



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN SISTEM GEOTHERMAL DAERAH X MENGGUNAKAN
METODE MAGNETOTELLURIC**

SKRIPSI

**HARRY AL ANSHORY
0606068253**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN SISTEM GEOTHERMAL DAERAH X MENGGUNAKAN METODE
MAGNETOTELLURIC**

SKRIPSI

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

HARRY AL ANSHORY

0606068253

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

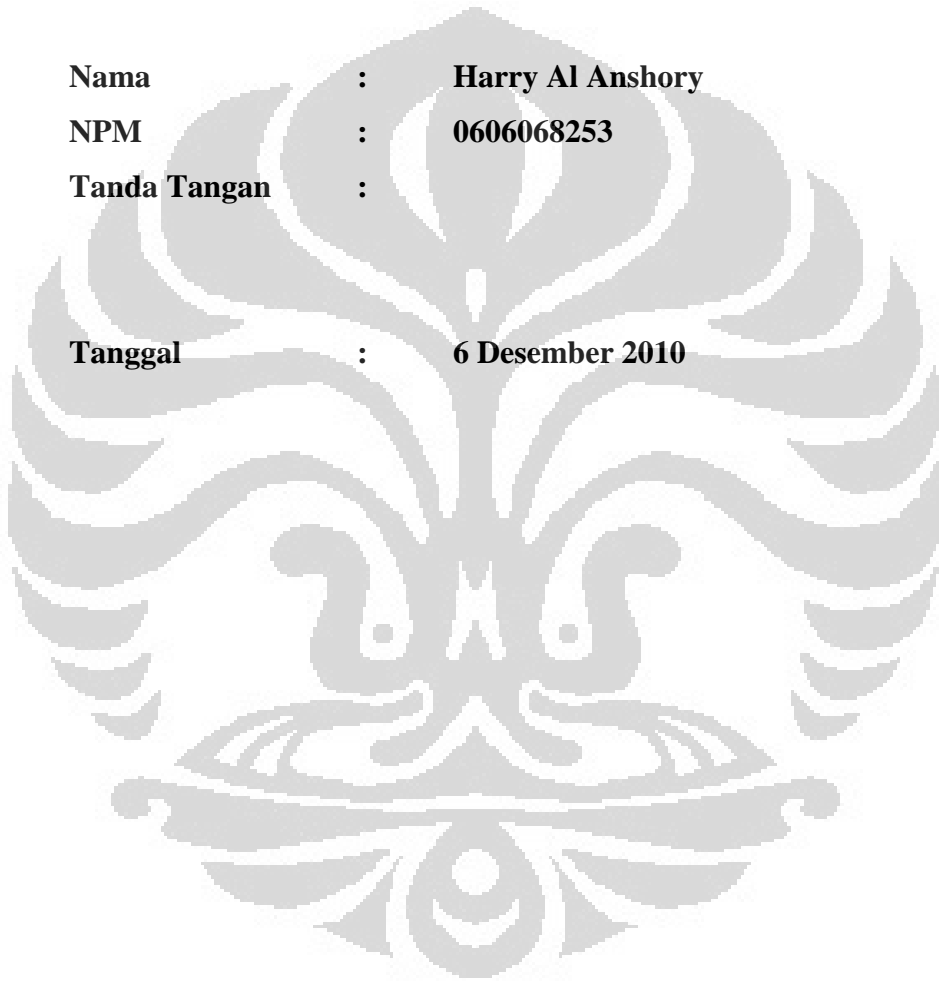
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Harry Al Anshory

NPM : 0606068253

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Desember 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Harry Al Anshory
NPM : 0606068253
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Pemodelan Sistem Geothermal Daerah X Menggunakan Metode Magnetotelluric

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

DEWAN PENGUJI

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

Penguji I : Drs. Lingga Hermanto, M.Si ()

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi'l'aalamiin. Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan seluruh alam semesta, yang selalu memberikan pertolongan, rahmat, karunia dan, hidayahnya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini bertujuan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

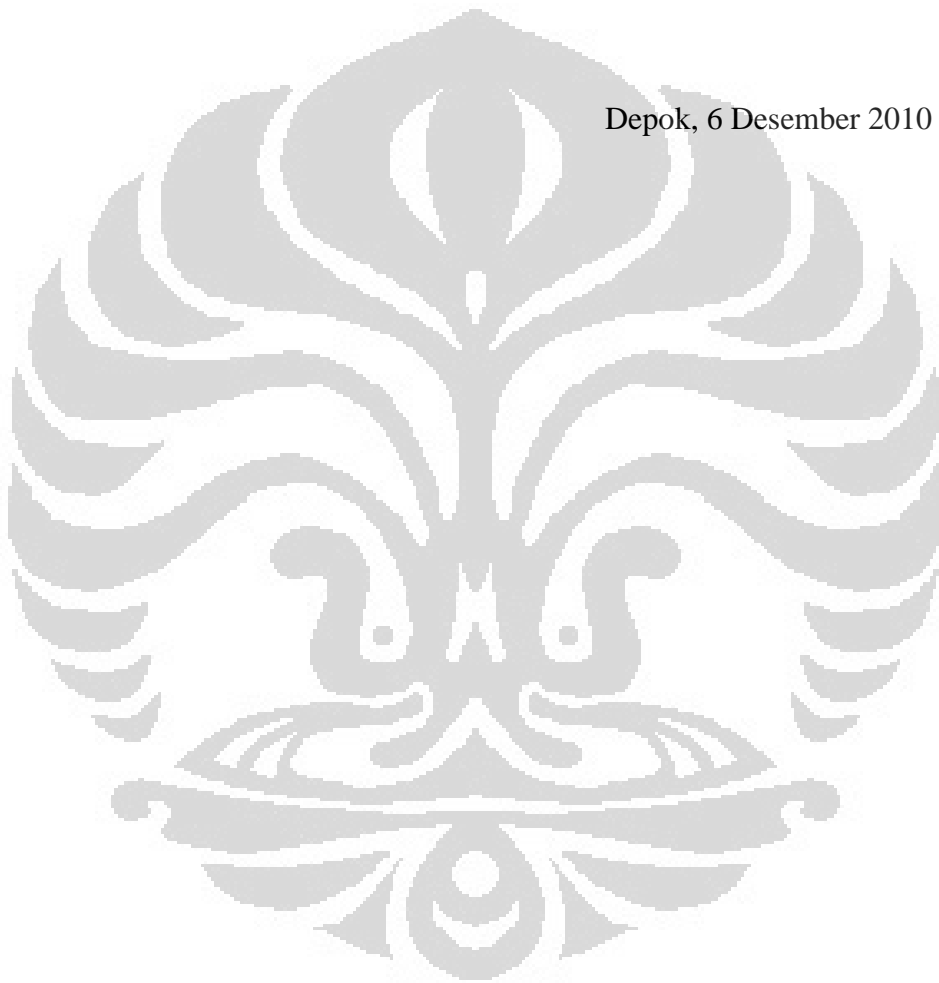
Penulis sangat menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai dengan penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi Penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Eng. Yunus Daud, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini. Selalu memberikan dukungan, saran dan masukan yang sangat bermanfaat dalam proses pembuatan skripsi ini maupun untuk kedepannya.
2. Dr.Eng.Supriyanto Suparno, M.Sc dan Drs. Lingga Hermanto M.si selaku dosen penguji atas saran, masukan, pengarahan dan kritiknya selama penulis menyusun skripsi.
3. Terkhusus untuk kedua orang tua dan keluarga saya yang tidak pernah hentinya memberikan dukungan baik moral maupun material, semangat serta doa yang selalu kalian curahkan. Terimakasih banyak Ibu, Bapak, A ihsan, Cecep, dan Muslim, semoga senantiasa berada dalam lindungan Allah SWT. Amiin.
4. Teman- teman yang sama-sama di bimbing oleh pak Yunus, Andri, Sandi, dan pak yanto, terimakasih atas diskusi masukan dan dukungannya.
5. Kak Lendri dan Ka Surya, terima kasih banyak atas masukan, dukungan serta diskusi yang selalu dan sangat bermanfaat.
6. Tomy, Handoko, Kholik, Agus, dan seluruh warga kosan Ciputra, terimakasih atas pinjaman KTM nya, serta dukungannya dalam penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman yang KP di lab Geofisika, Dzil, Afar, Deni, Nanda, Suhendra, dan Igan.
8. Putri wulan, sahabat yang selalu memberikan dukungan dan semangat. Serta masukan-masukan yang sangat berarti.

9. Seluruh sahabat dan teman-teman. Khalid, Iyan, Rhyan, Arnold, Imam, Supri, Syahrul, Doko, Haris, Heni, Dedew, Rian hidayat, yaya, Arfan, Ledong, dan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, terima kasih banyak untuk semua pihak yang telah membantu. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan kalian. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan dan perkembangan geothermal di Indonesia ataupun Internasional.

Depok, 6 Desember 2010



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

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

Nama : Harry Al Anshory
NPM : 0606068253
Program Studi : Geofisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

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

**PEMODELAN SISTEM GEOTHERMAL DAERAH X MENGGUNAKAN METODE
MAGNETOTELLURIC**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal :

Yang menyatakan

(Harry Al Anshory)

ABSTRAK

Nama : Harry Al Anshory
Program studi : Geofisika
Judul : Pemodelan Sistem Geothermal Daerah X Menggunakan Metode Magnetotelluric

Dilakukan pemodelan sistem geothermal dengan menggunakan metode Magnetotelluric (MT). Metode ini menggunakan sumber alami gelombang (natural Source) yang berasal dari solar wind, ataupun gelombang elektromagnetik lainnya yang ada di ionosfer. Pengolahan data dilakukan dengan melakukan pemilahan frekuensi yang tepat untuk mendapatkan sinyal yang dapat merepresentasikan keadaan subsurface serta untuk menghilangkan noise. Dilakukan pula koreksi pergeseran static menggunakan metode cokriging untuk menghilangkan efek distorsi. Setelah tahap pengolahan data selesai dilakukan proses inversi data MT, Visualisasi 3-Dimensi, serta dilakukan integrasi terpadu terhadap data-data yang lain, baik geologi ataupun geokimia guna mendapatkan pemodelan dari suatu system geothermal.

Kata-kata kunci : geothermal, magnetotelurik, MT2Dinv, noise, clay cap, reinjeksi, reservoir, hot rock.

ABSTRAK

Name : Harry Al Anshory
Study Program : Geofisika
Title : Geothermal System Modeling Using Magnetotelluric Method in X Area

Geothermal System Modeling has been illustrates Using Magnetotelluric Method. This method utilize a natural source waves which are come from solar wind, or the other Electromagnetic Waves in an ionosphere. Earlier data has been process with frequency sorting for gets the right signal points and remove noises. Then the Cokriging method utilized to remove the distortion effect with Static shift correction. After Data processing phases are finished, 2D Inversion, and 3D visualization of MT data are needed. And then for illustrates good geothermal system modeling, we must integrated MT and the others data, like geology or geochemistry data.

Key Words : geothermal, magnetotellurik, MT2Dinv, SSMT2000, noise, clay cap, reinjection, reservoir.

DAFTAR ISI

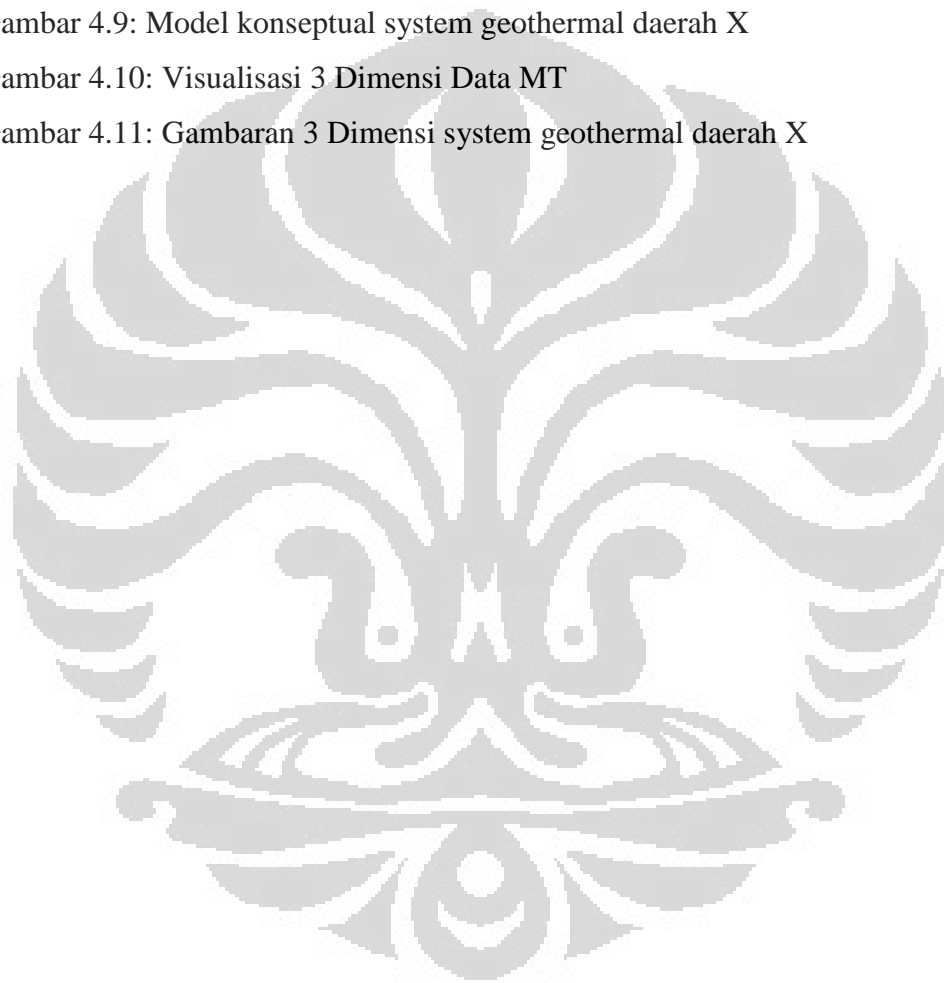
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN PUBLIKASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PENGESAHAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB II TEORI DASAR	7
2.1 Sistem Geothermal	7
2.2 Klasifikasi System Geothermal	8
2.2.1 Berdasarkan Kondisi Geologinya	8
A. <i>Magma heated Dry steam Resources</i>	8
B. <i>Andesitic Volcanic Resources</i>	9
C. <i>Caldera Resources</i>	9
D. <i>Sedimentary Hosted Volcanic Resources</i>	10
E. <i>Extensional Fault controlling Resources</i>	10
F. <i>Oceanic Basalt Hosted Resources</i>	10
2.2.2 Berdasarkan Jenis Fluida Produksi dan Kandungannya	11
A. Sytem Geothermal satu Fasa	11
B. Sytem Geothermal dua Fasa	12

i. Sytem Dominasi Uap	12
ii. Sytem Dominasi Air	12
B. Klasifikasi Sistem berdasarkan Temperatur	13
2.3 Metode Magnetotelluric (MT)	13
2.3.1 Konsep Dasar Metode MT	15
2.3.2 Skin Depth	16
2.3.2 Tensor Impedansi	17
2.4 Data Geofisika Pendukung	18
2.3.1 Metode Resistivity	18
2.3.2 Metode Gravitasi	20
BAB III PENGOLAHAN DATA	24
3.1 Pengolahan Data MT	24
3.2 Koreksi Pergeseran Statik	27
3.3 Pemodelan Inversi Data MT	29
3.4 Visualisasi 3 Dimensi Data MT	32
3.5 Pengolahan Data Geofisika Pendukung	33
3.5.1 Pengolahan Data Gravitasi	33
3.5.2 Pengolahan Data Resistivity Mapping	35
BAB IV PEMBAHASAN	37
4.1 Kondisi Geologi Daerah Pengukuran	37
4.2 Manifestasi Permukaan	39
4.3 Integrasi Terpadu	41
4.4 Model konseptual Sistem Geothermal Daerah X	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	50
REFERENSI	51
LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1:Flowchart metodologi Penelitian	5
Gambar 2.1:Sistem Geothermal Magma-Heated	8
Gambar 2.2 :Sistem Geothermal Andesitic Volcanic	9
Gambar 2.3: Sistem Geothermal Caldera Resources	9
Gambar 2.4: Sistem Geothermal Sedimentary Hosted- Volcanic resources	10
Gambar 2.5: Sistem Geothermal tipe oceanic	11
Gambar 2.6: Fase Diagram Air	11
Gambar 2.7: Gambaran Rekahan Pada Sistem Dominasi Uap	12
Gambar 2.8: Gambaran Rekahan Pada Sistem Dominasi Air	13
Gambar 2.9: Gambaran Gelombang EM dari solar wind	14
Gambar 2.10: Gambaran Konfigurasi Pengukuran MT	15
Gambar 2.11: Bidang ekuipotensial yang dibentuk oleh elektroda arus	19
Gambar 3.1: Tampilan awal <i>software</i> SSMT2000	25
Gambar 3.2: kalibrasi data MT lapangan	25
Gambar 3.3: Kurva <i>app resistivity</i> dan <i>phase</i> sebelum editing	26
Gambar 3.4: Kurva <i>app resistivity</i> dan <i>phase</i> setelah editing	27
Gambar 3.5: Kurva <i>app resistivity</i> dan <i>phase</i> sebelum koreksi ststic	28
Gambar 3.6: Kurva <i>app resistivity</i> dan <i>phase</i> setelah koreksi ststic	29
Gambar 3.7: Tampilan awal <i>software</i> MT2DInv	30
Gambar 3.8: Data MT yang dimasukkan ke dalam MT2DInv	30
Gambar 3.9: Tampilan saat melakukan proses inversi.	31
Gambar 3.10: Hasil inversi dengan <i>software</i> MT2DInv	31
Gambar 3.11: Visualisasi 3 Dimensi Data MT	32
Gambar 3.12 : Gambaran Kontur anomaly bouger	33
Gambar 3.13 : Gambaran Kontur anomaly Regional	34
Gambar 3.14: Gambaran Kontur anomaly Residual	34
Gambar 3.15: Lintasan pemodelan penampang 2D yang sesuai dengan line MT 10	34
Gambar 3.16: Struktur geology batuan lintasan line MT 10	35
Gambar 3.17: Kontur Data Resistivity Mapping	36

Gambar 4.1:Peta Geologi Lokal Daerah Penelitian	38
Gambar 4.2: Diagram data geokimia manifestasi permukaan di daerah penelitian.	39
Gambar 4.3: Kontur Data Resistivity Mapping	42
Gambar 4.4: Penampang MT line 9	43
Gambar 4.5: Penampang MT line 8	43
Gambar 4.6: Penampang MT line 2, 3, dan 10	44
Gambar 4.7: Anomaly Bouger data Gravitasi	45
Gambar 4.8: Pemodelan struktur geologi batuan line MT 10	46
Gambar 4.9: Model konseptual system geothermal daerah X	46
Gambar 4.10: Visualisasi 3 Dimensi Data MT	47
Gambar 4.11: Gambaran 3 Dimensi system geothermal daerah X	48



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1: Tabel Klasifikasi Temperatur Sistem Panas Bumi	13
Tabel 1.2: Tabel Harga tahanan jenis beberapa batuan	19
Tabel 4.1: Data Manifestasi Permukaan yang ditemukan di lokasi penelitian	40
Tabel 4.2: Data Geokimia manifestasi permukaan	40



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Daerah X merupakan daerah yang berpotensi akan adanya prospek energi *geothermal*, hal ini dapat dilihat dari banyaknya manifestasi permukaan di daerah tersebut. Manifestasi permukaan yang muncul di daerah ini, diantaranya adalah Fumarol dan mata air panas tipe *steam-heated* yang memiliki kadar *sulfat* (SO₄) tinggi dan berada di topografi yang tinggi. Selain itu ditemukan juga mata air panas yang memiliki kadar *chlorite* yang tinggi di daerah yang memiliki topografi yang rendah. Dari dugaan awal dapat diperkirakan bahwa area *up flow* berada pada manifestasi yang memiliki kadar *sulfat* tinggi, sedangkan *out flow* diperkirakan berada pada area manifestasi yang memiliki kadar *chlorite* yang tinggi. Akan tetapi untuk dapat mengetahui batasan zona reservoir dan bagaimana sistem serta struktur yang mengontrol daerah tersebut, diperlukan survei geofisika untuk menginvestigasi keadaan subsurface di daerah tersebut.

Metode Magnetotelluric (MT) merupakan salah satu metode geofisika yang sangat efektif dalam mendeteksi dan memodelkan system *geothermal* dibawah permukaan bumi. Dibandingkan dengan metode seismik, MT memberikan hasil resolusi yang lebih bagus dalam memodelkan sistem *geothermal*. Hal ini dikarenakan, Daerah *geothermal* biasanya berada di sekitar daerah pegunungan berbatuan vulkanik dengan topografi yang tidak rata. Metode MT dapat diterapkan dalam suatu wilayah yang batuan sekitarnya batuan vulkanik. Untuk daerah seperti itu, metode seismik kurang bisa diterapkan karena resolusi data yang diperoleh kurang baik karena reverberasi akibat struktur geologi yang kompleks (Sharma, 1997). Selain itu

penetrasi dari metoda MT lebih besar dibandingkan metode-metode lain seperti resistivity dan lainnya.

Metode Magnetotelluric merupakan metode geofisika yang menggunakan medan electromagnetic alami sebagai sumbernya. Sumber dari metode ini berasal dari solar wind yang mengganggu medan magnetik bumi, ataupun berasal dari petir yang ada di ionosfer. Frekuensi dari sumber gelombang MT relative kecil, yaitu berkisar antara 10^{-4} Hz- 10 Hz . dan dengan frekuensi yang rendah tersebut, menyebabkan penetrasi yang dicapai metode MT sangatlah dalam, bias mencapai lebih dari 10 Km (Widarto, 2010).

Sistem geothermal dapat digambarkan sebagai air yang berkonveksi di kerak bumi bagian atas, yang jika terperangkap dalam ruang yang tertutup, akan mentransfer panas dari sumber panas ke area reservoir yang telah berisi fluida. Sistem geothermal biasanya ditutupi oleh claycap yang telah mengalami proses alterasi. Karakteristik dari claycap tersebut memiliki harga resistifitas yang *low*. Dan hal itu dapat dideteksi dengan metode Magnetotelluric.

Untuk memberikan konseptual model dari sistem geothermal yang jelas, diperlukan pemodelan 2-Dimensi Pemodelan. Dan dengan pemodelan 3-Dimensi, metode MT diharapkan dapat memberikan gambaran fisis kondisi bawah permukaan yang lebih detail akan pola penyebaran system geothermal, yang berhubungan dengan *up flow* serta *out flow*.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memahami prosedur pengolahan dan interpretasi data hasil eksplorasi dengan metode *Magnetotelluric* (MT).
2. Mempelajari karakteristik anomali geofisika yang ditimbulkan oleh respon dari sistem *geothermal* yang dihasilkan oleh Metode MT.

3. Membuat Pemodelan 2 dan 3-Dimensi data MT serta didukung oleh Data Geologi dan Geokimia.
4. Mengidentifikasi zona system geothermal dan melokalisir pola penyebaran aliran dari reservoir.
5. Memberikan rekomendasi penempatan lokasi sumur produksi dan reinjeksi.
6. Untuk memenuhi syarat tugas akhir S1 Departemen Fisika, FMIPA, UI.

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini, penulis membahas tentang pemodelan sistem geothermal dengan menggunakan data magnetotelluric (MT). Tahapan pemodelan MT ini dimulai dengan melakukan transformasi fourier terhadap data lapangan, dengan mengubah data time domain ke frekuensi domain. Dari data frekuensi domain tersebut, dilakukan uji coba (*trial and error*) untuk melakukan pemilihan data yang baik. Kemudian dari data MT tersebut, dilakukan pemodelan 2 dan 3 Dimensi sistem geothermal.

1.4 METODOLOGI PENELITIAN

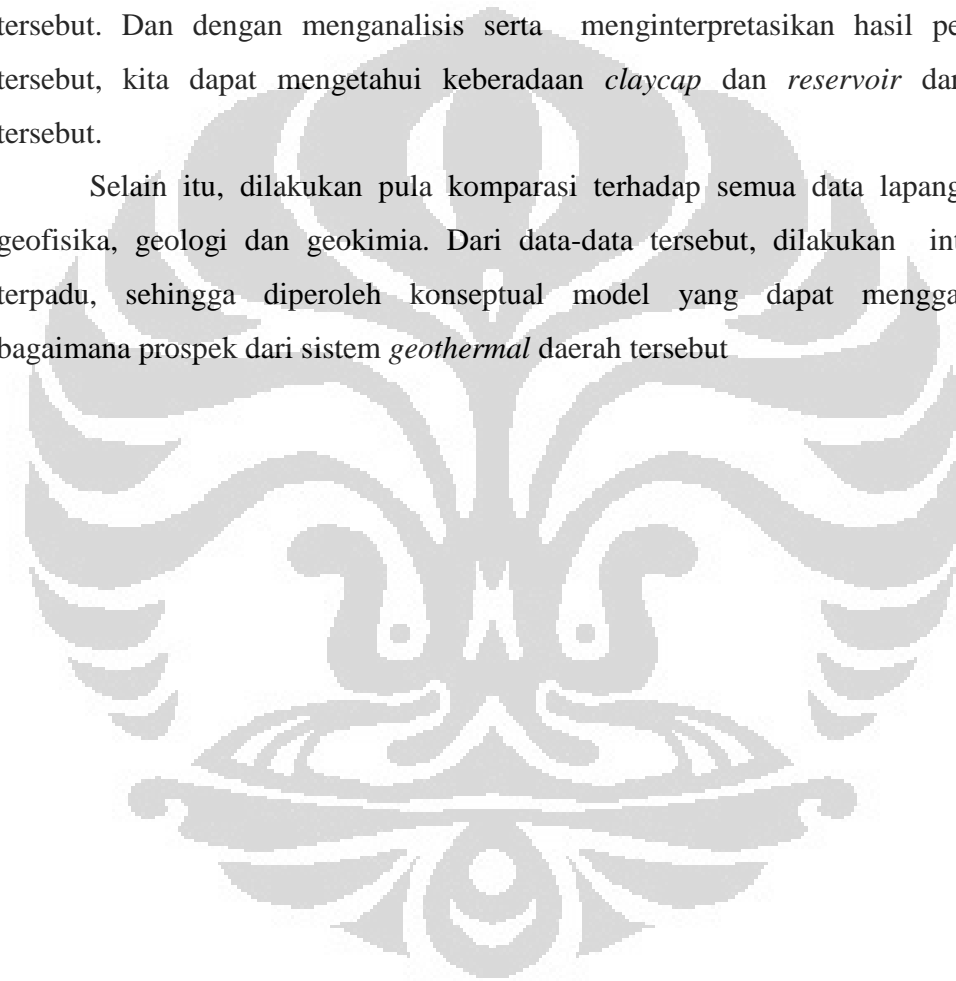
Penelitian dimulai dari studi literatur mengenai sistem geothermal, serta literatur lain yang berhubungan dengan metode magnetotelluric. Selanjutnya dilakukan tahap-tahap penelitian seperti yang telah digambarkan dalam *flowchart* penelitian (Gambar 1.1). Pertama-tama dilakukan pengumpulan berbagai data yang berkaitan dengan data lapangan Daerah x, baik data geologi, geokimia, serta geofisika.

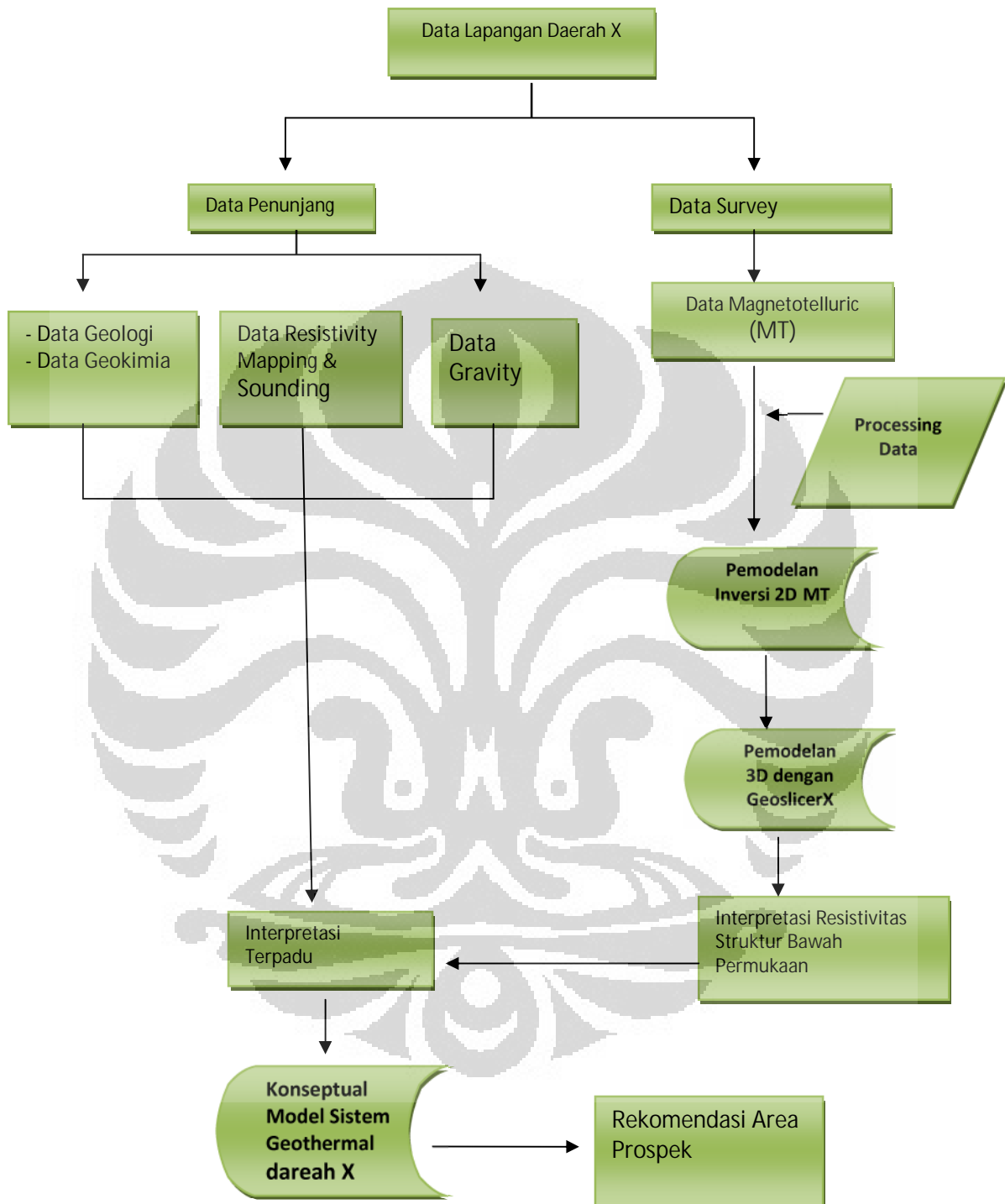
Dari data geofisika yang telah diperoleh, dilakukan *processing* data

magnetotelluric (MT), sehingga didapat hasil berupa penampang 2-Dimensi. Untuk lebih mempermudah dalam menginterpretasi, maka dari penampang 2-Dimensi yang diperoleh, dilakukan pemodelan 3-Dimensi dengan menggunakan *software* Geoslicer X.

Dengan diperolehnya display penampang data MT tersebut, maka kita akan mengetahui harga resistifitas struktur bawah permukaan dari sistem *geothermal* tersebut. Dan dengan menganalisis serta menginterpretasikan hasil pemodelan tersebut, kita dapat mengetahui keberadaan *claycap* dan *reservoir* dari sistem tersebut.

Selain itu, dilakukan pula komparasi terhadap semua data lapangan, baik geofisika, geologi dan geokimia. Dari data-data tersebut, dilakukan interpretasi terpadu, sehingga diperoleh konseptual model yang dapat menggambarkan bagaimana prospek dari sistem *geothermal* daerah tersebut





Gambar 1.1 Flowchart metodologi Penelitian

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang penulis lakukan secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut :

Dalam **BAB 1** berisi pendahuluan, di dalamnya dijelaskan tentang latar belakang masalah, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, sistematika penulisan. Sedangkan dalam **BAB 2** dibahas tentang konsep dasar yang mendukung dalam penulisan ini. Dalam bab ini dijelaskan tentang konsep dasar metode MT dan Sistem geothermal. Dalam **BAB 3** pembahasan mengarah kepada pemrosesan data MT dengan SSMT2000 dan MT editor, pemodelan inversi data MT dengan software MTsoft2D, MT2DInv, dan Geoslicer X. Pada **BAB 4** penulis membahas Perbandingan hasil Pemodelan data MT dengan data pendukung, diantaranya data resistivity, Gravity, data Geologi, dan Geokimia, kemudian dilakukan pemodelan yang merepresentasikan system geothermal daerah pengukuran, dengan melakukan integrasi terpadu dari data-data penunjang tersebut. Pada bab ini diharapkan pembaca dapat mengetahui latar belakang dirumuskannya kesimpulan-kesimpulan pada bab keenam. Pada **BAB 5** berisi kesimpulan dari analisis dan pembahasan yang dilakukan dan saran yang mungkin dilakukan dalam rangka perbaikan untuk studi lebih lanjut.

BAB II

TEORI DASAR

3.1 SISTEM GEOTHERMAL

Kata geothermal secara bahasa terbentuk dari dua kata yaitu *geo* yang berarti bumi dan *thermal* yang berarti panas. Jadi istilah geothermal sama dengan *panas bumi*. Geothermal dapat diartikan sebagai energi panas yang terbentuk secara alami dibawah permukaan bumi. Energi panas bumi (*geothermal*) adalah energi yang diekstraksi dari panas yang tersimpan di dalam bumi.

Sistem geotermal dapat digambarkan sebagai “air yang berkonveksi di kerak bumi bagian atas, yang jika terperangkap dalam ruang yang tertutup, akan mentransfer panas dari sumber panas (*heat source*) ke penampung panas (*heat sink*), yang biasanya permukaan tanah” (Hochstein, 1990).

Lapisan paling luar dari bumi bukan merupakan suatu lapisan batuan yang tidak kontinu tetapi terbagi-bagi menjadi bagian yang disebut dengan plate (lempeng). Lempeng-lempeng ini ada yang didiami oleh benua dan dasar laut. Lempeng-lempeng dari benua dan dasar laut bergerak dan saling menekan satu sama lain pada suatu proses yang disebut dengan *plate tektonik*. Interior bumi plate tektonik menyebabkan kerak bumi menjadi patah (*faulted/craked/fractured*) sehingga magma dapat naik ke kerak. Magma yang terbentuk di gunung api dapat mengalami pendinginan dari 1.000 sampai 1.000.000 tahun. Panas pada magma ditransfer ke batuan disekitarnya. Selanjutnya, daerah yang kosong akibat gas telah keluar dapat digantikan oleh air yang berada disekitarnya dengan mengisi patahan atau batuan-batuan yang berpori. Air menjadi dipanaskan dan bisa disirkulasi kembali ke permukaan menjadi manifestasi panas bumi seperti sumber air panas (*hot springs*), lumpur panas dan asap panas (*fumarol*) atau bisa juga terperangkap di bawah

permukaan bumi membentuk reservoir panas bumi dalam (*deep geothermal reservoirs*).

3.2 KLASIFIKASI SISTEM GEOTHERMAL

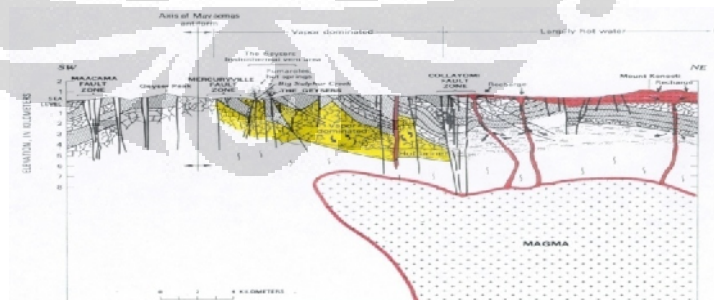
Sistem *Geothermal* dapat di klasifikasikan kedalam beberapa keadaan, diantaranya : berdasarkan kondisi geologinya, ataupun berdasarkan jenis fluidanya.

3.2.1 Klasifikasi System Geothermal berdasarkan kondisi geologinya

Berikut merupakan klasifikasi system geothermal berdasarkan keadaan geologi sekitarnya :

A. *Magma-heated, dry steam resources*

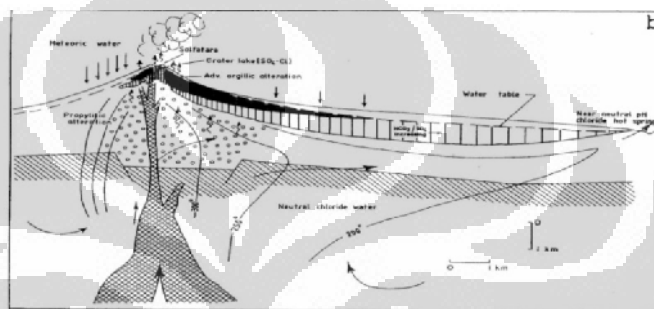
System geothermal pada tipe ini biasanya terletak pada topografi tanah yang *rugged* (tidak datar) serta daerah pegunungan. Reservoirnya umumnya sangat dalam, biasanya berkisar antara 2500m - 4000m di bawah permukaan tanah. Sedangkan sifat permeabelitasnya dari batumannya (*fracture*) relatif *low to moderate*.



Gambar 2.1 Sistem Geothermal Magma-Heated (Daud, 2009)

B. Andesitic-Volcanic Resources

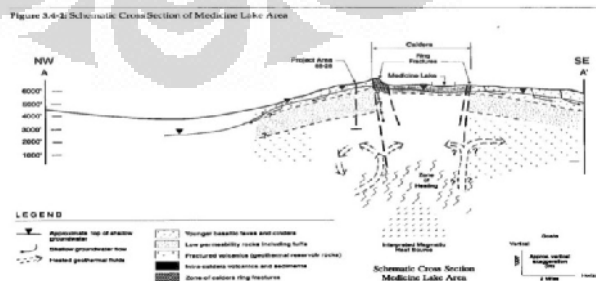
System geothermal pada tipe ini biasanya terletak pada topografi pegunungan vulkanik yang didominasi batuan andesit seperti basalt, dll. Tipe system geothermal ini, banyak terdapat di wilayah piliphina, Indonesia, dan amerika bagian tengah ataupun selatan. Berbeda dengan type A, *reservoir* sistem *Geothermal* ini berada pada kedalaman yang relatif deep to moderate. batuannya (*fracture*) pada tipe ini, relatif *low to moderate* Sedangkan sifat permeabelitasnya seringkali besar



Gambar 2.1 Sistem Geothermal Andesitic Volcanic (Daud, 2009)

C. Caldera Resources

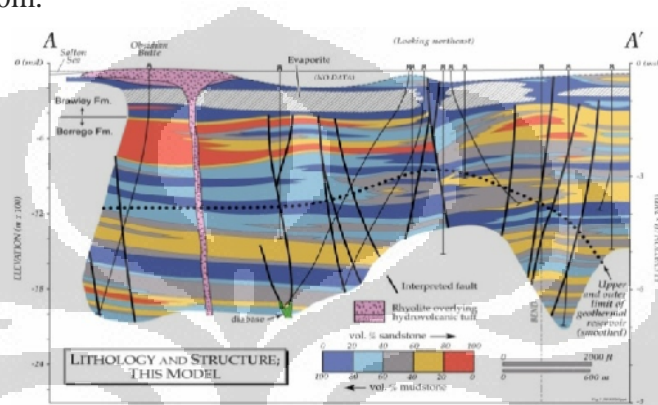
Type system geothermal *Cladera Resources*, merupakan system *geothermal* yang berada pada daerah caldera (kawah besar) yang berasal dari hasil letusan gunung api beberapa juta tahun yang lalu. Kedalaman *reservoir* pada tipe ini relative dangkal, biasanya berkisar kurang dari 2500m di bawah permukaan tanah. Sifat permeabelitasnya dari batuan (*fracture*) relatif *low* (rendah).



Gambar 2.3 Sistem Geothermal Caldera Resources (Daud, 2009)

D. Sedimentary-hosted, Volcanic Resources

System geothermal terdapat pula pada daerah batuan sedimen, tepatnya pada batuan sedimen yang berada di bawah batuan (daerah) vulkanik yang biasanya disertai pula dengan *unconformity* dan juga *channel*. Topografi system *geothermal* ini relatif rendah sedangkan kedalaman reservoirnya relatif menengah, yaitu berkisar antara 2500m – 3500m.



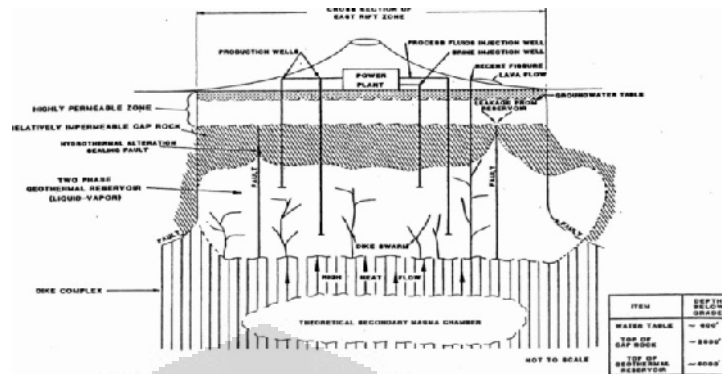
Gambar 2.4 Sistem Geothermal Sedimentary Hosted- Volcanic resources (Daud, 2009)

E. Type E – Extensional, Fault-controlled, Resource

Type system geothermal ini biasanya terletak pada daerah *valley floor* yang rendah, serta daerah yang *Rugged* (tidak datar) pada *up throw*. Kedalaman *reservoir* type ini relatif dalam, yaitu berkisar antara 2500m – 3500m di bawah permukaan tanah. Sedangkan permeabilitas tipe ini umumnya dominan dikontrol oleh patahan (*fault*).

F. Oceanic, Basalt-hosted Resources

Biasanya berada pada daerah kepulauan serta topografinya yang relatif *rugged to flat*. Kedalaman reservoir nya relatif *shallow*, yaitu berkisar antara 1000 – 2000 meter dibawah permukaan tanah. System *geothermal* ini dapat pula dikatakan *two face*, yang dimana permeabilitasnya tinggi kearah vertikal, sedangkan kearah horizontalnya bersifat variable (tidak tetap)

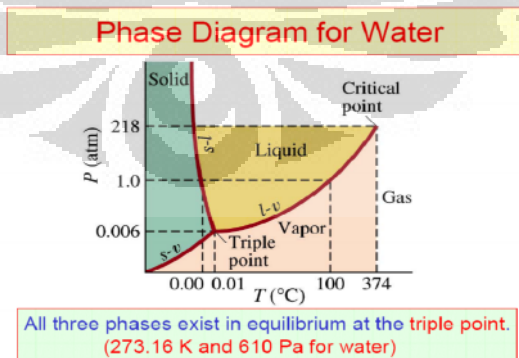


Gambar 2.5 Sistem Geothermal tipe oceanic (Daud 2009)

3.2.2 Klasifikasi System Geothermal berdasarkan jenis fluida produksi dan kandungan fluida utamanya

A. Sistem Geothermal Satu Fasa

Sistem pada type ini, umumnya berisi air dengan temperatur berkisar antara 90 -180 derajat Celsius. System umumnya berisi air, bukan uap, dikarenakan tekanan dalam bumi yang tinggi. Selain itu, pada system ini juga Tidak terjadi pendidihan selama proses eksploitasi.



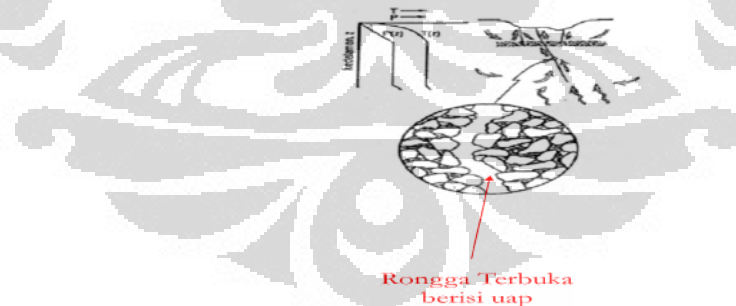
Gambar 2.6 Fase Diagram Air (Daud 2009)

B. Sistem Geothermal Dua Fasa,

Sistem Geothermal dua fasa, terbagi menjadi dua jenis, diantaranya :

i. Sistem Dominasi Uap

Sumur-Sumur produksi pada system ini umumnya didominasi uap, baik uap kering atau uap basah. Hal itu dikarenakan rongga-rongga batuan reservoirnya sebagian besar berisi uap. Diperkirakan uap mengisi rongga-rongga, saluran-terbuka, atau rekahan-rekahan, sedangkan air mengisi pori-pori batuan. Karena jumlah air yang terkandung dalam pori-pori relatif sedikit, maka saturasi air diperkirakan sama atau sedikit lebih besar dari saturasi air konat (S_{wc}) Sehingga air terperangkap dalam pori-pori batuan. Pada Sistem dominasi Uap harga permeabilitas lapisan nya relatif besar, maka terjadi konveksi uap didaerah tersebut, dan pergerakannya pun relatif *homogen* keatas, sehingga Harga Temperatur (T) dan Tekanan (P) relatif konstan. salah satu contohnya adalah system geothermal di daerah kamojang dan darajat (Indonesia) karena sumur-sumurnya umumnya menghasilkan uap kering. Di daerah kamojang, diperkirakan 35% dari batuan reservoirnya berisi air (Saturasi Airnya 35%). Sedangkan rongga-rongga lainnya berisi uap. Sedangkan di daerah darajat, Saturasi Airnya diperkirakan 33%.

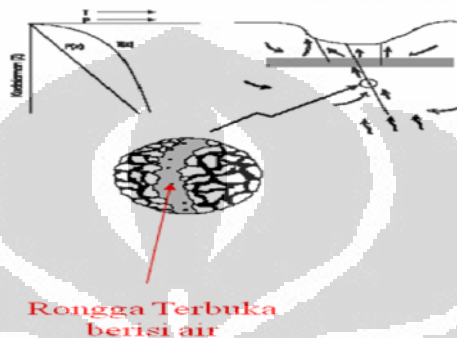


Gambar 2.7 Gambaran Rekahan Pada Sistem Dominasi Uap (Daud 2009)

ii. Sistem Dominasi Air (Water Dominated System)

Sumur-sumur produksi pada system ini, umumnya menghasilkan fluida 2 fasa berupa campuran uap dan air. Air mengisi rongga-rongga, saluran terbuka dan

rekahan, sedangkan uap mengisi pori-pori batuan. Pada Sistem dominasi air harga permeabilitas lapisannya relatif kecil. Di daerah tersebut terjadi konveksi uap juga, akan tetapi pergerakannya relatif tidak homogen, karena permeabilitas yang kecil menyebabkan terjadinya kebocoran (*out flow*) sehingga Harga Temperatur (T) dan Tekanan (P) relatif tidak konstant. Contohnya : Lapangan Awibengkok (Sukabumi)



Gambar 2.8 Gambaran Rekahan Pada Sistem Dominasi Air (Daud 2009)

C. Klasifikasi Sistem Berdasarkan Temperatur

Tabel 1,1 : Tabel Klasifikasi Temperatur Sistem Panas Bumi (Daud, 2009)

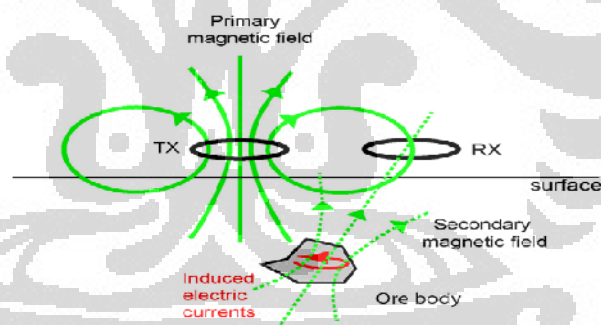
Klasifikasi Sistem Panasbumi
Berdasarkan Temperatur

	Muffer & Cataldi (1978)	Benderiter & Cormy (1990)	Haenel, Rybach & Stegna (1988)	Hochstein (1990)
Sistim panasbumi entalphi rendah	<90°C	<100°C	<150°C	<125°C
Sistim panasbumi entalphi sedang	90-150°C	100-200°C	-	125-225°C
Sistim panasbumi entalphi tinggi	>150°C	>200°C	>150°C	>225°C

3.3 METODE MAGNETOTELLURIC (MT)

Magnetotellurik merupakan gelombang elektromagnetik yang bersumber dari atmosfer menuju bumi. Karena sifat udara yang resistif, gelombang tersebut

langsung merambat ke bumi yang konduktif secara tegak lurus dan menyebar secara difusi. Sebagian gelombang akan masuk ke dalam bumi secara difusi, dan sebagian gelombang lainnya akan terepleksikan lagi ke atas. Gelombang ini dapat dimanfaatkan untuk menginvestigasi struktur resistivity bumi. Magnetotellurik Variasi magnetik pada medan magnetik alami bumi menghasilkan frekuensi DC hingga beberapa kHz, sehingga dapat membantu kita untuk mempelajari struktur elektrik bumi hingga cukup dalam. Pada perambatannya, gelombang elektromagnetik tersebut merambat konduktif dan tegak lurus. Hal ini dikarenakan adanya sifat udara yang resistif yang menjadi medium perambatan gelombang. Gelombang EM yang ditransmisikan ke dalam bumi berinteraksi dengan medium yang memiliki nilai resistivitas tertentu, hasil dari interaksi tersebut mengakibatkan terjadinya arus telurik dan medan magnet sekunder yang nantinya sinyal tersebut akan ditangkap oleh alat MT untuk diketahui nilai resistivity di dalamnya. Sehingga hal tersebut dapat dimanfaatkan untuk menginvestigasi struktur tahanan jenis di bumi.



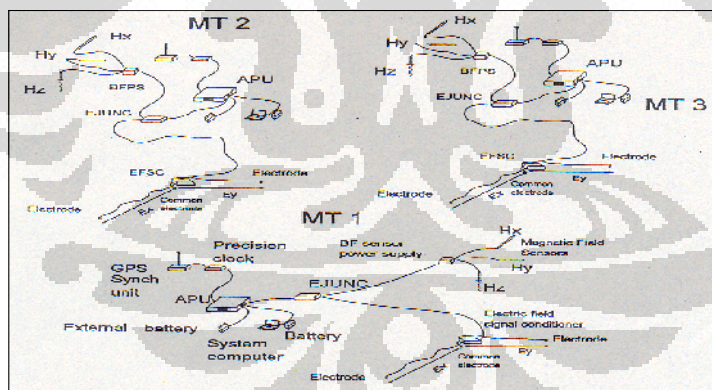
Gambar 2.9 Gambaran Gelombang EM dari solar wind, yang menjadi sumber metode MT

Gelombang ini dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

1. Sinyal yang berfrekuensi 1 Hz – 1 kHz. Sinyal ini dihasilkan di atmosfer bumi melalui aktivitas cuaca seperti aktifitas petir dan lainnya.
2. Sinyal di bawah 1 Hz. Sinyal ini berasal dari fluktuasi medan magnet akibat

interaksi magnetosfer dan badai matahari (*Solar Wind*) yang mengganggu medan magnet bumi.

Sinyal EM yang diakibatkan oleh kedua sumber di atas mengakibatkan terjadinya medan magnet kedua di dalam bumi akibat terjadi arus teluric pada batuan yang memiliki nilai konduktivitas tertentu. Sinyal medan magnet kedua tersebut diukur oleh alat MT dalam domain waktu, kemudian ditransformasikan dalam domain frekuensi pada tahap *processing* data MT. Perbandingan medan listrik dan medan magnetik dalam domain frekuensi menunjukkan informasi konduktivitas listrik bawah permukaan. Pemetaan konduktivitas batuan bawah permukaan sangat penting dilakukan untuk mengidentifikasi batuan sebagai pembelajaran dalam struktur geologi dan proses tektonik. Konduktivitas listrik merupakan parameter fisis penting bagi batuan yang digunakan untuk membedakan berbagai jenis batuan. Berikut ini adalah gambaran konfigurasi pengukuran Akuisisi MT di lapangan :



Gambar 2.10 Gambaran Konfigurasi Pengukuran MT (Daud, 2009)

3.3.1 Konsep Dasar Metoda MT

Sumber dari gelombang MT adalah gelombang Elektromagnetik yang berasal

dari alam (*natural Source*) baik berupa *solar wind*, ataupun petir di ionosfer. Konsep Elektromagnetik ini, sangat erat kaitannya dengan persamaan Maxwell.

Konsep tersebut dapat dijelaskan dengan empat persamaan Maxwell berikut :

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (3.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (3.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (3.4)$$

Dengan \mathbf{E} adalah medan listrik (V/m), \mathbf{H} medan magnet, \mathbf{B} kuat medan magnet (W/m^2), ρ rapat muatan (C/m^3), σ konduktivitas (S/m), ε konstanta dielektrik (F/m). Persamaan (2.2) menyatakan bahwa medan magnet \mathbf{B} tidak memiliki sumber. Persamaan (2.3) merupakan hukum Ampere dimana arus listrik \mathbf{j} membangkitkan rotasi medan magnet \mathbf{H} . Variasi perpindahan arus yang ada (*current displacement*) berupa pergerakan ion-ion pada ionosfere akan mengakibatkan perubahan medan magnet \mathbf{H} . Dengan asumsi hukum ohm berlaku dan medium dianggap linier isotropis ($\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ dan $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$). Persamaan (2.4) merupakan merupakan hukum Faraday dimana variasi medan magnet \mathbf{B} terhadap waktu, membangkitkan medan elektrik \mathbf{E} .

3.3.2 Skin Depth

Sama seperti persamaan difusi yang menggambarkan hantaran panas, persamaan difusi gelombang EM ini pun mengenal konsep *skin depth*, Salah satu sifat dari medan elektromagnetik adalah apabila medan elektromagnetik melewati lapisan konduktif maka energi dari medan elektromagnetik tersebut akan teratenuasi. Sehingga jarak tembus atau tempuh dari medan elektromagnetik tersebut juga akan

berkurang mengikuti seberapa besar nilai konduktifitas dari lapisan konduktif ketika melewati lapisan tersebut, jarak maksimum yang dapat dicapai oleh medan elektromagnetik saat menembus lapisan konduktif ini (Griffith, 1991). Secara garis besar, skin depth dapat diartikan sebagai fungsi kedalaman dimana amplitudo gelombang berkurang hingga kurang lebih menjadi sepertiga amplitudo awal. Untuk medium 1D homogen, diperoleh

$$\delta = 0.5\sqrt{\rho T} \quad (3.5)$$

Dengan δ skin depth (km), ρ resistivitas batuan ($\Omega.m$), dan T periode gelombang (detik). Makin kecil frekuensi gelombang, makin jauh penetrasi kedalamannya. Inilah konsep yang digunakan dalam metode MT yang menggunakan *natural source* yang merupakan gelombang Elektromagnetik berfrekuensi kecil.

3.3.3 Tensor Impedansi

Data medan listrik dan medan magnet dalam metode MT tidak digunakan secara terpisah. Keduanya digunakan untuk memperoleh besaran yang disebut impedansi. Impedansi merupakan perbandingan antara medan listrik dan medan magnet. Hubungan antara medan listrik, medan magnet dan impedansi adalah

$$\mathbf{E} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{H} \quad (3.6)$$

Dengan \mathbf{E} medan listrik, \mathbf{H} medan magnet, dan \mathbf{Z} adalah impedansi.

Karena \mathbf{E} dan \mathbf{H} adalah vektor (tensor rank-1), maka \mathbf{Z} secara umum adalah tensor rank-2. Untuk metode MT, komponen medan listrik dan medan magnet yang digunakan adalah komponen horisontal, sebab gelombang EM dianggap merambat vertikal. Jika *Poynting Vector* mengarah vertikal, maka vektor \mathbf{E} dan \mathbf{B} akan berada pada bidang horisontal tegak lurus *poynting vector*. Sehingga, hubungan di atas dapat dinyatakan lebih eksplisit menggunakan persamaan matriks

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

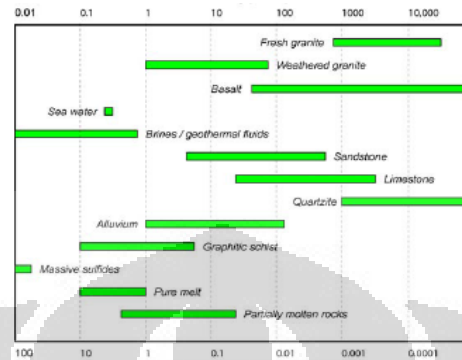
3.4 DATA GEOFISIKA PENDUKUNG

3.4.1 Metode Resistivity

Lapisan bumi jika ditinjau dari nilai resistivity tidaklah *homogen*. Metode resistivity bertujuan untuk dapat menentukan distribusi nilai resistivitas subsurface dari hasil pengukuran yang dilakukan di permukaan bumi. Dari hasil tersebut, maka dapat diestimasi true resistivity-nya. Karena besaran tersebut adalah besaran yang intensif (besaran yang tidak bergantung pada jumlah zat, akan tetapi bergantung pada jenis benda), maka besaran tersebut unik untuk tiap jenis benda yang berlainan susunan atom-atomnya. Dengan demikian, dapat ditentukan jenis batumannya apabila true resistivity-nya diketahui.

Salah satu sifat dasar batuan yang terkait dengan litologi yaitu hambatan jenis (resistivitas). Sifat dasar batuan ini dapat menghasilkan informasi yang sangat membantu dalam mengetahui struktur batuan bawah permukaan. Setiap Mineral mempunyai nilai resistivitas yang berbeda, walaupun terkadang intervalnya terlalu besar. Untuk eksplorasi deposit mineral pada umumnya mempunyai nilai hambatan jenis yang kecil atau bersifat konduktif (mudah menghantarkan arus listrik). Prinsip dasar metode DC Resistivitas adalah menginjeksikan arus listrik ke bawah permukaan melalui 2 elektroda arus atau biasa disebut *transmitter*, kemudian mengukur respon melalui 2 elektroda.

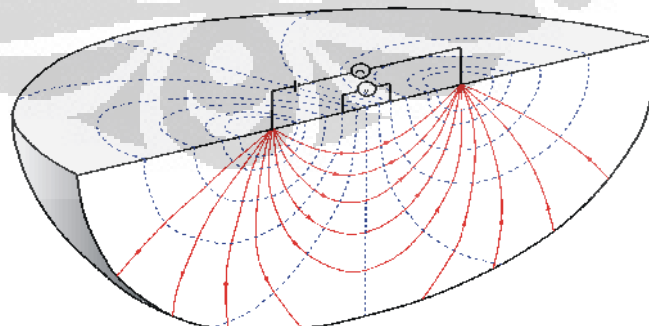
Tabel 1.2 : Harga tahanan jenis beberapa batuan



Aliran Arus Listrik Dan Beda Potensial Antara Dua Elektroda

Untuk benda yang memiliki arus (I) dan diketahui besarnya beda potensial (V), maka kita dapat mengetahui besarnya nilai resistivitas. Hukum Ohm menyatakan bahwa “Perbandingan beda potensial antara ujung-ujung konduktor terhadap arus yang melintas melaluinya selalu tetap”. (Isaacs, 1997).

Arus yang dialirkan oleh transmiter melalui elektroda arus, akan membentuk sebuah bidang ekuipotensial, yaitu bidang yang dibentuk oleh garis-garis arus aliran listrik yang tegak lurus dengan suatu permukaan dimana potensialnya sama di semua titik pada bidang tersebut.



Gambar 2.11 : Bidang ekuipotensial yang dibentuk oleh elektroda arus (Daud, 2009)

Pengukuran resistivitas dilakukan dengan menginjeksikan arus ke dalam bumi. Karena setiap benda memiliki resistivitas, maka dengan demikian akan timbul potensial sebagai akibat dari penginjeksian arus tersebut. Rasio dari keduanya akan menghasilkan hambatan sesuai dengan Hukum Ohm sebagaimana yang terlihat pada persamaan :

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.8)$$

3.4.2 Metode Gravitasi

Geofisika terapan sebagai salah satu cabang ilmu pengetahuan, telah banyak digunakan untuk mengeksplorasi bahan-bahan tambang yang terdapat dalam bumi yang bernilai ekonomis. Metoda geofisika secara teknis dapat dilakukan dengan mengukur besaran fisis dipermukaan bumi untuk menghasilkan data-data besaran fisis yang terdapat di dalam bumi. Termasuk dalam geofisika terapan adalah metoda gravitasi, seismik, magnet bumi, resistivitas, MT, dan metoda lain yang akan saling membantu dalam menjawab ada-tidaknya mineral atau deposit hidrokarbon yang tersebar dibawah permukaan bumi.

Metoda gravitasi adalah metoda untuk mengukur gravitasi yang disebabkan oleh massa di dalam bumi. Besaran tersebut didapat dengan bantuan alat ukur yang dinamakan gravimeter, yang telah dirancang untuk mengukur komponen tegak gravitasi. Prinsip dasar fisika yang mendasari metoda gravitasi adalah hukum Newton mengenai gaya tarik gravitasi yang menyatakan bahwa gaya tarik antara dua benda dengan masa m dan berjarak r .

Besaran yang diukur dalam metoda gravitasi adalah percepatan gravitasi yang dialami suatu massa benda akibat tarikan massa bumi M yang merupakan gaya per satuan massa yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\mathbf{g} = \frac{\mathbf{F}_g}{m} = -\frac{GM}{r^2} \mathbf{r} \quad (3.9)$$

Universitas Indonesia

dimana nilainya sekitar $9,80665 \text{ m/s}^2$.

FORMULA GRAVITASI

$$g_{\phi} = g_E (1 + \beta \sin^2 \phi - \varepsilon \sin^2 2\phi) \text{ mgal} \quad (3.10)$$

dengan :

g_E = harga gravitasi di ekuator

ϕ = lintang tempat stasiun pengamat

β & ε = Konstanta yang berhubungan dengan parameter bumi.

Persamaan tersebut dikenal sebagai formula gaya berat internasional (*International Gravity Formula*) yang ditetapkan oleh *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG, 1930). Pada rumusan gravitasi internasional tahun 1930 tersebut digunakan data parameter bumi (pepatan) sebesar $1/297$ (Hayford, 1910) dan radius ekuator $a = 6378388$ meter serta harga gravitasi di ekuator = 978.049 gal (hasil international association tahun 1924). Dari data tersebut, harga gravitasi teoritis pada lintang tempat pengamatan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$g_{\phi} = 978.049 (1 + 0.0052884 \sin^2 \phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi) \text{ gal} \quad (3.11)$$

Perbaikan-perbaikan parameter bumi terus dilakukan sehingga rumusan gravitasi teoritis dapat terus berubah. Dari tahun ketahun sejak Helmert (1901), Bowie (1917), Heiskanen (1938), IUGG tahun 1930, Heiskanen dan Outila (1957), dan seterusnya, sampai sekarang mengalami perbaikan data parameter bumi. Tahun 1980 di Canberra (*International Gravity Standardization*) menentukan sistem referensi geodesi dengan parameter pepatan bumi = $1/978.247$ dan jari-jari ekuator = 6378135 meter.

Rumusan gravitasi teoritis hasil IUGG (1967) = IGSN'71 yaitu :

$$g_{\phi} = 978.0318 (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi) \text{ gal} \quad (3.12)$$

Koreksi pada Metode Gravitasi

Data gravitasi yang kita peroleh dari lapangan masih banyak noise dan masih merupakan data mentah yang nantinya masih harus diolah lagi pada proses prosesing. Sebelum melakukan prosesing kita harus mereduksi (mengkoreksi) data yang kita peroleh dari lapangan beberapa koreksi yang digunakan pada penelitian adalah:

- Koreksi terhadap alat (*drift Correction*)
- Koreksi terhadap gaya tarik antar planet dan matahari (*Earth tides correction*)
- Koreksi terhadap ketidakhomogenan bumi (*Latitude Correction*)
- Reduksi terhadap ketinggian tempat pengukuran terhadap datum (*Free-air correction*)
- Reduksi terhadap variasi densitas pada tempat pengukuran terhadap datum (*Bouguer correction*)
- Koreksi terhadap keadaan topografi dari daerah yang akan diukur (*terrain correction*)

Prosesing pada Metode Gravitasi

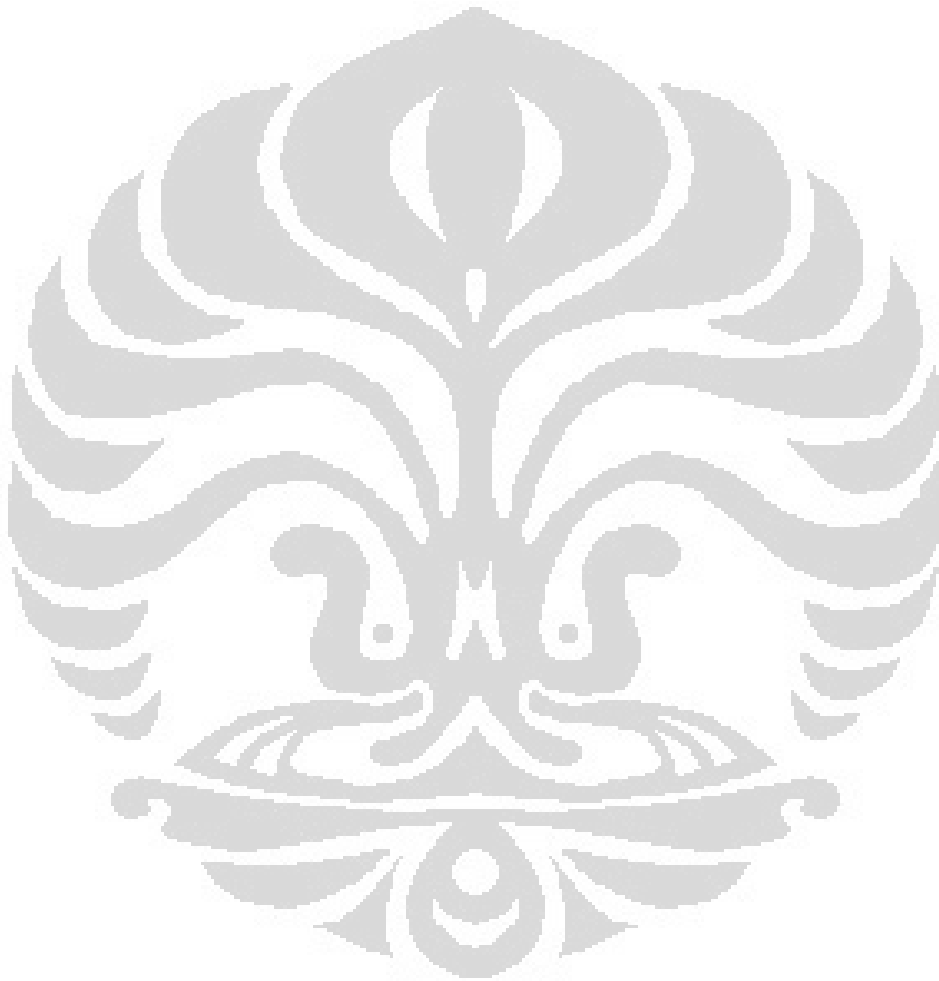
Pada proses prosesing akan digunakan metode parsnis dalam menentukan ρ rata-rata dari daerah Tersebut, yang dapat dijabarkan dalam bentuk:

$$\text{Anomali Bouguer} = g_{\text{observe}} - g_{\text{tide}} -/+ g_{\text{drift}} -/+ g_{\text{freeair}} -/+ g_{\text{BC}} - g_{\text{normal}} + g_{\text{TC}} \quad (3.13)$$

Dimana $g_{\text{observe}} - g_{\text{tide}} -/+ g_{\text{drift}} -/+ g_{\text{freeair}} - g_{\text{normal}} + g_{\text{TC}}$ kita anggap sebagai Y dan $g_{\text{BC}} (0,04193 \rho h)$ kita pecah menjadi $0,04193 \rho = \text{gradien}$ dari persamaan linear dan h (elevasi) sebagai X. lalu data ini semua kita plot ke dalam sebuah persamaan garis lurus :

$$Y = mX + C \quad (3.14)$$

Yang nilai $m = 0.04193 \rho$, sehingga kita akan mendapatkan ρ rata-rata daerah tersebut melalui pembagian gradien dengan konstanta 0.04193.



BAB III

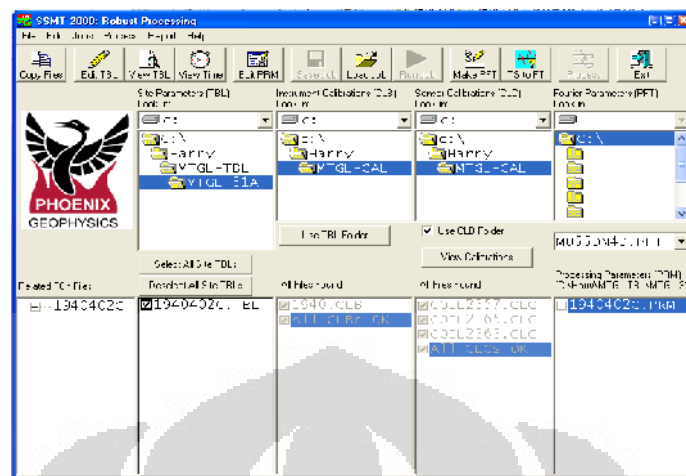
PENGOLAHAN DATA

Dalam melakukan pengolahan data MT, dilakukan beberapa tahap, mulai dari pengolahan data lapangan (awal), sampai tahapan inversi. Pengolahan data MT dimulai dengan, mengubah data lapangan yang formatnya time domain, ke frekuensi domain, dengan menggunakan Software SSMT 2000 dari Phonix Geophysics. Karena keterbatasan data TDEM, dan untuk menghindari terjadinya static shift, maka dilakukan pengolahan data dengan metode *geostatic* Cokriging. Sedangkan untuk pemodelan inversi digunakan software MT2DInv. Setelah melalui tahapan-tahapan tersebut, maka akan diperoleh pemodelan dari suatu *Anomaly/reservoir* yang kita inginkan.

Selain mengolah data MT dilakukan juga pengolahan data metode Gravitasi, dan resistivity mapping dengan menggunakan software Ms.Excel dan Surfer 8. Sedangkan data resistivity sounding, diolah dengan menggunakan software IP2win.

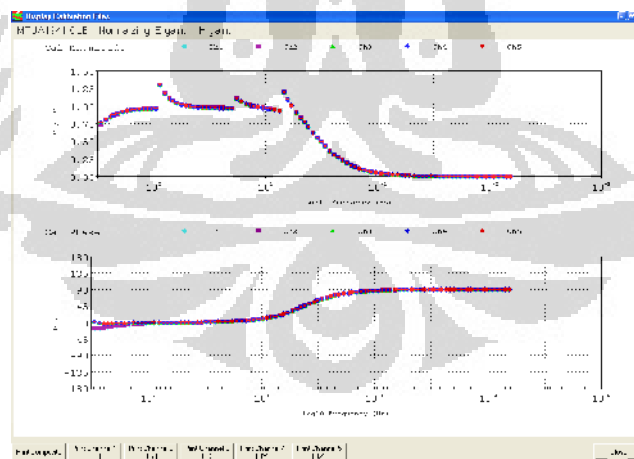
3.1 PENGOLAHAN DATA MT

Tahap awal dari pengolahan data MT adalah dengan melakukan transformasi dari data mentah MT yang merupakan time domain, ke dalam frekuensi domain. Transformasi yang digunakan, adalah Transformasi Fourier (*Fourier Transform*) . Dan untuk melakukan transformasi tersebut , digunakan software SSMT2000 dari Phonix Geophysics. Tampilan awal software SSMT2000 dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Tampilan awal *software* SSMT2000

Pertama-tama data MT dalam bentuk time series (File “*.TBL”) dimasukkan ke dalam *software* SSMT2000, kemudian dilakukan kalibrasi terhadap data tersebut (Gambar 3.2). Selanjutnya dilakukan proses transformasi ke dalam frekuensi series. Setelah proses transformasi fourier berlangsung, maka hasilnya disimpan dalam bentuk file “*.MTL” dan “*.MTH”.

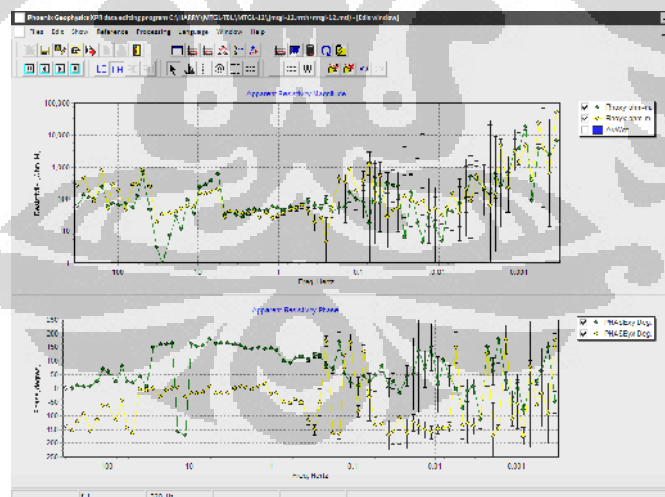


Gambar 3.2 : kalibrasi data MT lapangan, sebelum dilakukan fourier transform

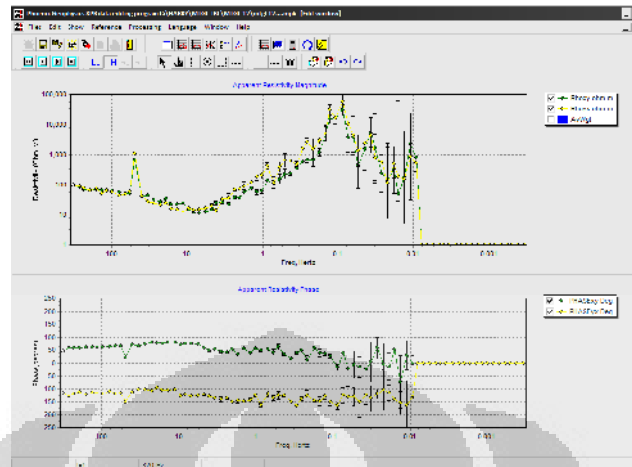
Data yang telah ditransformasi ke dalam frekuensi series tersebut, harus dilakukan pemilahan data. Data lapangan tersebut diperiksa kualitasnya dan

dilakukan *smoothing* untuk memilih sinyal yang tepat, yang dapat merepresentasikan keadaan *subsurface* yang dicari, serta untuk menghilangkan sinyal-sinyal gangguan / noise. Data yang baik akan memperlihatkan kurva yang kontinu. *Software* yang digunakan dalam proses ini adalah MT editor. Data yang dilakukan editing pada proses ini, harus merupakan data yang telah mengalami transformasi fourier (file “*.MTL” dan “*.MTH”), sedangkan save file nya berupa “*.mpk”.

Kurva data MT lapangan yang belum mengalami proses editing masih terkesan acak-acakan (Gambar 3.3). Sedangkan Kurva setelah melalui proses Editing akan membentuk kurva yang kontinu dan lebih halus (Gambar 3.4). Seperti kita ketahui, bahwa sumber dari metode MT adalah natural source, yang memiliki frekuensi rendah. Keunggulan dari frekuensi rendah adalah penetrasi yang dalam dan bisa mencapai puluhan, bahkan ratusan Km, akan tetapi frekuensi ini memiliki kelemahan pada resolusi yang dihasilkan. Karena objek yang dicari dalam penelitian ini adalah reservoir *geothermal*, yang mana kedalaman dari reservoir *geothermal* biasanya ada dalam kisaran kurang dari 5 Km, maka pada proses *editing*, data frekuensi yang terlalu kecil (kurang dari 0.01 Hz) dimatikan.



Gambar 3.3 : Kurva *apparent resistivity* dan *impedance phase* sebelum proses editing



Gambar 3.4 : Kurva *apparent resistivity* dan *impedance phase* setelah proses editing

Setelah dilakukan *editing*, dan diperoleh data yang baik, maka data tersebut dapat kita *export*, kedalam bentuk data lain (.txt, excel, dll) untuk dilakukan *inverse data*.

10.2 KOREKSI PERGESERAN STATIK

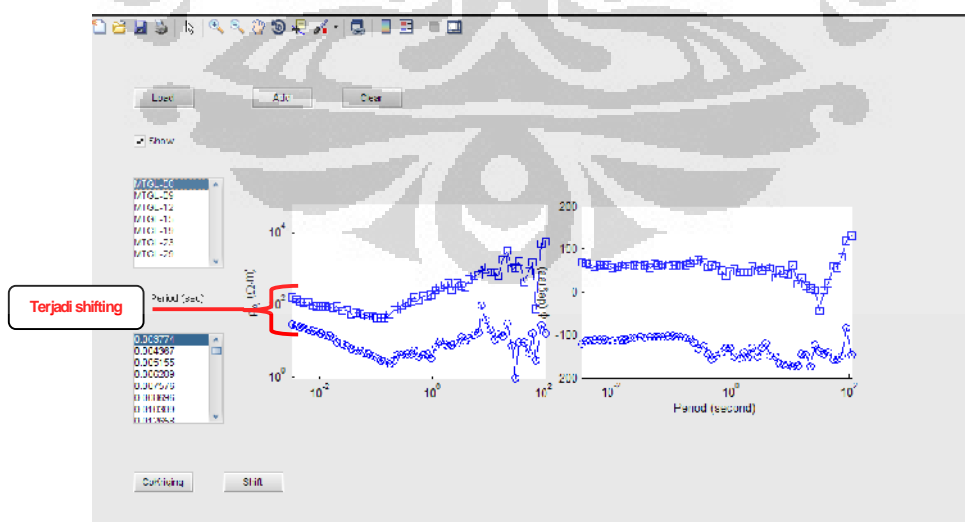
Sumber gelombang MT adalah Gelombang Elektromagnetik yang berasal dari alam (*natural Source*). Gelombang EM ini, mudah sekali mengalami distorsi, baik pada kurva TE mode ataupun kurva TM mode. Distorsi tersebut diakibatkan oleh perbedaan nilai resistivitas pada satu lapisan yang mengakibatkan terjadinya ambiguitas. Pergeseran static ini, diakibatkan oleh beberapa factor, diantaranya faktor topografi, kondisi batas, dll.

Jika kita melakukan permodelan dan interpretasi MT, menggunakan data yang mengalami distorsi, tentunya akan menghasilkan parameter pemodelan dan rekomendasi yang salah. Biasanya data pengukuran MT harus disertai pengukuran data “*Time Domain Electromagnetic*” (TDEM) juga. Data TDEM ini digunakan dalam proses koreksi *static*, guna menghilangkan efek distorsi yang terjadi. Koreksi dengan data TDEM ini, merupakan metode yang sering digunakan pada koreksi data MT. Data TDEM sering digunakan dalam koreksi static, karena hanya melibatkan

pengukuran medan magnet sekunder akibat induksi medan magnet primer, sehingga TDEM relatif tidak terpengaruh oleh anomali konduktivitas lokal dekat permukaan (Hendro dan Grandis, 1996). Akan tetapi karena keterbatasan data TDEM, maka dalam penelitian ini, dilakukan koreksi static alternative lain, menggunakan metode cokriging.

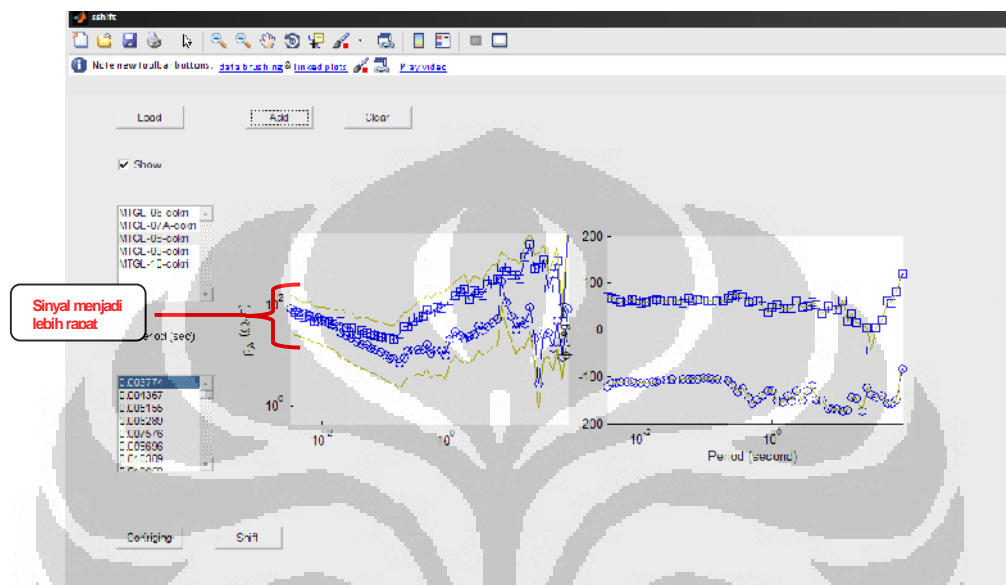
Metode cokriging, merupakan sebuah teknik dalam interpolasi yang menggunakan 2 variabel yang berbeda, akan tetapi secara spasial berhubungan. Dengan memanfaatkan hubungan spasial ini dapat diestimasi nilai-nilai dari suatu variabel berdasarkan nilai-nilai dari variabel lain yang diketahui dari hasil pengukuran. interpolasi yang dilakukan metode ini, memperhitungkan semua data yang ada disekitarnya, tanpa memperhitungkan seberapa jauh atau dekat jarak data disekitar tersebut dengan data yang ditentukan.

Pada penelitian kali ini, dilakukan koreksi static metode cokriging, menggunakan script program, dan algoritma yang dibuat menggunakan Matlab (Ningsih, 2010). Data yang dapat digunakan dalam program buatan Nugraheni Utami Ningsih ini, adalah data MT dalam format file “*.dts”. Tampilan data yang belum mengalami koreksi pergeseran static, dapat dilihat pada Gambar 3.5. dari gambar tersebut, terlihat adanya pergeseran (*shifting*) pada data-data yang awal. Hal itu disebabkan karena efek distorsi yang dapat dijelaskan pada uraian di atas.



Gambar 3.5 : Kurva *apparent resistivity* dan *impedance phase* sebelum dilakukan koreksi static

Setelah dilakukan koreksi pergeseran static, maka data yang tadinya bergeser dapat berubah menjadi lebih rapat. Hal itu merepresentasikan sebagai data asli yang tidak mengalami efek distorsi (Gambar 3.6).

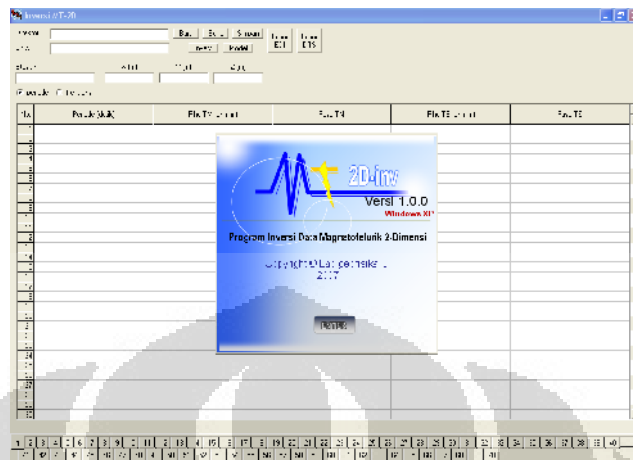


Gambar 3.6 : Kurva *apparent resistivity* dan *impedance phase* setelah dilakukan koreksi ststic

10.3 PEMODELAN INVERSI DATA MT

Setelah tahap pengolahan data selesai, maka dilakukan pemodelan Inversi data MT menggunakan Software MT2DInv yang dibuat oleh Lab Geofisika Eksplorasi Fisika FMIPA Universitas Indonesia. Tampilan awalnya dapat dilihat pada Gambar3.7. Sedangkan Algoritma Inversi pada *software* ini adalah *non linear conjugate gradient* (NLCG) (Daud dan Saputra, 2010).

Data yang diperoleh dari MT *editor* pada saat pengolahan data, di ekspor dan di masukan kedalam *software* ini.. Data yang dimasukkan adalah Nama *Line* (nama lintasan), Nama stasiun dan koordinat stasiun (X, Y, dan Z), Rho *apparent* , *phase*, dan frekuensi seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Tampilan awal *software* MT2DInv

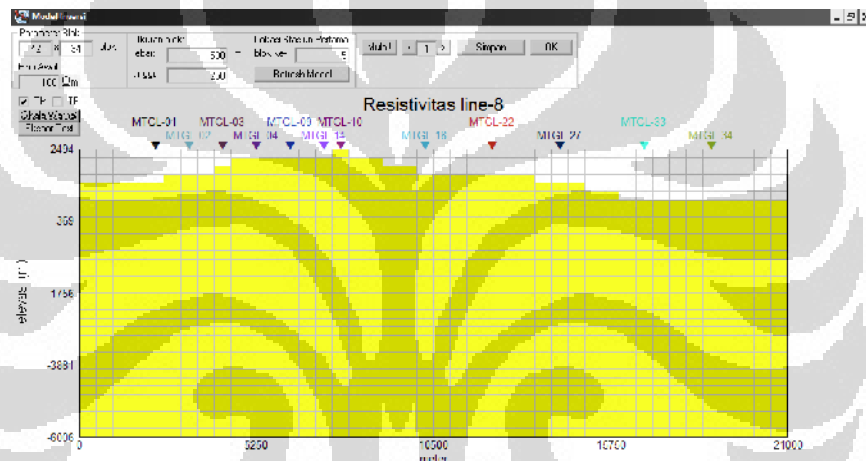
Setelah data MT dimasukkan, kemudian disimpan dalam bentuk “*.Dt”. Sebelum dilakukan proses *inverse*, maka dilakukan koreksi statik dengan metode cokriging, untuk menghilangkan efek distorsi yang terjadi. Setelah koreksi statik dilakukan, maka data yang telah dikoreksi tersebut, dimasukan kembali kedalam *software* MT2DInv, guna mengalami proses inversi.

No	Distansi (m)	Magnetude	T1	T4	T5	T6
1	10	1000	1000	1000	1000	1000
2	20	2000	2000	2000	2000	2000
3	30	3000	3000	3000	3000	3000
4	40	4000	4000	4000	4000	4000
5	50	5000	5000	5000	5000	5000
6	60	6000	6000	6000	6000	6000
7	70	7000	7000	7000	7000	7000
8	80	8000	8000	8000	8000	8000
9	90	9000	9000	9000	9000	9000
10	100	10000	10000	10000	10000	10000
11	110	11000	11000	11000	11000	11000
12	120	12000	12000	12000	12000	12000
13	130	13000	13000	13000	13000	13000
14	140	14000	14000	14000	14000	14000
15	150	15000	15000	15000	15000	15000
16	160	16000	16000	16000	16000	16000
17	170	17000	17000	17000	17000	17000
18	180	18000	18000	18000	18000	18000
19	190	19000	19000	19000	19000	19000
20	200	20000	20000	20000	20000	20000
21	210	21000	21000	21000	21000	21000
22	220	22000	22000	22000	22000	22000
23	230	23000	23000	23000	23000	23000
24	240	24000	24000	24000	24000	24000
25	250	25000	25000	25000	25000	25000
26	260	26000	26000	26000	26000	26000
27	270	27000	27000	27000	27000	27000
28	280	28000	28000	28000	28000	28000
29	290	29000	29000	29000	29000	29000
30	300	30000	30000	30000	30000	30000
31	310	31000	31000	31000	31000	31000
32	320	32000	32000	32000	32000	32000
33	330	33000	33000	33000	33000	33000
34	340	34000	34000	34000	34000	34000
35	350	35000	35000	35000	35000	35000
36	360	36000	36000	36000	36000	36000
37	370	37000	37000	37000	37000	37000
38	380	38000	38000	38000	38000	38000
39	390	39000	39000	39000	39000	39000
40	400	40000	40000	40000	40000	40000
41	410	41000	41000	41000	41000	41000
42	420	42000	42000	42000	42000	42000
43	430	43000	43000	43000	43000	43000
44	440	44000	44000	44000	44000	44000
45	450	45000	45000	45000	45000	45000
46	460	46000	46000	46000	46000	46000
47	470	47000	47000	47000	47000	47000
48	480	48000	48000	48000	48000	48000
49	490	49000	49000	49000	49000	49000
50	500	50000	50000	50000	50000	50000

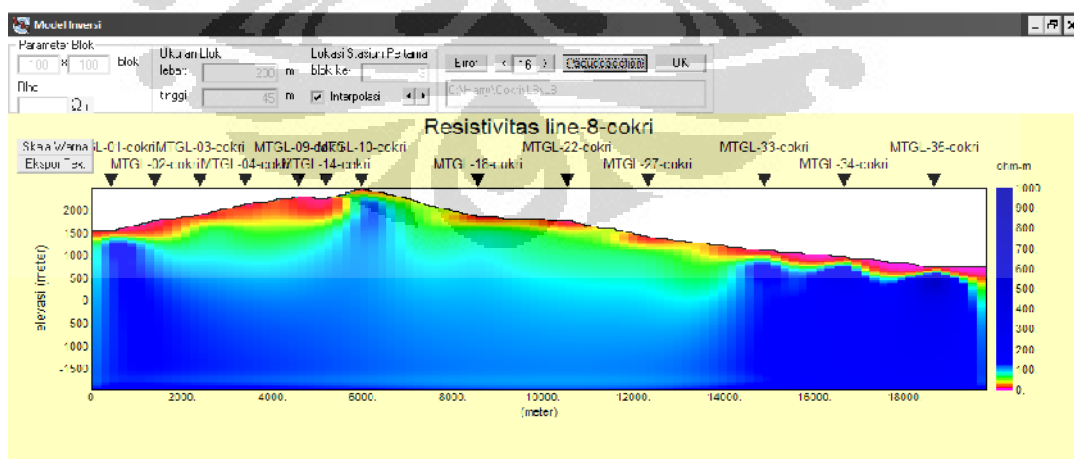
Gambar 3.8. Tampilan data MT yang dimasukan ke dalam *Software* MT2DInv

Langkah awal untuk menginversi adalah dengan mengklik tombol Inversi. Setelah tombol Inversi diklik, akan ditampilkan form Model berupa tampilan

penampang 2D distribusi resistivitas sebenarnya bawah permukaan. Warna tiap blok mencerminkan nilai resistivitas blok tersebut. Sebelum memulai inversi, parameter inversi diatur terlebih dahulu. Parameter inversi yang diatur adalah Jumlah dan ukuran tiap blok (baik blok arah *horizontal* maupun vertikal), resistivitas awal sebagai model awal, Lokasi stasiun pertama, data yang ingin di inversi yaitu TM. Setelah selesai diatur kemudian mulai diinversi. Proses inversi dan tampilannya dapat dilihat pada Gambar 3.9. Sedangkan hasil dari proses inversi disimpan dalam bentuk “*.PLt”. Hasil inversi dengan software MT2DInv dapat dilihat pada Gambar 3.10.



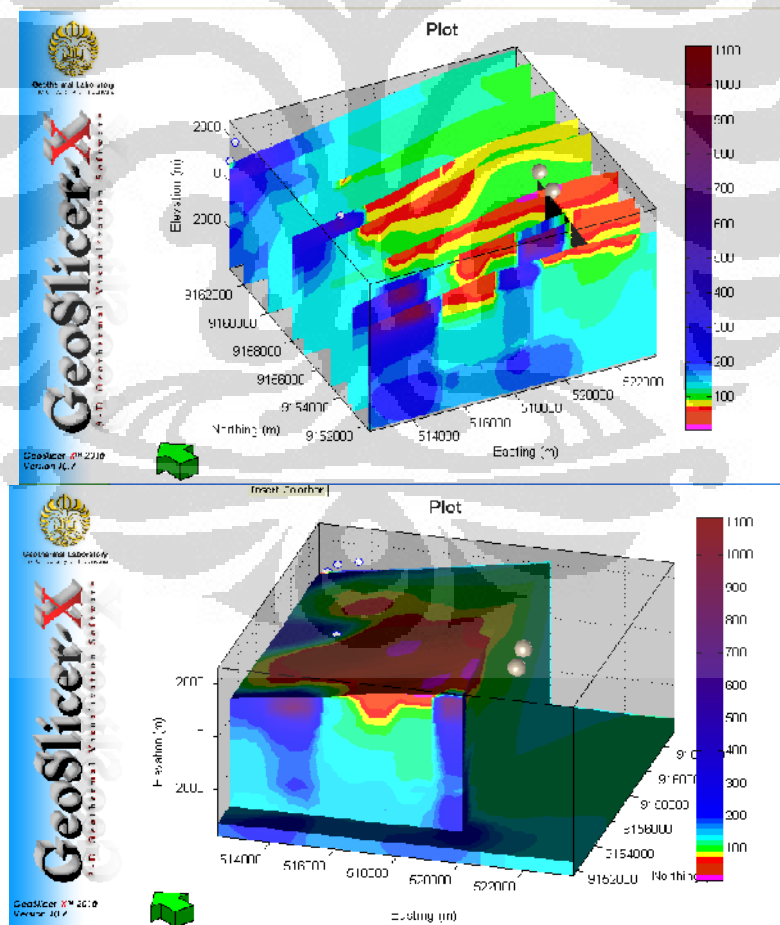
Gambar 3.9. Tampilan saat melakukan proses inversi.



Gambar 3.10. Hasil inversi dengan *software* MT2DInv.

10.4 VISUALISASI 3-DIMENSI DATA MT

Untuk lebih memperjelas hasil pengolahan data MT, dilakukan visualisasi 3 dimensi dengan software Geoslicer X. Proses pemodelan 3 Dimensi ini, tetap didasarkan pada perhitungan Inversi 2D, akan tetapi dilakukan interpolasi terhadap data, sehingga dihasilkan visualisasi pemodelan 3D meskipun tidak menggunakan perhitungan, dan algoritma *processing* data 3 Dimensi. Prinsip interpolasi yang digunakan adalah interpolasi linier perhitungan inverse 2 Dimensi, sehingga diperoleh tampilan Gambar 3.11.

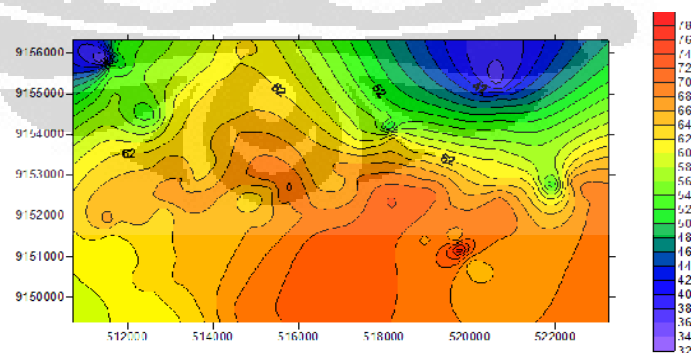


Gambar 3.11 : Visualisasi 3-Dimensi data MT

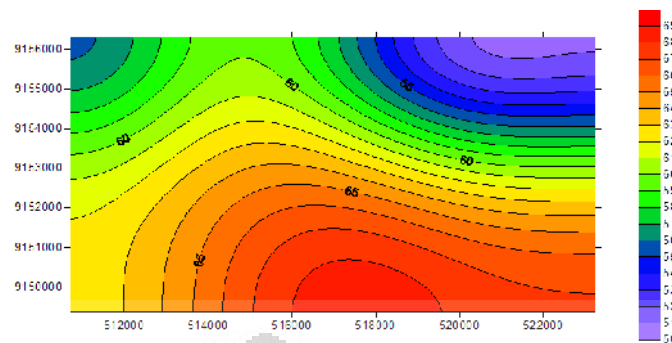
10.5 PENGOLAHAN DATA GEOFISIKA PENDUKUNG

10.5.1 Pengolahan Data Gravitasi

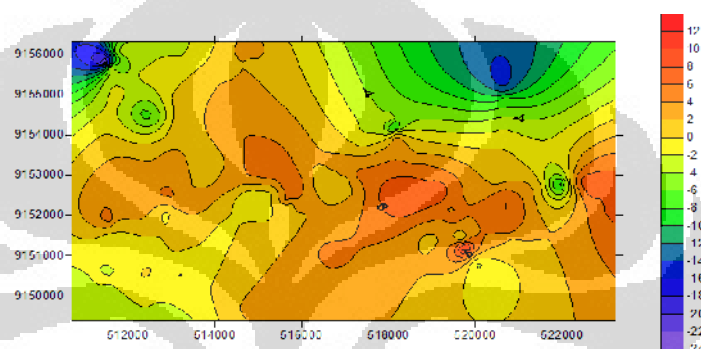
Selain pemodelan data MT, dilakukan juga pengolahan data gravitasi untuk memberikan gambaran harga densitas, dan struktur batuan yang ada di daerah penelitian tersebut. Dalam melakukan pengolahan data gravitasi, dilakukan berbagai macam koreksi, diantaranya koreksi *drift*, *terrain*, *tidal*, *free air*, serta koreksi *bouger*. Dan metode yang dipakai dalam mencari *anomaly bouger* adalah metode parsnis. Pengolahan data dan koreksi-koreksi tersebut, dilakukan dengan *software* Ms. Excel. Kemudian setelah tahap pengolahan data selesai, maka dilakukan pemodelan peta kontur 2-Dimensi menggunakan Surfer 8. Data yang dilakukan pemodelan konturnya, merupakan data Anomaly bouger yang telah dilakukan koreksi-koreksi sebelumnya pada tahap pengolahan data. Gambaran kontur dari *anomaly bouger* daerah penelitian dapat merepresentasikan harga densitas batuan yang berada pada area subsurface (Gambar 3.12). Dari data anomaly bouger tersebut, dilakukan *low pass filter* untuk menghilangkan *noise*, guna menampilkan kontur *anomly* Regional daerah pengukutan (Gambar 3.13). kemudian dibuat pula kontur *anomaly* sisa dari data tersebut, pada (Gambar 3.14).



Gambar 3.12 : Gambaran Kontur anomaly bouger

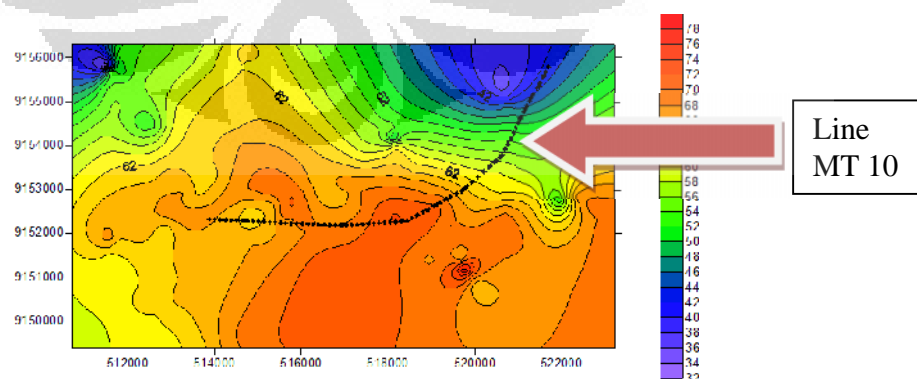


Gambar 3.13 : Gambaran Kontur anomaly Regional

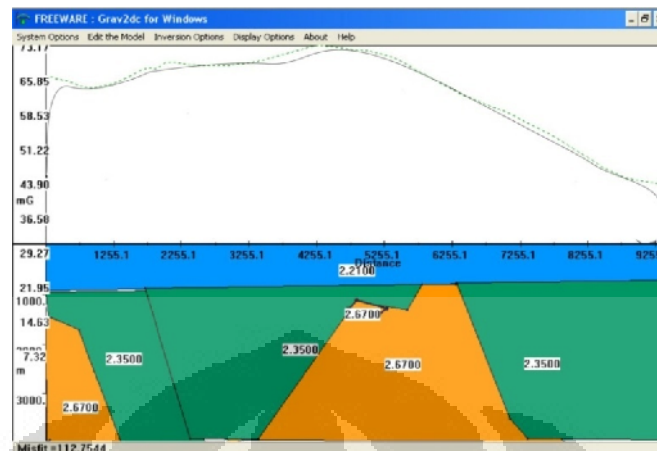


Gambar 3.14 : Gambaran Kontur anomaly Residual

Untuk melihat lebih jelas densitas batuan di area penelitian, dilakukan pemodelan penampang 2-dimensi dengan menggunakan Grav2dc. Lintasan penampang 2-dimensi tersebut, sesuai dengan lintasan line MT 10 (Gambar 3.15), guna memberikan gambaran yang jelas tentang keadaan struktur geologi di daerah tersebut. Hasil dari pemodelan penampang densitas batuan daerah line MT 10, dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.15 : Gambaran lintasan pemodelan penampang 2D yang sesuai dengan line MT 10



Gambar 3.16 : Gambaran struktur geology batuan lintasan line MT 10

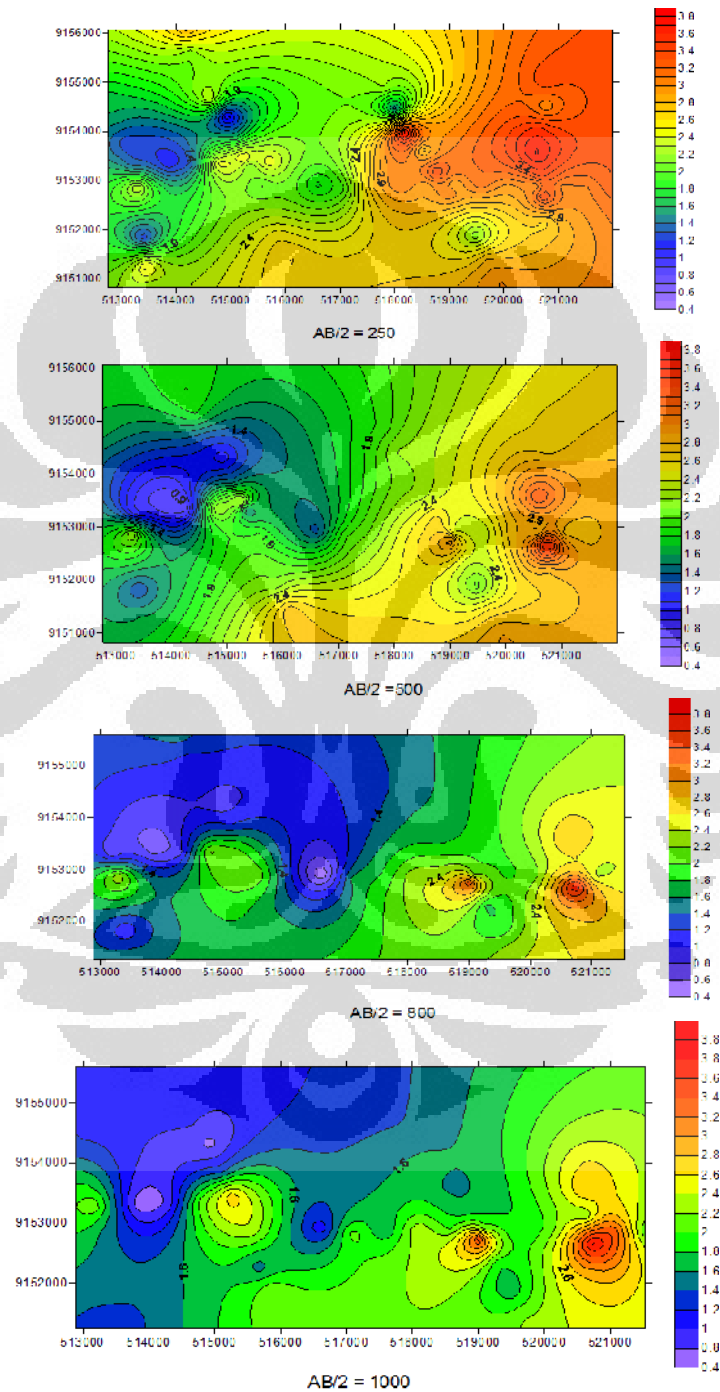
10.5.2 Pengolahan Data *Resistivity Mapping*

Sebelum dilakukan Pengukuran data Magnetotelluric (MT), dilakukan survey pendahuluan dengan menggunakan metode *Gravity* dan *Resistivity Mapping*. Data *resistivity mapping* digunakan untuk memetakan area-area yang memiliki struktur lapisan batuan teralterasi (*clay cap*) yang merupakan lapisan penutup dari suatu sistem *geothermal*. Akan tetapi karena metode *resistivity* ini memiliki keterbatasan dalam penetrasi yang dicapai, maka diperlukan pengukuran metod MT guna memetakan area reservoir dan zona batuan *hot rock*.

Konfigurasi resistivitas yang digunakan adalah konfigurasi schlumberger yang jangkauan penetrasi yang dicapai, bergantrung pada bentangan kabel. Dilakukan mapping resistivity dengan menggunakan *software* surfer, untuk memetakan area penelitian pada kedalaman yang berbeda-beda, yaitu pada bentangan kabel $AB/2=250$, $AB/2=500$, $AB/2=800$, $AB/2=1000$. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.16.

Jangkauan penetrasi yang dicapai metode resistivity konfigurasi schlumberger, merupakan setengah dari $AB/2$. Jadi Gambar 3.16 dapat merepresentasikan keadaan resistivitas subsurface pada kedalaman, 125 m, 250 m, 400 m, dan 500 m. dengan

melakukan pengukuran *resistivity* ini kita dapat melihat zona yang memiliki area *clay cap*, sehingga dapat digunakan untuk memberikan rekomendasi pengukuran MT yang efektif, untuk memetakan sistem *geothermal*.



Gambar 3.17 Kontur Data Resistivity Mapping.

BAB IV

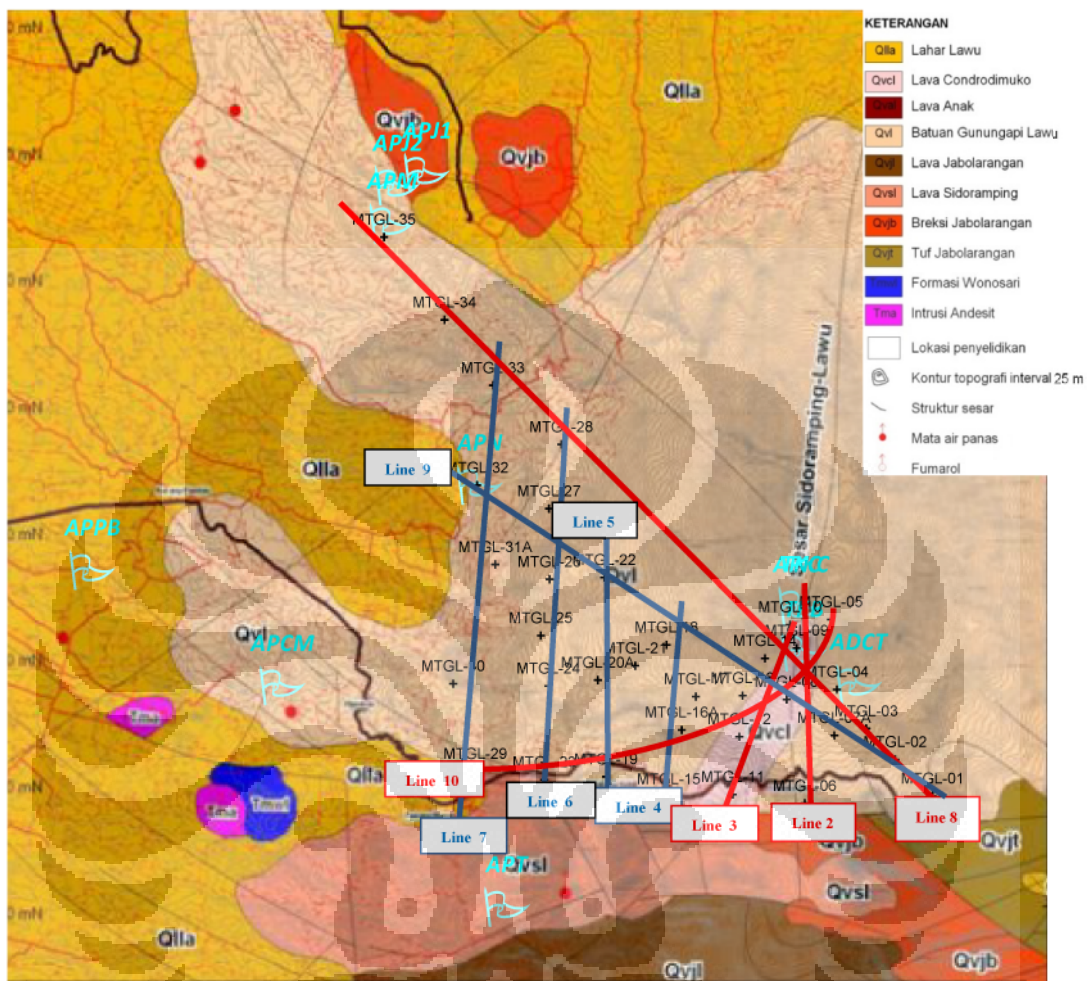
PEMBAHASAN

Dalam melakukan interpretasi data geofisika diperlukan berbagai macam data pendukung seperti data geologi daerah penelitian, data geokimia, ataupun data geofisika metode lainnya, selain MT. karena tanpa adanya data pendukung tersebut, maka data geofisika hanya mampu memberikan informasi berdasarkan parameter yang digunakan, tanpa disertai penjelasan mengenai objek apa saja yang terdapat pada area penelitian tersebut, ataupun bagaimana proses terbentuknya system tersebut. Untuk itulah dilakukan interpretasi terpadu untuk mendapatkan rekomendasi yang baik, serta memberikan pemodelan yang dapat mendekati struktur aslinya.

11.1 KONDISI GEOLOGI DAERAH PENGUKURAN

Kondisi keadaan geologi batuan di sekitar tempat penelitian, umumnya didominasi oleh batuan vulkanik. Data geologi lokal yang didapat berupa peta geologi yang mencakup data jenis batuan daerah penelitian, data manifestasi system geothermal, dan sesar. Manifestasi system geothermal yang ditemukan di daerah penelitian ini, terdiri dari mata air panas dan Fumarol. Dari peta geologi lokal dapat diketahui bahwa daerah penelitian didominasi oleh tiga jenis batuan yaitu batuan tufa, lava dan breksi. Peta geologi lokal diperlihatkan pada Gambar 4.1.

Berdasarkan stratigrafi regional urutan umur batuan dimulai dari umur tertua ke umur termuda yaitu dari batuan lava, kemudian diikuti oleh breksi vulkanik dan kemudian tufa. Adanya tipe batuan ini mengindikasikan adanya jejak aktifitas vulkanik yang menghasilkan fluida hidrotermal dan terjadinya proses alterasi batuan pada daerah penelitian.



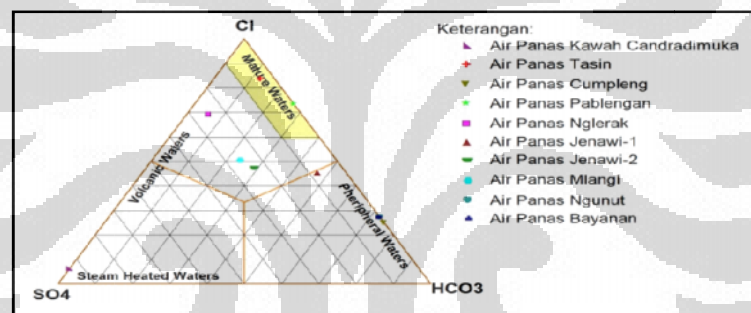
Gambar 4.1. Peta Geologi Lokal Daerah Penelitian dan titik pengukuran MT. (Badan Geologi, 2010)

Pada titik MT 9 dan 10, ditemukan manifestasi berupa air panas dan fumarol candra dimuka, serta air panas dan fumarol sari bawah. Dari data geologi diketahui bahwa manifestasi tersebut berada dekat posisi sesar naik, dan diduga aliran manifestasi fluid tersebut, bergerak keatas mengikuti jalurnya sesar.

Dari data MT yang ada, penulis melakukan proses inversi pada Sembilan line yang tertera pada gambar peta geologi diatas.

11.2 MANIFESTASI PERMUKAAN

Dalam melakukan *survey* sistem *geothermal*, maka yang pertama harus dilakukan adalah mencari manifestasi dari system *geothermal* tersebut. Manifestasi permukaan dapat merepresentasikan dua kemungkinan, yaitu *up flow*, ataupun *out flow* dari suatu system *geothermal* tersebut. Tingkat keasaman dan unsur-unsur kimia yang tergantung pada manifestasi tersebut dapat memberikan gambaran tanda-tanda akan tipe dari system *geothermal*. Untuk itu diperlukan data geokimia sebagai data penunjang, yang gunanya untuk lebih memperkuat rekomendasi dan interpretasi dari system tersebut. Data Geokimia dari daerah penelitian, dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Diagram data geokimia manifestasi permukaan di daerah penelitian (Badan Geologi, 2010).

Data manifestasi yang didapat dari lapangan penelitian, memiliki ciri-ciri yang spesifik, hal itu dapat dilihat pada Tabel 4.1. Dari data geokimia kita dapat mengetahui kandungan mineral dan zat kimia yang terkandung dalam manifestasi permukaan tersebut hal ini dapat membantu dalam proses interpretasi. Sebagai contoh, air panas kawah candradimuka yang letaknya dekat dengan titik MT ke 9, memiliki kadar SO_4 yang tinggi dan tergolong pada *steam heated water*. Selain itu air panas Jenawi 1 dan jenawi 2 memiliki kadar Cl yang tinggi dan termasuk dalam kategori *mature water*. Sedangkan air panas ngunut, memiliki kadar SO_4 yang besar tetapi

tidak sebesar air panas kawah candradimuka. Data geokimia secara rinci dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1. Data Manifestasi Permukaan yang ditemukan di lokasi penelitian (Badan Geologi 2010)

No.	Nama/Lokasi	Kode	Koordinat (UTM)		Elev (m)	T manifest (°C)	T ud (°C)	pH	debit (L/detik)	FC (µS/cm)	Keterangan
			X (m)	Y (m)							
1	AP KAWAP CANDRADIMUKA	APKC	520889	9155657	2540	94	16,5	1,35	10	6300	Air panas di kawah candradimuka dan fumarol di kaki selatan G. Lawu, air keruh, rasa asam, bau H ₂ S, dan suara desis sangat kuat.
2	AP. TASIN	APT	514860	9149512	1029	40	20,1	6,35	1	20000	Air panas dari batuan lava, oksida besi, rasa asin, tak berbau, di lembah, barat daya kaki G. Lawu
3	AP. CUMPLENG	APCM	510255	9154038	697	37,4	26,6	6,32	4	2580	Air panas keruh, tak berbau, tak berasa, oksida besi, barat daya kaki G. Lawu
4	AP. PADLNGAN	APPB	505360	9155401	456	36	31,5	5,89	1	12300	Air panas tak berwarna, tak berbau, rasa asin, buble, sudah dibangun/disemen, wisata
5	AP. NGLEBAK	APN	511301	9158140	1058	35,7	22,6	6,17	2	2500	Air panas jernih, tak berasa, keluar dari breksi
6	AP. JENAWI 1	APJ1	513215	9164526	662	32,4	27,3	6,20	1	4100	Air panas pada bak
7	AP. JENAWI 2	APJ2	512615	9104268	601	33,9	26,1	6,71	0,2	10800	Air panas jernih, rasa asin, buble
8	AP. MANGLI	APM	512500	9163482	666	37,6	27,4	6,33	1	11.700	Air panas rasa asin, oksida besi, batu gamping
9	AP. NGUNUT	APNG	512326	9163611	804	39,8	27,5	6,37	0,2	2100	Air panas jernih, tak berasa, oksida besi
10	AP. BAYANAN	APB	513558	9163810	297	39,8	31,5	6,57	2	2100	Air panas jernih, tak berasa, tak berbau, oksida besi, sebelah barat laut di luar pcta lokasi
11	AD. CEMORO TELO	ADCT	522071	9154064	2073	17,4	20	6,34	20	610	Air dingin sumber air dialirkan ke cemoro sewu, jernih, tak berasa
12	FUMAROL CANDRADIMUKA	TKC	520889	9155657	2540	93,1	16,6	-	-	-	Fumarol (300x100)m ² , sublimasi belerang, alterasi dan berdesis kuat, kawah candradimuka.
13	FUMAROL SAHI BAWAH G. LAWU	IKB	520941	9151732	2264	93	22,1	-	-	-	Fumarol (200 x 100)m ² , sublimasi belerang, alterasi kuat, bau H ₂ S, tak ada air

Tabel 4.2. Data Geokimia manifestasi permukaan (Badan Geologi, 2010)

Kode Sampel	APKC	APT	APCM	APPB	APN	APJ-1	APJ-2	APM	APNG	APB	ADCT
Elev.(m)	2540	1029	697	456	1089	662	601	666	306	297	2073
T(°C) air	94	40,0	37,4	36,0	35,7	32,4	33,9	37,6	39,8	39,8	17,4
T(°C) udara	16,5	20,1	26,6	31,5	22,6	27,3	26,1	27,4	27,5	31,5	20,0
pH	1,35	6,35	6,32	5,89	6,17	6,20	6,71	6,33	6,37	6,57	6,34
FC(µS/cm)	6300	20000	2680	12300	2600	4100	10800	11700	2100	2100	610
SiO ₂ (mg/l)	377,68	128,65	143,54	130,60	138,83	82,36	108,24	129,43	177,66	173,53	91,52
Al	130,78	0,26	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,04
Fe	71,00	12,60	7,30	2,23	0,09	0,13	0,16	0,95	0,16	0,1	0,08
Ca	256,43	597,61	91,49	118,76	288,51	102,71	353,35	300,52	100,52	97,95	102,83
Mg	29,59	17,88	51,10	44,60	80,40	69,00	81,10	149,43	81,80	77,60	11,59
Na	76,12	3/26,00	563,29	2646,32	42,10	8/8,96	1/43,00	1301,59	314,44	29/20	21,30
K	12,30	184,60	20,00	105,70	42,40	24,00	205,60	201,8	30,70	35,40	6,79
Li	5,00	12,50	1,00	3,06	0,02	1,05	3,45	3,49	3,13	2,37	0,00
As	15,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NH ₄	18,72	5,24	0,00	8,98	0,00	0,37	8,24	7,49	0,37	0,37	0,00
B	88,25	121,64	6,56	59,13	5,65	16,87	71,69	72,54	3,59	2,96	0,22
F	1,50	0,50	1,00	1,50	1,50	0,50	1,50	2,00	1,00	0,00	1,00
Cl	176,43	6485,68	434,03	3790,96	602,21	978,65	2264,17	2051,59	359,93	338,75	17,00
SO ₄	2607,26	290,52	2,00	2,00	218,55	166,66	1114,33	1050,14	2,00	4,00	259,49
HCO ₃	0,00	959,88	1307,98	1362,20	48,06	1011,6	1380,3	969,35	958,65	908,13	64,09
CO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
meq cat	39,67	200,95	35,05	128,47	23,94	49,83	106,35	90,04	26,69	25,47	7,19
meq an.	59,34	204,74	33,77	129,37	22,40	47,68	109,77	95,72	25,96	24,52	6,99
%IB	-19,87	-0,93	1,85	-0,35	3,31	2,20	-1,58	-3,06	1,39	1,90	1,47

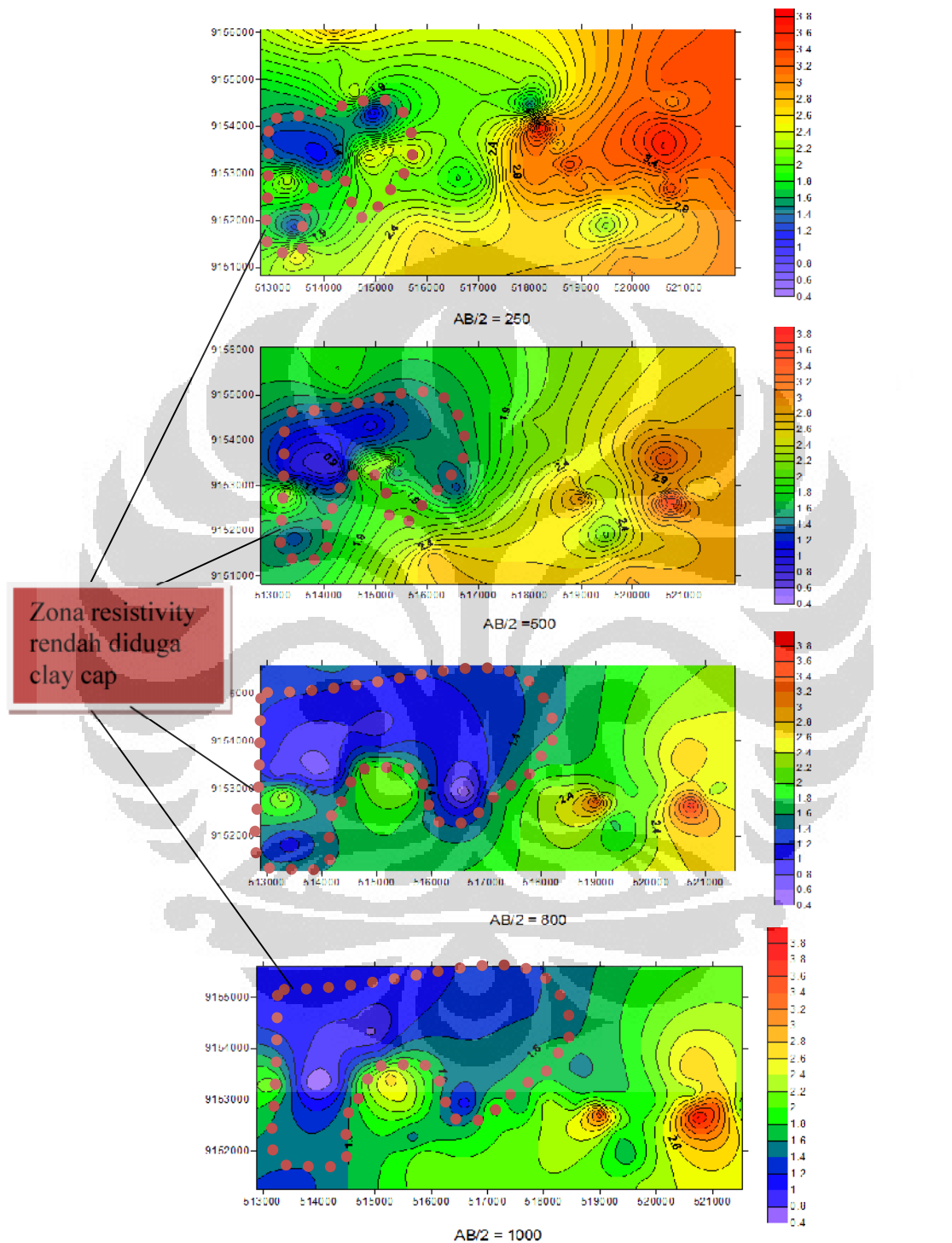
11.3 INTERPRETASI TERPADU

Sebelum melakukan survey MT, dilakukan pengukuran resistivity mapping pada daerah pengukuran. Akan tetapi metode resistivitas mengalami keterbatasan pada penetrasi yang di jangkau. Dan untuk mendapatkan gambaran dari system geothermal yang diinginkan, maka dilakukan pengukuran MT pada area yang memiliki kontras anomaly pada data hasil pengolahan metode resistivity. Gambaran hasil processing resistivity mapping, dapat dilihat pada Gambar 4.3.

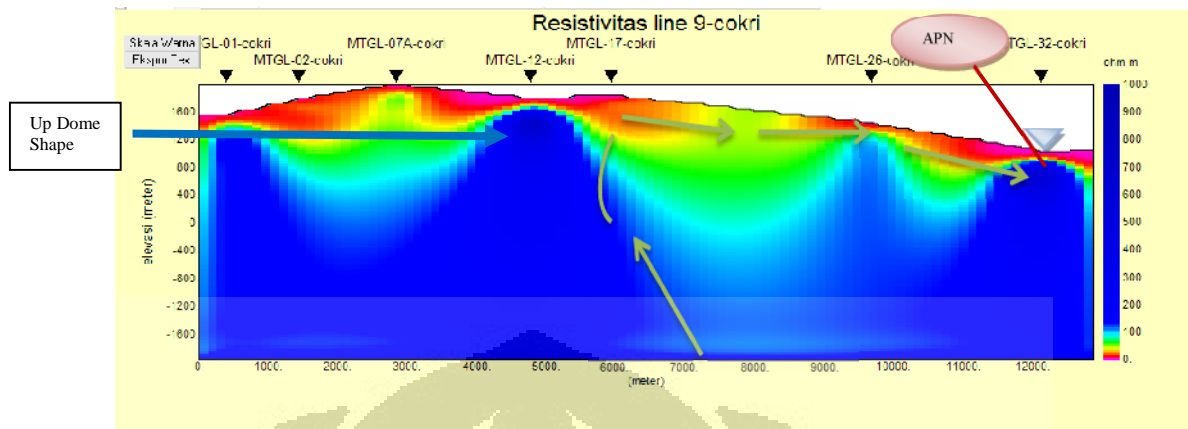
Dari data resistivity mapping yang telah dilakukan *procesing*, penulis melakukan proses inveri data MT sebanyak 9 line. Lima diantaranya memotong manifestasi, fumarol kawah candradimuka dan fumarol sari bawah yang lokasi keduanya saling berdekatan. Hal itu bertujuan untuk memetakan keadaan subsurface manifestasi daerah tersebut. Lima line itu adalah, line 2, 3, 8, 9, dan 10. Sedangkan sisa line lainnya dilakukan untuk mengetahui keadaan subsurface yang memiliki low resistivity pada data metode resistivity mapping.

Arah dari lintasan line 9, memotong manifestasi APN. Hasil inversi dari data MT line 9 tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4. dari data hasil inversi tersebut, dapat digambarkan bahwa nilai yang memiliki resistivitas rendah pada permukaan, merupakan daerah *overburden*, yang memiliki porositas yang tinggi dan memiliki kandunagn air, sehingga memiliki harga resistivity yang hampir sama dengan daerah clay cap yaitu sekitar 1-20 Ohm meter

Zona clay cap digambarkan sebagai anomaly yang memiliki resistivity rendah di bawah oiver burden. Karena nilai *claycap* dan *overburden* sama-sama rendah, maka pada saat proses inversi, menghasilkan skala warna yang tidak begitu berbeda. Zona Air panas Nglarak diduga sebagai *out flow* dari sistem *geothermal*, dikarenakan jaraknya yang jauh dari *heat source* dan kandungan SO4 nya yang lebih sedikit dari AP.kawah candra dimuka. Selain itu pada daerah air panas kawah candra dimuka terdapat manifestasi fumarol, yang biasanya menandakan adanya Up flow dari suatu sistem *geothermal*.

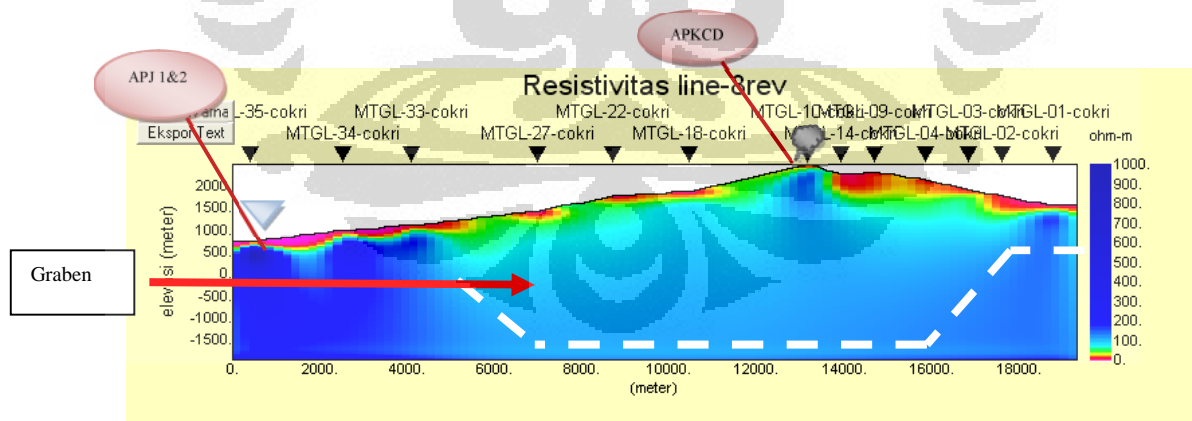


Gambar 4.3 Kontur Data Resistivity Mapping.



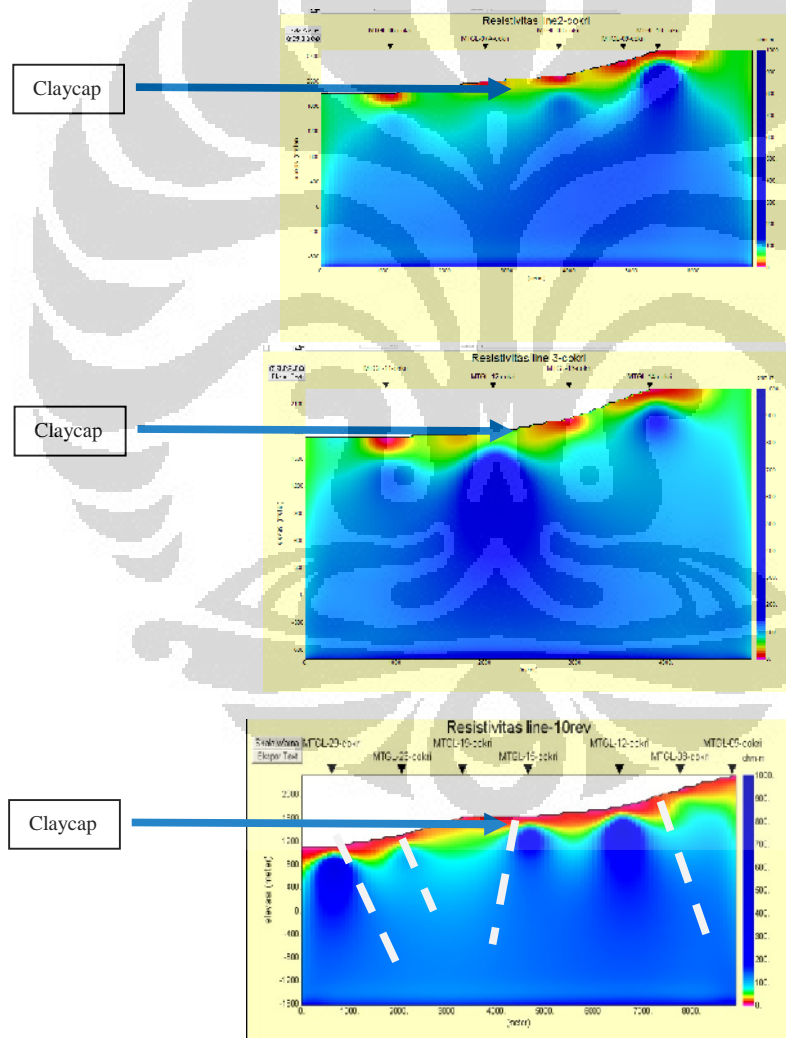
Gambar 4.4 Penampang MT line 9

Pada lintasan MT line 8, terlihat sebuah struktur yang menyerupai graben yang diapit oleh batuan yang memiliki nilai Resistivitas yang besar dengan batas graben berada pada titik MTGL-02 dan MTGL-33, itu diduga sebagai tempat berakumulasinya fluida dan, atau dapat disebut juga zona reservoir. Sedangkan pada bagian atasnya, terdapat sebuah tudung penutup reservoir (*clay cap*) yang memiliki nilai resistivitas yang sangat kecil, yaitu berada pada kisaran harga 1-20 ohm m. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Penampang MT line 8

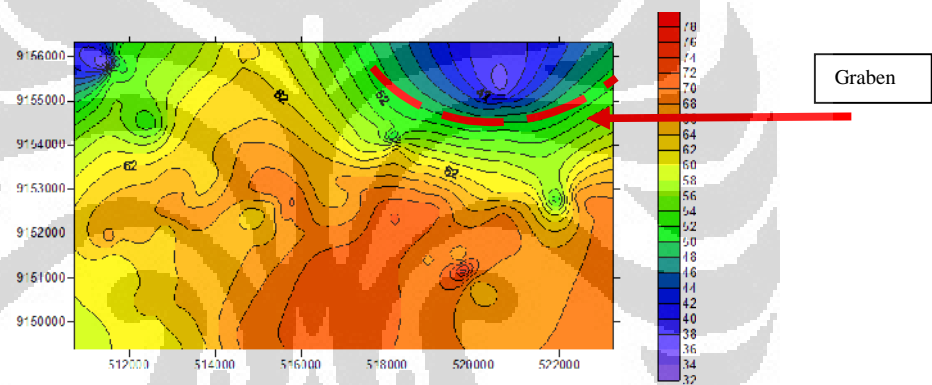
Pada area antara titik MTGL 10 dan MTGL 18 memiliki nilai resistivitas yang cukup high, hal itu dikarenakan pada daerah tersebut terdapat patahan yang mengakibatkan fumarol keluar melalui celah patahan tersebut, sehingga daerah tersebut memiliki resistivitas yang cukup tinggi. Sedangkan pada titik MTGL-33, 34, dan 35 memiliki nilai resistivitas yang tinggi, itu diperkirakan sebagai batuan vulkanik yang keras. pada daerah tersebut terdapat manifestasi air panas jenawi yang memiliki high Cl. Hal itu diduga sebagai outflow dari suatu system geothermal yang merupakan aliran langsung dari zona reservoir, yang alirannya melewati atas batuan vulkanik yang memiliki nilai resistivitas besar.



\Gambar 4.6 Penampang MT line 2, 3, dan 10

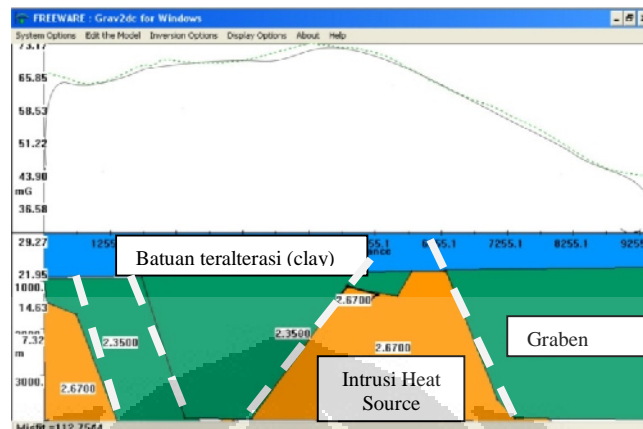
Pada line MT 2, 3, dan 10 terlihat bahwa di sekitar titik MT 12, terdapat sebuah fluida yang tertutup oleh lapisan penutup. Hal ini menguatkan argumen interpretasi pada line 9. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Pada titik MT 15 dan 29 terdapat harga resistivitas yang tinggi, dan dari data geologi, dapat dilihat bahwa titik-titik tersebut terletak pada zona sesar atau patahan yang merupakan batas dari graben. Apabila kita bandingkan data MT dengan *Anomaly bouger* MT, maka didapat gambaran yang sama, pada kontur anomaly bouger gravitasi, terdapat sebuah harga densitas yang sangat kecil pada area titik Mt ke 8,9,10. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Anomaly Bouger data Gravitasi

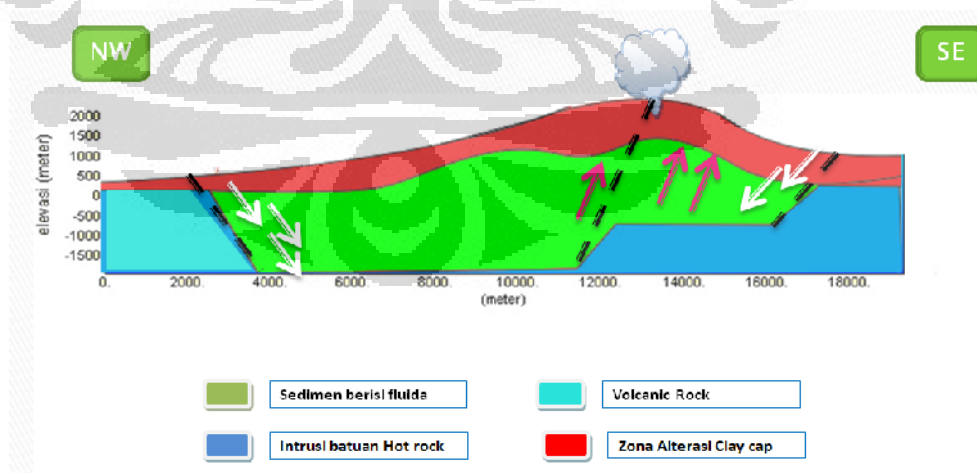
Sedangkan pemodelan dari struktur batuan daerah pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.8. gambar ini menunjukkan harga densitas *subsurface* daerah pengukuran yang telah disesuaikan dengan line MTGL-10. Jika kita bandingkan data MTGL line 10 dengan data penampang gravitasi, terlihat kesamaan berupa adanya gambatan intrusi *heat source* yang memiliki densitas tinggi, pada titik MTGL 12, dan juga terlihat gambaran struktur patahan yang mengontrol area graben.



Gambar 4.8 Pemodelan struktur geologi batuan line MT 10

11.4 MODEL KONSEPTUAL SISTEM GEOTHERMAL DAERAH X

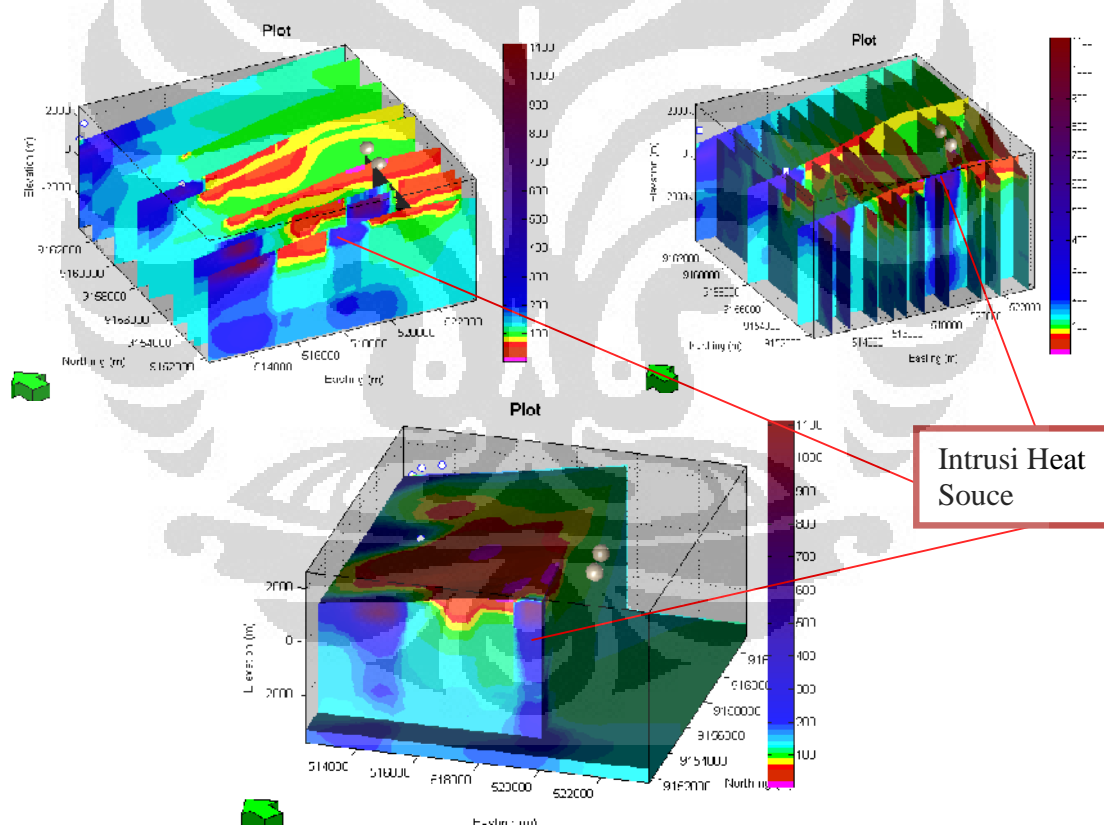
Setelah dilakukan integrasi terpadu, maka dibuat suatu model konseptual yang merepresentasikan seluruh data lapangan, baik Geofisika MT, *Resistivity*, dan *Gravity*, serta Data Geologi dan Geokimia. Gambar 4.9 merupakan model konseptual system geothermal daerah penelitian, yang mana dikontrol oleh patahan dan graben tempat berakumulasinya fluida.



Gambar 4.9 Model Konseptual Sistem Geothermal Daerah X

Struktur patahan (*fault zone*) yang membatasi zona graben merupakan tempat masuknya air hujan (*meteoric water*) yang berpotensi menjadi reservoir dari system geothermal. Sedangkan sruktur patahan yang berada di dekat manifestasi fumarol, memberikan jalan aliran fluida dari graben ke permukaan.

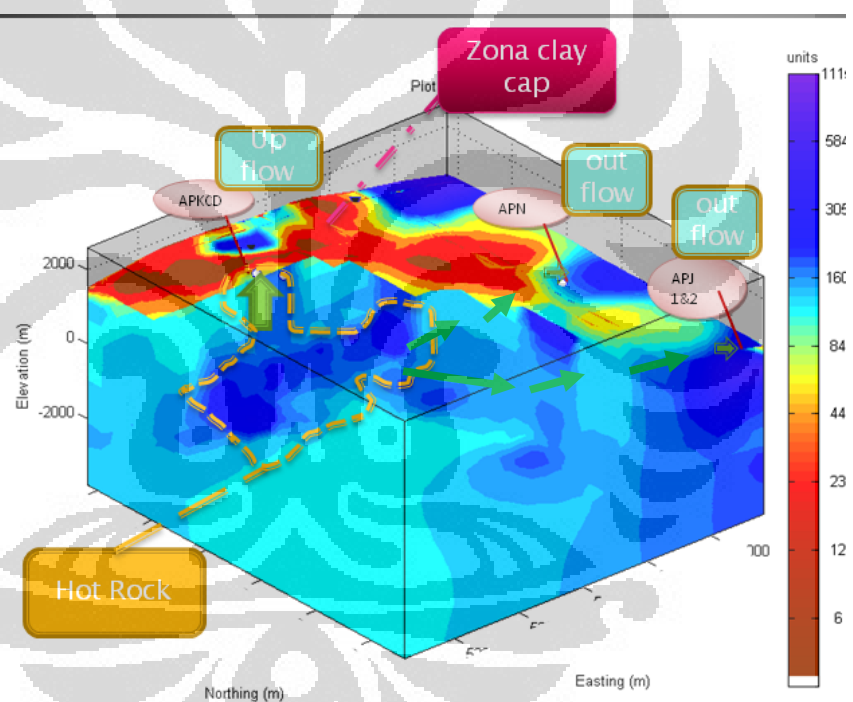
Pada konseptual model Gambar 4.9 terlihat bahwa terdapat adanya intrusi batuan *heat source* di daerah penelitian. Dan setelah dilakukan Visualisasi 3-Dimensi dengan *software* geoslicer x, maka zona tersebut terlihat dengan jelas pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 visualisasi 3Dimensi data MT

Zona Intrusi heat source digambarkan dengan warna biru tua, yang memiliki nilai resistivitas sangat tinggi, yaitu di atas 200 ohm m. zona clay cap dibatasi oleh warna merah, yang mengidentifikasi resistivitas kecil, yaitu antara 1- 20 ohm m. sedangkan Zona reservoir dicirikan dengan warna hijau, dengan harga resistivitasnya sekitar 20 – 100 ohm meter.

Dan dengan visualisasi 3 Dimensi data MT ini, kita dapat mengetahui dengan jelas struktur dan sistem yang mengontrol sistem reservoir geothermal. Baik aliran *up flow*, *out flow*, *heat rock*, dan *clay cap*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Gambaran 3 Dimensi Sistem Geothermal Daerah X

BAB V

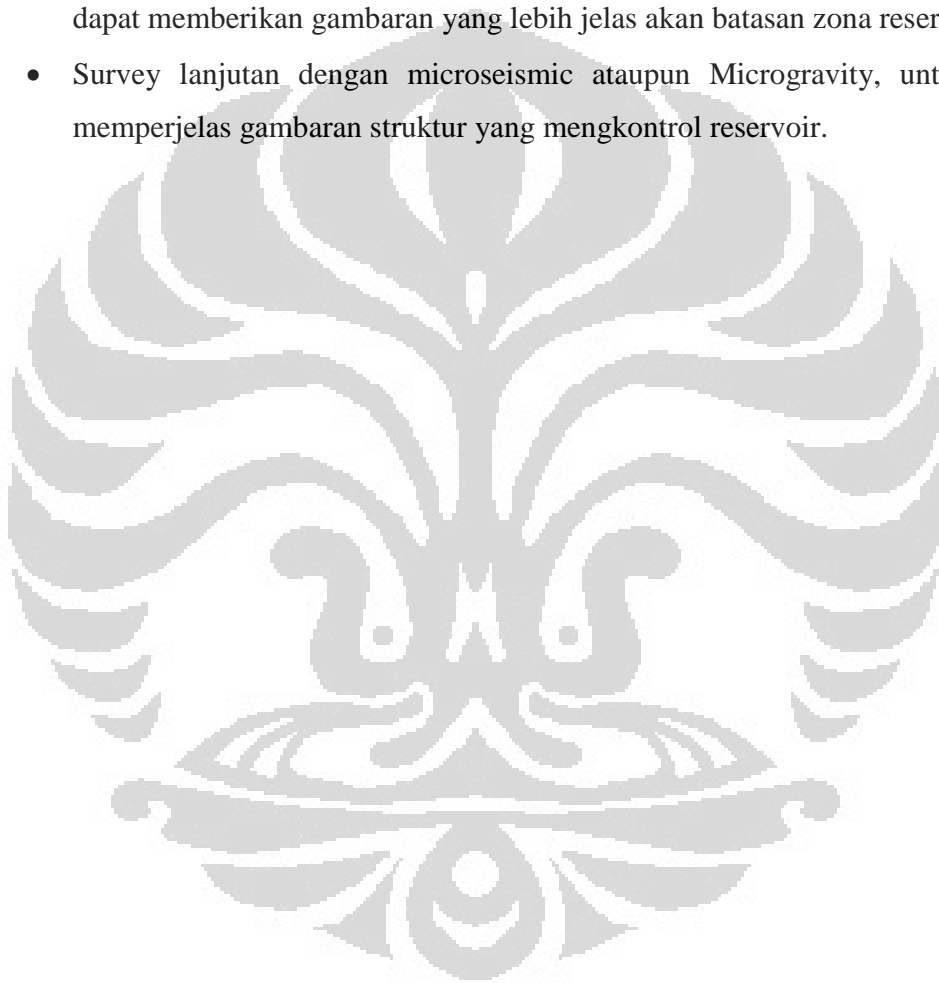
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

- Dengan melakukan integrasi terpadu, dapat disimpulkan bahwa Up flow dari system geothermal tersebut berada pada daerah sekitar Air panas dan Fumarol kawah candradimuka.
- Sedangkan Manifestasi permukaan yang lainnya seperti air panas ngrelak, air panas jenawi 1 ataupun jenawi 2, diduga sebagai Out flow dari system geothermal.
- Tipe dari system geothermal daerah ini, merupakan type water dominated system dan andesitric volcanec resources system.
- Model hasil inversi data MT dan Visualisasi 3-Dimensi dapat memberikan gambaran jelas area reservoir, batuan heat source, *up flow*, out flow, serta daerah penutup (clay cap)

12.2 SARAN

- Untuk mendapatkan data yang lebih baik, perlu dilakukan koreksi static selain metode cokriging, yaitu dengan metode TDEM
- Diperlukan Penambahan titik MT kearah barat dan timur laut, untuk lebih dapat memberikan gambaran yang lebih jelas akan batasan zona reservoir.
- Survey lanjutan dengan microseismic ataupun Microgravity, untuk lebih memperjelas gambaran struktur yang mengontrol reservoir.

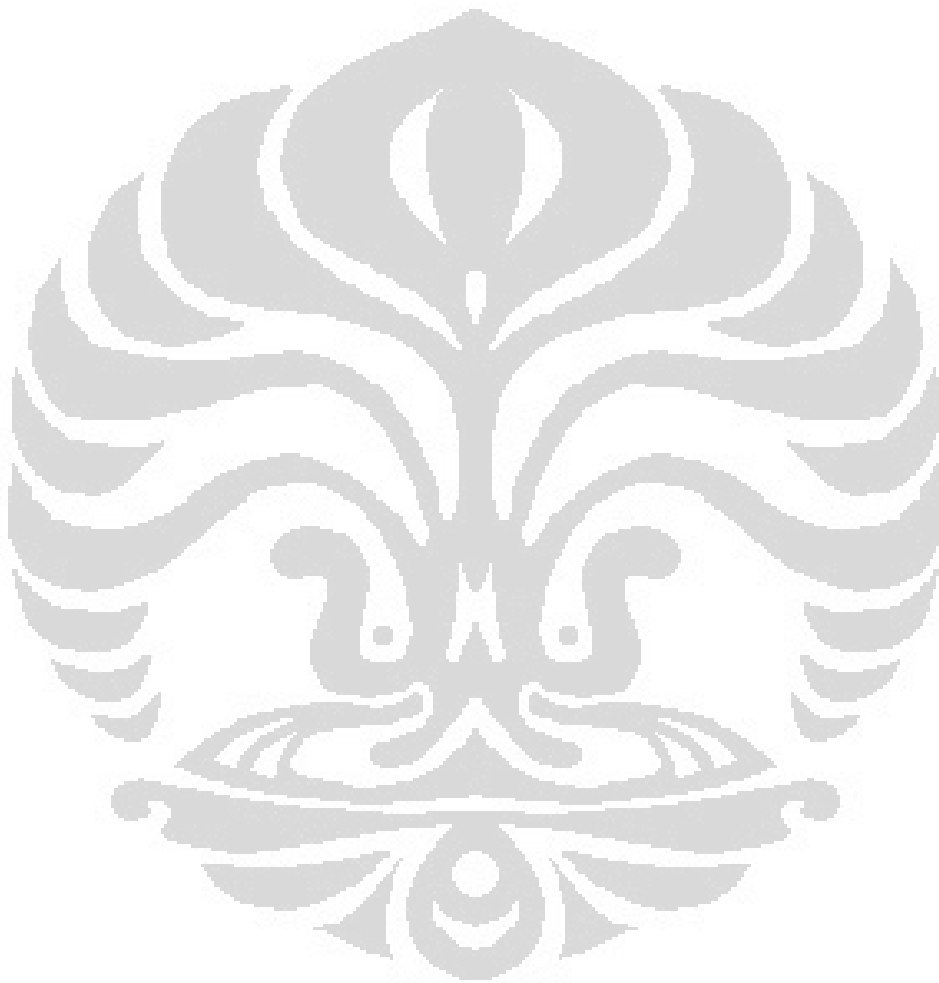


DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, E. 1999, *Magnetotellurics for Geothermal Exploration*, Geothermal Institute Diploma in Geothermal Technology, hal 1-4.
- Cagniard, L. 1953. Basic Theory of The Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. *Geophysics* **18**: 605-645
- Daud, Y. 2009. *Klasifikasi Sistem Geothermal*. Depok: Bahan Kuliah Eksplorasi Geothermal, Universitas Indonesia.
- Griffith, D. J. 1999. *Introduction to Electrodynamics 3rd Ed.* US: Prentice Hall.
- Gupta, Hars & Roy Sukanta. 2007. *Geothermal Energy : An Alternative Recource For The 21St Century*. Netherlands : Elsevier.
- Newman, G.A., Hoversten G.M., Gasperikova, Erika., Wannamaker P.E. 2008. Three-Dimensional Magnetotelluric Characterization of The Coso Geothermal Field. *Geophysics Journal*.
- Saputra, Rachman. 2007. *Inversi 2-Dimensi Data Magnetotelurik Untuk Merekonstruk Model Reservoir Geotermal*. Depok: Skripsi S1, FMIPA, Universitas Indonesia
- Sharma, V.M. 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics*, second edition, Australian and New York : Cambridge University Press, USA.

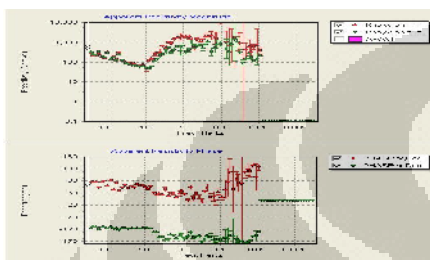
Vozoff, K. 1986. *Magnetotelluric Methods*. Geophysics reprint , Society of Exploration Geophysics.



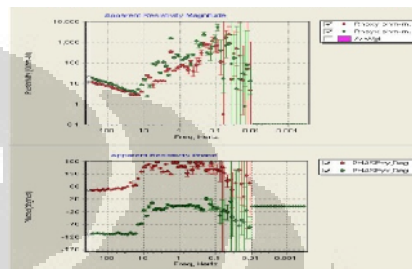
LAMPIRAN

Lampiran 1 : Kurva Sounding MT

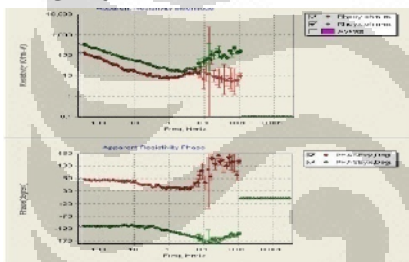
MTGL-01



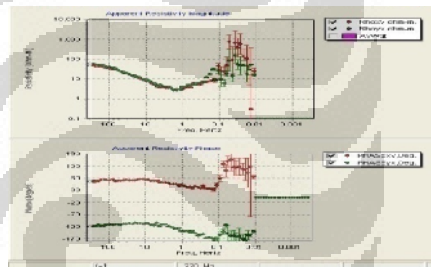
MTGL-05



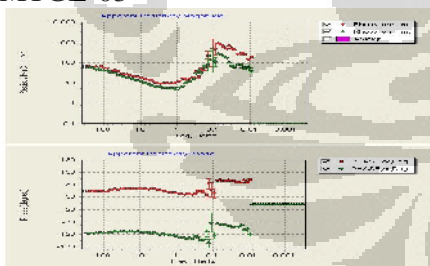
MTGL-02



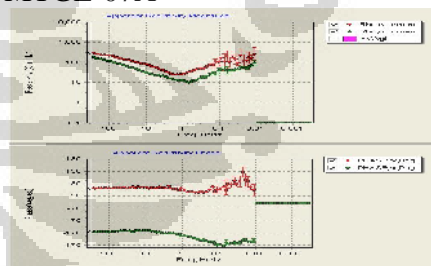
MTGL-06



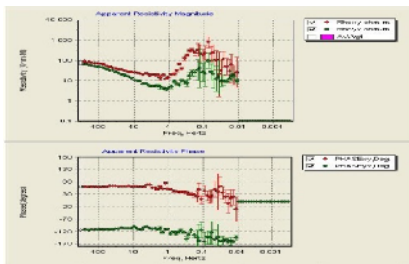
MTGL-03



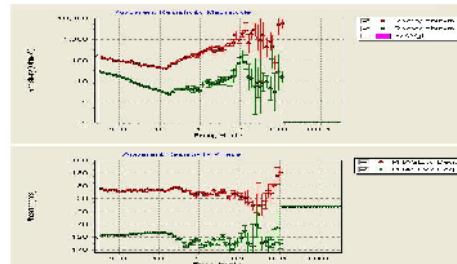
MTGL-07A



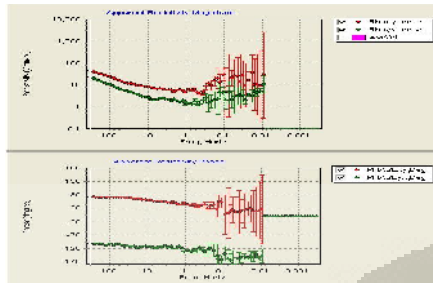
MTGL-04



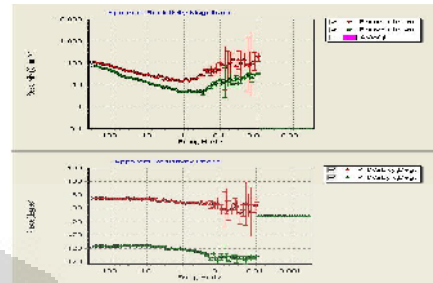
MTGL-08



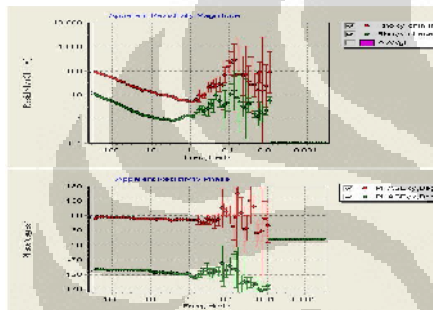
MTGL-09



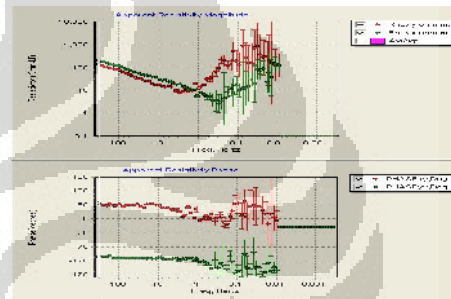
MTGL-13



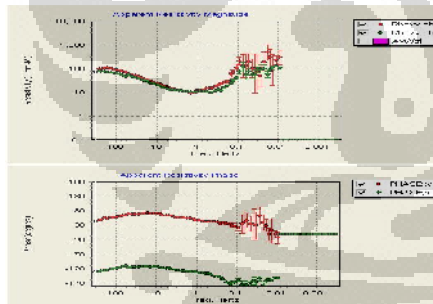
MTGL-10



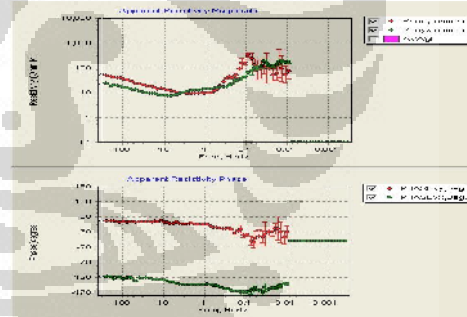
MTL-14



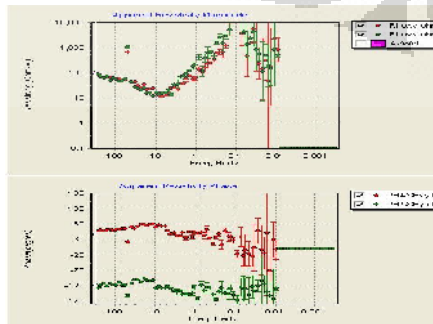
MTGL-11



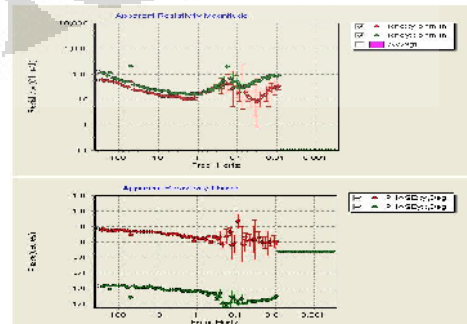
MTGL-15



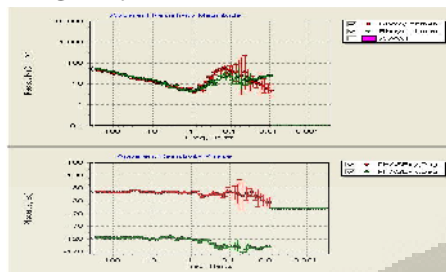
MTGL-12



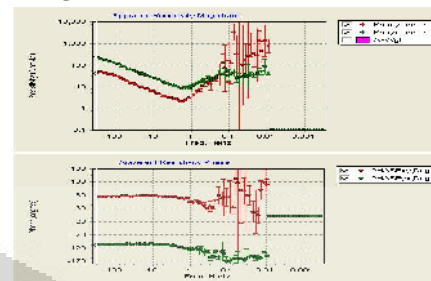
MTGL-16



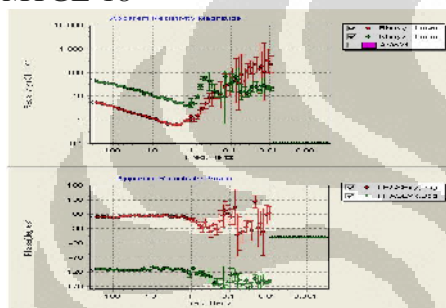
MTGL-17



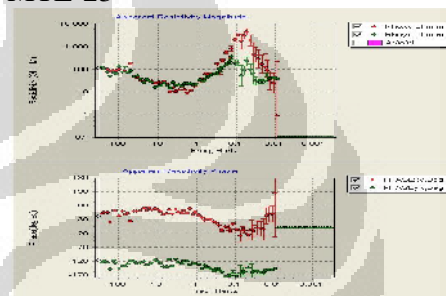
MTGL-22



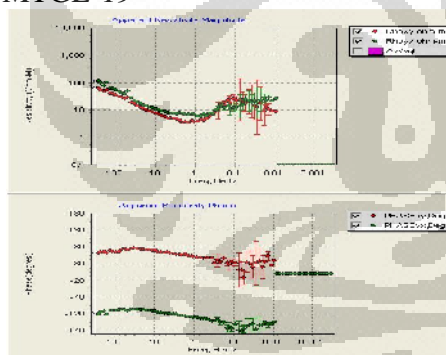
MTGL-18



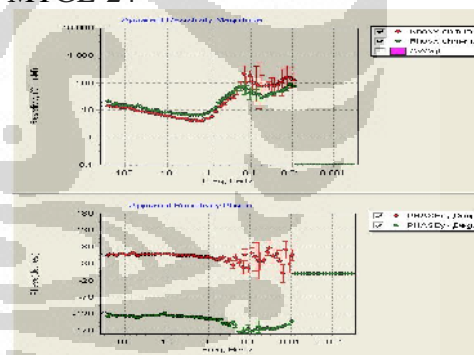
MTL-23



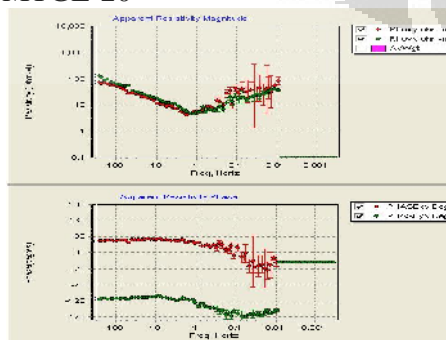
MTGL-19



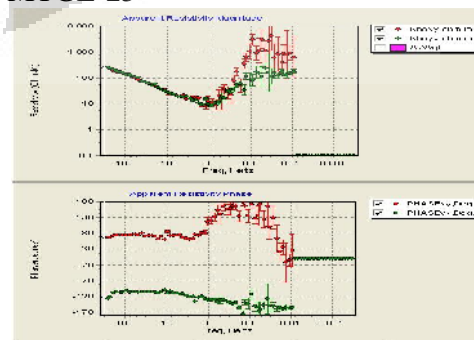
MTGL-24



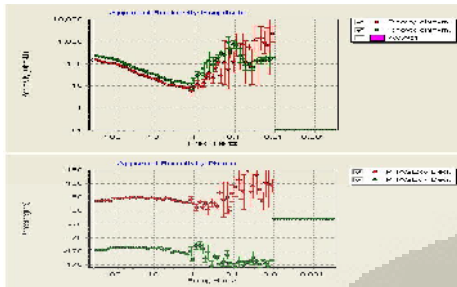
MTGL-20



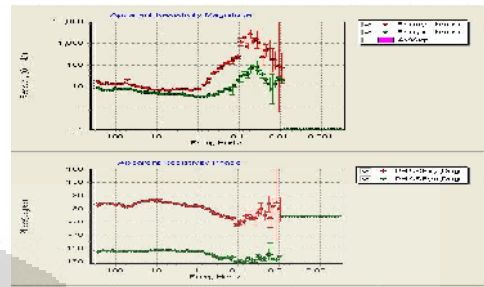
MTGL-25



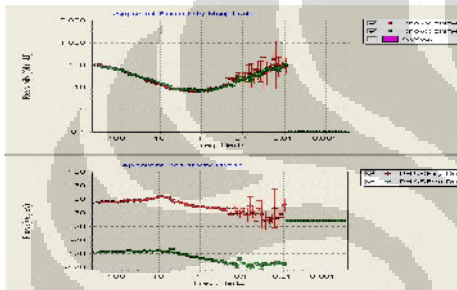
MTGL-26



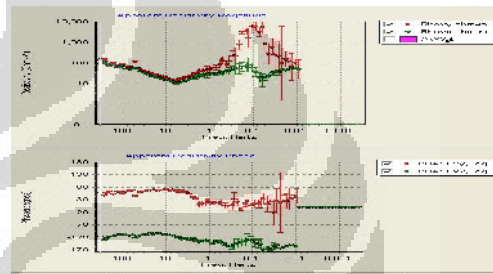
MTGL-30



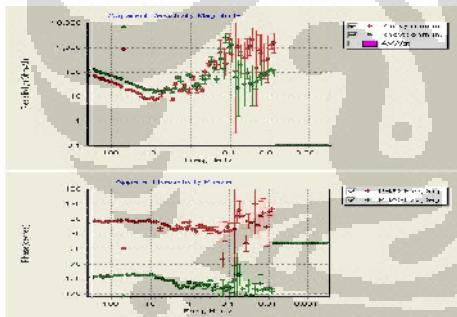
MTGL-27



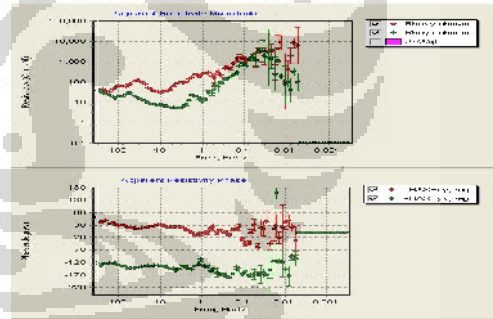
MTL-31



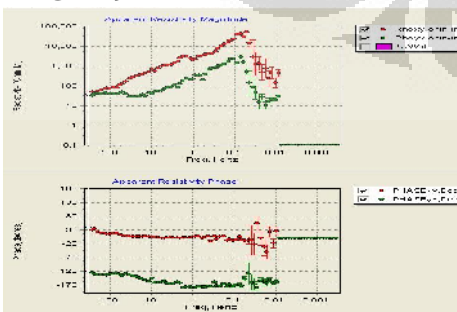
MTGL-28



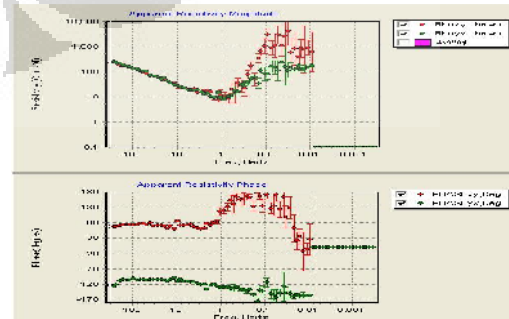
MTGL-32



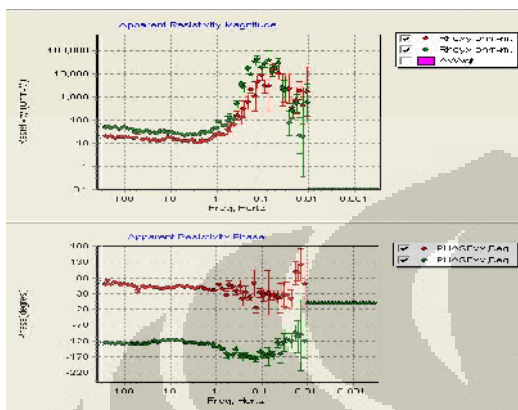
MTGL-29



MTGL-33



MTGL-34



MTGL-35

