



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN METODE PEMROSESAN DATA
TRANSIENT ELECTROMAGNETIC MENGGUNAKAN
SOFTWARE MATLAB**

SKRIPSI

SANDY AKBAR

0606068695

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI S1 FISIKA

DEPOK

DESEMBER 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Sandy Akbar

NPM : 0606068695

Tanda Tangan :

Bulan : Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

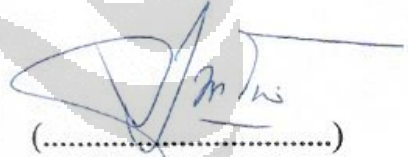
Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Sandy Akbar
NPM : 0606068695
Program Studi : S1 Fisika
Peminatan : Geofisika
Judul Skripsi : Pengembangan Metode Pemrosesan Data *Transient Electromagnetic* menggunakan Software Matlab

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

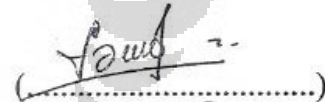
DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Yunus Daud, M.Eng



(.....)

Pembimbing II : Lusy Niatri, M.Si



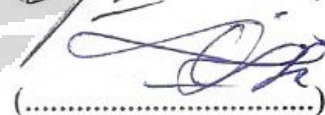
(.....)

Penguji I : Dr. Eng. Supriyanto, M.Sc



(.....)

Penguji : Drs. Lingga Hermanto, M.Si



(.....)

Ditetapkan di : Depok,

Tanggal : Desember 2010

KATA PENGANTAR

Tak ada kalimat yang pantas terucap selain pujian kepada Sang Pencipta Allah SWT atas limpahan hidayah, taufik, dan keberkahan ilmu kepada penulis, sehingga penulis dapat merampungkan laporan tugas akhir yang berjudul: **“Pengembangan Metode Pemrosesan Data Transient Electromagnetic Menggunakan Software Matlab”** dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa terlimpah kepada Baginda Rosulullah Muhammad, beserta segenap keluarga, sahabat dan pengikut setia beliau hingga hari kemudian.

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar kesarjanaan di Departemen Fisika, Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sulitlah kiranya bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Yunus Daud selaku Pembimbing I Tugas Akhir yang telah rela mengorbankan banyak waktunya untuk memberikan pengarahan dan pengertian kepada penulis.
2. Ibu Lusy Niatri, M.Si selaku Pembimbing II Tugas Akhir yang ditengah kesibukan pekerjaan dikantor masih mau memberikan waktu, tenaga, dan Ilmunya dalam membantu menyelesaikan Tugas akhir.
3. Bapak Dr. Eng. Supriyanto selaku Penguji I yang telah berkenan memberikan waktu serta saran dan masukannya.
4. Bapak Drs. Lingga Hermanto, M.Si selaku Penguji II yang telah berkenan menyediakan waktu dan kesempatan, serta saran dan masukan dalam diskusi yang dilakukan
5. Orang tua, kakak, adek, dan saudara-saudara atas doa dan dukungannya selama penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Jimmy Masrin yang dengan baik hati dan kemurahan hatinya walaupun belum pernah bertatap muka secara langsung tetapi memberikan bantuan Dana yang sangat berarti dalam menyelesaikan perkuliahan.

7. Teman-teman S1 reguler 2006 yang selalu memberikan dukungan moril dan spiritual, serta banyak informasi berharga kepada penulis. Terutama kepada teman-teman geofisika dan terkhusus kepada yang berjuang bersama untuk dapat lulus pada semester ini.
8. Jajaran karyawan Departemen Fisika UI, atas bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih banyak atas dukungannya.

Semoga Allah membalas jasa semua pihak tersebut diatas dengan sebaik-baiknya balasan. Penulis juga menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu perlulah kiranya saran dan kritik yang membangun demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga laporan ini membawa faedah bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Depok, Desember 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Sandy Akbar
NPM : 0606068695
Program Studi : S1 Fisika
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 :

PENGEMBANGAN METODE PEMROSESAN DATA *TRANSIENT* *ELECTROMAGNETIC* MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB

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 mempublikasikan 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 Bulan : Desember 2010
Yang menyatakan

(Sandy Akbar)

Nama : Sandy Akbar
NPM : 0606068695
Program Studi : S1 Fisika
Judul Skripsi : Pengembangan Metode Pemrosesan Data *Transient Electromagnetic* menggunakan Software Matlab

ABSTRAK

Pengolahan data transient elektromagnetik bertujuan mendapatkan sifat fisis batuan berdasarkan resistivitas terhadap kedalaman, yang nantinya akan dianalisa untuk mengetahui daerah prospek hidrokarbon. Tahpan dalam pengolahan data untuk mendapatkan nilai resistivitas terlebih dulu mendapatkan nilai resistivitas semu. Nilai resistivitas semu pada metode *Transient Electromagnetic* (TEM) dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa formula yang dikembangkan oleh Kaufman & keller, Zonge, Fitterman & Stewart, dan Cristensen. Dalam proses pemilihan formula TEM yang digunakan analisa dengan mencari perbedaan relative dengan bantuan dari data sintetik, formula Fitterman & Stewart memiliki nilai perbedaan relatifitas 0,37%. Korelasi nilai resistivitas dilakukan dengan membandingkan nilai resistivitas yang didapat hasil perhitungan berdasarkan formula TEM dengan nilai resistivitas semu yang diperoleh dari hasil pemodelan 1 dimensi dengan software LOTEM maupun dengan software IX1D. Proses automatisasi dibuat bertujuan untuk melakukan efisiensi dalam proses perhitungan nilai resistivitas semu dengan software Matlab menggunakan aplikasi GUIDE. Pemodelan 1 dimensi yang di gabungkan dari bebarapa titik sounding bertujuan mendapatkan profil resistivitas yang nantinya akan memberikan informasi bawah permukaan. Dari profil resistivitas semu terhadap kedalaman terlihat adanya struktur yang berupa antiklin pada daerah 500-3000m dengan kedalaman 1000an meter. Pada daerah struktur antiklin terlihat nilai resistivitas yang tinggi mengindikasikan kemungkinan adanya hidrokarbon.

Kata kunci: Metode elektromagnetik, Transient Electromagnetic, resistivitas semu

Name : Sandy Akbar
Study Program : Bachelor Degree of physics
Title : Development of Processing Method Electromagnetic
Transient Data Using The Software Matlab

ABSTRACT

Processing of transient electromagnetic data to obtain physical properties of rocks based on the resistivity with depth, which will be analyzed to determine areas of hydrocarbon prospects. Stages in data processing to obtain resistivity values first obtaining apparent resistivity value. Value of apparent resistivity on the method of Transient Electromagnetic (TEM) can be determined by using some formula that was developed by Kaufman & Keller, Zonge, Fitterman & Stewart, and Cristensen. In the process of choice formula used TEM analysis by looking for relative differences with the help of synthetic data, Fitterman & Stewart's formula has the value 0.37% difference relatively. Correlation of resistivity values is done by comparing the obtained resistivity values calculated based on the formula TEM apparent resistivity value obtained from the one-dimensional modeling software or with software IX1D LOTEM. Automatic process is made aimed at improving efficiency in the process of calculating the value of apparent resistivity with Matlab software using GUIDE application. Modeling one-dimensional in combination of Many diagnostic point to obtain a profile of resistivity sounding which will provide subsurface information. From the profile of apparent resistivity with depth seen in the form of the anticline structure in the 3,000 m with a depth of 500-meter 1000an. At the regional anticline structure visible high resistivity values indicate the possibility of hydrocarbons.

Key word : Electromagnetic method, Transient Electromagnetic, Apparent resistivity

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Metodologi Penelitian	4
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB II. TEORI DASAR	
2.1. Metode Elektromagnetik.....	7
2.1.1. Persamaan Maxwell	8
2.2. Klasifikasi Metode Elektromagnetik	9
2.3. Metode CSEM	10
2.3.1. Konsep dasar Metode mCSEM.....	12
2.4. Metode Time Domain Electromagnetic	14
2.4.1. Solusi Kualitatif dan the Smoke Rings	14
2.5. Respon Transient	18
2.6. Karakteristik Penurunan Transient Electromagnetic	21
2.7. Pengolahan Data Metode CSEM	22
2.7.1. Noise dan Koreksi Statik.....	23
2.8. Pemodelan Bawah permukaan	25

2.8.1. Pemodelan Kedepan (Forward Modeling)	26
2.8.1. Pemodelan Inversi (Inverse Modeling).....	20

BAB III. DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1. Data	27
3.1.1. Proses pengambilan Data	28
3.2. Pengolahan Data.....	29
3.2.1. Preprocessing	29
3.2.2. Presentasi Data	33
3.2.3. Mendapatkan nilai Resistivitas Semu	36
3.2.3.1. Mencari Formula TEM	36
3.2.3.2. Menghitung perbedaan Relatif.....	38
3.2.3.3. Nilai Resistivitas Semu Data Percobaan.....	41
3.3. Proses Automatisasi	42
3.3.1. Overview Proses Automatisasi	43
3.4. Penampang Resistivitas Semu terhadap waktu.....	47
3.5. Pemodelan Resistivitas Bumi Bawah Permukaan.....	47
3.5.1. Pemodelan 1D Software LOTEM.....	48
3.5.2. Pemodelan 1D Software IX1D	49
3.5.3. Profiling Resistivitas	50

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan	51
4.2 Analisa Formula Transien Electromagnetic	52
4.3 Analisa Resistivitas Semu Data Percobaan	53
4.4 Korelasi Nilai Resistivitas Semu.....	55
4.4.1. Korelasi dengan Data Sumur/Log.....	56
4.4.2. Korelasi dengan Modeling 1D LOTEM	58

4.4.3. Korelasi dengan Modeling 1D IX1D	59
4.5 Analisa Penampang Resistivitas Semu	62
4.6 Analisa Model 1 Dimensi.....	63
4.7 Analisa Profiling Resistivitas.....	64

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran.....	68

DAFTAR REFERENSI



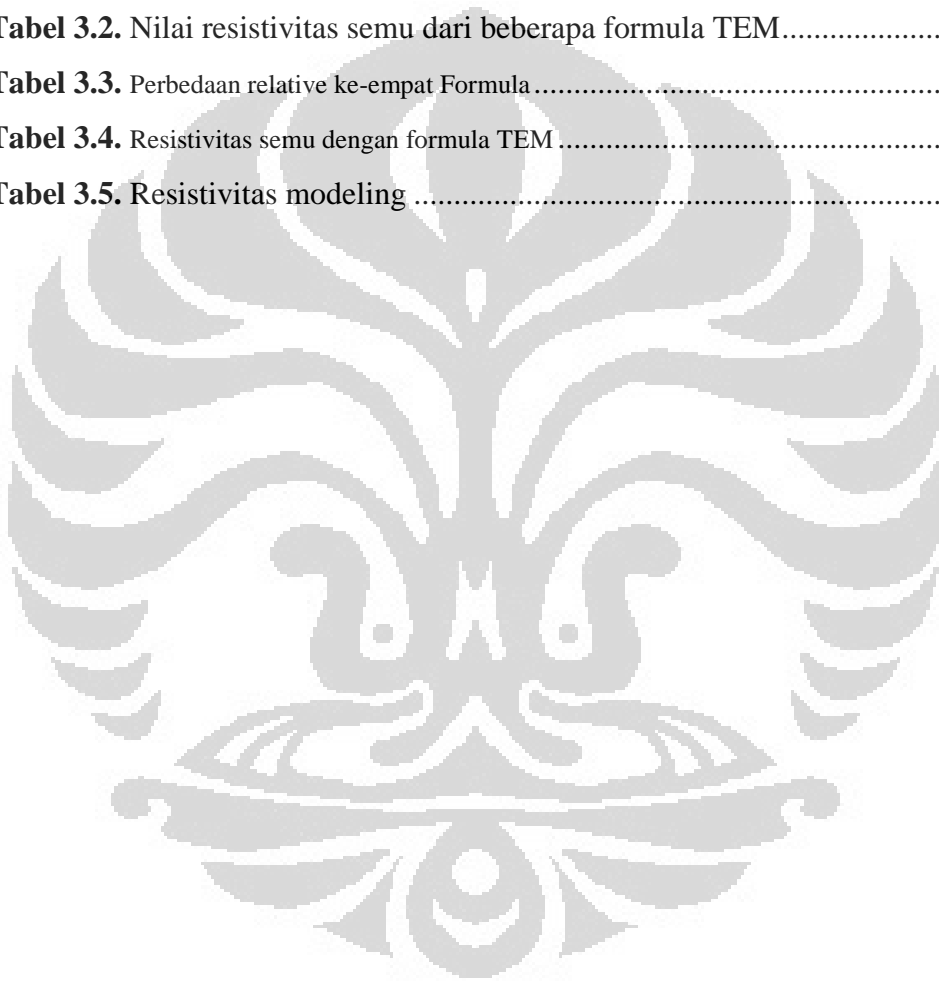
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Flow chart Tugas Akhir	5
Gambar 2.1.	Prinsip Metode Elektromagnetik.....	7
Gambar 2.2.	Klasifikasi metode elektromagnetik.....	10
Gambar 2.3.	Pengukuran Metode CSEM di marine	12
Gambar 2.4.	CSEM transmitter	13
Gambar 2.5.	CSEM receiver.....	13
Gambar 2.6.	Medan magnet primer.....	14
Gambar 2.7.	Arus sekunder.....	15
Gambar 2.8.	Medan magnet sekunder yang melewati Loop.....	15
Gambar 2.9.	Gelombang bidang TDEM.....	16
Gambar 2.10.	Eddy Current menjalar kemudian Arus dimatikan.....	18
Gambar 2.11.	Eddy Current pada waktu selanjutnya	18
Gambar 2.12.	Smoke-Rings	18
Gambar 2.14.	Karakterisasi penurunan TEM	21
Gambar 2.15.	Jenis sinyal CSEM & respon sinyal.....	23
Gambar 2.16.	Industrial noise.....	24
Gambar 2.17.	Jenis trend	24
Gambar 2.18.	Forward dan inverse modelling	25
Gambar 2.19.	Diagram Alur Inverse Modelling	26
Gambar 2.20.	Diagram Alur Inverse Modelling.....	26
Gambar 3.1.	Konfigurasi Metode EM pada penelitian	28
Gambar 3.2.	Kombinasi dari sumber sinyal.....	28
Gambar 3.3.	Salah satu tahapan filtering	29
Gambar 3.4.	Menghapus tren frekuensi rendah	30
Gambar 3.5.	Man-mad noise filtration.....	30
Gambar 3.6.	Robust filtering	31
Gambar 3.7.	Tampilan Data yang sudah melalui preprocessing.....	31
Gambar 3.8.	Data medan magnet terhadap waktu	32
Gambar 3.9.	Presentasi data medan listrik terhadap waktu	33

Gambar 3.10. Tampilan gabungan medan listrik dan magnet	33
Gambar 3.11. Alur kerja pengolahan data	34
Gambar 3.12. Resistivitas semu pada suatu titik	40
Gambar 3.13. Diagram alur proses otomatisasi	41
Gambar 3.14. Overview proses otomatisasi.....	42
Gambar 3.15. Plot data dalam proses otomatisasi.....	43
Gambar 3.16. Hasil plot grafik resistivitas semu	44
Gambar 3.17. Proses Plot gabungan ke-empat formula.....	45
Gambar 3.18. Penampang resistivitas semu terhadap waktu.....	46
Gambar 3.19. Data log sumur	47
Gambar 3.20. Hasil Forward modeling dengan LOTEM	48
Gambar 3.21. Hasil modeling dengan IX1D.....	48
Gambar 3.22. Profil resistivitas terhadap kedalaman	49
Gambar 4.1. Alur prinsip kerja metode geofisika	50
Gambar 4.2. Resistivitas semu pada suatu titik	53
Gambar 4.3. Plot resistivitas semu terhadap kedalaman	54
Gambar 4.4. Interval apparent resistivitas	56
Gambar 4.5. Korelasi data well EM forward modeling.....	57
Gambar 4.6. Grafik nilai resistivitas terhadap kedalaman	58
Gambar 4.7. Overlay grafik nilai resistivitas	59
Gambar 4.8. Gabungan grafik ke-empat formula dan software IX1D.....	60
Gambar 4.9. Penampang resistivitas terhadap waktu	61
Gambar 4.10. Pemodelan 1 dimensi	62
Gambar 4.11. Profil resistivitas	41
Gambar 4.12. Faktor yang mempengaruhi resistivitas batuan.....	42
Gambar 4.13. Penampang resistivitas sebenarnya terhadap kedalaman.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Demo atau sintetik software INTERPEX	37
Tabel 3.2. Nilai resistivitas semu dari beberapa formula TEM.....	38
Tabel 3.3. Perbedaan relative ke-empat Formula.....	39
Tabel 3.4. Resistivitas semu dengan formula TEM	40
Tabel 3.5. Resistivitas modeling	47



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan tema pembicaraan yang menarik untuk terus diperbincangkan baik dalam aspek kenegaraan, ekonomi, ketahanan, industri maupun teknologi. Semua berlomba untuk dapat memenuhi tuntutan atas kebutuhan energi tersebut. Indonesia-pun tidak mau kalah dengan yang lainnya, dengan membuat rencana jangka pendek, menengah bahkan rencana jangka panjang hingga tahun 2025 dalam pengelolaan sumberdaya energi.

Konsumsi energi Indonesia yang terus meningkat dimana energi utama didominasi oleh minyak dan gas, sementara cadangan minyak dan gas yang ada cenderung semakin menurun. Untuk itu dibutuhkan pengembangan teknologi dan industri agar dapat menemukan sumber/prospek hidrokarbon baru.

Mahalnya biaya untuk menginvestigasi keberadaan hidrokarbon mengharuskan peneliti terus melakukan terobosan dalam hal eksplorasi hidrokarbon. Tentunya metode geofisika menjadi faktor yang berpengaruh dan memiliki peranan dalam menginvestigasi keberadaan sumber-sumber hidrokarbon.

Metode elektromagnetik dalam beberapa tahun belakangan menjadi perhatian dan pembicaraan yang menarik dalam hal eksplorasi terutama eksplorasi hidrokarbon. Pemetaan resistivitas bawah permukaan berdasarkan pengukuran elektromagnetik adalah teknologi yang menarik untuk eksplorasi. Dengan mengintegrasikan data seismik dan data elektromagnetik kita dapat mengetahui struktur (patahan, jebakan, dll), litologi batuan (batuan kapur, batuan pasir), dan juga kita dapat mengetahui kandungan fluida dan penyebarannya (Darnet et al., 2010).

Controlled Source ElectroMagnetic (CSEM) adalah salah satu metode geofisika yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik sumber yang berasal dari transmitter (sumber artificial/buatan). Sumber yang digunakan dapat diatur sesuai

dengan kondisi lapangan, salah satu keuntungannya yaitu efisiensi waktu yang digunakan sehingga lebih ekonomis jika dibandingkan dengan menggunakan sumber alami pada panjang gelombang yang sama.

Metode *Transient Electromagnetic* (TEM) merupakan metode elektromagnetik yang juga termasuk dalam klasifikasi metode dengan sumber yang berasal dari antenna pemancar atau transmitter (termasuk klasifikasi dari CSEM)

Metode TEM efektif untuk menentukan konduktivitas elektrik dari tanah pada kedalaman 10-1000m. Karena konduktivitas elektrik tanah berhubungan erat dengan sifat tanah, TEM adalah metode yang sangat baik untuk memetakan tanah dan perubahan pada tipe tanah di kedalaman tersebut. TEM dapat digunakan untuk memetakan pasir dan kerikil di lapisan tembus air (*aquifer*), lapisan tanah liat yang menahan aliran air tanah, lapisan yang berpori-pori yang dapat dilewati oleh air tanah yang merupakan lapisan konduktif, *salt water intrusion*, dan kedalaman dari batuan dasar atau lapisan tanah keras (Sucandra,2009).

Metode TEM telah digunakan untuk eksplorasi pertambangan selama beberapa dekade. Metode TEM mengalami kebangkitan kembali pada akhir 1970an dan awal 1980an seiring dengan perkembangan efisiensi dan efektivitas dari peralatan lapangan dan teknik interpretasi komputer. Perkembangan teknologi memungkinkan untuk mendapatkan data berkualitas tinggi dari kedalaman puluhan, ratusan hingga seribuan meter.

Metode TEM memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan teknik resistivitas DC. TEM tidak membutuhkan susunan elektroda yang besar dan tidak begitu sensitif terhadap perubahan-perubahan lateral pada tanah. Adapun resistivitas DC membutuhkan susunan elektroda yang panjang dan tidak efisien dengan panjang 3-5 kali kedalaman eksplorasi. Dengan demikian, investigasi untuk kedalaman 50m membutuhkan area tanah yang tingkat horizontalnya seragam dengan panjang titik pengukuran lebih dari 150m. Sementara teknik

TEM dapat melakukan eksplorasi sampai kedalaman ratusan meter hanya dengan *transmitter loop* 100m.

TEM memiliki resolusi kedalaman yang lebih baik daripada resistivitas DC, terutama untuk memetakan lapisan-lapisan konduktif pada bagian resistif. Metode resistivitas DC sulit untuk memetakan lapisan di bawah bagian resistif, sementara metode TEM dapat dengan mudah memetakan lapisan konduktif yang berada di bawah bagian resistif yang tebal (French, 2002).

Konduktivitas atau resistivitas listrik merupakan parameter fisis penting bagi batuan. Batuan memiliki nilai konduktivitas atau resistivitas yang amat beragam yang dapat digunakan sebagai parameter untuk membedakan berbagai jenis batuan. Pemetaan konduktivitas atau resistivitas batuan bawah permukaan merupakan hal penting untuk identifikasi batuan dalam studi proses tektonik dan struktur geologi.

Untuk mendapatkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan harus melalui tahapan perhitungan nilai resistivitas semu yang biasanya sudah dilakukan perangkat atau alat yang digunakan secara otomatis. Dalam penelitian ini mencoba menjelaskan proses perhitungan nilai resistivitas semu secara tersendiri (terpisah dari perangkat utama).

1.2 Tujuan Penelitian

Tugas Akhir ini bertujuan untuk :

1. Mempelajari dan memahami prinsip kerja metode elektromagnetik secara umum, serta metode CSEM (*Controlled Source Electromagnetic*) dan *Transient Electromagnetic* khususnya.
2. Mempelajari alur kerja eksplorasi dengan metode TEM (pengambilan data, pengolahan data dan basic interpretasi).

3. Membahas dan mempelajari *noise removing*, *smoothing*, dan *filtering* pada data percobaan.
4. Melakukan pengolahan data: mendapatkan nilai resistivitas semu dengan formula TEM (*Transient Electromagnetic*), hingga menampilkan profil resistivitas terhadap kedalaman.

1.3 Pembatasan Masalah

Proses eksplorasi hidrokarbon dengan metode TEM meliputi tahap pengambilan data, pengolahan data, dan interpretasi. Dalam penelitian ini, penulis hanya membahas tahap pengolahan data metode TEM.

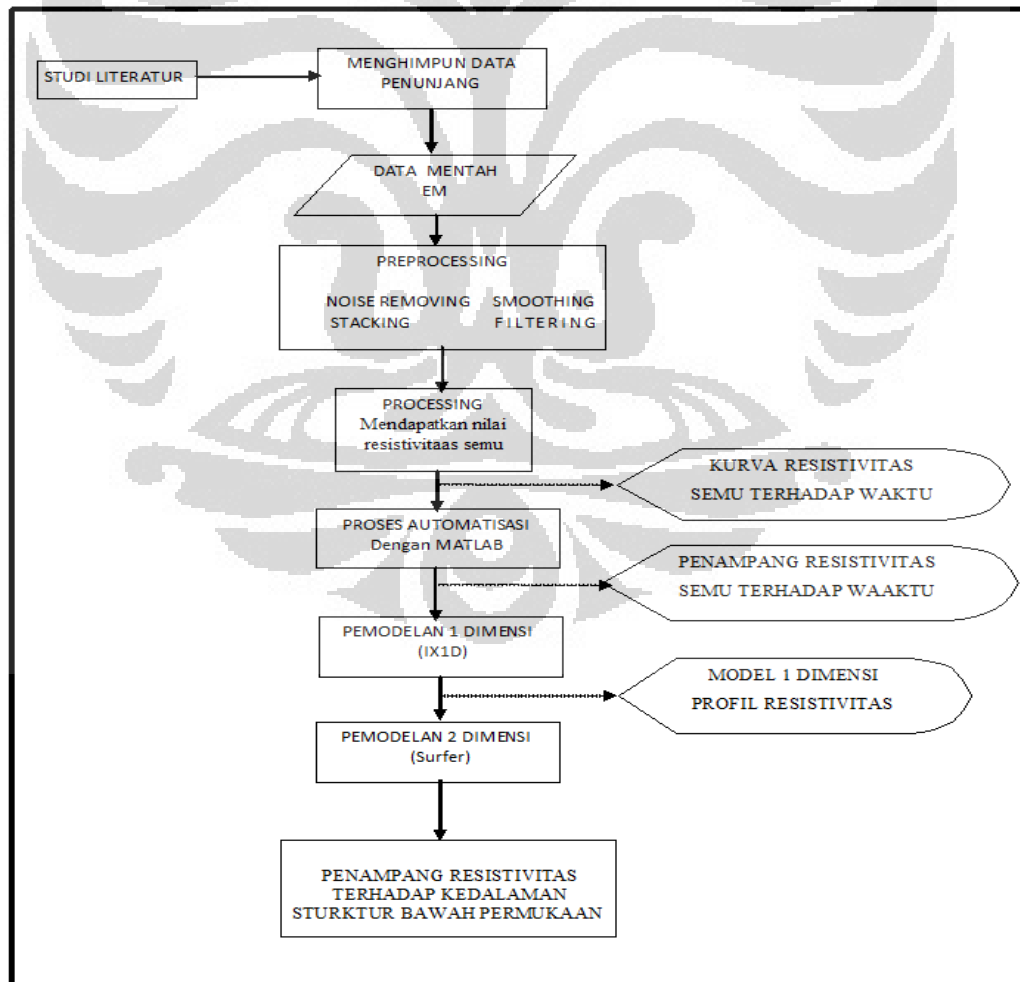
Tahapan pengolahan data metode TEM meliputi berbagai macam tahapan dimulai dari Preprocessing hingga pemodelan bumi bawah permukaan. Pada penelitian ini terbatas pada bagaimana mendapatkan nilai resistivitas semu dengan formula Transient Electromagnetic secara manual dimana biasanya proses tersebut dikerjakan secara otomatis oleh perangkat lunak alat yang digunakan. Sehingga nilai resistivitas tersebut dapat dilakukan proses pemodelan 1 dimensi, baik dengan pemodelan kedepan (*Forward Modelling*) ataupun pemodelan inversi (*Inverse Modelling*).

1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menentukan masalah, ruang lingkup bahasan dan tujuan
2. Melakukan studi literatur tentang metode yang akan digunakan serta geologi regional dan lokal dari daerah penelitian.
3. Melakukan analisis raw data.
4. Menganalisis hasil data *preprocessing* terhadap data elektromagnetik.
5. Analisis formula yang digunakan pada data percobaan dan mengaplikasikan pada data yang merupakan data percobaan.

6. Pengujian formula pada data sintetik yang tersedia pada software INTERPEX TEM sounding.
7. Mendapatkan nilai resistivitas semu pada data percobaan.
8. Korelasi nilai resistivitas semu dengan data log/sumur sebagai kalibrasi point.
9. Pemodelan 1 dimensi dengan software INTERPEX LOTEM sebagai komparasi atau perbandingan dengan nilai resistivitas semu pada data percobaan.
10. Pemodelan 1 dimensi dengan software IX1D sebagai komparasi atau perbandingan dengan nilai resistivitas semu pada data percobaan.
11. Pembuatan penampang resistivitas semu terhadap waktu.
12. Pembuatan profil resistivitas sebenarnya.



Gambar 1.1 Flow chart Tugas Akhir

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam hal ini penulis akan menjelaskan mengenai format penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir, untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam uraian sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang masalah dalam penelitian, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir.

BAB 2 : TEORI DASAR

Melakukan kajian dari berbagai sumber pustaka yang mengenai metode Elektromagnetik secara umum, serta metode CSEM (*Controlled Source Electromagnetic*) dan *Transient Electromagnetic* (TEM) khususnya.

BAB 3 : PENGOLAHAN DATA

Pembahasan mengenai proses pengolahan data sampai siap untuk dianalisis dijabarkan pada bab tiga yaitu dengan menganalisis data mentah (*raw data*), *noise removing*, *smoothing*, *filtering*, mendapatkan nilai resistivitas semu, serta mengkomparasikan atau membandingkan kebenaran dengan data percobaan.

BAB 4 : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Melakukan analisis terhadap data-data yang diperoleh selama proses penelitian, menjelaskan masalah – masalah yang terjadi, serta memberikan pembahasan penyelesaiannya .

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

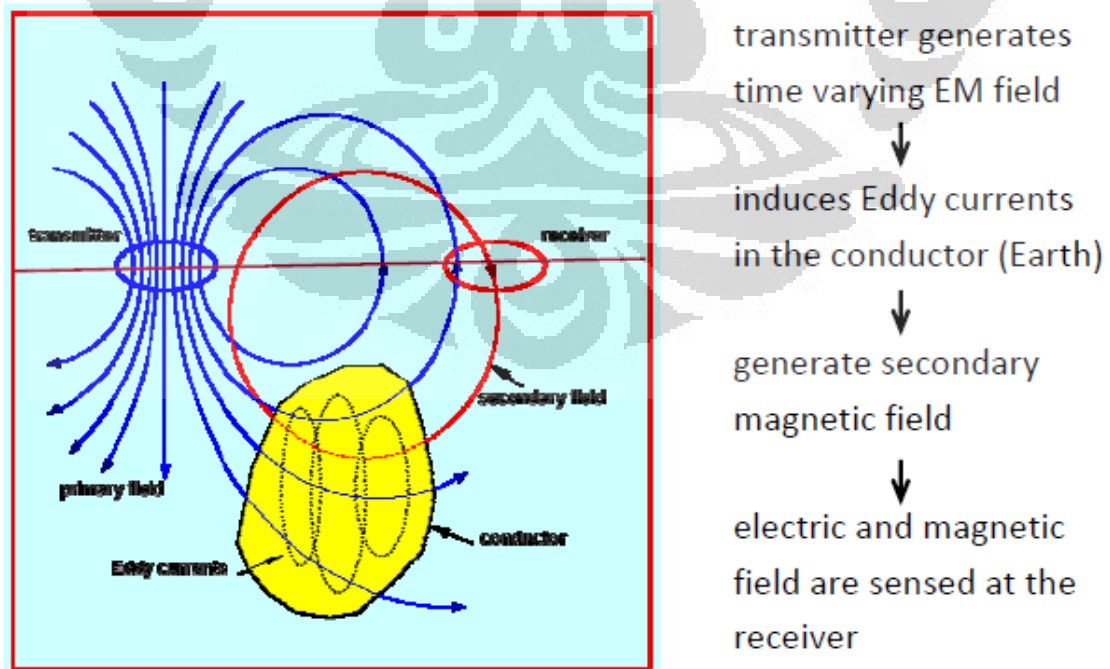
Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran – saran membangun yang dapat dilakukan untuk perbaikan pada penelitian berikutnya.

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Metode Elektromagnetik

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam prospek geofisika adalah metode elektromagnetik (EM), biasanya digunakan untuk eksplorasi benda-benda konduktif. Metode elektromagnetik merupakan metode geofisika yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan kebawah permukaan bumi. Sumber gelombang elektromagnetik bisa berasal dari alam (*natural source*) ataupun sumber buatan (*artificial source*). Pada metode EM parameter yang diukur merupakan respon terhadap radiasi elektromagnetik yang diterima oleh sensor atau receiver. Perubahan komponen-komponen medan magnet akibat variasi konduktivitas dimanfaatkan untuk menentukan struktur bawah permukaan. Konsep penjalaran gelombang elektromagnetik di bumi dapat dipahami sebagai proses induksi elektromagnetik (Jiracek,2010).



Gambar 2.1 Prinsip Metode Elektromagnetik (Widarto,2010)

Sumber gelombang elektromagnetik yang berasal dari *transmitter* (pemancar) akan menjalar atau merambat kedalam bumi dan menghasilkan atau menimbulkan medan magnet yang bervariasi terhadap waktu. Medan elektromagnetik tersebut ketika melewati lapisan atau mengenai benda bersifat konduktor (mengenai atau melewati daerah/bagian yang memiliki kontras fisika batuan → konduktivitas/resistivitas) akan menimbulkan adanya arus yang terpusar atau sering disebut “*Eddy Current*” pada konduktor di bawah permukaan bumi.

Adanya arus listrik yang mengalir pada suatu konduktor menyebabkan adanya medan magnet di sekitar konduktor tersebut yang dinamakan medan magnet sekunder. Medan magnet sekunder yang dihasilkan “*Eddy Current*” yang pada akhirnya dideteksi oleh sensor atau *receiver*.

Penjalaran gelombang elektromagnetik kedalam bumi telah di jelaskan secara umum oleh James Clerk Maxwell.

2.1.1 Persamaan Maxwell

Medan elektromagnetik dapat digolongkan menjadi 4 parameter medan, yaitu:

E = Intensitas Medan Listrik (V/m)

D = Rapat Fluks Medan Listrik (C/m²)

B = Rapat Fluks Medan Magnet (Wb/m²)

H = Intensitas Medan Magnet (A/m)

Keempat medan tersebut memenuhi persamaan Maxwell, yang merupakan persamaan umum yang dapat mendeskripsikan sifat gelombang elektromagnetik. Persamaan Maxwell terdiri atas:

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

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

$$\nabla \cdot \bar{D} = \rho \quad (\text{Hukum Coulomb}) \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \bar{B} = 0 \quad (\text{Hukum Kekontinyuan Fluks}) \quad (2.4)$$

Hukum Faraday menyatakan bahwa perubahan medan magnet terhadap waktu menginduksi adanya medan listrik. Begitu pula yang terjadi pada hukum Ampere, bahwa medan magnet tidak hanya terjadi karena adanya sumber berupa arus listrik, akan tetapi dapat juga disebabkan oleh medan listrik yang berubah terhadap waktu sehingga menginduksi adanya medan magnet. Hukum Coulomb menyatakan bahwa medan listrik disebabkan oleh adanya muatan listrik sebagai sumbernya. Sedangkan hukum kekontinyuan fluks menyatakan bahwa tidak ada medan listrik monopol. Besarnya nilai medan listrik dan medan magnet induksi bergantung pada nilai intrinsik batuan berupa ϵ (permitivitas), μ (permeabilitas) dan σ (konduktivitas) yang dihubungkan dengan persamaan (2.5) hingga persamaan (2.7).

$$\bar{\mathbf{D}} = \epsilon \bar{\mathbf{E}} \quad (2.5)$$

$$\bar{\mathbf{B}} = \mu \bar{\mathbf{H}} \quad (2.6)$$

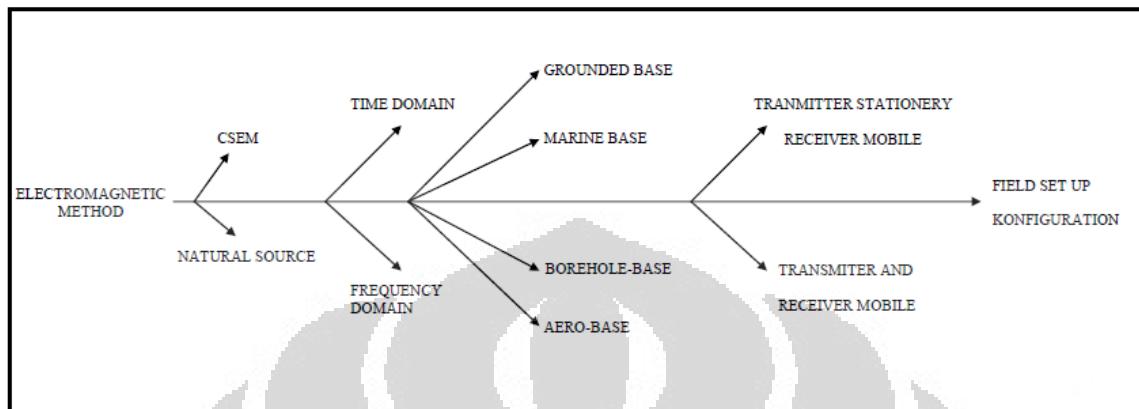
$$\bar{\mathbf{J}} = \sigma \bar{\mathbf{E}} \text{ (Hukum Ohm)} \quad (2.7)$$

Persamaan (2.5) menyatakan bahwa besarnya rapat fluks medan listrik tergantung pada permitivitas bahan dielektrik yang diinduksi dan besarnya medan listrik yang menginduksi. Persamaan (2.6) juga menyatakan bahwa besarnya fluks medan magnet tergantung pada permeabilitas bahan dielektrik yang diinduksi serta besarnya medan magnet yang menginduksi. Persamaan (2.7), yang merupakan hukum Ohm, menyatakan bahwa rapat arus listrik bergantung pada nilai konduktivitas bahan yang terinduksi oleh besarnya medan listrik (Vanderlinde, 1993).

2.2 Klasifikasi Metode Elektromagnetik

Secara umum berdasarkan sumber yang dimanfaatkan metode elektromagnetik diklasifikasikan kedalam metode pasif (*natural source*) dimana sumber berasal dari alam atau metode aktif (*Controlled Source Electromagnetic*) dimana Sumber buatan atau artificial.

Berdasarkan domain pengukuran metode elektromagnetik dapat diklasifikasikan sebagai Time-domain yang diukur sebagai fungsi waktu atau Frekuensi-domain yang menggunakan satu atau lebih frekuensi.



Gambar 2.2 Klasifikasi Metode Elektromagnetik

Karena prinsip induksi, metode EM bisa berupa ground-base (dimana salah satu atau kedua pemancar dan penerima di tanam atau ditancapkan), Airborne (baik atau keduanya pemancar dan penerima di udara), SeaBorn (salah satu atau kedua pemancar dan penerima berada di laut), atau borehole-based di mana baik pemancar dan penerima ditempatkan dalam lubang yang digali di bumi (Oghenekohwo,2008).

Semua klasifikasi juga dapat di klasifikasikan menjadi:

- Metode dimana transmitter tetap (stationary) dan receiver berpindah-pindah (mobile)
- Metode dimana transmitter dan receiver berpindah-pindah (mobile)

Selain itu metode elektromagnetik memiliki sistem instrumentasi dengan jangkauan luas dan juga bervariasi karena memiliki klasifikasi dalam konfigurasi maupun set up perangkat dilapangan.

2.3 Metode CSEM

CSEM (*Controlled Source Electromagnetic*) merupakan sebuah terminologi (istilah) pengelompokan teknik/metode elektromagnetik yang menggunakan transmitter sendiri

(pemancar atau sumber buatan). Metode CSEM, metode yang relatif baru berkembang di Indonesia, berbeda dengan perkembangannya di dunia luar (internasional). Penelitian tentang CSEM sudah dimulai sejak 40 tahun yang lalu. Di tahun 1970-an Charles Cox dari Institut Kelautan Scripps yang menjadi penggagas ide, ia mengusulkan suatu metode untuk mengkompensasi hilangnya sinyal MT di dasar laut dalam (Constable, 2005). Pada tahun 1979 pengembangan perangkat instrumentasi untuk melakukan pengukuran mulai di desain, hingga di tahun 1980-an University of Toronto memperkenalkan suatu perangkat pengukuran metode elektromagnetik dengan sumber aktif. Perangkat tersebut dinamakan UTEM (University of Toronto Electromagnetic), namun penelitian difokuskan bukan untuk eksplorasi hidrokarbon melainkan untuk meneliti bidang struktur lempeng bumi.

Baru di Tahun 2003 perusahaan Statoil & ExxonMobil mendemonstrasikan hasil dari pengukuran lapangan yang telah dalam proses produksi dengan metode CSEM. Daerah yang didemonstrasikan berada di Angola, Afrika Barat.

Metode CSEM memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode DC, yang paling signifikan adalah bahwa sinyal CSEM menembus melalui layar resistif karena induksi dari medan elektromagnetik (EM). Dibandingkan dengan metode magnetotellurik (MT), metode CSEM memiliki satu keuntungan yang lebih: yaitu dapat digunakan di daerah dengan tingkat kebisingan industri atau alam (industry or natural noise) yang tinggi (OLEG v. PANKRATOV, 2010). Hal lain yang lebih menguntungkan yaitu efisiensi waktu yang digunakan dalam proses pengambilan data di lapangan.

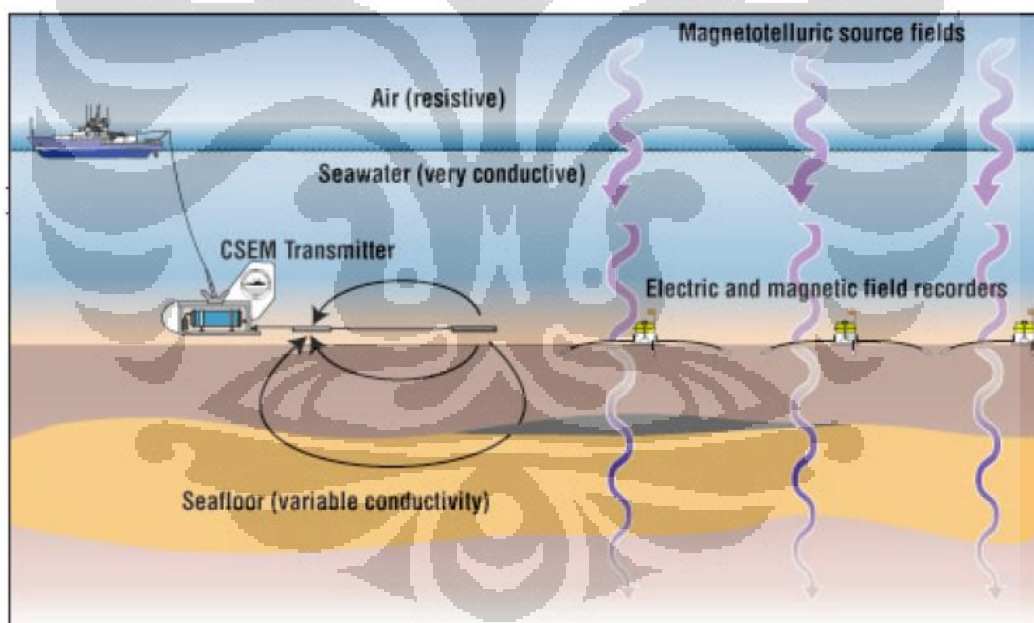
CSEM merupakan Metode Aktif dimana Sumber Sinyal merupakan artificial (buatan), berbeda dengan Metode MT dimana Sumber sinyal merupakan Sumber alami (natural). Metode CSEM sebenarnya tidak dapat mendeteksi adanya hidrokarbon namun metode ini sangat baik untuk mendeteksi daerah dengan resistivitas tinggi yang berasosiasi dengan deposit hidrokarbon di lingkungan lepas pantai (Publikasi WesternGeco, 2009).

Karena pada awalnya metode CSEM banyak diaplikasikan di lepas pantai (*Marine*), maka kebanyakan Istilah CSEM hanya dipersempit untuk metode elektromagnetik di daerah lepas pantai (mCSEM). Sementara untuk metode elektromagnetik dilakukan di daratan biasanya di sebut dengan karakteristik tertentu, LOTEM (Long Offset Transient EM), SIROTEM, GEOTEM, dll

2.3.1 Konsep Dasar Metode mCSEM

Teknologi yang digunakan sebelumnya untuk mengetahui struktur geologi lapisan bumi yaitu dengan menggunakan *seismic imaging*. Prinsip kerja pengukuran *seismic* yaitu mendeteksi adanya perbedaan sifat-sifat akustik pada lapisan-lapisan bumi atau struktur geologi, sedangkan pada teknologi CSEM diukur perbedaan intensitas pancaran gelombang elektromagnetik yang diakibatkan oleh adanya perbedaan tahanan pada lapisan bumi yang berbeda (Publikasi Media kita, 2005).

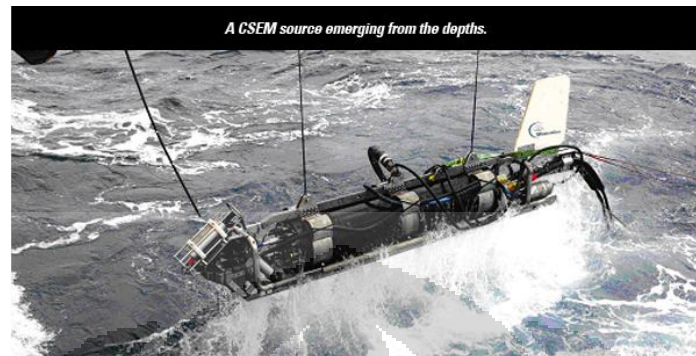
Didalam eksplorasi diutamakan menemukan sifat-sifat zat cair dalam formasi struktur bumi dan ini tidak dapat dilakukan oleh metode *seismic* dan bahkan pada lapisan yang mengandung gas bisa mengakibatkan kesalahan dalam pengukuran respon amplitudonya. Metode pengukuran dengan CSEM di lepas pantai dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pengukuran Metode CSEM di marine (Constable,2005)

Gelombang-gelombang elektromagnetik dibangkitkan secara horisontal oleh HED (*Horizontal Electrical Dipole*). Yang digantung dengan jarak 30 meter dari dasar laut dan ditarik oleh kapal penyelidik. Daerah frekuensi kerja dari pemancar EM (HED) dari 0,01 s.d. 10 Hz, sinyal tersebut diharapkan dapat menembus dasar laut sampai kedalaman beberapa kilometer.

Sinyal-sinyal elektromagnet yang dipantulkan balik setelah melewati struktur-struktur geologi bumi akan ditangkap oleh sensor penerima yaitu (*electric field receivers*) yang disebarakan dengan pola tertentu dan hati-hati didasar laut (gambar 2.4 dan gambar 2.5).



Gambar 2.4 CSEM Transmitter (Publikasi WesternGeco)



Gambar 2.5 CSEM Receiver (Publikasi WesternGeco)

Pengukuran dengan CSEM sangat sesuai untuk mempelajari struktur hidrokarbon yang ada di bawah permukaan bumi, karena hidrokarbon mempunyai tahanan listrik yang berarti dibandingkan dengan lapisan disekitarnya. Kekuatan pancaran gelombang electromagnet pada setiap lokasi berbanding lurus dengan ketebalan struktur bumi dan tahanan listriknya, dan ini memang kelebihan peralatan CSEM. Dengan mempelajari fase dan amplitudo gelombang EM yang direkam dengan recorder dan dibuat model dengan bantuan komputer bisa didapatkan gambar tiga dimensi dari reservoir hidrokarbon. Struktur perangkap hidrokarbon dapat juga dibedakan, reservoir mana yang mempunyai hidrokarbon dalam jumlah besar atau yang kecil. Dengan perencanaan posisi sensor penerima yang cermat di dasar laut serta besarnya frekuensi pemancar EM yang sesuai dapat menggambarkan bawah permukaan bumi dengan baik. Melihat kemampuan dan kelebihan metode CSEM ini dan apabila digabung dengan metode Seismik maka akan

didapatkan sistem yang handal untuk mengetahui struktur hidrokarbon sehingga resiko gagal dalam pengeboran minyak lepas pantai dapat diperkecil.

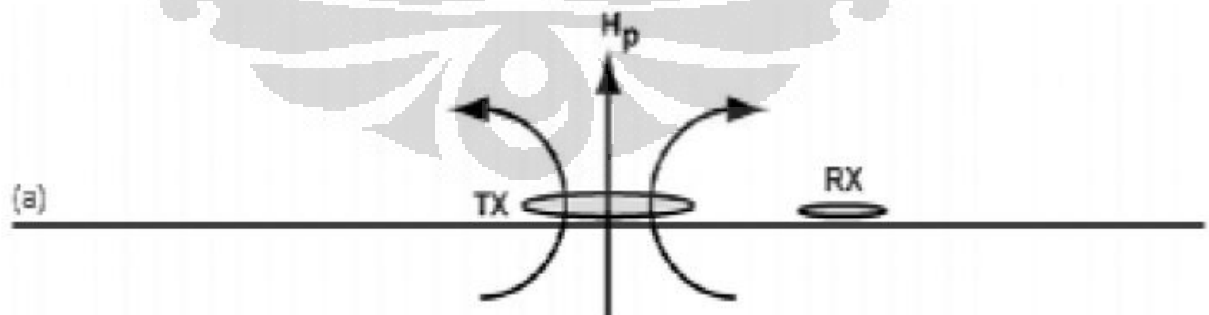
2.4 Metode Transient Electromagnetic

Metode *Transient Electromagnetic* atau disebut juga *Time Domain Electromagnetic* atau terkadang digunakan istilah *Pulse Transient* merupakan metode elektromagnetik yang teknik pengukurannya berdasarkan domain waktu. Metode elektromagnetik dengan domain waktu merupakan pendekatan alternatif untuk mendeteksi medan magnet sekunder yang lemah. Bekerja secara sederhana yaitu dengan mematikan (switched off) sinyal medan primer dan mengamati hilangnya/menurunnya medan magnet sekunder.

Arus listrik DC mengalir melalui transmiter dipole (Tx) dan menghasilkan medan magnet primer yang statis, arus dari transmiter kemudian dimatikan (switched off) sehingga menyebabkan medan magnet primer langsung jatuh ke nol (cut off). Hal ini menyebabkan timbulnya arus listrik sekunder di bumi. Arus listrik sekunder bertindak untuk menentang penurunan medan magnet utama (Hukum Lenz). Sinyal $\partial b_z/\partial t$ dan E_x dihasilkan dari pengukuran perubahan medan magnet dan medan listrik sekunder terhadap waktu.

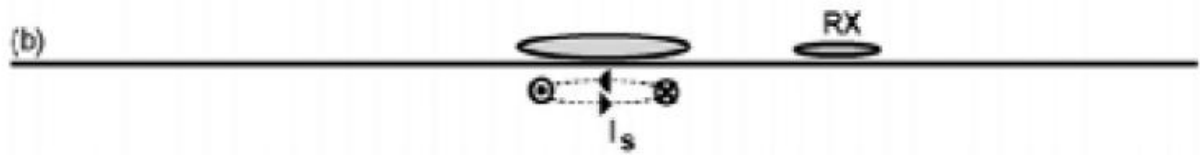
2.4.1 Solusi Kualitatif dan *the Smoke Rings*

Untuk solusi kualitatif tersebut, dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini



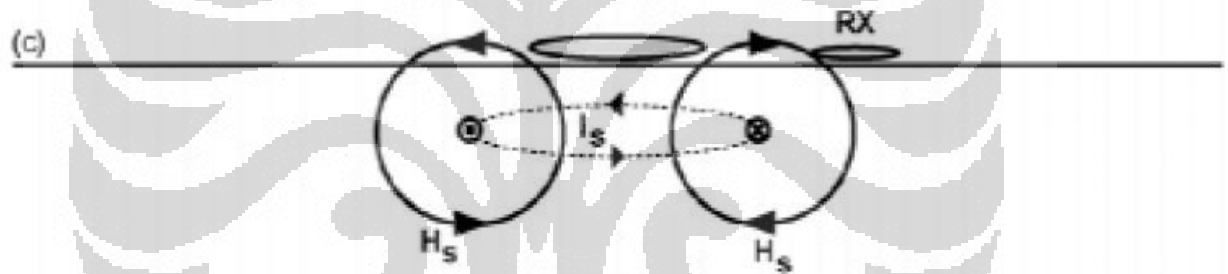
Gambar 2.6 Medan Magnet Primer (Unsworth,2006)

Arus listrik langsung mengalir melalui *loop transmitter* dan menghasilkan sebuah medan magnetik primer yang statis (H_p).



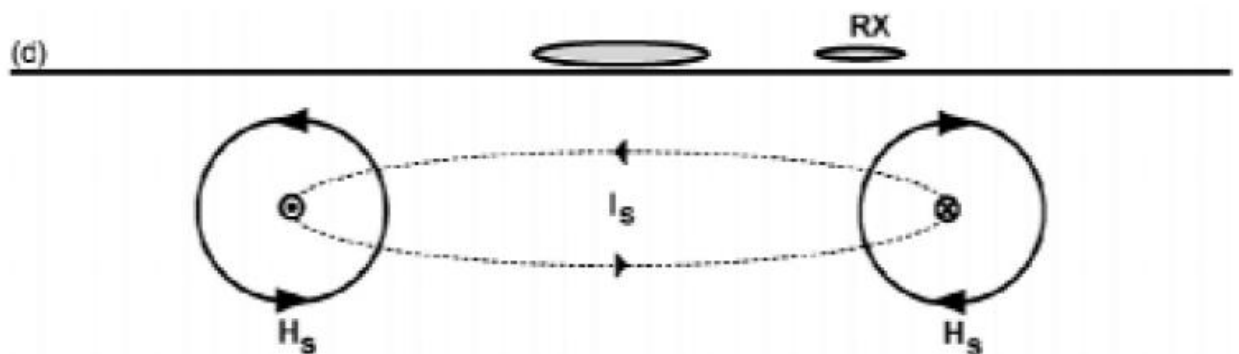
Gambar 2.7 Arus Sekunder (Unsworth,2006)

Kemudian arus *transmitter* di-*switch off* dan medan magnetik primer tiba-tiba menurun perlahan hingga nol. Hal ini akan menginduksi arus listrik sekunder di tanah. Arus sekunder berperan untuk melawan penurunan pada medan magnetik primer (hukum Lenz). Distribusi arus listrik sekunder dapat diperkirakan sebagai sebuah *loop* arus horizontal dan menghasilkan medan magnetik sekunder, $H_s(t)$.



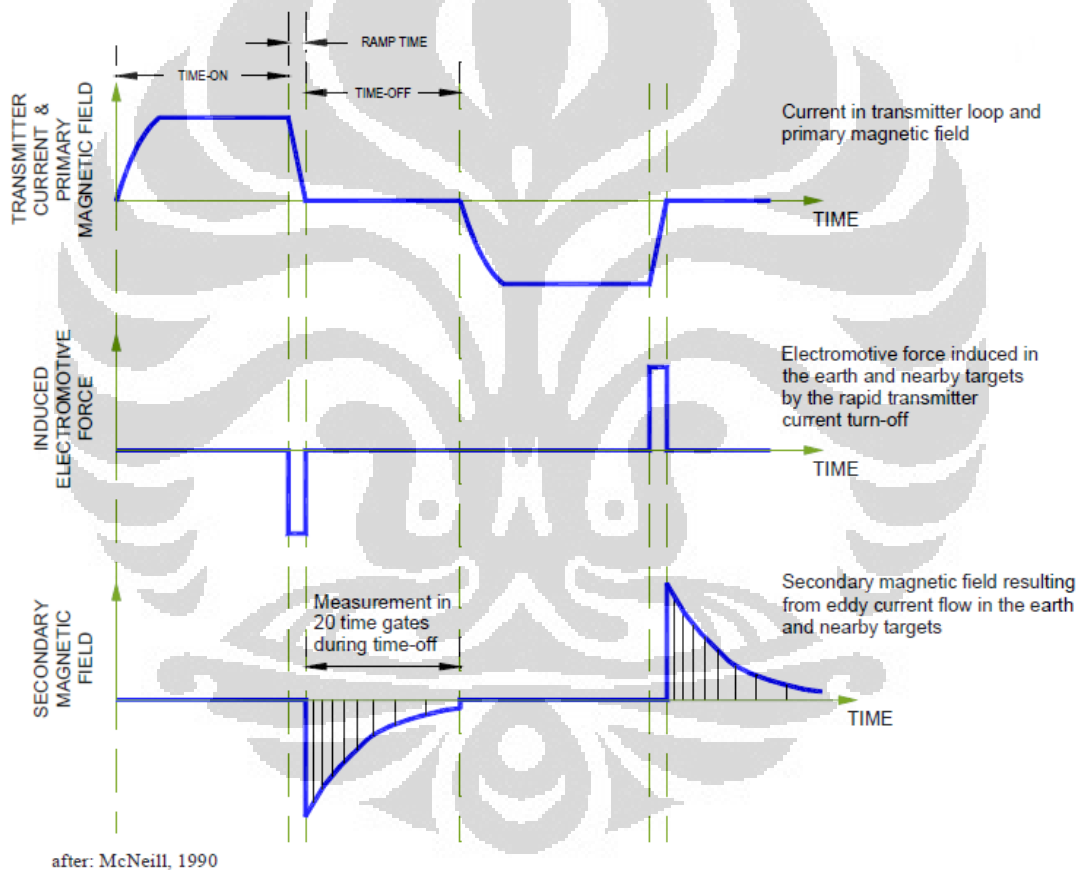
Gambar 2.7 Medan Magnet Sekunder (Unsworth,2006)

Dari waktu ke waktu, arus listrik sekunder menyebar dalam pola yang sama seperti sebuah *smoke ring*. *Smoke ring* ini bergerak semakin dalam seiring dengan berjalannya waktu, dan kemudian memberikan informasi mengenai struktur yang semakin dalam. Pada awalnya medan magnetic disesuaikan ke bawah pada RX.



Gambar 2.8 Medan Magnet yang Melewati *Loop Receiver* (Unsworth,2006)

Ketika *current ring* lewat di bawah RX, tanda H_s akan berubah. Metode elektromagnetik mempengaruhi arus listrik di bumi dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Perubahan waktu pada medan magnetik dibuat dengan menggunakan putaran (*loop*) kabel pada permukaan bumi. Hukum induksi Faraday mengatakan bahwa perubahan medan magnetik akan menghasilkan medan listrik yang pada akhirnya akan menghasilkan arus listrik. Dengan demikian, medan magnetik primer dari *loop transmitter* akan menghasilkan arus listrik sekunder pada bumi. Akhirnya, kita mengukur medan magnet sekunder yang dihasilkan oleh arus listrik sekunder tersebut.



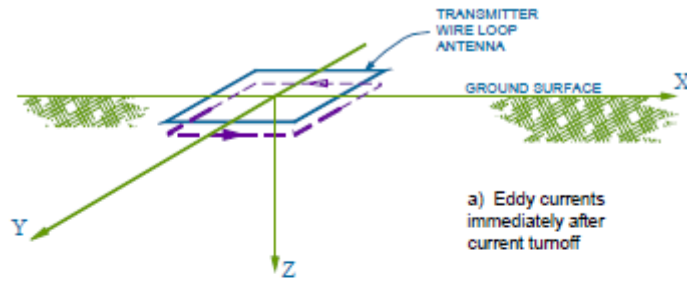
Gambar 2.9. Gelombang bidang TDEM

Gambar 2.9 menunjukkan *waveform* (kurva yang menunjukkan bentuk gelombang pada waktu tertentu) dari medan magnetik primer yang dihasilkan oleh *transmitter* dan *waveform* dari medan listrik primer (tenaga/gaya yang digunakan untuk memproduksi arus listrik) yang menyertai medan magnetik tersebut. Impuls medan primer (bersifat sementara) menghasilkan *eddy currents* dengan cepat di bawah *loop transmitter*, kira-kira

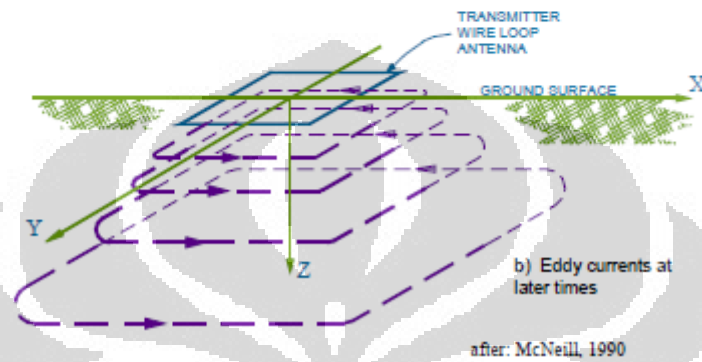
seperti pantulan. Seraya *eddy currents* mula-mula (dekat-permukaan) meluruh, *eddy currents* tersebut kemudian mempengaruhi *eddy currents* pada kedalaman yang lebih besar. Panel ke tiga pada Gambar 2.9 menunjukkan *waveform* dari medan magnetik sekunder, dihasilkan oleh kumpulan *eddy currents* yang dipengaruhi di *ground*.

Besar dan tingkat peluruhan arus sekunder bergantung pada konduktivitas dari medium (misalnya konduktivitas elektrik tanah) dan pada geometri dari lapisan yang konduktif. *Receiver* TEM mengukur medan magnetik yang dihasilkan oleh arus sekunder tersebut. Pada metode TEM, sinyal yang mempengaruhi adalah berupa getaran yang tajam atau sinyal sementara. Arus yang terpengaruh di bumi awalnya terkonsentrasi dengan cepat di bawah *loop transmitter*, hal ini ditunjukkan dalam Gambar 2.10. Dengan waktu, arus-arus tersebut akan menyebar ke bawah dan menjauh dari *transmitter* seperti diilustrasikan pada Gambar 2.11. Sebuah analogi dengan "*smoke rings*" sering digunakan untuk menggambarkan arus pada *ground*. Arus mula-mula yang kuat terbentuk di tanah yang berbatasan dengan *loop trasmitter*. "*Smoke ring*" kemudian melebar, melemah, dan bergerak ke bawah. Tingkatan penyebaran tergantung pada konduktivitas lapisan bumi. Pada media yang resistif, arus akan menyebar sangat cepat. Pada media konduktif, arus akan menyebar lebih lambat. Sebuah lapisan konduktif pada kedalaman dapat "menangkap" arus pada lapisan tersebut, sementara arus di area lain akan meluruh lebih cepat.

Pengukuran terhadap medan sekunder dilakukan dalam rentang waktu 10 *micro-second* sampai 10 *milli-second* mengikuti "*turn-off*" dari medan primer. Pengukuran dilakukan dalam 20 sampai 30 "*time gates*" atau interval waktu yang berbeda, mengikuti getaran penginduksi primer. Untuk eksplorasi yang lebih dalam (ratusan meter) pada bagian konduktif, waktu pengukuran dapat lebih dari satu detik. Karena pengukuran dilakukan ketika arus transmitter mengalami *turn off*, pengukuran yang lebih sensitif untuk medan sekunder dapat dilakukan.

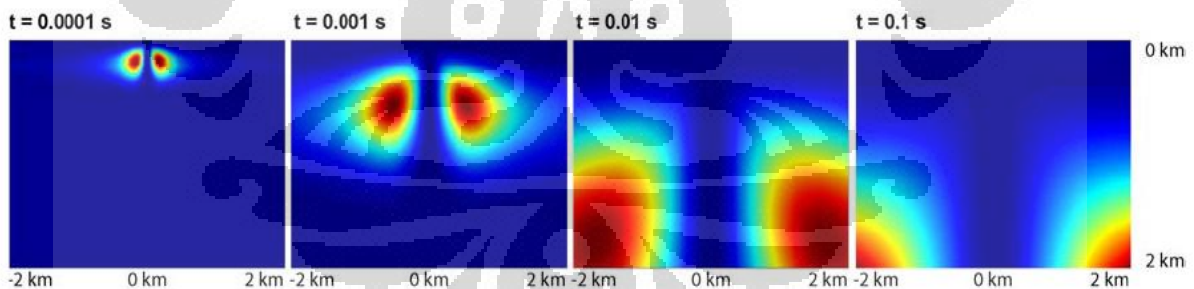


Gambar 2.10 *Eddy Currents* Menjalar dengan Seketika Kemudian Arus Dimatikan (McNeill, 1990)



Gambar 2.11 *Eddy Currents* pada waktu selanjutnya (McNeill, 1990)

Nabighian (1979) membuat sebuah analogi untuk menunjukkan *smokerings*. Proses ini dapat divisualisasikan sebagai plot kontur dari kepadatan arus listrik.



Gambar 2.12 Gambar yang Menunjukkan *Smoke-Ring (Time-Depth)* (Nabighian, 1979)

2.5 Respon Transient (Westengard, 2003)

Komponen vertical medan magnet pada permukaan bumi dijelaskan oleh Ward dan Hohmann pada tahun 1988 adalah:

$$H_z = -\frac{I}{k^2 a^3} \left[3 - (3 + 3ika - k^2 a^2) e^{-ika} \right] \quad (2.8)$$

Untuk mendapatkan respon dari medan salah satu langkahnya yaitu dengan menginversi transformasi Laplace persamaan 2.8 dibagi dengan bilangan gelombang $i\omega$ (Ward and Hohmann, 1988):

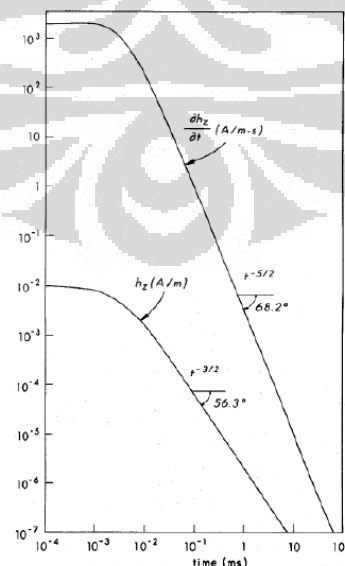
$$h_z = \frac{I}{2a} \left[\frac{3}{\pi^{1/2} \theta a} e^{-\theta^2 a^2} + \left(1 - \frac{3}{2\theta^2 a^2} \right) \text{erf}(\theta a) \right] \quad (2.9)$$

Dimana “erf” merupakan fungsi error dan $\theta = \left(\frac{\mu_0 \sigma}{4t} \right)^{1/2}$

Turunan waktu terhadap medan juga disebut respon impulse, dimana dapat diperoleh dengan mendiferensiasikan persamaan 2.9 terhadap waktu.

$$\frac{\partial h_z}{\partial t} = -\frac{I}{\mu_0 \sigma a^3} \left[3 \text{erf}(\theta a) - \frac{2}{\pi^{1/2}} \theta a (3 + 2\theta^2 a^2) e^{-\theta^2 a^2} \right] \quad (2.10)$$

Perilaku atau sifat intensitas medan magnet dan turunannya, diberikan dalam persamaan 2.9 dan 2.10, yang dapat dilihat pada gambar 2.13. Pada akhir waktu θ menjadi kecil dan penurunan intensitas medan dengan $t^{-3/2}$ -dependency sedangkan penurunan waktu derivative dengan $t^{-5/2}$ -dependency



Gambar 2.13 Perilaku medan magnet dan turunannya dipusat dari sebuah loop atau lingkaran dengan radius 50 m pada 100 Ω m homogen bumi. (Ward dan Hohmann, 1988)

Persamaan 2.9 dan 2.10 dapat didekati dengan

$$h_z \approx -\frac{I\sigma^{3/2}\mu_0^{3/2}a^2}{30\pi^{1/2}}t^{-3/2} \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial h_z}{\partial t} \approx -\frac{I\sigma^{3/2}\mu_0^{3/2}a^2}{20\pi^{1/2}}t^{-5/2} \quad (2.12)$$

Pada metode domain waktu sensor induksi-koil biasanya merekam medan yang hilang. Oleh karena itu tidak tepat rasanya berbicara tentang intensitas medan magnetic (H) tetapi lebih tepat membahas induksi magnetik (B) yang mana secara mudah memiliki relasi antara ke duanya yaitu $B=\mu_0 H$. Persamaan 2.9 dan 2.10 menjadi:

$$b_z = \frac{\mu_0 I}{2a} \left[\frac{3}{\pi^{1/2}\theta a} e^{-\theta^2 a^2} + \left(1 - \frac{3}{2\theta^2 a^2}\right) \text{erf}(\theta a) \right] \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial b_z}{\partial t} = -\frac{I}{\sigma a^3} \left[3\text{erf}(\theta a) - \frac{2}{\pi^{1/2}} \theta a (3 + 2\theta^2 a^2) e^{-\theta^2 a^2} \right] \quad (2.14)$$

Sementara pendekatan akhir waktu, persamaan 2.11 dan persamaan 2.12, menjadi:

$$b_z \approx -\frac{I\sigma^{3/2}\mu_0^{5/2}a^2}{30\pi^{1/2}}t^{-3/2} \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial h_z}{\partial t} \approx -\frac{I\sigma^{3/2}\mu_0^{5/2}a^2}{20\pi^{1/2}}t^{-5/2} \quad (2.16)$$

Resistivitas semu diperoleh dari pendekatan respon impuls pada persamaan 2.16 (Cristensen, 1995)

$$\rho_a = \left(\frac{Ia^2}{20 \frac{\partial b_z}{\partial t}} \right)^{2/3} \frac{\mu_0^{5/3}}{\pi^{1/3}} t^{-5/3} \quad (2.19)$$

2.6 Karakteristik Penurunan Transient Electromagnetic (“TEM Decay”)

Besar dan tingkat peluruhan arus sekunder bergantung pada konduktivitas dari medium (misalnya konduktivitas elektrik tanah) dan pada geometri dari lapisan yang konduktif. Namun secara umum penurunan arus sekunder memiliki karakteristi tertentu. Berdasarkan Catatan ringkas yang diperoleh dari George R. Jiracek dari departemen Geological Sains Universitas San Diego menjelaskan karakteristik dari “TEM Decay”

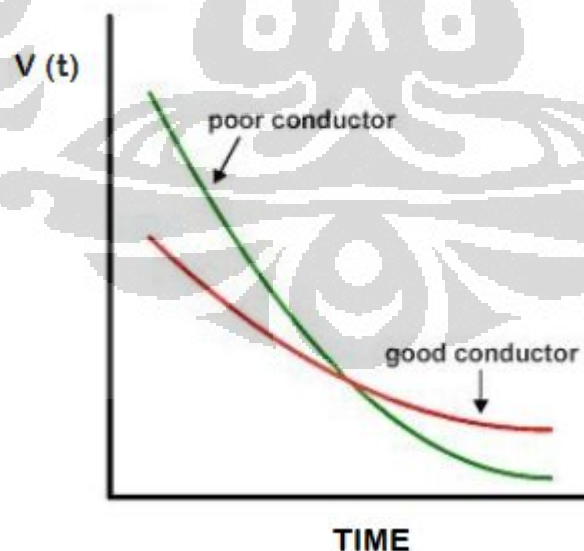
- ❖ Konduktor yang buruk, ($\tau = L / R$) kecil

Pada awal waktu tegangan memiliki nilai yang besar, namun penurunan induksi medan magnetik yang bervariasi terhadap waktu berlangsung cepat, grafik menurun secara tajam.

- ❖ Konduktor yang baik, ($\tau = L / R$) besar

Pada awal waktu tegangan memiliki nilai yang relative kecil, penurunan induksi medan magnetik yang bervariasi terhadap waktu berlangsung perlahan atau lambat, grafik menurun secara landai.

Dimana ($\tau = L / R$) merupakan fungsi dari konduktivitas (σ), ukuran, dan bentuk (Jiracek, 2000)



Gambar 2. 14 Karakteristik Penurunan Transient Electromagnetic (Grandis, 2010)

2.7 Pengolahan Data

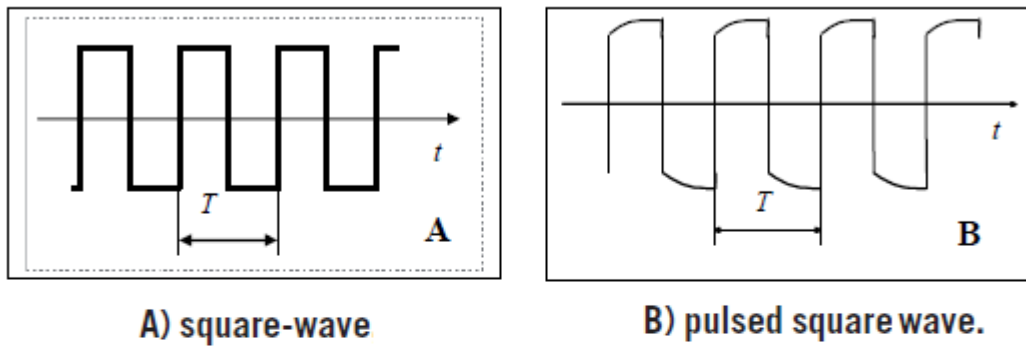
Pengolahan data CSEM adalah tugas menantang karena tingkat kebisingan yang tinggi / rasio sinyal yang didapat mencapai tiga kali besarnya. Strack et al. (1989) menggambarkan bahwa pengolahan data LOTEM (Long Offset Transient EM) menyerupai CSEM. Namun ada beberapa Faktor yang berpengaruh diantaranya:

- ✓ field set-up(source-to-receiver offset, etc.),
- ✓ jenis respon yang digunakan (electric, magnetic, time-domain, frequency-domain, amplitude, phase difference, etc.)
- ✓ (sumber Sinyal gelombang bidang dan periode) source signal waveform and period
- ✓ sampling interval,
- ✓ latitude of the observation area, and
- ✓ intensity and character of cultural noise

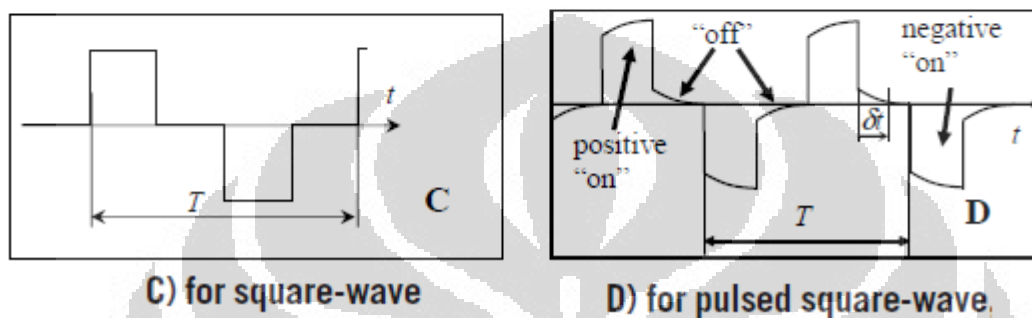
Dalam setiap kasus, beberapa koreksi algoritma yang cocok perlu dibuat. Dalam survei CSEM, bumi merespon dengan sangat baik sumber sinyal. Yang terakhir adalah dibuat dengan pemancar yang merupakan kombinasi dari generator, feeder/pengumpan, ground dipol, loop kawat atau kumparan induksi.

Sinyal Sumber merupakan *time series of electric current* yang dihasilkan oleh generator. Gelombang bidang sinyal sumber yaitu a) Square Wave dan b) Pulsed square wave. Sumber sinyal dapat dianggap sebagai sinyal pembawa. Respon bumi dapat dianggap sebagai tambahan kecil ke sinyal pembawa, yang skematis ditunjukkan pada Gambar di bawah, untuk dua bentuk gelombang sumber sinyal. Sumber sinyal, maupun respon bumi, memiliki spektrum garis.

Source signal waveforms



Signal at the receiver is the source carrier signal with Earth's response



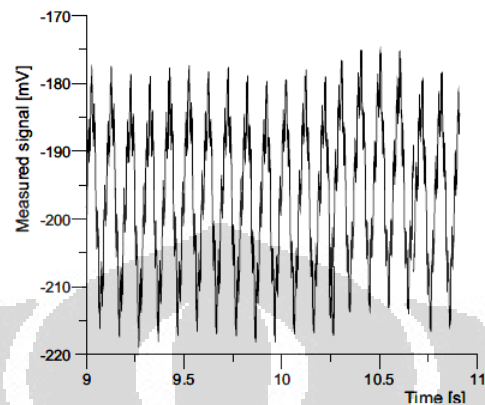
Gambar 2.15 Jenis Sinyal CSEM & Respon sinyal yang terlihat

Contoh data mentah dapat dilihat pada gambar hal ini sering sulit untuk dikenali respon bumi pada time series. Tujuan dari pengolahan algoritma yaitu untuk dapat mengekstraksi dengan handal dan kokkroh respon bumi dari data. Jenis dari fungsi respon, dapat dibedakan menjadi dua yaitu fungsi waktu dan fungsi frekuensi

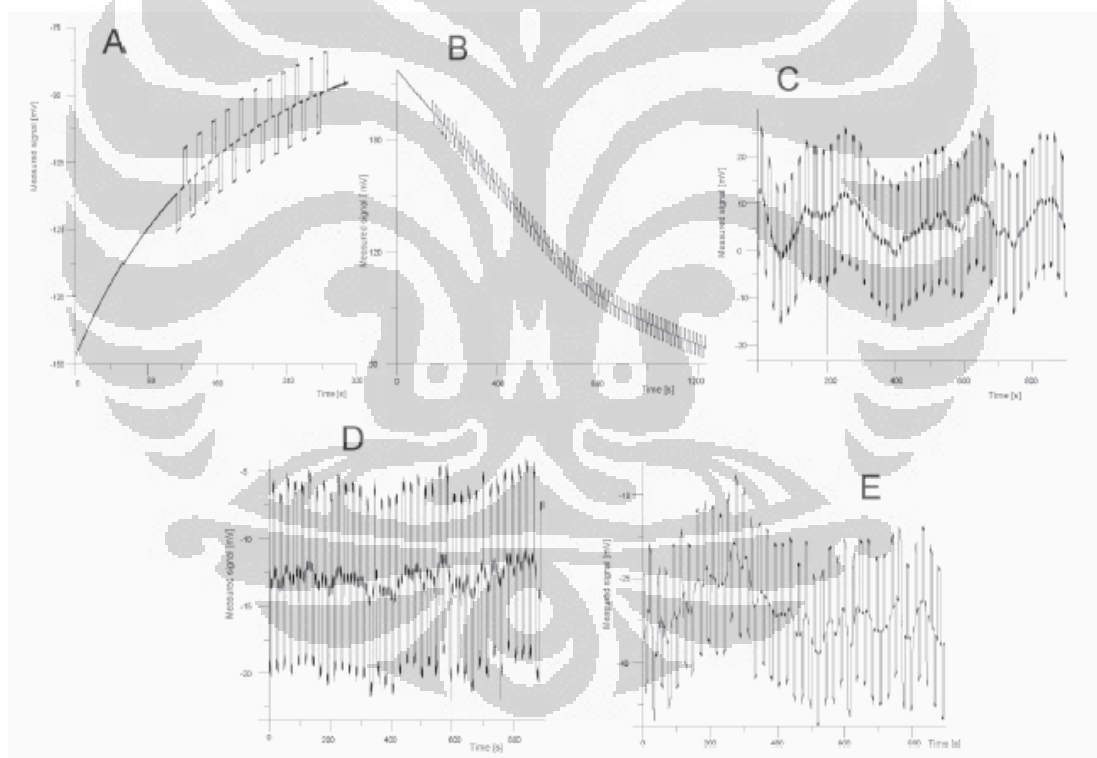
2.7.1 Noise dan Koreksi Statik

K.M Stark dalam bukunya yang berjudul “Exploration with Deep Transient Electromagnetic” mengklasifikasikan noise atau gangguan kedalam 2 pengelompokan yaitu *periodic* dan *sporadic* noise. Noise jenis *periodic* secara umum dihasilkan dari tegangan PLN, kabel telepon, adanya pipa, pagar logam disekitar area survey. Noise jenis *sporadic* disebabkan oleh sinyal geomagnetic, petir yang menghasilkan natural TEM, saluran Listrik AC, perangkat mesin atau alat yang digunakan, pergerakan material atau benda magnetic disekitar receiver atau penerima. Periodik noise dapat dihilangkan dengan digital filter sedangkan sporadic noise dapat dihilangkan dengan teknik pemilihan stack. Ada juga noise yang berasal dari alam (Natural Noise) yaitu yang disebabkan oleh arus ionosfer dan struktur geologi yang dapat mendisortasi sinyal yang dipancarkan.

Pengukuran data CSEM secara Umum merupakan Noise, Jenis Noise adalah sebagai berikut: Industrial Noise (terutama 50 Hz atau 60 Hz), Trends dan Spike karena badai atau petir. Trends dapat berbentuk halus, jerky, atau kasar. Trends merupakan jenis noise yang paling sulit untuk dihilangkan.



Gambar 2.16 Industrial Noise

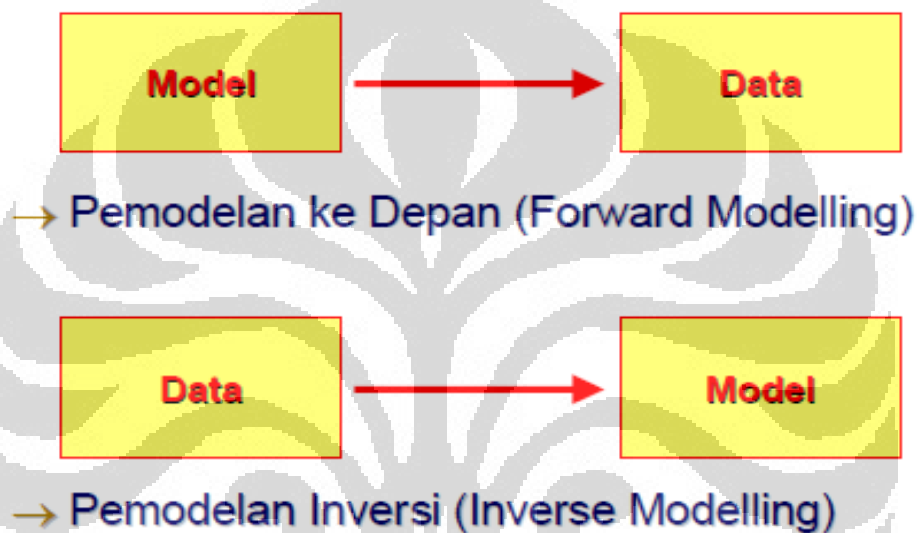


Gambar 2.17 Jenis trends A)Smooth B)Jerky C)Bad D)Worse E)Worst

Efek statik adalah pergeseran kurva resistivitas semu karena efek topografi dan perubahan resistivitas pada kedalaman yang dangkal. Distribusi muatan pada media non-homogen ini akan menggeser nilai medan listrik yang independen terhadap frekuensi. Bergesernya nilai medan listrik akan menggeser nilai resistivitas semu yang dihasilkan.

Secara umum, efek statis tidak dapat dihindari, dan tidak pula dapat diprediksi. Kenyataan ini mengakibatkan efek statis harus dikoreksi. Terdapat tiga macam cara untuk mengoreksi efek statis, yaitu: (1) menghitung pergeseran akibat efek statis secara teori, (2) menggunakan teknik pengolahan data seperti spatial filtering atau integrasi fase, (3) melakukan pengukuran yang independen terhadap efek statis (Zonge and Hughes, 1991).

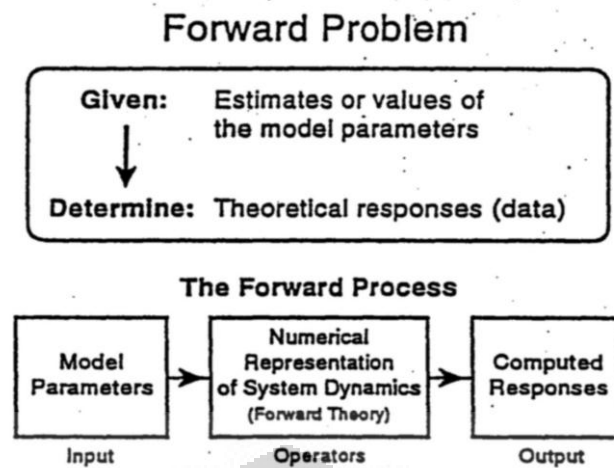
2.8 Pemodelan Bawah permukaan.



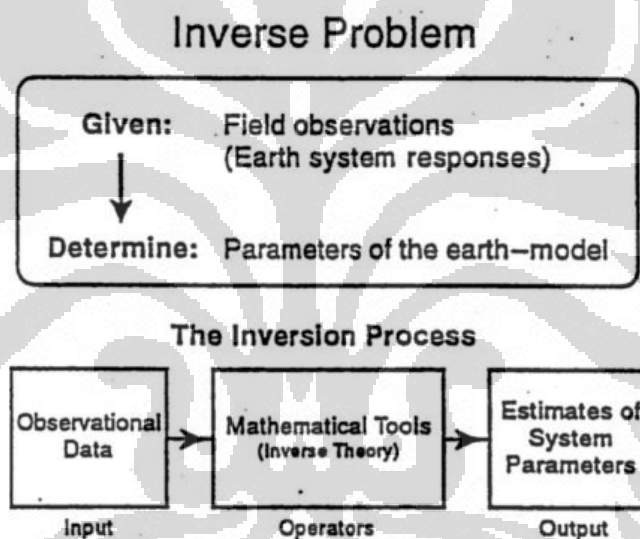
Gambar 3.6. Forward dan Inversi Modeling (Grandis, 2010)

2.8.1 Pemodelan kedepan (Forward modeling).

Dalam pemodelan geofisika terdapat dua macam teknik memperkirakan model bawah permukaan yaitu teknik forward dan tehnik inversi. Memperkirakan / mencari model yang menghasilkan data teoritik yang paling cocok atau "fit" dengan data pengamatan. Data teoritik adalah respons model yang diperoleh dari proses pemodelan ke depan (forward modeling). Kecocokan antara data teoritik dengan data pengamatan dinyatakan sebagai "jarak" pada ruang multi-dimensi → selisih kuadratik seluruh elemen data (Grandis, 2010)



Gambar 3.7. Diagram Alur Forward Modeling (Supriyanto,2008)



Gambar 3.8. Diagram Alur Inverse Modeling (Supriyanto,2008)

2.8.2 Pemodelan Inversi (Inverse Modeling)

Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Di dalam proses inversi, kita melakukan analisis terhadap data lapangan dengan cara melakukan curve fitting (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (unknown parameter). (Supriyanto,2008)

BAB III

DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah sebagai berikut:

- ❖ Data Elektromagnetik domain waktu yang terdiri dari data perubahan medan magnet vertical terhadap waktu ($\partial b_z / \partial t$), Intensitas medan listrik (E_x). Data yang diperoleh sudah terlebih dahulu melewati tahapan preprocessing (signal to noise ratio).
- ❖ Data sumur sebanyak 1 sumur sebagai kalibrasi point.

Metode elektromagnetik dengan domain waktu merupakan pendekatan alternatif untuk mendeteksi medan magnet sekunder yang lemah. Bekerja secara sederhana yaitu dengan mematikan (switched off) sinyal medan primer dan mengamati hilangnya/menurunnya medan magnet sekunder.

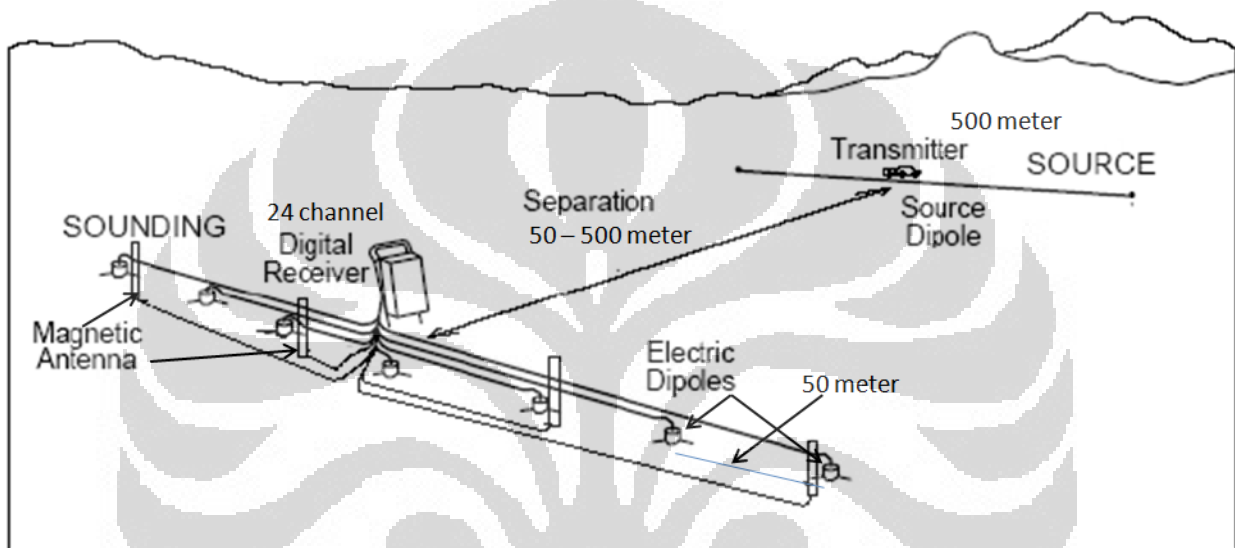
Arus listrik DC mengalir melalui transmiter dipole (Tx) dan menghasilkan medan magnet primer yang statis, arus dari transmiter kemudian dimatikan (switched off) sehingga menyebabkan medan magnet primer langsung jatuh ke nol (cut off). Hal ini menyebabkan timbulnya arus listrik sekunder di bumi. Arus listrik sekunder bertindak untuk menentang penurunan medan magnet utama (Hukum Lenz). Sinyal $\partial b_z / \partial t$ dan E_x dihasilkan dari pengukuran perubahan medan magnet dan medan listrik sekunder terhadap waktu.

3.1.1 Proses Pengambilan Data (Teknik Akuisisi)

Sebelum melakukan proses pengolahan data lebih dulu dijelaskan bagaimana Proses konfigurasi pengambilan data di lapangan.

Konfigurasi yang digunakan dimana mensejajarkan antara transmiter (sumber pemancar) dengan receiver (sumber penerima), berbeda dengan konfigurasi yang

umumnya sering digunakan yaitu center loop. Dalam satu set up terdiri dari 24 channel. Magnetometer diletakkan setiap 100 meter, sedangkan elektroda di letakkan setiap 50 meter. Hal ini dikarenakan medan magnetik tidak berpengaruh secara signifikan untuk jarak yang relatif dekat, atau dengan kata lain medan magnetik tidak berpengaruh sangat lokal.



Gambar 3.1. Konfigurasi Metode Elektromagnetik Pada Penelitian yang dilakukan (Zonge,1991)

3.2 Pengolahan Data

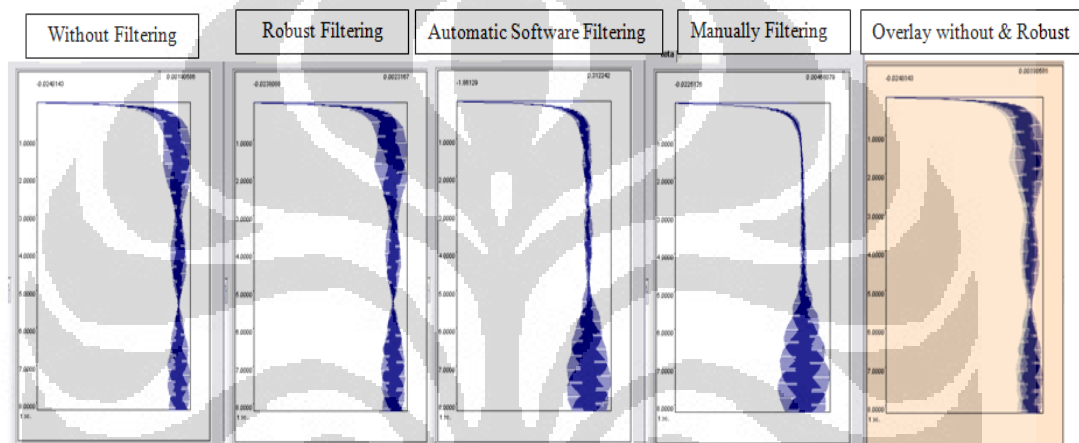
Kita Sadari bahwa pada Saat melakukan pengukuran, bahwa Sinyal yang terekam tidak seluruhnya merupakan Sinyal yang kita kirimkan melainkan juga terekamnya sinyal-sinyal lainnya yang tidak kita inginkan yang merupakan Noise. Sebelum melakukan proses pengolahan Data, harus terlebih dulu melakukan proses koreksi maupun penguatan sinyal.

$$\text{MEASURED SIGNAL} = \text{TRUE SIGNAL} + \text{NOISE}$$

Gambar 3.2 Kombinasi dari sumber noise dengan sinyal sebenarnya (KM Strack)

3.2.1 Preprocessing

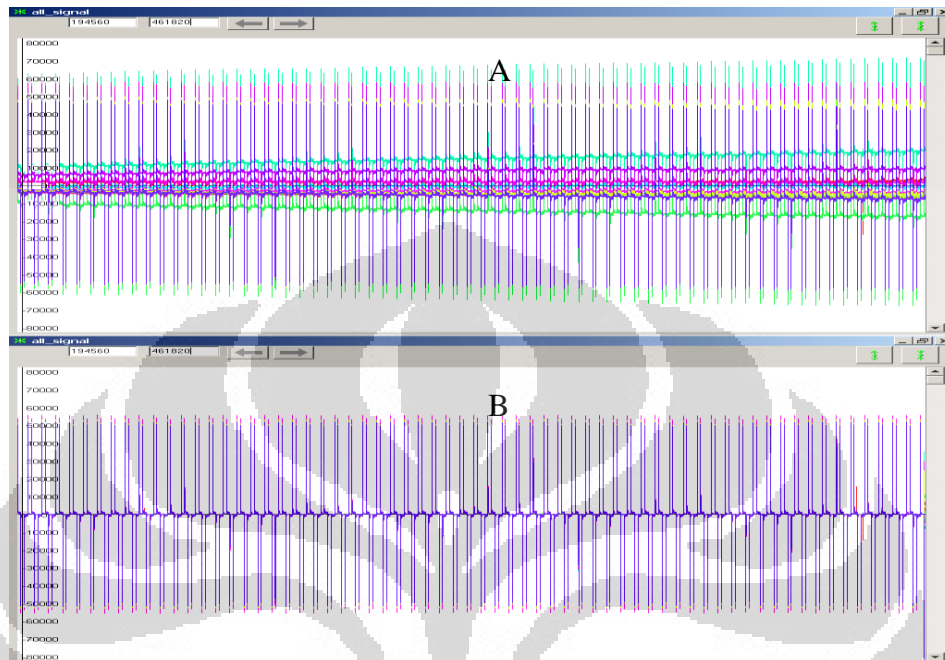
Dalam proses pengolahan Data tahapan yang pertama yaitu bagaimana melakukan koreksi maupun menghilangkan noise (gangguan dari sinyal yang ada). Data yang diperoleh sudah terlebih dilakukan proses koreksi dan noise removing tahapan tersebut dinamakan Preprocessing. Tahapan Preprocessing yang dilakukan yaitu menggunakan perangkat lunak Geovisor. Tahapan preprocessing yang dilakukan yaitu Robust filtering, Harmonik filtering, dan trend filtering. (Niatri, 2009)



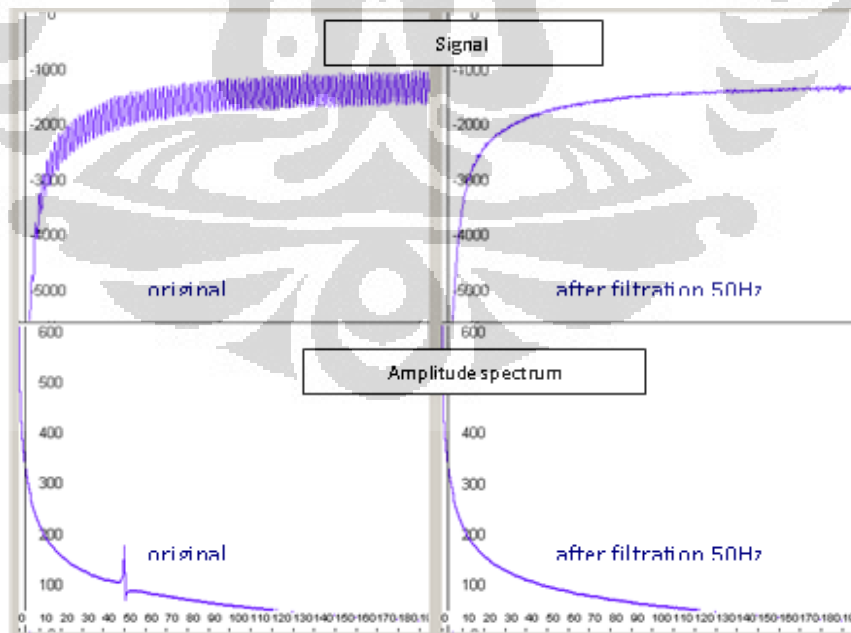
Gambar 3.3. Salah Satu Tahap Filtering Yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geovisor (Niatri, 2009)

- Deleting low frequency trend. Merupakan tahapan menghilangkan atau menghapus tren frekuensi rendah yang disebabkan oleh banyak faktor seperti frekuensi yang rendah dari sinyal Magnetotellurik yang merupakan noise, distorsi dari galvanic dan lain sebagainya.
- Man-made noise filtration (50Hz band-stop filtration). Proses filterisasi dengan pemfilteran khusus. Proses pemfilteran menghilangkan noise jenis periodic tetapi tidak mendistorsi atau mengganggu bentuk sinyal yang digunakan.
- Stacking operation. Dalam proses Stacking digunakan Robust Filtering untuk menghilangkan atau menghapus impulse noise. Pada gambar 3.6

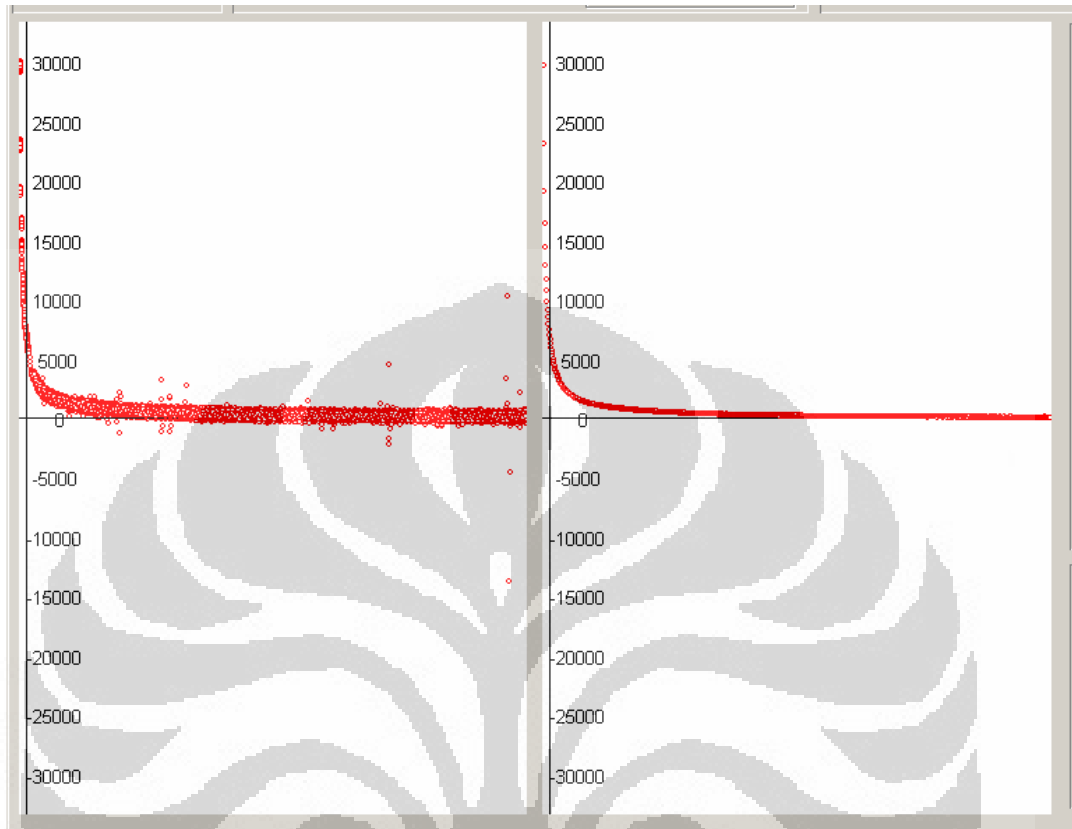
serangkaian impulse terekam dalam jeda pada channel (A) dan hasil keluaran dari filterisasi Robust pada channel (B)



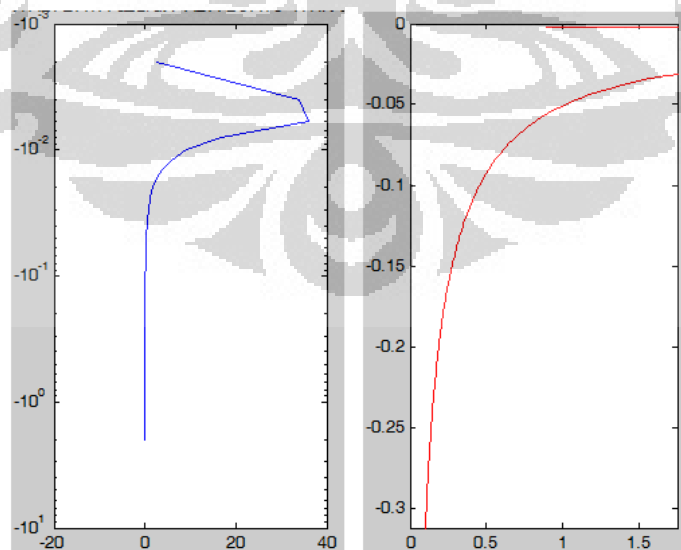
Gambar 3.4. Contoh proses menghilangkan atau menghapus tren frekuensi rendah dari sinyal medan (A – perekaman orisinal, B – perekaman tanpa trend) (Niatri, 2009).



Gambar. 3.5. Contoh Proses Man-made noise Filtration (Niatri, 2009).

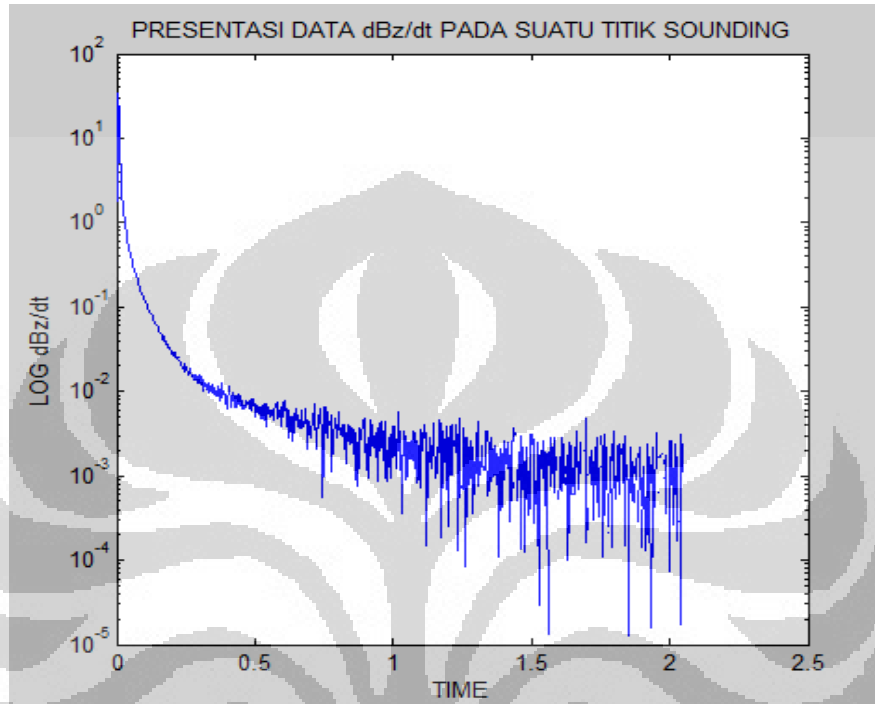


Gambar. 3.6. Contoh Proses Robust Filtering (Niatri, 2009).

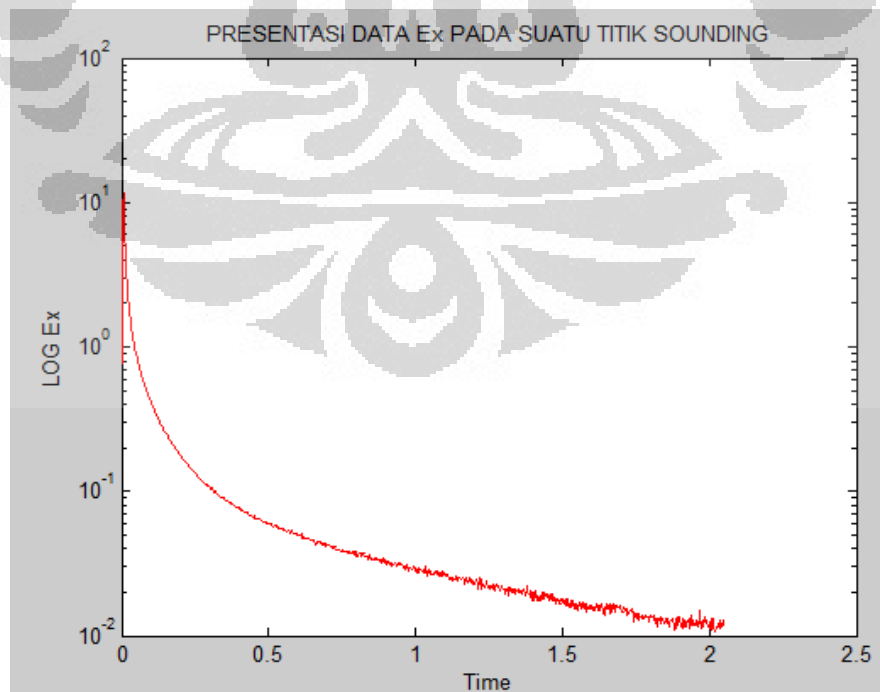


Gambar 3.7 Tampilan data yang sudah melalui tahapan Preprocessing

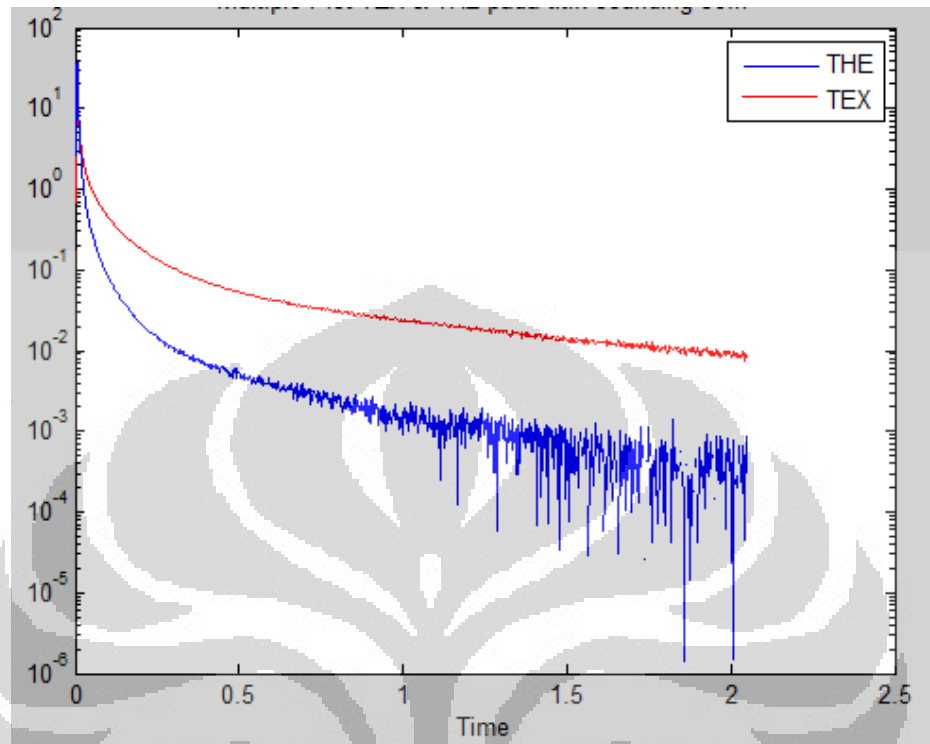
3.2.2 Presentasi Data



Gambar 3.8. Data Medan Magnet terhadap waktu



Gambar 3.9. Presentasi Data Medan Listrik terhadap waktu

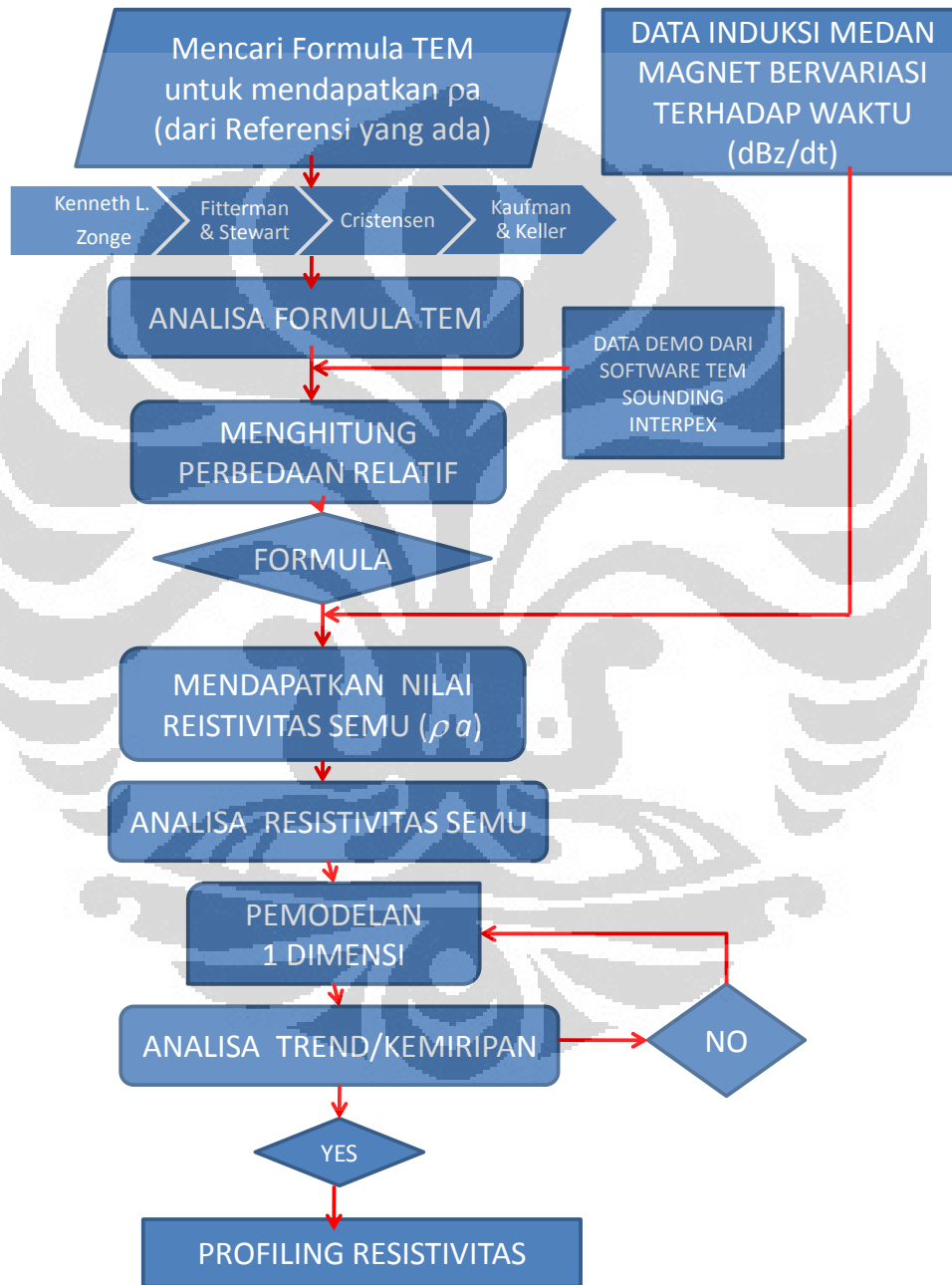


Gambar 3.10. Tampilan gabungan antara medan listrik dan medan magnet terhadap waktu

Dari presentasi atau penggambaran data pada gambar 3.8. yang merupakan sinyal medan magnet yang bervariasi terhadap waktu pada komponen vertical ($\partial b_z / \partial t$), pada gambar 3.9. merupakan sinyal medan listrik yang bervariasi terhadap waktu (E_x). Dari kedua gambaran sinyal yang ada pada gambar 3.10. terlihat bahwa sinyal medan listrik relatif lebih baik (smooth) dibandingkan dengan sinyal medan magnet.

Pada data juga terlihat dimana di awal waktu (0 - 1,2 s) data relative lebih baik (smooth) dibandingkan dengan data diakhir waktu (1,2 - 2 s). Hal tersebut merupakan konsekuensi dari perambatan Gelombang, dimana semakin dalam penetrasi gelombang maka semakin lemah sinyal gelombang yang diterima.

Data yang sudah melalui tahapan processing relatif lebih smooth dan siap untuk dilakukan proses selanjutnya. Dimana proses selanjutnya sesuai dengan skema alur kerja pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Alur kerja Pengolahan Data

3.2.3 Mendapatkan nilai Resistivitas semu (*Apparent Resistivity*).

Resistivitas semu merupakan resistivitas bawah permukaan bumi yang homogen dan isotropic yang akan memberikan hubungan tegangan-arus yang sama dalam pengukuran (Sherif,1984).

Pada saat melakukan pengukuran dilapangan metode ini diasumsikan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, resistivitas tidak tergantung konfigurasi (spasi elektroda). Namun Pada kenyataannya bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga sinyal yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Maka harga resistivitas yang terukur bukan merupakan harga untuk suatu lapisan saja. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Sebagai contoh medium berlapis yang ditinjau misalnya terdiri atas dua lapisan yang mempunyai resistivitas yang berbeda (ρ_1 , ρ_2 , & ρ_3) dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang mempunyai satu harga resistivitas yaitu resistivitas semu ρ_a , dengan konduktansi lapisan fiktif sama dengan jumlah konduktansi setiap lapisan.

3.2.3.1 Mencari Formula Transient Electromagnetic (TEM)

Tahapan dalam mendapatkan nilai resistivitas semu diawali dengan mencari formula Transient Electromagnetic (TEM). Dari beberapa referensi baik dari Jurnal geofisika maupun buku yang menjelaskan tentang metode elektromagnetik, terdapat banyak peneliti yang telah menjelaskan respon sinyal elektromagnetik pada domain waktu. Namun penelitian ini memilih formula TEM yang lebih secara umum dan merepresentasikan sesuai kebutuhan parameter yang dimiliki. Penulis mencoba menganalisa 4 Formula yang dijelaskan oleh:

- ❖ Kaufman & Keller (1983)

Kaufman & Keller, 1983

$$\rho_a = \frac{\mu}{4\pi t} \left| \frac{2\pi\mu r^2 MI}{5tV_{obs}(t)} \right|^{\frac{2}{3}}$$

(3.1)

❖ Fitterman & Stewart (1986)

Fitterman & Stewart, 1986

$$\rho_a = \left[\frac{\mu}{4\pi t} \right] \left[\frac{b^2 A^2 I}{5tV} \right]^{2/3}$$

(3.2)

❖ Kenneth L. Zonge (1992)

Kenneth L. Zonge, 1992

$$\rho_a = \left(\frac{I - A_T - A_R}{V} \right)^{(2/3)} \left(\frac{1}{t} \right)^{\frac{5}{3}} \times 6.3219E-3$$

(3.3)

❖ Cristensen (1995)

Cristensen, 1995

$$\rho_a = \left(\frac{Ia^2}{20 \frac{\partial b_z}{\partial t}} \right)^{2/3} \frac{\mu_0^{5/3}}{\pi^{1/3}} t^{-5/3}$$

(3.4)

3.2.3.2 Menghitung Perbedaan Relatif

Dari ke-empat Formula yang telah didapatkan tentunya akan dipilih salah satu yang nantinya digunakan untuk mendapatkan nilai resistivitas berdasarkan data percobaan sebenarnya. Penulis mencoba menganalisa formula yang nantinya akan digunakan pada data percobaan. Dengan bantuan dari data sintetis atau data demo software INTERPEX dimana pada data demo terdapat parameter yang dibutuhkan formula TEM untuk mendapatkan nilai resistivitas semu, seperti data induksi medan magnet komponen vertikal (voltage), waktu (time), arus yang di injeksikan, parameter konfigurasi, serta nilai resistivitas semu.

Tabel 3.1 Data Demo Software INTERPEX

TIME (ms)	VOLTAGE (nV ²)	freq (Hz)	Coil Area (m ²)	Current (A)	Rho-A (ohm-meter)
0.00000685	31628.1	300	31.4	0.5	518.83
0.00000895	56206.22	300	31.4	0.5	226.46
0.00001208	45198.28	300	31.4	0.5	158.87
0.00001572	48761.47	300	31.4	0.5	97.37
0.00002005	46945.49	300	31.4	0.5	66.57
0.00002617	45480.99	300	31.4	0.5	43.62
0.00003345	43415.41	300	31.4	0.5	29.89
0.0000421	43591.15	300	31.4	0.5	20.32
0.0000541	41319.27	300	31.4	0.5	13.86
0.0000682	37042.93	300	31.4	0.5	10.13
0.0000838	33059.74	300	31.4	0.5	7.76

perhitungan perbedaan relatif merupakan proses perbandingan data nilai resistivitas semu yang diperoleh dari data demo dengan nilai resistivitas yang diperoleh dari perhitungan berdasarkan formula TEM.

Tabel 3.2 Nilai resistivitas semu dari beberapa formula TEM

Demo Rho-A(Ω -m)	Fitterman & stewart Rho-A(Ω -m)	Kenneth L. Zonge Rho-A(Ω -m)	Cristensen Rho-A(Ω -m)	Kaufman & Keller Rho-A(Ω -m)
518.83	518.45	527.19	522.97	523.36
226.46	226.30	230.11	228.27	228.44
158.87	158.75	161.43	160.13	160.25
97.37	97.30	98.94	98.14	98.22
66.57	66.53	67.65	67.10	67.16
43.62	43.59	44.32	43.97	44.00
29.89	29.86	30.37	30.12	30.15
20.32	20.30	20.64	20.48	20.49
13.86	13.85	14.08	13.97	13.98
10.13	10.13	10.30	10.21	10.22
7.76	7.75	7.88	7.82	7.82
6.09	6.09	6.19	6.14	6.15
4.83	4.83	4.91	4.87	4.87
4.14	4.13	4.20	4.17	4.17
3.74	3.73	3.80	3.77	3.77
3.26	3.26	3.31	3.29	3.29
3.33	3.32	3.38	3.35	3.36
3.4	3.39	3.45	3.42	3.43
3.59	3.59	3.65	3.62	3.62
3.94	3.94	4.01	3.97	3.98
6.04	6.04	6.14	6.09	6.10
5.09	5.08	5.17	5.13	5.13
4.31	4.31	4.38	4.35	4.35
.
.
.

Perbedaan relatif diperoleh dari persamaan 3.5

$$\text{Perbedaan Relatif} = \frac{|D - T|}{D} \times 100\% \quad (3.5)$$

D = nilai resistivitas pada data Demo

T = nilai resistivitas yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan formula TEM

Hasil perhitungan perbedaan relatif terlihat pada tabel 3.3 dimana memiliki nilai perbedaan relatif yang berbeda-beda dari setiap Formula TEM.

Tabel 3.3 Perbedaan relatif dari ke-empat formula TEM

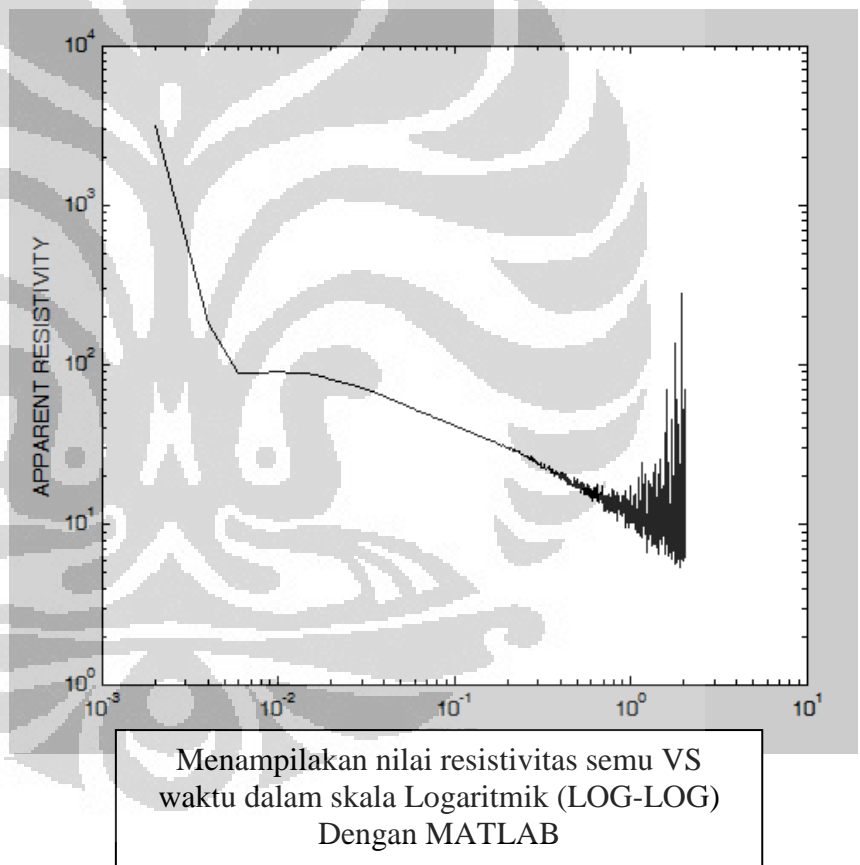
Fitterman & Stewart	0.37 %
Kenneth L. Zonge	8.94 %
Cristensen	1.23 %
Kaufman & Keller	0.75 %

Karena formula sudah diyakini dapat digunakan pada data dari data sintetik maka di coba perhitungan dengan data lapangan untuk mendapatkan nilai resistivitas semu.

3.2.3.3 Nilai Resistivitas Semu Data Percobaan

Tabel 3.4 Hasil perhitungan Nilai Resistivitas Semu dengan Formula TEM

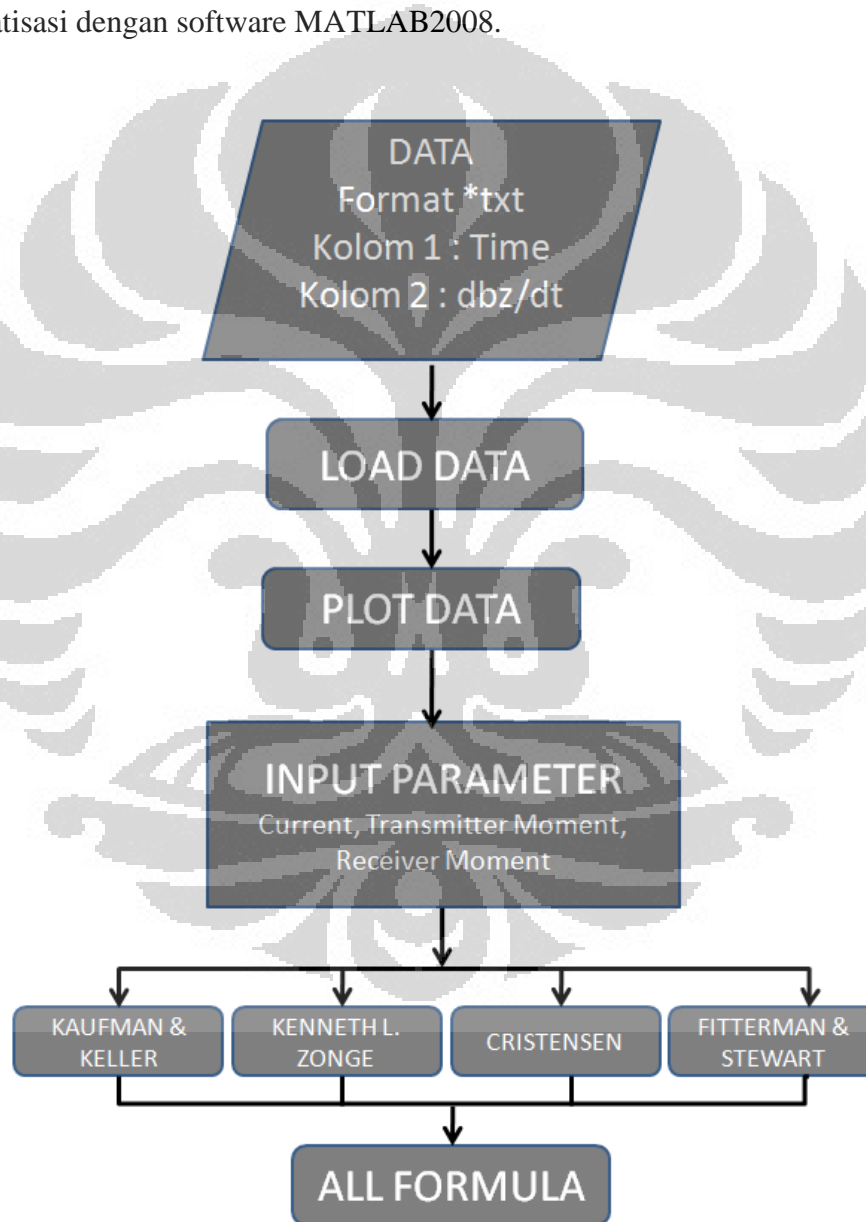
t	dB/dt	Rho-A
0.002	2.49366	3156.646
0.004	31.8994	181.7799
0.006	34.3184	88.08406
0.008	16.5281	88.75691
0.01	9.22039	90.29587
0.012	5.90895	89.64481
0.014	4.12356	88.12636
0.016	3.04983	86.25488
0.018	2.35564	84.19907
•	•	•
•	•	•
•	•	•
2.03	0.000996	5.678213
2.036	0.000542	8.473491
2.038	0.000529	8.60571
2.04	0.000162	18.91075
2.042	0.000155	19.41458
2.044	0.001171	5.037634
2.046	0.001074	5.329083
2.048	0.000127	22.03138



Gambar 3.12. Resistivitas semu pada suatu titik point data

3.3 Proses perhitungan Nilai Resistivitas secara Automatisasi

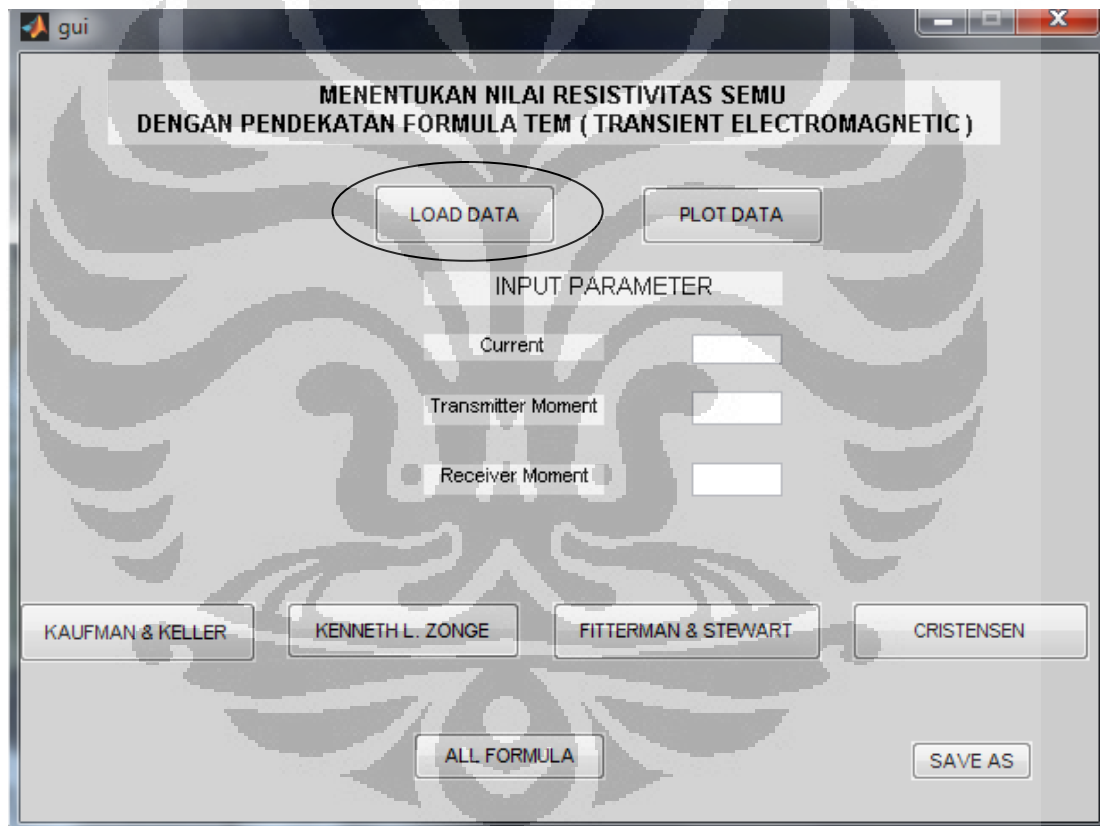
Dalam proses mendapatkan nilai resistivitas semu dilakukan secara manual dengan menggunakan program microsoft excel 2007. Namun akan lebih baik proses dapat dilakukan secara lebih otomatis agar mempermudah proses perhitungan dan lebih efisien dalam memanfaatkan waktu, untuk itu dilakukan pembuatan program automatisasi dengan software MATLAB2008.



Gambar 3.13 Daigram alur proses automatisasi perhitungan nilai resistivitas semu

3.3.1 Overview Proses Automatisasi

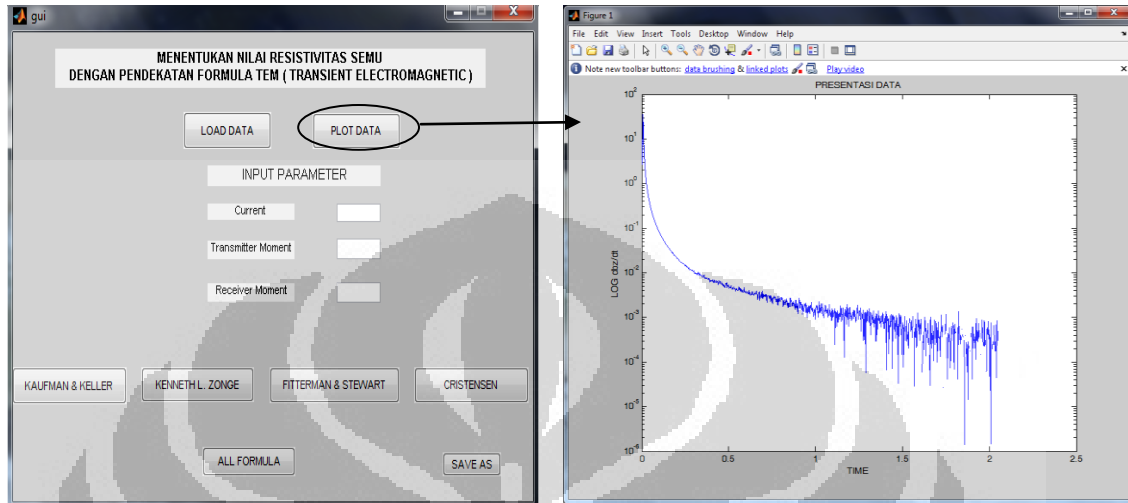
Proses Automatisasi perhitungan Nilai Resistivitas Semu secara sederhana dengan menggunakan Software Matlab 2008 dengan bantuan Aplikasi GUIDE. Proses diawali dengan menyiapkan Data dalam Format *.txt yang terdiri dari 2 kolom, Kolom pertama merupakan Waktu sedangkan kolom ke 2 merupakan Nilai Induksi medan magnetik yang bervariasi terhadap waktu. Setelah data Siap dilakukan Proses pembacaan Data (LOAD DATA).



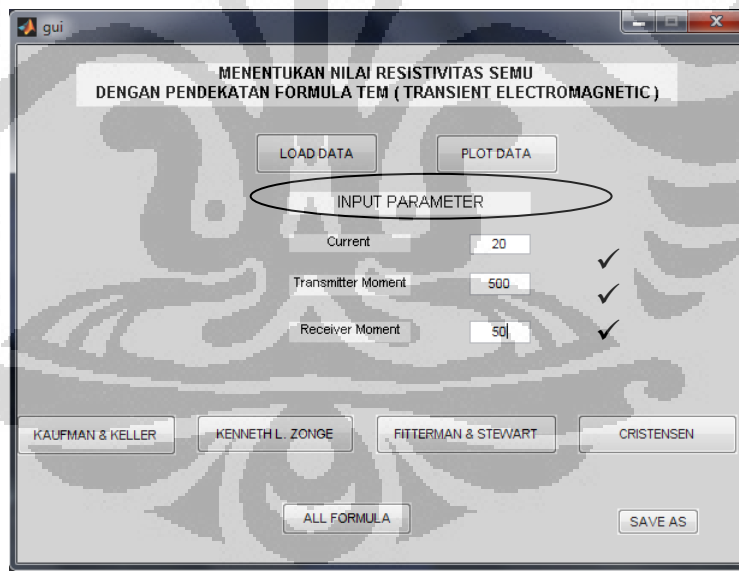
Gambar 3.14 Overview proses automatisasi dengan software MATLAB

Kemudian data yang sudah di Load dapat ditampilkan dengan mengklik button PLOT DATA sehingga menghasilkan grafik data dimana sumbu X merupakan waktu dalam skala linear sedangkan sumbu Z merupakan nilai induksi medan magnetik

yang bervariasi terhadap waktu dalam skala logaritmik. Hasil plot atau grafik dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Plot Data Dalam Proses Automatisasi

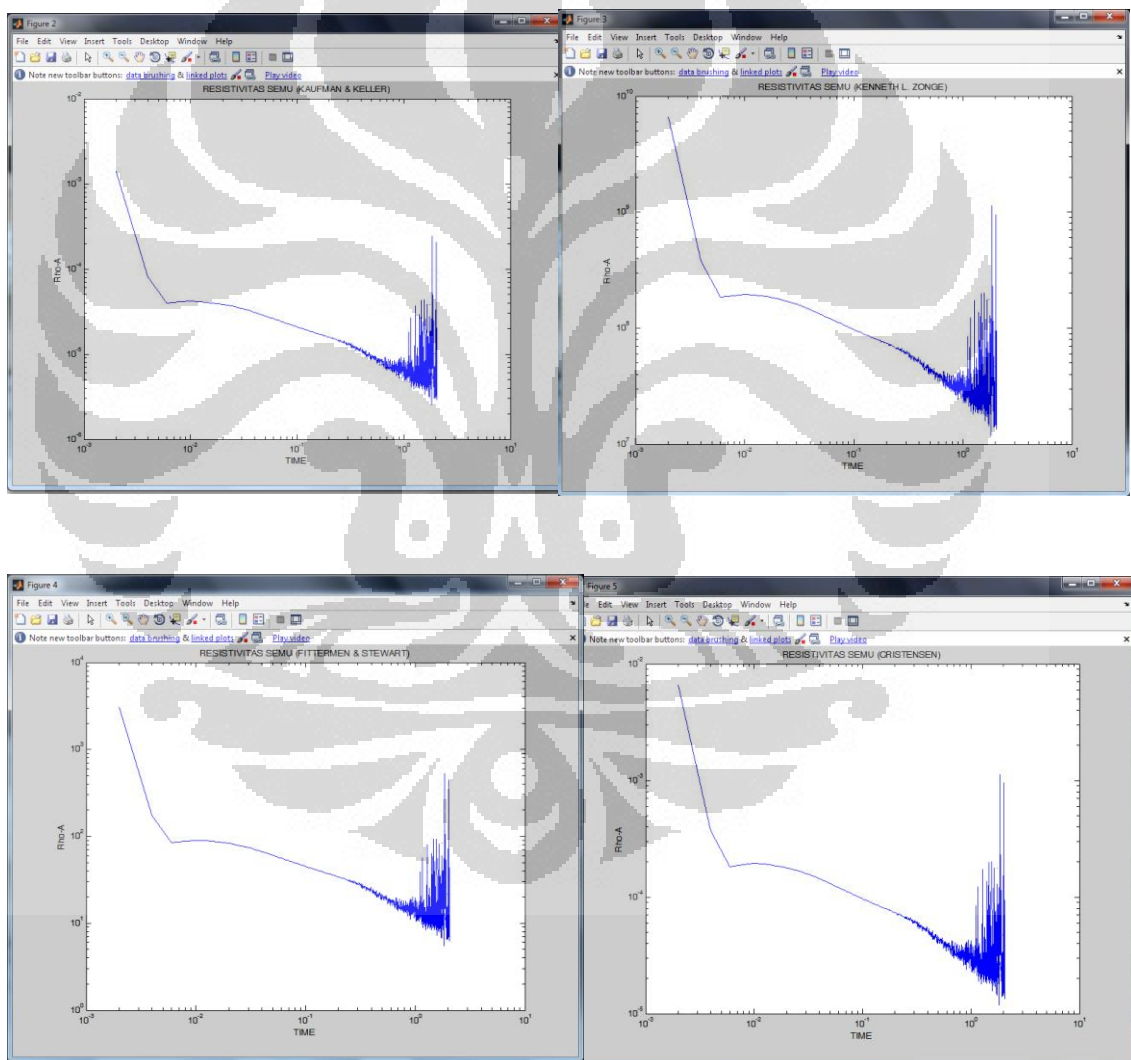


Gambar 3.15 Proses Input Parameter

Tahapan selanjutnya proses INPUT PARAMETER, dimana parameter yang di input merupakan variabel bebas yang dapat diperoleh dari data Pengukuran dilapangan. Parameter yang di Input yaitu *Current* yang merupakan arus listrik yang di Injeksikan

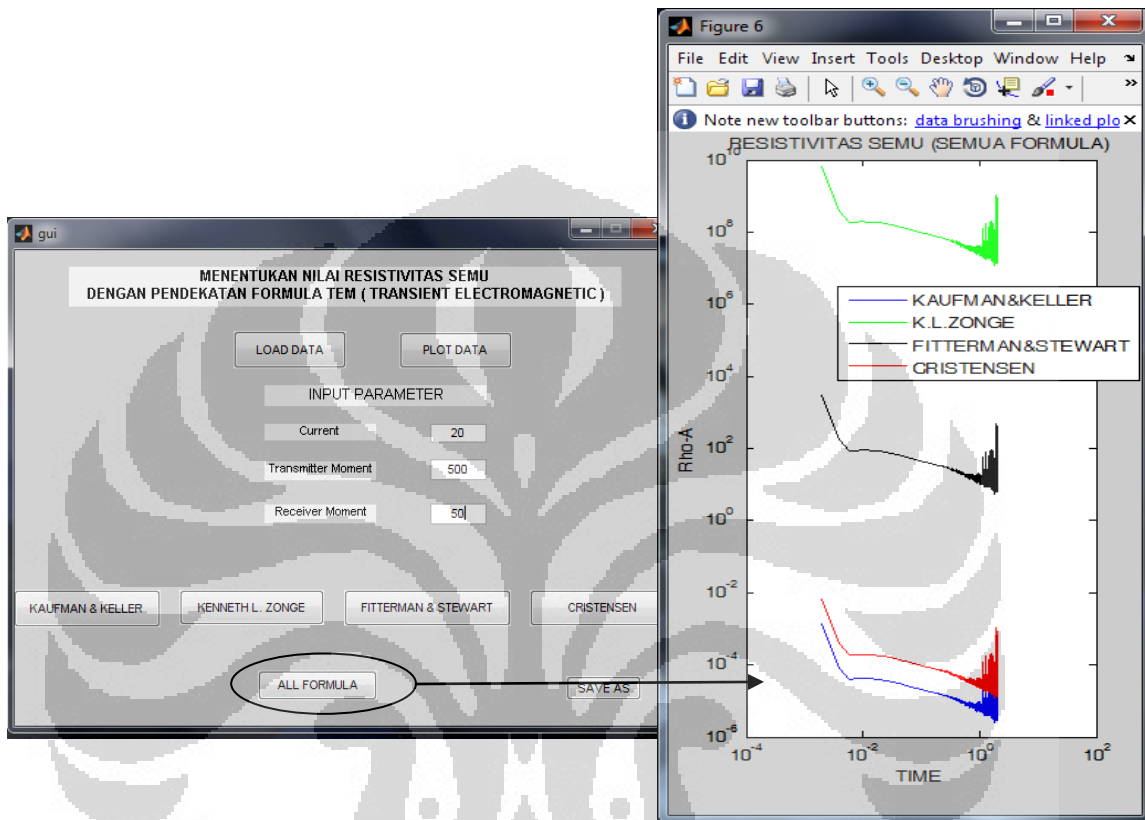
ke bumi, *Transmitter Moment* yang merupakan konfigurasi dari panjang transmitter atau antenna pemancar, dan yang terakhir merupakan *Receiver Moment* yang merupakan jarak antar receiver satu dengan yang lainnya (Lihat Gambar 3.15).

Setelah melakukan proses input parameter maka nilai resistivitas semu sudah dapat diperoleh berdasarkan formula TEM yang akan dipilih. Ketika meng"klik" button formula TEM maka akan dihasilkan grafik atau plot gambar resistivitas semu terhadap waktu.



Gambar 3.16 Hasil Plot grafik resistivitas semu terhadap waktu dengan formula TEM yang berbeda

Sementara untuk “button” yang terakhir merupakan proses yang menampilkan Resistivitas Semu dari semua Formula yang ada, Proses ini dimaksudkan untuk melihat perbedaan dari setiap Formula TEM.

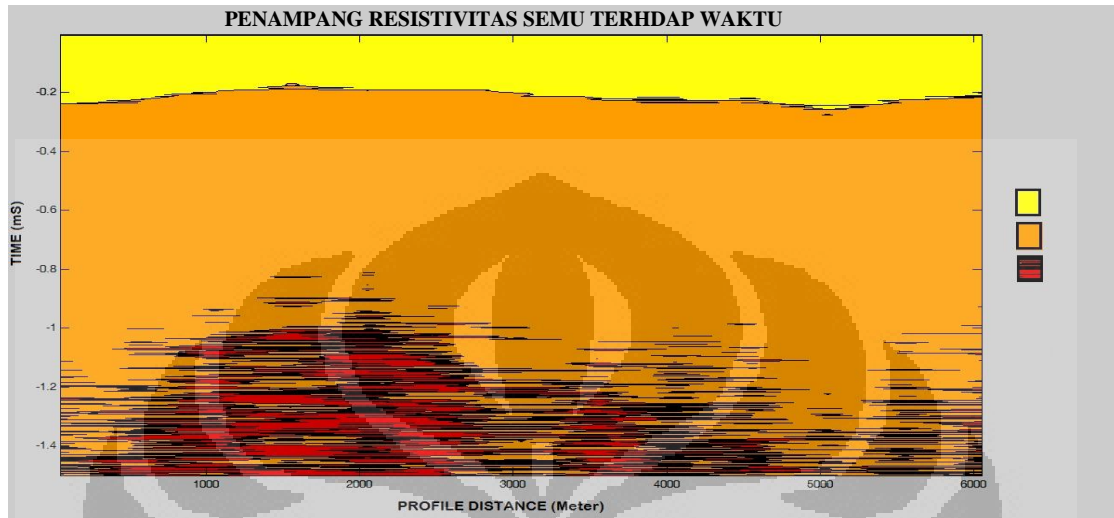


Gambar 3.17 Proses Plot Gabungan Resistivitas Semu terhadap waktu ke-Empat Formula dalam satu grafik

3.4 Penampang *Apparent Resistivity* Terhadap Time

Penampang *apparent resistivity* terhadap *time* adalah suatu penampang yang menunjukkan *apparent resistivity* terhadap *time*. Untuk penampang *apparent resistivity* terhadap *time* dapat diperoleh dengan menggunakan *software MATLAB*. Dengan fungsi “Contourf” yang terdapat pada Matlab mencoba menggabungkan 13

titik sounding resistivitas Semu sehingga dapat dihasilkan penampang *apparent resistivity* terhadap *time*.



Gambar 3.18 Penampang Resistivitas Semu terhadap Waktu

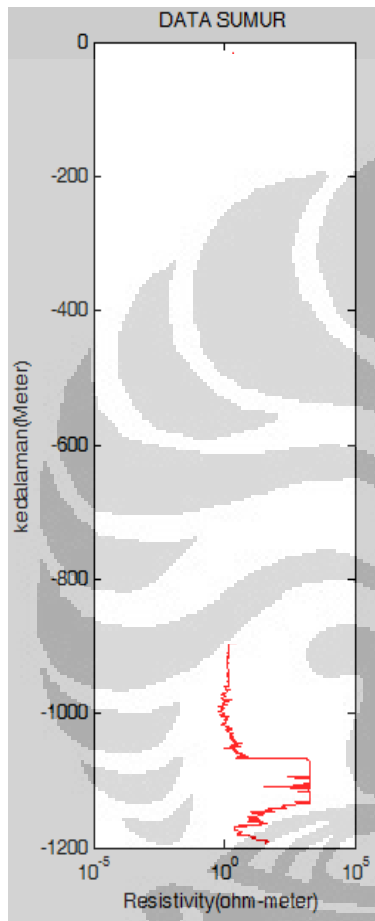
3.5 Pemodelan Resistivitas Bumi Bawah permukaan

Pemodelan resistivitas bumi bawah permukaan bertujuan untuk mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya (*true resistivity*) dimana dari hasil pemodelan akan digunakan untuk menganalisa atau menginterpretasikan data lapangan.

3.5.1 Pemodelan 1-Dimensi dengan Software LOTEM

Dalam melakukan proses modelling 1 dimensi tentunya akan memakan waktu dalam pembuatan algoritma, sehingga memanfaatkan saja software LOTEM dari KMS technology yang dapat digunakan secara gratis selama 30 hari.

Software LOTEM merupakan Software forward modelling, sehingga kita harus terlebih dahulu merancang model bumi 1 dimensi. Adanya data sumur memudahkan kita untuk dapat membuat model satu dimensi.



Dari data sumur kita dapat membuat model bumi satu dimensi

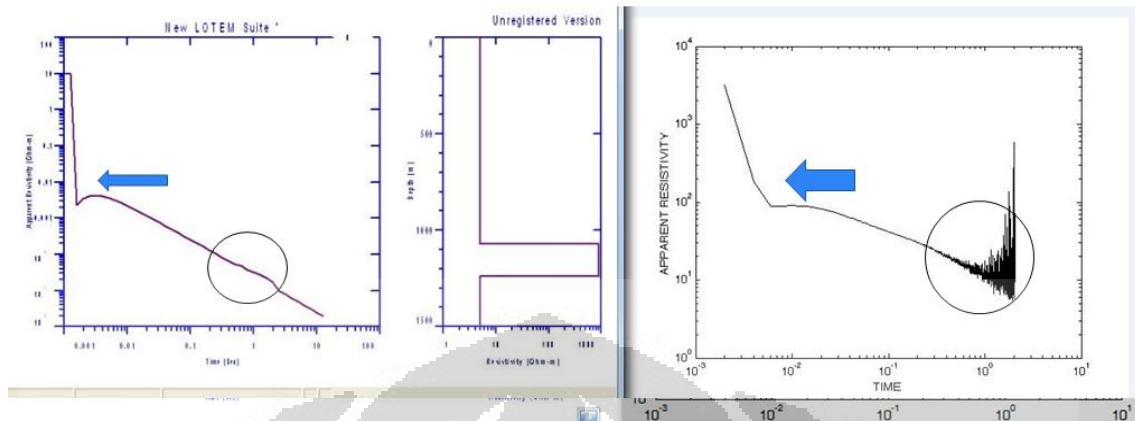
Tabel 3.5. Resistivitas modeling dari Well “X”

Resistivitas (Ohm-meter)	Ketebalan (Meter)	Kedalaman (meter)
5	1070	1070
900	110	1180
5		

Dari model data diatas kita dapat input kedalam software LOTEM beserta parameter konfigurasi lainnya. Tentunya hasil atau out put yang dihasilkan merupakan nilai resistivitas semu yang nantinya akan di komperasikan dengan data hasil dari penghitungan dengan formula TEM.

Gambar 3.19 Data Log Sumur

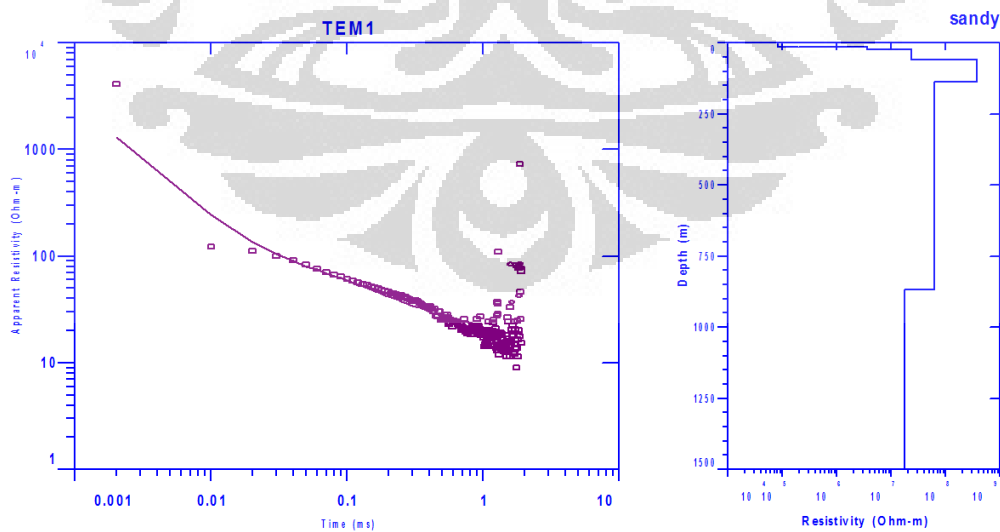
Hal yang perlu diperhatikan bahwa data yang akan dibandingkan atau dikorelasikan pada daerah titik sounding yang berdekatan. Karena data sumur relative lebih dekat dengan data sounding ke-7 maka penghitungan nilai resistivitas semu juga dilakukan pada titik sounding tersebut.



Gambar 3.20 Hasil forward modeling 1 dimensi dengan software LOTEM

3.5.1 Pemodelan 1-Dimensi dengan Software LOTEM

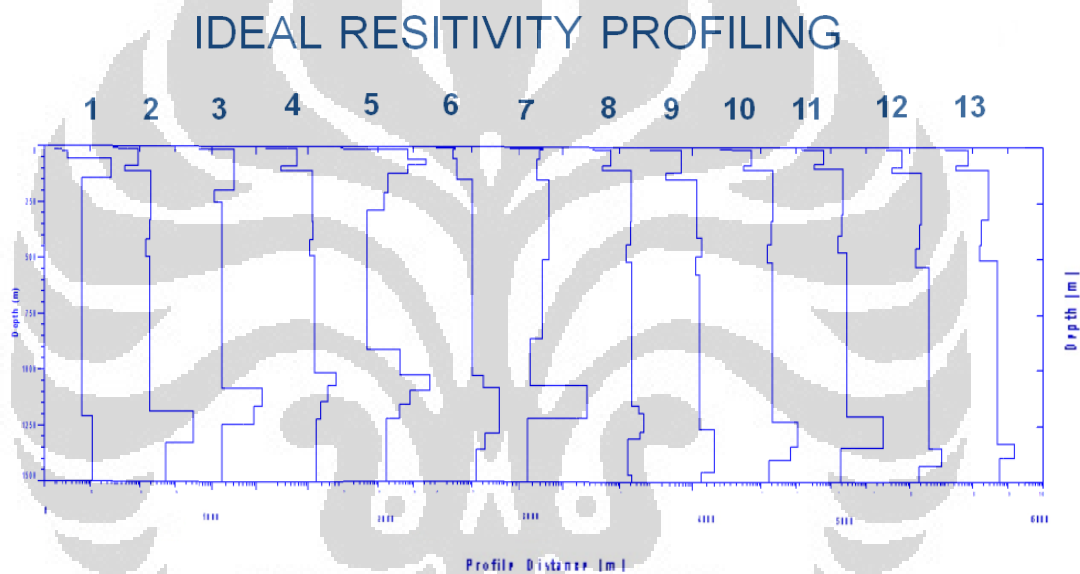
Model 1-Dimensi dengan software IX1D yaitu dengan melakukan input induction voltage dan time kemudian memasukan parameter konfigurasi akan dihasilkan nilai resistivitas semu. Pemodelan 1-Dimensi didapat dari korelasi kurva *apperent resistivity* terhadap *time*. *Depth* per lapisan dapat dihasilkan dengan melakukan *calculate* secara otomatis kemudian di-*inversi*, atau melakukan *calculate* dengan cara manual lalu kemudian di-*forward*.



Gambar 3.21 Hasil modeling 1 dimensi dengan software IX1D

3.5.3 Profil Resistivitas

Profiling resistivitas merupakan penggabungan model 1 dimensi dari beberapa titik sounding yang di peroleh dari software pemodelan. Tujuan dalam melakukan profiling untuk melihat trend resistivitas terhadap kedalaman dalam suatu penampang resistivitas. Tujuan lainnya menampilkan pemodelan yang mendekati 2-dimensi *resistivity* terhadap *depth*. Diharapkan dengan melakukan Profiling resistivitas kita mendapatkan suatu informasi tentang bawah permukaan bumi.



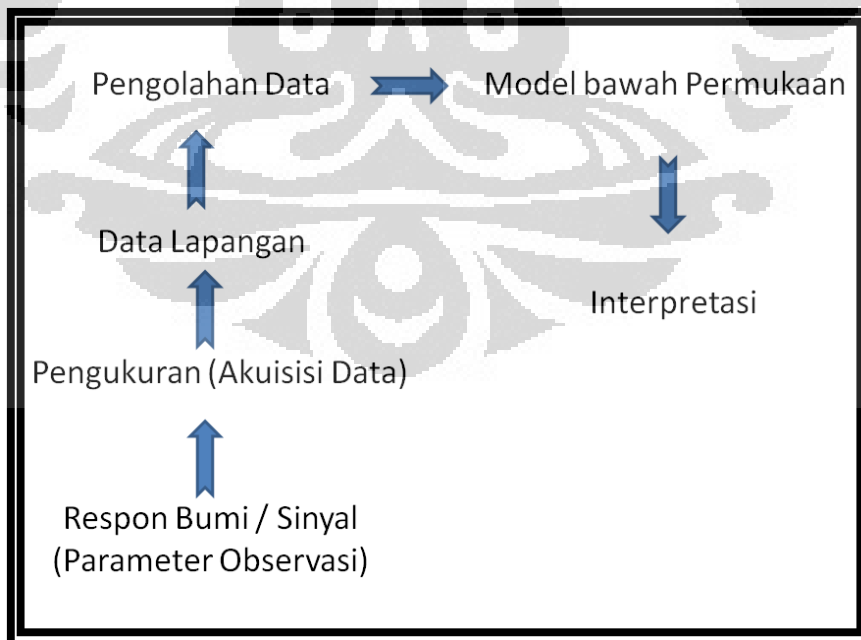
Gambar 3.22 Profil resistivitas terhadap kedalaman

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Pengolahan Data Geofisika yang dilakukan menghasilkan model bawah permukaan yang nantinya akan dilakukan pembahasan atau lebih sering disebut proses Interpretasi. Dalam pembahasan hasil pengolahan data geofisika, ada beberapa faktor yang menjadi bahan pertimbangan. Diantaranya salah satu faktor yang harus dipertimbangkan yaitu kelengkapan data yang dimiliki. Selain data utama yang berasal dari metode elektromagnetik pada penelitian ini, adanya data pendukung dan pembanding akan lebih meyakinkan dalam hal interpretasi bawah permukaan. Keberadaan data pendukung seperti data geologi regional, geologi lokal, arah struktur, dan data sumur tentunya sangat membantu, namun keterbatasan data yang dimiliki membuat Interpretasi bersifat kualitatif.



Gambar 4.1 Alur Prinsip Kerja Metode Geofisika (Grandis, 2010)

4.2 Analisa Formula Transient Electromagnetic

Formula Transient Electromagnetic(TEM) untuk mendapatkan resistivitas semu diperoleh dari berbagai referensi yang dimiliki

Kenneth L.Zonge, 1992 $\rho_a = \left(\frac{I}{V} \frac{A_T}{A_R} \right)^{(2/3)} \left(\frac{1}{t} \right)^{\frac{5}{3}} \times 6.3219E-3$	Cristensen, 1995 $\rho_a = \left(\frac{Ia^2}{20 \frac{\partial b_z}{\partial t}} \right)^{2/3} \frac{\mu_0^{5/3}}{\pi^{1/3}} t^{-5/3}$
Fitterman & Stewart, 1986 $\rho_a = \left[\frac{\mu}{4\pi t} \right] \left[\frac{b^2 A^2 I}{5tV} \right]^{2/3}$	Kaufman & keller, 1983 $\rho_a = \frac{\mu}{4\pi t} \left \frac{2\pi\mu r^2 MI}{5tV_{obs}(t)} \right ^{\frac{2}{3}}$

Formula Resistivitas Semu dari beberapa referensi

Keterangan:

ρ_a = Resistivitas Semu (ohm-meter)

$A_T = b^2$ = Transmitter Moment (Meter)

$A_R = A^2$ = Reciever Moment (Meter)

$V = V_{obs}(t) = \frac{\partial b_z}{\partial t}$ = Induction Voltage (Volt)

$\mu_0 = \mu$ = Permeabilitas magnetic (1,2566 E-6 mKg/C2)

I = Arus Listrik (Ampere)

t = waktu (miliSecond)

Dari ke-empat formula TEM yang didapat dari beberapa referensi atau literatur, keempatnya mendefinisikan resistivitas semu relatif sama satu dengan yang lainnya. Dimana nilai resistivitas semu berbanding lurus dengan arus, dan berbanding terbalik dengan induksi magnetik (tegangan) dan waktu. Perbedaan hanya terletak pada istilah dalam mendefinisikan konfigurasi pada setiap metode.

$$\rho a \sim I^{2/3} \quad (4.1)$$

$$\rho a \sim \frac{1}{V^{2/3}} \quad (4.2)$$

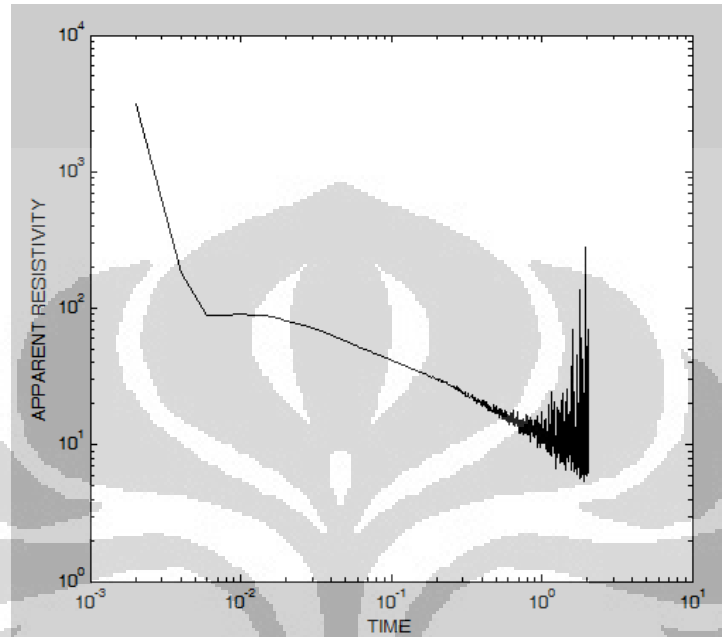
$$\rho a \sim \frac{1}{t^{2/3}} \quad (4.3)$$

Dari hasil perhitungan perbedaan relatif formula Fitterman dan Stewart memiliki persentasi yang paling kecil yaitu 0,37 % (lihat pada Tabel 3.5). Hal ini memiliki arti bahwa ketika melakukan perhitungan nilai resistivitas semu dari data sintetik, formula Fitterman & Stewart dapat digunakan untuk melakukan pengolahan data yang dilakukakn untuk menghasilkan resistivitas semu pada data percobaan. Selain itu formula Fitterman dan Steward direkomendasikan karena parameter yang ada relative lebih sesuai dengan kebutuhan.

4.3 Analisa Resistivitas Semu Data Percobaan

Nilai resistivitas semu terhadap waktu yang diperoleh dari data percobaan terlihat pada gambar 4.3. Pada gambar menunjukkan di awal waktu (0,002 – 0,008 ms) terlihat penurunan nilai resistivitas semu yang tajam kemudian pada waktu selanjutnya terjadi penurunan yang lebih landai dan di akhir waktu terjadi undulasi atau fluktuasi nilai resistivitas semu yang sangat bervariasi. Hal tersebut menjelaskan bahwa kurva resistivitas semu terdiri dari early time, intermediete time, dan late time Apparent

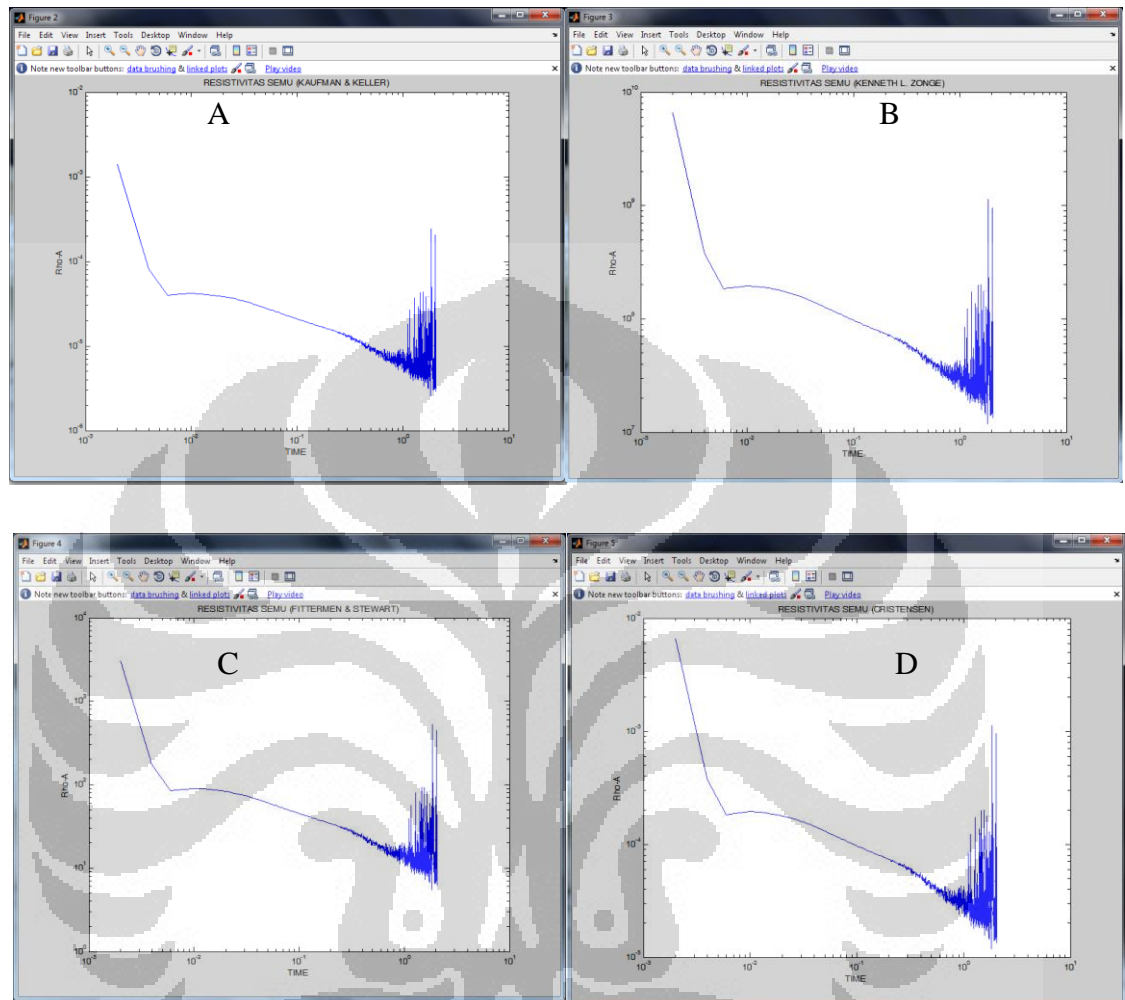
Resistivity. Fluktuasi nilai resistivitas semu di akhir waktu disebabkan faktor “Delay Time” yang terlalu lama yang menyebabkan data tersebut tidak baik atau Smooth.



Gambar 4.2. Resistivitas Semu pada suatu titik Point Data

Dari data percobaan yang dimiliki kemudian dilakukan perhitungan secara otomatis dengan Program yang sudah di buat. Hasil dari perhitungan akan mendapatkan empat grafik resistivitas semu terhadap waktu terlihat pada gambar 4.3.

Dengan melihat gambar ke empat grafik resistivitas semu terhadap waktu, menunjukkan ke-empatnya memiliki kesamaan yang relatif sama. Perbedaan yang ada terletak pada skala tiap formula yang digunakan. Formula TEM yang diperoleh dari Kenneth L. Zonge memiliki skala terbesar yaitu pada orde 10^{10} (sepuluh pangkat sepuluh), sedangkan skala untuk Formula yang diperoleh dari Fitterman & Stewart, Cristensen, dan Kaufman & Keller berturut pada orde 10^3 , 10^{-2} , 10^{-3} . Tentunya proses up scaling (menaikan skala) atau down scaling (menurunkan skala) dapat membuat ke empat formula pada skala atau orde yang sama.



Gambar 4.3 Plot Grafik Resistivitas Semu terhadap waktu dengan pendekatan Formula Transient Electromagnetic: A. Kaufman & Keller B. Kenneth L. Zonge C. Fitterman & Stewart D. Cristensen

4.4 Korelasi Nilai Resistivitas Semu

Ketika sudah mendapatkan hasil yang berupa nilai resistivitas semu, pertanyaan selanjutnya yaitu apakah nilai tersebut benar? Tentu, perlu adanya pembandingan untuk mengetahui benar atau tidaknya hasil yang diperoleh.

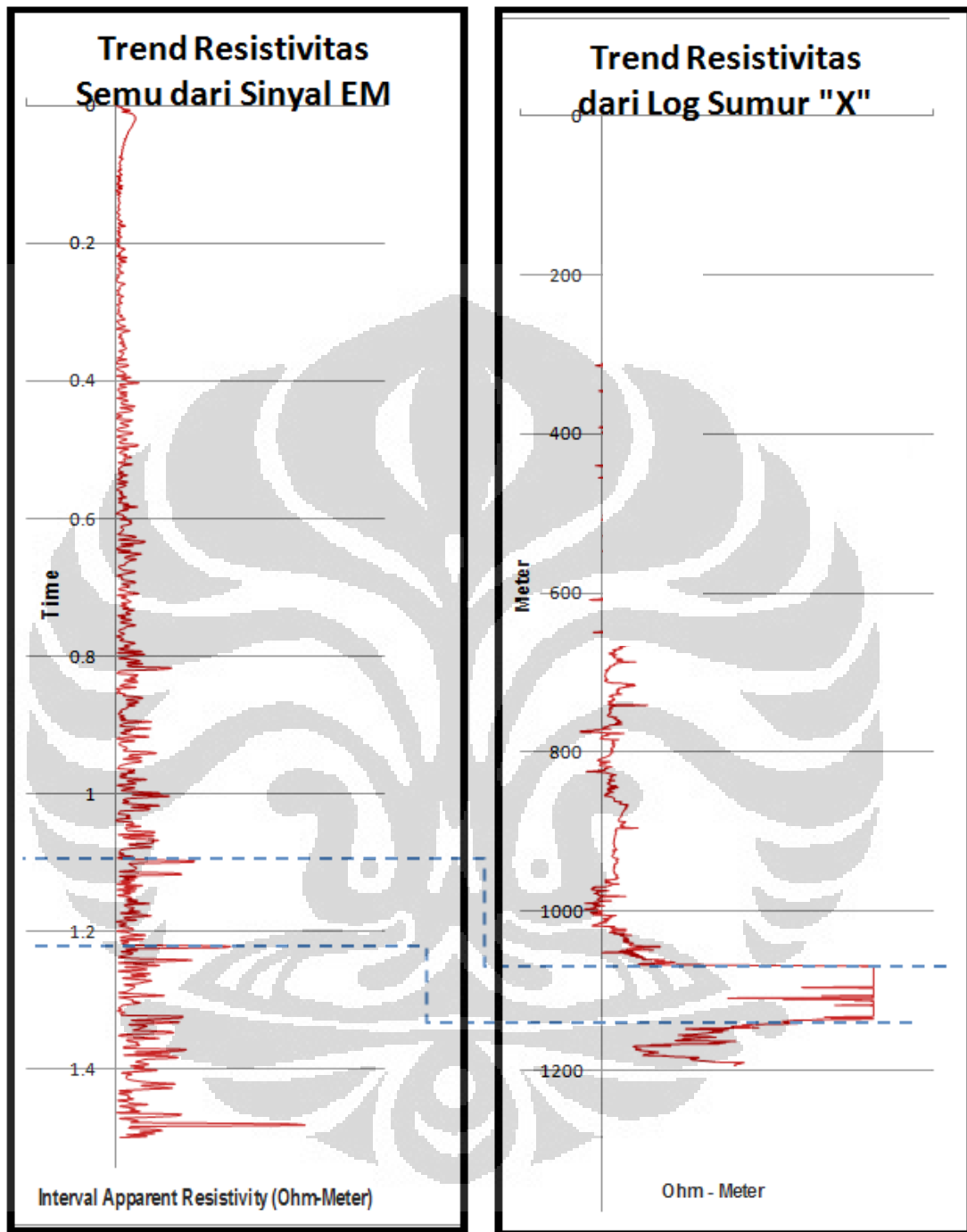
4.4.1 Korelasi dengan data Sumur atau data Log

Data sumur yang dimiliki merupakan gambaran nilai resistivitas terhadap kedalaman pada suatu titik pemboran. Data ini menggambarkan nilai resistivitas suatu batuan pada tiap lapisan atau kedalaman. Sedangkan Data hasil perhitungan dengan menggunakan formula TEM, merupakan data nilai resistivitas semu terhadap waktu. Seperti telah dijelaskan bahwa nilai resistivitas semu bukan merupakan gambaran nilai resistivitas tiap lapisan, tapi merupakan gambaran nilai resistivitas secara gabungan atau total dimana bumi diasumsikan bersifat homogen dan isotropis.

Korelasi dengan data log dapat dilakukan dengan membandingkan trend nilai resistivity antara well log data dan interval resistivitas dari sinyal EM seperti pada gambar 4.3. sehingga kita mendapatkan hasil yang semi kualitatif. Penulis mencoba untuk melakukan well tie dengan data sinyal EM dan data sumur sehingga mendapatkan data yang semi kuantitative. Dari data log sumur dibawah ini maka kita dapat mengetahui nilai resistivitas pada setiap kedalaman yang kita inginkan.

Langkah pertama kita membagi nilai resistivitas terhadap kedalaman dalam beberapa zona kedalaman atau zona waktu. Dan kita lakukan fit dengan nilai resistivitas semu dari sinyal EM. Dengan melakukan fit antara sinyal EM dan data log sebagai kalibrasi point, diharapkan kita bisa mendapatkan nilai resistivitas semu yang mendekati dengan nilai yang sesungguhnya.

Dari korelasi ini selain hasil semi kualitatif, kita mendapatkan informasi bahwa resistivitas semu merupakan nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran merupakan resistivitas total atau disebut dengan "Bulk Resistivity". Dari hasil tersebut kita mengetahui nilai resistivitas semu yang besar pada awal data dikarenakan faktor tersebut.

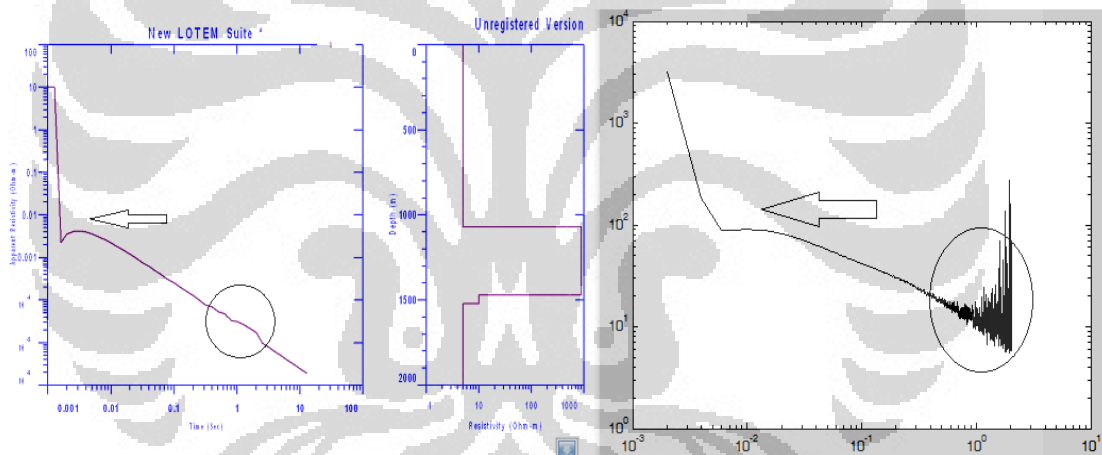


Gambar 4.4 Interval Apparent Resistivity yang dikorelasikan dengan Data Log/Sumur

4.4.2 Korelasi Modeling 1 Dimensi dengan Software LOTEM

Dalam melakukan korelasi dan komparasi akan lebih baik melakukannya dalam bentuk "apel to apel" maksudnya membandingkan resistivitas semu dengan resistivitas semu juga, hal tersebut nantinya akan memiliki kebermaknaan yang lebih baik dan tepat. Untuk itu dilakukan korelasi modeling 1 dimensi.

Korelasi modeling 1 dimensi merupakan korelasi yang akan membandingkan nilai resistivitas semu data eksperimen dengan resistivitas semu yang dihasilkan dari perangkat lunak atau software yang digunakan. Dengan menggunakan software LOTEM kita akan mendapatkan nilai resistivitas semu dengan terlebih dulu melakukan pemodelan 1 dimensi.



Gambar 4.5. Korelasi data Well dan data EM Forward Modeling 1 Dimensi Menggunakan Software LOTEM

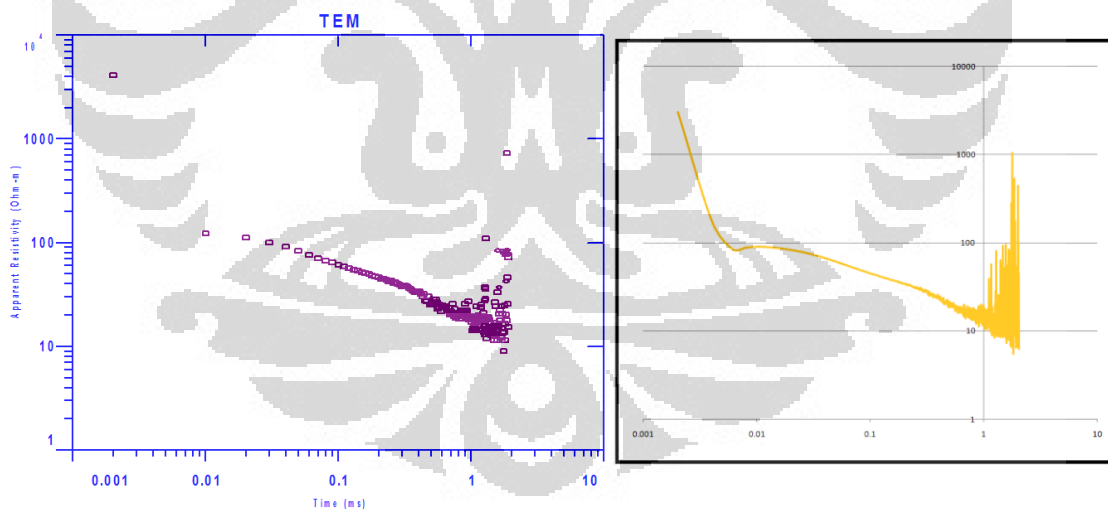
Gambar 4.5 A merupakan hasil modeling 1 dimensi dengan software LOTEM, sedangkan gambar B merupakan tampilan nilai resistivitas semu terhadap waktu Data Eksperimen. Dari hasil gambaran diatas terlihat ada sesuatu yang menarik pada kedua gambar, yaitu terlihat ada kecendrungan grafik yang relatif memiliki TREND (kemiripan atau kesejenan). Pada gambar 4.4 A maupun B pada daerah yang dilingkari terlihat Data tidak terlalu smooth namun pada gambar 4.4 B data terlihat mempunyai undulasi atau ketidak teraturan yang tinggi hal tersebut

dikarenakan pada data eksperimen (gambar 4.5.B) memiliki data yang lebih banyak dengan sampling interval 1024 data. Banyaknya Data yang dimiliki memberikan kesan ketidakteraturan yang tinggi.

4.4.2 Korelasi Modeling 1 Dimensi dengan Software LOTEM

Kedua Korelasi diatas dalam proses Analisnya hanya mendapatkan kesimpulan yang bersifat “kualitatif” dimana kedua korelasi yang dilakukan belum bersifat Kuantitatif. Untuk itu diperlukan Korelasi yang bersifat kuantitatif dimana mendapatkan kesimpulan yang lebih meyakinkan akan kebenaran nilai resistivitas semu yang dihasilkan.

Dengan adanya Software IX1D dapat diperoleh Nilai Resistivitas semu dengan cara menginput data $\partial bz/\partial t$ dan waktu akan diperoleh nilai Resistivitas Semu secara Otomatis dari proses calculate yang dilakukan Software IX1D.



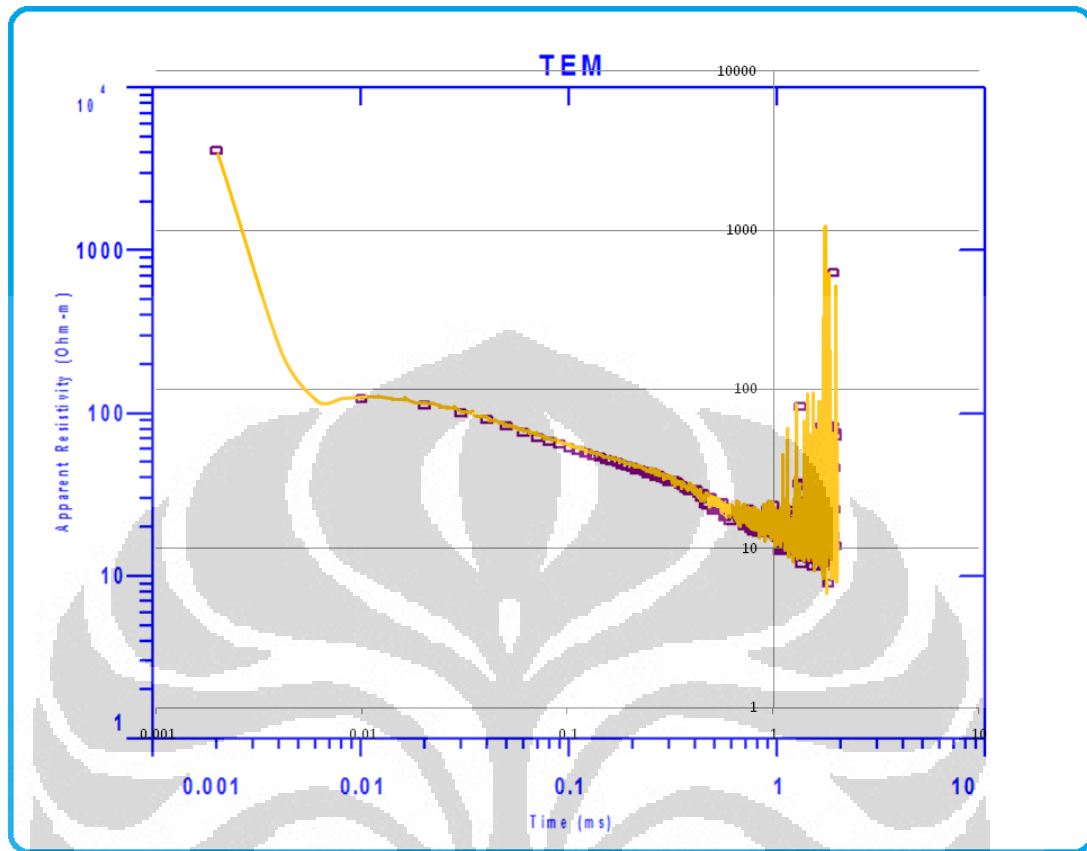
A

B

Gambar 4.6 Grafik Nilai Resistivitas Semu terhadap kedalaman

A. diperoleh dari software IX1D

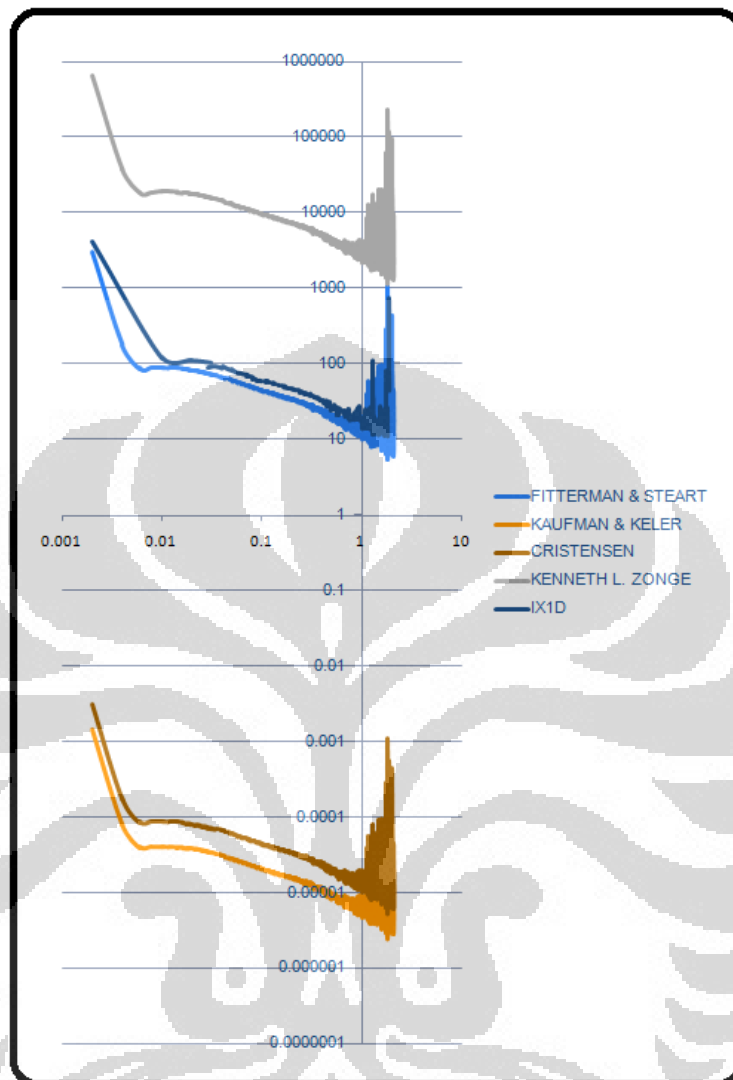
B. diperoleh dari hasil perhitungan



Gambar 4.7 Overlay grafik nilai resistivitas semu terhadap kedalaman

Pada Gambar 4.6 A merupakan grafik resistivitas semu yang diperoleh dari software IX1D sementara gambar 4.6 B merupakan grafik resistivitas semu yang diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan formula TEM. Sementara hal yang menarik terlihat pada gambar 4.7 ketika kedua grafik pada gambar 4.8 disatukan atau dilakukan proses overlay bahwa ternyata kedua grafik sangat “matching”. Dengan korelasi ini menambah keyakinan dari hasil perhitungan resistivitas semu berdasarkan pendekatan formula TEM.

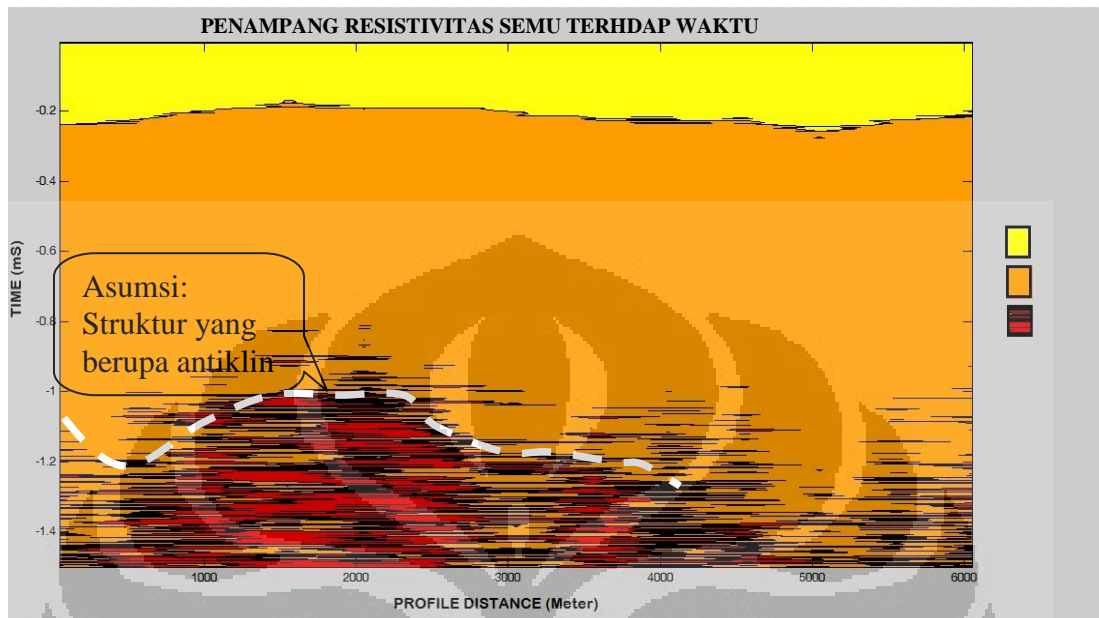
Selanjutnya nilai resistivitas semu yang diperoleh dari software IX1D di plot bersamaan dengan nilai resistivitas semu yang diperoleh dari ke-empat formula TEM. Hal tersebut dilakukan untuk melihat kecenderungan formula yang lebih mendekati terhadap nilai resistivitas semu dari software IX1D.



Gambar 4.8 Gabungan grafik nilai resistivitas semu ke-empat formula ditambah dari software IX1D

Dari gambar 4.8 terlihat bahwa nilai resistivitas semu yang diperoleh dari software IX1D (warna biru tua) lebih mendekati pada nilai resistivitas yang didapat berdasarkan formula Fitterman & Stewart (warna biru muda). Namun kita melihat grafik terdapat perbedaan yang disebabkan faktor data yang di input pada software IX1D tidak seluruh data melainkan dilakukan pemilihan secara linear data yang di input.

4.5 Analisa Penampang Resistivitas



Gambar 4.9 Penampang Resistivitas Semu terhadap waktu

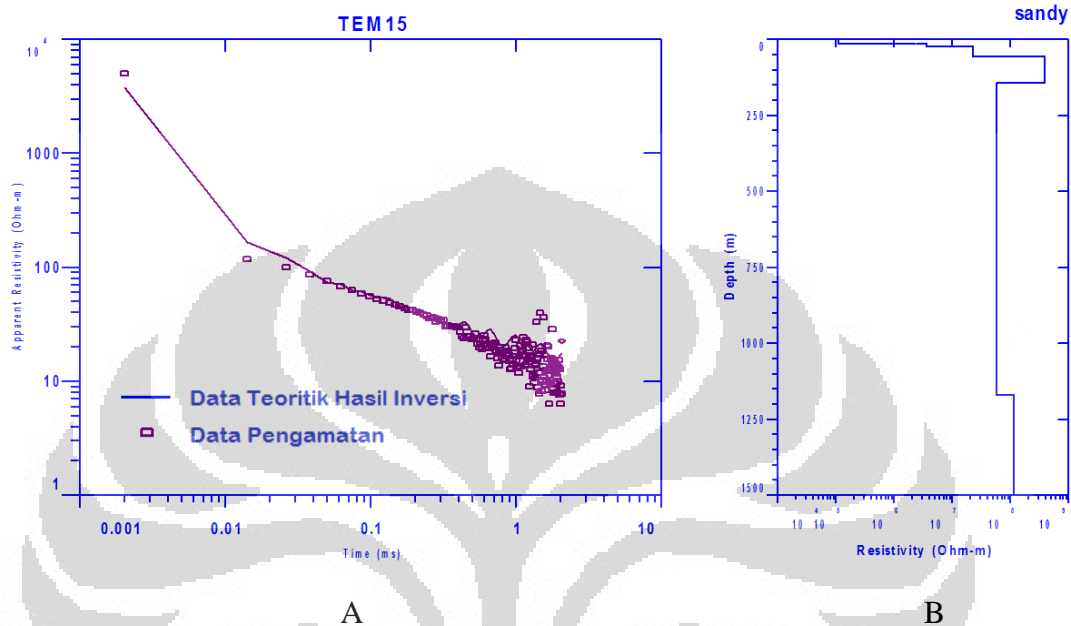
Penampang resistivitas semu diperoleh dengan melakukan plot kontur beberapa titik sounding yang menghasilkan nilai resistivitas semu. Hal tersebut dapat dilakukan dengan bantuan fungsi countur logaritmik pada software MatLab. Plot kontur dilakukan sebatas waktu 1,5 ms dengan pertimbangan kedalaman prospek terbatas pada waktu tersebut.

Dari penampang resistivitas semu terhadap waktu, terlihat terdapat perbedaan nilai resistivitas semu atau dengan kata lain terdapat kontras resistivitas semu. Secara umum terdapat 3 lapisan dengan nilai yang berbeda.

Asumsi yang muncul dari penampang resistivitas Semu adanya bentuk Struktur antiklin pada jarak 500 – 3000 meter dan waktu 1 – 1,2 mS.

4.6 Analisa Model 1 Dimensi

Model bumi 1 dimensi diperoleh dari Software IX1D dengan melakukan proses inversi dari data yang dimiliki.



Gambar 4.10 Pemodelan 1 dimensi bawah permukaan bumi

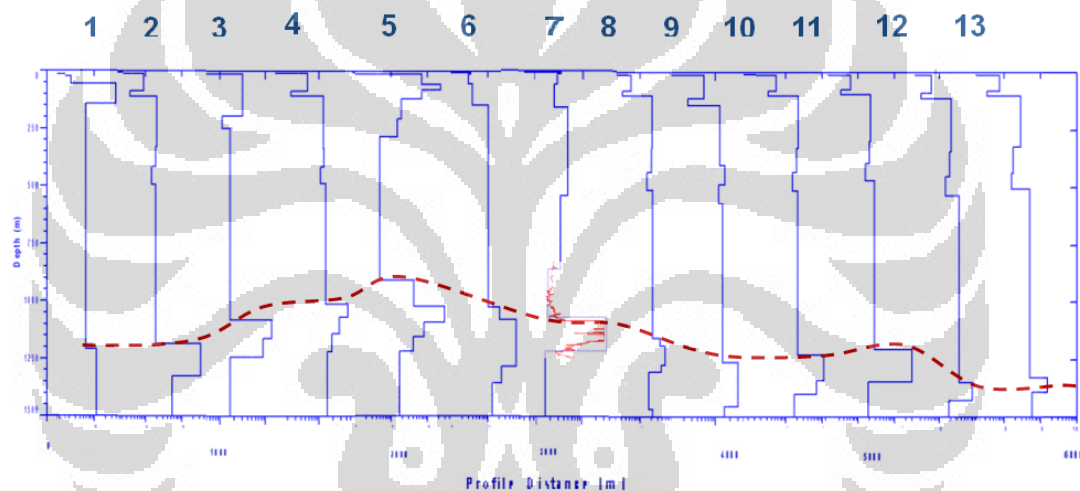
Pada gambar 4.10 A merupakan nilai resistivitas semu terhadap waktu, data yang berupa titik merupakan nilai resistivitas semu dari hasil data pengamatan, sementara data yang berupa garis merupakan data teoritik berdasarkan hasil inversi. Sementara pada gambar 4.10 B merupakan nilai resistivitas terhadap kedalaman yang merupakan informasi fisis bawah permukaan yang diperoleh dari hasil Inversi.

Dari data pemodelan 1 dimensi didapatkan informasi bahwa nilai resistivitas berbeda pada setiap kedalaman (bentuk perlapisan). Hasil pemodelan 1 dimensi diasumsikan kedalam bentuk bumi bawah permukaan dalam 3 lapisan. Lapisan pertama pada kedalaman 0 – 125 meter nilai resistivitas secara kualitatif very high resistivity. Untuk lapisan ke dua yaitu pada kedalaman 125- 1175 meter memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah dari lapisan pertama atau secara kualitatif low resistivity. Sementara dilapisan terakhir yaitu pada lapisan ketiga dikedalaman 1175 -

1500 nilai resistivitas lebih besar dari lapisan ke dua atau secara kualitatif disebut intermediate resistivity.

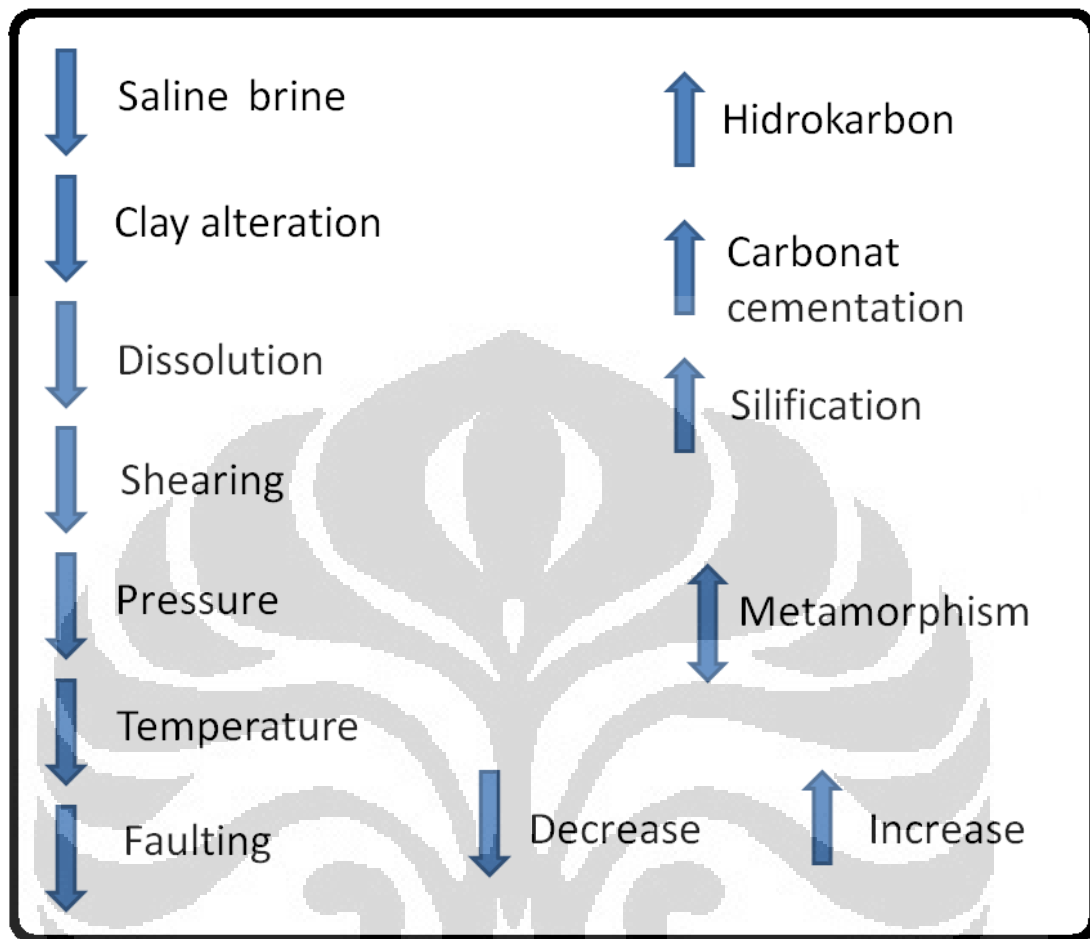
4.7 Analisa Profiling resistivitas

Hasil pemodelan bawah permukaan 1 dimensi dari 13 titik sounding digabungkan menjadi satu yang nantinya akan berbentuk penampang resistivitas. Penampang resistivitas seperti ini merupakan Profiling resistivitas terhadap kedalaman yang akan memberikan informasi bawah permukaan.



Gambar 4.11 Profiling resistivitas terhadap kedalaman

Pada gambar profiling resistivitas terlihat secara kualitatif memiliki perbedaan resistivitas (adanya kontras resistivitas). Analisa kualitatif membagi bumi bawah permukaan kedalam 3 lapisan. Pada lapisan pertama nilai resistivitas very high, lapisan ke dua low dan lapisan ke 3 high. Dari hasil tersebut terdapat perbedaan nilai resistivitas yang memungkinkan disebabkan karena banyak faktor. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi nilai resistivitas telah digambarkan oleh Ward pada gambar 4.12.

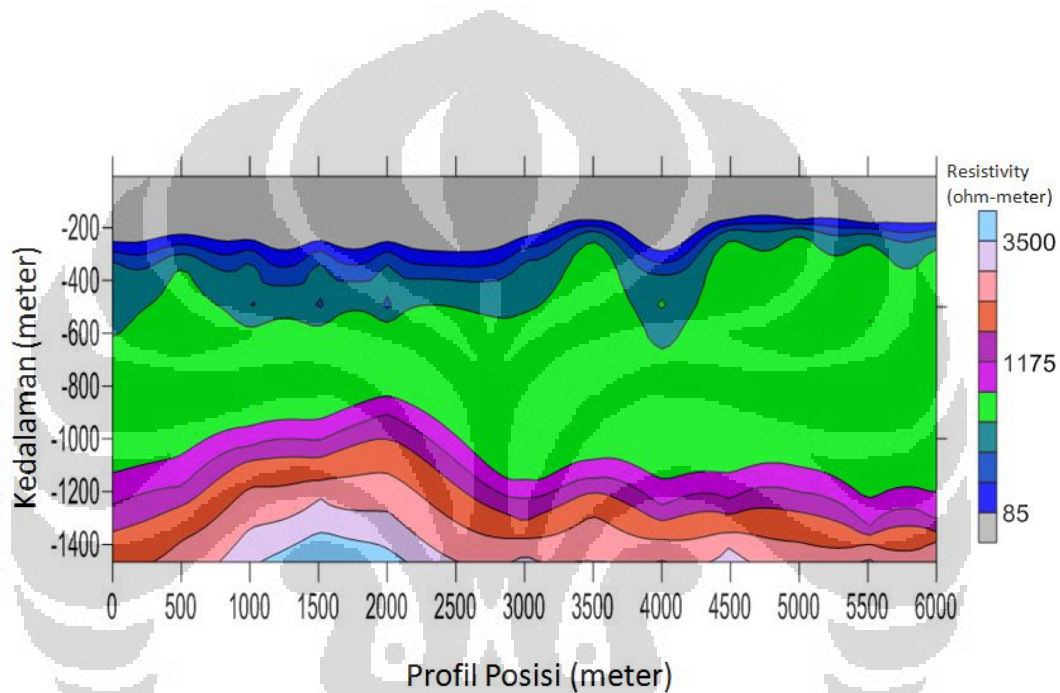


Gambar 4.12 Faktor yang mempengaruhi resistivitas batuan (Ward, 1990)

Faktor yang dapat menurunkan nilai resistivitas yaitu saline brine, alterasi, temperature, tekanan, patahan, shearing. Sementara factor yang meningkatkan nilai resistivitas yaitu adanya kandungan hidrokarbon, adanya proses sementasi karbonat, dan proses silifikasi.

Pada lapisan kedua dan ketiga terjadi peningkatan nilai resistivitas hal ini mengindikasikan adanya hidrokarbon, terutama pada jarak 500-3000 meter dimana daerah tersebut diasumsikan adanya Struktur antiklin yang merupakan jebakan hidrokarbon. Nilai resistivitas yang tinggi mengindikasikan adanya kandungan

hidrokarbon yang terakumulasi pada daerah tersebut, namun tentu saja hal tersebut tidak mutlak adanya karena data resistivitas merupakan data kualitatif yang tentunya harus didukung dengan data litologi maupun data struktural yang ada. Keterbatasan akan adanya data seismik sangat penting peranannya dalam menginterpretasi daerah prospek hidrokarbon. Dengan mengintegrasikan data yang diperoleh akan memudahkan hasil interpretasi yang cenderung memiliki ambiguitas tinggi.



Gambar 4.13 Penampang resistivitas terhadap kedalaman

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

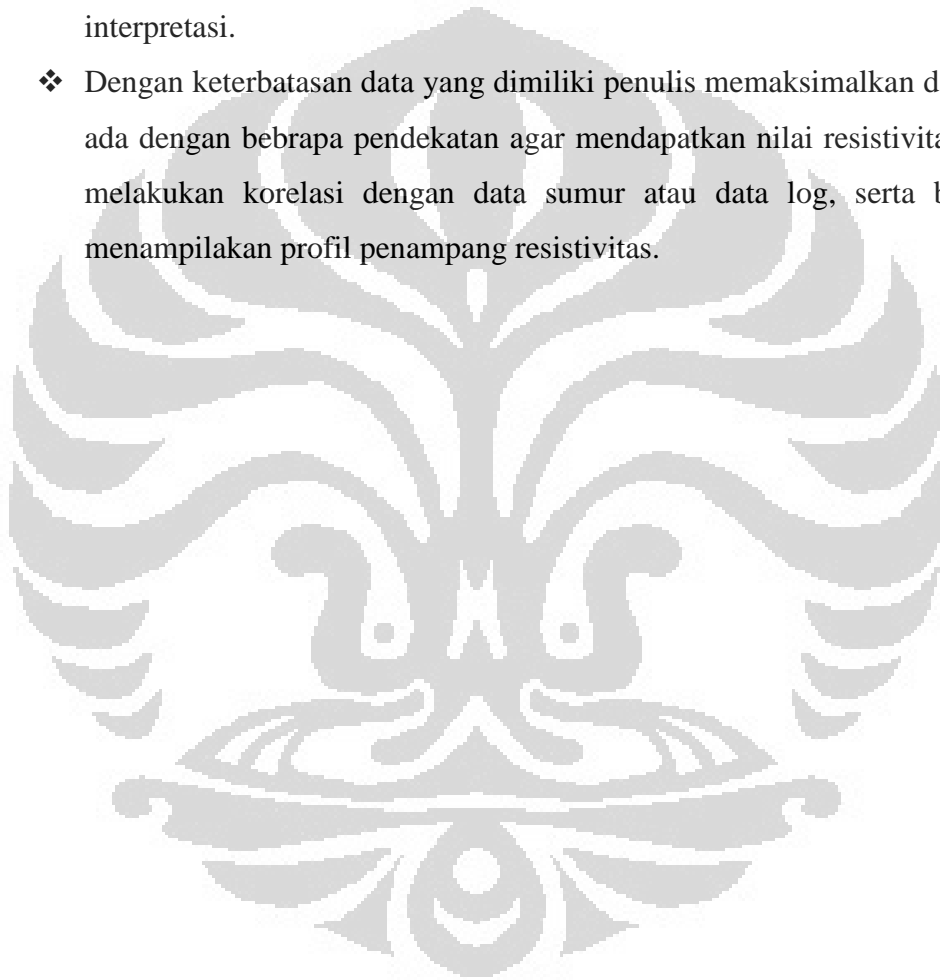
Setelah melakukan penelitian dalam pengolahan data percobaan, beberapa hal yang dapat disimpulkan oleh penulis adalah:

- ❖ Dengan pendekatan formula Transient Electromagnetic (TEM) dapat menghasilkan nilai resistivitas semu pada data percobaan
- ❖ Dari formula TEM yang diperoleh dari beberapa referensi formula Fitterman dan Steward memiliki perbedaan relative 0,37% karena formula tersebut dapat mendefinisikan konfigurasi lebih baik, sehingga menghasilkan resistivitas semu relative baik.
- ❖ Korelasi dapat dilakukan dengan korelasi data sumur atau data log dan pemodelan 1 dimensi.
- ❖ Korelasi pemodelan 1 dimensi dengan Software IX1D memperlihatkan kesamaan antara nilai resistivitas semu yang dihasilkan secara perhitungan otomatis software IX1D dengan nilai resistivitas semu yang dihitung dengan formula TEM dari Fitterman & Stewart.
- ❖ Dari profil resistivitas adanya peningkatan nilai resistivitas dan asumsi adanya struktur antiklin yang merupakan jebakan pada jarak 500- 3000 meter dikedalaman 1000an meter mengindikasikan kemungkinan adanya hidrokarbon. Namun perlu adanya tambahan seperti data seismic, data geologi regional dan lokal untuk memberikan interpretasi yang lebih terpadu guna menambah keyakinan dalam proses pengeboran (menentukan letak titik pengeboran).

5.2 Saran

Hal yang disarankan oleh peneliti untuk dilakukan adalah:

- ❖ Data elektromagnetik ini akan lebih baik dalam proses interpretasi jika diintegrasikan dengan data seismik dan data pendukung lainnya seperti data geologi regional/lokal.
- ❖ Pembuatan program untuk inversi yang dapat menampilkan model bawah permukaan berdasarkan lapisan resistivitas akan sangat membantu proses interpretasi.
- ❖ Dengan keterbatasan data yang dimiliki penulis memaksimalkan data yang ada dengan beberapa pendekatan agar mendapatkan nilai resistivitas semu, melakukan korelasi dengan data sumur atau data log, serta berusaha menampilkan profil penampang resistivitas.



DAFTAR ACUAN

Christensen, N. B., 1995. "Den transiente elektromagnetiske sonderingsmetode". Lecture notes, Department of Earth Sciences, University of Aarhus, pp 38,

Constable, S., 2005. "Marine EM Methodes", Geophysical Corner column in AAPG Explorer

Darnet, M., 2010. "Exploring with CSEM methods: from 2d Profiling to 3D multi-azimuth surveying", EGM Internasional Workshop, Capri-Italy.

Fitterman, DV & Stewart, MT, 1986. "Transient Electromagnetic Sounding for Ground-Water", US Geological Survey vol.51.

Kaufman & Keller, 1983. "Frequency and Transient Soundings", Elsevier, New York.

McNeill, J.D. 1990. *Principles and Application of Time Domain Electromagnetic Tehniques for Resistivity Sounding*, Geonics Technical Note TN-27, Mississauga, Ontario, p.1-15.

Nabighian, M. N, 1979. "Quasi-static transient response of a conducting half-space-An approximated representation" *Geophysics*, v . 44, p. 170&1705.

Niatri, Lusy., 2009. "Extension of Electro-Magnetic data results to reservoir characteristics across a field using template in South Sumatera-A Thesis Proposal", Reservoir Geophysics graduate Program-Departement of Physics-University of Indonesia.

Publikasi WesternGeco, 2009. "Controlled Source Electromagnetic Method"

Sucandra., 2009. "Aplikasi Metode Time Domain Electromagnetic (TDEM) di daerah Prospek Geothermal Tawau, Sabah, Malaysia", SKRIPSI, Departemen FISIKA-FMIPA UI.

Vanderlinde, J., 1993. "Classical Electromagnetic Theory 2nd Ed", *John Wiley & Sons, Inc, US*.

Ward, S. H. and Hohmann, G. W., 1988. "Electromagnetic Methods in Applied Geophysics", Vol. 1, Theory, Society of Exploration Geophysicists, Chapt. 4, pp 131-250,

Westengard, Joakim, 2003. "Integrated interpretation of transient electromagnetic and seismic data", Thesis in Departement of Earth Science University of Aarhus-Denmark.

Widarto, Djedi S, 2010. "Controlled Source Electromagnetic (CSEM) Method in Applied Geophysics: An overview", Slide Workshop EM, EPTC Pertamina.

Zonge, Kenneth L., 1992 "Introduction to TEM", Extracted from Practical Geophysics II, Northwest Mining Association.

