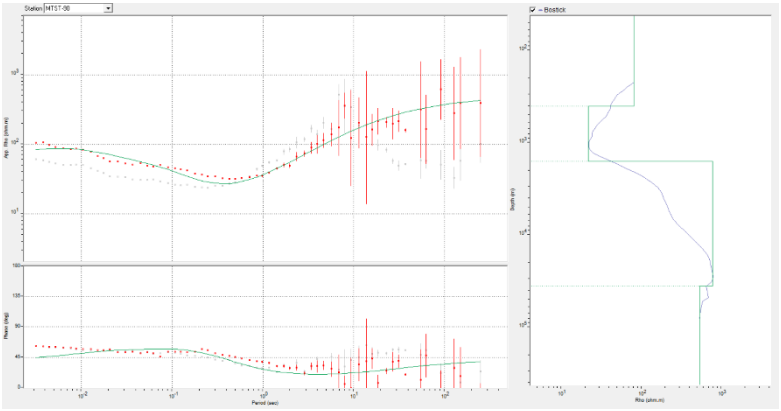
Gambar B.6 kurva boystik inversi 1D titik 54



Gambar B.7 kurva boystik inversi 1D titik 55

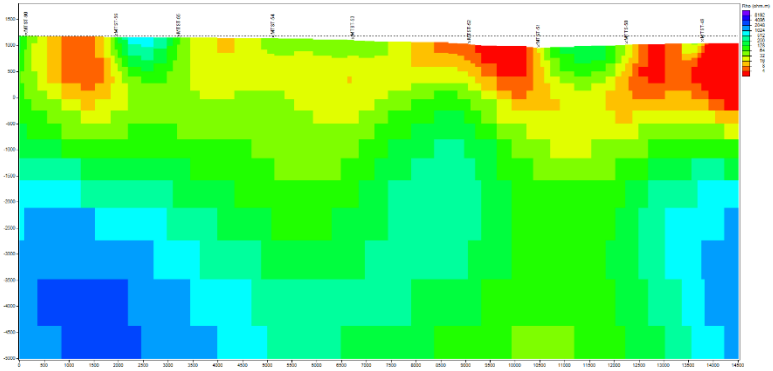


Gambar B.8 kurva boystik inversi 1D titik 56

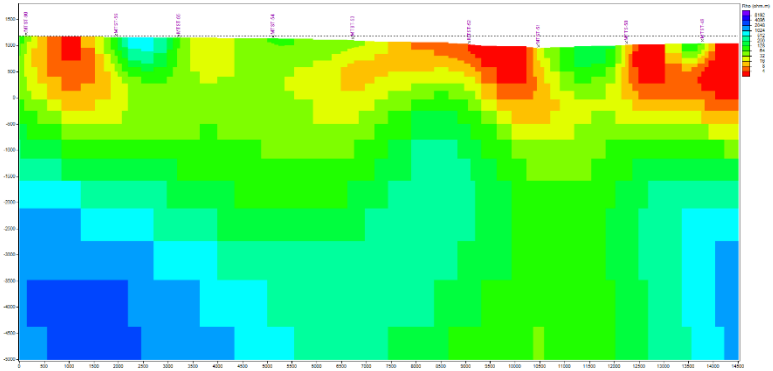


Gambar B.9 kurva boystik inversi 1D titik 90

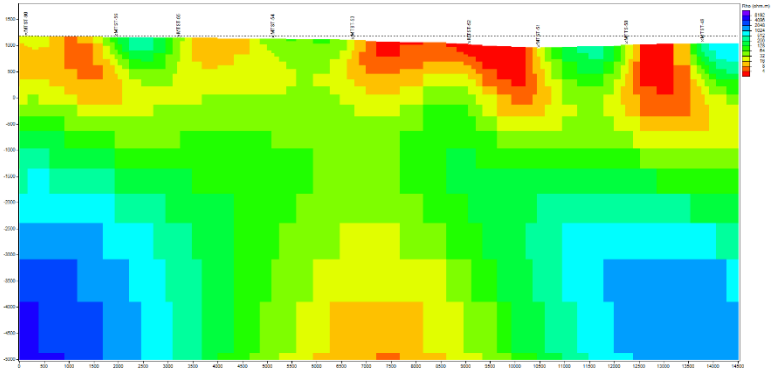
Lampiran C. Hasil Interpretasi Data 2 Dimensi



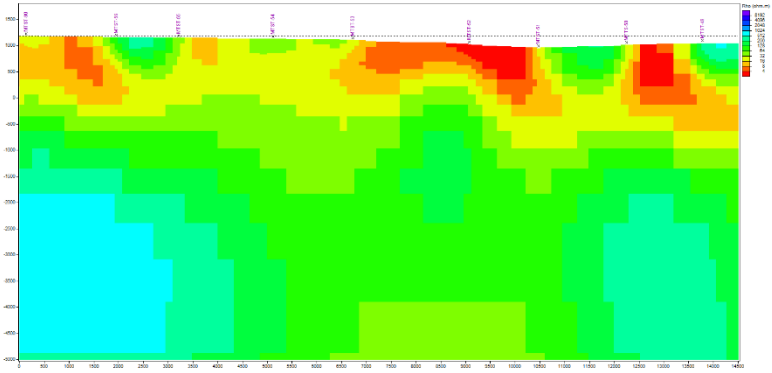
Gambar C.1 hasil interpretasi menggunakan mesh 50



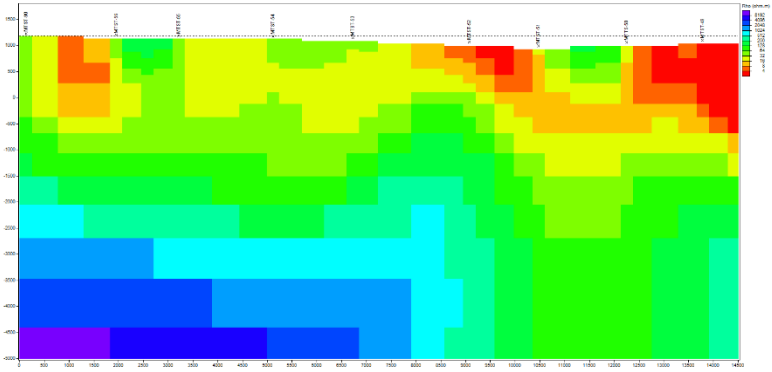
Gambar C.2 hasil interpretasi menggunakan mesh 50 dengan efek statik



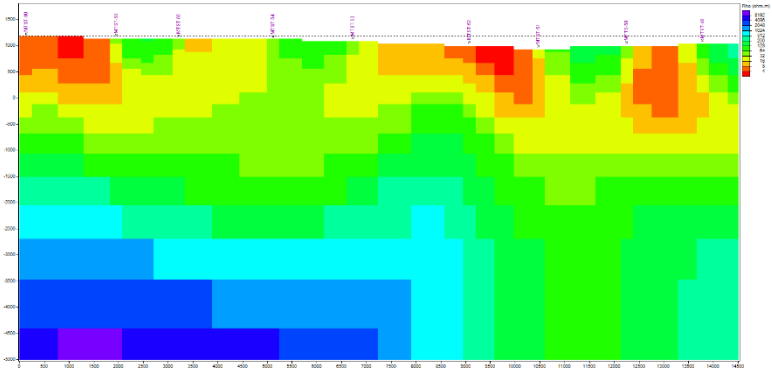
Gambar C.3 hasil interpretasi menggunakan mesh 60



Gambar C.4 hasil interpretasi menggunakan mesh 60 dengan efek static



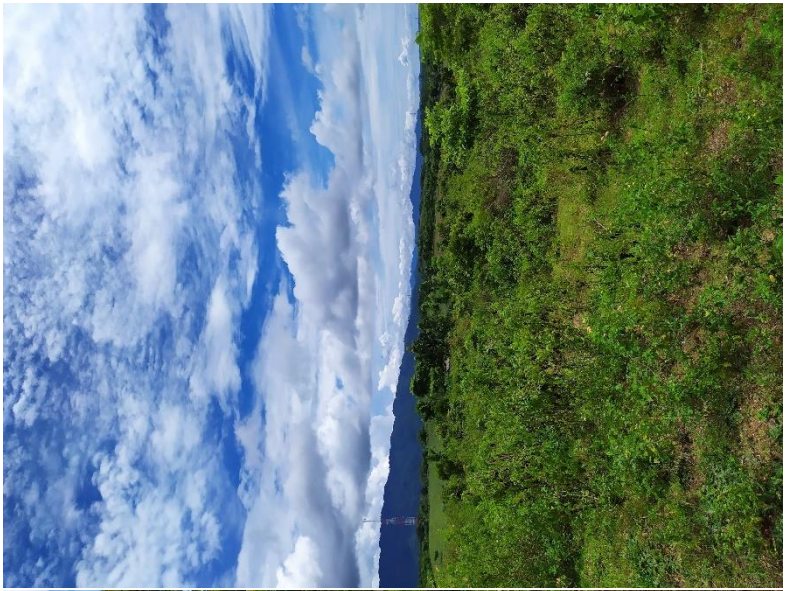
Gambar C.5 hasil interpretasi menggunakan mesh 100

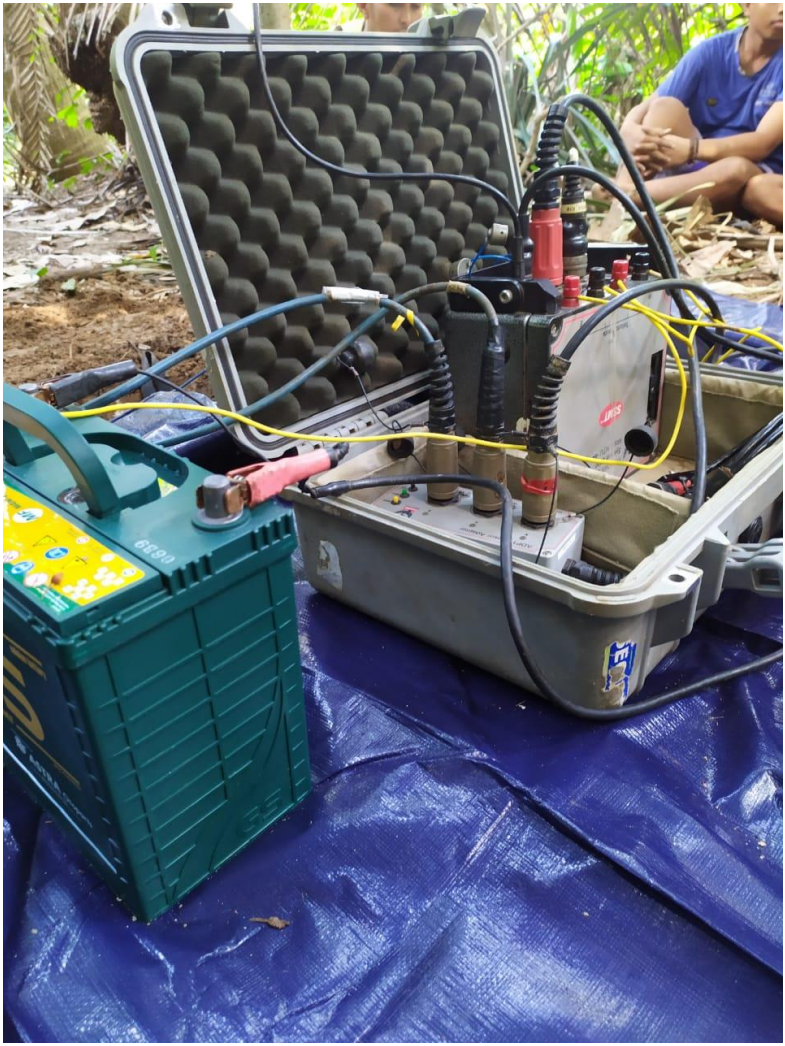


Gambar C.6 hasil interpretasi menggunakan mesh 100 dengan efek static

Lampiran D. Dokumentasi Akuisisi Data

GS





BIODATA PENULIS

Arif Purnama Aji yang akrab disapa Aji, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Saiful Ma'arif dan Nur Hayati, penulis lahir di Lamongan pada tanggal 21 juli1997. Penulis menempuh Pendidikan DI MIM 01 Pondok Moderen Paciran (2003-2009), SMPM 12 Sendangagung (2009-2012), MA Alishlah (2012-2015), dan Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Mulai Tahun 2015.

Selama menempuh pendidikan sarjana di kampus penulis aktif berorganisasi Di Himpunan Mahasiswa Fisika ITS (HIMASIKA ITS) sebagai koordinator *Steering Committee* kaderisasi mahasiswa Departemen Fisika ITS (2016-2017) dan kebala biro kaderisasi mahasiswa Departemen Fisika ITS (2017-2018), selain itu penulis juga aktif di *Student Chapter* (SC) *American Association of Petroleum Geologist (AAPG) ITS* sebagai kepala bidang *Big Event* dan menjadi koordinator sie *Hall of Fame* ITS EXPO tahun 2016 dan 2017. Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium untuk laboratorium fisika dasar.

Penulis melakukan penelitian tugas akhir di Sulawesi Selatan untuk proses akuisisi data serta penelitian mengenai pengolahan dan interpretasi data magnetotelurik di Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara Dan Panas Bumi (PSDMBP) Bandung.

Harapan penulis dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini agar menjadi wawasan dan mendorong perkembangan ekplorasi sumber daya terbarukan di Indonesia khususnya di sektor panas bumi. Apabila ada yang ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi penulis di alamat email *arifpurnamaaji@gmail.com*.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"