

**IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON “RAE”  
BERDASARKAN DATA MAGNETOTELURIK  
DI DAERAH BULA, MALUKU**

(Skripsi)

Oleh

**GITA PURNA RAE WANUDYA**



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2017**

## **ABSTRACT**

### **IDENTIFICATION THE HIDROCARBON BASIN OF “RAE” ACCORDING TO MAGNETOTELLURIC DATA IN BULA, MALUKU**

**By**

**GITA PURNA RAE WANUDYA**

The research had been performed using Magnetotelluric to get a 2D model based on variations in resistivity of the subsurface rock. The purpose of this study was to determine the hydrocarbon formation zone. The research method to achieve the research objectives, among others, the first filtering performed on the data with a robust process. This process consists of Robust No Weight, Robust Rho Variance and Ordinary Cohenerency. The second step is done to change the format Selection XPR And Edi. A third inversion resistivity model for the review get a 2D cross section. Based on the findings of the eight data processing methods of measurement points obtained information Magnetotelluric rock formations. Formation hidrokrabon What are the areas is research a reservoir and caprock. The layer in 1600 m – 2700 m depth from the surface which resisvity 12 -33  $\Omega\text{m}$  assumed as clay cap. While the layer in 2700 m – 5000 m depth from the surface with high resistivity 41- 250  $\Omega\text{m}$  is assumed as oil sands (reservoir). The trap zone of this hidrocarbon formation categorized into structural trap which is the trap of anticlin

Keyword: Hidrocarbon, Magnetotelluric, 2D model, Reservoir, Caprock

## ABSTRAK

# IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON “RAE” BERDASARKAN DATA MAGNETOTELURIK DI DAERAH BULA, MALUKU

Oleh

GITA PURNA RAE WANUDYA

Telah dilakukan penelitian menggunakan metode Magnetotelurik untuk mendapatkan model 2D berdasarkan variasi resistivitas batuan bawah permukaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan zona formasi hidrokarbon. Metode penelitian yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian antara lain, pertama dilakukan filtering pada data dengan proses robust. proses robust ini terdiri dari *Robust No Weight*, *Robust Rho Variance* dan *Robust Ordinary Cohenerency*. Kedua dilakukan seleksi XPR dan mengubah format Edi. Ketiga dilakukan inversi untuk mendapatkan model penampang 2D resistivitas. Berdasarkan hasil pengolahan data dari delapan titik pengukuran metode Magnetotelurik diperoleh informasi formasi batuan. Formasi hidrokrabon yang terdapat pada daerah penelitian ini adalah reservoir dan *caprock*. Kedalaman sampai dengan 1600 m – 2700 m di bawah permukaan dengan nilai resistivitas 12  $\Omega\text{m}$  - 33  $\Omega\text{m}$  diduga terdapat batu lempung (*clays*) yang diindikasikan sebagai *caprock*. Kedalaman 2700 m sampai dengan 5000 m dibawah permukaan dengan nilai resistivitas 41  $\Omega\text{m}$  – 250  $\Omega\text{m}$  diduga batu pasir terisi minyak (*oil sands*) yang diindikasikan sebagai reservoir. Untuk jebakan atau *trap* pada formasi hidrokarbon ini termasuk pada jebakan struktural, yaitu terdapat jebakan antiklin.

Kata Kunci: Hidrokarbon, Magnetotelurik, Model 2D, Reservoir, *Caprock*

**IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON “RAE”  
BERDASARKAN DATA MAGNETOTELURIK DI DAERAH  
BULA, MALUKU**

**Skripsi**

**Oleh**

**GITA PURNA RAE WANUDYA**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2017**

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI CEKUNGAN  
HIDROKARBON "RAE"  
BERDASARKAN DATA  
MAGNETOTELURIK DI DAERAH  
BULA, MALUKU**

Nama Mahasiswa : **Gita Purna Rae Wanudya**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215051024

Jurusan : Teknik Geofisika

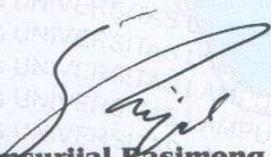
Fakultas : Teknik

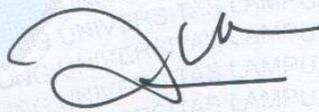
**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

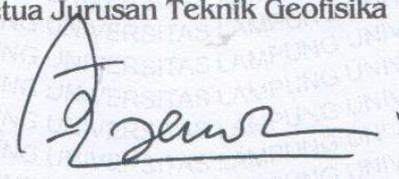
Pembimbing I

Pembimbing II

  
**Syamsurrijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**  
NIP 19730716 200012 1 002

  
**Rustadi, S.Si., M.T.**  
NIP 19720511 199703 1 002

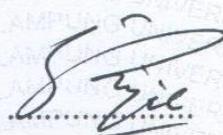
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

  
**Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**  
NIP 19720912 199903 1 001

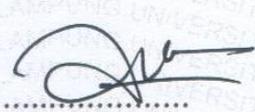
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

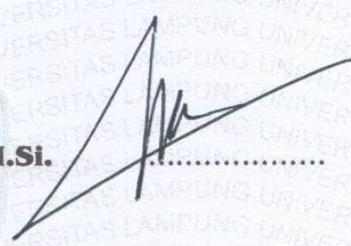
**Ketua**

**: Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.** 

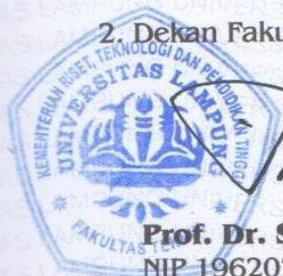
**Sekretaris**

**: Rustadi, S.Si., M.T.** 

**Penguji**

**Bukan Pembimbing : Dr. Muh. Sarkowli, S.Si., M.Si.** 

**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.** 

**NIP 19620717 198730 1 002** 

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Maret 2017**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Maret 2017

Yang Membuat Pernyataan,



**Gita Purna Rae Wanudya**  
NPM. 1215051024

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 22 Juni 1994, dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Pasangan Bapak Suratno dan Ibu Titian Widhiningsih E. Lestari. Penulis pernah menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Tunas Harapan diselesaikan pada tahun 2006.

Penulis melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 8 Bandar Lampung, yang diselesaikan pada tahun 2009, penulis melanjutkan Sekolah Menengah Atas yang ditempuh di SMA Negeri 3 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2012. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik, jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung melalui jalur PMPAP pada tahun 2012.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana di Biro Dana dan Usaha (Danus) periode 2013/2014, 2014/2015. Bendahara dari Geophysics Workshop and Expo (GWES) Universitas Lampung 2015, Anggota Society of Exploration Geophysicist (SEG) Chapter Universitas Lampung 2014, Anggota Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) 2015.

Penulis menyelesaikan Kerja Praktik di Pusat Sumber Daya Geologi Bandung, Jawa Barat pada 5 Desember 2015 dengan judul “Akuisisi Data Magnetotelurik Di Daerah Air Panas Lompio Pada Titik “KW” Kec. Sirenja Kab. Lompio Provinsi Sulawesi Tengah”, kemudian penulis melanjutkan Tugas Akhir tentang Metode Magnetotelurik Hidrokarbon di Pusat Survei Geologi Bandung, Jawa Barat pada 17 September sampai dengan 17 November 2016. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada tanggal 17 April 2017 dengan skripsi yang berjudul **“Identifikasi Cekungan Hidrokarbon “RAE” Berdasarkan Data Magnetotelurik Di Daerah Bula, Maluku”**.

# **PERSEMBAHAN**

**BISMILLAHIRROHMANIRROHIM**

**ATAS RIDHO ALLAH SWT DAN DENGAN SEGALA KERENDAHAN  
HATI**

**KUPERSEMBAHKAN SKRIPSIKU INI KEPADA:**

**BAPAKKU TERCINTA SURATNO DAN IBUKU TERSAYANG TITIAN  
WIDHININGSIH E. LESTARI,**

**TERIMAKASIH UNTUK SETIAP PENGORBANAN, PELUH KERINGAT,  
KESABARAN, KASIH DAN SAYANG, SERTA DOA YANG TIADA HENTI  
DIBERIKAN SEHINGGA AKU MAMPU MEMPERSEMBAHKAN  
KEBERHASILAN INI UNTUK MU BAPAK DAN IBU.**

**KEPADA KAKAKKU ALUNG NUGRAHI JANUBA  
TERIMAKASIH SELALU MEMBERIKAN PENGORBANAN, SEMANGAT,  
MENDUKUNG, DAN MENDOAKAN KEBERHASILANKU.**

**SELURUH KELUARGA BESAR KU YANG SELALU MENDOAKAN DAN  
MENDUKUNG SERTA MENANTIKAN KEBERHASILANKU.**

**ALMAMATERKU TERCINTA UNIVERSITAS LAMPUNG  
TEMPATKU MEMPEROLEH ILMU DAN MERANCANG MIMPI YANG  
MENJADI SEBAGIAN JEJAK LANGKAHKU MENUJU KESUKSESAN.**

## MOTTO

**“Tidak ada orang yang berputus asa dari rahmat Tuhannya, kecuali orang-orang yang sesat.” (QS. Al Hijr ayat 56)**

**“Bahwasannya Datangnya Pertolongan itu Bersama Dengan Kesabaran” (HR. At Tirmidzi)**

**“Don’t Lose The Faith, Keep Praying, Keep Trying”  
(Gita)**

**“All The Impossible is Possible for those who Believe”  
(Gita)**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur saya ucapkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini mengangkat judul “Identifikasi Cekungan Hidrokarbon “RAE” Berdasarkan Data Magnetotelurik Di Daerah Bula, Maluku”. Skripsi ini merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementrian ESDM RI.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bermanfaat guna pembaruan ilmu di masa yang akan datang. Penulis sadar pada skripsi ini masih banyak kesalahan dan jauh dari kata sempurna, untuk itu jika ditemukan kesalahan pada penulisan skripsi ini, kiranya dapat memberikan saran maupun kritik pada penulis. Demikianlah kata pengantar yang dapat penulis sampaikan, apabila ada salah kata saya mohon maaf.

**Penulis**

**Gita Purna Rae Wanudya**

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan yang berjudul “**Identifikasi Cekungan Hidrokarbon “RAE” Berdasarkan Data Magnetotelurik Di Daerah Bula, Maluku**”. Penulis berharap, karya yang merupakan wujud kerja dan pemikiran maksimal serta didukung dengan bantuan dan keterlibatan berbagai pihak ini akan dapat bermanfaat di kemudian hari.

Banyak pihak yang terlibat dalam dan memberikan kontribusi ilmiah, spiritual, dan informasi baik secara langsung maupun tidak langsung hingga terbentuk skripsi ini. Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT dengan segalaridho-Nya.
2. Bapak **Suratno** dan ibu **Titian Widhingsih E. Lestari** serta kakakku tercinta **Alung Nugrahi Januba** yang telah memberikan segala pengorbanan, kasih sayang dan kesabaran serta doa yang di berikan tanpa rasa lelah.
3. **Mas Gallas Andhika S.E** yang telah memberikan semangat, kesabaran dan doa tanpa rasa lelah.
4. Bapak **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T** selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika yang telah memberikan motivasi selama masa perkuliahan.
5. Bapak **Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.**, sebagai Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama penulis menjalani proses perkuliahan.

6. Bapak **Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si** sebagai Pembimbing 1 yang telah banyak memberikan masukan-masukan agar skripsi ini lebih baik lagi.
7. Bapak **Rustadi, M.Si., M.T.**, sebagai Pembimbing 2 yang juga telah banyak memberikan kritik dan saran, sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik lagi.
8. Bapak **Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.**, sebagai penguji dalam proses skripsi penulis.
9. Bapak **Muhammad Noor Indragiri** selaku Pembimbing Lapangan di Pusat Survei Geologi yang telah sabar memberikan materi dan memberi masukan dalam proses Tugas Akhir saya terselesaikan.
10. Bapak **Hidayat** yang telah banyak memberikan masukan dan materi di Pusat Survei Geologi selama proses Tugas Akhir.
11. Bapak dosen Jurusan Teknik Geofisika atas didikan, bimbingan, serta ilmu pengetahuan yang telah diberikan.
12. **Elen Novia Limswipin, Andina Zuhaera, Niar Amalia, Sigit Pratama** teman seperjuangan Tugas Akhir yang selalu menyemangati dan membantu dalam segala hal selama Tugas Akhir.
13. **Elen, Andin, Niar, Lita, Nana, Azis, Vivi, Vee** yang tiada hentinya memberikan doa. Kalian yang selalu menceriakan hari-hari saat di kampus. Tetap semangat ya kawan sampai nanti tetap bersahabat. Sukses untuk kita semua.
14. Teman-teman Teknik Geofisika 2012 (**Bari, Legowo, Ghifari, Andre, Agus, Vee, Andina, Arianto, Bagas, Bella, Betha, Beny, Carta, Dedi Yul, Dedi Adrian, Dimas Suen, Onoy, Edo, Elen, Esha, Ferry, Hanif, Hilman,**

**Irwan, Jordy, Kukuh, Lia Vivi, Lita, Dimastya, Kevin, Made, Medi, Nana, Niar, Dilla, Anta, Aldo, Resti, Rival, Gata, Ryan, Sigit, Soulthan, Virgi, Zhai, Zul)** yang telah memberikan motivasi serta doa. Sukses terus untuk “CILOKOROLAS”.

15. Keluarga besar Teknik Geofisika Universitas Lampung serta almamater tercinta, Terimakasih banyak atas semuanya.

Masih banyak pihak lain yang berperan dalam membantu penulis menyelesaikan skripsi ini, Terimakasih Banyak.

Bandar Lampung, 17 Maret 2017

Mengetahui  
Penulis

Gita Purna Rae Wanudya  
NPM. 1215051024

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2

1.3 Batasan Masalah.....	2
--------------------------	---

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Lokasi Penelitian.....	3
2.2 Geologi Regional .....	4
2.2.1 Fisiografi .....	5
2.2.2 Geomorfologi .....	8
2.3 Stratigrafi.....	9
2.4 Struktur dan tektonika.....	14
2.5 Magnetotelurik untuk eksplorasi hidrokarbon .....	14

## **BAB III. TEORI DASAR**

3.1 Teori Cekungan Hidrokarbon .....	16
3.1.1 Analisa cekungan sedimen .....	17
3.1.2 Struktur geologi dan geodinamika di sekitar cekungan Bula .....	19
3.1.3 Potensi hidrokarbon cekungan Bula .....	19
3.2 Prinsip Dasar Magnetotelurik .....	20
3.2.1 Sumber sinyal metode magnetotelurik .....	22
3.3 Persamaan Pada Metode Magnetotelurik .....	23
3.3.1 Persamaan maxwell .....	23
3.3.2 <i>Skin depth</i> .....	25
3.3.3 Model bumi 2-D .....	27
3.4 Pengolahan Data MT .....	28
3.4.1 Data <i>time series</i> .....	28
3.4.2 Transformasi fourier .....	29
3.5 Sistem Hidrokarbon .....	33
3.5.1 <i>Source rock</i> .....	33
3.5.2 Reservoir .....	33
3.5.3 <i>Caprock</i> .....	34
3.5.4 <i>Trap</i> .....	34

## **BAB IV. METODELOGI PENELITIAN**

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
4.2 Alat dan Bahan.....	36
4.3 Diagram Alir .....	37

4.4 Pengolahan Data.....	38
4.4.1 <i>Raw data</i> .....	38
4.4.2 Transforasi fourier.....	40
4.4.3 <i>Robust processing</i> .....	43
4.4.4 <i>Up coherency</i> .....	45
4.4.5 Seleksi XPR .....	46
4.4.6 Eksport data.....	46
4.4.7 Inversi .....	47

## **BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN**

5.1 Hasil Penelitian .....	48
5.2 <i>Sounding</i> 1-D .....	53
5.3 Model penampang 1D <i>lithology</i> btauan.....	55
5.4 Model penampang resistivitas 1D dan 2D.....	57
5.5 Formasi hidrokarbon data Bula .....	59

## **BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1 Kesimpulan .....	64
6.2 Saran.....	65

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Peta lokasi penelitian .....	3
<b>Gambar 2.</b> Peta geologi daerah penelitian .....	6
<b>Gambar 3.</b> Kolom stratigrafi daerah penelitian .....	11
<b>Gambar 4.</b> Klasifikasi cekungan.....	18
<b>Gambar 5.</b> Fenomena penjalaran gelombang elektromagnetik .....	21
<b>Gambar 6.</b> Medan elektromagnetik akibat <i>lightning</i> .....	22
<b>Gambar 7.</b> Medan elektromagnetik pada <i>solar wind</i> .....	22
<b>Gambar 8.</b> Model 1 impedensi horisontal. ....	26
<b>Gambar 9.</b> Polarisasi modus TE dan TM .....	28
<b>Gambar 10.</b> Bentuk sinyal data <i>time series</i> MT .....	29
<b>Gambar 11.</b> Prinsip transformasi fourier .....	30
<b>Gambar 12.</b> Diagram alir penelitian .....	37
<b>Gambar 13.</b> Jendela <i>raw data</i> .....	38
<b>Gambar 14.</b> Data pada TS3 .....	39
<b>Gambar 15.</b> Make PFT .....	40
<b>Gambar 16.</b> Menu TS to FT .....	41

<b>Gambar 17.</b> Jendela pada <i>proccess</i> .....	42
<b>Gambar 18.</b> Grafik pada <i>Robust Proccessing</i> .....	44
<b>Gambar 19.</b> Edit PRM.....	45
<b>Gambar 20.</b> Seleksi XPR.....	50
<b>Gambar 21.</b> <i>Profile line</i> .....	51
<b>Gambar 22.</b> Model <i>sounding</i> 1-D MT-BL08.....	52
<b>Gambar 23.</b> Model <i>lithology</i> batuan.....	56
<b>Gambar 24.</b> <i>Borehole lithology</i> batuan.....	56
<b>Gambar 25.</b> Model penampang resistivitas 2D hasil korelasi inversi 1D .....	57
<b>Gambar 26.</b> Model penampang 2D hasil inversi 2D .....	58
<b>Gambar 27.</b> Model penampang resistivitas hasil inversi 1D dan 2D.....	59
<b>Gambar 28.</b> Model penampang resistivitas 2D formasi hidrokarbon.....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Klasifikasi cekungan sedimen .....	17
<b>Tabel 2.</b> Jadwal kegiatan penelitian.....	36
<b>Tabel 3.</b> Nilai resistivitas dan kedalaman BL12, BL08 dan 1872M6 .....	53
<b>Tabel 4.</b> Nilai resistivitas dan kedalaman Salm5m1, 1872M7a dan Salas3....	53
<b>Tabel 5.</b> Nilai resistivitas dan kedalaman 1872m9a dan Salm1m11 .....	54
<b>Tabel 6.</b> Nilai resistivitas batuan .....	55

# **BAB I. PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Semakin berkembangnya peradaban, kesejahteraan dan jumlah populasi manusia berdampak pada meningkatnya kebutuhan sumber energi. Hingga saat ini sumber energi sebagian besar bergantung pada energi fosil berupa minyak bumi. Untuk dapat memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat, diperlukan eksplorasi untuk mendapatkan cadangan-cadangan baru.

Keberadaan dan penyebaran minyak bumi dipengaruhi oleh keadaan geologi setempat dan selalu didapatkan dalam suatu cekungan sedimen (Koesoemadinata, 1980). Dalam sistem pembentukan akumulasi minyak dan gas bumi) menurut (Magoon dan Dow, 1994) terdiri dari beberapa unsur yaitu batuan induk (*source rock*), batuan reservoir, lapisan penutup (*seal*), perangkap (*trap*) dan proses migrasi (perpindahan) akumulasi minyak bumi.

Untuk aplikasi hidrokarbon, metode Magnetotelurik memiliki peran besar untuk menentukan cadangan minyak dan untuk membedakan zona water - bearing yang mengandung minyak. Sepanjang 60 tahun terakhir industri minyak pada Elektromagnetik mengalami peningkatan dan metode ini sedang dipertimbangkan untuk aplikasi baru (Strack dan Aziz., 2013).

Survei geofisika terutama dimaksudkan untuk memperoleh informasi mengenai distribusi parameter-parameter fisik di bawah permukaan. Metode magnetotellurik (MT) adalah suatu metode dari geofisika yang bersifat pasif yang memanfaatkan medan elektromagnetik alami sebagai sumber gelombang atau energi untuk mengetahui struktur tahanan jenis bawah permukaan dan sifat fisik batuan yang dapat terukur adalah konduktivitas atau resistivitas batuan. Secara umum batuan dengan porositas tinggi yang berisi gas dan minyak biasanya dicirikan oleh nilai resistivitas yang relatif lebih tinggi. Sebaliknya, jika pengisi pori-pori berupa air maka daerah tersebut memiliki nilai resistivitas yang rendah. Dengan demikian metode magnetotellurik dapat digunakan untuk keperluan eksplorasi sumber daya alam seperti mineral, minyak dan gas bumi (Grandis, dkk., 2005).

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah;

1. Mendapatkan model 2-D variasi nilai resistivitas berdasarkan data Magnetotellurik daerah Bula, Maluku.
2. Menentukan keberadaan zona formasi hidrokarbon berdasarkan hasil pemodelan 2D data Magnetotellurik.

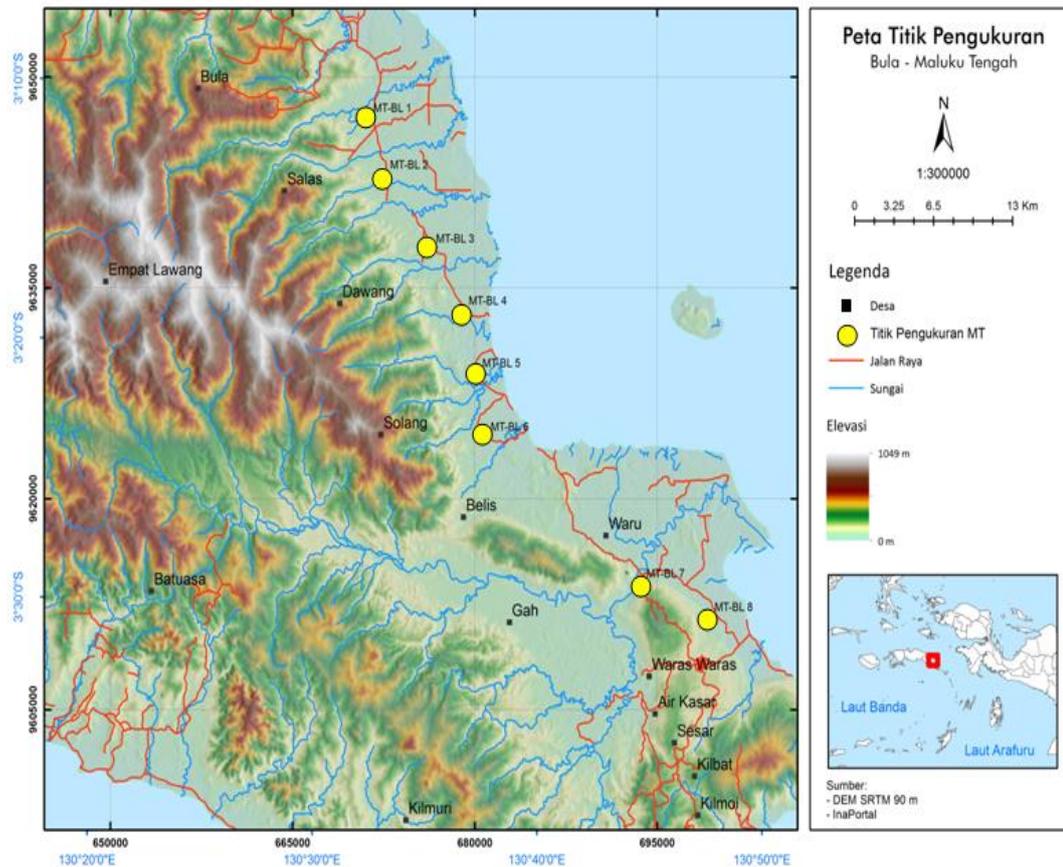
## **1.3 Batasan Masalah**

Penelitian ini hanya menganalisis model 2-Dimensi bawah permukaan dengan menggunakan data sekunder sebanyak delapan titik pengukuran untuk mengetahui formasi hidrokarbon pada cekungan "RAE".

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di wilayah Bula di Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Secara koordinat berada pada  $130^{\circ}00'$  -  $131^{\circ}00'$  BT dan  $2^{\circ}30'$  -  $4^{\circ}00'$  LS. Batas utara dan timur ialah Laut Seram, di selatan Laut Banda dan di barat Lembar Masohi.



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian (Gafoer, dkk., 1993)

## 2.2 Geologi Regional

Keadaan geologi daerah ini belum pernah diselidiki secara teliti dan menyeluruh, Rutten dan Hotz menyelidiki Pulau Seram pada tahun 1917 sampai dengan 1919 dan hasilnya diterbitkan oleh Van der Sluis di tahun 1950. Pada tahun 1975 Paten dan Zillman menyelidiki geologi daerah Bula dalam rangka pencarian minyak dan gasbumi. Beberapa ahli geologi dari Inggris pada tahun 1976 juga melakukan penyelidikan di beberapa tempat di Pulau Seram. Pada **Gambar 2.** merupakan peta geologi daerah Bula.

Daerah Maluku Tengah (Pulau Seram dan Buru) merupakan bagian utara dari Busur Banda yang berbentuk cekungan dengan batuan dasar kerak intermediat (transisi kontingen ke oseanik) atau kerak oseanik dengan sedimen yang tipis. Daerah ini merupakan kelanjutan dari zona subduksi sepanjang Jawa-Nusatenggara (Darman, dkk., 2000).

Menurut kutipan dari artikel Richard B Wells dalam *National Drillers Buyers Guide* (Maret 1997) lapangan minyak Bula ditemukan sekitar tahun 1986, tercatat pernah menghasilkan lebih dari 16 juta *barrel* minyak sejak 1919. Minyak keluar dari lapisan pasir yang dangkal sekitar massa plestosen yang terus diperbarui dari lapisan bebatuan yang lebih dalam, yang diperkirakan berusia jutaan tahun lalu.

Sumur – sumur minyak tua peninggalan Belanda tersebut digerakkan dengan mesin *surface well pump* yang berdiri di atas sumur. Dari *surface well pump*, minyak kemudian dialirkan melalui pipa – pipa mungil yang sebagian sudah karatan. Lalu minyak masih perlu disuling kembali agar kadar airnya

berkurang, sebelum dialirkan menuju tangki – tangki di dermaga Bula, Kabupaten Seram bagian Timur, Provinsi Maluku.

Dalam catatan BP Migas, setiap tahun sumur – sumur yang dikelola oleh perusahaan Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) Kalrez Petroleum dapat menghasilkan 180.000 *barrel* atau 493 *barrel* per hari. Kalrez sudah mulai beroperasi di Bula sejak tahun 1999, mereka mengakuisisi Bula Block PSC seluas 35 km<sup>2</sup> dari Santos Limited.

Ladang minyak lainnya yang ada di Bula berada di daratan agak tinggi. Sumur Oseil yang dikelola oleh Citic Seram Energy Limited (CSEL) dan merupakan pengembangan dari Bula Block PSC. Perusahaan asal Cina tersebut baru dua tahun menjadi operator lapangan minyak Bula Non Block PSC. Sebelum CSEL masuk ke Bula, sampai dengan tahun 2006 lapangan minyak Bula Non Block PSC dikelola oleh Kuwait Foreign Petroleum Exploration Company (Kufpec).

### 2.2.1 Fisiografi

Pulau Seram dan beberapa pulau di bagian Tenggara terletak pada Busur-Banda Luar. Ada beberapa kesamaan topografi pada pulau ini dengan pulau-pulau di Kep. Tanimbar, Pulau Tior dan Pulau Rote yang terletak pada busur Banda Luar. Kesamaan tersebut berupa bukit kecil-kecil yang menonjol, yang biasanya terbentuk dari bongkahan batuan besar dan dikelilingi oleh massa dasar lempungan. Topografi dengan bukit kecil-kecil itu memberikan kesan yang khas dan tampak jelas pada potret udara.



Pada titik pengukuran ke 1 sampai ke 6 terletak pada garis sayatan geologi dengan formasi batuan T<sub>R</sub>JK, KTn, Qa dan Qpf. T<sub>R</sub>JK kanikeh, yaitu perulangan antara batupasir, batulanau dan batu lempung. Dalam formasi ini dijumpai struktur sedimen berupa perairan sejajar, perairan menggelombang dan perairan silangsiur, di beberapa tempat terdapat permukaan erosi yang diikuti oleh perlapisan bersusun dan struktur turbidit lainnya. Formasi ini telah terlipat dan tersesarkan. Fosil yang dijumpai dalam formasi ini adalah jenis *Halobia*.

Selanjutnya yaitu formasi KTn kompleks NIF, batuan yang terdiri dari kalsilitit, serpih dan napal tersebut di Nif dan menyatukan ketiganya menjadi satu satuan stratigrafi yang telah mengalami penggerusan setempat. Umur satuan ini adalah kapur akhir – miosen akhir.

Formasi batuan Tmps termasuk kedalam kompleks salas, berbagai macam bongkahan atau kepingan yang berasal dari batuan sedimen, batuan beku dan batuan malihan yang tidak diketahui sumbernya serta tercenanggakan. Bongkahan atau kepingan batuan sedimen antara lain terdiri dari konglomerat, grewake, batugamping, rijang, batulanau dan batulempung. Batuan beku terdiri dari serpentinit, piroseknit, dunit, gabro, diabas dan diorit. Batuan malihan terdiri dari sekis, genes dan filit.

Bongkahan itu tercampur di dalam massa dasar lempungan yang berwarna kelabu, kehijauan, kemerahan, lunak dan getas. Di tempat tertentu massa dasar berupa lumpur kental yang biasanya disertai haluan (*orientasi*) bongkahan atau kepingannya lumpur tersebut mudah longsor.

Endapan permukaan Qa (aluvium) terdiri dari batulanau, batupasir dan kerikil terdapat di daerah dataran sepanjang S. Bobot dan S. Masiwang serta di

daerah pantai utara dan selatan disekitar muara sungai. Di daerah berawa sekitar Wae (sungai) Semos batuan ini bercampur dengan batulempung, lumpur hitam dan humus.

Qpf termasuk dalam formasi fufa, yaitu batupasir, batulempung dan lensa konglomerat serta gambut. Batuannya berwarna kelabu muda, lunak sampai agak mampat pada umumnya berlapis tipis. Perlapisannya hampir mendatar atau bersudut kemiringan kecil. Di bagian bawah, satuan ini terdiri dari batupasir dengan lensa konglomerat atau batupasir kasar.

Untuk titik pengukuran ke 7 sampai ke 8, di dominasi oleh formasi fufa pada kelompok Qpfl dan Qa (aluvium).

### 2.2.2 Geomorfologi

Morfologi daerah ini dipengaruhi oleh sebaran batuan serta keadaan strukturnya. Setiap satuan morfologi mencerminkan batuan tertentu dengan pola aliran sungainya yang mendaun atau menyiku. Lembar ini dapat dibedakan menjadi tiga satuan Morfologi, yaitu: pegunungan, pebukitan dan perdataran.

#### a. Pegunungan

Terdapat di bagian tengah dan selatan Lembar, tersusun oleh batuan malihan, batupasir dan batugamping Pra-Tersier. Daerah ini dicirikan oleh lembah yang umumnya sempit, lereng yang terjal dan banyak riam atau jeram. Puncak tertinggi mencapai 1071m diatas permukaan laut, terletak 25 km di baratdaya Bula. Puncak yang lainnya ialah Hatu Balimaklam (896m), G. Sofiau (839m) dan G. Langget (660m).

b. Pebukitan

Pebukitan terdapat di bagian utara, timur, sedikit dibagian selatan Lembar dan sekitar S. Bobot-Masiwang; tersusun oleh batupasir, napal, batugamping Tersier dan batuan campuraduk. Daerah ini dicirikan oleh lembah yang agak lebar, lereng bukit agak landai, beberapa kelokan sungai, aliran teranyam dan terjadinya pelebaran limbah, berjulan antara 50 dan 500 m di atas permukaan laut.

c. Dataran

Dataran terdapat di daerah pantai utara, timur, sedikit di selatan, sepanjang dan muara S. Bobot-Masiwang. Daerah ini ditempati oleh endapan sungai dan pantai. Sungai umumnya berkelok dan mempunyai dataran banjir selain aliran teranyam; berjulang antara 0 dan 50 m di atas permukaan laut.

### 2.3 Stratigrafi

Batuan yang tersingkap di Lembar Bula adalah batuan malihan yang terdiri dari sekis Kompleks Kabipolo (Pzta), batuan tersebut diduga berumur Perem dan tertindih tak selaras oleh batuan yang berumur Trias sampai Jura. Di beberapa tempat sentuhannya berupa sesar. Batuan Trias-Jura terdiri dari Formasi Kanikeh ( $T_{RJK}$ ) berupa sediemen tipe “flysch” atau turbidit dan Formasi Manusela ( $T_{RJM}$ ) berupa batugamping. Formasi Kanikeh terdiri dari perulangan batupasir, batulanau dan batulempung. Hubungannya dengan Formasi Manusela menjemari.

Formasi Sawai ( $K_s$ ) terendapkan pada Zaman Kapur, formasi ini menindih takselaras Formasi Kanikeh dan Formasi Manusela. Formasi Sawai terdiri dari kalsiluit yang di beberapa tempat bersisipan serpih merah dan rijang dengan radiolaria. Formasi ini menindih selaras Formasi Sawai, umurnya Paleosen-Eosen.

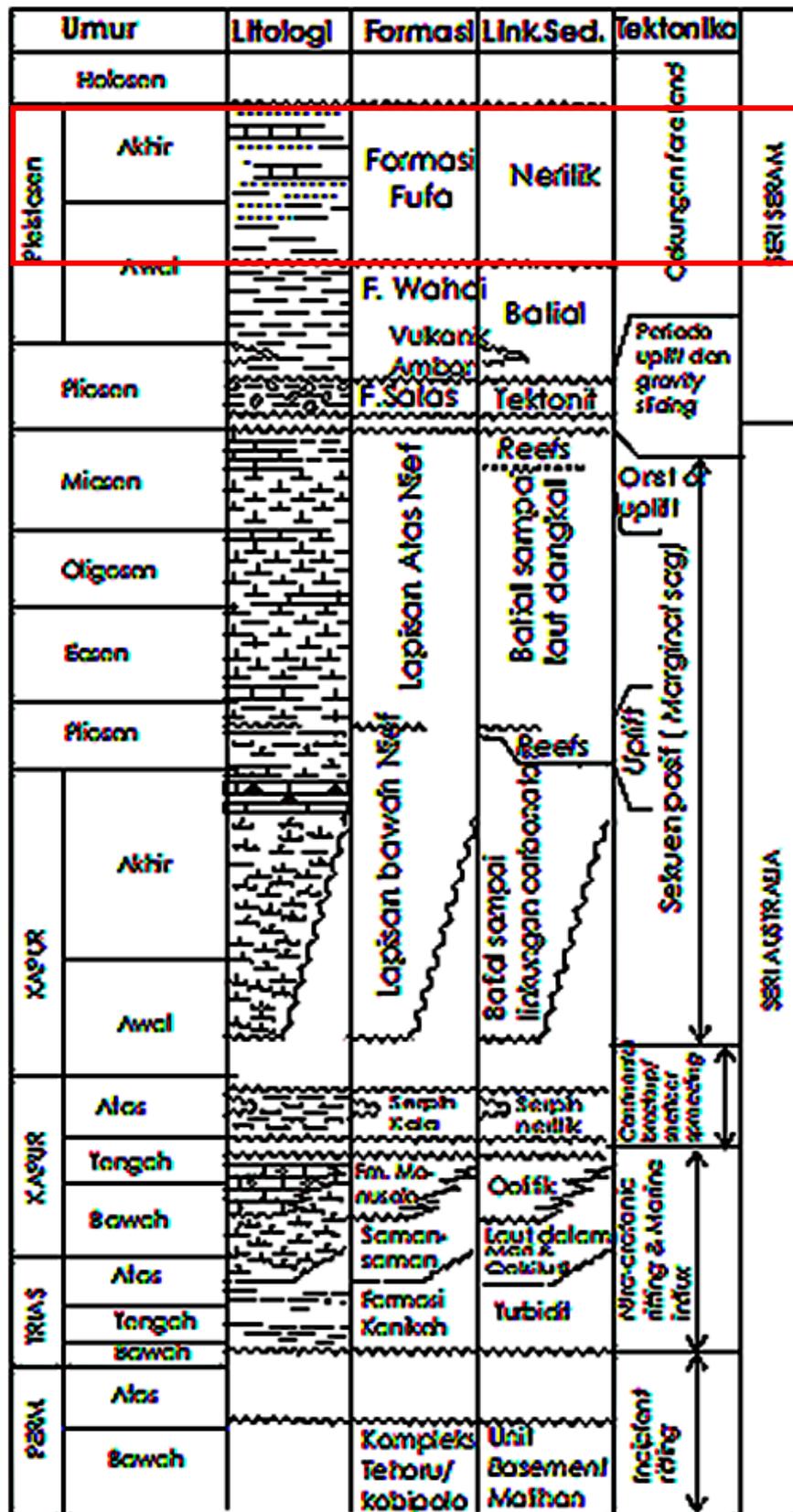
Formasi Selagor (Toms) berumur Oligosen Akhir sampai Miosen Awal yang terendapkan dan menindih selaras Formasi Hatuolo.

Formasi ini terdiri dari batugamping dan napal yang sebagian besar serupa dengan batuan dari Formasi Sawai, Formasi Hatuolo dan Formasi Selagir. Umurnya berkisar dari Kapur Akhir sampai Miosen Akhir. Kumpulan batuan tersebut tidak dapat dipisahkan dan mengalami pergentengan (imbrikasi) serta penggerusan setempat. Kumpulan batuan tersebut dinamakan Kompleks Nif (KTn).

Batuan bancuh yang terdiri dari Kompleks Salas (Tmps) terdiri dari bongkahan batuan sedimen, beku dan malihan dari berbagai umur dan ukuran serta tercampur di dalam massadasar lempungan. Bongkahan tersebut diduga berasal dari satuan yang lebih tua, satuan ini diduga terjadi pada Kala Mio-Pliosen. Kolom stratigrafi daerah penelitian **Gambar 3**.

Kala Pliosen terendapkan Formasi Wahai (Tpw) terdiri dari napal bersisipan batugamping pasiran dan batupasir halus. Hubungan Formasi ini dengan Kompleks tidak jelas dan di beberapa tempat berupa sesar. Di atas Formasi Wahai didapati Formasi Fufa (Qpf) yang berumur Plistosen dan terdiri dari batupasir halus-kasar, batulanau, batulempung, lensa konglomerat dan gambut.

Dibeberapa tempat terdapat batugamping Formasi Fufa (Qpfl). Hubungan formasi tersebut dengan Formasi Wahai adalah selaras. Formasi Fufa tertindih selaras oleh terumbu koral terangkat (Ql) dan aluvium (Qa) (Audley dan Charles, dkk., 1975).



Gambar 3. Kolom stratigrafi daerah penelitian (Kemp dan Magg, 1992)

Formasi dalam Pulau Seram, adalah sebagai berikut:

a. Qa

Aluvium: lanau, pasir dan kerikil, terdapat di sepanjang daerah S. Bobot dan S. Masiwang serta di daerah pantai utara dan selatan disekitar muara sungai.

b. Qpf

Formasi Fufa: batupasir halus, batulanau, batulempung dan lensa konglomerat serta gambut. Batuannya berwarna kelabu muda dan berlapis tipis. Komponen batuan terdiri kuarsa, rijang, batupasir, batulanau dan batulempung yang berwarna kehijauan dengan massadasar pasir yang mengandung mika. Tebal lensa tersebut sampai 20 cm. Satuan ini tersingkap di sekitar W. Masiwang dan W. Semos, di bagian timur Lembar dan sekitar Fufa, tebalnya melebihi 300 m. (Zillman dan Paten, 1975).

c. Qpfl

Anggota batugamping formasi fufa: batugamping berwarna putih, padat, berlapis, mengandung banyak kepingan koral dan ganggang. Bagian bawah terdiri dari konglomerat, terdiri dari batupasir yang padat, batulanau, batulempung, rijang dan batuan malihan. Batugamping foraminifera mengandung hampir 90% plankton dan pengawetan cangkang yang cukup baik. Batu gamping ini pada umumnya menunjukkan hubungan menjemari dengan Formasi Fufa (Qpf).

d. Ql

Terumbu koral terangkat: batugamping koral, beronggaran berstruktur terumbu. Satuan ini terdapat di sekitar P. Parang, P. Akat, P. Seram Rai, P. Seram Laut, Kep. Gorong dan Kep. Watubela.

e. Pzta

Kompleks Kabipoto: sekis mika, sekis tremolit aktinolit, sekis klorit, batupualam, terdaunkan, sekis epidot, sekis amfibol dan genes.

f. Batuan Ultramafik: serpentinit, piroksenit dan dunit, berwarna kelabu tua, kehijauan sampai kehitaman. Batuan ini tersingkap di sebelah tenggara dan selatan P. Seram, P. Tibor, P. Watubela dan P. Gorong.

g. Tmps

Kompleks Salas: bongkahan atau kepingan yang berasal dari batuan sedimen, batuan beku dan batuan malihan yang tidak diketahui sumbernya. Berukuran melebihi 10 m dan mempunyai umur yang berbeda-beda.

h. Tpw

Formasi Wahai: napal berwarna putih kekuningan sampai kelabu muda, lunak dan berlapis tipis sampai setebal dari 1m.

i. KTn

Kompleks NIF: kalsilitit, serpih dan napal yang tidak dapat dipisahkan, litologinya dapat dibandingkan dengan Formasi Sawai, Formasi Hatuolo dan Formasi Selagor.

j. Toms

Formasi Selagor: batugamping di beberapa tempat kalsilitit, napal dan bersisipan serpih, berwarna putih, kelabu dan coklat, agak kompak.

k. Teh

Formasi Hatuolo: serpih pasiran berwarna merah bata-kecoklatan, berlapis baik.

l. Ks

Formasi Sawai: kalsilitit, berwarna putih sampai kekuningan.

m. T<sub>R</sub>JM

Formasi Manusela: batugamping berwarna putih kotor sampai kelabu, berlapis baik di bagian bawah dan makin ke atas per lapisannya makin kabur.

n. T<sub>R</sub>JK

Formasi Kanikeh: perulangan antara batupasir, bataulanau dan batulempung yang merupakan sedimen tipe “flysch”.

## 2.4 Struktur dan Tektonika

Sebagian besar batuan di Lembar Bula, yang umurnya berkisar Pra-Tersier sampai Miosen telah terlipat kuat dan tercenangga. Bagian ini meliputi batuan malihan, Formasi Kanikeh, Formasi Manusela, Formasi Sawai, Formasi Hatuolo, Formasi Selagor dan Kompleks Nif. Batuan yang lebih muda seperti Formasi Fufa dan Formasi Wahai, terlipat lebih lemah dengan sumbu lipatan secara umum hampir sejajar dengan arah memanjang P. Seram (Zillman dan Paten, 1975).

## 2.5 Magnetotelurik Untuk Eksplorasi Hidrokarbon

Selama ini metoda seismik menjadi andalan utama dalam eksplorasi minyak dan gas bumi di Indonesia. Namun dalam beberapa kasus metoda seismik memiliki keterbatasan, yaitu kurang efektif pada daerah dengan topografi kasar,

tidak dapat menembus daerah dengan tutupan batuan vulkanik, karst dan sebagainya. Dalam kasus tersebut metoda MT dapat membantu dan melengkapi metoda seismik.

Pengukuran MT telah dilakukan pada dua lintasan di lapangan minyak Kawengan dan satu lintasan di daerah prospek Banyuasin, keduanya terletak pada cekungan Jawa Timur bagian utara. Tujuan studi ini adalah menjajaki kemungkinan keberadaan reservoir karbonat dari formasi Kujung di bawah reservoir klastik dangkal yang cukup produktif di lapangan Kawengan. Khusus untuk daerah prospek Banyuasin, survey MT dimaksudkan untuk membantu memperjelas adanya bumbungan karbonat (*carbonate build-up*) yang kurang jelas pada data seismik (Grandis dkk., 2005)

Survey MT telah dilaksanakan di lapangan minyak Kawengan, lapisan terbawah dengan resistivitas cukup tinggi di atas 500  $\Omega$ m diinterpretasikan sebagai formasi Kujung, kedalaman formasi Kujung adalah 3000 meter pada sisi utara dan selatan struktur Kawengan dan menjadi dangkal sampai kedalaman sekitar 2000 meter di pusat struktur antiklin.

Hasil pemodelan MT telah dapat mengkonfirmasi keberadaan bumbungan karbonat sepanjang lintasan yang melalui daerah prospek Banyuasin sebagaimana diindikasikan oleh data seismik. Bumbungan tersebut memiliki *platform* pada kedalaman 3000 meter dan mencapai puncaknya pada kedalaman sekitar 1700 - 2000 meter di bawah permukaan (Grandis dkk., 2005).

## **BAB III. TEORI DASAR**

### **3.1 Teori Cekungan Hidrokarbon**

Cekungan sedimen merupakan akumulasi sedimen yang memegang peranan penting bagi akumulasi minyak dan gas bumi. Di dunia ini terdapat lebih dari 600 cekungan sedimen, dan sekitar seperempatnya telah menghasilkan minyak. Karena pembebanan dan persyaratan temperature yang dibutuhkan untuk mematangkan zat organik, maka kebanyakan minyak bumi akan ditemukan di dalam cekungan sedimen.

Cekungan sedimen mengalami penurunan dari permukaan bumi, disebabkan oleh penurunan (*subsidence*) yang menerima lebih besar dari ketebalan sedimen rata-rata. Kebanyakan cekungan terisi sedimen sampai dengan kedalaman 2 km, dan beberapa mungkin berisi 10 km atau lebih atau pada umumnya mengandung paling tidak sedikit bahan organik untuk pematangan menjadi minyak bumi.

Kehadiran minyak bumi tergantung pada cekungan dan sangat bergantung pada batuan sumber, perkembangan reservoir, jalan migrasi, pembentukan perangkap, dan keberadaan batuan penutup yang baik (Moehadi, 2011).

### 3.1.1 Analisa Cekungan Sedimen

Cekungan sedimen adalah suatu daerah rendahan yang terjadi akibat proses tektonik, dimana sedimen terendapkan. Dengan demikian cekungan sedimen merupakan depresi sehingga sedimen terjebak di dalamnya. Depresi ini terbentuk oleh suatu proses nendatan (*subsidence*) dari permukaan bagian atas suatu kerak. Penyebab yang terjadi pada nendatan di antaranya adalah: penipisan kerak, penebalan mantel litosfer, pembebanan batuan sedimen dan gunungapi, pembebanan tektonik, pembebanan subkerak, aliran atmosfer dan penambahan berat kerak (Boggs, 2001). **Gambar 4.**, menunjukkan klasifikasi cekungan yang terbentuk.

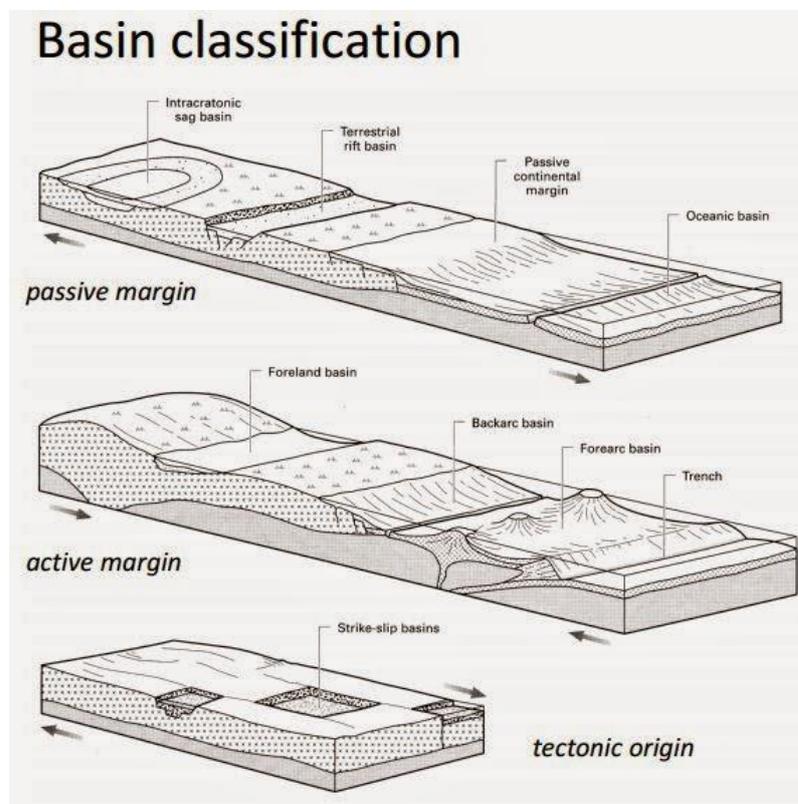
**Tabel 1.** Klasifikasi cekungan sedimen (Selley, 1988)

PROSES PENYEBAB TERBENTUKNYA	TIPE CEKUNGAN	TATAAN TEKTONIK LEMPENG
<i>Crustal sag</i>	Cekungan intrakraton	<i>Intra-plate collapse</i>
Puntir ( <i>tension</i> )	<i>Epicratonic downward rift</i>	Tepian lempeng pasif <i>Sea-floor spreading</i>
Tekanan ( <i>compression</i> )	Palung ( <i>trench</i> ) Busur depan ( <i>force-arc</i> ) Busur belakang ( <i>back-arc</i> )	Subduksi (tepiian lempeng aktif)
<i>Wrenching</i>	<i>Strike-slip</i>	Gerakan mendatar lempeng

Sedimen yang mengisi suatu cekungan merupakan faktor yang sangat penting untuk dipelajari dalam analisa cekungan sedimen yang bersangkutan. Sedimen tersebut dipelajari bagaimana proses terbentuknya, sifat batuan dan aspek ekonominya. Proses pembentukan sedimen meliputi pelapukan, erosi,

transportasi dan pengendapan, sifat-sifat fisik, kimia dan biologi batuan; lingkungan pengendapan, dan posisi stratigrafi. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses pengendapan dan sifat sedimen adalah:

- a. Litologi batuan induk, akan sangat mempengaruhi komposisi sedimen yang berasal dari batuan tersebut.
- b. Topografi dan iklim dimana batuan induk berada, mempengaruhi kecepatan denudasi yang menghasilkan sedimen yang kemudian diendapkan dalam cekungan.
- c. Kecepatan penurunan cekungan bersamaan dengan kecepatan kenaikan/penurunan muka laut.
- d. Ukuran dan bentuk dari cekungan.



**Gambar 4.** Klasifikasi cekungan (Boggs, 2001)

### 3.1.2 Struktur Geologi dan Geodinamika di sekitar Cekungan Bula

Kawasan Indonesia timur, termasuk Busur Banda adalah tempat berinteraksinya lempeng-lempeng aktif di dunia yakni Lempeng Filipina (bagian Lempeng Asia), Lempeng Laut Banda, Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. Rezim tektonik pada interaksi tersebut melahirkan sesar besar yang berasosiasi dengan vulkanisme dan lipatan. Salah satu akibat lainnya dari interaksi beberapa lempeng tersebut adalah terbentuknya rangkaian busur luar, busur dalam (busur vulkanik) dan cekungan-cekungan sedimentasi yang disertai dengan kompleksitas deformasi litologi (De Smet, 1999).

Berdasarkan data geologi, gaya utama pembentuk struktur di sekitar kawasan ini berasal dari arah timur laut dan dari selatan ke utara yang aktif sejak awal Mesozoikum (Visher dan Hermes, 1962). Dua gaya berasal dari Lempeng Samudra Pasifik (timur laut), dan Lempeng Laut Banda (selatan). Kedua gaya tersebut secara bersama-sama mendorong kerak benua mikro Seram yang sudah mulai bergerak ke barat disertai dengan pembentukan sesar-sesar naik di bagian selatan Seram yang menyebabkan batuan-batuan ultramafik dan bancuh (*ultramafic and collision complex mélange*) tersingkap (Atmawinata dan Ratman, 1982).

### 3.1.3 Potensi Hidrokarbon Cekungan Bula

Asal mula minyak bumi di Cekungan Seram saat ini masih menjadi bahan perbincangan. Minyak bumi di cekungan Bula berasal dari batuan induk lapisan Trias dan Kapur, Di samping itu ada juga yang berpendapat bahwa minyak bumi berasal dari lapisan Plio-Pleistosen yang diendapkan dalam lingkungan laut terbuka dan terbentuk secara cepat (Zilman dan Paten, 1975). Seandainya minyak

bumi berasal dari batuan induk Plio- Plistosen, yakni Formasi Wahai, matidak menutup kemungkinan akan terjadi migrasi sekunder berupa migrasi tektonis (*tectonic migration*) ke batuan Pratersier, di samping migrasi ke lapisan batuan yang lebih muda.

Dinamika tektonis di daerah ini yang sangat kuat dan aktif mengakibatkan perlipatan kuat, sesar-sesar naik, dan kontak-kontak tektonis antar formasi. Perlipatan ini terbentuk akibat *flexure* batuan dasar kerak granitan oleh tektonis dan pembebanan sedimentasi di daerah *fore land*-nya. Di Cekungan Seram terdapat Formasi Manusela yang berumur Mesozoikum yang memenuhi syarat sebagai reservoir (Tjokrosoepoetro, dkk., 1993).

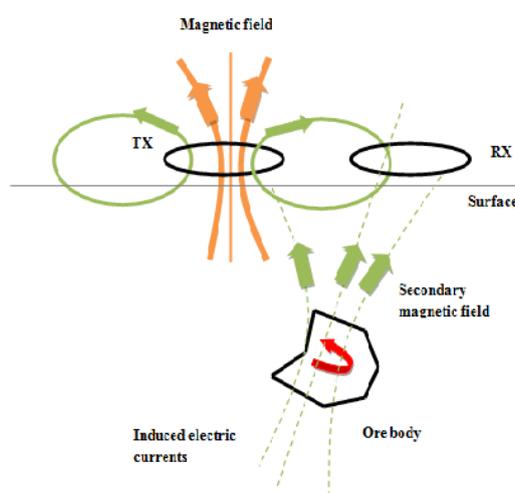
Keadaan yang demikian bisa saja merupakan asal mula minyak bumi di lapangan Nief atau Oseil Field pada Formasi Manusela di Cekungan Bula, walaupun masih harus dibuktikan secara geokimia lebih teliti. Keadaan struktur geologi di daerah ini juga penting untuk diperhatikan karena sebagian besar perangkap hidrokarbon di daerah ini adalah perangkap struktur. Peta turunan tegak kedua dan peta anomali sisa Cekungan Seram memperlihatkan adanya suatu closures di beberapa tempat, yaitu di sekitar lapangan Bula yang diperkirakan merupakan antiklin.

### **3.2 Prinsip Dasar Metode Magnetotelurik**

Metode magnetotelurik merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan variasi medan elektromagnetik yang terdapat pada permukaan bumi. Variasi medan tersebut berasal dari batuan-batuan di bawah permukaan bumi yang terinduksi oleh medan elektromagnetik yang terdapat pada atmosfer bumi. Medan elektromagnetik di permukaan bumi diukur menggunakan alat

akuisisi data magnetotellurik. Variasi medan elektromagnetik yang terukur nantinya diterjemahkan menjadi nilai resistivitas yang kemudian dimodelkan baik secara vertikal maupun lateral. Dari model tersebut dapat diprediksi jenis-jenis dan susunan batuan yang terdapat di bawah permukaan bumi (Vozoff, 1991).

Metode Magnetotellurik (MT) adalah salah satu metode elektromagnetik domain frekuensi yang memanfaatkan variasi alami medan magnet bumi sebagai sumbernya. Variasi pada medan magnet bumi alami tersebut menghasilkan interval frekuensi dari 0,001Hz sampai dengan  $10^4$ Hz. Interval frekuensi MT yang lebar memberikan informasi untuk mempelajari sifat kelistrikan bawah permukaan Bumi dari permukaan hingga kedalaman yang besar. Interval frekuensi yang lebar tersebut juga mengartikan bahwa metode ini dapat mengatasi masalah lapisan *overburden* yang konduktif dan memiliki penetrasi kedalaman yang besar. Metode MT mengukur medan listrik dan magnet pada dua arah yang saling tegak lurus. Hal ini dapat memberikan informasi penting terkait *electrical anisotropy* di wilayah tertentu, **Gambar 5.** merupakan penjalaran gelombang elektromagnetik (Daud, 2010).



**Gambar 5.** Fenomena penjalaran gelombang elektromagnetik (Unsworth, 2006)

### 3.2.1 Sumber Sinyal Metode Magnetotelurik

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

- a. Sinyal yang berfrekuensi antara 1-10 kHz, medan elektromagnetik alamiah ini dihasilkan dari atmosfer bumi akibat aktivitas cuaca ataupun kilat (*lightning*), dapat dilihat pada **Gambar 6**.
- b. Sinyal berfrekuensi di bawah 1Hz, berasal dari fluktuasi medan magnet bumi yang disebabkan oleh perubahan dalam *magnetosphere*. *Magnetosphere* adalah zona kompleks plasma yang secara konstan terdorong oleh *solar wind*.

**Gambar 7**. menunjukkan medan elektromagnetik oleh *solar wind*.



**Gambar 6.** Medan elektromagnetik akibat *lightning* (Daud, 2010)



**Gambar 7.** Medan elektromagnetik pada *solar wind* (Daud, 2010)

### 3.3 Persamaan Pada Metode Magnetotelurik

#### 3.3.1 Persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell merupakan sintesa hasil-hasil eksperimen (empiris) mengenai fenomena listrik–magnet yang didapatkan oleh Faraday, Ampere, Gauss, Coulomb disamping yang dilakukan oleh Maxwell sendiri. Dalam bentuk diferensial, persamaan Maxwell dalam domain frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut:

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

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \mathbf{q} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

Dimana  $\mathbf{E}$  : medan listrik (Volt/m)

$\mathbf{B}$  : fluks atau induksi magnetik (Weber/m<sup>2</sup> atau Tesla)

$\mathbf{H}$  : medan magnet (Ampere/m)

$\mathbf{j}$  : rapat arus (Ampere/m<sup>2</sup>)

$\mathbf{D}$  : perpindahan listrik (Coloumb/m<sup>2</sup>)

$\mathbf{q}$  : rapat muatan listrik (Coloumb/m<sup>3</sup>)

Persamaan (1) diturunkan dari hukum Faraday yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik menyebabkan medan listrik dengan gaya gerak listrik berlawanan dengan variasi fluks magnetik yang menyebabkannya. Persamaan (2) merupakan generalisasi teorema Ampere dengan memperhitungkan hukum kekekalan muatan. Persamaan tersebut menyatakan bahwa medan magnet timbul akibat fluks total arus listrik yang disebabkan oleh arus konduksi dan arus

perpindahan. Persamaan (3) menyatakan hukum Gauss yaitu fluks elektrik pada suatu ruang sebanding dengan muatan total yang ada dalam ruang tersebut. Sedangkan persamaan (4) yang identik dengan persamaan (3) berlaku untuk medan magnet, namun dalam hal ini tidak ada monopol magnetik.

Hubungan antara intensitas medan dengan fluks yang terjadi pada medium dinyatakan oleh persamaan berikut;

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (5)$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (6)$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} = \frac{\mathbf{E}}{\rho} \quad (7)$$

Dimana  $\mu$  : permeabilitas magnetik (Henry/m)

$\epsilon$  : permitivitas listrik (Farad/m)

$\sigma$  : konduktivitas ( $\text{Ohm}^{-1}/\text{m}$  atau Siemens/m)

$\rho$  : tahanan jenis ( $\text{Ohm}/\text{m}$ )

Untuk menyederhanakan masalah, sifat fisik medium diasumsikan tidak bervariasi terhadap waktu dan posisi (homogen isotropik). Dengan demikian akumulasi muatan seperti dinyatakan pada persamaan (3) tidak terjadi dan persamaan Maxwell dapat dituliskan kembali sebagai berikut:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (8)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (9)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (10)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (11)$$

Tampak bahwa dalam persamaan Maxwell yang dinyatakan oleh persamaan (3) hanya terdapat dua variabel yaitu medan listrik  $\mathbf{E}$  dan medan magnet  $\mathbf{H}$ . Dengan operasi curl terhadap persamaan (8) dan (9) serta mensubstitusikan besaran-besaran yang telah diketahui pada persamaan (3) akan kita peroleh pemisahan variabel  $\mathbf{E}$  dan  $\mathbf{H}$  sehingga,

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = -\mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (12)$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} = -\mu\sigma \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \quad (13)$$

Dengan memperhatikan identitas vektor  $\nabla \times \nabla \times \mathbf{x} = \nabla \nabla \cdot \mathbf{x} - \nabla^2 \mathbf{x}$  dimana  $\mathbf{x}$  adalah  $\mathbf{E}$  atau  $\mathbf{H}$ , serta hubungan yang dinyatakan oleh persamaan (10) dan (11), maka kita dapatkan persamaan gelombang (persamaan Helmholtz) untuk medan listrik dan medan magnet sebagai berikut (Jones, 1983).

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (14)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \quad (15)$$

### 3.3.2 Skin Depth

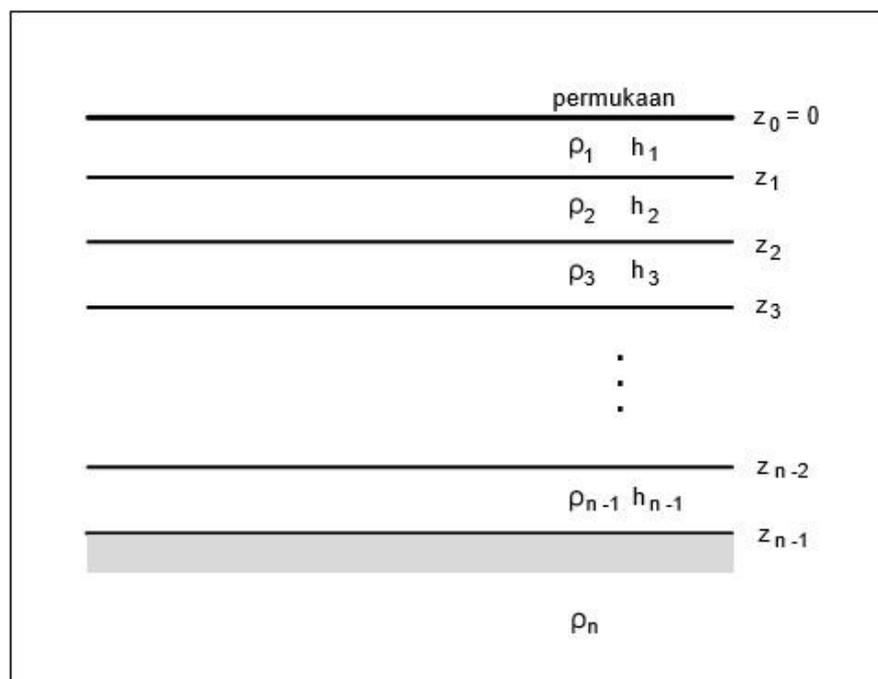
*Skin Depth*  $\delta$  didefinisikan sebagai kedalaman dimana amplitudo gelombang berkurang hingga lebih menjadi sepertiga amplitudo awal. Dalam medium 1-D yang homogen, diperoleh:

$$\delta = 0.5 \sqrt{\rho T} \quad (16)$$

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ (km)} \quad (17)$$

Metoda sounding MT dilakukan dengan merekam data berupa variasi medan listrik dan medan magnet pada beberapa perioda tertentu. Jika tahanan-jenis hanya bervariasi terhadap kedalaman, maka model yang digunakan untuk merepresentasikan kondisi ini adalah model 1-dimensi (1-D).

Dalam hal ini parameter model adalah tahanan-jenis dan ketebalan tiap lapisan dengan lapisan terakhir berupa medium homogen. **Gambar 8.** adalah model 1 dimensi yang terdiri dari  $n$  - lapisan horisontal homogen (bumi berlapis horisontal). Parameter model adalah tahanan-jenis ( $\rho$ ) dan ketebalan ( $h$ ) tiap lapisan, lapisan terakhir adalah half-space dengan ketebalan tak berhingga (Pellerin dan Hohmann, 1990).



**Gambar 8.** Model 1 impedensi horisontal (Pallerin dan Hohmann, 1990)

### 3.3.3 Model Bumi 2-D

Untuk dapat merepresentasikan kondisi bawah-permukaan secara lebih realistis maka digunakan model 2-D dimana resistivitas bervariasi terhadap kedalaman ( $z$ ) dan jarak dalam arah penampang atau profil ( $y$ ) sehingga  $\rho(y, z)$ . Dalam hal ini resistivitas medium tidak bervariasi dalam arah sumbu  $x$  yang merupakan arah struktur (*strike*) (Grandis, 1997).

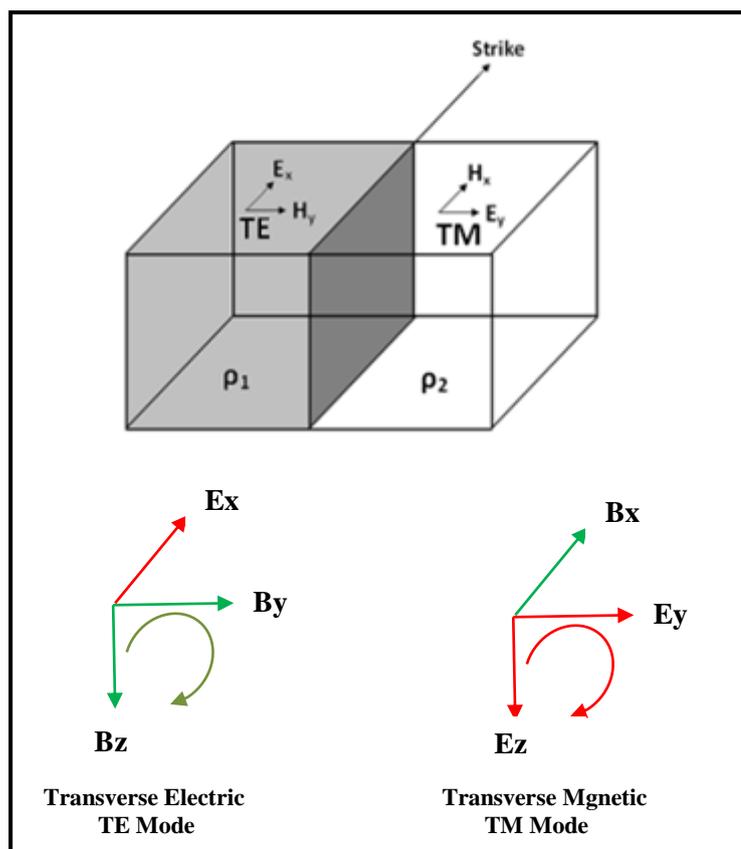
Dalam kasus bumi tidak homogen (2-Dimensi) dikenal dengan adanya modus TE (*Transverse Electric*) dan TM (*Tranverse Magnetik*) yang ditunjukkan pada **Gambar 9**. Pada kasus 2 dimensi, nilai resistivitas tidak hanya bervariasi secara vertikal tetapi juga horisontal. Polarisasi tersebut berhubungan dengan arah *strike* kondisi lapangan pengukuran.

Dikatakan modus TE adalah medan listrik sejajar dengan *strike* dan medan magnet tegak lurus dengan *strike*. Jika *strike* diasumsikan arah  $x$ , maka  $E$  berada pada arah  $x$  dan  $B$  pada  $y$  dan  $z$ .

$$\frac{\partial B_z}{\partial y} - \frac{\partial B_y}{\partial z} = \mu\sigma E_x ; \frac{\partial E_x}{\partial z} = -i\omega B_y ; -\frac{\partial E_x}{\partial y} = -i\omega B_z \quad (18)$$

Modus TM adalah medan magnet sejajar dengan *strike* dan medan listrik tegak lurus dengan *strike*. Sehingga modus TM lebih efektif dalam melokalisir perlapisan antara daerah yang berbeda resistivitasnya (Xiao, 2004).

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -i\omega B_x ; \frac{\partial B_x}{\partial z} = \mu\sigma E_y ; -\frac{\partial B_x}{\partial y} = \mu\sigma E_z \quad (19)$$



**Gambar 9.** Polarisasi modus TE dan TM (Xiao, 2004)

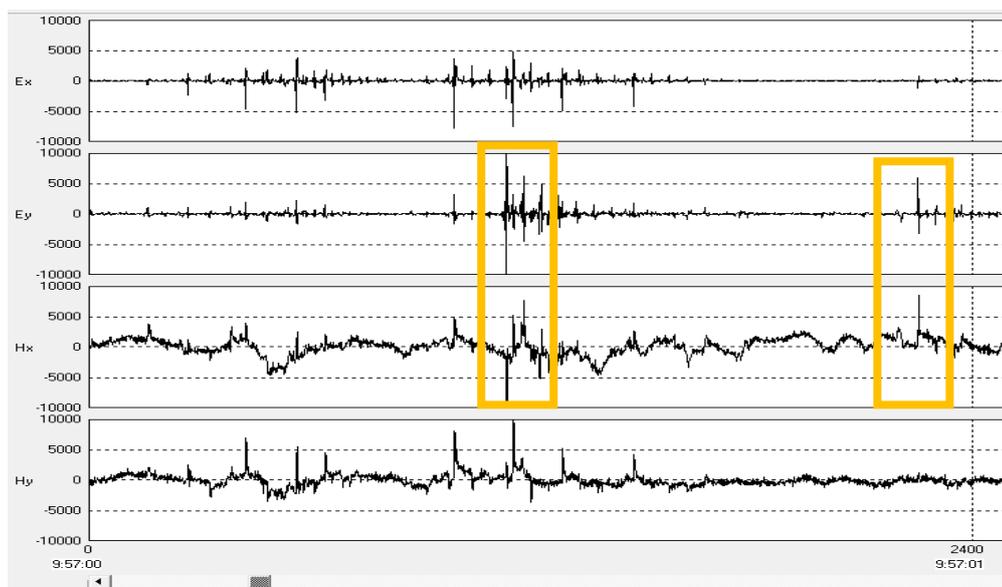
### 3.4 Pengolahan Data MT

Pengolahan data MT dilakukan dari data mentah berupa *time series* sampai diperoleh nilai resistivitas semu dan fase. Langkah awal yang dilakukan dalam pengolahan data tersebut adalah mengubah domain data *time series* dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Hal tersebut dilakukan dengan menggunakan transformasi Fourier (Munadi, 2002).

#### 3.4.1 Data *Time Series*

*Digital time series* dikumpulkan selama survey MT, totalnya mencapai beberapa gigabytes. Namun ada data yang akan diinterpretasi dengan menggunakan skematik model numerik terdiri dari beberapa ratus data per titik

pengukuran yang diinterpretasikan frekuensi yang bergantung pada fungsi transfer. Salah satu *time series* terdiri dari informasi tentang banyak periode, dan penetrasi kedalaman. Sinyal yang terekam pada alat MT terlihat pada kotak berwarna kuning pada **Gambar 10**.



**Gambar 10.** Bentuk sinyal data *time series* MT (Simpson dan Bahr, 2005)

### 3.4.2 Transformasi Fourier

Secara prinsip, transformasi fourier adalah suatu operasi matematis yang merubah sinyal menjadi spektrum. Proses tranformasi ke dalam domain frekuensi ini dilakukan karena parameter fisis seperti impedensi, resistivitas semu, dan fase merupakan fungsi frekuensi.

Dalam data MT, transformasi fourier biasanya digunakan untuk mengubah *time series* komponen terukur ( $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ,  $E_x$  dan  $E_y$ ) ke dalam domain frekuensi (Simpson dan Bahr, 2005). Prinsip transformasi Fourier dapat dilihat pada **Gambar 11**.



**Gambar 11.** Prinsip Transformasi Fourier (Munadi, 2002)

Transformasi Fourier dari fungsi suatu operasi matematis yang mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi.

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{i\omega t} dt \quad (20)$$

Dimana  $x(\omega)$  : fungsi gelombang (dalam domain frekuensi)

$x(t)$  : fungsi gelombang (dalam domain waktu)

$i$  : bilangan imajiner

$\omega$  : frekuensi angular ( $2\pi f$ )

Dalam proses komputasi ada beberapa teknik yang dapat dilakukan dalam melakukan transformasi fourier, yaitu:

a. *Discrete Fourier Transform* (DFT)

Transformasi Fourier diskrit adalah transformasi fourier yang dihitung secara langsung.

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n W^{-ak} \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N-1) \quad (21)$$

dengan  $W = e^{i\Omega T}$  dan  $\Omega = \frac{2\pi}{NT}$

b. *Fast Fourier Transform* (FFT)

*Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan teknik komputasi yang mampu untuk menangani transformasi fourier dari data diskrit dengan jumlah yang

banyak secara efisien. Efisiensinya terutama berawal dari kemampuannya untuk memanfaatkan sifat-sifat periodik yang terdapat dalam fungsi-fungsi sinus maupun cosinus. Pada persamaan berikut  $\mathbf{G}_k$  merupakan suku genap dan  $\mathbf{H}_k$  merupakan suku ganjil.

$$\mathbf{F}_k = \mathbf{G}_k + \mathbf{W}^{-k} \mathbf{H}_k \quad (22)$$

dengan  $\mathbf{G}_k = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} \mathbf{g}_n (\mathbf{W}^2)^{-ak}$  dan  $\mathbf{H}_k = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} \mathbf{h}_n (\mathbf{W}^2)^{-ak}$

Ada beberapa hal penting yang perlu diperhatikan sebelum menggunakan teknik FFT (Munadi, 2002), yaitu:

- Data yang dimasukkan harus dalam bentuk digital dengan interval sampling yang tetap ( $\Delta t$ ).
- Banyaknya data digit  $N$  akan mendefinisikan bentuk dari deret waktunya dan jumlahnya harus diatur agar  $N = 2m$ , dengan  $m$  adalah bilangan bulat positif.
- FFT akan menganggap deret waktu  $f(t)$  sebagai fungsi periodik dengan periode  $N\Delta t$ .
- Dalam domain frekuensi, interval frekuensinya adalah  $\Omega = \frac{2\pi}{N\Delta t}$

Sebelum data ini diolah menjadi data impedensi, kita perlu menghilangkan efek bias yang ditimbulkan dari *noise*. Proses penghilangan *noise* ini dilakukan dengan teknik *robust*. Teknik ini dilakukan dengan mengeleminasi pengaruh dari titik data (disebut dengan outlier) yang tidak mempresentasikan keseluruhan data. Proses perhitungan teknik robust ini sendiri melibatkan algoritma yang setipe dengan algoritma teknik *least square*, tetapi dengan menghitung bobot dari tiap data (Simpson dan Bahr, 2005).

Kemudian setelah noise data dikurangi dengan teknik *robust*, kita dapat menghitung nilai impedensi, resistivitas semu dan fase. Impedensi adalah perbandingan antara medan magnet dan medan listrik, hubungan linier antara medan magnet dan medan listrik dapat dirumuskan pada persamaan sebagai berikut (Smirnov, 2003):

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (23)$$

di mana  $Z = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}$  merepresentasikan tensor impedensi.

Bentuk matriks impedensi bergantung pada dimensionalitas medium (Simpson dan Bahr, 2005) :

- Medium 3-D; matriks impedensi memiliki 4 komponen yang independen.
- Medium 2-D; pada umumnya, matriks impedensi memiliki 3 komponen independen dengan bentuk sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} Z & Z_{xy} \\ Z_{yx} & -Z \end{bmatrix}$$

Apabila pengukuran dilakukan dengan koordinat sejajar atau tegak lurus terhadap arah *strike*, maka matriks impedensi hanya memiliki 2 komponen independen dengan bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 0 & Z_{xy} \\ Z_{yx} & 0 \end{bmatrix}$$

- Medium 1-D; matriks impedensi hanya memiliki 1 komponen independen dengan bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 0 & Z \\ Z & 0 \end{bmatrix}$$

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

$$\rho\alpha = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{Ex}{Hy} \right|^2$$

### 3.5 Sistem Hidrokarbon

Sistem hidrokarbon adalah teori dasar geologi tentang suatu proses berkesinambungan bagaimana suatu hidrokarbon bisa terbentuk dan terakumulasi sehingga selanjutnya menjadi hidrokarbon yang bisa di produksi. Proses ini secara umum melalui beberapa tahapan - tahapan penting yang merupakan syarat agar suatu hidrokarbon bisa terbentuk dan terakumulasi, berikut tahapan tahapannya (Koesoemadinata, 1980).

#### 3.5.1 *Source Rock* (Batuan Induk)

Batuan induk atau sering disebut juga dengan batuan sumber adalah dimana minyak dan gas bumi terbentuk. Umumnya merupakan batuan sedimen serpih yang menyimpan berbagai elemen organik akibat proses pengendapan berjuta-juta tahun dan mendapat tekanan tinggi serta proses pematangan didalam bumi hingga terbentuk hidrokarbon.

#### 3.5.2 Reservoir

Batuan yang mampu menyimpan dan mampu mengalirkan hidrokarbon dan permibilitas sebagai tempat megalirnya hidrokarbon, seperti batuan pasir atau karbonat. Batuan reservoir umumnya terdiri dari batuan sedimen, yang berupa batupasir dan karbonat (sedimen klastik) serta batuan shale (sedimen non-klastik) atau kadang-kadang vulkanik. Masing-masing batuan tersebut mempunyai

komposisi kimia yang berbeda, demikian juga dengan sifat fisiknya. Pada hakekatnya setiap batuan dapat bertindak sebagai batuan reservoir dengan mempunyai kemampuan menyimpan dan menyalurkan minyak bumi.

### 3.5.3 *Caprock* (Batuan Penutup)

Batuan penutup adalah batuan impermeable yang terletak diatas *reservoir*, sehingga hidrokarbon tidak akan keluar dari perangkap.

### 3.5.4 Trap (Jebakan)

Bentuk dari geometri atau facies yang mampu menahan minyak dan gas bumi untuk berkumpul dan tidak berpindah lagi. Suatu *trap* harus terdiri dari batuan *reservoir* sebagai tempat penyimpan hidrokarbon dan suatu set *seal* sebagai penutup agar tidak terjadi migrasi lagi.

Waktu pembentukan *trap* sangat penting karena jika *trap* terbentuk sebelum hidrokarbon bermigrasi maka kemungkinan akan ditemukannya akumulasi hidrokarbon didalam *trap*. Dan sebaliknya maka kemungkinan hidrokarbon telah melewati *trap* tersebut. Berikut ini beberapa tipe *trap*:

- Jebakan struktural

Jebakan yang dipengaruhi oleh kejadian deformasi perlapisan dengan terbentuknya struktur lipatan dan patahan yang merupakan respon dari kejadian tektonik dan merupakan perangkap yang paling asli dan perangkap yang paling penting.

- Jebakan stratigrafi

Jebakan yang dipengaruhi oleh variasi perlapisan vertikal dan lateral, perubahan facies batuan dan ketidakselarasan dan variasi lateral dalam litologi pada suatu lapisan *reservoir* dalam perpindahan minyak.

- Jebakan kombinasi

Kombinasi antara struktural dan stratigrafi, dimana pada perangkat jenis ini merupakan faktor bersama dalam membatasi Bergeraknya atau menjebak minyak bumi.

## BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

### 4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2016 sampai dengan Maret 2017. Pengolahan data dilakukan di Pusat Survei Geologi. Jadwal kegiatan penelitian ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Jadwal Kegiatan Penelitian

NO	Kegiatan	BULAN						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Studi Literatur							
2	Input Data							
3	Pengolahan dan Analisis Data							
4	Interpretasi dan Diskusi							
5	Presentasi dan Evaluasi							
6	Penyusunan Laporan							

### 4.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Data Magnetotelurik

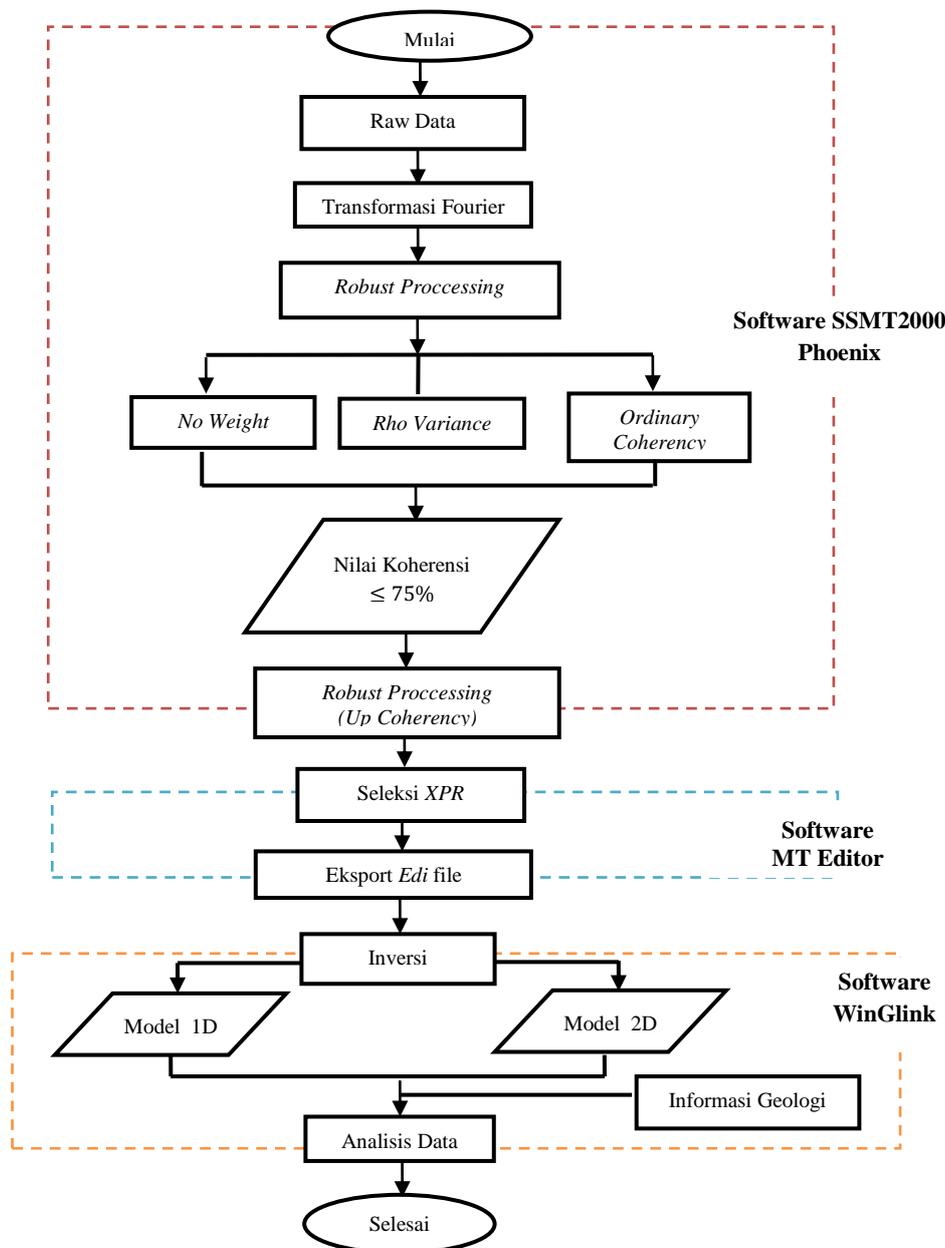
Data magnetotelurik yang digunakan adalah data sekunder hasil pengukuran di daerah hidrokarbon, Bula, Maluku Tengah. Data ini kemudian diolah menjadi model 2-Dimensi untuk memperoleh persebaran nilai resistivitas bawah permukaan untuk mengidentifikasi formasi hidrokarbon.

## 2. Software dan hardware

Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Microsoft Office*, *Microsoft Excel*, *Software Surfer10*, *Software Global Mapper12*, *SSMT2000*, *MT Editor*, dan *WinGlink*. Hardware yang digunakan yaitu, laptop Dell inspiron.

### 4.3 Diagram Alir

Tahapan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 12.** di bawah ini:

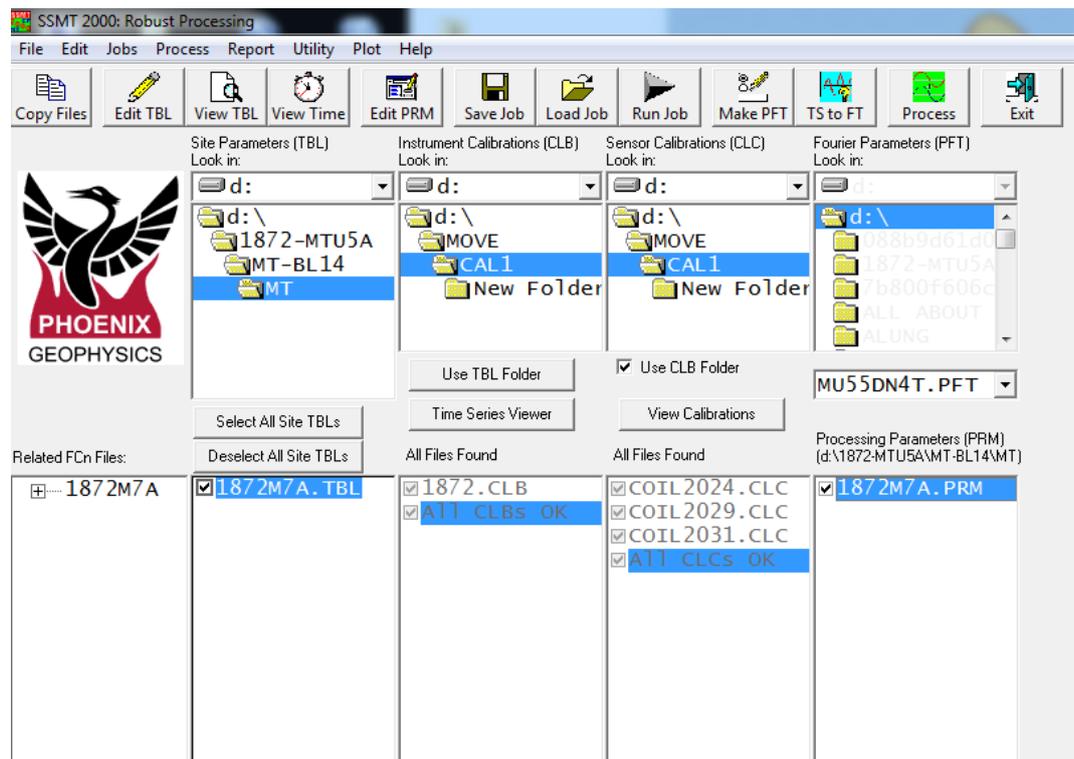


**Gambar 12.** Diagram alir penelitian

## 4.4 Pengolahan Data

### 4.4.1 Raw Data

*Raw Data* merupakan data mentah yang diperoleh pada saat pengukuran metode MT di lapangan dengan ekstensi .TBL. Untuk melakukan proses pengolahan data dengan parameter-parameter yang ditentukan dapat menggunakan *software SSMT2000 Phoenix* pada **Gambar 13**.



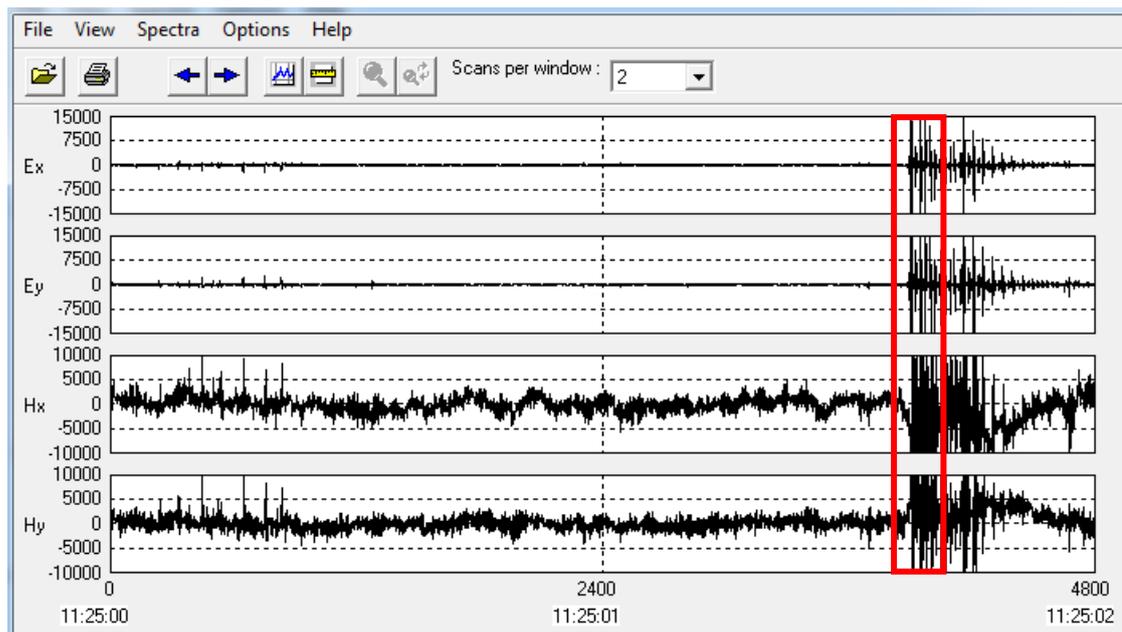
**Gambar 13.** Jendela *raw data* pada SSMT2000

Data Magnetotelurik yang terukur memiliki tiga *time slotlength* dengan besar frekuensi yang berbeda sehingga penetrasi terhadap kedalaman bumi akan berbeda juga. TS3 memiliki nilai frekuensi 40 – 320 Hz, TS4 memiliki nilai frekuensi sebesar 5,6 – 33 Hz dan TS5 memiliki nilai frekuensi 0,00034 – 4,7 Hz. Ketiga *time slotlength* tersebut diukur secara bersamaan selama 12 jam.

Selain sinyal data yang terukur, data Magnetotelurik juga terdapat *noise* yang terekam, *noise* yang terkandung dalam data merupakan *noise* koheren dan

*noise* inkoheren. *Noise* koheren adalah *noise* yang terekam setiap kanal H ( $H_x$  dan  $H_y$ ) serta kanal E ( $E_x$  dan  $E_y$ ), *noise* koheren terjadi karena dipengaruhi oleh gejala alam seperti petir dengan jarak kurang dari 1000km, tiang listrik, kabel listrik dan badai matahari.

*Noise* inkoheren adalah *noise* yang tidak dipengaruhi oleh gejala alam, melainkan dipengaruhi oleh aktifitas manusia, kabel yang terinjak pada saat pengukuran data MT di lapangan. *Noise* ini terekam hanya pada salah satu kanal saja baik H maupun E. Bentuk dari sinyal yang diukur pada data MT dapat dilihat pada **Gambar. 14**, yang merupakan gambar gelombang Elektromagnetik yang merambat terhadap waktu.



**Gambar 14.** Data pada TS3

Pada pencuplikan yang terekam di TS3 merupakan data bukan *noise*, karena TS3 memiliki nilai frekuensi yang tinggi dan kedalaman yang dangkal. Dengan frekuensi yang tinggi resolusi yang dihasilkan dari bawah permukaan akan bagus. Data tersebut ditunjukkan pada kotak berwarna merah, dimana data merupakan

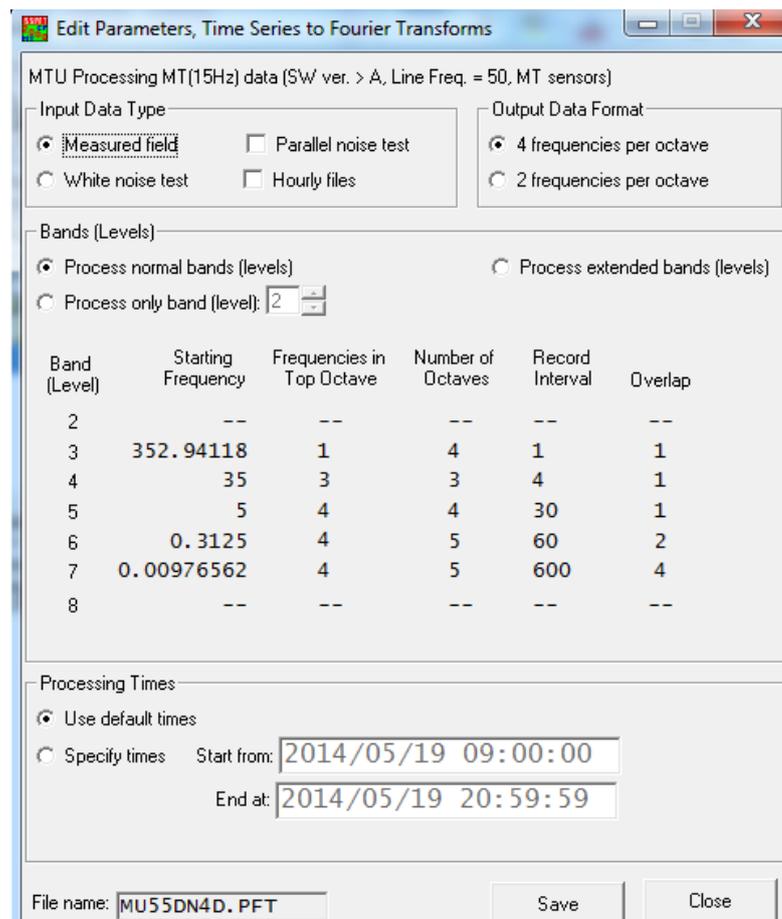
amplitudo yang tinggi, serta menyentuh batas jendela walaupun salah satu skala jendela yaitu skala negative atau positif.

#### 4.4.2 Transformasi Fourier

Tahap berikutnya dalam pengolahan data untuk menghasilkan deret frekuensi dilakukan transformasi Fourier (*Fourier Transform*) dari data waktu baku series. Adapun langkah-langkahnya meliputi.

##### a. *Make PFT*

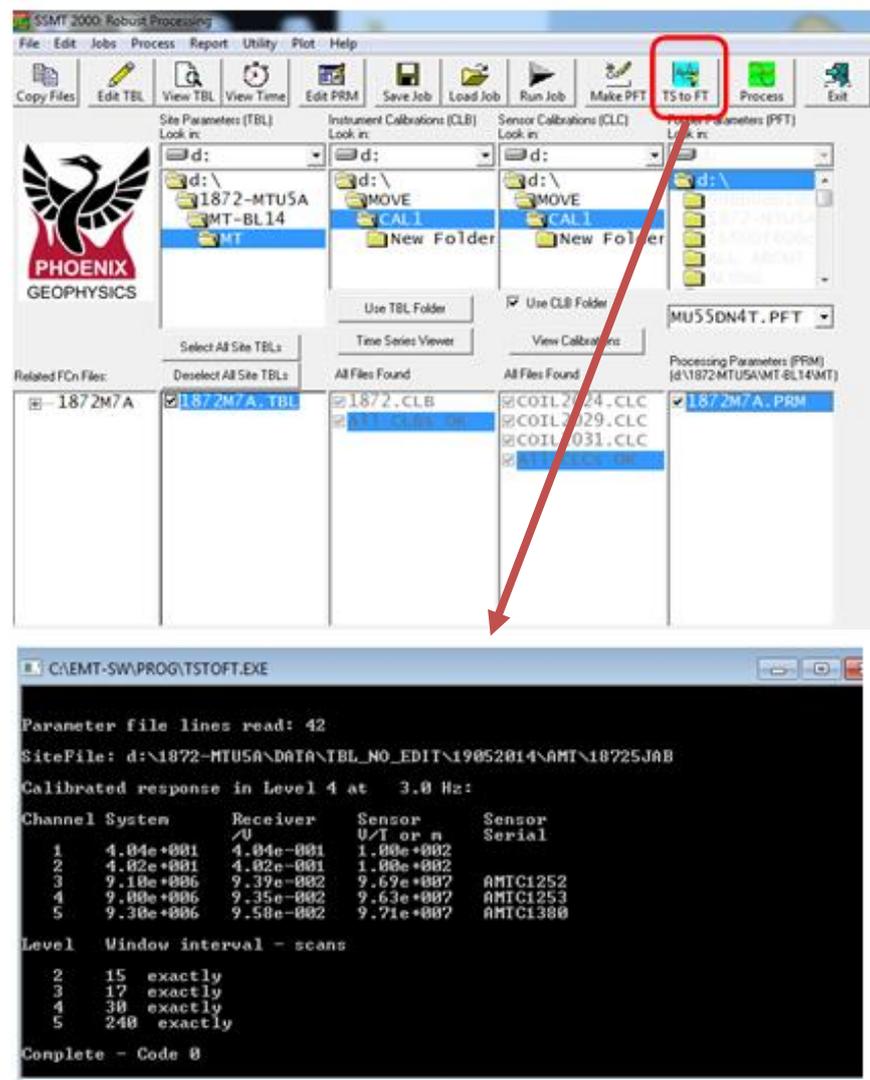
Pada *make PFT* ini digunakan parameter yang sama untuk menghasilkan domain frekuensi, ditunjukkan pada **Gambar 15**.



**Gambar 15.** Make PFT

b. TS to FT

TS to FT pada **Gambar 16.** merupakan *time series to fourier transform*, dimana proses ini diterapkan koefisien *Fourier* data dari masing-masing parameter yang dipilih. Jendela akan menutup secara otomatis sekitar 10 detik setelah pengolahan berakhir. Hasilnya disimpan dalam file dengan nama yang sama dengan folder file yang dipilih, namun dengan ekstensi FCN. dimana n adalah pita frekuensi



**Gambar 16.** Menu TS to FT



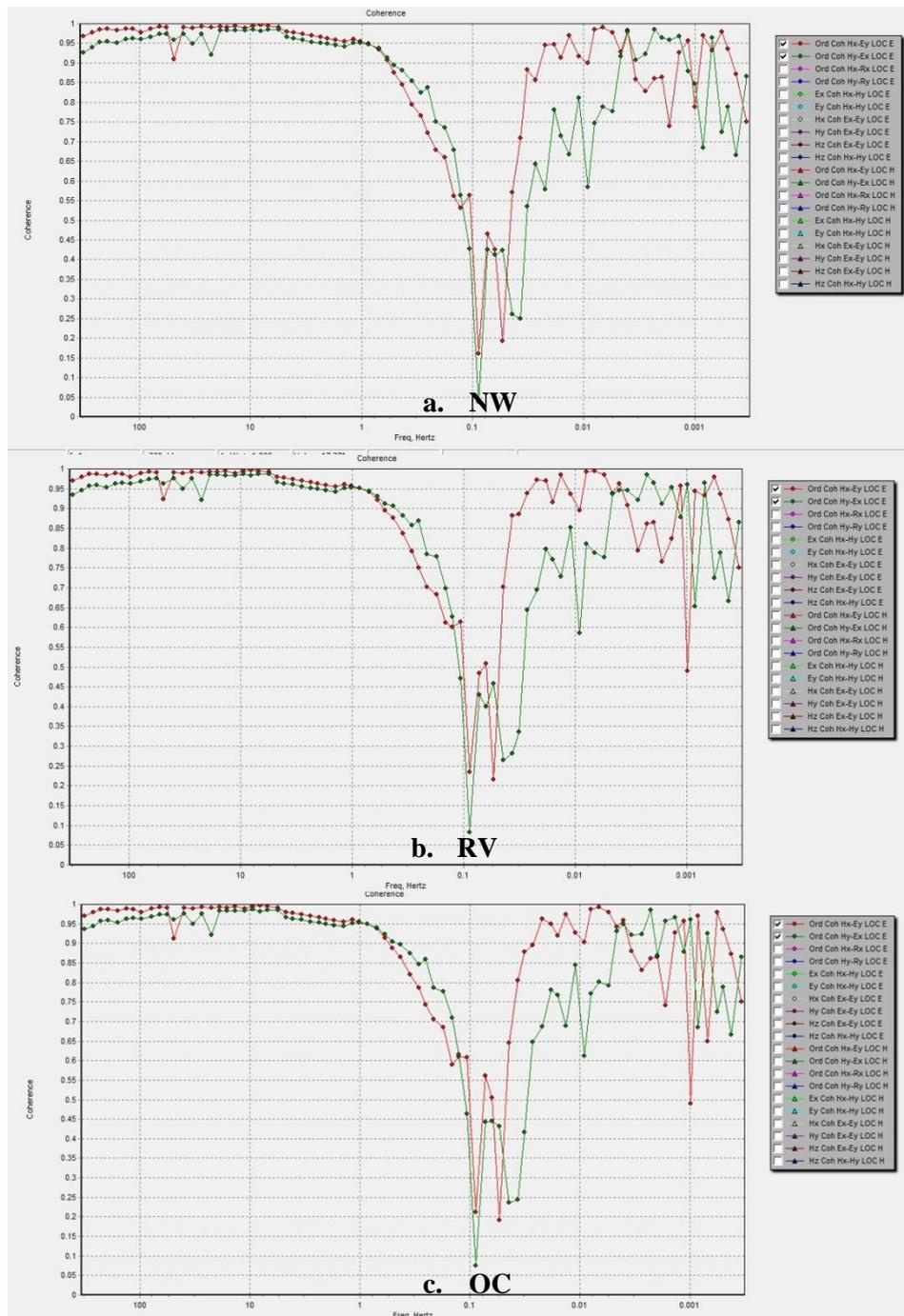
#### 4.4.3 *Robust Processing*

Setelah *raw data* selesai diproses menjadi transformasi fourier, selanjutnya dilakukan *robust processing*. *Robust processing* adalah salah satu cara untuk menghilangkan noise, karena pada saat pengukuran yang terekam sinyal MT berupa data dan *noise*. Dimana data merupakan informasi yang mengandung informasi keadaan geologi bawah permukaan di titik pengukuran, dan *noise* adalah data yang tidak mengandung informasi keadaan geologi bawah permukaan.

Prinsip *robust processing* adalah membagi data time series kedalam segmen – segmen dengan ukuran sama. Setiap data akan diolah sehingga menghasilkan satu data parsial (*cross power*) dari satu titik data respon fungsi transfer.

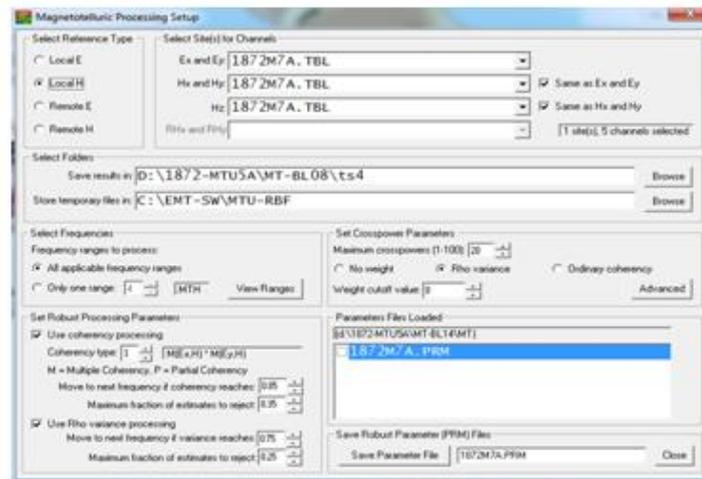
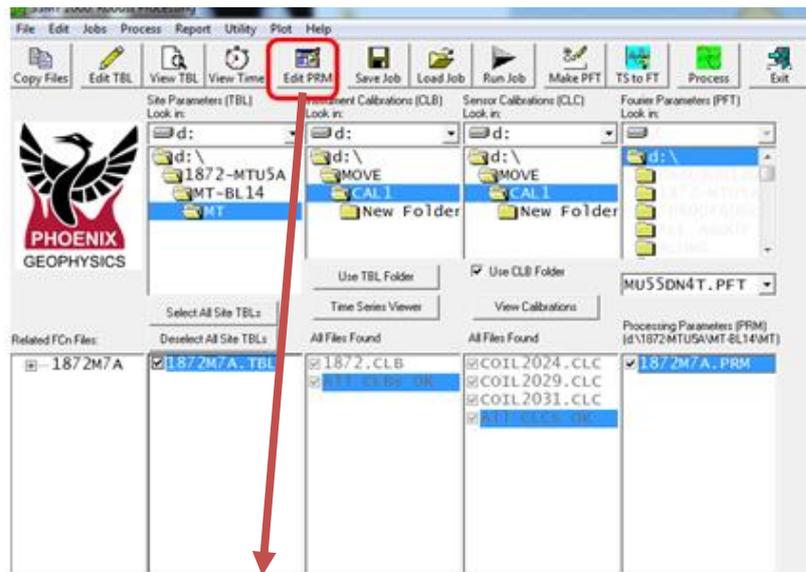
Ada tiga macam *robust processing* yang diproses pada software SSMT2000, yaitu *robust No Weight*, *robust Rho Variance* dan *robust Ordinary Coherency*, dapat dilihat pada **Gambar 18**. Pada *robust No Weight* memproses data tanpa adanya pembobotan, artinya data ini merupakan *raw data* atau data mentah. *Robust Rho Variance* memberikan pembobotan pada data yang errornya kecil, sehingga data ini tidak terlalu berpengaruh pada perhitungan koherensi.

*Noise* pada *robust Rho Variance* adalah data pada *outlayer*, dalam pembobotan *outlayer* ini tetap dihitung, agar dapat diminimalisasi perannya dalam pembobotan maka *robust* ini diberikan bobot yang kecil. *Robust Ordinary Coherency* memberikan bobot yang besar pada nilai koherensi antara E dan H yang lebih besar. Proses ini dapat dilihat pada **Gambar 19**. Di menu edit PRM.



**Gambar 18.** Grafik pada *Robust Processing* a. NW (No Weight), b. RV (Rho Variance), c. OC (Ordinary Coherency).

*Robust processing* untuk NW memiliki nilai koherensi 85.18%, *robust* RV memiliki nilai koherensi sebesar 86.18% dan *robust* OC memiliki nilai koherensi sebesar 85.79%.



Gambar 19. Edit PRM

#### 4.4.4 Up Coherency

Setelah proses ketiga *robust* selesai, selanjutnya dilakukan perhitungan koherensi (*signal to noise ratio*). Perhitungan nilai koherensi ini dilakukan di *Microsoft Excel* dengan menjumlahkan keseluruhan nilai TE dan nilai TM untuk dihitung berapa persen (%) nilai dari TE dan TM tersebut. Pada perhitungan ini kita dapat melihat nilai koherensi tertinggi dan terendah dari masing-masing *robust*. *Robust* dengan koherensi tertinggi akan diproses lagi sesuai jenis *robustnya*, namun dengan melakukan *upgrade* koherensi pada edit parameter

menjadi 0.95 dan 0.75 untuk *reject crosspower*. Untuk nilai koherensi  $\geq 75\%$  dapat dilanjutkan ke tahap seleksi *cross power*.

#### 4.4.5 Seleksi XPR

Pada seleksi XPR ini dilakukan edit *cross power* dengan Software MTEditor, yang akan menampilkan kurva resistivitas semu dan fase, yaitu gelombang EM mode TE dan TM. Seleksi *cross power* merupakan tahapan terakhir sebelum melakukan inversi. Dalam seleksi *cross power* terdiri dari dua cara yaitu dilakukan secara otomatis maupun manual.

Proses edit dilakukan dengan memilih menu *editing* pada *software* MTEditor, untuk proses editing yang lebih efisien maka dilakukan autoediting terlebih dahulu lalu kemudian manual edit. *Autoedit* merupakan fasilitas yang disediakan MTEditor dimana diduga data yang di *KILL* bukan merupakan data namun merupakan *noise*.

Biasanya untuk data yang relatif bagus setelah *autoedit* sudah mulai *smooth*, namun untuk data yang lebih *complicated* perlu dilakukan manual edit. Manual edit dilakukan dengan mengklik satu demi satu yang dirasa bukan merupakan data. Setelah berwarna putih, hal ini berarti proses *KILL* berhasil. Untuk melihat proses *cross power* kita harus melihat *trench* data, agar tidak terjadi kesalahan saat inversi.

#### 4.4.6 Ekspor Data (*Edi* file)

Pada seleksi *cross power* file berupa ekstensi MTH dan MTL, untuk melakukan inversi, data harus diubah dalam bentuk file yang berekstensi MPK atau *Edi* file.

#### 4.4.7 Inversi

Pengolahan inversi data MT menggunakan software WinGlink untuk menghasilkan model 2-Dimensi pada data sekunder MT yang terdiri dari delapan titik pengukuran di lintasan 2. Permasalahan inversi ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$d = F(m) + e$$

Dimana;

d = vektor data

F = fungsi forward modelling

m = vektor model

e = vektor error

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Formasi hidrokarbon yang terdapat pada data Bula ini merupakan formasi batuan Fufa yaitu Qpf. Dengan batuan berwarna kelabu muda dan berlapis tipis. Formasi Qpf terdiri dari batuan pasir, batuan lanau dan batuan lempung.
2. Penampang resistivitas 2-D memiliki kedalaman 1600 m – 2700 di bawah permukaan dengan nilai resistivitas 12  $\Omega\text{m}$  - 33  $\Omega\text{m}$  diduga terdapat batu lempung (*clays*). Kedalaman 2700 m – 5000 m di bawah permukaan dengan nilai resistivitas 41  $\Omega\text{m}$  – 250  $\Omega\text{m}$  diduga batu pasir berisi minyak (*oil sands*).
3. Model penampang 2D hasil inversi 2D menunjukkan kesamaan nilai resistivitas dan *lithology* batuan pada korelasi inversi 1D.
4. Formasi hidrokarbon yang terdapat di daerah Bula berdasarkan model penampang resistivitas 2D adalah batu pasir (*sandstone*) di duga sebagai *reservoir*, batu lempung (*clays*) diduga sebagai *caprock*, jebakan atau *trap* pada sistem petroleum ini termasuk pada jebakan struktural.

## 6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian data Bula adalah untuk mengidentifikasi formasi hidrokarbon dapat didukung dengan data gaya berat. Dalam pengukuran data Magnetotelurik perlu diperhatikan standar operasional pengukuran agar data yang diproses mendapatkan hasil yang maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmawinata, S dan Ratman, N., 1982, *Struktur geologi Pulau Yapen dan hubungannya dengan lajur sesar Sorong*, Prosiding PIT XI IAGI, Jakarta.
- Audley dan Charles, M.G., Carter, D.J. dan Barber, A.J., 1975, *Stratigraphic basis for the interpretations of the Outer Banda Arc, Eastern Indonesia*, *Proc. Indon. Petrol. Assoc.*, 3rd Ann. Conv., Jakarta, pp. 25-44.
- Boggs, S. Jr., 2001, *Principals of Sedimentology and Stratigraphy (3<sup>rd</sup> ed)*: Upper Saddle River, NJ Prentice Hall, 726 p.
- Cagniard, L., 1953, *Basic Theory of The Magnetotelluric Methode of Geophysical Prospecting*, Geophysics 18.
- Darcy, H, 1956, *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*, The Public Fountains of the City of Dijon, Dalmont, Paris.
- Darman, H., dan Hasan S.F., 2000, *An Outline of The Geology Indonesia*, Indonesia Association of Geologist.
- Daud, Y., 2010, *Electromagnteic Methode: Success Story in Geothermal Exploration and Possibility for Hydrocarbon Exploration*, Diklat Kuliah, Depok.
- De Smet, M.E.M., 1999, *On The Origin of The Outer Banda Arc, Tectonics and Sedimentation of Indonesia*, *Proc. of the Geology of Indonesia Book 50th Ann. Mem. Sem.* Authored by R.W. van Bemmmelen, ed.by H.Darman and F.H. Sidi, 81 pp.
- Erdiansyah, E., Iryanti, M., Wardhana, D.D., 2015, *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Magnetotelurik Daerh Sekitar Bogor Jawa Barat Sebagai Potensi Sistem Panas Bumi*, *Fibusi (JoF)*, Vol. 3 No 1.
- Gafoer, S., Suwitoridjo, dan Suharono, K., 1993, *Peta Geologi Lembar Bula-Watubela, Maluku 1:250.000*, Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Grandis, H., 1997, *Practical algorithm for 1-D magnetotelluric response calculation*, *Jurnal Geofisika*, vol.1, no.1.
- Grandis, H., Widarto, D.S., Utomo, E.P., Waluyo, W., dan Hehuwat, F., 2005, *Magnetotelluric resistivity imaging over the Kawengan oil field and*

*Banyuasin prospect, Northeast Java.*

- Jones, A.G., 1983, *On the Equivalence of the "Niblett" and "Bostick" Transformation in the Magnetotelluric Method*, J. Geophysics, 72-73.
- Kelbert, 2012, *Inversion Procedure and Resolution Tests*, GSA Data Repository.
- Kemp, G., dan Magg, W., 1992, *A re-appraisal of the geology, tectonic and prospected tivity of Seram Island, Easten Indonesi*, Ann. Conv, Jakarta.
- Koesoemadinata, 1980, *Geologi Minyak dan Gas Bumi*, Jilid 1 Edisi Kedua, ITB Bandung.
- Magoon, L.B., dan Dow, W.G., 1994, *The Petroleum System from Source to Trap. America Association of Petroleum Geologist and Society of Economic Paleantologist and Mineralogist v.4, p. 1110.*
- Moehadi, M., 2011, *Fundamental of Petroleum Geology and Exploration*, 06 Cekungan Sedimetasi.
- Munadi, S., 2002, *Pengolahan Data Seismik Prinsip Dasar dan Metodologi*, Depok, Universitas Indonesia.
- Nainggolan, D.A., dan Hayat, D.Z., 2006, *Peta anomali Bouguer Lembar Bula-Watubela, Maluku, sekala 1 : 250.000*, PSG, Bandung.
- Peta Rupa Bumi, 2015, *Peta Lembar Maluku skala 1:250.000*, Permendagri Nomor 56 Tahun, Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan.
- Pellerin, L., dan Hohmann, G.W., 1990, *Transient electromagnetic inversion: A remedy for magnetotelluric static shifts*, Geophysics , 55 , 1242 - 1250.
- Setyanta, B., dan Setiadi, I., 2007. *Anomali Gaya Berat dan Tataan Tektonis Sekitar Perairan laut Banda dan Pulau Seram*, Jurnal Sumber Daya Geologi v. XVII, no.6, Pusat Survei Geologi, hal 408 – 419.
- Selley, R.C., 1988, *Applied Sedimentology*, Academic Press. San Diego
- Simpson, F., dan Bahr, K., 2005, *Practical Magnetotelluric*, Cambridge University Press.
- Smirnov, M.Y., 2003, *Magnetotelluric Data Processing with a Robust Statical Procedure havinga high breakdown point*, Geophysics. J. Int.152, 1-7.
- Strack, K.M., dan Aziz, A.A., 2013, *Full Field Array Electromagnetics for Hydrocarbon Reservoir Exploration and Monitoring, Geohorizons (Special Issue on Shale Gas)*, 18, 32-43.

- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics 2nd ed*, Cambridge University Pres, Cambridge.
- Tjokrosapoetro, S., Achdan, A., Suwitodirdjo, K., Rusmana, E dan Abidin, H.Z., 1993. *Peta Geologi Lembar Masohi, Maluku, skala 1 : 250.000*, PPPG, Bandung.
- Unsworth, 2006, *Overview of Eectromagnetic Exploration Methods*, Geophysics.
- Visser W.A., dan Hermes, J.J., 1962, *Geological results of the exploration for oil in Netherlands New Guinea Verch*, Kon Ned Geol Mijnbuowk Genoot ,Geol.Ser, vol.20, pp. 1- 265.
- Vozoff, K., 1991, *The Magnetotelluric Methode, Electromagnteic Methode in Applied Geophysics*. Application SEG.
- Xiao, W., 2004, *Magnetotelluric Exploration in the Rocky Mountain Foothills*, Alberta: University of Alberta.
- Zillman, N.J., dan Paten, R.J., 1975, *Geology and Petroleum Prospects of Seram Island*, Eastern Indonesia, A.P.E.A.J., v.15, No.1, p. 73-80.