



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN 2-DIMENSI DATA MAGNETOTELLURIK DI
DAERAH PROSPEK PANASBUMI GUNUNG ENDUT,
BANTEN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

RANGGA ZANUAR

0303020627

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

PEMINATAN GEOFISIKA

DEPOK

JUNI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : RANGGA ZANUAR

NPM : 0303020627

Tanda Tangan :

Tanggal : JUNI 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rangga Zanuvar

NPM : 0303020627

Program Studi : Geofisika

Judul Skripsi : Pemodelan 2-Dimensi Data Magnetotellurik Di Daerah
Prospek Panasbumi Gunung Endut, Banten

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima
sebagai**

**bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana
Science pada Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia**

DEWAN PENGUJI

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

Penguji 1 : Drs. Lingga Hermanto, MMSi, M.Si ()

Penguji 2 : Dr. Djatmiko ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2009

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

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

Nama : Rangga Zanuvar
NPM : 0303020627
Program Studi : Geofisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

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

“Pemodelan 2-Dimensi Data Magnetotellurik Di Daerah Prospek Panasbumi Gunung Endut, Banten” 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/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2009

Yang menyatakan

(Rangga Zanuvar)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamiin, segala puji dan rasa syukur hanya kepada Allah SWT. Yang senantiasa setia mendengarkan setiap lirikan, keluh kesah maupun harapan dari setiap hamba-Nya. Sesungguhnya manusia itu lemah dan sandaran yang paling kuat hanyalah kepada Rabb yang menggenggam jiwa kita. Sholawat dan salam semoga senantiasa mengalir kepada murobbi terbaik sepanjang zaman, Rasulullah SAW. Sosok pemimpin sejati, pemuda yang cerdas, tegas dan berwibawa.

Terima kasih ya Allah, atas pertolongan-Mu hamba-Mu bisa menyelesaikan skripsi ini yang berjudul: "Pemodelan 2-Dimensi Data Magnetotellurik Di Daerah Prospek Panasbumi Gunung Endut, Banten." Skripsi ini disusun sebagai persyaratan yang harus dipenuhi untuk mendapatkan gelar sarjana sains.

Pada kesempatan yang baik ini, perkenankanlah penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu dan bapakku yang tercinta. Atas kesabaran hatinya menanti kelulusan penulis dan terima kasih atas do'a yang senantiasa dipanjatkan dalam setiap sujud kepada-Mu ya Allah
2. Bapak Dr. Yunus Daud selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu dan pikirannya untuk membimbing, mengarahkan dan memotivasi penulis untuk menjadi mahasiswa yang terbaik dan bermanfaat
3. Bapak Dr. Santoso Soekirno, selaku ketua Departemen Fisika yang telah memimpin dan mengelola departemen fisika untuk menjadi departemen yang senantiasa melahirkan lulusan-lulusan yang berkualitas
4. Bapak Dr. Syamsu Rosid, Dr. Eng. Supriyanto Suparno, Dr. Abd. Haris dan Yayan Sofyan, MSi yang telah memberikan ilmu dan pengetahuannya kepada penulis mengenai ilmu geofisika.
5. Drs. Lingga Hermanto, MMSi, M.Si dan Dr. Djatmiko yang sudah berkenan menjadi penguji dalam sidang seminar skripsi penulis

6. Dra. Ganijanti, sebagai pembimbing akademis penulis. Terima kasih ibu atas kesabarannya dalam menjadi pembimbing akademis penulis
7. Bapak Edi Suhanto, S.Si yang telah memberikan bimbingan mengenai metode Magnetotellurik dan memberikan kesempatan penulis untuk terlibat dalam akuisisi data di lapangan. Tak lupa untuk mas Kholid, kang Asep, mas Joni, mba Ana, mas Andri dan seluruh staf karyawan di Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung atas bantuan yang diberikan selama di Bandung
5. Seluruh Dosen Departemen Fisika FMIPA UI, yang telah mengajarkan penulis tentang ilmu Fisika dengan penuh keikhlasan. Semoga Allah SWT memberkahi tiap ilmu yang diberikan kepada penulis
6. Mba Ratna, mas Mardhi, mas Rizki dan seluruh staf dan karyawan Departemen Fisika FMIPA UI yang sudah penuh kesabaran melayani kami sebagai mahasiswanya dan mengingatkan terkait administrasi dan informasi-informasi kepada penulis
7. Teman-teman Fisika angkatan 2003 atas kebersamaannya selama ini. Kepada Rahman Saputra terima kasih telah membantu mengajarkan bagaimana melakukan koreksi data MT dan untuk teman-teman satu bimbingan periode sidang tahun ini dengan pak Yunus, yaitu Lendri, Chandra, Riri, teh Fitri, Indra, Jimmi, dan Haekal. Semoga menyenangkan setelah lulus sidangnya ya
8. Terakhir, terima kasih kepada seluruh saudara/i-ku satu perjuangan di kampus UI ini, dalam harmonisasi barisan satu hati, dalam persaudaraan dan genggam tangan bersama, dalam ikrar kesetiaan dan komitmen yang ter'azzamkan, dalam berjuang dan berkarya bersama dalam membangun dan mewujudkan sebuah mimpi besar "Transformasi Menuju UI yang Madani". Hanya dengan produktif, kontributif, dan solid insya Allah kita akan mampu untuk mewujudkan itu.

Cukuplah hanya Allah Yang Maha Bijaksana yang berhak melihat dan menilai setiap amal kebaikan yang telah atau akan kita lakukan.

Penulis telah berusaha seoptimal mungkin dalam menyusun skripsi ini. Namun, pastinya penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif dari semua pihak sangat diharapkan untuk memperbaiki pada kesempatan berikutnya. Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembaca sekalian.

Hanya kepada Allah hamba memohon ampunan atas segala kekhilafan dan kesalahan dan hanya kepada Allah jualah semua semua urusan dan kita semua akan dikembalikan.

Depok, Juni 2009

Penulis

Rangga Zanuvar

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Metode Magnetotellurik	3
1.3 Data Pendukung	4
1.4 Pembatasan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Lokasi Penelitian	6
1.7 Metode Penelitian	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Metode Magnetotellurik	9
2.1.1. Prinsip Dasar Metode Magnetotellurik.	9
2.1.2. Sumber Sinyal Metode Magnetotellurik	9
2.1.3. Proses Terjadinya Metode Magnetotellurik	10
2.2 Persamaan Medan Elektromagnetik Maxwell	11
2.2.1 Persamaan Umum Medan Elektromagnetik Maxwell	11
2.2.2 <i>Skin Depth</i>	14
2.2.3 <i>Apparent Resistivity</i> dan Fase	14
2.2.4 Magnetotellurik 2-Dimensi	15
2.3. Sistem Panas Bumi	16
2.3.1 Skema Sistem Panasbumi	16
2.3.2 Klasifikasi Sistem Panasbumi	18
BAB 3 AKUISISI DAN PEMROSESAN DATA MAGNETOTELLURIK	
3.1 Lokasi Pengambilan Data Metode Magnetotellurik	20
3.2 Peralatan Akuisisi Data Metode Magnetotellurik	20
3.3 Proses Akuisisi Data Metode Magnetotellurik	22
3.2.1 Set up alat	22
3.2.2 Perekaman Data	24
3.4 Pemrosesan Data Mentah Menjadi Data yang Siap Dimodelkan	26

3.5 Efek Pergeseran Statik (<i>static shift effect</i>)	26
3.5.1 Penyebab Efek Pergeseran Statik	26
3.5.2 Koreksi Efek Pergeseran Statik	27
BAB 4 PEMODELAN DATA MAGNETOTELLURIK	
4.1 Inversi Data Magnetotellurik	29
4.2 Pemodelan Data Magnetotellurik 2-Dimensi	31
4.3 Analisa kuantitatif Data Magnetotellurik	33
BAB 5 ANALISA HASIL	
5.1 Data Pendukung	36
5.1.1 Hasil Penelitian Geologi	36
5.1.1.1 Morfologi	36
5.1.1.2 Stratigrafi	36
5.1.1.3 Struktur	39
5.1.2 Hasil Penelitian Geokimia	39
5.1.3 Hasil Penelitian Metode Gravitasi	42
5.1.3.1 Anomali Bougeur	43
5.1.3.2 Anomali Regional	44
5.1.3.3 Anomali Sisa	44
5.2 Interpretasi Model Terpadu	51
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	56
6.2 Saran	57
REFERENSI	59
LAMPIRAN	61

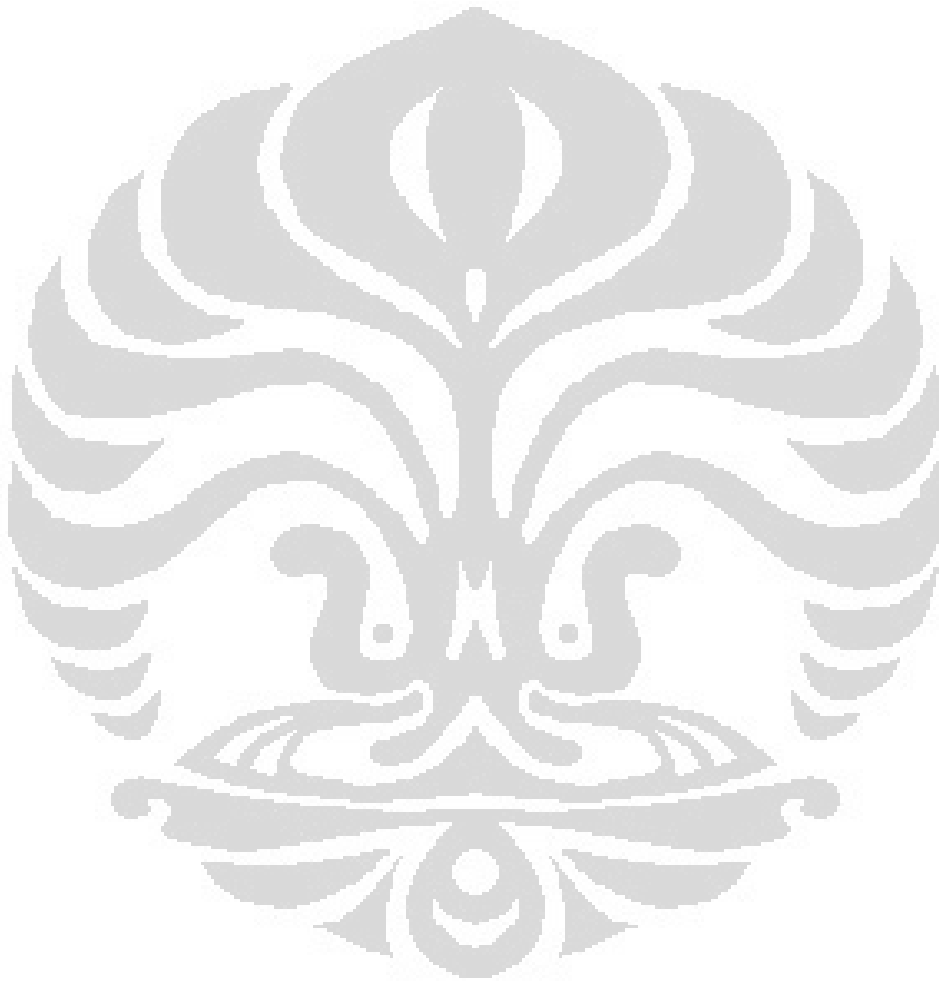
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi Daerah Penelitian	7
Gambar 1.2. Bagan Sistematika Penelitian	8
Gambar 2.1. Defleksi Proton dan Elektron pada Magnetopause (Arumsari, 2007)	10
Gambar 2.2. Skema Terjadinya Magnetotellurik (Arumsari, 2007)	11
Gambar 2.3. Hukum Faraday	12
Gambar 2.4. Hukum Ampere	12
Gambar 2.5. <i>Skin Depth</i> sebagai Fungsi Frekuensi dari Sinyal MT dan <i>Resistivity</i> Bumi (Xiao, 2004)	14
Gambar 2.6. Konfigurasi Medan EM dalam Struktur Geoelektrik 2-Dimensi (Xiao, 2004)	16
Gambar 2.7. Skema Sistem Panas Bumi Ideal (Dickson et al, 2004)	17
Gambar 2.8. Model Sistem Panasbumi (White, 1973)	18
Gambar 3.1. Peralatan MT	21
Gambar 3.2. <i>Lay out</i> Peralatan dalam Akuisisi Data MT (Arumsari, 2007)	24
Gambar 3.3 Contoh Raw Data Hasil Rekaman Selama 16 sekon	25
Gambar 3.4. Tahapan Pemrosesan Data MT	26
Gambar 3.5. Kurva Data MT 01 Sebelum Koreksi <i>Static Shift</i>	28
Gambar 3.6. Kurva Data MT 01 Setelah Koreksi <i>Static Shift</i>	28
Gambar 4.1. Tampilan Awal Software MT2Dinv	31
Gambar 4.2. Tampilan Proses Inversi Software MT2Dinv	32
Gambar 4.3. Hasil Pemodelan Inversi 2-Dimensi TE+TM Data Magnetotellurik	34
Gambar 5.1. Peta Geologi Daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten (PSG, 2006)	37

Gambar 5.2. Peta Topografi Daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten	38
Gambar 5.3. Diagram Cl-SO ₄ -HCO ₃ , Diagram Cl-Li-B, Diagram Na-K-Mg	42
Gambar 5.4. Peta Anomali Bougeur Data Gravitasi daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten	45
Gambar 5.5. Peta Anomali Regional Data Gravitasi Daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten	46
Gambar 5.6. Peta Anomali Residu Data Gravitasi Daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten	47
Gambar 5.6. Hasil Pemodelan 2-Dimensi Data Anomali Gravitasi. Angka di dalam model merupakan harga densitas batuan (gr/cc)	49
Gambar 5.7. Data Geologi Daerah Gunung Endut Yang Dilalui Lintasan Yang Akan Dimodelkan Anomali Gravitasinya	51
Gambar 5.8. Model Konseptual Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Endut, Banten	54
Gambar 5.9. Dugaan Luas Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Endut, Banten	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Sistem Panas Bumi Berdasarkan Temperatur Hochstein (Dickson et al, 2004)	19
---	----



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi telah menjadi kebutuhan pokok umat manusia di seluruh dunia. Hampir semua sektor kehidupan ini tidak pernah lepas dari peran energi. Listrik dan BBM, misalnya, telah menjadi penggerak berbagai perangkat penopang kegiatan kita. Dunia pun sudah sangat bergantung kepada minyak bumi sebagai sumber energinya, tak terkecuali negeri kita Indonesia. Padahal sudah sama-sama diketahui bahwa minyak bumi adalah sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable energy*). Yang suatu saat akan habis, dikarenakan permintaan (*demand*) dari masyarakat yang sangat tinggi, sedangkan jumlah cadangan energinya yang terbatas.

Salah satu cara yang harus dikembangkan untuk menjawab permasalahan kelangkaan energi minyak bumi dan mengikis ketergantungan masyarakat adalah dengan dikembangkannya pemanfaatan energi alternatif yang lebih prospek di Indonesia, salah satunya adalah energi panasbumi (*geothermal*). Energi panasbumi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sumber energi terbarukan yang lain, diantaranya:

1. Hemat ruang dan pengaruh dampak lingkungan yang minimal,
2. Mampu berproduksi secara terus menerus selama 24 jam, sehingga tidak membutuhkan tempat penyimpanan energi (*energy storage*),
3. Tingkat ketersediaan (*availability*) yang sangat tinggi yaitu diatas 95%. Namun demikian, pemulihan energi (*energy recovery*) panasbumi memakan waktu yang relatif lama yaitu hingga beberapa ratus tahun.

Indonesia dikenal sebagai negeri *The Ring of Fire*. Lebih dari 200 gunung berapi terdapat di sepanjang pulau Sumatera, Jawa, Bali dan kepulauan bagian timur Indonesia. Pergerakan lapisan bumi yang saling bertumbukan menyebabkan terjadinya proses radioaktif di kedalaman lapisan bumi sehingga menyebabkan terbentuknya magma dengan temperatur lebih dari 2000 °C. Setiap tahun, air hujan serta lelehan salju meresap ke dalam lapisan bumi, dan tertampung di suatu

lapisan batuan yang telah terkena arus panas dan magma. Lapisan batuan itu disebut dengan *reservoir* panasbumi yang mempunyai kisaran temperatur antara 200° - 300 °C. Siklus air yang setiap tahun berlangsung menyebabkan lapisan batuan *reservoir* sebagai tempat penghasil energi panasbumi yang dapat terus menerus diproduksi dalam jangka waktu yang sangat lama. Itulah sebabnya mengapa panasbumi disebut sebagai energi terbarukan.

Menurut Sugiharto Harsoprayitno, Direktur Pembinaan Pengusahaan Panasbumi Dan Pengelolaan Air Tanah, Departemen ESDM (2007), di Indonesia terdapat potensi energi panasbumi dalam jumlah yang melimpah ruah hingga mencapai 27 GWe atau setara dengan 40 persen sumberdaya panasbumi dunia, hanya saja belum dimanfaatkan secara optimal. Jumlah ini setara dengan enam milyar barel minyak bumi, cukup besar untuk memenuhi 10% dari permintaan tenaga listrik nasional tahun-tahun mendatang. Saat ini yang baru dimanfaatkan hanya sekitar 1052 MW.

Energi panasbumi memiliki banyak manfaat. Selain untuk tenaga listrik, energi panasbumi dapat langsung dimanfaatkan untuk kegiatan usaha pemanfaatan energi dan/ atau fluidanya, misalnya dimanfaatkan dalam dunia agroindustri. Sejumlah lapangan panasbumi Indonesia berdekatan bahkan berada di daerah pertanian, peternakan, kehutanan dan perkebunan yang membutuhkan energi panas dalam proses produksi maupun pengolahan hasil, yaitu untuk proses pengeringan, pengawetan, sterilisasi, pasteurisasi, pemanasan dan sebagainya.

Panasbumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetis semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panasbumi. Sumber energi tersebut berasal dari pemanasan batuan dan air bersamaan dengan unsur-unsur lain yang dikandung oleh panasbumi yang tersimpan di dalam kerak bumi. Untuk pemanfaatannya, perlu dilakukan kegiatan penambangan berupa eksplorasi dan eksploitasi guna mentransfer energi panas tersebut ke permukaan dalam wujud uap panas, air panas, atau campuran uap dan air serta unsur-unsur lain yang dikandung oleh panasbumi. Pada prinsipnya dalam kegiatan panasbumi yang ditambang adalah air panas dan uap air.

Secara fisis, sistem panasbumi berkaitan erat dengan daerah vulkanik, dimana daerah ini memiliki sifat fisis sebagai berikut: densitas tinggi, magnetik tinggi, permeabilitas dan porositas yang rendah, serta resistivitas yang tinggi. Padahal objek dari *reservoir* panasbumi memiliki sifat fisis densitas rendah, resistivitas rendah, permeabilitas dan porositas yang tinggi. Sehingga perlu dilakukan aplikasi dari metode geofisika untuk mensurvey daerah yang diduga memiliki potensi geothermal.

Menurut Dr. Yunus Daud (2005) dalam kuliah Pengantar Geofisika menjelaskan bahwa metode geofisika merupakan aplikasi dari ilmu fisika yang digunakan untuk mengidentifikasi objek tertentu yang berada di bawah permukaan bumi. Metode ini memanfaatkan adanya kontras sifat fisika dari objek yang dicari dibandingkan dengan kondisi lingkungan sekitarnya. Metode geofisika memiliki keunggulan dibandingkan metode lainnya, diantaranya adalah:

1. Dapat mengetahui kedalaman dan struktur bawah permukaan tanpa harus melakukan *drilling*,
2. Harganya relatif murah jika dibandingkan dengan *drilling*,
3. Waktunya cepat dan dapat meng-*cover* area yang lebih luas.

Sehingga metode ini penting untuk dilakukan sebelum kegiatan eksploitasi dilakukan.

Dalam sistem panasbumi, objek yang akan diinvestigasi dengan metode geofisika adalah *reservoir* panasbumi. Dalam *reservoir* ini, parameter kontras sifat fisiknya adalah fluida dan batuan yang berada di sekeliling atau di luar *reservoir*. *Reservoir* panasbumi biasanya berada pada daerah yang relatif jauh di bawah permukaan, sekitar 1-2 km. Oleh karena itu, dibutuhkan metode geofisika yang mampu melakukan penetrasi yang dalam dan efektif bekerja pada daerah yang konduktif. Metode geofisika yang cocok untuk diterapkan dalam penyelidikan ini adalah metode magnetotellurik.

1.2 Metode Magnetotellurik

Metode magnetotellurik merupakan metode pasif dalam metode geofisika yang mengukur variasi medan elektromagnetik bumi alami di permukaan untuk mengetahui resistivitas batuan pada struktur yang berada di bawah permukaan

bumi dari kedalaman puluhan meter hingga ratusan kilometer tergantung dari keberadaan objek yang akan kita cari. Variasi frekuensi medan magnet alami tersebut berada pada ruang lingkup $10^{-3} - 10^5$ Hertz.

Variasi medan EM alam merambat secara vertikal ke bumi karena adanya kontras resistivitas yang besar antara lapisan udara dengan bumi, yang menyebabkan terjadinya refraksi vertikal gelombang EM yang ditransmisikan menuju bumi (Vozoff, 1972). Variasi medan EM alam yang merambat ke bumi kemudian menginduksi arus listrik yang menjalar di bawah permukaan bumi (arus tellurik). Arus listrik tersebut kemudian menghasilkan medan EM sekunder bumi yang memodifikasi medan EM total di permukaan bumi. Medan EM tersebut yang membawa informasi mengenai resistivitas bawah permukaan bumi.

Medan EM alami direkam dalam arah x , y , z untuk medan magnetik dan arah x , y untuk medan listrik di permukaan bumi. Kemudian *apparent resistivity* akan dihitung sebagai fungsi frekuensi. Dengan frekuensi yang rendah membuat sinyal medan EM dapat melakukan penetrasi yang dalam, sehingga variasi *resistivity* terhadap kedalaman yang diinginkan dapat ditentukan.

Metode MT cocok digunakan untuk mempelajari lingkungan geologi yang kompleks, karena medan listrik dan medan magnet sensitif terhadap variasi vertikal dan horizontal secara resistivitas bawah permukaannya.

1.3 Data Pendukung

Untuk membantu memodelkan dan menginterpretasi data magnetotellurik (MT) yang terpadu, maka diperlukan data-data lainnya sebagai data pendukung. Pada penelitian ini, data yang digunakan sebagai data pendukung adalah sebagai berikut:

- a. Data hasil pengukuran metode geolistrik konfigurasi Schlumberger yang titiknya berdekatan sepanjang titik pengukuran MT berupa penampang resistivitas lapisan bawah permukaan sebagai data yang akan digunakan untuk koreksi efek pergeseran statik (*static shift effect*) dari data MT
- b. Data geologi, yang terdiri atas morfologi, stratigrafi dan struktur geologi daerah panasbumi gunung Endut, propinsi Banten

- c. Data hasil pengukuran metode gravitasi (gaya berat) yang diproses menjadi peta anomali Bouguer, peta anomali regional, peta anomali residu dan pemodelan 2-dimensi data gravitasi
- d. Data hasil olahan survey geokimia yang berupa diagram Cl-SO₄-HCO₃, diagram Cl-Li-B, dan diagram Na-K-Mg.

1.4 Pembatasan Masalah

Masalah yang dibahas dalam skripsi ini adalah bagaimana proses mendapatkan model geofisika sistem panasbumi berdasarkan data metode magnetotellurik yang dibantu dengan data pendukung yang diberikan. Proses ini berawal dari kegiatan akuisisi data di lapangan (kawasan gunung Endut, propinsi Banten) oleh pokja Panasbumi-Pusat Sumber Daya Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung pada bulan November 2008. Kemudian dilanjutkan dengan pemrosesan data magnetotellurik awal di kantor Pusat Sumber Daya Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung pada bulan Januari 2009. Kemudian, pemrosesan data magnetotellurik lanjutan, yaitu koreksi efek pergeseran statik (*static shift effect*) dan pemodelan 2-dimensi lintasan MT dilakukan di Laboratorium Geofisika Eksplorasi UI. Data metode MT yang diberikan sebanyak (1) satu lintasan dengan 7 (tujuh) titik pengukuran sepanjang lintasan tersebut. Lintasan pengukuran yang dilakukan melalui mata air panas Cikawah yang merupakan manifestasi panasbumi di permukaan. Selanjutnya dengan dibantu oleh data geologi, data geolistrik, data geokimia dan data gravitasi beserta model gravitasi yang dibuat maka dikonstruksikanlah model konseptual sistem panasbumi daerah gunung Endut, propinsi Banten untuk mengetahui keberadaan *up flow* dan *out flow*-nya.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari proses akuisisi data metode magnetotellurik secara langsung di lapangan
2. Mempelajari lebih dalam karakteristik objek yang mengandung potensi panasbumi

3. Mempelajari lebih dalam prosedur pemrosesan dan pemodelan data metode magnetotellurik
4. Memodelkan penampang resistivitas batuan sistem panasbumi secara 2-dimensi dengan metode magnetotellurik
5. Menggambarkan model konseptual sistem panasbumi dibantu dengan data pendukung untuk mengetahui keberadaan daerah *up flow* dan *out flow*.

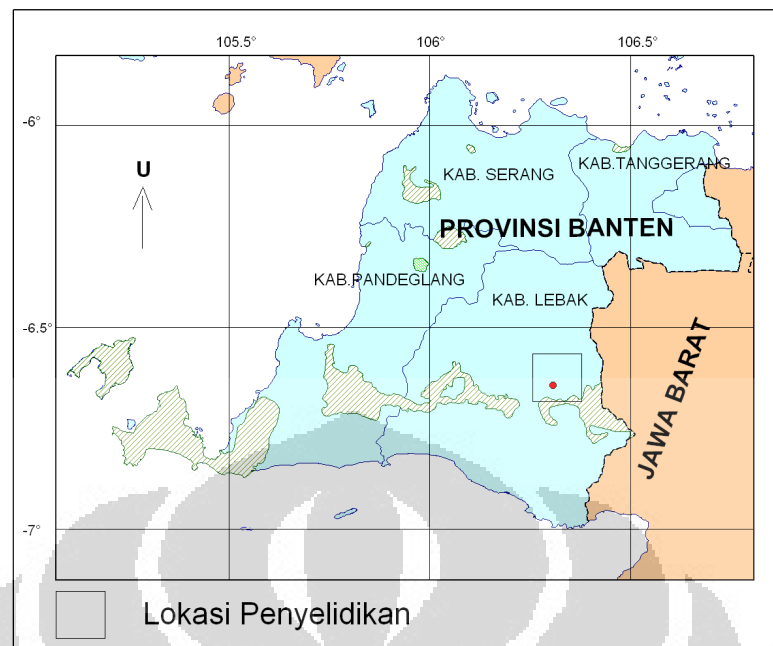
1.6 Lokasi Penelitian

Dalam laporan survey terpadu geologi, geokimia dan geofisika oleh Pusat Sumber Daya Geologi Bandung, daerah panasbumi gunung Endut secara administratif termasuk ke dalam wilayah kabupaten Lebak, propinsi Banten (**Gambar 1.1**).

Dalam laporan survey terpadu tersebut disebutkan bahwa luas daerah penyelidikan direncanakan sekitar $13 \times 13 \text{ km}^2$ untuk survei geologi, sedangkan untuk survei geokimia dan geofisika pada daerah yang lebih sempit (sekitar $8 \times 10 \text{ km}^2$) untuk dapat membatasi daerah prospek panasbumi di dalam daerah penelitian. Penelitian ini menggunakan peta dasar skala 1 : 50.000 edisi I tahun 1991, yaitu Peta Rupa Bumi Indonesia (Bakosurtanal), lembar peta Muncang. Lembar-lembar peta tersebut termasuk ke dalam zona 48 S wilayah propinsi Banten, pulau Jawa, yang secara geografis terletak antara $106^{\circ}15'22''$ – $106^{\circ}22'39''$ BT dan $06^{\circ}34'04''$ – $06^{\circ}41'04''$ LS atau antara 9261000 – 9274000 mU dan 639000 – 652000 mS pada proyeksi UTM_WGS84.

Perjalanan untuk mencapai lokasi penyelidikan dapat ditempuh dengan rute berikut ini:

- a. Serang, Banten dapat ditempuh dengan menggunakan kendaraan roda empat
- b. Serang - Rangkasbitung dengan menggunakan bis umum selama 1-2 jam
- c. Rangkasbitung - Cikupa dengan memakai angkutan umum berupa kendaraan roda empat
- d. Untuk menuju lokasi-lokasi di lapangan dapat menggunakan kendaraan roda empat dan roda dua, atau berjalan kaki.

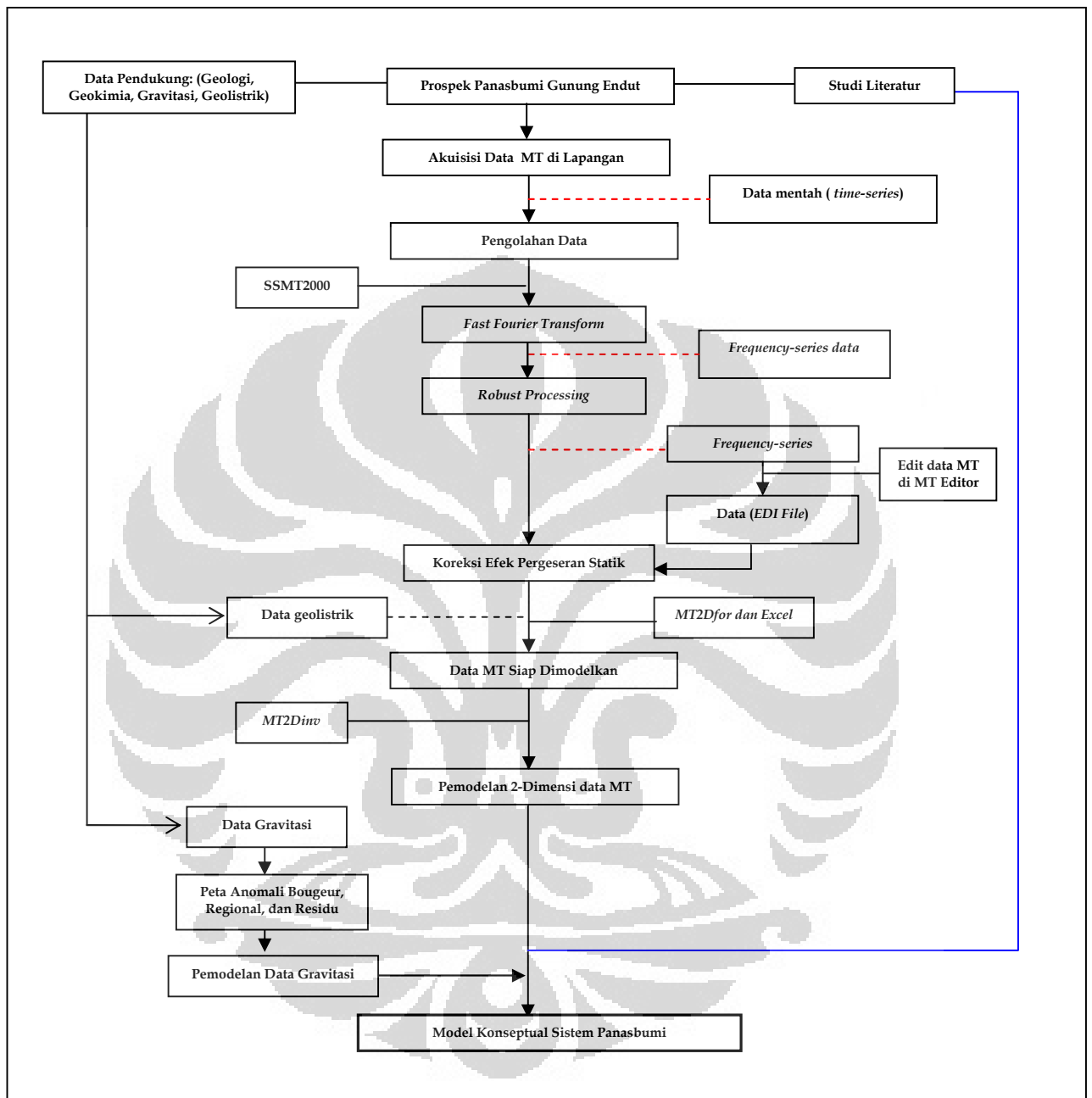


Gambar 1.1. Lokasi Daerah Penelitian

1.7 Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, penulis memulainya dengan melakukan studi literatur. Penulis melakukan pengumpulan bahan untuk keperluan penelitian baik dari buku-buku, artikel, *paper-paper* internasional maupun skripsi-skripsi terdahulu yang berhubungan dengan topik penelitian. Kemudian penulis mempelajari karakteristik dari teori dan alat yang digunakan dalam metode magnetotellurik.

Pada tahapan berikutnya, penulis ikut terlibat akuisisi data di lapangan bersama Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung. Kemudian melakukan pengolahan dan pemodelan data serta penginterpretasian model konseptual untuk sistem panasbumi dari data magnetotellurik. Dan sebagai tahapan terakhir, penulis melakukan interpretasi data lapangan dengan bantuan data penunjang berupa data geologi, data geolistrik, data geokimia dan data gravitasi untuk mendapatkan model konseptual sistem panasbumi daerah gunung Endut, propinsi Banten secara terpadu. Setiap tahapan yang dilakukan senantiasa dikonsultasikan kepada pembimbing skripsi. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat dalam **Gambar 1.2**.



Gambar 1.2. Bagan Sistematika Penelitian

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Magnetotellurik

2.1.1 Prinsip Dasar Metode Magnetotellurik

Metode magnetotellurik menghasilkan nilai *resistivity* sebagai parameter baru dan hasil informasi pada kedalaman yang sebelumnya tidak tersolusikan oleh survey medan potensial geofisika, seperti metode gravitasi maupun geomagnet. Karena dalam interpretasinya, metode magnetotellurik (MT) memberikan nilai *resistivity* dan kedalaman (*depth*), yang tidak hanya anomali tinggi dan rendah pada datanya. Oleh karena itu, interpretasi kedalaman (*depth*) berdasarkan data MT lebih banyak lagi memberikan kepastian dibandingkan data gravitasi atau magnetik.

Menurut Green (2003), amplitudo, fase, dan hubungan arah antara medan listrik (**E**) dan medan magnetik (**H**) di atas permukaan bergantung pada distribusi resistivitas listrik di bawah permukaan. Dengan bergantungnya sinyal frekuensi dan *resistivity* materialnya, metode magnetotellurik bisa menyelesaikan struktur geoelektrik dari kedalaman puluhan meter sampai dengan puluhan kilometer. Sinyal frekuensi yang lebih rendah dengan panjang gelombang yang lebih panjang, dapat diperoleh oleh waktu merekam yang lebih panjang, sehingga mempunyai penetrasi kedalaman yang lebih jauh.

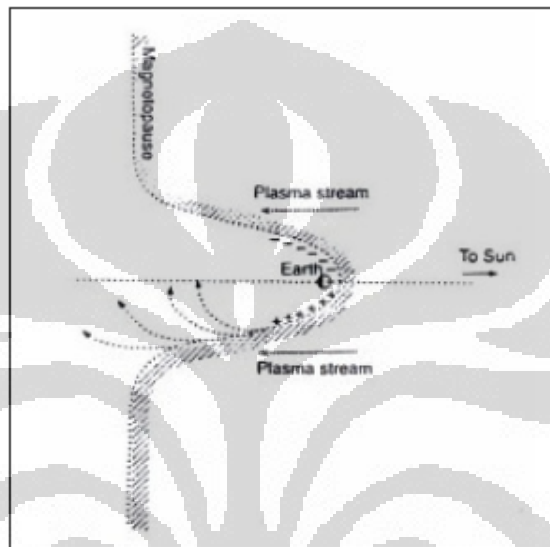
2.1.2. Sumber Sinyal Metode Magnetotellurik

Dalam tesisnya Xiao (2004) mengatakan bahwa ada dua sumber utama sinyal elektromagnetik alamiah yang digunakan dalam metode magnetotellurik, yaitu:

1. Sinyal yang berfrekuensi antara 1 – 10 kHz, medan elektromagnetik alamiah ini dihasilkan atmosfer bumi akibat aktifitas cuaca ataupun kilat (*lightning*)
2. Sinyal yang berfrekuensi di bawah 1 Hz, berasal dari fluktuasi medan magnet bumi yang disebabkan oleh perubahan dalam *magnetosphere*. *Magnetosphere* adalah zona kompleks plasma, yang secara konstan terdorong oleh *solar wind*.

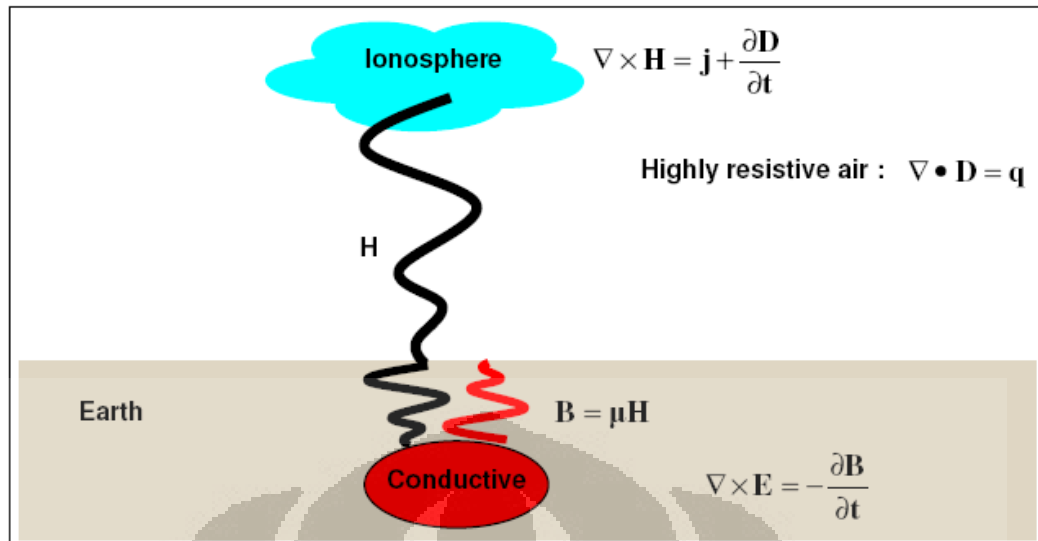
2.1.3. Proses Terjadinya Metode Magnetotellurik

Menurut Green (2003), ketika *solar wind* bertemu *magnetosphere* bumi, elektron dan proton terdefleksi berlawanan arah yang menimbulkan peningkatan arus listrik dalam plasma dan efek medan magnetik. Per lapisan (*interface*) ini bergerak berpindah secara tak menentu sebagai energi *solar wind* yang tiba. Hasil efek magnetik yang timbul di *magnetopause* dengan kuat diubah oleh waktu saat menembus permukaan bumi dan diamati.



Gambar 2.1. Defleksi Proton dan Elektron pada Magnetopause (Arumsari, 2007)

Setelah mengenai bumi, medan elektromagnetik (EM) alam hakikatnya merambat secara vertikal menuju bumi karena adanya kontras *resistivity* yang besar pada lapisan udara-bumi, yang menyebabkan pembelokan/ refraksi vertikal kedua medan (elektrik dan magnetik) yang ditransmisikan ke dalam bumi. Medan EM kemudian berasosiasi dengan arus tellurik yang ada di bumi. Kemudian medan magnetik \mathbf{H} menginduksi batuan konduktif dalam lapisan bumi dan menghasilkan medan magnetik sekunder \mathbf{B} . Perubahan medan magnet horisontal menginduksi perubahan medan listrik yang horisontal inilah yang akan diukur di permukaan. Lihat Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2. Skema Terjadinya Magnetotellurik (Arumsari, 2007)

2.2 Persamaan Medan Elektromagnetik Maxwell

2.2.1 Persamaan Umum Medan Elektromagnetik Maxwell

Untuk memahami penjalaran gelombang elektromagnetik yang digunakan dalam metode magnetotellurik, maka ada beberapa asumsi penyederhanaan (Cagniard, 1953):

1. Persamaan Maxwell berlaku
2. Bumi tidak menghasilkan gelombang EM. Bumi hanya menyerap gelombang EM
3. Medan dianggap konservatif (hukum kekekalan energi berlaku) dan jauh dari sumber
4. Medan yang dihasilkan dianggap seragam (*uniform*), terpolarisasi bidang dan merambat dalam arah vertikal
5. Medan listrik dianggap *quasi-static*. Arus pergeseran diabaikan, hanya memperhitungkan arus konduksi
6. Permittivitas dan permeabilitas batuan dianggap konstan.

Kemudian persamaan differensiasi yang menggambarkan sifat dari medan elektromagnetik diberikan oleh persamaan Maxwell (Xiao, 2004):

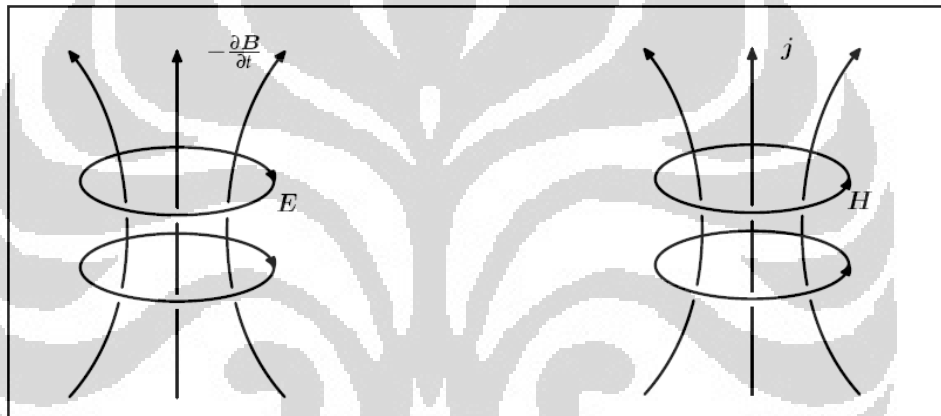
$$\nabla \cdot B = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\nabla \cdot E = \rho / \epsilon \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\nabla \times H = \sigma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana **E** adalah kuat medan listrik dalam *V/m*, **H** adalah kuat medan magnet, **B** adalah densitas *flux* magnetik dalam *W/m²*, ρ adalah rapat muatan dalam *C/m³*, σ adalah konduktivitas dalam *S/m*, ϵ adalah konstanta dielektrik dalam *F/m*.



Gambar 2.3 Hukum Faraday

Gambar 2.4. Hukum Ampere

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times H = J$$

Karena $\mathbf{J} = \sigma\epsilon$ dan $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$, persamaan 2.3 dapat ditulis menjadi:

$$\nabla \times B = \mu J + \mu\epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana **J** adalah densitas arus dalam *A/m²* dan μ adalah permeabilitas magnetik dalam *H/m*. Biasanya, dalam ruang hampa nilai $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ dan $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$.

Dengan menggabungkan persamaan 2.4 dan 2.5 di atas, maka diperoleh persamaan:

$$\nabla^2 E = \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Persamaan $\left(\mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t}\right)$ merupakan arus konduksi yang berhubungan dengan lingkungan yang konduktif sedangkan persamaan $\left(\mu\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}\right)$ merupakan arus pergeseran yang berhubungan dengan lingkungan dielektrik.

Sebagaimana asumsi penyederhanaan sebelumnya bahwa untuk memahami metode MT ini, Cagniard (1953) menyampaikan bahwa perlu menganggap bumi sebagai lingkungan yang konduktif, sehingga arus konduksi yang akan digunakan dalam analisis data MT ini. Sehingga persamaan yang menggambarkan perambatan gelombang EM di bumi adalah persamaan difusi bukan persamaan gelombang:

$$\nabla^2 E - \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Jika $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{-i\omega t}$, maka persamaan 2.7 menjadi:

$$\nabla^2 E + i\omega\mu\sigma E = 0 \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Karena adanya perubahan energi EM menjadi energi panas, maka kuat medan listrik menurun secara eksponensial dengan kedalaman. Jika gelombang hanya merambat pada sumbu z , maka persamaan 2.8 menjadi:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} + i\omega\mu\sigma E = 0 \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{-i\omega t} e^{kz}$, dimana \mathbf{E}_0 adalah kuat medan listrik di permukaan, persamaan 2.9 akan menjadi:

$$Ek^2 + i\omega\mu\sigma E = 0 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$E(k^2 + i\omega\mu\sigma) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Kemudian solusi untuk k adalah:

$$k = \pm(1-i)\sqrt{\frac{i\omega\mu\sigma}{2}} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana k merupakan bilangan gelombang kompleks dari medium. Sehingga perambatan medan di bumi dapat ditulis juga sebagai:

$$E = E_0 e^{-i\omega t} e^{i\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}z} e^{-\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}z} \dots\dots\dots (2.13)$$

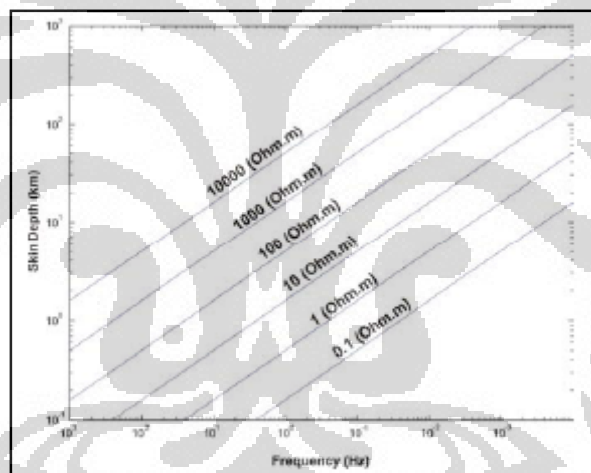
Persamaan $e^{-\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}z}$, merepresentasikan peluruhan amplitudo karena perambatan gelombang pada sumbu z.

2.2.2 Skin Depth

Skin depth (δ) didefinisikan sebagai kedalaman dimana amplitudo gelombang berkurang hingga lebih menjadi sepertiga amplitudo awal. Dalam medium 1-Dimensi yang homogen, diperoleh:

$$\delta = 0.5\sqrt{\rho T} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\delta = 503\sqrt{\frac{\rho}{f}}(\text{meter}) \dots\dots\dots (2.15)$$



Gambar 2.5. Skin Depth sebagai Fungsi Frekuensi dari Sinyal MT dan Resistivity Bumi (Xiao, 2004)

2.2.3 Apparent Resistivity dan Fase

Apparent resistivity dan fase merupakan dua parameter utama yang digunakan untuk mengolah informasi struktur *resistivity* dari data yang diukur. Dengan menghitung *apparent resistivity* sebagai fungsi frekuensi, variasi *resistivity* dengan kedalaman dapat ditentukan.

Kuat medan magnet **H** yang bervariasi terhadap waktu ditulis dengan **H** = **H**₀ $e^{-i\omega t}$. Sehingga persamaan 2.4 menjadi:

$$H = \frac{1}{i\omega\mu_0} \nabla_x E \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Di dalam bumi, perbandingan kuat medan listrik dan medan magnet dapat ditulis sebagai:

$$E_x = E_0 e^{-kz} e^{-i\omega t} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

$$H_y = \frac{1}{i\omega\mu_0} E_0 e^{-kz} e^{-i\omega t} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

dimana medan listrik E_x tegak lurus dengan medan magnetik H_y .

Untuk mendapatkan informasi berguna mengenai struktur resistivitas bumi dari pengukuran di permukaan ($z = 0$), maka perbandingan medan listrik E tegak lurus medan magnet H yang terukur digunakan dan didefinisikan sebagai impedansi:

$$Z = \frac{E}{H} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Dari persamaan 2.17 dan 2.18, impedansi Z_{xy} diberikan sebagai:

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{(1-i)}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega\mu_0\rho} \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Apparent Resistivity (ρ_{xy}) merepresentasikan volume rata-rata resistivitas bumi dengan jarak yang sama ke *skin depth*. *Apparent resistivity* dapat diselesaikan dari persamaan 2.20:

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{\omega\mu_0}} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

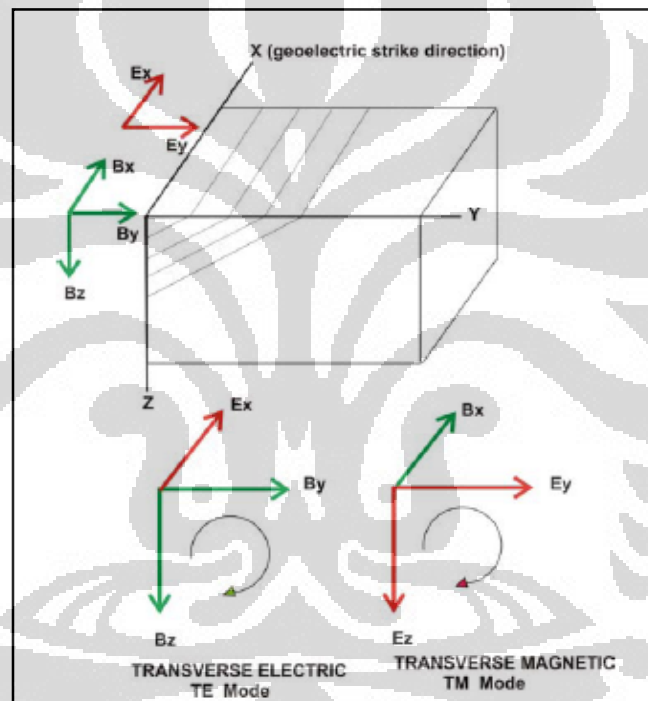
Dan fase (φ_{xy}) merefleksikan perbedaan fase antara komponen medan listrik dengan medan magnet yang didefinisikan dengan:

$$\varphi_{xy} = \arg(Z_{xy}) \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

2.2.4 Magnetotellurik 2-Dimensi

Pada lapisan bumi yang *uniform* dan *horizontal*, *apparent resistivity* tidak bergantung pada arah komponen medan listrik dan medan magnetik. Kondisi ini akan berbeda jika strukturnya 2-dimensi atau 3-dimensi.

Jika bumi dipandang sebagai 2-dimensi, kondisi ini akan lebih sederhana jika kita pisahkan menjadi dua *mode*. Komponen medan E_x , H_y , H_z berhubungan dengan arus listrik sepanjang *strike*. Ketiga medan tersebut disebut *transverse electric (TE) mode* dengan *apparent resistivity* dihitung dari E_x dan H_y . TE *mode* sangat sensitif sepanjang *strike* yang konduktor. Selain itu H_x , E_y , dan H_z terdiri dari *transverse magnetic (TM) mode* jika *apparent resistivity* dihitung dari H_x dan E_y . Dalam TM *mode*, arus mengalir sepanjang batas resistivitas yang berbeda, yang menyebabkan muatan listrik bertambah pada peralapisan batuan. Sehingga TM *mode* lebih efektif dalam melokalisasi peralapisan antara daerah yang berbeda resistivitasnya.



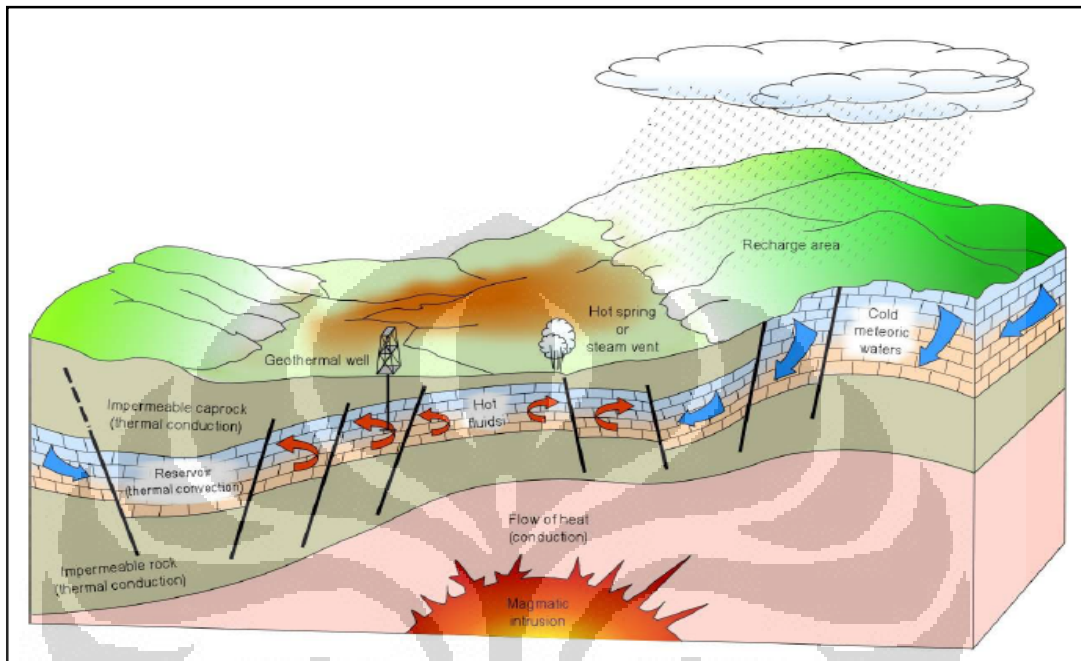
Gambar 2.6. Konfigurasi Medan EM dalam Struktur Geoelektrik 2-Dimensi (Xiao, 2004)

2.3 Sistem Panasbumi

2.3.1 Skema Sistem Panasbumi

Sistem panasbumi dapat digambarkan sebagai konveksi fluida pada kerak bumi teratas, dimana dalam ruang terperangkap, transfer panas dari sumber panas (*heat source*) ke penyimpanan panas dalam keadaan permukaan yang bebas (*free surface*). Sistem panasbumi sendiri umumnya dibangun atas lima elemen utama,

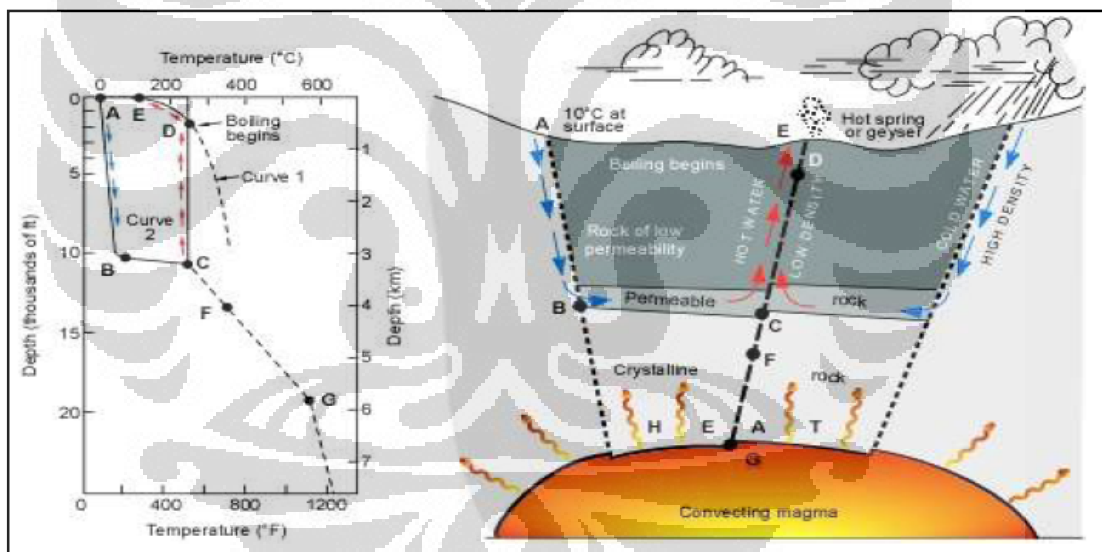
yaitu: *heat source*, *reservoir*, lapisan penudung, struktur geologi yang biasanya merupakan patahan dan terakhir adalah fluida yang merupakan pembawa panas (Gambar 2.7).



Gambar 2.7. Skema Sistem Panasbumi Ideal (Dickson et al, 2004)

Heat source merupakan sumber panas dari sistem panasbumi. *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. Di atas *reservoir* terdapat lapisan penudung atau biasa di sebut *cap rocks* yang merupakan lapisan *clay*. Lapisan *clay* merupakan lapisan impermeabel yang berfungsi untuk menjaga panas agar tetap terakumulasi di dalam zona *reservoir*. Fluida panasbumi adalah air, sebagian besar merupakan air *meteoric*. Sedangkan struktur geologi yang dimaksud merupakan rekahan atau patahan yang akan menjadi jalur dilaluinya fluida/ 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 dalam hal ini merupakan air merupakan media penyimpan panas.

Menurut White (1973), fluida berasal dari air *meteoric* yang masuk ke batuan bawah permukaan melalui rekahan atau lapisan batuan yang permeabel. Sampai di bawah permukaan, air *meteoric* akan menjadi panas jika terjadi kontak dengan *heat source*. Karena air panas memiliki densitas yang rendah maka ia cenderung bergerak ke atas melalui rekahan atau lapisan batuan permeabel dan akan muncul di permukaan 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. Maka hal itu terjadi maka fluida akan berupa campuran uap-air. Bila pada kedalaman tertentu temperatur air lebih besar dari temperatur saturasinya maka di dalam sistem hanya terdapat satu fasa saja, yaitu fasa uap. Sehingga manifestasi panasbumi di permukaan merupakan ekspresi permukaan dari sistem konveksi yang sangat besar.



Gambar 2.8. Model Sistem Panasbumi (White, 1973)

Kurva 1 adalah kurva referensi untuk titik didih air murni. Kurva 2 menunjukkan profil temperatur sepanjang rute sirkulasi dari *recharge* pada titik A ke *recharge* pada titik E

2.3.2 Klasifikasi Sistem Panasbumi

Kriteria yang biasa digunakan untuk mengklasifikasi sumber daya panas bumi berdasarkan enthalpi yang menunjukkan energi panas yang dimiliki oleh

fluida. Namun, pada kenyataannya pengklasifikasiannya tidak berdasarkan harga entalpi melainkan berdasarkan temperatur karena entalpi merupakan fungsi dari temperatur itu sendiri.

Tabel 1. Klasifikasi Sistem Panas Bumi Berdasarkan Temperatur Hochstein (Dickson et al, 2004)

Resources	Temperatur
Low Enthalphy	< 125 °C
Intermediate Enthalphy	125 – 225 °C
High Enthalphy	> 225 °C

Berdasarkan jenis fluida produksi dan jenis kandungan utamanya, sistem *hydrothermal* 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 eksploitasi. Sistem dua fasa dibagi menjadi dua, yaitu sistem dominansi uap (*vapour dominated system*) dan sistem dominansi air (*water dominated system*).

1. *Vapour dominated system*, yaitu sistem panasbumi dimana sumur-sumurnya memproduksi uap kering atau uap basah karena rongga-rongga batuan *reservoir*-nya sebagian besar berupa uap panas. Dalam sistem ini uap mengisi rongga-rongga atau rekahan-rekahan, sedangkan air mengisi pori-pori batuan
2. *Water dominated system*, yaitu sistem panasbumi dimana sumur-sumurnya menghasilkan fluida dua fasa berupa campuran uap-air. Dalam sistem dominansi air, air mengisi rongga-rongga atau rekahan-rekahan.

BAB 3

AKUISISI DAN PEMROSESAN DATA MAGNETOTELLURIK

3.1 Lokasi Pengambilan Data Metode Magnetotellurik

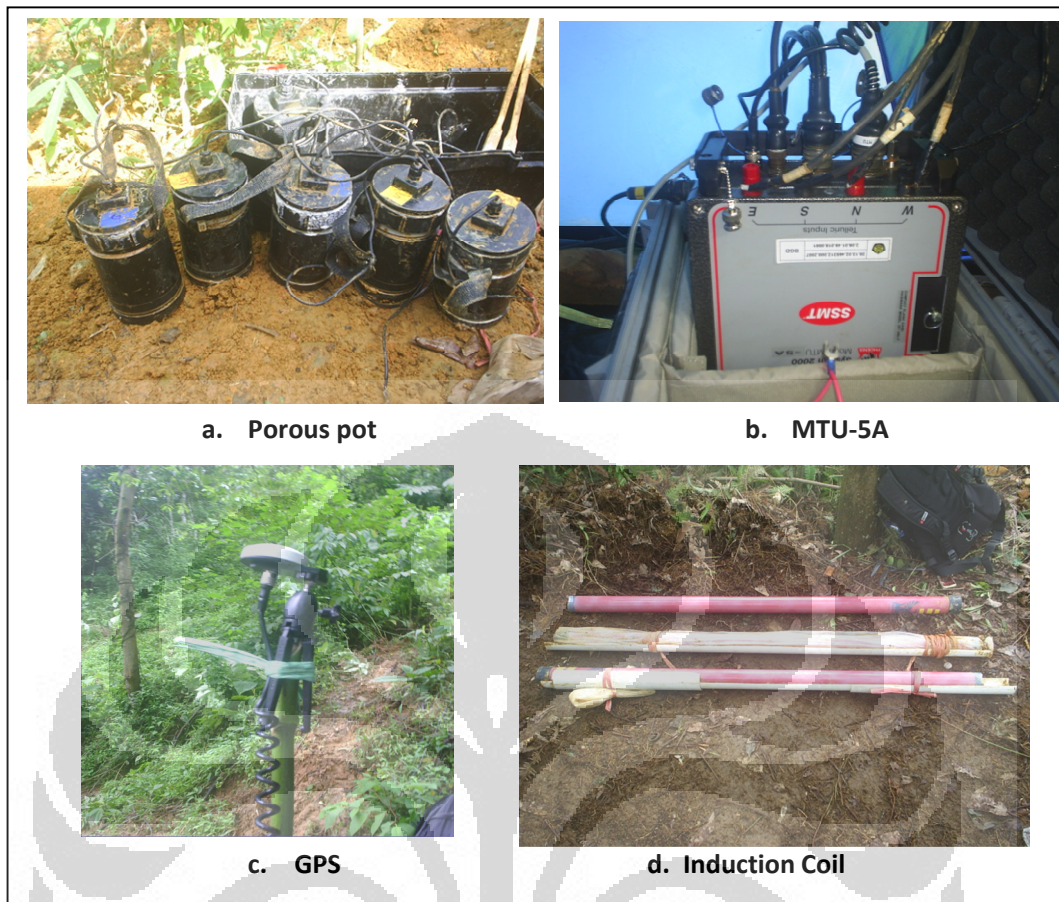
Dalam melakukan pemilihan titik pengukuran dalam akuisisi data di lapangan maka langkah pertama yang harus diperhatikan adalah menghindari lokasi-lokasi yang bisa menyebabkan sumber *noise*. Hal ini perlu dilakukan untuk menjaga kualitas data yang akan direkam.

Deskripsi lokasi titik pengukuran pada penelitian ini berada di atas bukit yang tidak dilalui oleh kabel listrik. Namun beberapa titik memang ada pengaruh getaran dari air sungai di sekitar titik pengukuran. Cuaca di daerah penelitian juga sering hujan.

3.2 Peralatan Akuisisi Data Metode Magnetotellurik

Peralatan yang digunakan dalam akuisisi data metode magnetotellurik di daerah penelitian antara lain:

1. 1 (satu) unit MTU-5A
2. 1 (satu) buah *Removable flash card*
3. 3 (tiga) buah *Induction Coil*
4. 5 (lima) buah *Porous Pot*
5. 8 (delapan) buah kabel gulung
6. 1 (satu) unit *Laptop*
7. 1 (satu) buah GPS (*Ground Positioning System*)
8. 1 (satu) unit *accumulator* dan (satu) buah *DC-AC Converter*
9. Peralatan dan material pendukung lainnya:
 - a. Bentonit, akuades, garam, waterpass, tenda, terpal
 - b. Kompas, Multimeter analog dan digital
 - c. Meteran, pacul, alat bor tanah, pahat, *cutter*, amplas



Gambar 3.1. Peralatan MT

MTU (*Magnetotelluric unit*) digunakan sebagai alat untuk merekam variasi waktu medan listrik dan medan magnetik. Data hasil rekaman tersebut kemudian disimpan pada *removable flash card*. *Induction coil* merupakan sensor medan magnetik (H_x , H_y , H_z), dua buah diletakkan secara horizontal saling tegak lurus dan satu buah dipasang secara vertikal. Untuk sensor medan listrik (E_x , E_y) digunakan *electrode non polarizable* agar tidak menimbulkan gangguan medan listrik yang dimiliki oleh *electrode* itu sendiri. *Elektrode* ini menggunakan empat buah *porous pot* yang ditanam saling tegak lurus sebagai dua buah sensor medan listrik (E_x dan E_y). 1 (satu) buah lagi ditanam sebagai *ground*. Di dalam *porous pot* terdapat kawat timbal yang terisi dengan timbal-klorida tersaturasi dan larutan sodium klorida. Kabel konektor berjumlah delapan buah yang digunakan untuk menghubungkan tiga buah *induction coil* dan lima buah *porous pot* ke MTU. *Laptop* digunakan untuk mengoperasikan MTU, keperluan transfer data dari

removable flash card, serta melihat dan mengecek data mentah (*raw data*) hasil rekaman. Kemudian sinyal GPS digunakan untuk mensinkronkan waktu dan mengetahui posisi pengukuran MT. Akumulator digunakan sebagai sumber energi listrik untuk mengaktifkan MTU. DC-AC *Converter* digunakan untuk mengubah tegangan DC pada akumulator menjadi AC untuk mengaktifkan *laptop*.

Bagian dasar lubang untuk tempat *porous pot* harus dilapisi dengan larutan bentonit (yang terbuat dari bentonit, garam dan akuades) agar *electrode* berada di sekitar lokasi yang bersifat elektrolit. Sehingga *electrode* dapat merekam arus *telluric* dengan optimal. Waterpas digunakan untuk menset *coil* agar berada *fix* horizontal ketika ditanam. Kompas digunakan sebagai penunjuk arah Barat, Timur, Utara dan Selatan. Multimeter analog digunakan untuk mengukur tahanan dari kabel *electrode*, sedangkan multimeter digital untuk mengukur arus listrik dan tegangan listrik dari akumulator.

Tenda digunakan sebagai *center* dan pelindung alat (MTU) dan sebaiknya di atas tenda dilapisi dengan terpal untuk melindungi rembesan air hujan. Kemudian meteran digunakan untuk mengukur jarak lokasi peletakkan *coil* dan *electrode*, cangkul dan alat bor tanah digunakan untuk menggali tanah sampai menemukan daerah yang tepat untuk meletakkan sensor medan magnetik (*coil*). Pahat digunakan untuk menggali tempat untuk menanam sensor medan listrik (*electrode*), *cutter* digunakan untuk mengupas atau memotong kabel dan sebelum dihubungkan ke *electrode* dan MTU. Sebaiknya kabel diampelas terlebih dahulu agar dapat kontak dengan optimal.

3.2 Proses Akuisisi Data Metode Magnetotellurik

3.2.1 Set up alat

Hal yang pertama dilakukan sebelum akuisisi data adalah melakukan kalibrasi alat (MTU) di tanah lapang yang terhindar dari *noise* (misalnya kabel PLN). Proses kalibrasi ini dilakukan dengan men-*set* sensor magnetik (*coil*) yang diletakkan di atas tanah saling sejajar. Kemudian *coil* tersebut, GPS, *laptop* dan akumulator dihubungkan ke MTU. Kemudian aktifkan MTU untuk mencari sinyal satelit dan operasikan pengkalibrasian MTU menggunakan *laptop*. Selanjutnya biarkan MTU merekam dan menyimpan data selama kurang lebih 30 menit.

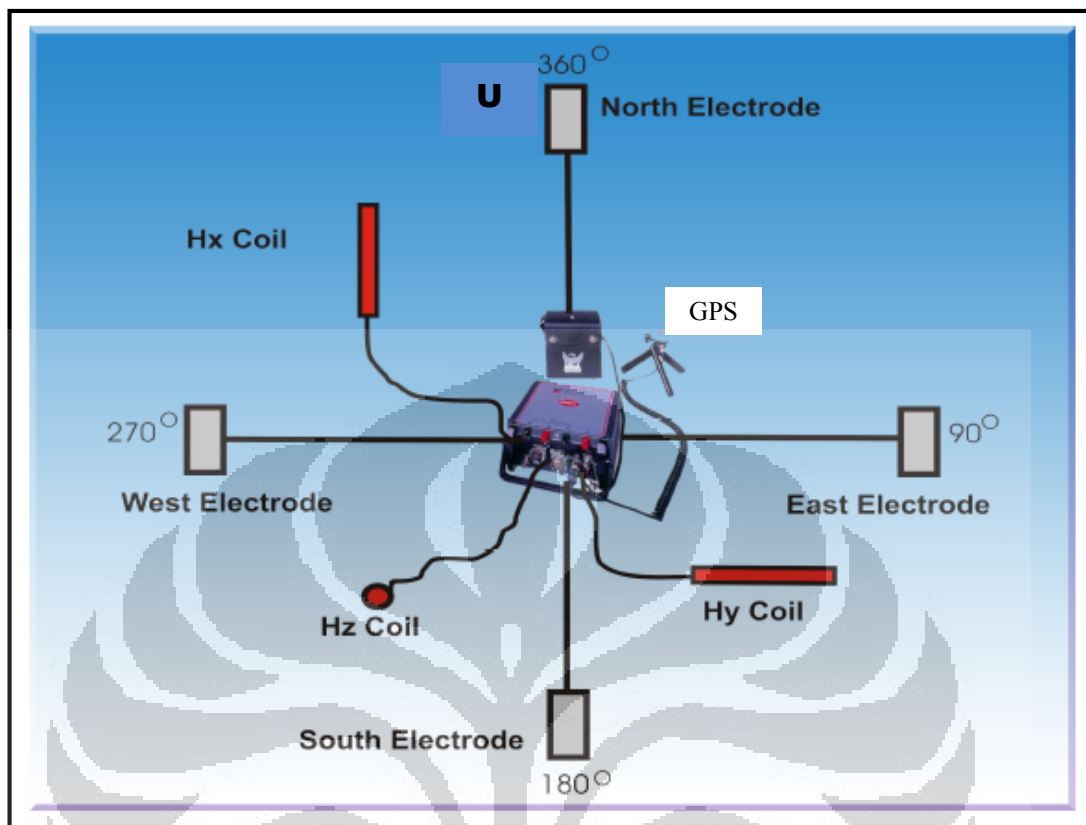
Setelah MTU selesai dikalibrasi maka kita dapat melakukan akuisisi data MT pada titik-titik yang telah direncanakan.

Pada proses akuisisi data, diperlukan tim topografi yang bertugas mensurvey titik-titik yang akan digunakan untuk pengukuran MT dan beberapa warga setempat untuk menunjukkan jalan serta membantu membawakan dan menyusun peralatan di lapangan. Setelah titik tersebut didapatkan, maka tim pengukuran data MT bisa menuju titik pengukuran. Kemudian kita merangkai semua komponen pengukuran MT sesuai Gambar 3.2.

Penentuan sistem koordinat yang digunakan dalam merangkai peralatan MT harus diperhatikan. Arah sensor medan listrik dan sensor medan magnet didefinisikan dengan y sejajar/ parallel dengan *strike*, x tegak lurus dengan *strike*, dan z menunjuk secara vertikal ke bawah. Secara umum Green (2003) mendefinisikan arah *strike* adalah arah utara-selatan dalam sistem koordinat ini.

Tiga buah *coil* sensor medan magnet (**H_x**, **H_y**, **H_z**) diletakkan dalam kuadran yang berbeda. Sehingga *coil* dapat merekam secara *orthogonal* komponen medan magnet x , y , dan z secara murni untuk tiap *coil*. Dua buah *coil* **H_x** dan **H_y** ditanam secara horisontal di tanah, *coil* **H_x** menghadap ke arah utara sedangkan kabel konektor *coil* ke MTU ke arah Selatan. *Coil* **H_z** menghadap ke arah timur sedangkan kabel konektor *coil* ke MTU ke arah Barat. dan satu buah *coil* **H_z** ditanam secara vertikal menuju pusat bumi. *Coil* perlu dilapisi dengan plastik untuk melindungi dari *noise* yang akan mengganggu alat. Misalnya air hujan, binatang dalam tanah dan lainnya.

Dua buah sensor medan listrik (**E_x** dan **E_y**) diletakkan paralel dengan sensor medan magnetik yang horisontal (**H_x** dan **H_y**). *Elektrode* **E_x** diletakkan dalam arah *North-South* sepanjang sekitar 100 meter dan *electrode* **E_y** diletakkan dalam arah *East-West* sepanjang 100 meter juga. Satu buah *porous pot* yang berfungsi sebagai *ground* ditanam di dekat *center* dan dihubungkan dengan kabel ke MTU dengan jarak sekitar 1 (satu) meter. GPS dipasang pada ketinggian tertentu (sekitar 2 meter di atas tanah) di dekat *center* dan dihubungkan ke MTU.



Gambar 3.2. *Lay out Peralatan dalam Akuisisi Data MT (Arumsari, 2007)*

3.2.2 Perekaman Data

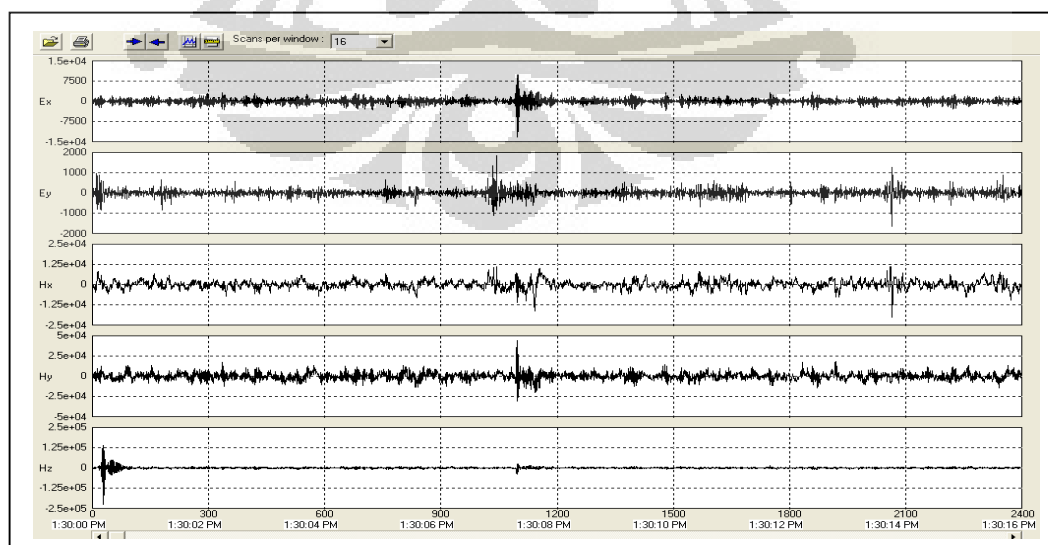
Setelah semua peralatan telah selesai di *set up*, maka perekaman data siap dilakukan. MTU diaktifkan untuk menangkap sinyal satelit dari GPS dan untuk mensinkronkan waktu, biasanya dibutuhkan waktu sekitar 15 menit sebelum pengoperasian MTU dengan menggunakan *laptop*. Setelah sinyal satelit dari GPS berhasil didapatkan, selanjutnya parameter-parameter dalam pengukuran MT perlu di-*set* melalui *laptop*. Setelah selesai semua maka MTU siap untuk merekam data. Data MT direkam oleh alat MTU-5A yang diproduksi oleh *Phoenix Geophysics* di *Toronto*. MTU-5A dapat mengukur tiga komponen medan magnetik dan dua komponen medan listrik. Proses akuisisi data MT dilakukan pada dua titik secara bersamaan tiap harinya. Fungsi *remote reference* ada pada dua titik pengambilan data MT yang bertindak saling mengoreksi satu dengan yang lainnya. Lamanya waktu perekaman data yang dilakukan tiap harinya kurang

lebih 16 jam dari sekitar pukul 14.00 – 06.00 WIB dengan 3 (tiga) frekuensi sampling rate yaitu pada 2400 Hz, 150 Hz, dan 15 Hz.

Untuk mendapatkan kualitas data yang baik, kita perlu mengetahui kondisi tiap titik karena sumber *noise* sering berinterferensi dengan peralatan. Ada beberapa *noise* yang harus kita perhatikan sebagai berikut: *Ground motion* dapat menggerakkan sensor magnetik dan kemudian menyebabkan *noise* pada komponen medan magnetik. Kabel listrik dan *transmitter* radio juga dapat menyebabkan *noise* berupa gelombang elektromagnetik. Arus listrik dari pompa irigasi dapat mendistorsi medan listrik. Binatang juga dapat menjadi *noise* karena ia dapat menggoyang-goyang, menarik-narik atau menggigit-gigit kabel sehingga mempengaruhi kualitas data.

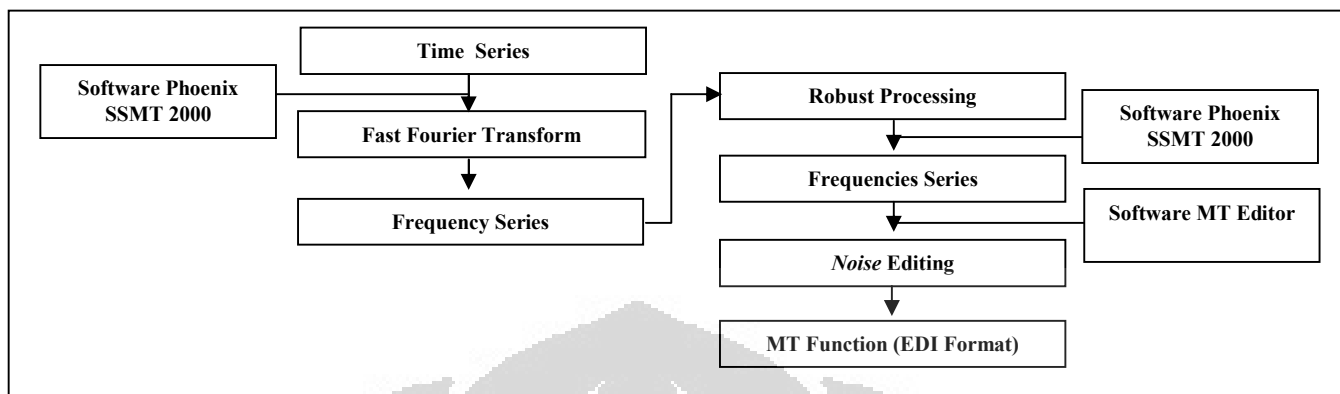
Langkah penanganannya untuk beberapa *noise* adalah dengan mengubur peralatan di bawah tanah dan menempatkan benda berat sepanjang kabel yang menyambung ke *electrode* untuk membantu meminimalisir efek *noise* dari tiupan angin dan binatang. Oleh karena itu, pemilihan lokasi pengukuran yang hati-hati menjadi sebuah prioritas untuk mendapatkan kualitas data yang baik.

Data yang direkam dalam MTU adalah berupa data mentah dalam format *time series*. Salah satu contoh data mentah (*raw data*) bisa dilihat dalam Gambar 3.3. Sumbu vertikal merupakan *magnitude* dari **Ex**, **Ey**, **Hx**, **Hy**, **H_z** hasil dari perekaman komponen medan listrik dan medan magnetik di lapangan. Sedangkan sumbu horizontal merupakan waktu *sampling* perekaman selama 16 sekon.



Gambar 3.3 Contoh Raw Data Hasil Rekaman Selama 16 sekon

3.4 Pemrosesan Data Mentah Menjadi Data yang Siap Dimodelkan



Gambar 3.4. Tahapan Pemrosesan Data MT

Pengolahan data awal menjadi data mentah yang terekam berupa *time series* kemudian ditransformasikan menjadi domain frekuensi berupa *power spectra* dengan metode FFT (*Fast Fourier Transform*), setelah menjadi domain frekuensi dilanjutkan dengan *robust processing* yang menggunakan *Software Phoenix Geophysics SSMT 2000*. Hasil data dari *robust processing* berupa *magnitude resistivity* semu dan *fase resistivity* semu. Selanjutnya, data dalam bentuk frekuensi dapat di edit dengan *Software Phoenix Geophysics MTEditor*. Setelah selesai proses penghilangan *noise* maka format data harus diubah dari domain frekuensi menjadi *EDI File*. Kemudian untuk melakukan koreksi efek pergeseran *static (static shift effect)*, data dalam bentuk *EDI File* ini harus diubah dalam format *(.xls)* dengan menggunakan *software MTEditor*.

3.5 Efek Pergesera Statik (*Static Shift Effect*)

3.5.1 Penyebab Efek Pergeseran Statik

Data magnetotellurik dapat terdistorsi karena adanya pengaruh heterogenitas lokal dekat permukaan dan faktor topografi, yang dikenal sebagai efek pergeseran statik (*static shift effect*). Menurut Grandis (2006), akumulasi muatan listrik pada batas konduktivitas medium menimbulkan medan listrik sekunder yang tidak bergantung pada frekuensi. Hal ini menyebabkan kurva

sounding magnetotellurik (log tahanan-jenis semu terhadap log periode) bergeser ke atas atau ke bawah sehingga paralel terhadap kurva *sounding* yang seharusnya.

Interpretasi atau pemodelan terhadap data magnetotellurik yang mengalami distorsi akan menghasilkan parameter model yang salah. Jika medium dianggap 1-dimensi maka pemodelan terhadap kurva *sounding* tahanan-jenis semu yang dikalikan dengan konstanta k akan menghasilkan lapisan-lapisan dengan tahanan-jenis dan ketebalan yang masing-masing dikalikan dengan k dan $k^{1/2}$. Oleh karena itu penentuan konstanta k tersebut sangat penting untuk mengoreksi kurva *sounding* magnetotellurik sebelum dilakukan pemodelan.

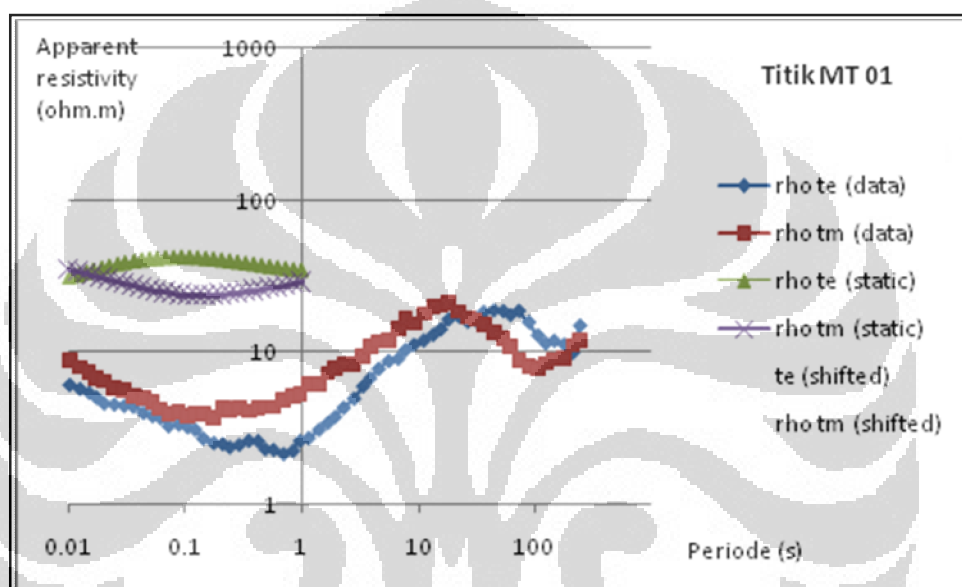
3.4.2 Koreksi Efek Pergeseran Statik Menggunakan Data *Vertical Electrical Sounding* (DC-Schlumberger)

Karena data MT kurang efektif mendeskripsikan lapisan-lapisan yang dangkal, sehingga jika data itu terdistorsi karena pengaruh efek pergeseran statik (*static shift effect*) menyebabkan data MT harus dikoreksi terlebih dahulu dengan bantuan data lainnya. Salah satu data yang bisa digunakan adalah data pengukuran *vertical electrical sounding* DC-Schlumberger di dekat titik-titik pengukuran MT yang dilakukan. Data *sounding* DC-Schlumberger yang diberikan dalam bentuk penampang dalam laporan survey terpadu oleh Pusat Sumber Daya Geologi pada tahun 2006 ini memiliki nilai antara *true resistivity* vs kedalaman yang harus dikonversi dahulu secara *forward modelling* dalam bentuk periode vs *resistivity* menggunakan *software* MT2Dfor. Kemudian pemodelan kurvanya dilakukan dengan menggunakan *software* MT2Dinv. Karena *software* ini untuk 2-dimensi sehingga akan dihasilkan data periode, Rho_{TE} (*Transverse Electric*), Fase TE, Rho_{TM} (*Transverse Magnetic*) dan Fase TM. Contoh datanya bisa dilihat dalam bagian Lampiran. Kurva data *sounding* DC-Schlumberger inilah yang akan dijadikan acuan untuk memfitkan kurva MT. Karena kurva data *sounding* DC-Schlumberger efektif untuk pelapisan yang relatif dangkal sedangkan data MT tidak efektif untuk daerah yang relatif dangkal.

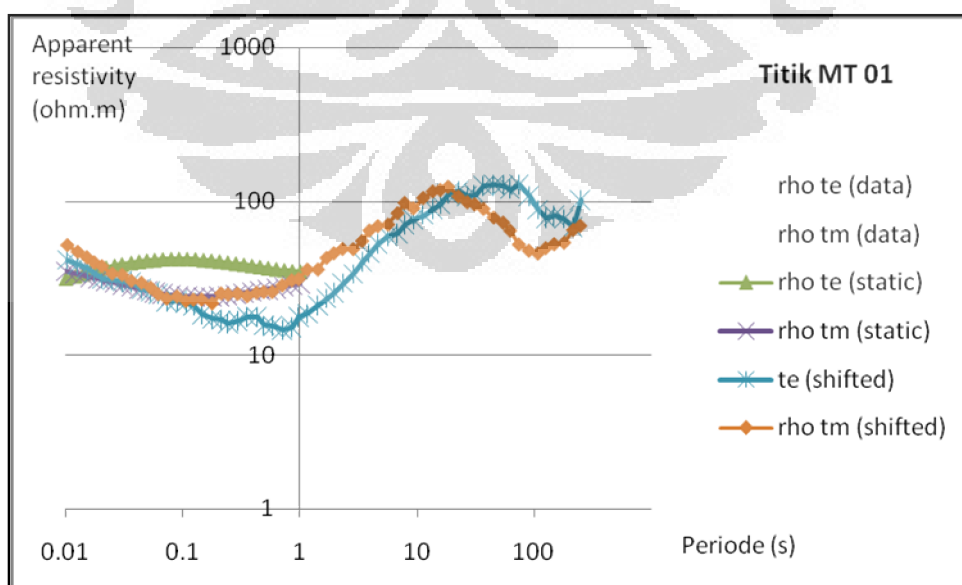
Contohnya, pada Gambar 3.5 kurva data pengamatan MT berada di bawah kurva data *sounding* DC-Schlumberger. Artinya data MT ini masih mengandung efek pergeseran statik (*static shift effect*) sehingga perlu dikoreksi terlebih dahulu

sebelum dilakukan pemodelan. Oleh karena itu, data MT perlu dilakukan koreksi terhadap efek pergeseran statik dengan menggunakan data *sounding* DC-Schlumberger yang dijadikan *reference*. Caranya dengan memfitkan kurva data MT ke kurva data *sounding* DC-Schlumberger di atasnya (Gambar 3.6). Proses koreksi dari efek pergeseran statik (*static shift effect*) ini menggunakan *microsoft excel*.

Hasil koreksi efek pergeseran statik (*static shift effect*) dari semua data MT lainnya bisa dilihat pada bagian Lampiran:



Gambar 3.5. Kurva Data MT 01 Sebelum Koreksi *Static Shift*



Gambar 3.6. Kurva Data MT 01 Setelah Koreksi *Static Shift*

BAB 4

PEMODELAN DATA MAGNETOTELLURIK

4.1 Inversi Data Magnetotellurik

Di dalam proses inversi kita melakukan analisis terhadap data penelitian dengan cara melakukan pencocokan kurva antara model matematika dan data penelitian. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya.

Jika m digunakan untuk menunjukkan model (distribusi sifat fisis), F merupakan fungsi Kernel (deskripsi proses fisika secara matematis), d^l merupakan data prediksi (respon yang disebabkan oleh model), kemudian forward modeling bisa dituliskan sebagai berikut:

$$d^l = Fm \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

Jika data yang diukur adalah d kemudian memfitkan model dengan data bisa di-judge dengan membandingkan d dan d^l . *Trial* dalam forward modeling ini adalah salah satu cara untuk menginterpretasikan data geofisika.

Dalam studi lapangan, biasanya dimulai dengan data pengamatan (d) dan metode akan mencari untuk mendapatkan model m . Inversi merupakan prosedur matematika yang digunakan untuk mendapatkan distribusi *true resistivity* dari data pengamatan. Problem inversi bisa dituliskan sebagai berikut:

$$m = F^{-1}d \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

Untuk forward modeling, solusi unik d^l dapat selalu ditemukan. Bagaimanapun juga, problem inversi tidak selalu memberikan jawaban yang unik untuk m . Jika jumlah akurasi data didapatkan, maka solusi unik untuk problem inversi pun bisa ditemukan. Realitanya, kuantitas data terukur selalu *finite* (terhingga) dan mengandung *noise*. Dalam situasi ini, inversi adalah problem yang non-unik, yang artinya banyak solusi dapat ditemukan untuk memfitkan data.

Karena metode magnetotellurik ini dikembangkan menjadi metode eksplorasi geofisika yang efektif dan ekonomis, solusi dari problem inversi MT akan menarik perhatian. Dalam kondisi yang tidak ideal, dengan jumlah *noise* dari data yang tak hingga, Tikhonov (1965) menunjukkan solusi unik yang dapat

diderivasikan. Bagaimanapun juga, dengan data MT yang *real*, inversi data MT adalah non-unik. Contohnya, data magnetotellurik yang *finite* yang mengandung *noise* dapat menghasilkan jumlah model model geoelektrik yang *infinite*. Untuk mengatasi ketidakunikan ini, menambahkan *constrain* harus diberikan untuk solusinya. Prosedural ini syarat regulasi oleh Tikhonov (1977). *Constrain* digunakan untuk mencari model yang paling smooth dalam memfitkan data.

Memfitkan data MT yang diukur (ρ^{data} , ϕ^{data}) terhadap respons yang dihasilkan (ρ^{resp} , ϕ^{resp}), model inversi dapat dikuantifikasi dengan mengevaluasi *root-mean-square (rms) misfit*. Jika *apparent resistivity* dan fase tersedia pada N sites dan M frekuensi, rms misfit. M didefinisikan sebagai:

$$m = \sqrt{\frac{1}{2NM} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \frac{(\rho_{ij}^{data} - \rho_{ij}^{resp})^2}{e_{ij}^{r^2}} + \frac{1}{2NM} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \frac{(\phi_{ij}^{data} - \phi_{ij}^{resp})^2}{e_{ij}^{p^2}}} \dots\dots (4.3)$$

Dimana e^r dan e^p adalah standar *error* yang berhubungan dengan *resistivity* dan fase data masing-masing. Dalam praktiknya *error* digunakan untuk memberikan *more uniform fit* untuk data set dengan variabel *error* yang ada.

Tikhonov (1977) mendefinisikan solusi regulasi untuk problem inversi MT sebagaimana mendapatkan model m yang meminimalisasikan fungsi objektif:

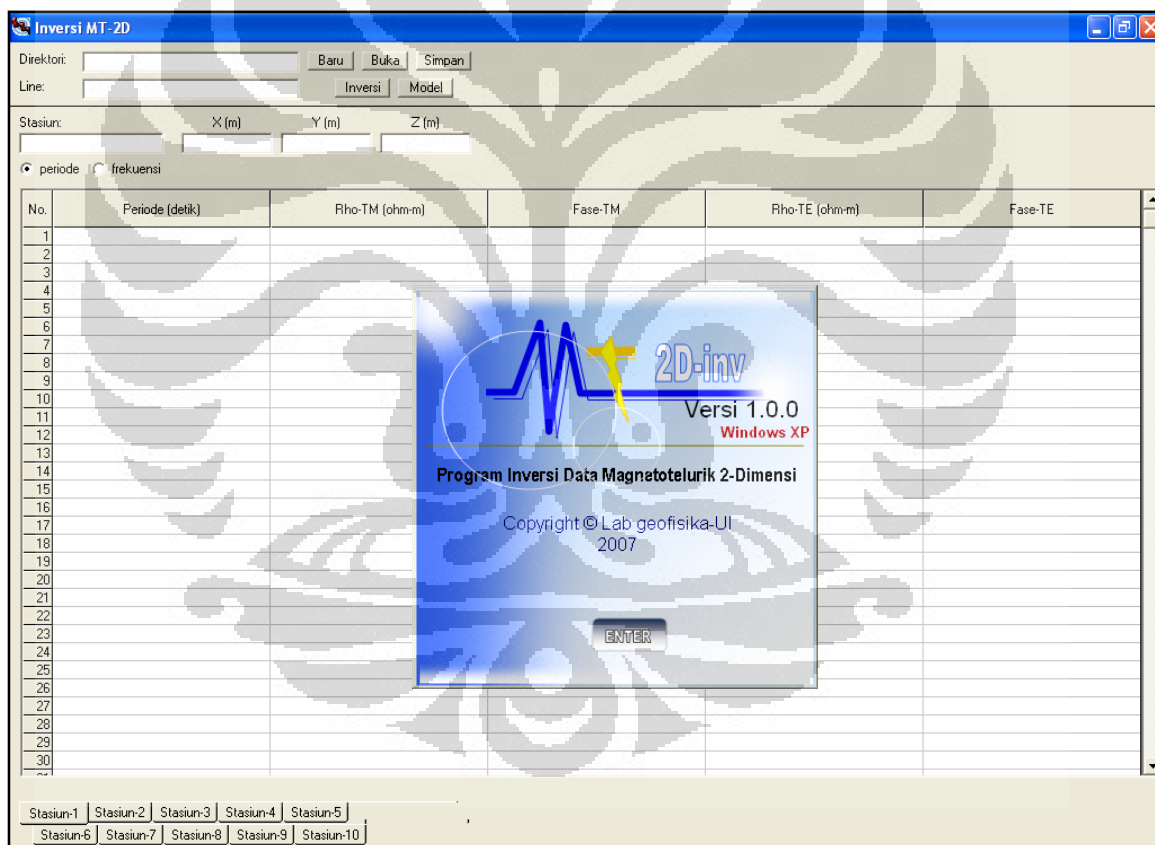
$$S(m) = (d - F(m))^T \hat{R}_{dd}^{-1} (d - F(m)) + \tau \|L(m - m_o)\|^2 \dots\dots\dots (4.4)$$

Diimana d adalah vektor data pengamatan, F adalah operator *forward modeling*, m adalah vektor model yang tidak diketahui, \hat{R}_{dd} adalah *error* matriks kovarian, L adalah operator linier, m_o adalah model refferensi dan τ adalah parameter regulasi. Dalam persamaan (4.4) *term* yang pertama merepresentasikan data yang *misfit* dan *term* yang kedua mengukur akseptibilitas model dalam *term spatial smoothness* dan tertutup untuk model refferensi. Men-*smooth*-kan model inversi dapat dikontrol dengan mengubah parameter regulasi τ .

4.2 Pemodelan Data Magnetotellurik 2-Dimensi

Pemodelan data magnetotellurik 2-dimensi untuk penelitian ini menggunakan software MT2Dinv milik Laboratorium Eksplorasi Geofisika FMIPA UI. Ada beberapa parameter data yang harus diinput dalam software ini sebelum menjalankan proses inverse, diantaranya adalah:

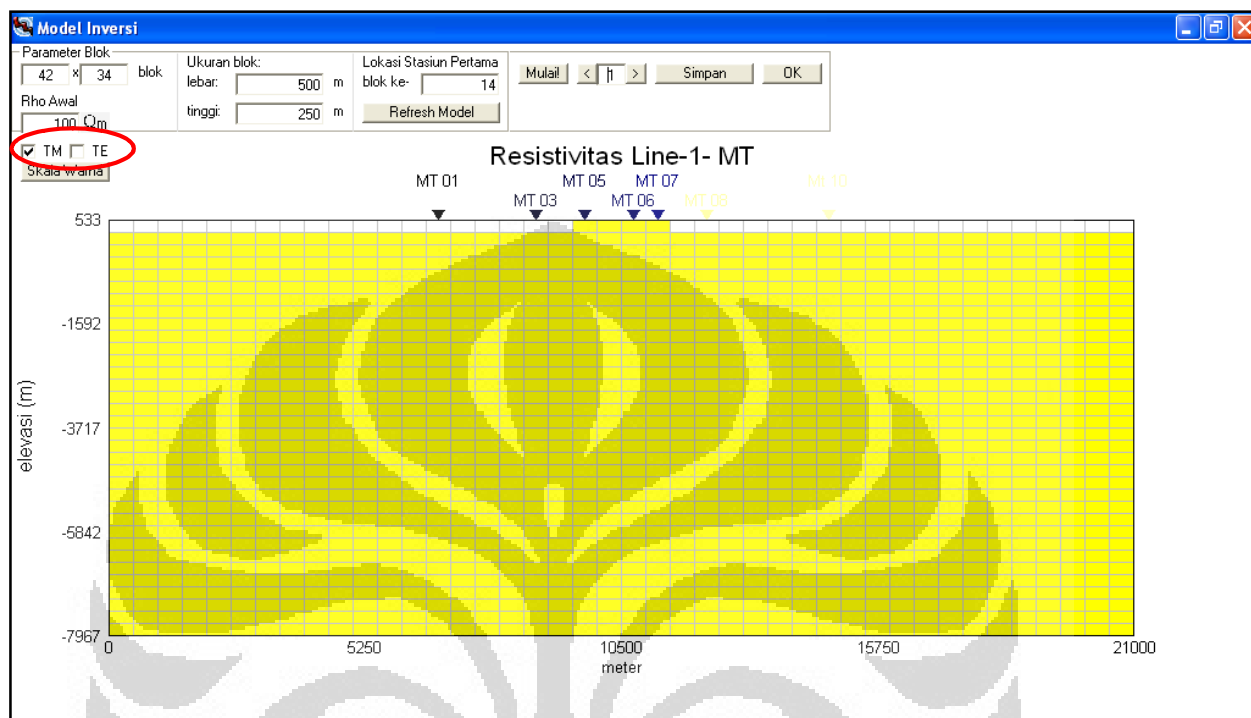
1. Nama *line* pengukuran, stasiun pengukuran yang diinginkan, lokasi latitude (X), longitude (Y) dan elevasinya (Z) dalam meter
2. Periode dalam sekon
3. Rho-TM (*Transverse Magnetic*) dan Rho-TE (*Transverse Electric*) dalam ohm.meter
4. Fase TE dan TM



Gambar 4.1. Tampilan Awal Software MT2Dinv

Setelah semua parameter data selesai dimasukkan untuk seluruh stasiun pengukuran yang ada, maka lanjutkan dengan meng-klik ikon **Simpan** dan data

akan tersimpan. Setelah data disimpan maka berikutnya klik ikon **Inversi**. Maka akan terlihat tampilan seperti Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2. Tampilan Proses Inversi Software MT2Dinv

Dalam tampilan *software* di atas, yang perlu diperhatikan adalah kita harus menentukan proses inversi apa yang ingin kita jalankan. Apakah TE, TM atau TE+TM (invariant)? Bisa dilihat dari tanda bulat yang warna merah pada gambar 4.2 di atas. Setelah pilihan itu kita tentukan, maka klik ikon **Mulai** dan proses inversi pun mulai berjalan hingga selesai.

Dalam pemodelan inversi 2-dimensi ini diberikan 7 (tujuh) buah titik pengukuran MT yang terdistribusi dari Timur laut-Barat Daya, yaitu MT 01, MT 03, MT 05, MT 06, MT 07, MT 08 dan MT 10 km. Data MT yang dimodelkan ini telah melalui koreksi efek pergeseran statik (*static shift effect*) dengan panjang lintasan yang dimodelkan sekitar 9 km. Pada titik MT 05 terdapat mata air panas Cikawah.

Proses inversi 2-dimensi data MT yang digunakan adalah inversi TE+TM (invarian). Penggabungan TE+TM ini dilakukan untuk menggabungkan

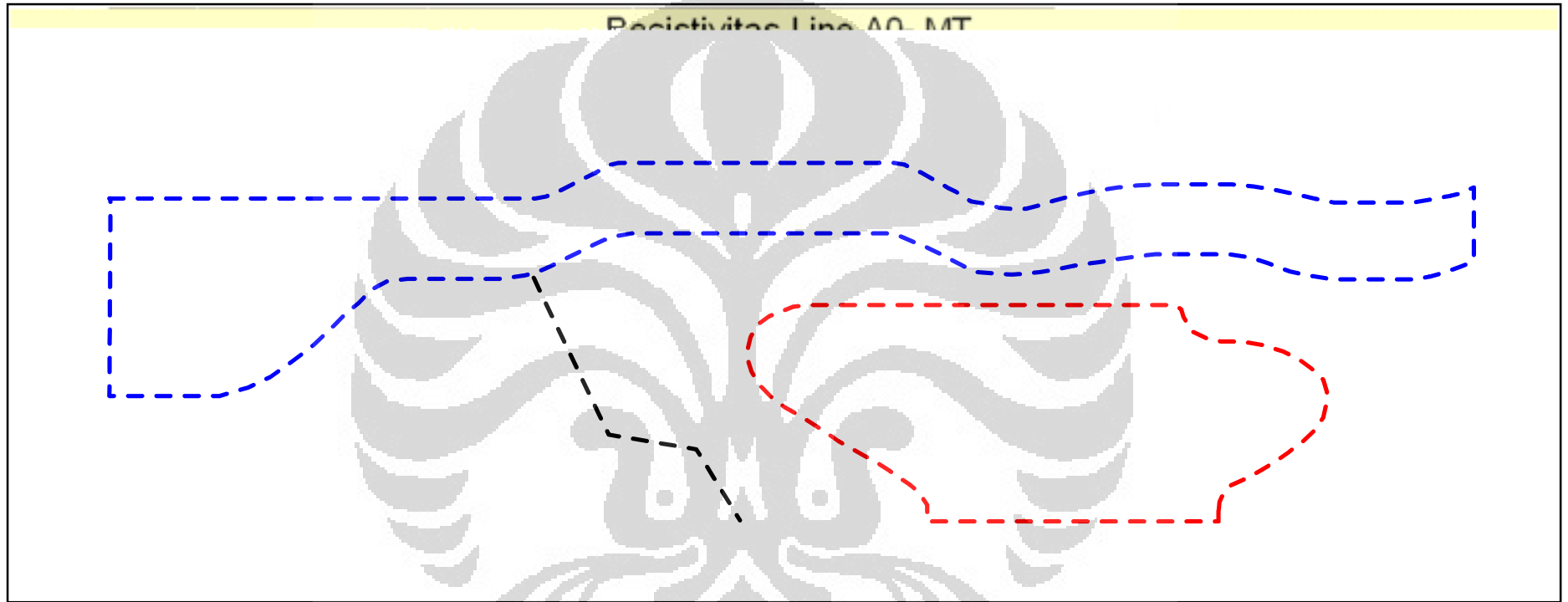
kemampuan sensitivitas dari TE terhadap struktur yang konduktif dan TM yang melokalisir perlapisan daerah yang memiliki resistivitas yang berbeda. Hasil inversi yang dilakukan sebanyak 16 kali iterasi. Hasil dari pemodelan inversi 2-dimensi dari *software* MT2Dinv bisa dilihat pada Gambar 4.3.

4.3 Analisa kuantitatif Data Magnetotellurik

Dari hasil pemodelan 2-dimensi pada Gambar 4.3 didapatkan gambaran distribusi resistivitas bawah permukaan lintasan yang dimodelkan. Penampang lintasan MT ini melalui mata air panas Cikawah pada titik MT 05. Pada Gambar 4.3 terlihat adanya perbedaan nilai *resistivity* yang kontras dari sekelilingnya.

Lapisan paling atas memiliki nilai resistivitas sekitar 400-800 ohm.m. Lapisan ini diperkirakan merupakan *top soil*. Nilai resistivitas yang tinggi diduga karena pengaruh daerah yang vulkanik. Ada beberapa batuan beku yang tersingkap juga di permukaan yang bisa menguatkan argumentasi daerah vulkanik tersebut. Ketebalan lapisan ini 250-300 meter dari permukaan tanah.

Lapisan ke dua memiliki resistivitas yang relatif rendah, yaitu berkisar antara 18-30 ohm.m. Lapisan ini diduga merupakan *clay*. Belum bisa diketahui secara pasti apakah *clay* ini merupakan hasil alterasi *hydrothermal* atau merupakan bagian dari lapisan sedimen. Lapisan *clay* memiliki sifat yang impermeabel dan resistif. Karena dalam sistem panasbumi, lapisan *clay* merupakan lapisan penutup (*cap rock*) dari *reservoir* yang berada di bawahnya. Lapisan *clay* ini memiliki ketebalan 500-1200 meter. Lapisan ini mengalami penebalan di sebelah kirinya atau semakin ke Utara titik pengukurannya (MT 03 dan MT 01) dan semakin menipis pada sisi kanannya atau semakin ke Selatan titik pengukurannya (MT 05, MT 06, MT 07, MT 08, dan MT 10). Penipisan *clay* diduga ada pengaruh dari adanya proses alterasi karena keberadaan batuan panas di bawah lapisan *clay* ini. Pada penampang ini, lapisan *clay* sudah bisa diperkirakan berada pada kedalaman 250-300 meter dari permukaan tanah (tepat di bawah *top soil*).



Gambar 4.3. Hasil Pemodelan Inversi 2-Dimensi TE+TM Data Magnetotellurik

Lapisan ke tiga memiliki nilai resistivitas yang meningkat dari lapisan di atasnya, yaitu antara 100-200 ohm.m. Lapisan ini diduga ada hubungannya sebagai *reservoir* panasbumi dan diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 700 meter di bawah titik MT 05, MT 06 dan MT 07. Pada lapisan ke tiga ini terlihat ada batuan yang menerobos ke atas. Batuan ini memiliki nilai resistivitas 700-1000 ohm.m dan diduga merupakan hasil dari intrusi magmatik dari daerah vulkanik tersebut. Batuan ini diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 1100 meter di bawah titik MT 06 dan MT 07. Batuan intrusi magmatik ini diduga ada hubungannya dengan *heat source* dari sebuah sistem panasbumi yang diteliti.



BAB 5

ANALISA HASIL

5.1 Data Pendukung

5.1.1 Hasil Penelitian Geologi

Data pendukung geologi dalam penelitian ini didapatkan dari laporan survey terpadu geologi, geokimia dan geofisika daerah panasbumi gunung Endut, kabupaten lebak, propinsi Banten yang diterbitkan oleh Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung pada tahun 2006.

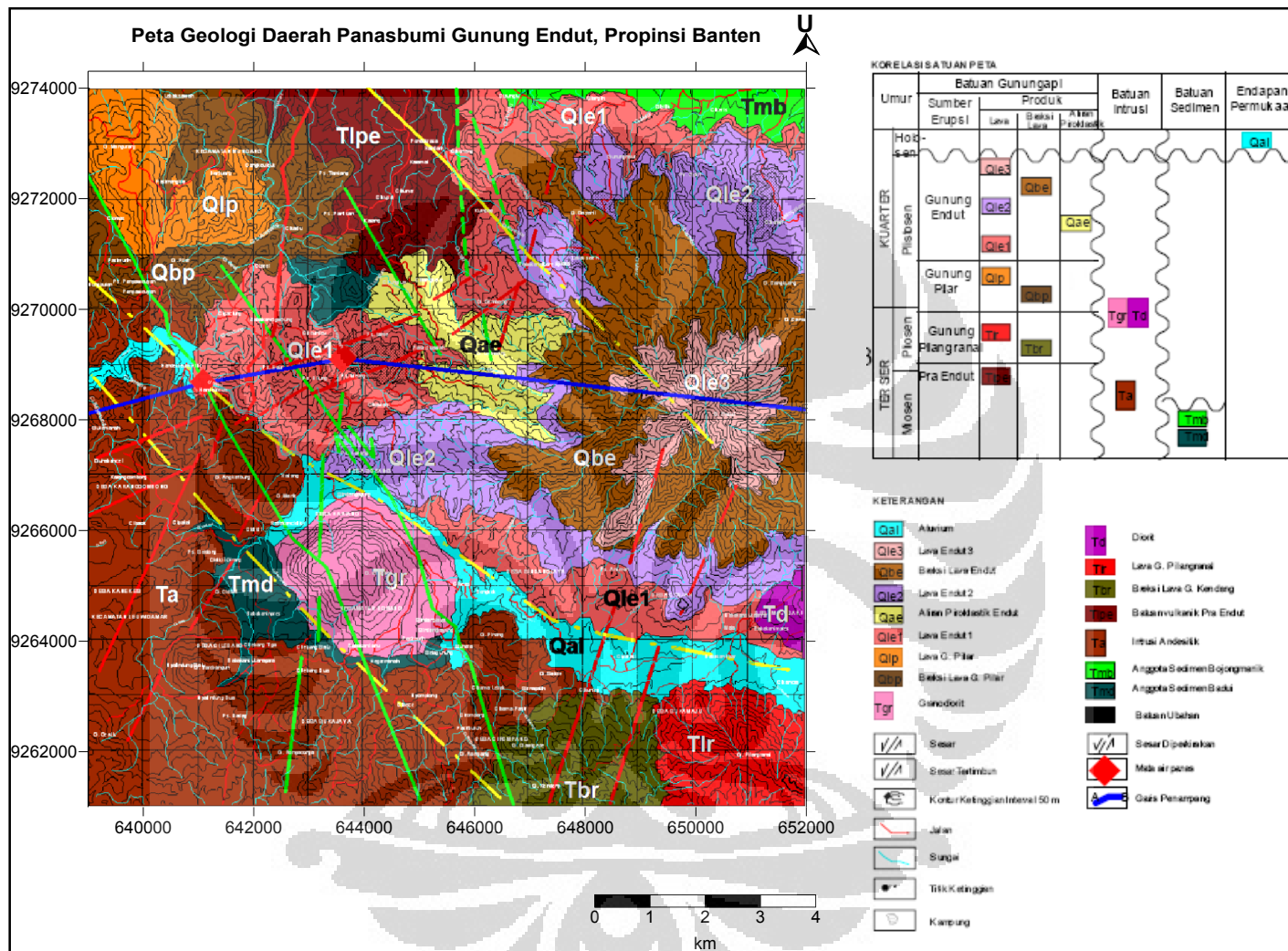
5.1.1.1 Morfologi

Berdasarkan bentuk bentang alam, pola aliran sungai, tingkat/ stadium erosi, jenis batuan, kemiringan lereng dan struktur geologi daerah penelitian dikelompokkan menjadi 4 (empat) satuan morfologi yaitu: satuan Kerucut Kompleks, satuan Kerucut Gunungapi, satuan Perbukitan Bergelombang Lembah dan satuan Pedataran (PSG, 2006).

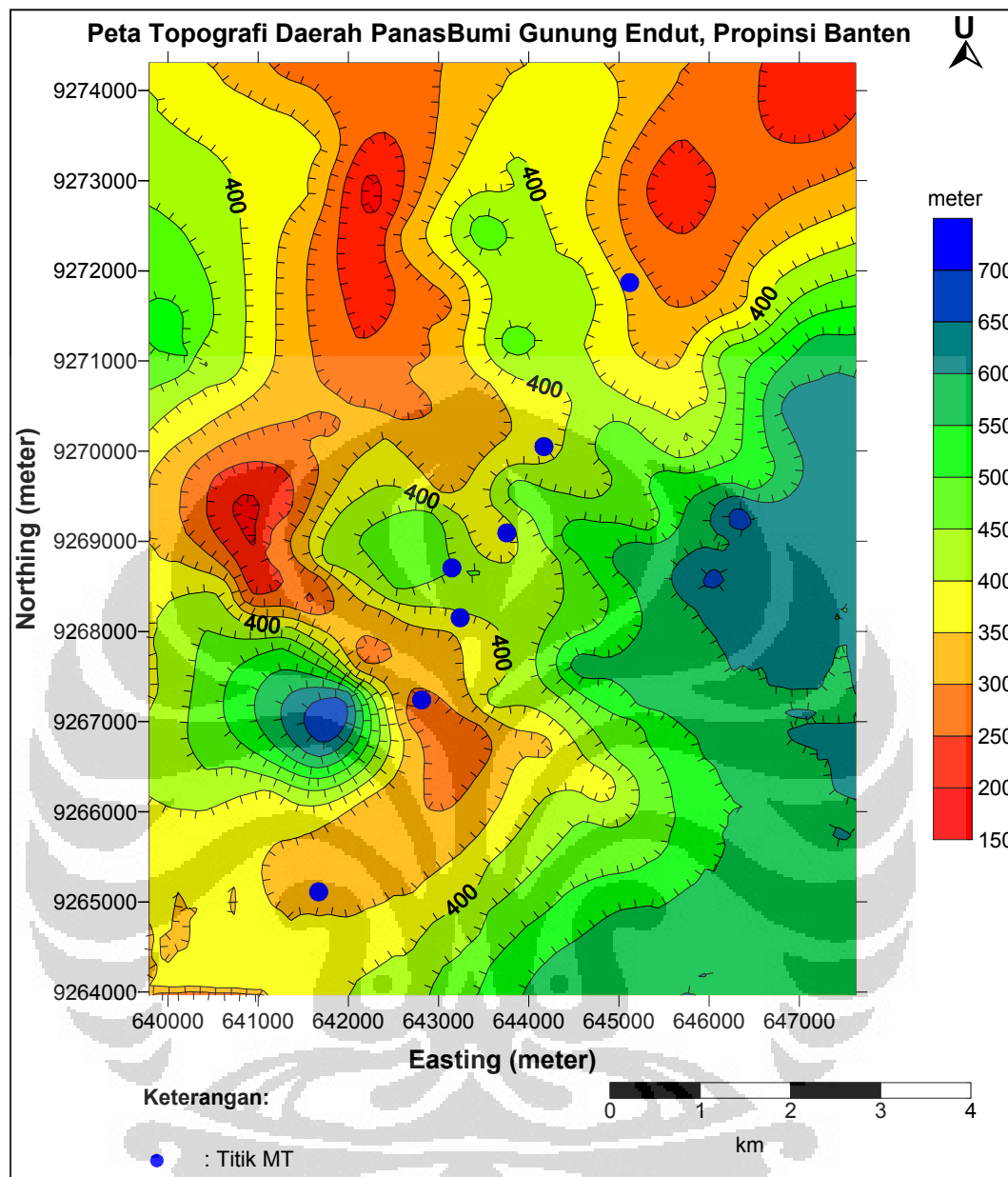
5.1.1.2 Stratigrafi

Stratigrafi daerah Gunung Endut di susun berdasarkan hubungan relatif antara masing-masing satuan/ unit batuan. Penamaannya didasarkan kepada pusat erupsi, mekanisme dan genesa pembentukan batuan (PSG, 2006).

Hasil penelitian lapangan (Gambar 5.1) memperlihatkan batuan di daerah Gunung Endut dikelompokkan menjadi 16 satuan. Urutan dari tua ke muda adalah Satuan Anggota Sedimen Badui (Tmd), Anggota Sedimen Bojongmanik (Tmb), Intrusi Andesitik (Ta), Batuan Vulkanik Pra-Endut (Tlpe), Breksi lava G. Kendeng (Tbr), Lava G. Pilangranal (Tlr), Diorit (Td), Granodiorit (Tgr), Breksi Lava G. Pilar (Qbp), Lava G. Pilar (Qlp), lava G. Endut-1 (Qle1), Aliran Piroklastik G. Endut (Qae), Lava G. Endut-2 (Qle2), Breksi lava G. Endut (Qbe), Lava G. Endut-3 (Qle3) dan Aluvium (Qal) (PSG, 2006).



Gambar 5.1. Peta Geologi Daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten (PSG, 2006)



Gambar 5.2. Peta Topografi Daerah Panas Bumi Gunung Endut, Banten

Dari peta topografi terlihat bahwa lintasan yang nantinya akan dimodelkan data anomali gravitasinya dengan menggunakan *software* Grav2D memiliki topografi yang rendah – tinggi – rendah – tinggi – rendah – tinggi. Karena memang daerah penelitian ini memiliki karakteristik yang bergelombang.

5.1.1.3 Struktur

Struktur Geologi daerah Gunung Endut (PSG, 2006) dicerminkan oleh bentuk kelurusan bukit (*lineament*), kerucut gunungapi, kelurusan topografi, paset segitiga, gawir sesar, kekar (*joint*), *off-set* batuan, cermin sesar (*slicken-side*), munculan manifestasi panas dan batuan ubahan (alterasi).

Batuan ubahan/ alterasi ditemukan di sekitar manifestasi Cikawah terdiri dari *silicified brecciated andesite*, lempung argilik (*argilic clay*) yang kaya mineral opal (*opaline silica*), dan setempat ditemukan chlorite dominan. Batuan ubahan tersebut berwarna abu-abu keputih-putihan, merah dan kekuningan. Warna-warna tersebut umumnya dipengaruhi oleh proses oksidasi, hematisasi dan sulfida yang terkandung di dalam batuan ubahan tersebut. Di daerah Handeuleum umumnya berupa lempung argilik (*argilic clay*).

Berdasarkan cerminan struktur geologi dan *citra landsat*, maka struktur geologi daerah Gunung Endut terdiri dari:

1. Sesar normal, berarah baratbaratlaut – timurtenggara (N 280-300°E) yang membentuk pemunculan daerah intrusi dan vulkanik Gunung Endut.
2. Sesar mendatar dan peremajaan normal, berarah timurlaut – barat daya (N 15-25° E) yang memotong formasi hingga ke batuan dasar (*basement*) dan pada peremajaannya mengakibatkan munculnya manifestasi deretan mata air panas Cikawah. dan struktur dinding kawah Gunung Endut. Aliran fluida yang bersifat asam Batuan ubahan/alterasi terdiri dari *silicified brecciated andesite*. Sesar mendatar dan peremajaan normal, berarah timurtimurlaut – baratbarat daya (N 60-80° E) yang memotong formasi hingga ke batuan dasar (*basement*) dan pada peremajaannya mengakibatkan *sealing* pada manifestasi mata air panas Cikawah.

Sesar mendatar berarah baratlaut – tenggara (N 320-340° E) yang memotong batuan dan struktur yang terbentuk sebelumnya. Struktur ini diduga sebagai media yang memunculkan manifestasi mata air panas Handeuleum.

5.1.2 Hasil Penelitian Geokimia

Hasil penjelasan penelitian geokimia diperoleh dari laporan survey terpadu geologi, geokimia dan geofisika daerah panasbumi gunung Endut, kabupaten

lebak, propinsi Banten yang diterbitkan oleh Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung pada tahun 2006 (PSG, 2006).

Manifestasi panas bumi di daerah penelitian terdiri dari mata air panas Cikawah 1, Cikawah 2, Handeuleum. tidak ada hembusan uap panas ataupun hembusan gas.

Air panas di bagian barat kaki G. endut, muncul di tengah daerah penelitian, yaitu air panas Cikawah 1 dan Cikawah 2 yang lokasinya berdekatan di desa Sobang, Temperatur air panas $53-88^{\circ}\text{C}$, dengan pH netral (7.74-7.98). Debit air 5 L/detik, daya hantar listrik $510-860\mu\text{S/cm}$. Di sebelah barat muncul air panas Handeuleum, Temperatur air panas 57°C , dengan pH netral (7.70). Debit air 3 L/detik, daya hantar listrik $585\mu\text{S/cm}$. Di sebelah utara di luar lokasi penelitian muncul air panas Gajrug, Temperatur air panas 61.5°C , dengan pH netral (6.74). Debit air 5 L/detik, daya hantar listrik $515\mu\text{S/cm}$ Air dingin Cibunar di desa Cikarang, temperatur hanya 25°C pada temperatur udara 25°C . debit air 5 L/detik, tak berwarna dan tak berbau. Daya hantar listrik $40\mu\text{S/cm}$.

Berdasarkan plotting pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (Gambar 5.3) Air panas Cikawah 1 termasuk tipe klorida, sedangkan air panas lainnya adalah tipe bikarbonat, dengan konsentrasi Sulfat dan klorida tidak jauh berbeda dengan konsentrasi bikarbonatnya.

Berdasarkan diagram segitiga Na-K-Mg (Gambar 5.3), mata air panas terletak pada *partial equilibrium*.

Berdasarkan diagram segitiga Cl-Li-B (Gambar 5.3), posisi semua mata air panas terletak di tengah-tengah diagram. Penggunaan persamaan geotermometer SiO₂ menghasilkan temperatur 162°C sedangkan dari persamaan geotermometer NaK diperoleh 181°C .

Mata air panas Cikawah bertemperatur tinggi (88°C), pH netral (7.98), debit air cukup tinggi (5 L/detik), daya hantar listrik $860\mu\text{S/cm}$. Merupakan produk kontak antara fluida asam yang berhubungan dengan sistem panas bumi dengan batuan sedimen, yang sehingga terjadi netralisasi membentuk mata air panas Cikawah bersifat netral. Kontak fluida dengan batuan sedimen pada temperatur cukup tinggi tersebut diindikasikan oleh tingginya konsentrasi Boron

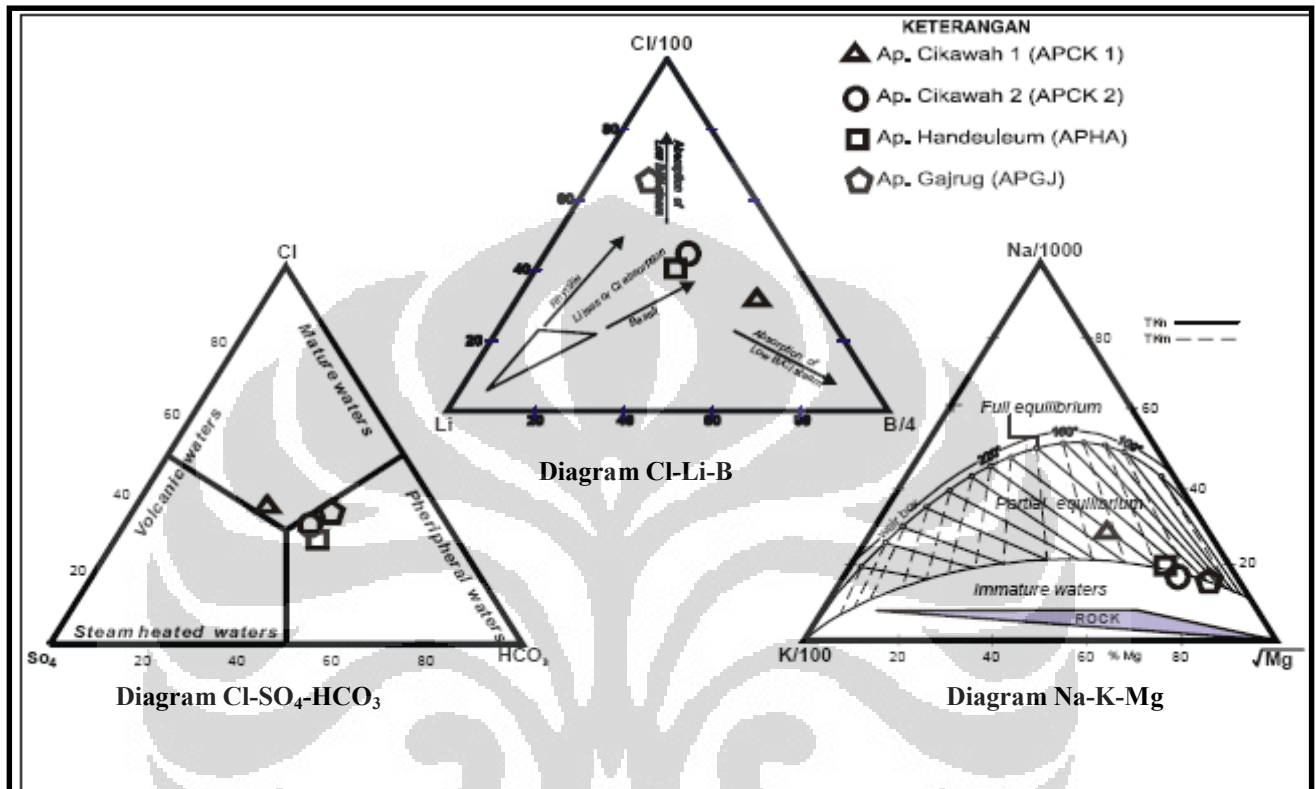
(8.97 mg/L), Sedangkan konsentrasi lainnya rendah seperti klorida, sulfat, dan bikarbonat berturut-turut: 115, 95 dan 90 mg/L). Indikasi pembentukan air panas berhubungan dengan sistem panas bumi, didukung oleh konsentrasi SiO_2 yang cukup tinggi (150 mg/L).

Aliran fluida panas tersebut, yang tercampur dengan besarnya air permukaan menyebabkan terjadinya batuan ubahan di sekitar air panas pada temperatur dingin, yang didukung oleh rendahnya pH tanah dan batuan ubahan yang tersilisifikasi. dalam air panas Sedangkan Di sebelah barat muncul air panas Handeuleum, Temperatur air panas 57°C , dengan pH netral (7.70). Debit air 3 L/detik, daya hantar listrik $585\mu\text{S/cm}$.

Tipe air panas klorida dari air panas Cikawah disebabkan oleh lebih tingginya konsentrasi Cl dalam air panas pada temperatur tinggi yang memungkinkan berhubungan dengan *deep water*. Sedangkan air panas Handeuleum dan Gajrug termasuk tipe bikarbonat, karena temperatur air panas tidak terlalu tinggi (sekitar 60°C), namun konsentrasi Sulfat dan klorida tidak jauh berbeda dengan konsentrasi bikarbonatnya.

Posisi air panas terletak pada *partial equilibrium*, adalah sebagai indikasi telah terjadinya interaksi fluida panas dengan batuan tersebut sebelum terbentuknya mata air panas di permukaan, didukung oleh posisi pada keseimbangan konsentrasi diagram Cl-Li-B. Kemungkinan telah terjadinya interaksi fluida panas dengan batuan tersebut, mendukung untuk aplikasi persamaan geotermometri air yang mengacu kepada Fournier, 1981 dan Giggenbach, 1988 yaitu geotermometer SiO_2 (162°C) temperatur minimum, dimana konsentrasi SiO_2 pada manifestasi merupakan produk dari SiO_2 pada *reservoir*. Fluida panas yang mengalir ke permukaan akan mengalami pelepasan panas dan penurunan temperatur, sehingga sebagian konsentrasi SiO_2 akan terendapkan sedangkan SiO_2 yang tetap terlarut dalam air panas akan terencerkan dan mengalami penurunan konsentrasi, dan temperatur yang diperoleh dari persamaan geotermometer tersebut akan lebih kecil dari yang sebenarnya.

Dari geotermometer NaK (180°C) temperatur maksimum, temperatur bawah permukaan di daerah penelitian adalah 180°C , yang diambil dari nilai 162- 181°C .



Gambar 5.3. Diagram Cl-SO₄-HCO₃, Diagram Cl-Li-B, Diagram Na-K-Mg (PSG, 2006)

5.1.3 Hasil Pemodelan Data Metode Gravitasi

Ada dua tujuan penting yang ingin didapatkan dari pemodelan data metode gravitasi ini:

1. Untuk mengetahui distribusi densitas lapisan/ batuan bawah permukaan
2. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan. Sehingga kita dapat mengetahui bagaimana struktur dari *basement*, jalur yang dilalui fluida ke permukaan, apakah adanya intrusi magmatik atau tidak, dan lainnya.

Data gravitasi yang penulis peroleh sudah berupa data anomali Bouguer, regional dan residu. Data ini diberikan oleh Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung. Artinya, penulis tidak perlu melakukan pemrosesan data dari awal

beserta koreksi-koreksi yang harus dilakukan. Sehingga dari data tersebut, penulis hanya membuat peta anomali Bougeur, anomali regional, dan anomali residu dengan menggunakan *software* Surfer. Setelah itu, dari peta anomali residu penulis membuat satu lintasan untuk dibuat pemodelannya dengan menggunakan *software* Grav2D milik laboratorium Geofisika Eksplorasi UI.

5.1.3.1 Anomali Bougeur

Dari peta anomali Bougeur ini pada Gambar (5.4) memperlihatkan adanya pola kontur yang variatif, dengan pola anomali tinggi, rendah. Nilai anomali Bougeur tinggi muncul di sebelah baratdaya dengan *trend*-nya mengarah ke arah timurlaut bagian tengah, sebagian kecil berada di sebelah barat. Nilai anomali Bougeur sedang berada di bagian barat, timurlaut, timur dan tenggara daerah penelitian. Selanjutnya nilai anomali semakin rendah ke arah barat laut, utara dan timurlaut daerah penelitian.

Menurut laporan survey terpadu oleh Pusat Sumber Daya Geologi (PSG, 2006) disebutkan bahwa rendahnya nilai anomali di bagian barat laut, utara dan timurlaut memperlihatkan bahwa daerah anomali rendah ini diduduki oleh batuan sedimen (formasi Baduy) yang batuanannya diduduki oleh satuan batuan lempung hitam dan satuan batuan gamping, seperti yang diperlihatkan oleh perubahan nilai anomali Bougeur, berkaitan dengan perubahan densitas yang cukup rendah. Nilai anomali Bougeur yang diperlihatkan (> 90 mgal), dimana pola anomali ini memperlihatkan daerah ini memiliki suatu rentang anomali Bougeur dan gradien anomali yang relatif cukup besar. Pola kontur yang memperlihatkan beberapa struktur geologi yang berasosiasi dengan suatu rentang densitas tertentu di bagian dalam kulit bumi. Daerah zona lemah ini diduduki oleh zona anomali Bougeur tinggi (100 - 130 mgal), yang secara keseluruhan memperlihatkan sebuah zona lemah (struktur dalam) di bagian tengah penelitian yang mempunyai arah umum baratdaya–timurlaut, sebagai contohnya adalah adanya sesar Cikawah, sedangkan sesar Handeuluem berarah barat laut–tenggara (PSG, 2006). Selain itu, zona lemah lainnya diperkirakan adanya sesar yang berarah barat – timur. Sedangkan anomali Bougeur sedang (90 - 100 mgal) muncul di bagian barat laut, utara, timur dan tenggara. Diperkirakan anomali sedang ini merefleksikan lava yang lebih muda

produk dari gunung Endut berupa lava andesit, lava breksi, endapan piroklastik (tuf) (PSG, 2006).

Dominasi anomali positif terhadap anomali negatif di daerah ini mengindikasikan bahwa batuan di bawah permukaan sebagian besar dibentuk oleh batuan vulkanik (andesit) dan intrusi andesit yang segar belum terubahkan, kondisi tersebut didukung oleh geologi permukaan yang memperlihatkan dominasi batuan vulkanik dan intrusi daripada batuan sedimen (PSG, 2006).

5.1.3.2 Anomali Regional

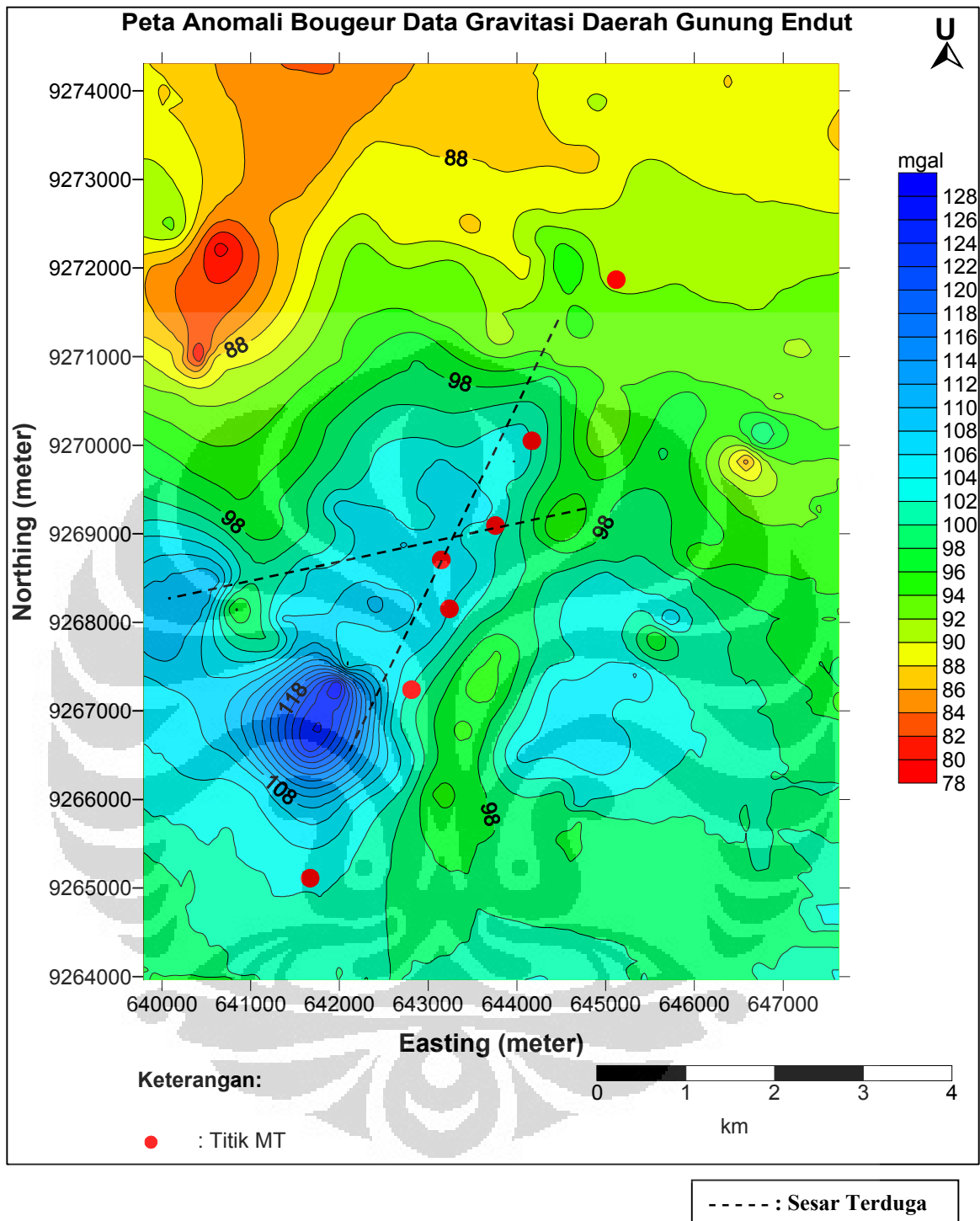
Pola anomali regional (Gambar 5.5) memperlihatkan pola kontur yang memperlihatkan *trend* perubahan anomali tinggi yang nilainya > 100 mgal pada sebelah selatan daerah penelitian menjadi semakin rendah hingga mencapai nilai 81 mgal pada sebelah utara daerah penelitian. *Trend* perubahan anomali gravitasi ini berarah baratdaya - timurlaut.

5.1.3.3 Anomali Residu

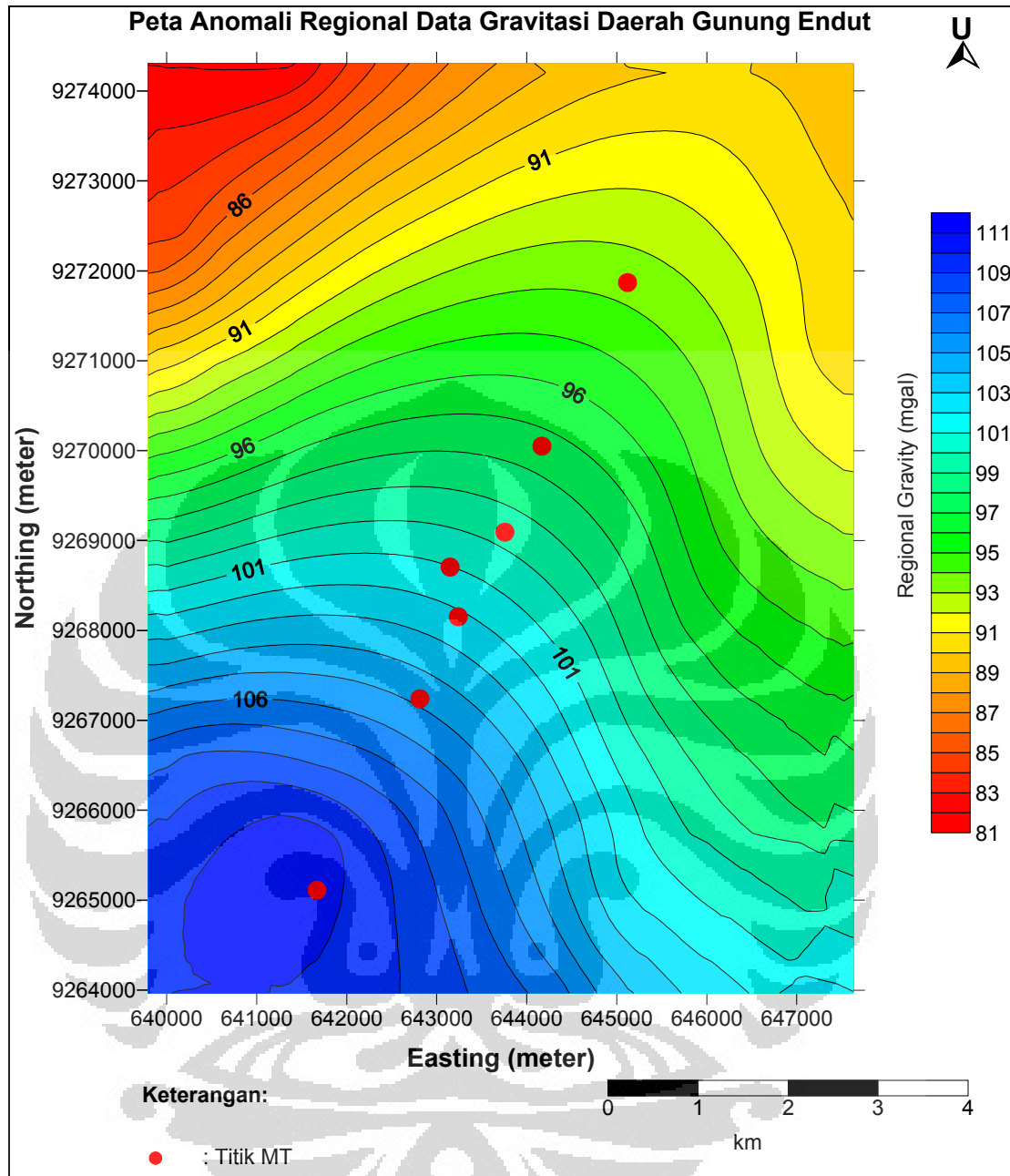
Peta anomali residu pada Gambar (5.6) memperlihatkan adanya anomali rendah (< -3 mgal) berada di sebelah barat dan selatan daerah penelitian. Anomali sedang (-3 sampai 3 mgal) tampak mendominasi daerah penelitian, sedangkan Anomali tinggi (> 3 mgal) tampak di bagian tengah daerah penelitian, dan barat.

Dari laporan survey terpadu oleh Pusat Sumber Daya Geologi disebutkan bahwa anomali rendah pada anomali residu di sebelah Barat daerah penelitian diperkirakan berkaitan dengan batuan terubahkan akibat panas, kondisi ini didukung dengan kenampakan geologi permukaan di sekitar daerah tersebut. Anomali sedang yang mendominasi daerah penelitian ditafsirkan berhubungan dengan batuan sedimen, dan batuan vulkanik lapuk atau terubahkan sedikit.

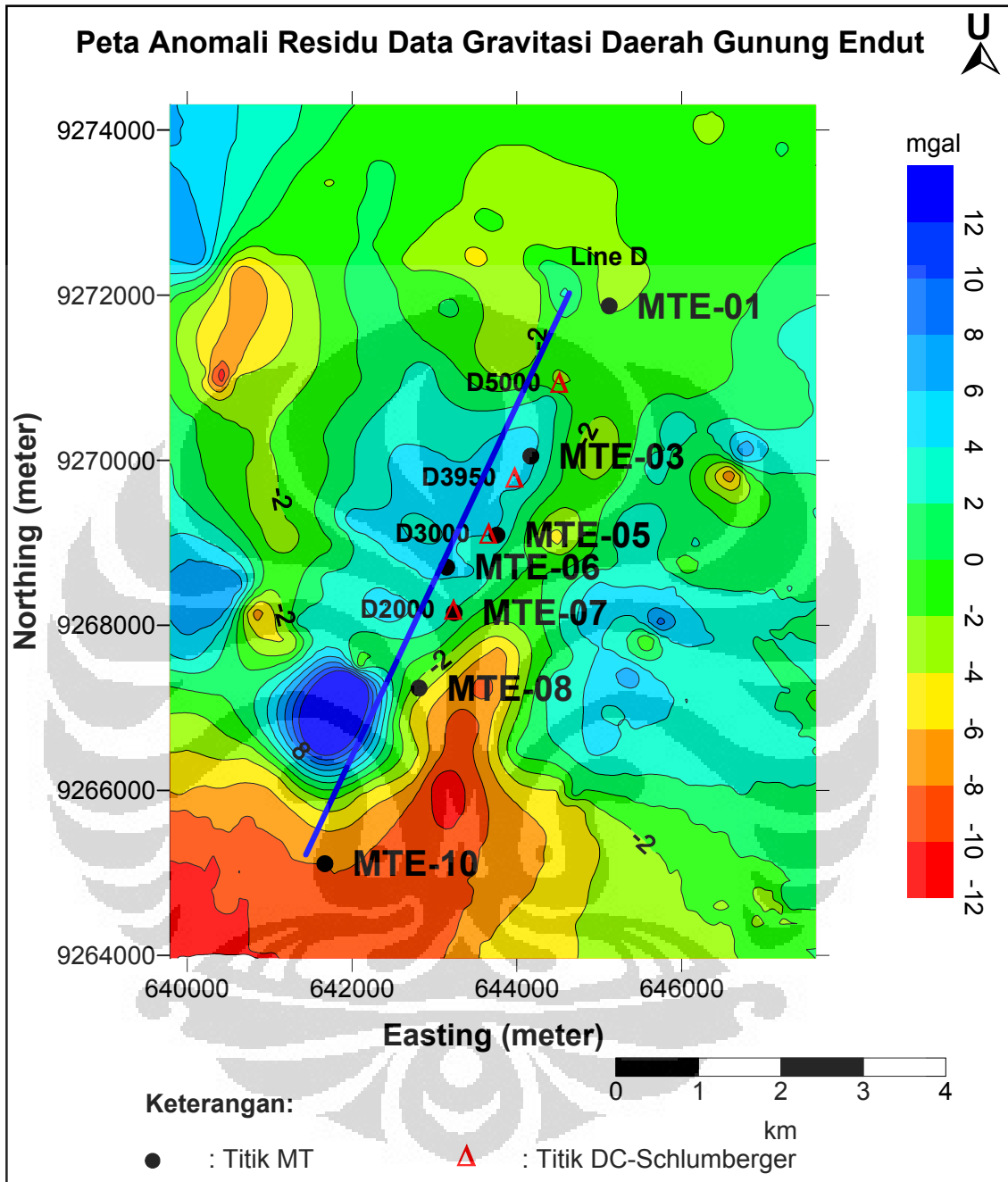
Anomali tinggi yang terdapat dibagian tengah daerah penelitian disekitar mata air panas Cikawah diperkirakan berkaitan dengan relatif tingginya densitas batuan di daerah tersebut (dibandingkan batuan lainnya yang ada disekitar daerah penelitian) akibat terjadinya mineralisasi. Anomali tinggi tersebut ditafsirkan merupakan batuan terobosan yang segar dan diperkirakan merupakan sumber panas untuk sistem panasbumi di daerah Cikawah.



Gambar 5.4. Peta Anomali Bouguer Data Gravitasi daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten



Gambar 5.5. Peta Anomali Regional Data Gravitasi Daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten



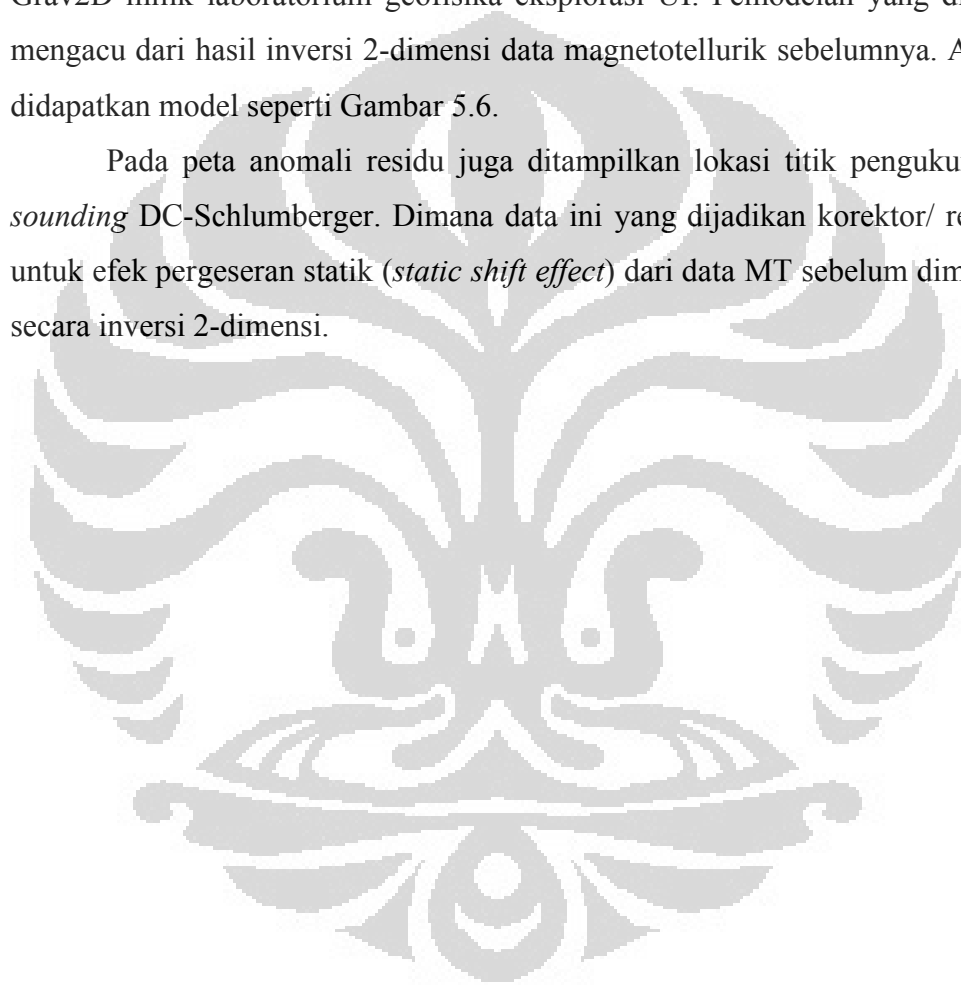
Gambar 5.6. Peta Anomali Residu Data Gravitasi Daerah Panasbumi Gunung Endut, Banten

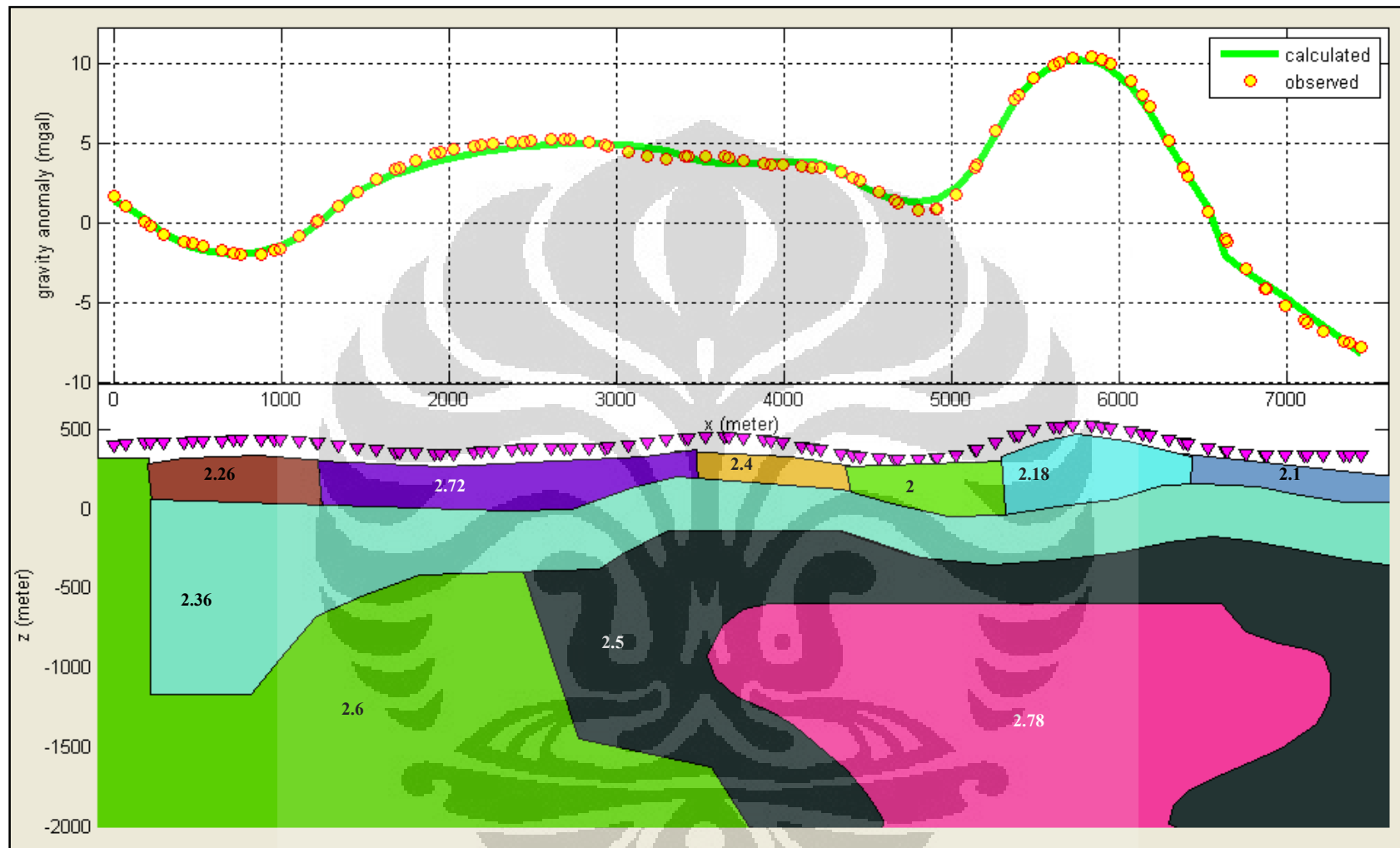
Keterangan:

1. MTE adalah titik pengukuran MT di Endut
2. Titik DC-Schlumberger adalah titik yang digunakan untuk koreksi efek pergeseran static (*static shift effect*)

Pada peta anomali residu, penulis membuat satu lintasan sebagai data yang akan dimodelkan secara 2-dimensi. Lintasan yang dipilih berarah baratdaya-timur laut sesuai dengan *trend* kontur anomali gravitasi dan memotong daerah yang memiliki anomali yang berbeda-beda. Panjang lintasan sekitar 7.5 km. Pemodelan dilakukan secara *forward modelling* dengan menggunakan *software* Grav2D milik laboratorium geofisika eksplorasi UI. Pemodelan yang dilakukan mengacu dari hasil inversi 2-dimensi data magnetotellurik sebelumnya. Akhirnya didapatkan model seperti Gambar 5.6.

Pada peta anomali residu juga ditampilkan lokasi titik pengukuran data *sounding* DC-Schlumberger. Dimana data ini yang dijadikan korektor/ refferensi untuk efek pergeseran statik (*static shift effect*) dari data MT sebelum dimodelkan secara inversi 2-dimensi.



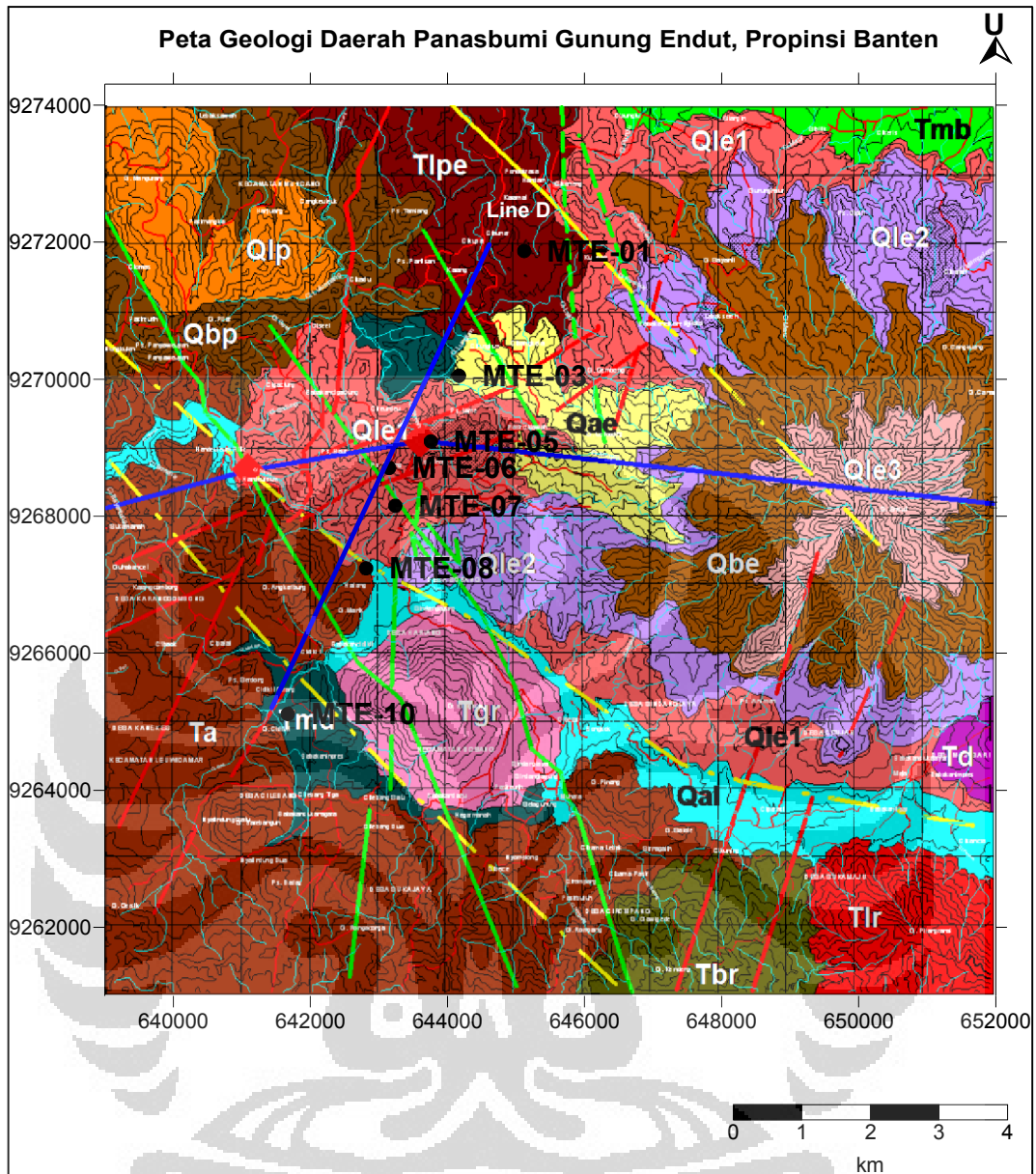


Gambar 5.6. Hasil Pemodelan 2-Dimensi Data Anomali Gravitasi. Angka di dalam model merupakan harga densitas batuan (gr/cc)

Dari hasil pemodelan 2-dimensi pada Gambar (5.6) di atas terlihat ada sebuah batuan yang menerobos ke atas dengan densitas 2.78 gr/cc. Batuan tersebut diduga merupakan intrusi andesit. Batuan yang diterobos oleh batuan intrusi andesit ini diprediksi adalah batuan *basement* yang merupakan batuan sedimen dengan densitas 2.6 gr/cc, karena memiliki usia yang paling tua di daerah penelitian ini. Namun, di sekitar batuan *basement* ada batuan yang memiliki densitas 2.5 gr/cc yang kemungkinan merupakan batuan *reservoir* dari sistem panasbumi. Lapisan *clay* memiliki densitas 2.36 gr/cc yang berada di sepanjang lintasan. Pada sebelah kiri atau timurlaut daerah penelitian mengalami penebalan dan semakin menipis di sebelah baratdaya daerah penelitian. Penipisan lapisan *clay* ini diduga ada hubungannya dengan proses alterasi *hydrothermal*. Lapisan teratas memiliki nilai densitas yang bervariasi. Hal ini disebabkan karena lintasan ini melalui daerah yang berbeda stratigrafi geologinya.

Lintasan yang berada di sebelah timur laut memiliki densitas 2.26 gr/cc. Daerahnya termasuk formasi batuan Tipe berada pada usia tersier yang merupakan batuan vulkanik pra endut. Di bawah dan di samping batuan ini merupakan lapisan sedimen. Sehingga nilai densitasnya relatif rendah. Kemudian batuan di sampingnya memiliki densitas 2.72 dan 2.4 gr/cc, karena lintasan ini dominan berada di daerah formasi batuan Qle1 yang berumur kuartar pleistosen. Formasi batuan Qle1 merupakan formasi lava endut 1 yang masih segar. Batuan berikutnya memiliki nilai densitas yang rendah 2, 2.18 dan 2.1 gr/cc, karena diduga daerah ini ada pengaruh dari alluvium yang memiliki densitas yang relatif rendah.

Dari pemodelan 2-dimensi satu lintasan yang berada dekat dengan titik pengukuran MT memiliki bentuk pemodelan lapisan batuan yang mirip (Model inversi 2-dimensi data MT pada Gambar 4.3). Sehingga data pemodelan 2-dimensi ini menguatkan gambaran kondisi bawah permukaan daerah yang dimodelkan.



Gambar 5.7. Data Geologi Daerah Gunung Endut Yang Dilalui Lintasan Yang Akan Dimodelkan Anomali Gravitasi

5.2 Interpretasi Model Terpadu

Model terpadu pada Gambar (5.8) didapatkan berdasarkan interpretasi model lintasan MT dengan bantuan dari data pendukung geologi, geokimia dan gravitasi. Secara umum model terpadu ini memiliki kemiripan antara model data MT dengan model data gravitasi. Keberadaan manifestasi mata air panas Cikawah dan kondisi geologi turut membantu memberikan kejelasan dari model terpadu ini.

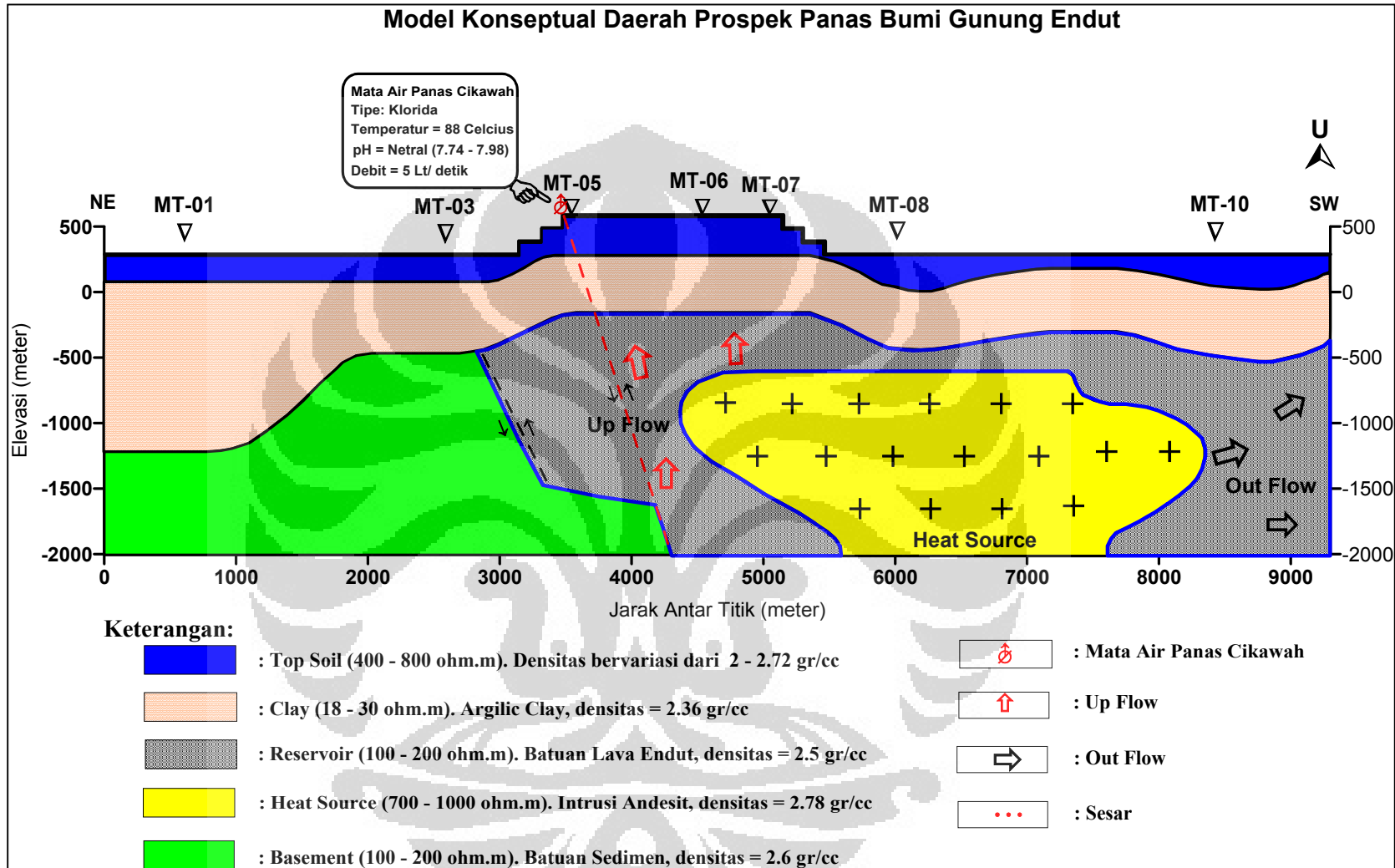
Dari model data MT didapatkan gambaran penampang dengan adanya kontras resistivitas. Lapisan yang diduga *clay* memiliki nilai resistivitas 18-30 ohm.m. Lapisan *clay* ini bisa ditemui dengan kedalaman 250 meter dari permukaan tanah. Lapisan ini memiliki ketebalan 500 meter di sebelah baratdaya hingga 1200 meter di sebelah timurlaut lintasan yang dimodelkan. Dari model data gravitasi, lapisan yang diduga *clay* memiliki densitas 2.36 gr/cc yang dapat ditemui pada kedalaman 250 meter dari permukaan tanah, dan juga memiliki ketebalan 500 meter di sebelah baratdaya hingga 1200 meter di sebelah timurlaut. Sehingga dalam model konseptual lapisan *clay* bisa digambarkan dalam range kedalaman dan ketebalan yang sama dengan data MT dan data gravitasi. Dari data geokimia terdapat mata air panas pada titik MT 05 atau di tengah-tengah lintasan, sehingga di sekitar itu telah terjadi proses alterasi. Sedangkan dari data geologi menyebutkan bahwa lapisan *clay* ini merupakan jenis *argilic clay*.

Batuan yang diduga intrusi magmatik berada di sebelah baratdaya lintasan yang dimodelkan. Dari data MT batuan ini memiliki nilai resistivitas 700-1000 ohm.m. Sedangkan model data gravitasi batuan ini memiliki densitas 2.78 gr/cc, dugaan yang timbul bahwa batuan ini merupakan intrusi andesit. Dari data geologi disebutkan bahwa daerah baratdaya adalah bagian formasi batuan Ta yang merupakan intrusi andesit yang berumur tersier miosen. Batuan intrusi andesit ini diperkirakan berada pada kedalaman 1100 meter dari permukaan tanah di sebelah baratdaya daerah penelitian (di bawah titik MT 06 dan MT 07). Hal ini didukung dengan data model gravitasi 2-dimensi yang dibuat.

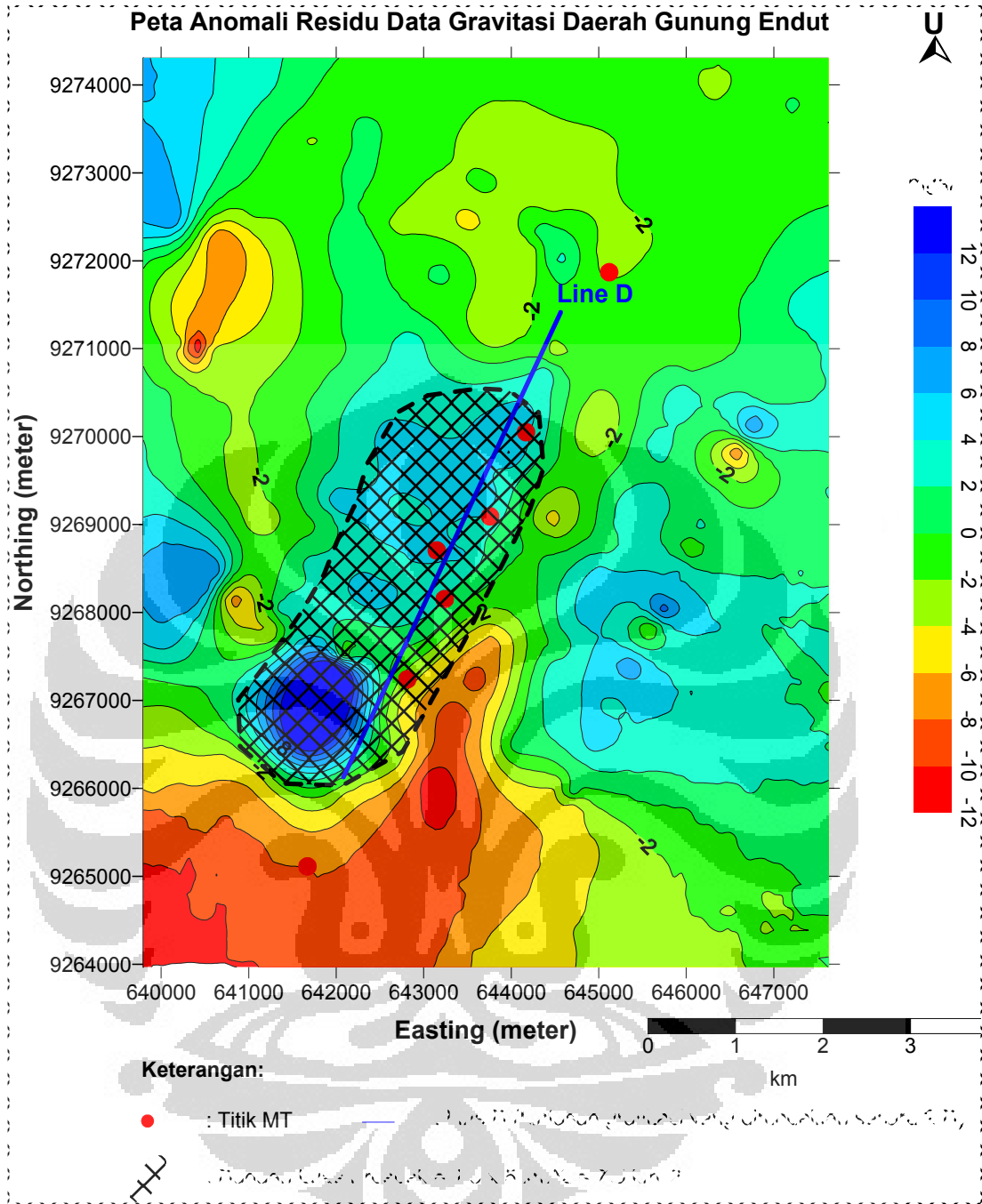
Keberadaan model data gravitasi dapat memperlihatkan struktur geometri batuan yang diduga *reservoir* yang mirip cekungan. Struktur ini memiliki densitas 2.5 gr/cc. *Reservoir* ini yang menjadi tempat penyimpanan fluida panasbumi. Model data gravitasi ini juga dapat menunjukkan adanya rekahan sebagai jalur naiknya fluida ke atas permukaan yang akan menjadi manifestasi permukaan. Dari data geokimia, manifestasi permukaan yang ada pada lintasan yang dimodelkan ini berupa mata air panas Cikawah, yang berada di dekat titik pengukuran MT 05. Mata air panas Cikawah ini memiliki tipe klorida dengan pH yang netral. Tipe klorida umumnya berhubungan langsung dengan *heat source*. Sehingga diduga daerah yang berada di bawah mata air Cikawah merupakan daerah *up flow*.

Daerah yang diduga *out flow* mengalir ke samping kanan model. Karena daerah ini tidak ditemukan manifestasi panasbumi yang timbul ke permukaan. Sehingga fluida panas mengalir terus ke samping.

Luas daerah prospek sistem panasbumi ini (lihat Gambar 5.9) berada pada bagian tengah daerah penelitian. Daerah ini dibatasi pada daerah yang memiliki anomali Bouguer yang bernilai 100-130 mgal. Diperkirakan daerah ini berada pada zona lemah karena keberadaan sesar Cikawah dan pada bagian agak sebelah baratnya diperkirakan adanya keberadaan sesar. Pada anomali residu daerah ini memiliki anomali yang relatif tinggi, yang diduga berhubungan dengan adanya *body* yang memiliki densitas yang tinggi. Dari data geokimia ditunjukkan adanya mata air panas Cikawah yang bertipe klorida dan diperkirakan berhubungan langsung dengan *heat source*. Dari model 2-dimensi data MT, daerah ini berada di bawah antara titik MT 05 hingga MT 08. Dimana daerah ini diduga merupakan reservoir dari sistem panasbumi. Diperkirakan daerah prospek panasbumi ini memiliki luas area $1.5 \times 5 \text{ km}^2 = 7.5 \text{ km}^2$.



Gambar 5.8. Model Konseptual Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Endut, Banten



Gedung Sains dan Teknologi, Gedung 10, Kampus UI Depok, Jawa Barat

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Data geofisika dari metode magnetotellurik efektif dalam memberikan gambaran distribusi resistivitas bawah permukaan pada daerah yang strukturnya relatif kompleks dan dalam. Metode ini harus memperhatikan proses akuisisinya karena peralatan metode ini sensitif terhadap *noise*. Sehingga kualitas data bisa terjaga
2. Data *sounding* DC-Schlumberger bisa digunakan untuk melakukan koreksi efek pergeseran static (*static shift effect*) dari data magnetotellurik
3. Dari pemodelan inversi 2-dimensi data magnetotellurik diperlihatkan daerah yang memiliki kontras resistivitas.
 - a. Lapisan paling atas memiliki nilai resistivitas sekitar 400-800 ohm.m. Lapisan ini diperkirakan adalah *top soil*. Lapisan ini memiliki ketebalan 250-300 meter
 - b. Lapisan ke dua memiliki resistivitas yang relatif rendah, yaitu berkisar antara 18-30 ohm.m. Lapisan ini diduga merupakan *clay*. Lapisan *clay* ini memiliki ketebalan 500-1200 meter
 - c. Lapisan ke tiga memiliki nilai resistivitas 100-200 ohm.m. Lapisan ini diduga ada hubungannya dengan *reservoir* panasbumi. Lapisan ini diperkirakan berada sekitar 700 meter di bawah titik MT 05, MT 06 dan MT 07
 - d. Pada lapisan ke tiga diperlihatkan adanya batuan yang menerobos ke atas. Batuan ini memiliki nilai resistivitas 700-1000 ohm.m dan diduga merupakan hasil dari intrusi magmatik dari daerah vulkanik tersebut. Batuan ini diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 1100 meter di bawah titik MT 06 dan MT 07. Batuan intrusi magmatik ini diduga pula ada hubungannya dengan *heat source* dari sebuah sistem panasbumi.
4. Dari peta anomali Bouguer terlihat adanya persebaran anomali gravitasi. Nilai anomali Bouguer tinggi muncul disebelah baratdaya dengan *trend*-nya mengarah kearah timurlaut bagian tengah, sebagian kecil berada

disebelah barat. Nilai anomali Bougeur sedang berada di bagian barat, timurlaut, timur dan tenggara daerah penelitian. Selanjutnya nilai anomali semakin rendah ke arah baratlaut, utara dan timurlaut daerah penelitian. Sedangkan dari peta anomali residu, bagian tengah daerah penelitian memiliki anomali yang relatif tinggi. Daerah tengah ini diperkirakan berhubungan dengan suatu *body* yang densitasnya relatif tinggi

5. Hasil pemodelan anomali gravitasi 2-dimensi memberikan gambaran struktur bawah permukaan daerah penelitian yang memiliki kemiripan dengan pemodelan inversi 2-dimensi data magnetotellurik
6. Model konseptual daerah prospek panasbumi gunung Endut, Banten, dibangun berdasarkan data magnetotellurik (MT), dibantu dengan data gravitasi, data geokimia dan data geologi.
7. Dari model konseptual diperlihatkan bahwa lapisan *clay* diperkirakan berada pada kedalaman 500 di sebelah barat daya daerah penelitian dan 1200 meter di sebelah timur laut daerah penelitian. Dari data gravitasi dan geologi daerah ini merupakan jenis *argilic clay*. Daerah yang diduga adalah *up flow* berada di bawah titik MT 05 hingga MT 08 sedangkan daerah *out flow* mengalir ke samping penampang. Batuan yang menerobos lapisan *basement* diperkirakan adalah *heat source* karena berdasarkan data gravitasi dan geologi, batuan ini diduga merupakan intrusi andesit
8. Berdasarkan data MT, data gravitasi, data geokimia dan data geologi, luas daerah prospek penelitian ini diperkirakan $1.5 \times 5 \text{ km}^2 = 7.5 \text{ km}^2$.

6.2 Saran

1. Metode magnetotellurik merupakan metode pasif yang memanfaatkan sumber yang berasal dari alam. Pastinya sumber dari alam tidak bisa dikontrol dari *noise*, sehingga perlu adanya *quality control* dari tiap pengambilan data selesai dilakukan di tiap titik pengukurannya dan sebaiknya satu *set* alat MT digunakan sebagai *remote reference*
2. Sebaiknya dilakukan pengukuran data TDEM untuk melakukan koreksi efek pergeseran statik (*static shift effect*) dari data magnetotellurik

3. Data geologi dari penelitian ini belum diperoleh jenis batuan yang ada dalam tiap formasi batuan. Sehingga sebaiknya hasil penelitian ini perlu disempurnakan lagi dengan litologi batumannya
4. Sebaiknya pemodelan yang digunakan lebih dari satu lintasan. Sehingga bisa diperoleh gambaran yang utuh dari hasil pemodelan data MT seluruhnya. Akhirnya akan terlihat perubahan *trend* yang terjadi di tiap lintasan atau penampang model dan kemudian bisa ditampilkan dalam bentuk 3-dimensinya
5. Sebaiknya perlu adanya pengukuran MT di bawah titik MT 10 untuk mengetahui batas dari dugaan reservoir, dan pengukuran MT ke arah timur untuk mengetahui apakah gunung Endut memiliki hubungan dari dugaan sistem panas bumi daerah penelitian ini
6. Perlu adanya pembuktian lebih lanjut dengan menggunakan metode geofisika lainnya, yaitu *well logging*. Untuk memastikan jenis batuan dan kedalaman yang relatif akurat.

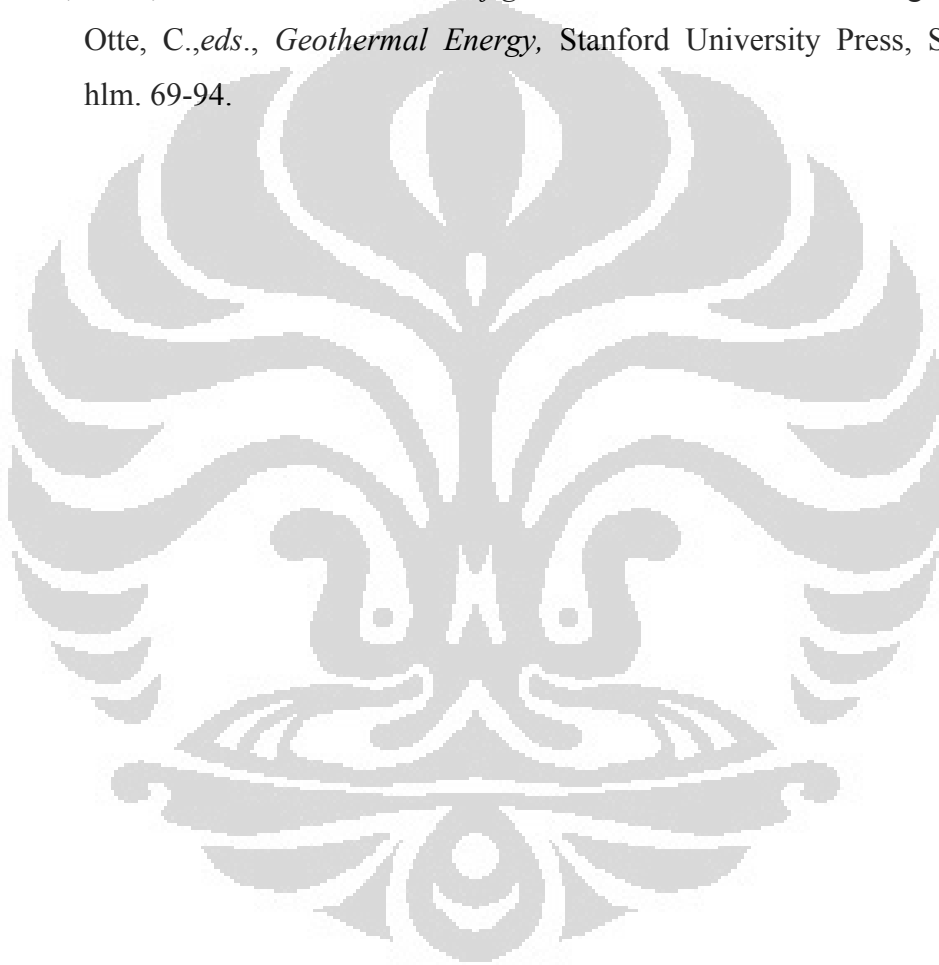
REFERENSI

- Arumsari, Anita F.S., 2007, "Model Geofisika Prospek Geothermal "Metta" Berdasarkan Studi Magnetotellurik", Skripsi, Departemen Fisika Universitas Indonesia
- Cagniard, L., 1953, "*Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting*", *Geophysics*, vol.18, hlm.605-635.
- Daud, Yunus., 2006, "Presentasi Kuliah Jenis Sistem Panas Bumi", Departemen Fisika Universitas Indonesia
- Dickson, Mary H., and Mario Fanelli., 2004, "*What is Geothermal Energy?*", Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR , Pisa, Italy
- Grandis, Hendra dan Agus Hendro L., 1996, "Koreksi Efek Statik Pada Data Magnetotellurik Menggunakan Data Elektromagnetik Transien", Proceeding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia
- Harsoprayitno, Sugiharto., 2007 "Peluang Panas Bumi Sebagai Sumber Energi Alternatif Dalam Penyediaan Tenaga Listrik Nasional", Departemen ESDM
- Hochstein, Manfred P., 1992, "World Wide Occurance of Geothermal Resources, Convective and Non-Convective System", Geothermal Institute, hlm.1.
- Sharma, Prem V., 1997, "Environmental and Engineering Geophysics", Cambridge University Press

Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff R.E., 1990, "*Applied Geophysics, Second Edition*", published by the Press Syndicate of the University of Cambridge.

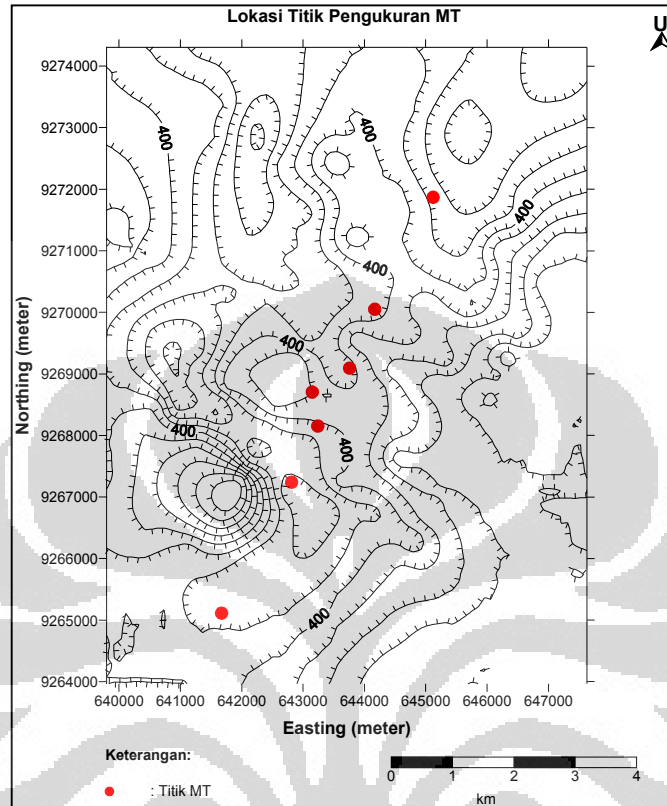
Tikhonov, A.N., 1965, "*Mathematical basis of the theory of magnetotelluric soundings*", USSR Comput. Math. Math. Phys., v.5, hlm.207.

White, D. E., 1973. "*Characteristics of geothermal resources*". In: Kruger, P. and Otte, C.,eds., *Geothermal Energy*, Stanford University Press, Stanford, hlm. 69-94.



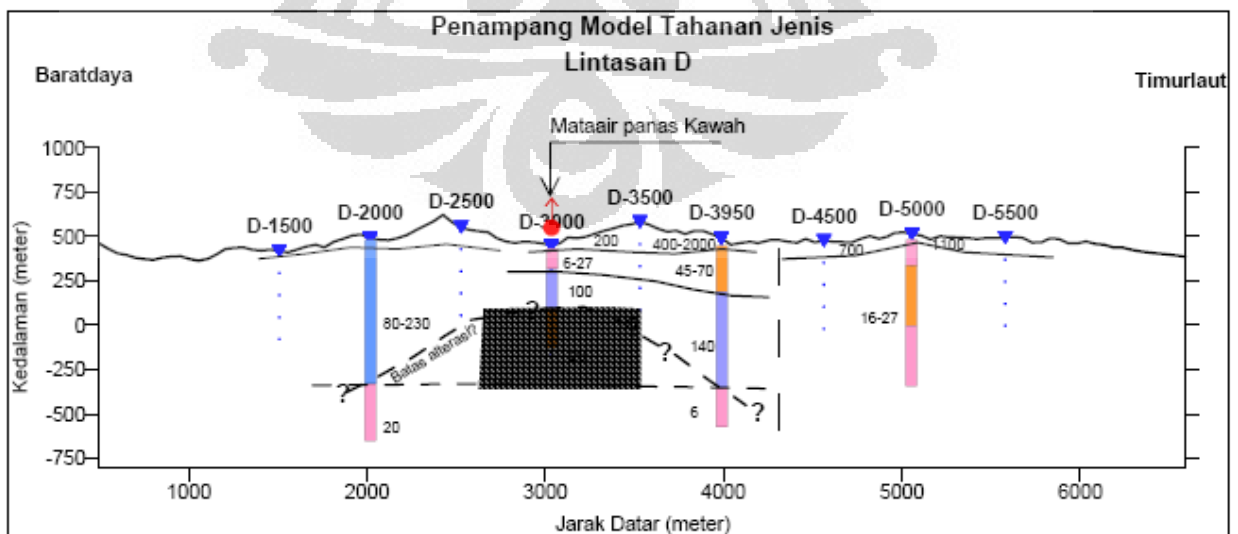
LAMPIRAN

1. Lokasi Titik Pengukuran MT



Gambar. Lokasi Titik Pengukuran MT

2. Data Koreksi *Static Shift* dari Data DC-Schlumberger (D2000, D3000, D3950, dan D5000)



Gambar. Penampang Model Resistivitas metode DC-Schlumberger Lintasan D

a. Titik D2000 refferensi koreksi *static shift* untuk MT 01

T (periode)	RhoTM	FaseTM	RhoTE	FaseTE
0.01	120.8	49.2	109.2	48.8
0.012	120.3	49.9	108.4	50
0.014	119.1	50.8	106.7	51.2
0.016	117.1	51.8	104.2	52.4
0.019	114.4	52.7	101	53.6
0.022	111	53.7	97.2	54.7
0.026	107	54.6	93	55.7
0.03	102.5	55.5	88.4	56.6
0.036	97.8	56.2	83.8	57.4
0.042	92.9	56.9	79.1	58.1
0.049	88	57.4	74.5	58.6
0.057	83.2	57.8	70.1	59
0.067	78.5	58.1	65.8	59.3
0.079	74.1	58.2	61.9	59.4
0.092	69.9	58.3	58.2	59.5
0.108	66	58.2	54.8	59.5
0.127	62.4	58	51.6	59.4
0.149	59.1	57.8	48.6	59.2
0.174	56.1	57.5	45.9	59
0.204	53.4	57.1	43.3	58.7
0.24	51	56.6	41	58.3
0.281	48.9	56.1	38.9	57.9
0.329	47	55.6	36.9	57.4
0.386	45.3	55.2	35.1	56.8
0.452	43.8	54.7	33.5	56.2
0.53	42.4	54.3	32	55.5
0.621	41.2	53.9	30.7	54.8
0.728	40	53.5	29.6	54
0.853	39	53.1	28.6	53.1
1	38.1	52.8	27.8	52.2

b. Titik D3000 refferensi koreksi *static shift* untuk MT 03

T (periode)	RhoTM	FaseTM	RhoTE	FaseTE
0.01	35.5	54.4	38.4	36.2
0.012	34.8	54.8	40	37.3
0.014	34	55.4	41.4	38.6
0.016	33	56	42.5	39.8
0.019	31.9	56.7	43.3	41.1
0.022	30.6	57.4	43.8	42.4
0.026	29.2	58	44	43.6
0.03	27.8	58.7	44	44.9
0.036	26.3	59.3	43.6	46
0.042	24.8	59.8	43.1	47.1
0.049	23.3	60.2	42.3	48
0.057	21.8	60.5	41.4	48.9
0.067	20.5	60.8	40.4	49.7
0.079	19.2	60.9	39.3	50.5
0.092	17.9	60.9	38	51.1
0.108	16.8	60.8	36.8	51.6
0.127	15.8	60.6	35.5	52
0.149	14.8	60.3	34.2	52.3
0.174	14	60	32.9	52.4
0.204	13.2	59.6	31.6	52.5
0.24	12.5	59.2	30.4	52.4
0.281	11.8	58.7	29.3	52.2
0.329	11.3	58.2	28.3	51.9
0.386	10.8	57.8	27.4	51.4
0.452	10.3	57.3	26.6	51
0.53	9.9	56.9	25.8	50.4
0.621	9.5	56.5	25.2	49.8
0.728	9.1	56	24.7	49.1
0.853	8.8	55.6	24.4	48.4
1	8.5	55.2	24.1	47.7

c. Titik D3950 refferensi koreksi *static shift* untuk MT 05

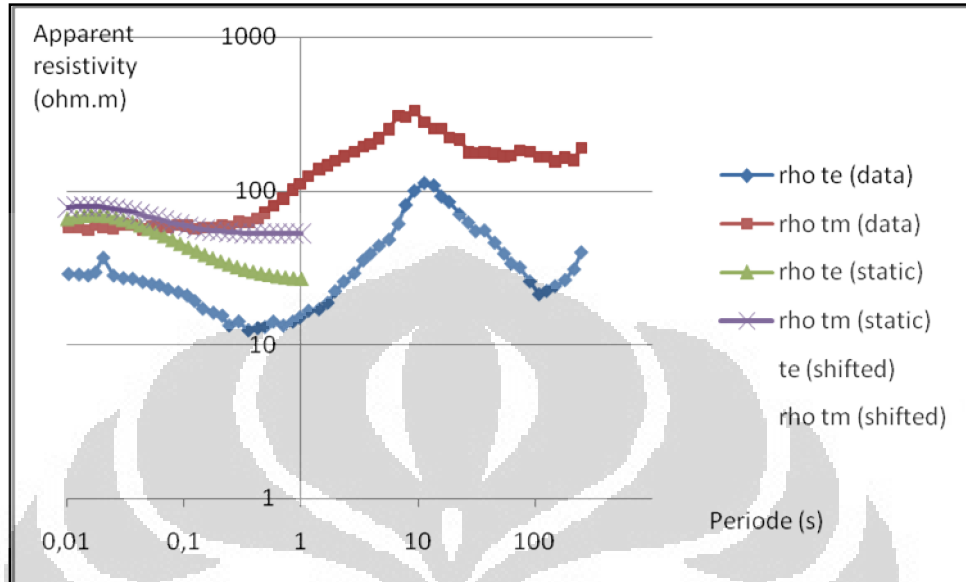
T (periode)	RhoTM	FaseTM	RhoTE	FaseTE
0.01	78.1	47	65.6	41.7
0.012	79.2	47.2	67.5	42.9
0.014	79.8	47.5	68.8	44.3
0.016	79.9	48	69.5	45.8
0.019	79.5	48.6	69.3	47.4
0.022	78.6	49.3	68.4	48.9
0.026	77.2	49.8	66.8	50.4
0.03	75.4	50.4	64.8	51.7
0.036	73.3	50.8	62.3	52.9
0.042	71.1	51.1	59.5	54
0.049	68.8	51.2	56.6	54.9
0.057	66.6	51.3	53.6	55.6
0.067	64.4	51.2	50.7	56.1
0.079	62.4	51	47.9	56.4
0.092	60.6	50.7	45.2	56.6
0.108	59	50.4	42.7	56.6
0.127	57.6	50	40.4	56.4
0.149	56.5	49.5	38.3	56.2
0.174	55.5	49	36.4	55.8
0.204	54.7	48.5	34.7	55.3
0.24	54	48	33.2	54.7
0.281	53.6	47.5	31.9	54
0.329	53.3	47	30.7	53.3
0.386	53.1	46.6	29.7	52.5
0.452	53	46.2	28.9	51.7
0.53	52.9	45.9	28.3	50.9
0.621	52.9	45.5	27.7	50.1
0.728	53	45.2	27.3	49.3
0.853	53.2	44.9	26.9	48.6
1	53.4	44.7	26.7	47.8

d. Titik D5000 refferensi koreksi *static shift* untuk MT 06, MT 07, MT 08, dan MT 10

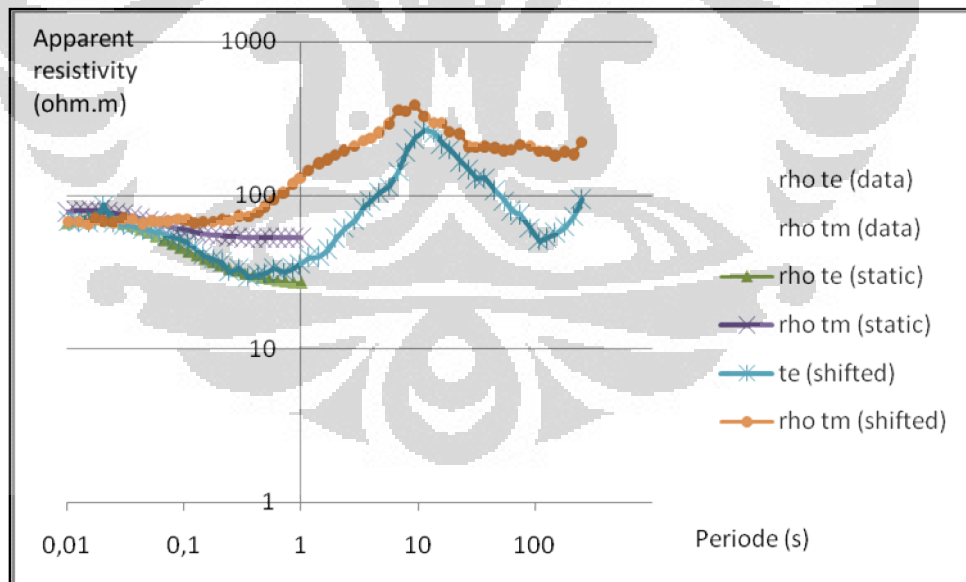
T (periode)	RhoTM	FaseTM	RhoTE	FaseTE
0.01	35.1	55.5	31.5	38.3
0.012	34.1	54.9	32.6	38.4
0.014	33.1	54.5	33.8	38.5
0.016	32.1	54.1	34.9	38.7
0.019	31.2	53.7	36	39
0.022	30.3	53.3	37	39.4
0.026	29.4	52.9	38	39.8
0.03	28.5	52.5	38.9	40.3
0.036	27.7	52	39.7	40.8
0.042	26.9	51.5	40.4	41.4
0.049	26.1	50.9	41	41.9
0.057	25.5	50.2	41.4	42.5
0.067	25	49.5	41.8	43.2
0.079	24.5	48.7	42	43.8
0.092	24.2	47.9	42.1	44.4
0.108	24	47.1	42	45
0.127	23.9	46.2	41.8	45.6
0.149	23.9	45.4	41.4	46.1
0.174	23.9	44.7	41	46.5
0.204	24.1	43.9	40.5	46.9
0.24	24.4	43.2	39.9	47.2
0.281	24.7	42.6	39.3	47.5
0.329	25.1	42.1	38.6	47.7
0.386	25.6	41.6	38	47.8
0.452	26.1	41.3	37.4	47.8
0.53	26.6	40.9	36.8	47.8
0.621	27.1	40.6	36.2	47.7
0.728	27.7	40.4	35.7	47.5
0.853	28.4	40.2	35.2	47.4
1	29	40.1	34.9	47.1

3. Gambar Kurva MT Sebelum dan Setelah Dikoreksi *Static Shift*

a. Titik MT 03

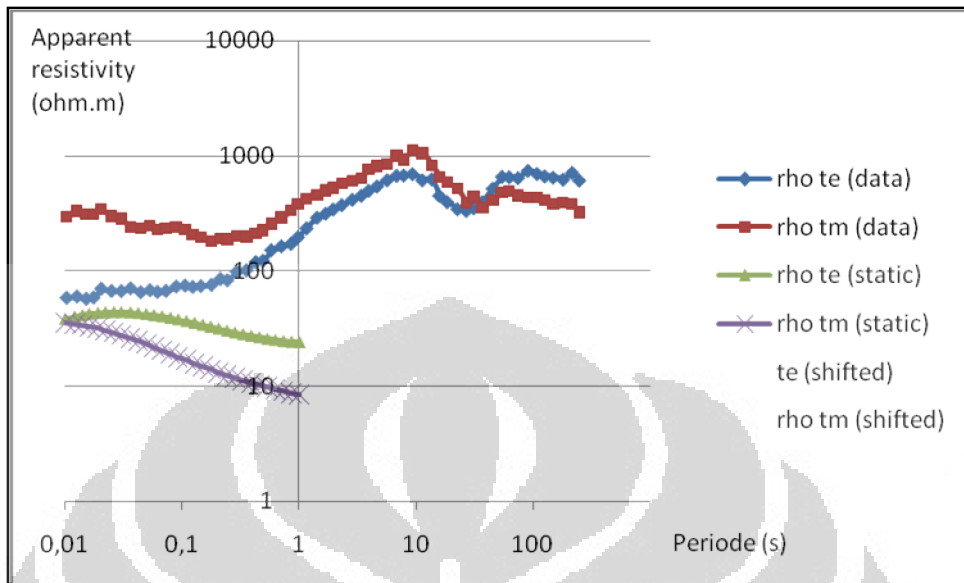


Gambar 3.7. Kurva Data MT 03 Sebelum Koreksi *Static Shift*

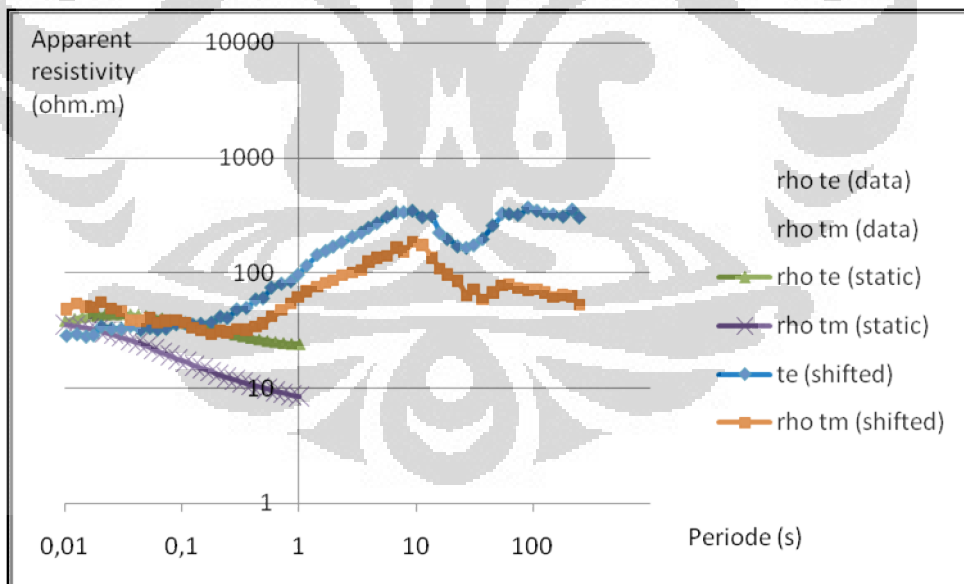


Gambar 3.8. Kurva Data MT 03 Setelah Koreksi *Static Shift*

b. Titik MT 05

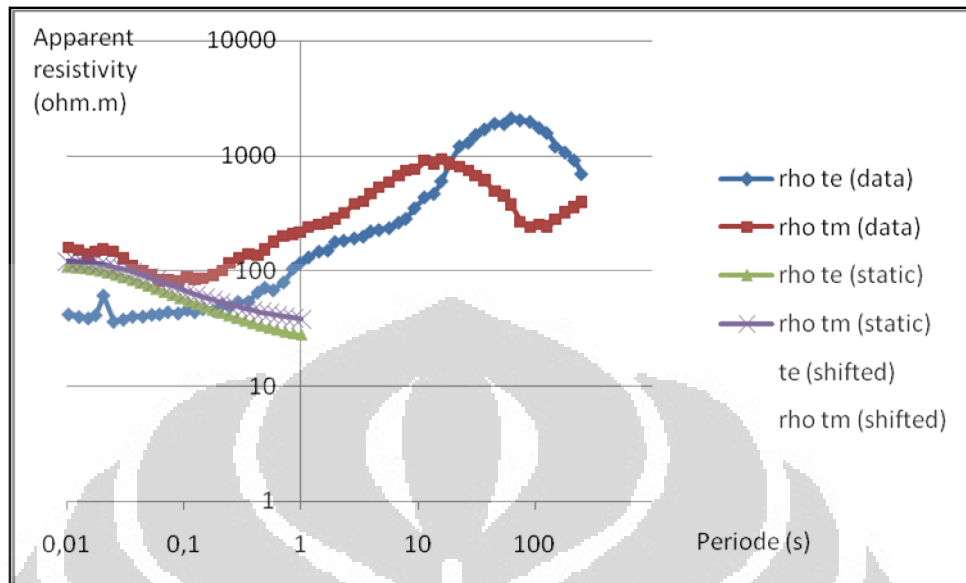


Gambar 3.9. Kurva Data MT 05 Sebelum Koreksi *Static Shift*

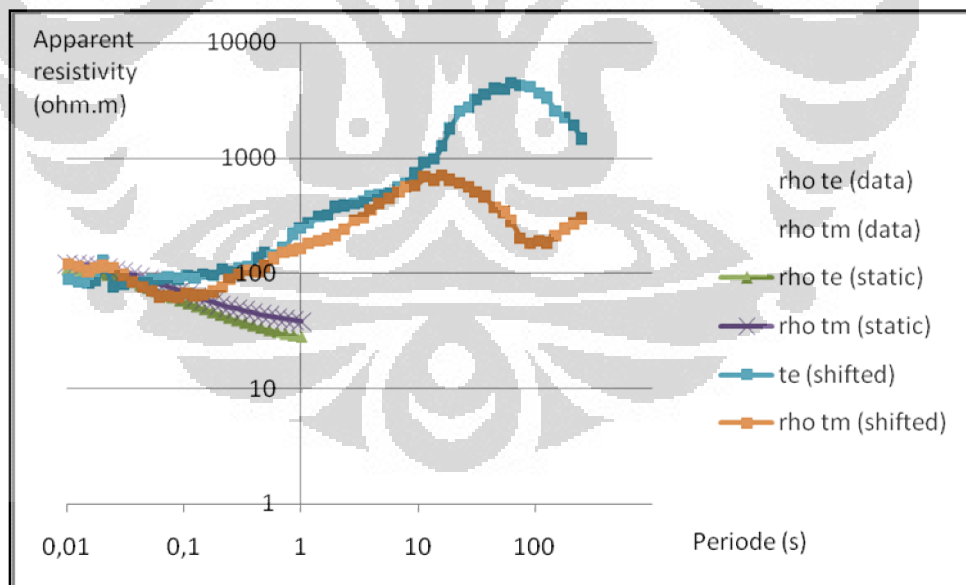


Gambar 3.10. Kurva Data MT 05 Setelah Koreksi *Static Shift*

c. Titik MT 06

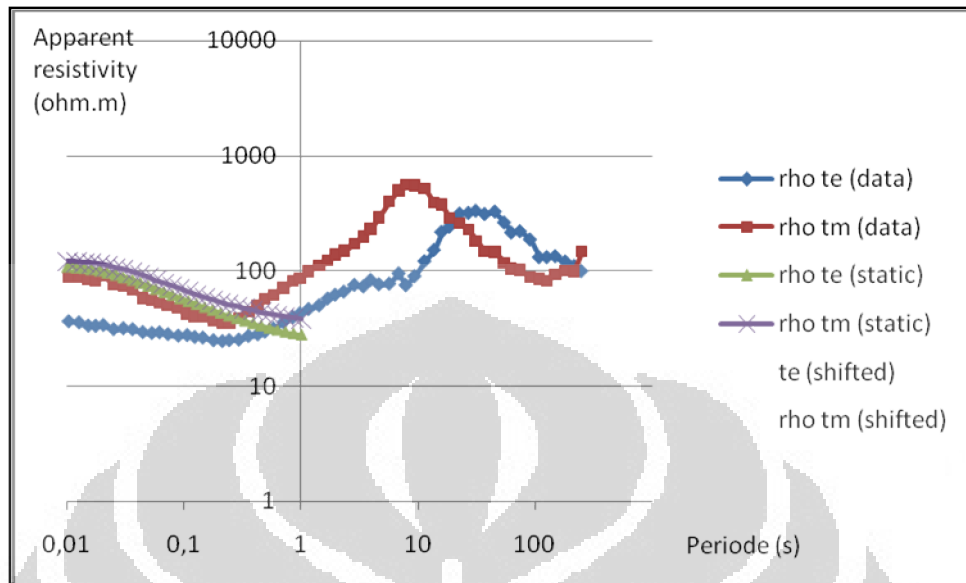


Gambar 3.11. Kurva Data MT 06 Sebelum Koreksi *Static Shift*

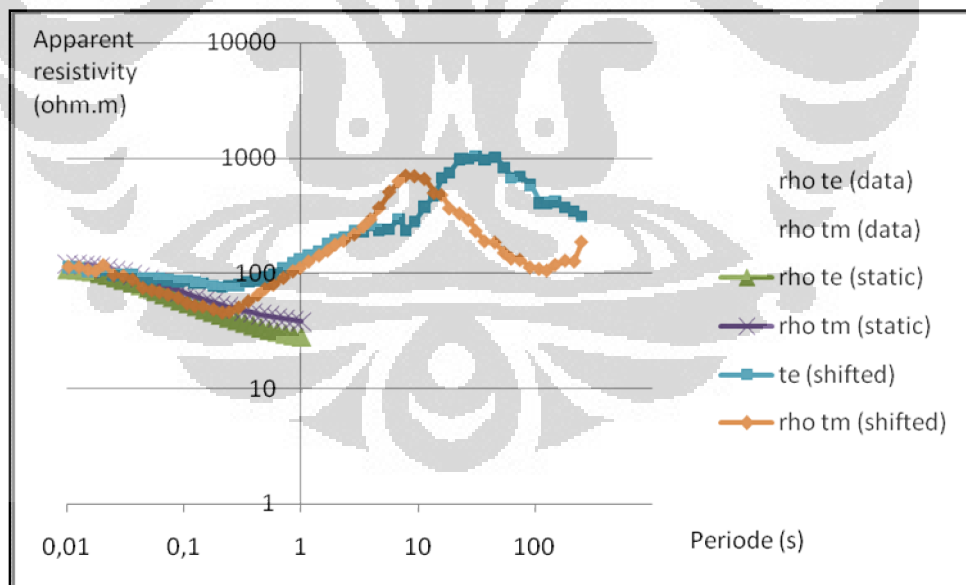


Gambar 3.12. Kurva Data MT 06 Sebelum Koreksi *Static Shift*

d. Titik MT 07

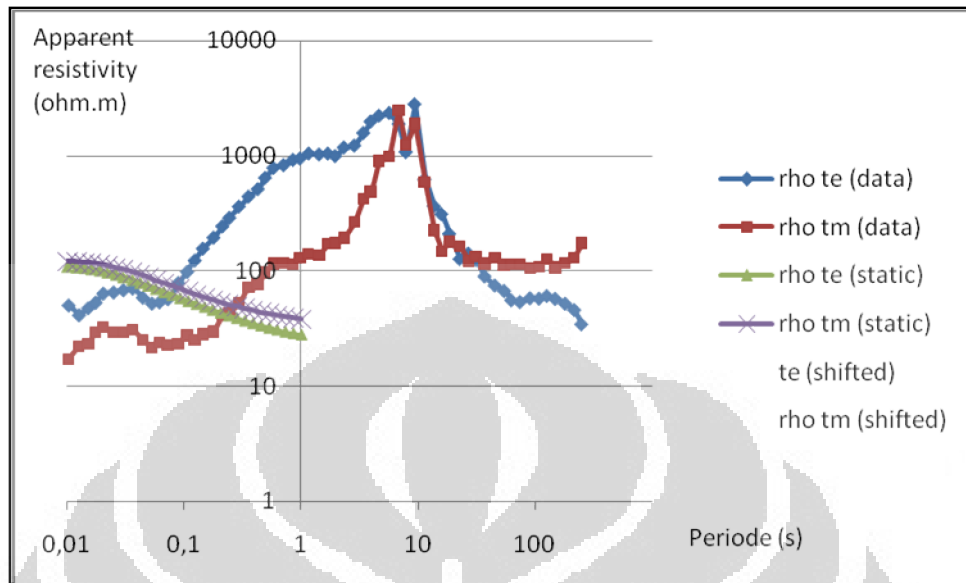


Gambar 3.13. Kurva Data MT 07 Sebelum Koreksi *Static Shift*

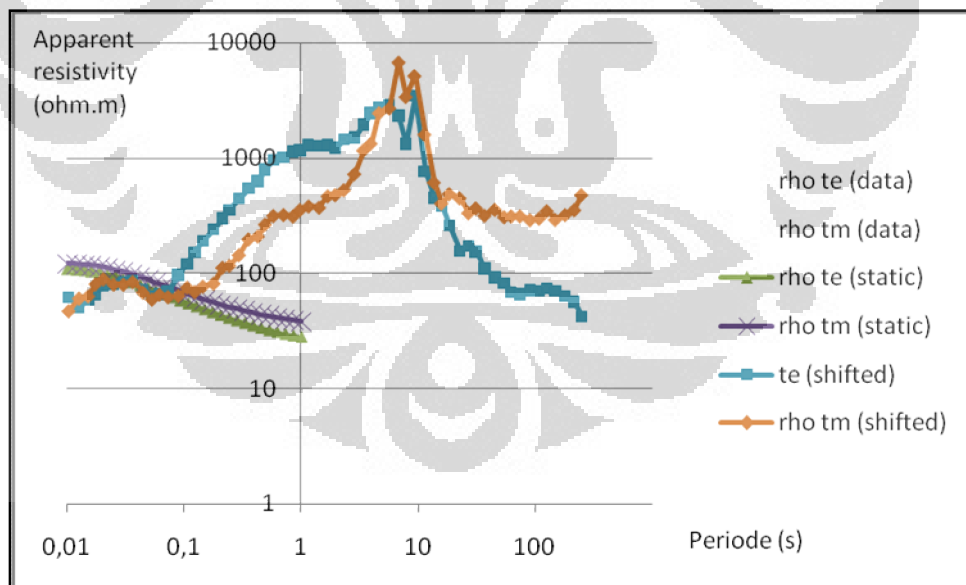


Gambar 3.14. Kurva Data MT 07 Setelah Koreksi *Static Shift*

e. Titik MT 08

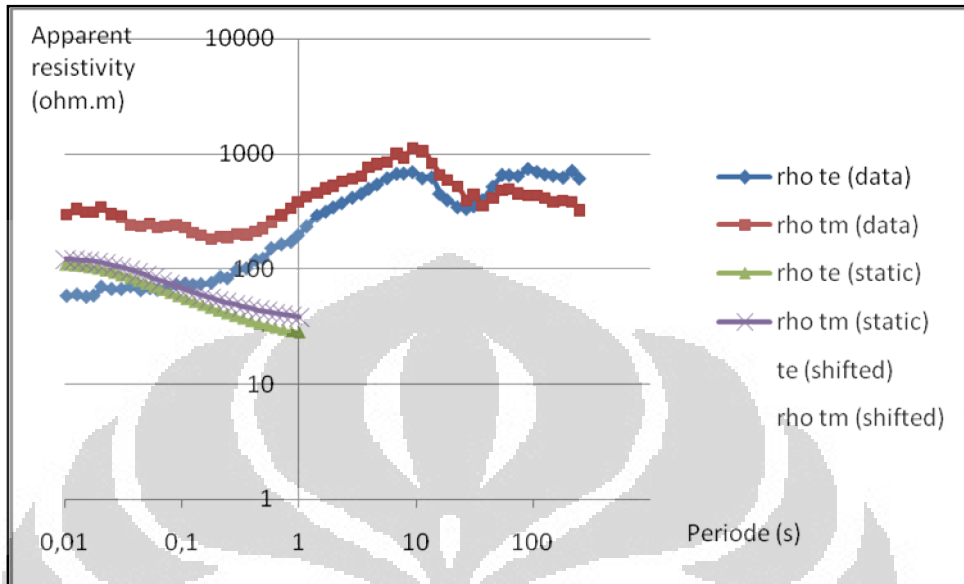


Gambar 3.15. Kurva Data MT 08 Sebelum Koreksi *Static Shift*

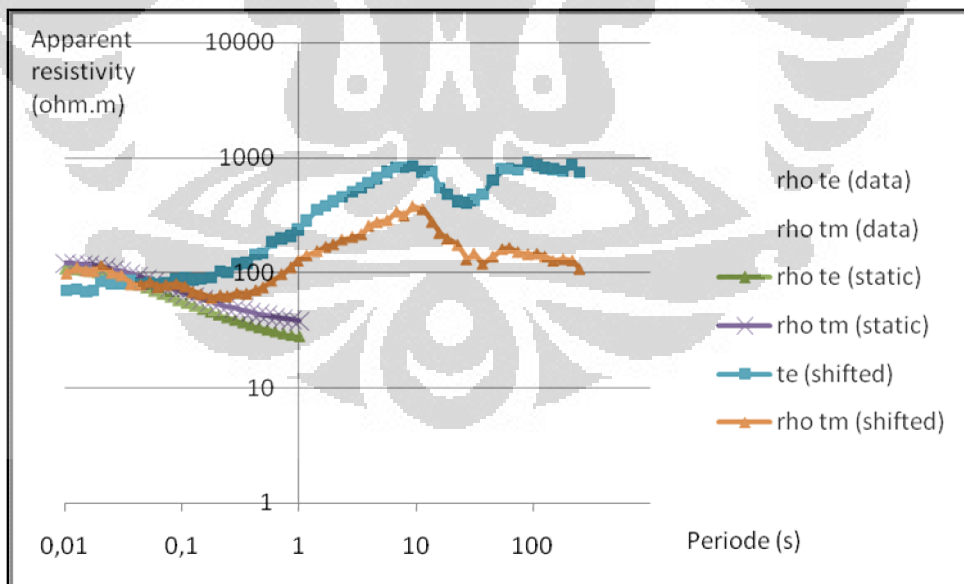


Gambar 3.16. Kurva Data MT 08 Setelah Koreksi *Static Shift*

f. Titik MT 10

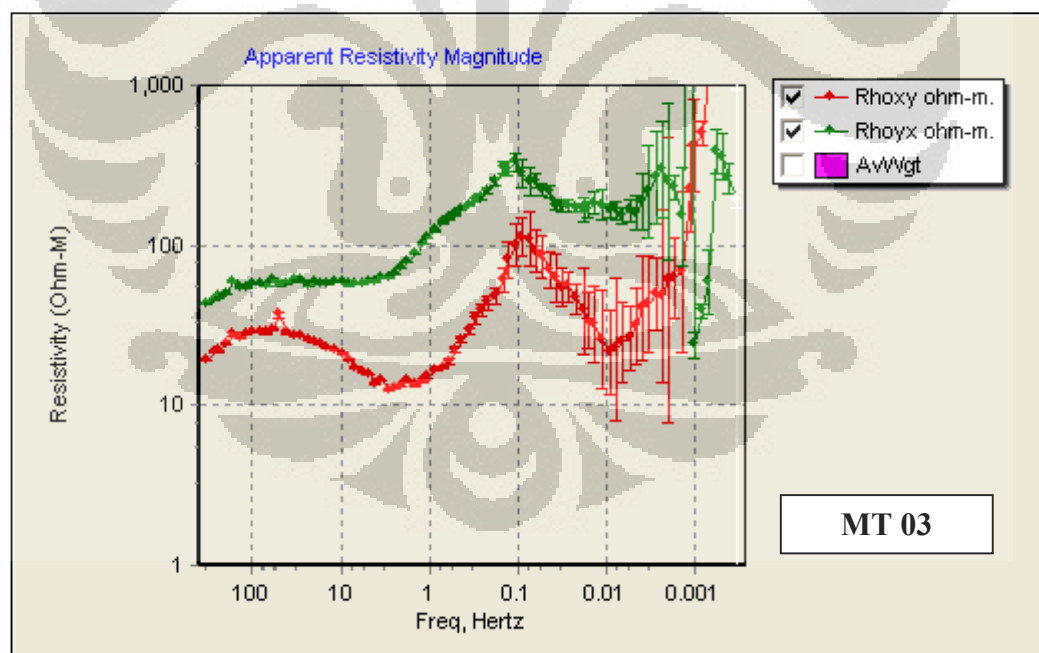
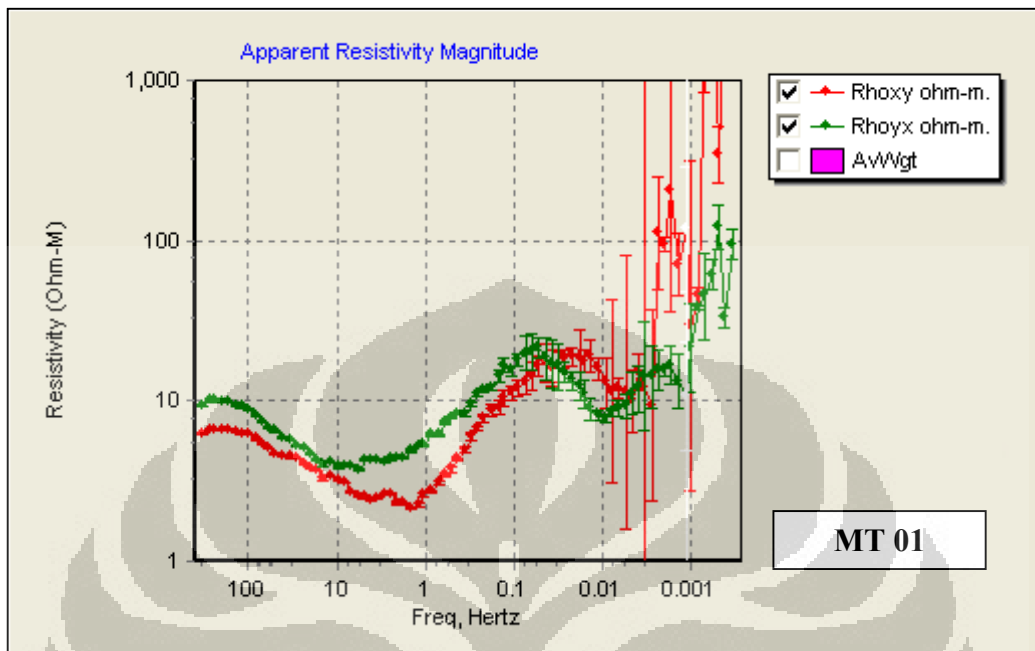


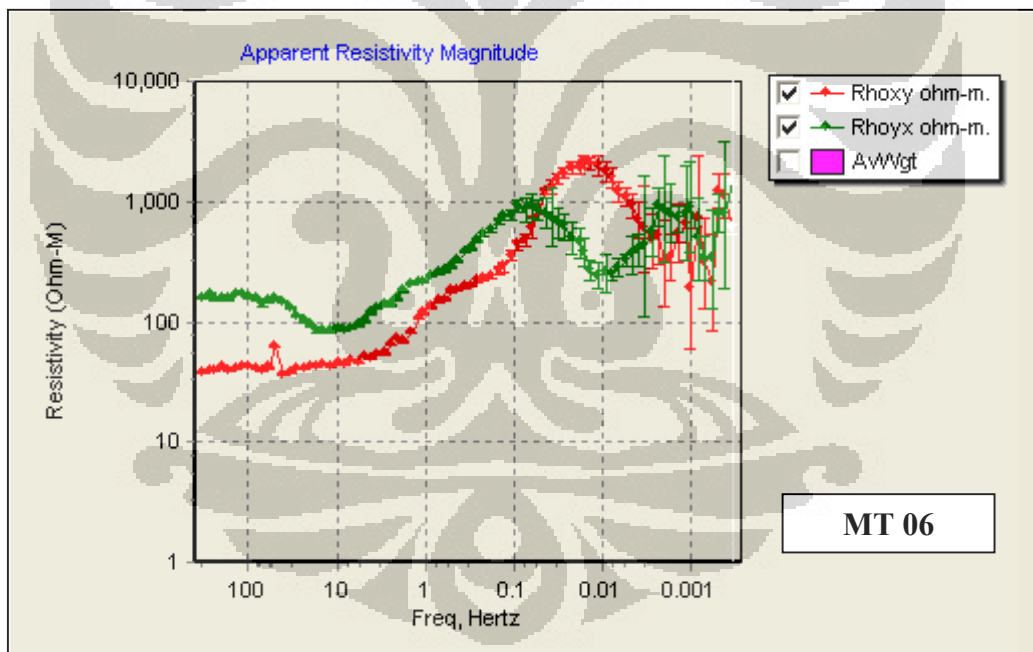
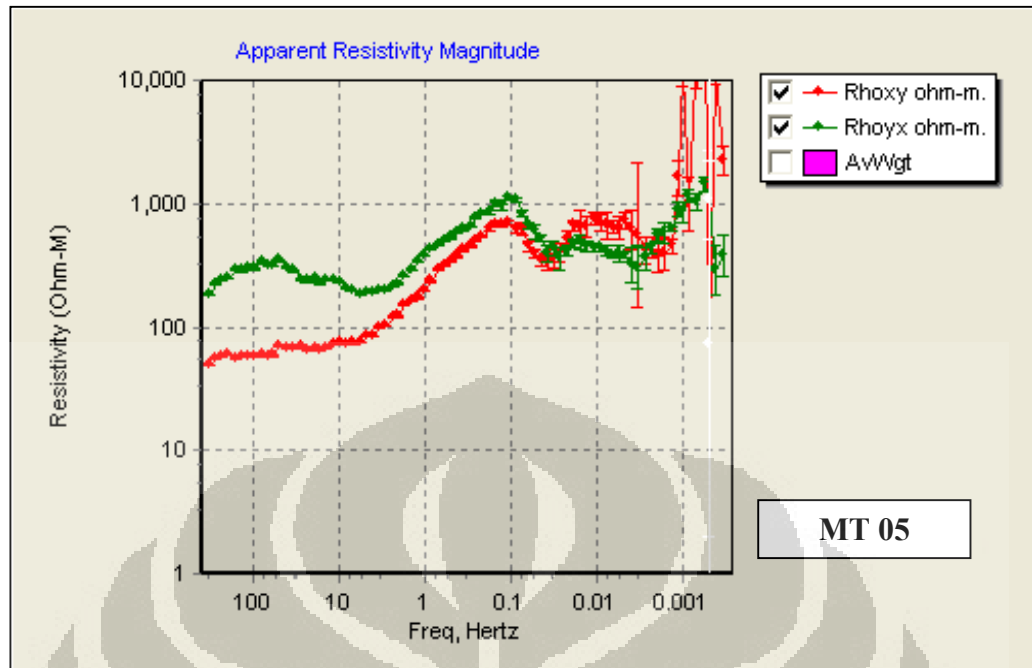
Gambar 3.17. Kurva Data MT 10 Sebelum Koreksi *Static Shift*

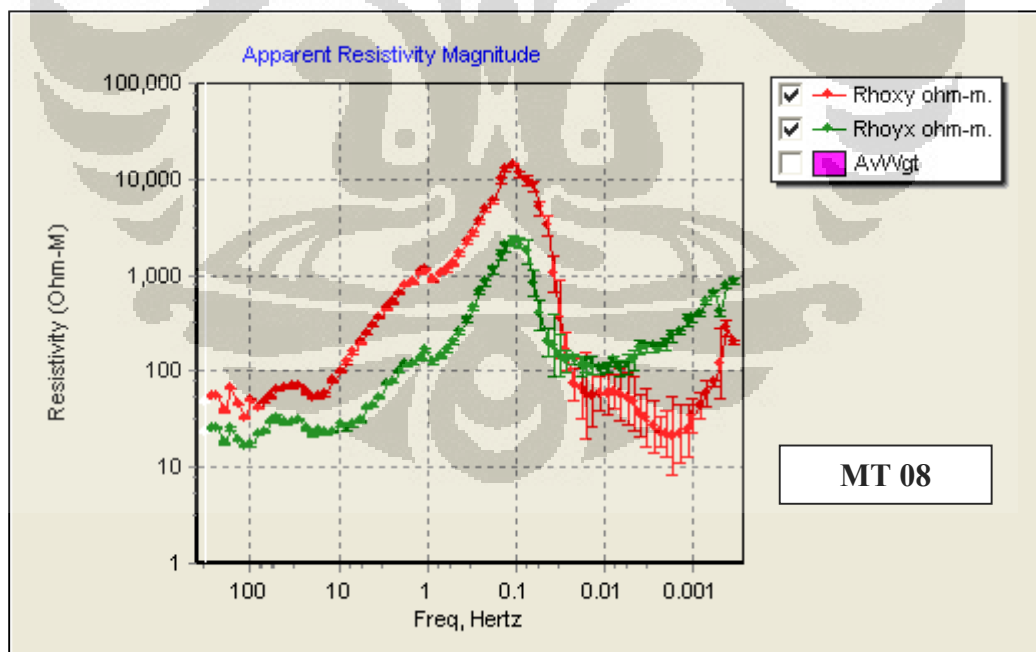
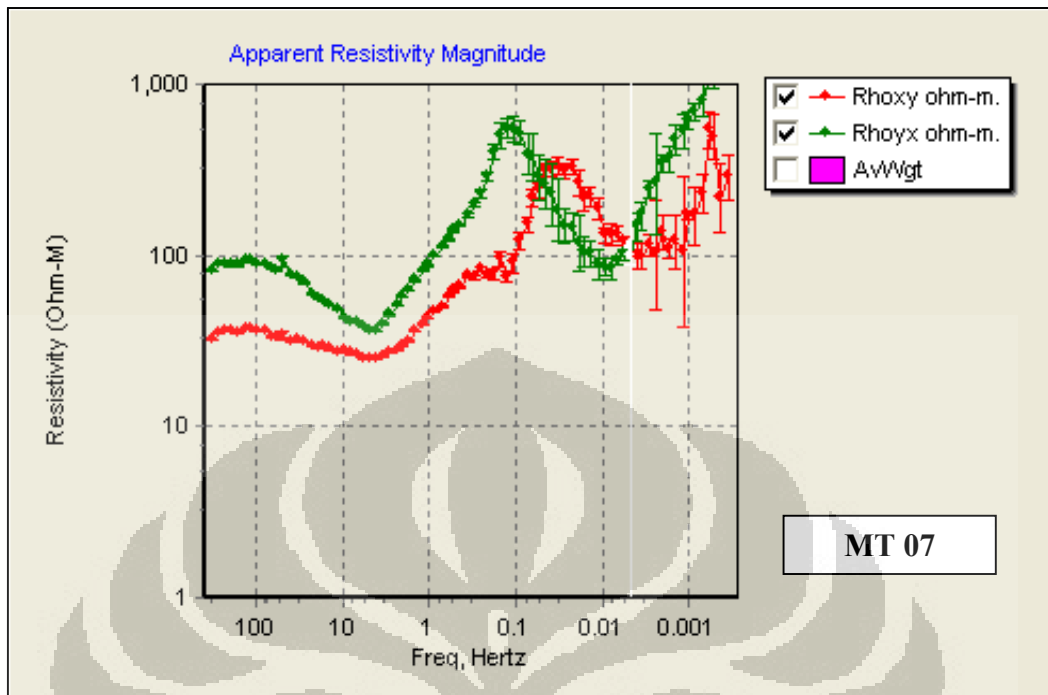


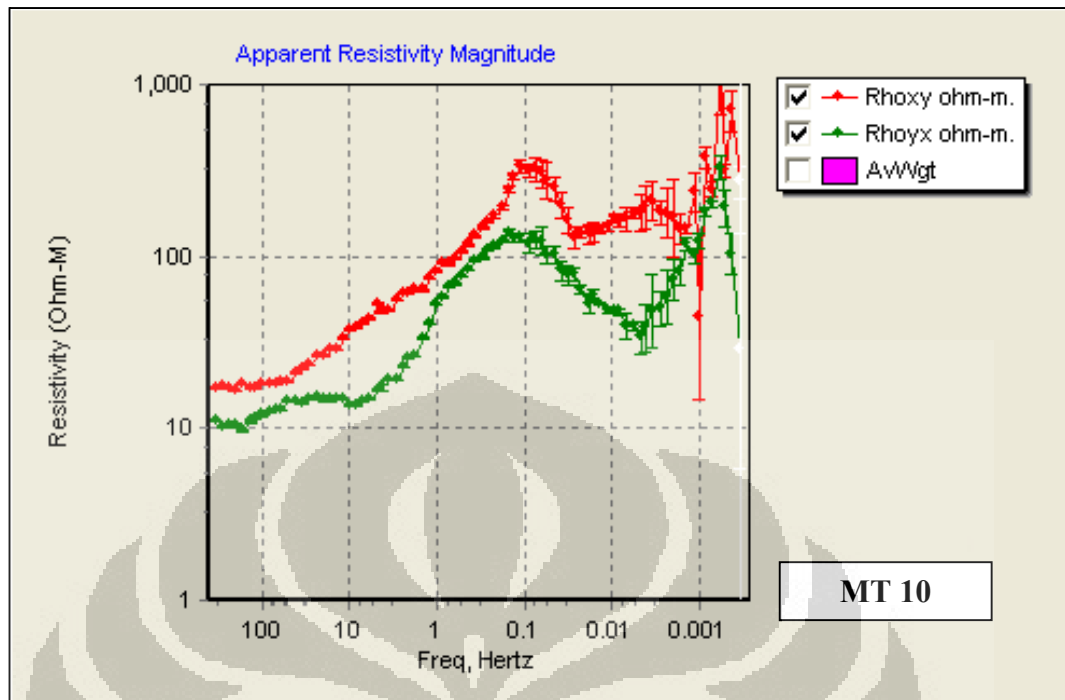
Gambar 3.18. Kurva Data MT 10 Setelah Koreksi *Static Shift*

4. Gambar Hasil Pengolahan Data di *Software* MT Editor









5. Lokasi Titik Pengukuran Gravitasi

