

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN  
MENGUNAKAN METODE MAGNETOTELLURIK 2D DI  
DAERAH CEKUNGAN BINTUNI SEBAGAI POTENSI  
HIDROKARBON**

(Skripsi)

Oleh

**RIRIN YULIANTI**



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

## **ABSTRAK**

### **IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE MAGNETOTELLURIK 2D DI DAERAH CEKUNGAN BINTUNI SEBAGAI POTENSI HIDROKARBON**

Oleh

**RIRIN YULIANTI**

Penelitian metode Magnetotellurik (MT) dilakukan pada daerah prospek hidrokarbon di Cekungan Bintuni, Propinsi Papua Barat. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi struktur bawah permukaan berdasarkan penampang resistivitas 2 dimensi. Proses pengolahan data penelitian ini antara lain; (i) proses transformasi data dari domain waktu ke domain frekuensi dengan transformasi *Fourier*. (ii) proses filtering dengan *robust*, dimana *robust* ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Robust No Weight*, *Robust Rho Variance* dan *Robust Ordinary Coherency*. (iii) seleksi *XPR* dan format data diubah menjadi *EDI file*. (iv) inversi untuk mendapatkan model penampang resistivitas 2D. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini berdasarkan penampang resistivitas 2D yaitu pada formasi Klasafet memiliki nilai resistivitas yaitu 1 – 20  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0 hingga 1000 meter di bawah permukaan dengan litologi sebagai batu lempung yang diidentifikasi sebagai *caprock*, pada formasi Kemblengan nilai resistivitas 20 – 90  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 3500 meter di bawah permukaan dengan litologi batu pasir gampingan yang diidentifikasi sebagai *reservoir*, pada formasi Kemum nilai resistivitas 20 – 32  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 6000 meter di bawah permukaan dengan litologi batu pasir yang diidentifikasi sebagai *basement*.

Kata Kunci : Hidrokarbon, Magnetotellurik 2 dimensi, *Reservoir*

## **ABSTRACT**

### **SUBSURFACE STRUCTURE IDENTIFICATION USING 2D MAGNETOTELLURIC METHOD IN BINTUNI BASIN AS HYDROCARBON POTENTIAL RESEARCH**

**By**

**RIRIN YULIANTI**

Magnetotelluric research was done in hydrocarbon prospect area of Bintuni basin, West Papua province. The purpose of this research is to identify hydrocarbon prospect in subsurface structure using 2D resistivity section. Data processing steps for the research are; (i) Data transformation from time domain to frequency domain using Fourier transformation. (ii) Filtering process using Robust No Weight, Robust Rho Variance and Robust Ordinary Coherency. (iii) XPR selection and formatting data into EDI file. (iv) 2D resistivity section modeling using inversion. The result of this research based on 2D resistivity section in Klasafat formation has a resistivity value of about 1 – 20  $\Omega\text{m}$ . From 0 until 1000 meters below the surface, the main lithology is claystone, identified as caprock. Kemblengan formation has a resistivity value of about 20 – 90  $\Omega\text{m}$  at 3500 meters under surface with main lithology lime-sandstone, identified as a reservoir. Tipuma formation has a resistivity value of about 0.62 – 2  $\Omega\text{m}$  at 8000 meters under surface with main lithology claystone. Kemun formation has a resistivity value of about 20 – 32  $\Omega\text{m}$  at 6000 meters under surface with main lithology sandstone, identified as a basement.

**Keywords:** 2D Magnetotelluric, Hydrocarbon, Reservoir.

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN  
MENGUNAKAN METODE MAGNETOTELLURIK 2D DI  
DAERAH CEKUNGAN BINTUNI SEBAGAI POTENSI  
HIDROKARBON**

Oleh  
**RIRIN YULIANTI**

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

Pada  
Jurusan Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH  
PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE  
MAGNETOTELLURIK 2D DI DAERAH  
CEKUNGAN BINTUNI SEBAGAI POTENSI  
HIDROKARBON**

Nama Mahasiswa : **Ririn Yulianti**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315051050

Jurusan : Teknik Geofisika

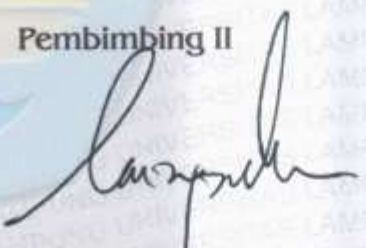
Fakultas : Teknik



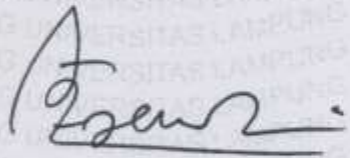
Pembimbing I

Pembimbing II

  
**Syamsurijal Basimeng, S.Si., M.Si.**  
NIP 19730716 200012 1 002

  
**Karyanto, S.Si., M.T.**  
NIP 19691230 199802 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

  
**Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**  
NIP 19720928 199903 1 001



## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua

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



Sekretaris

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




Penguji

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



### 2. Dekan Fakultas Teknik



  
**Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**  
NIP.19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **18 Agustus 2017**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, September 2017



**Ririn Yulianti**  
NPM. 1315051050

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 19 Juli 1995, dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pasangan Bapak Marusi, S.I.Kom. dan Ibu Praktistaningsih, BBA.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK. Harapan Ibu Prasanti Sukarame Bandar Lampung pada tahun 2001, pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Perumnas Way Kandis Bandar Lampung pada tahun 2007, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 21 Bandar Lampung pada tahun 2010, pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 5 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2013.

Pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi kampus. Penulis terdaftar sebagai anggota Kaderisasi Hima TG Bhuwana pada periode 2013/2014 dan 2014/2015. Anggota Society of Exploration Geophysicist (SEG) Chapter Universitas Lampung di bidang Company Visit pada periode 2013/2014 dan di bidang Course pada periode 2016/2017. Anggota AAPG SC Unila pada periode 2014/2015.



Pada bulan Januari 2016 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bogatama, Kecamatan Penawar Tama, Kabupaten Tulang Bawang. Pada bulan Juli tahun 2016 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP), Badan Geologi, Bandung dengan judul **“Akuisisi Data menggunakan Metode Magnetotellurik Di Daerah Air Panas ‘X’ Pada Lintasan “RY” Untuk Eksplorasi Geothermal”**. Pada bulan Februari tahun 2016 penulis melaksanakan Tugas Akhir (TA) di Pusat Survey Geologi (PSG), Badan Geologi, Kementrisn ESDM RI, Bandung dengan judul **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Magnetotellurik 2D Di Daerah Cekungan Bintuni Sebagai Potensi Hidrokarbon”**.

## **PERSEMBAHAN**

Dengan penuh rasa syukur dan atas ridho dari Allah SWT

kan ku persembahkan skripsi ini kepada :

Kedua Orangtuaku (papa dan mama) terkasih dan tercinta,

(Marusi, S.I.Kom. dan Praktistaningsih, BBA.)

Adikku tersayang,

(Niki Aprilia)

Seluruh keluarga Besarku,

(Keluarga Alm. Ruslan dan Alm. Suinah serta keluarga Alm. Sugeng Rawuh  
dan Sunari)

Almamater kebanggaanku,

(Teknik Geofisika Universitas Lampung)

## **MOTTO**

**“HARGAILAH USAHAMU, HARGAILAH DIRIMU KARENA DENGAN  
BEGITU AKAN MEMBUAHKAN HASIL YANG TIDAK  
MENGECEWAKAN” (PENULIS)**

**“DAN JANGANLAH KAMU BERPUTUS ASA DARIPADA RAHMAT  
ALLAH. SESUNGGUHNYA TIADA BERPUTUS ASA DARIPADA  
RAHMAT ALLAH MELAINKAN ORANG-ORANG YANG KUFUR” (Q.S.  
YUSUF: 87)**

**“SESUNGGUHNYA SETELAH ADA KESULITAN ITU ADA KEMUDAHAN.  
MAKA APABILA KAMU TELAG SELESAI (DARI SUATU URUSAN),  
KERJAKANLAH DENGAN SUNGGUH-SUNGGUH (URUSAN) YANG  
LAIN, DAN HANYA KEPADA TUHANMULAH HENDAKNYA KAMU  
BERHARAP” (Q.S. ALAM NASYRAH : 6-8)**

**“KESENANGAN DALAM SEBUAH PEKERJAAN MEMBUAT  
KESEMPURNAAN PADA HASIL YANG DICAPAI” (ARISTOTELES)**

**“KAMU TIDAK AKAN PERNAH TAHU APA YANG ADA DI BALIK  
KESUSAHANMU SEKARANG. KETIKA KUAT, PERCAYALAH KAMU  
AKAN DAPAT IMBALANNYA!” (NAPOLEON HILL)**

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa shalawat serta salam saya ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Skripsi yang berjudul “Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Magnetotellurik 2D Di Daerah Cekungan Bintuni Sebagai Potensi Hidrokarbon” merupakan hasil dari Tugas Akhir yang dilaksanakan penulis di Pusat Survey Geologi (PSG), Badan Geologi, Kementrisn ESDM RI, Bandung. Penulis menyadari bahwa penulis memiliki keterbatasan dalam beberapa hal dan segala sesuatu tidak ada yang sempurna, demikian pula dengan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna.

Untuk itu jika ditemukan kesalahan dalam penulisan skripsi ini, kiranya dapat memberikan kritik dan saran. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Demikianlah kata pengantar yang dapat penulis sampaikan, apabila ada salah kata saya mohon maaf dan kepada Allah SWT saya mohon ampun.

**Penulis**

**Ririn Yulianti**

## SAN WACANA

Selama menjalani Tugas Akhir dan pembuatan skripsi ini tentu saja tidak terlepas dari banyak pihak yang sangat membantu, bukan saja dari segi keilmuan tetapi juga dari segi pengalaman yang tidak mungkin penulis dapatkan hanya di bangku kuliah saja. Maka dari pada itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga memberikan kelancaran dalam menulis skripsi ini.
2. Kedua orangtuaku tercinta, Bapak Marusi, S.I.Kom dan ibu Praktistaningsih, BBA. yang telah memberikan doa, dukungan dan kasih sayang yang tiada henti, pengorbanan yang kalian lakukan dengan tulus dan ikhlas tanpa pamrih, keringat yang kalian keluarkan demi menyelesaikan pendidikanku dan demi keberhasilanku. Serta adikku tersayang, Niki Aprilia yang telah memberikan dukungan dan menghibur dikala kejenuhan selama menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan teknik Geofisika Universitas Lampung.
4. Bapak Rustadi, S.Si., M.T., selaku dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan masukan agar lebih baik lagi.
5. Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing I yang telah

- meluangkan waktunya untuk bimbingan disela-sela kesibukan, memberikan masukan, ilmu, kritik dan saran hingga penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Karyanto, S.Si., M.T., selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi, memberikan ilmu, kritik dan saran dalam penyusunan skripsi.
  7. Bapak Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, masukan dan bimbingan dalam perbaikan skripsi ini.
  8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah mendidik, membimbing dan memberikan ilmu pengetahuan.
  9. Bapak Muhammad Noor Indragiri, S.T., M.T., selaku Pembimbing Lapangan di Pusat Survey Geologi yang telah bersedia membimbing, memberikan materi dan masukan selama melaksanakan proses Tugas Akhir.
  10. Bapak Hidayat, S.Si., yang telah memberikan bantuan yang berupa ilmu pengetahuan, masukan dan saran selama proses melaksanakan Tugas Akhir di Pusat Survey Geologi.
  11. Shiska, Azhary, Imbron teman seperjuangan Tugas Akhir yang selalu menemani baik susah maupun senang, memberikan semangat dan bantuan.
  12. Diah, Dini, Endah, Sukma, Agung dan Yudis teman satu bimbingan selama Tugas Akhir yang telah memberikan wawasan dan pengalaman.
  13. Wilyan Pratama teman terdekat yang telah meluangkan waktunya untuk mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan doa, dukungan dan masukan, memberikan keceriaan dalam keseharian, menemani dalam keadaan apapun selama Tugas Akhir, mendampingi mulai dari Kerja Praktik, Tugas Akhir hingga terselesaikannya skripsi ini dan semoga bisa selalu



mendampingi untuk seterusnya.

14. Desti, Fitria, Suci, Yolla teman seperjuangan dari masa SMA yang telah memberikan keceriaan, penghibur dikala jenuh, kenyamanan dalam bercerita, kekonyolan, memberikan dukungan selama Tugas Akhir dan akhirnya satu persatu mendapat gelar, tetep jadi temen terbaik ya untuk seterusnya.
15. Winda yang bersedia untuk mendengarkan curahan isi hati, memberi bantuan ketika kesulitan, masukan dalam Tugas Akhir. Atikah dan Dwi yang telah melukis cerita dari pertengahan maba hingga penyelesaian skripsi ini. Ulfa teman satu bimbingan yang telah bertukar cerita, saling memotivasi selama proses bimbingan skripsi.
16. Teman sekaligus keluargaku Teknik Geofisika 2013: Abdi, Agung, Imbron, Aji, Alicya, Aristo, Atikah, Nafis, Cahaya, Deswita, Dian, Dody, Dwi, Edy, Egi, Bunga, Feni, Eci, Farhan, Endah, Haidar, Haris, Helton, Hanun, Herlin, , Aloy, Kholil, Kurnia, Azhary, Reza, Fajri, Nico, Noris, Pipit, Priesta, Putu, Rafi, Ravide, Ryan, Shiska, Suryadi, Udin, Bana, Ulfa, Widya, Winda, Wuri, Yase dan Yeni atas kebersamaan dan ukiran cerita selama di perkuliahan, sukses selalu untuk kita semua.
17. Serta para civitas Jurusan Teknik Geofisika dan semua pihak yang terlibat, yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir hingga penyelesaian skripsi ini.

**Penulis**

**Ririn Yulianti**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ix
<b>MOTO</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>SANACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Batasan Masalah .....	4

## II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lokasi Penelitian .....	5
B. Geologi Regional.....	6
C. Geomorfologi dan Fisiografi Regional .....	8
D. Stratigrafi.....	9
E. Tatanan Tektonik Geologi Di Kepala Burung Papua.....	15

## III. TEORI DASAR

A. Dasar Metode Magnetotellurik .....	20
B. Persamaan Maxwell .....	21
C. <i>Skin Depth</i> .....	23
D. Metode Pengukuran MT.....	24
E. Pengolahan Data MT.....	26
F. <i>Petroleum System</i> .....	32

## IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
B. Data Penelitian .....	35
C. Alat dan Bahan.....	36
D. Prosedur Pengolahan Data Magnetotellurik .....	36
1. Transformasi <i>Fourier (FFT)</i> .....	38
2. <i>Robust Processing</i> .....	39
3. Seleksi <i>Time Series</i> .....	41
4. Seleksi <i>Cross Power</i> .....	43
5. Inversi.....	46
6. Memplot kurva resistivitas semu dan fase vs frekuensi.....	31
E. Diagram Alir Penelitian .....	49

## V. PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian .....	50
B. Pembahasan .....	56

## **VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	69
B. Saran .....	70

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Peta Geologi Daerah Penelitian .....	5
<b>Gambar 2.</b> Kolom Stratigrafi Cekungan Bintuni .....	13
<b>Gambar 3.</b> Elemen tektonik Indonesia dan pergerakan lempeng tektonik .....	16
<b>Gambar 4.</b> Struktur Regional Papua .....	16
<b>Gambar 5.</b> Elemen Tektonik Kepala Burung .....	18
<b>Gambar 6.</b> Mode TE ( <i>Transverse Electric</i> ) .....	25
<b>Gambar 7.</b> Mode TM ( <i>Transverse Magnetic</i> ) .....	25
<b>Gambar 8.</b> <i>Combine</i> .....	38
<b>Gambar 9.</b> Proses <i>FFT</i> .....	39
<b>Gambar 10.</b> Tampilan <i>Robust Processing</i> .....	40
<b>Gambar 11.</b> Tampilan <i>Setting Robust Processing Upgrade</i> .....	40
<b>Gambar 12.</b> Tampilan <i>Software Synchro Time series Viewer</i> .....	42
<b>Gambar 13.</b> Seleksi <i>Time Series</i> .....	43
<b>Gambar 14.</b> Kurva Sebelum Seleksi <i>Cross Power</i> .....	44
<b>Gambar 15.</b> Kurva Sesudah Seleksi <i>Cross Power</i> .....	45
<b>Gambar 16.</b> Tampilan <i>Maps</i> .....	46
<b>Gambar 17.</b> Pemodelan <i>Sounding 1D</i> .....	47
<b>Gambar 18.</b> Pengaturan Parameter Skala .....	48

<b>Gambar 19.</b> Pengaturan Batas Tampilan Inversi 2D .....	48
<b>Gambar 20.</b> Diagram Alir .....	49
<b>Gambar 21.</b> Kurva sebelum editing <i>cross power</i> .....	54
<b>Gambar 22.</b> Kurva sesudah editing <i>cross power</i> .....	54
<b>Gambar 23.</b> Hasil penampang inversi 2D MT .....	61
<b>Gambar 24.</b> Hasil interpretasi yang diperoleh dari korelasi geologi daerah penelitian dan hasil penampang inversi 2D MT .....	62
<b>Gambar 25.</b> Hasil korelasi penampang resistivitas 2D dan hasil interpretasi penampang resistivitas 2D .....	65
<b>Gambar 26.</b> Rembesan minyak ditemukan pada singkapan batu pasir yang diperoleh disepanjang singkapan .....	67



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Waktu dan Kegiatan Penelitian .....	35
<b>Tabel 2.</b> Nilai koherensi <i>raw data</i> .....	51
<b>Tabel 3.</b> Nilai koherensi hasil <i>robust</i> terbaik.....	52
<b>Tabel 4.</b> Nilai koherensi hasil <i>upgrading robust</i> .....	52
<b>Tabel 5.</b> Hasil koherensi seleksi <i>time series</i> .....	53
<b>Tabel 6.</b> Pengelompokkan Kurva .....	55
<b>Tabel 7.</b> Hasil koherensi seleksi <i>cross power</i> .....	56
<b>Tabel 8.</b> Resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan pada titik BN01.....	57
<b>Tabel 9.</b> Resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan pada titik BN03.....	57
<b>Tabel 10.</b> Resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan pada titik BN04.....	58
<b>Tabel 11.</b> Resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan pada titik BN05.....	59
<b>Tabel 12.</b> Resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan pada titik BN06.....	59
<b>Tabel 13.</b> Resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan pada titik BN07.....	60
<b>Tabel 14.</b> Resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan pada titik BN08.....	61
<b>Tabel 15.</b> Resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan pada titik BN13.....	61
<b>Tabel 16.</b> Nilai resistivitas batuan .....	64

## **I. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Dengan bertambahnya tingkat populasi manusia di suatu negara dan kebutuhan energi sebagai pemenuhan kebutuhan manusia yang semakin bertambah menyebabkan pasokan energi semakin banyak. Salah satu sumber energi yang paling berpengaruh bagi suatu negara yaitu minyak dan gas bumi. Keberadaan dan penyebaran minyak bumi dipengaruhi oleh keadaan geologi setempat dan didapatkan dalam suatu cekungan sedimen.

Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi keberadaan hidrokarbon yaitu Pulau Papua. Secara geologi Pulau Papua merupakan hasil tumbukan Lempeng Australia dengan Lempeng Pasifik yang berlangsung dari Miosen Awal hingga sekarang. Akibat adanya tumbukan tersebut sehingga struktur geologi dan bentuk Pulau Papua membentuk cekungan-cekungan yang diidentifikasi memiliki keberadaan hidrokarbon.

Salah satu cekungan yang dibuktikan dengan kaya akan kandungan fosil-fosil di daerah Papua yaitu Cekungan Bintuni. Maka dari itu pada penelitian ini dilakukan di kawasan cekungan Bintuni untuk mengetahui bagaimana struktur bawah permukaan cekungan yang tersebut dan untuk eksplorasi lanjut.

Untuk mengoptimalkan eksplorasi minyak bumi perlu dilakukan kegiatan studi geofisika dan geologi untuk mengetahui karakteristik struktur bawah permukaan dengan memetakan struktur resistivitas kondisi bawah permukaan dalam pencarian hidrokarbon. Metode geofisika yang dapat digunakan untuk menentukan struktur resistivitas bawah permukaan salah satunya yaitu metode magnetotellurik (MT).

Metode magnetotellurik merupakan metode elektromagnetik pasif atau metode yang memanfaatkan sumber dari alam, berupa gelombang elektromagnetik dengan mengukur fluktuasi medan magnet  $B$  dan medan listrik  $E$  pada arah tegak lurus di permukaan bumi untuk mengetahui konduktivitas bawah permukaan dari puluhan meter sampai ratusan kilometer. Dengan pengukuran medan listrik ( $E$ ) dan medan magnet ( $H$ ) yang berubah terhadap waktu, sehingga diketahui pencitraan struktur bawah permukaan berdasarkan distribusi nilai tahanan jenis bawah permukaan (Erdiansyah, dkk., 2015).

Metode magnetotellurik ini dapat dilakukan dalam eksplorasi hidrokarbon, beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan metode magnetotellurik 2 dimensi untuk mengetahui struktur bawah permukaan. Antara lain penelitian dilakukan oleh Wachisbu dan Santosa pada tahun 2015 dengan tema Pemodelan Pemodelan Data Magnetotellurik Dengan *Remote Reference* Untuk Eksplorasi Cekungan Migas Studi Kasus: Lapangan Em-4, hasil yang didapatkan dari pemodelan 2 dimensi yaitu diindikasikan adanya sedimentasi yang tebal pada cekungan Bantarkalong dan Citanduy dengan nilai resistivitas sedimen dominan sebesar 22-119 ohm.meter

Kemudian penelitian dilakukan oleh Erdiansyah dkk., pada tahun 2015 dengan tema Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Magnetotellurik Daerah Sekitar Bogor Jawa Barat Sebagai Potensi Sistem Hidrokarbon dimana hasil yang didapatkan yaitu dari hasil penampang 2 dimensi diperoleh nilai resistivitas 1024 ohm.meter yang diidentifikasi sebagai batuan karbonat berupa batugamping (*limestones*) yang diindikasikan sebagai batuan induk (*source rock*) sebagai penghasil hidrokarbon dan terdapat perangkap hidrokarbon yang terlihat ditafsirkan merupakan perangkap struktural berupa jebakan antiklin dan sinklin.

Pada tahun 2013 Sugiyo dkk., melakukan penelitian menggunakan metode magnetotellurik 2 dimensi dengan tema Pemodelan Resistivitas Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Magnetotellurik (Studi Daerah Gunung Meraksa-Tasim, Sumatera Selatan) dimana hasil model resistivitas dari pengolahan inversi yang didapatkan yang yaitu menunjukkan struktur berupa lipatan, pendugaan patahan dan struktur berlapis-lapis dari resistivitas bawah permukaan daerah penelitian. Struktur berlapis-lapis disebabkan karena proses pembentukan daerah penelitian yang merupakan daerah cekungan sedimen.

Dalam penentuan karakteristik struktur bawah permukaan dengan metode magnetotellurik 2D terdapat langkah-langkah yang perlu dilakukan. Hal yang harus dilakukan pertama-tama melakukan transformasi data mentah yang didapatkan berupa time series menjadi domain frekuensi menggunakan metode *Transformasi Fourier*. Melakukan *Robust Processing* yaitu teknik pemrosesan statistic yang menggunakan bobot *iterative* dari residual untuk mengidentifikasi dan menghapus data yang menyimpang oleh *noise*. Menghilangkan *noise* dengan

seleksi *cross power* agar memiliki *trend* yang *smooth*.

Hasil yang didapatkan setelah menjadi domain frekuensi kemudian telah dilakukan *smoothing* data yaitu berupa *EDI file*. Sebelum melakukan inversi 2D perlu dilakukan koreksi efek pergeseran *static* dengan mengubah format *EDI file* menjadi format *xls* menggunakan *software* MTEditor. Setelah itu melakukan inversi 2D dengan *software* WinGlink. Inversi suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk memperoleh distribusi sifat fisis bawah permukaan. Penentuan karakteristik bawah permukaan untuk menentukan identifikasi struktur bawah permukaan yang berpotensi hidrokarbon dilakukan dengan menganalisis penampang resistivitas 2D yang telah dihasilkan.

## **B. Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan pemodelan penampang resistivitas inversi 2D data magnetotellurik Cekungan Bintuni.
2. Mengetahui nilai resistivitas dan ketebalan lapisan batuan bawah permukaan.
3. Mengidentifikasi struktur geologi batuan potensi hidrokarbon berdasarkan penampang resistivitas 2D data magnetotellurik.

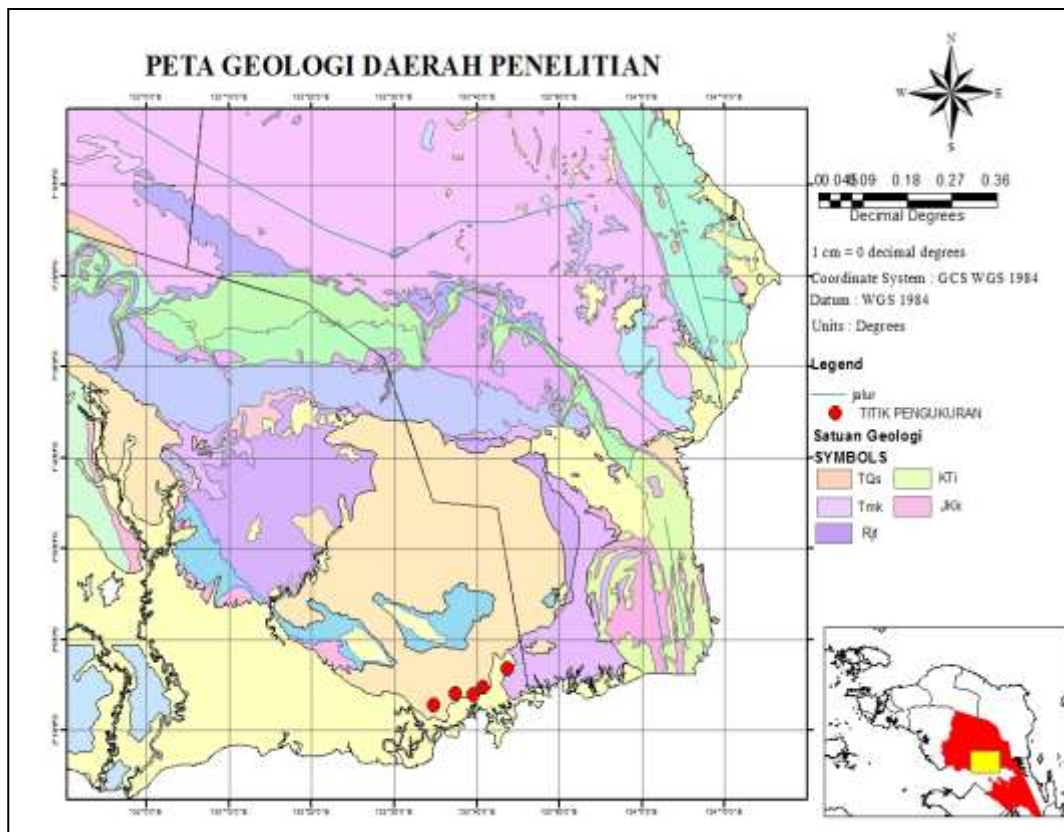
## **C. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis penampang resistivitas 2D untuk mengidentifikasi struktur geologi batuan bawah permukaan dari suatu daerah prospek hidrokarbon pada Cekungan Bintuni.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di area Teluk Bintuni di Kabupaten Papua Barat, Provinsi Papua yang dibatasi oleh luasan Cekungan Bintuni. Lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**. Secara geografis lokasi penelitian berada pada  $1^{\circ} 42' 41.8''$  S –  $2^{\circ} 12' 22.6''$  LS dan  $133^{\circ} 23' 7.9''$  E –  $134^{\circ} 08' 42.2''$  BT.



**Gambar 1.** Peta Geologi Daerah Penelitian (SRTM-90)



Secara geografis, Papua dibagi menjadi 3 komponen besar, yaitu bagian Kepala Burung (KB), leher burung dan badan burung Papua. Cekungan Bintuni berada di Teluk Bintuni-Papua Barat, tepatnya terletak di bagian kepala-leher burung.

## **B. Geologi Regional**

Menurut (Pigram, dkk., 1982) struktur elemen penting yang berada di daerah Kepala Burung (KB), antara lain :

1. Sesar Sorong, terletak di sebelah Utara

Sesar Sorong adalah salah satu sesar mayor yang terletak di sebelah utara KB, dengan arah sesar berarah timur-barat. Jenis Sesar Sorong ini yaitu sesar mendatar kiri (*left-lateral strike-slip fault*).

2. Sesar Tarera Aiduna, terletak di sebelah selatan

Sesar Tarera Aiduna merupakan sesar mayor yang berada di daerah KB dimana sesar ini terletak di sebelah selatan dengan arah sesar barat-timur.

3. Lengguna *Fold-Belt* (LFB), Berada di sebelah Timur

LFB merupakan serangkaian antiklin yang mempunyai arah umum Barat Laut-Tenggara, yang kemudian terangkat ketika terjadi proses oblique convergent Antara Lempeng Pasifik-Indo Australia. Di sebelah selatan, LFB ini dipotong oleh sesar Tarera Aiduna. Pada saat LFB ini terbentuk, mengakibatkan adanya penurunan (*subsidence*), sehingga mengalami sedimentasi pada cekungan LFB sebagian besar tersusun atas kelompok New Guinea Limestone (NGL) yang mengisi Cekungan Bintuni.

4. Seram *Through*, berada di sebelah barat

Palung Seram berada di sebelah barat daya KB. Sesar ini terbentuk akibat adanya konvergen Lempeng Australia.

Cekungan Bintuni merupakan cekungan dengan luas  $\pm 30.000$  km<sup>2</sup> yang cenderung berarah utara-selatan dengan umur Tersier Akhir yang berkembang pesat selama proses pengangkatan LFB ke timur dan blok Kemum dari sebelah utara. Cekungan ini di sebelah timur berbatasan dengan Sesar Arguni, di depannya terdapat LFB yang terdiri dari batuan klastik berumur Mesozoik dan batu gamping berumur tersier yang mengalami perlipatan dan tersesarkan. Di sebelah barat cekungan ini ditandai dengan adanya tinggian struktural, yaitu Pegunungan Sekak yang meluas sampai ke Utara, di sebelah Utara terdapat dataran tinggi Ayamaru yang memisahkan Cekungan Bintuni dengan Cekungan Salawati yang memproduksi minyak bumi. Di sebelah selatan, Cekungan Bintuni dibatasi oleh Sesar Tarera-Aiduna, sesar ini paralel dengan Sesar Sorong yang terletak di sebelah utara KB. Kedua sesar ini merupakan sesar utama di daerah Papua Barat (Marten, 2012).

Cekungan Bintuni merupakan cekungan panjang Miosen Akhir hingga Kuartar. Cekungan itu menempati tepi barat STEENKOOL dan beberapa bagian lembar yang ada di utara, selatan dan barat. Endapan yang terlonggok dalam cekungan ini secara keseluruhan dihubungkan dengan Formasi Steenkool dan di sudut baratlaut dengan Batupasir Tusunawai (Visser dan Hermes, 1962).

Sebagian dari batas timur Cekungan Bintuni bertepatan dengan alas Jalur Lipatan Lengguru, yaitu bidasan yang diprakirakan. Di utara sesar naik Arguni yang didalikan itu adalah tepi Cekungan Bintuni yang dapat dinyatakan dengan lantek yang tergusur oleh berbagai sesar berarah baratlaut. Berbagai retakan

dengan arah yang demikian itu memotong Formasi Steenkool di bagian barat laut. Diperkirakan peretakan itu terjadi lagi di sementara tempat atau dasarnya merupakan kelanjutan penyesaran yang berasal pada waktu berkembangnya Jalur Lipatan Lengguru. Demikian pula, lipatan dalam Formasi Steenkool yang arajnta terutama ke baratdaya hingga utara-baratdaya mungkin berupa struktur sampir atau mungkin pula mencerminkan lipatan seumur dengan Jalur Lipatan Lengguru pada waktu pengendapan dalam Cekungan Bintuni (Dow, dkk., 1986).

Pembentukan Cekungan Bintuni boleh jadi sezaman dengan pembidasan dan pelipatan Jalur Lipatan Lengguru. Pelipatan tektonik pada Jalur Lengguru sebagaimana tampak dari hasil nyuguan gayaberat mungkin saja menyebabkan pelesakan tambahan yang menyebabkan terbentuknya Cekungan Bintuni (Dow, dkk., 1986).

### **C. Geomorfologi dan Fisiografi Regional**

Geomorfologi Papua Barat mengalami deformasi pada umur Tersier Akhir, pada masa ini terjadi proses transgresi yang besar yang berarah barat daya dan berakhir pada *New Guinea Mobile Belt*, sehingga berbentuk kepala dan leher burung. Tatanan geologi daerah KB dibentuk oleh adanya kompresi pada umur Paleogen tepatnya Oligose-Resen. Kompresi ini disebabkan karena adanya *oblique convergent* antara Lempeng IndoAustralia yang bergerak ke arah barat laut dan Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah tenggara. Cekungan Bintuni merupakan cekungan Tersier di selatan Blok Kemum, di bagian timurnya dibatasi oleh jalur lipatan Anjakan Lengguru. Cekungan ini dipisahkan dari Cekungan

Salawati oleh Paparan Ayamaru dan dari Cekungan Berau oleh Perbukitan Sekak (Marten, 2012).

Fisiografi daerah ini dipengaruhi oleh sebaran batuan serta keadaan strukturnya. Setiap satuan fisiografi mencerminkan batuan tertentu. Robinson dkk., telah mengelompokkan rupa bumi di Teluk Bintuni ke dalam dua empat fisiografi, yaitu : dataran rendah, perbukitan rendah, perbukitan bergelombang dan dataran alluvial.

Dataran yang berkembang dari adanya gubung proses pengendapan di tepi laut dan pengendapan alluvium menempati daerah luas di sekitar Teluk Bintuni, dengan tumbuhan raa dan bakaunya. Di utara Teluk bintuni, dataran itu menyatu ke barat dengan dataran utara, dan beralih ke pematang jurus sejajar rendah-rendah di bagian barat laut dan perbukitan menggelombang rendah-rendah di timurlaut. Di selatan Teluk Bintuni, bentangan itu merupakan batas timurlaut Dataran Bomberai. Makin jauh dari pantai, dataran itu mengalasi alluvium dan diendapkan pada rataaan sungai yang berselingan dengan perbukitan menggelombang rendah yang tersusun dari batuan Miosen atas hingga Plistosen.

Rataan alluvium atau dataran alluvial menempati petak besar yang tak seberapa jumlahnya dan beberapa yang kecil-kecil di antara pematang jurus berbukit-bukit yang mengkras hingga yang bergunung-gunung (Robinson, dkk., 1990).

#### **D. Stratigrafi**

Cekungan Bintuni terbentuk saat Tersier Akhir yang mengalami perkembangan selama Plio-Pleistosen bersamaan dengan pengangkatan pegunungan lupatan Lengguru (*Lengguru Foldbelt*) di sebelah timur dan Tinggian

Kemum sebelah utara. Pigram dan Sukanta (1981) beranggapan bahwa cekungan Bintuni berumur lebih tua dari yang telah disampaikan diatas, setidaknya berumur Trias. Proses terbentuknya Kepala Burung yang didalamnya terdapat cekungan Bintuni merupakan sesuatu yang masih diperdebatkan. Kepala Burung terdiri dari sejumlah terrane. Kemum terrane merupakan bagian Gondwana setidaknya hingga Jura Akhir. Kemum dan Misool terrane kemudian menyatu oleh Oligosen Akhir, dibuktikan dengan adanya perlipatan dari batuan diatasnya. Kemudian terrane mikrokontinen Kepala Burung seperti saat ini.

#### 1. Batuan Dasar Paleozoikum

Batuan berumur paleozoikum dapat dijumpai tersingkap di pegunungan timut laut Kepala Burung yang dikenal dengan Tinggian Kemum. Di bagian Kepala Burung, lapisan batuan tertua berupa Formasi Kemum yang terdiri dari batuan sabak, filitik dan sedikit kuarsit. Formasi ini diintrusi oleh biotit granit (melaiurna granite) berumur karbon. Di atas Formasi Kemum diendapkan secara tidak selaras di atas kelompok Aifam.

#### 2. Kelompok Aifam

Kelompok Aifam merupakan kelompok batuan yang diendapkan pada lingkungan laut dangkal di bagian bawahnya hingga lingkungan fluvio-deltaik ke arah atas. kelompok Aifam terdiri dari tiga formasi : Formasi Aimau, Aifat Mudstone dan Formasi Ainim. Kelompok ini terdeformasikan kuat dan termetamorfkan di daerah Kepala Burung. Di Cekungan Bintuni, Formasi Tipuma diendapkan secara tidak selaras di atas Kelompok Aifam.

### 3. Sedimen Mesozoikum hingga Kenozoikum

Formasi Tipuma tersebar luas di daerah Papua, mulai dari Barat daya Kepala Burung hingga ujung paling Timur. (Visser dan Hermes, 1962) yang pertama kali menamakan formasi ini sebagai Formasi Tipuma. Formasi Tipuma dicirikan oleh batuan yang berwarna merah dengan sedikit bintik-bintik yang berwarna hijau terang. Formasi Tipuma diendapkan pada lingkungan fluvial selama periode *rifting* kerak benua. pengamatan di lapangan menunjukkan perubahan ketebalan formasi searah jurus lapisan. penampakan ini diinterpretasikan sebagai topografi *horst* dan *graben* yang dihasilkan dengan *extension* aktif. Umur formasi Tipuma berdasarkan posisi stratigrafi, Trias-Jura Awal. Pigram dan Sukanta (1981) menyatakan bahwa kontak antara Formasi Tipuma dan kelompok kembelangan adalah ketidakselarasan berupa *post-breakup unconformity*.

### 4. Kelompok Kembelangan

Kelompok Kembelangan dapat ditemui di Kepala Burung hingga Platform Arafura dan secara regional satuan ini diendapkan pada tepi bagian utara dari Lempeng Australia selatan masa Mesozoikum. Pigram dan Sukanta (1981) membagi kelompok Kembelangan menjadi empat formasi : Formasi Kopai, Waniwogi *Sandstone*, Piniya *Mudstone* dan Ekmai *Sandstone*.

Di Kepala Burung, Kelompok Kembelangan dapat dibagi menjadi empat formasi. Bagian paling dikenal dari kelompok ini yaitu Formasi Jass. Formasi Jass terdiri dari batupasir kuarsa dan batu lempung karbonatan.

Pada Lower Kembelengan, bagian atas Kelompok Kembelengan terdiri dari perselingan serpih karbonatan dengan batu lempung, dan batu pasir halus kuarsa glaukonitan dan sedikit serpih. Kelompok ini diendapkan pada sekuen passive margin yang terendapkan secara selaras diatas sikuen *rift* Trias Formasi Tipuma. Kontak antara Formasi Waripi dan kelompok batu gamping *New Guinea* berupa kontak keselarasan.

5. Kelompok batu gamping *New Guinea*

Selama masa kenozoikum, terutama antara periode kapus hingga batas Kenozoikum, Pulau Papua *New Guinea* dicirikan oleh pengendapan batuan karbonat yang dikenal dengan nama Kelompok Kembelengan (Visser dan Hermes, 1962).

6. Sedimentasi pada Kenozoikum Akhir

Sedimentasi pada Kenozoikum Akhir di batuan dasar (*Basement*) Benua Australia dicirikan oleh sikuen silisklastik dengan ketebalan kilometer yang menutupi sikuen karbonat berumur Miosen Tengah. Di Papua, telah dikenal tiga formasi utama yang semuanya memiliki kesamaan umur dan litologi. Formasi tersebut adalah formasi Klasaman, Formasi Steenkool dan Formasi Buru.

Kolom stratigrafi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.

AGE		BINTUNI		
UNITS	STRATIGRAPHIC	FORMATION	LITHOLOGY	
PLEISTOCENE		SELE	Conglomeratic sandstone and clays	
PLIOCENE		STEENKOL	Shale and sandstone alteration	
UPPER	MIOCENE	NEW GUINEAIST GROUP	Fossiliferous chalky limestone rich in corals debris. Changing eastwards to grey shale	
MIDDLE				KLASAFET
LOWER				KAIS
OLIGOCENE		SIRGA	Light grey, hard and fossiliferous platform carbonate	
EOCENE		FAUMAI	Light brown, often dolomitic, limestones and crystalline dolomite	
PALEOCENE		WARIPI	Sand and shale alterations overten by evaporite facies changing laterally shaly carbonates	
UPPER	CRETACEOUS	MAMBANGAN GROUP	Claystone and silty shale	
LOWER				JASS
UPPER	JURASSIC	MAMBANGAN GROUP	Shallow water sandstone interbedded with grey shale	
MIDDLE				LOWER
LOWER				KEMBELANGAN
TRIASSIC		TIPUMA	Red bed facies	
UPPER	PERMIAN	AFANI GROUP	Black shale and sandstone alterations, coal seams	
MIDDLE				ANIM
UPPER	CARBONIFEROUS	AFANI GROUP	Shales and marl with carbonate	
MIDDLE				AIFAT
LOWER				AIMAU
DEVONIAN		KEMUM	Sandstone intercalated with fossiliferous shales	
SILURAN				
ORDOVICIAN				

LEMIGAS, 2005

**Gambar 2.** Kolom Stratigrafi Cekungan Bintuni (LEMIGAS, 2005).

Berdasarkan kolom stratigrafi, formasi daerah penelitian adalah sebagai berikut:

a. Sele

Yang terdiri dari batua konglomerat dan lempung

b. Steenkool

TQs: batu serpih dan alterasi batupasir

Berdasarkan peta geologi lembar Ransiki, formasi steenkool terbagi menjadi dua jenis, antara lain:

TQss: didominasi batu pasir atau yang didominasi batu lempung



TQsm: didominasi batu lumpur

c. Klasafet dan kais

Tmk : kaya akan batu gamping berfosil kapur pada puing-puing koral.

Perubahan warna menjadi serpih abu-abu

d. Sago dan sirga

Berwarna abu-abu terang, keras dan terdapat fosil sebagai pembentuk karbonat

e. Faumai

Berwarna coklat terang, terdiri dari dolomite, batu gamping dan kristal dolomite

f. Waripi

Perubahan batu pasir dan serpih ditimpah oleh tumpukan fasies yang mengubah karbonat secara lateral

g. Jass

Terdiri dari batu lempung karbonatan, lanau serpih dan batupasir

h. Kembelangan

JKk : perairan dangkal, batu pasir dengan serpih abu-abu.

i. Tipuma

Rjt : serpih merah kecoklatan hingga kelabu dengan sedikit bintik-bintik yang berwarna hijau terang.agak termalihkan berangsur menjadi batu sabak.

j. Ainim

Terdiri dari serpih berwarna hitam dan batu pasir, lapisan batubara.

k. Aifat

Terdiri dari batu serpih dan napal dengan karbonat

l. Aimau

Terdiri dari interkulasi batu pasir dengan serpih berfosil

m. Kemum

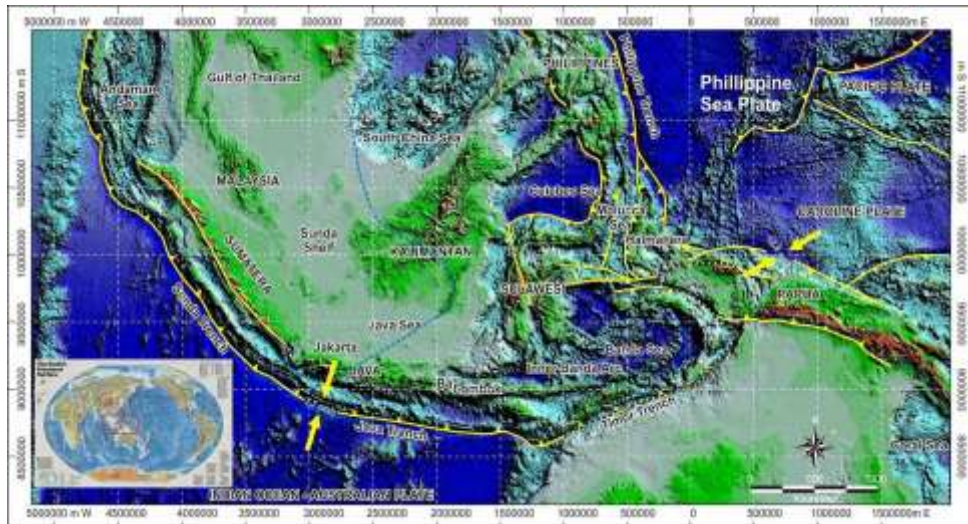
SDa : Sangat berlipat terdiri dari batuan dasar berupa batuan metamorf berupa sabak, phyllite dan kuarsit dan klastik kasar.

### **E. Tatanan Tektonik Geologi Di Kepala Burung Papua**

1. Struktur Regional Papua

Geologi Papua dipengaruhi dua elemen tektonik besar yang saling bertumbukan dan serentak aktif **Gambar 3**. Pada saat ini, Lempeng Samudera Pasifik-Caroline bergerak ke barat-baratdaya dengan kecepatan 7,5 cm/th, sedangkan Lempeng Benua Indo-Australia bergerak ke utara dengan kecepatan 10,5 cm/th. Tumbukan yang sudah aktif sejak Eosen ini membentuk suatu tatanan struktur kompleks terhadap Papua Barat (Papua), yang sebagian besar dilandasi kerak Benua Indo-Australia.

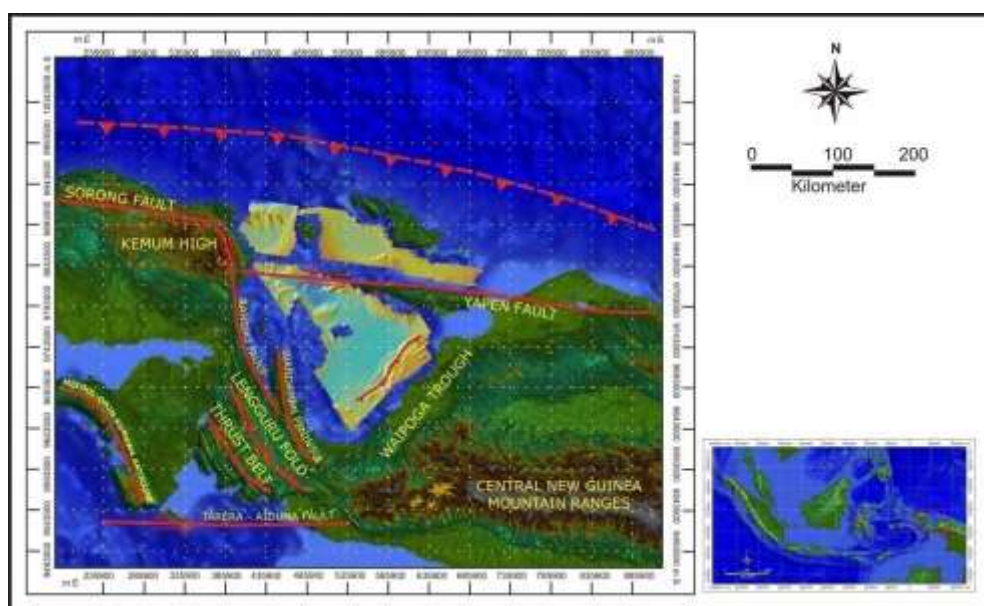
Periode tektonik utama daerah Papua dan bagian utara Benua Indo-Australia dijelaskan dalam empat episode yaitu (1) periode rifting awal Jura di sepanjang batas utara Lempeng Benua Indo-Australia, (2) periode rifting awal Jura di Paparan Baratlaut Indo-Australia (sekitar Palung Aru), (3) periode tumbukan Tersier antara Lempeng Samudera Pasifik-Caroline dan Indo-Australia, zona subduksi berada di Palung New Guinea, dan (4) periode tumbukan Tersier antara Busur Banda dan Lempeng Benua Indo-Australia. Periode tektonik Tersier ini menghasilkan kompleks-kompleks struktur seperti Jalur Lipatan Anjakan Papua dan Lengguru, serta Antiklin Misool-Onin-Kumawa.



**Gambar 3.** Elemen tektonik Indonesia dan pergerakan lempeng tektonik (Hamilton, 1979).

Tektonik Papua, secara umum dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu Badan Burung atau Papua bagian timur dan Kepala Burung atau Papua bagian barat. Kedua bagian ini menunjukkan pola kelurusan barat-timur yang ditunjukkan oleh Tinggian Kemum di Kepala Burung dan Central Range di Badan Burung, kedua pola ini dipisahkan oleh Jalur Lipatan Anjakan Lengguru berarah baratdayatenggara di daerah Leher Burung dan juga oleh Teluk Cenderawasih

**Gambar 4.**



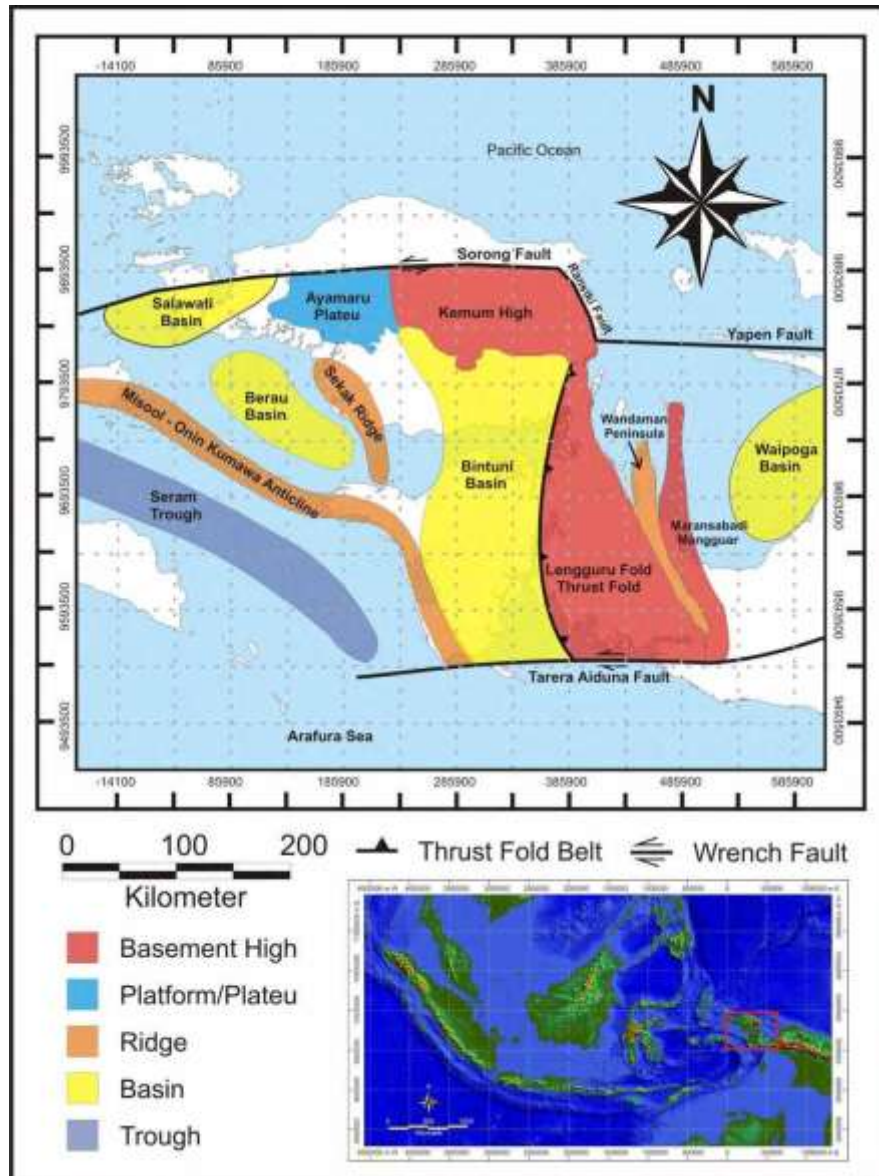
**Gambar 4.** Struktur Regional Papua (Dow dan Sukanto, 1984).

## 2. Tatanan Tektonik Kepala Burung Papua

Daerah Kepala Burung mengalami kompresi ke selatan sejak Oligosen sampai Resen. Kompresi ini merupakan hasil interaksi konvergen miring (*oblique*) antara Lempeng Benua Indo-Australia dan Lempeng Samudera Pasifik-Caroline. Elemen-elemen struktur utama adalah Sesar Sorong, Blok Kemum – Plateu Ayamaru di utara, Sesar Ransiki, Jalur Lipatan-Anjakan Lengguru dan Cekungan Bintuni dan Salawati di timur dan Sesar Tarera-Aiduna, Antiklin Misool-Onin-Kumawa dan Cekungan Berau di selatan dan baratdaya. Cekungan-cekungan Bintuni, Berau dan Salawati diketahui sebagai cekungan cekungan Tersier (Dow dan Sukanto, 1984).

Blok Kemum adalah bagian dari tinggian batuan dasar, dibatasi oleh Sesar Sorong di utara dan Sesar Ransiki di timur. Dicitrakan oleh batuan metamorf, pada beberapa tempat diintrusi oleh granit Permo-Trias. Batas selatannya dicirikan oleh kehadiran sedimen klastik tidak termetamorfosakan berumur Paleozoikum-Mesozoikum dan batugamping-batugamping Tersier (Pigram dan Sukanta, 1981). Blok Kemum terangkat pada masa Kenozoikum Akhir dan merupakan daerah sumber sedimentasi utama pengisian sedimen klastik di utara Cekungan Bintuni.

Cekungan Bintuni merupakan cekungan Tersier di selatan Blok Kemum, di bagian timurnya dibatasi oleh Jalur Lipatan Anjakan Lengguru. Cekungan ini dipisahkan dari Cekungan Salawati oleh Paparan Ayamaru dan dari Cekungan Berau oleh Perbukitan Sekak **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Elemen Tektonik Kepala Burung (Pigram dkk., 1982).

Plateu Ayamaru dan Pematang Sekak merupakan tinggian di tengah Kepala Burung, dicirikan oleh sedimen tipis berumur Mesozoikum dan Tersier. Kedua tinggian ini memisahkan Cekungan Bintuni dan Salawati (Visser and Hermes, 1962).

Antiklin Misool-Onin-Kumawa merupakan bagian antiklinorium bawah laut yang memanjang dari Peninsula Kumawa sampai ke Pulau Misool. Jalur Lipatan Anjakan Lengguru berarah baratdaya-tenggara diperlihatkan oleh suatu seri

bentukan ramps dan thrust. Di bagian selatannya, jalur ini terpotong oleh Zona Sesar Tarera-Aiduna. Tanjung Wandaman pada arah selatan-tenggara, merupakan jalur sesar yang dibatasi oleh batuan metamorf. Daerah ini dapat dibagi menjadi zona metamorfisme derajat tinggi di utara dan derajat rendah di selatan (Pigram dkk.,1982).

Zona Sesar Tarera-Aiduna merupakan zona sesar mendatar mengiri di daerah selatan Leher Burung. Jalur Lipatan Anjakan Lengguru secara tiba-tiba berakhir di zona berarah barat-timur ini (Dow dkk., 1985). Sesar ini digambarkan memotong Palung Aru dan semakin ke barat menjadi satu dengan zona subduksi di Palung Seram.

### III. TEORI DASAR

#### A. Dasar Metode Magnetotellurik

Metoda magnetotellurik (MT) merupakan salah satu metoda eksplorasi geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik alam. Medan elektromagnetik berasal dari dua sumber, yaitu dari *solar wind* dan petir. Medan EM tersebut ditimbulkan oleh berbagai proses fisik yang cukup kompleks sehingga spektrum frekuensinya sangat lebar ( $10^{-5}$  Hz –  $10^4$  Hz). Pada frekuensi yang cukup rendah (kurang dari 1 Hz), berasal dari fluktuasi medan magnet bumi yang disebabkan oleh perubahan dalam *magnethosphere*. *Magnethosphere* adalah zona kompleks plasma, yang secara konstan terdorong oleh *solar wind*. *Solar wind* yang mengandung partikel-partikel bermuatan listrik berinteraksi dengan medan magnet permanen bumi sehingga menyebabkan variasi medan EM.

Variasi pada jangkah frekuensi audio (*audio frequency band*, di atas 1 Hz) terutama disebabkan oleh aktivitas meteorologis berupa petir. Petir yang terjadi di suatu tempat menimbulkan gelombang EM yang terperangkap antara ionosfer dan bumi (*wave guide*) dan menjalar mengitari bumi. *Wave guide* sebagai gelombang listrik transversal (TE), magnetik transversal (TM), atau gelombang listrik dan magnetik transversal (TEM). Kebergantungan fenomena listrik magnet terhadap sifat kelistrikan terutama konduktivitas medium (bumi) dapat dimanfaatkan untuk

keperluan eksplorasi menggunakan metoda MT. Informasi mengenai konduktivitas medium yang terkandung dalam data MT dapat diperoleh dari penyelesaian persamaan Maxwell menggunakan model-model yang relatif sederhana (Vozoff, 1991).

## B. Persamaan Maxwell

Persamaan Maxwell merupakan sintesa hasil-hasil eksperimen (empiris) mengenai fenomena listrik – magnet yang didapatkan oleh Faraday, Ampere, Coulomb, Kontinuitas fluks magnet disamping yang dilakukan oleh Maxwell sendiri. Penggunaan persamaan tersebut dalam metoda MT telah banyak diuraikan dalam buku-buku pengantar geofisika khususnya yang membahas metoda EM. Dalam bentuk diferensial, persamaan Maxwell dalam domain frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Hukum Faraday}) \quad (1a)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{Hukum Ampere}) \quad (1b)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = q \quad (\text{Hukum Coulomb}) \quad (1c)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Hukum Kontinuitas Fluks Magnet}) \quad (1d)$$

dimana

$\vec{E}$ : vektor medan listrik (volt/m)

$\vec{B}$ : vektor fluks atau induksi magnetik (weber/m<sup>2</sup> atau tesla)

$\vec{H}$ : vektor medan magnet (ampere/m)

$\vec{J}$ : vektor rapat arus (ampere/m<sup>2</sup>)



$\vec{D}$  : vektor perpindahan listrik (coulomb/m<sup>2</sup>)

$q$  : rapat muatan listrik (coulomb/m<sup>3</sup>)

(**Persamaan 1a**) 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 1b**) 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 1c**) menyatakan hukum Coulomb yaitu fluks elektrik pada suatu ruang sebanding dengan muatan total yang ada dalam ruang tersebut. Sedangkan (**Persamaan 1d**) yang identik dengan (**Persamaan 1c**) 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:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2a)$$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad (2b)$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \frac{\vec{D}}{\rho} \quad (2c)$$

dimana,

$\mu$  : permeabilitas magnetik (henry/m)

$\varepsilon$  : permitivitas listrik (farad/m)

$\sigma$  : konduktivitas (ohm<sup>-1</sup>/m atau siemens/m)

$\rho$  : tahanan-jenis (ohm.m)

(Telford, dkk., 2004)

### C. *Skin Depth*

Metode MT bergantung pada penetrasi medan EM yang masuk kedalam bumi. Gelombang elektromagnetik dan konduktivitas batuan bumi itu sendiri yang akan berpengaruh terhadap penetrasi. Metode magnetotellurik (MT) memiliki penetrasi yang sangat dalam yaitu dapat mencapai lebih dari 3 km. Semakin kecil frekuensi dari alat yang kita gunakan, maka akan semakin dalam penetrasi yang diperoleh. Akan tetapi proses perekaman data menjadi semakin lama (Simpson dan Karsten, 2005).

Besaran *skin depth* digunakan untuk memperkirakan kedalaman penetrasi atau kedalaman investigasi gelombang elektromagnetik. Adapun *skin depth* dalam metode Magnetotellurik dapat dituliskan dalam (**Persamaan 3**) berikut ini:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (3)$$

(Simpson dan Karsten, 2005).

Dimana  $\delta$  adalah kedalaman penetrasi (m),  $\rho$  adalah resistivitas medium (ohm. m). Sementara  $f$  adalah nilai frekuensi dari gelombang EM tersebut. Dari (**Persamaan 3**), terlihat bahwa *skin depth* tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya frekuensi alat yang kita gunakan, tetapi faktor resistivitas formasi batuan juga turut mempengaruhi. Semakin besar frekuensi alat yang kita gunakan, maka penetrasi yang diperoleh akan semakin dangkal. Namun, ketika frekuensi alat yang digunakan semakin kecil, maka penetrasi yang dihasilkan akan semakin dalam. Sementara dengan frekuensi alat yang sama, semakin besar nilai resistivitas formasi batuan yang ada dibawah lapisan bumi maka hasil penetrasi yang diperoleh akan semakin dalam. Sedangkan jika lapisan di bawah permukaan

memiliki resistivitas formasi yang kecil, maka penetrasi yang diperoleh juga semakin dangkal.

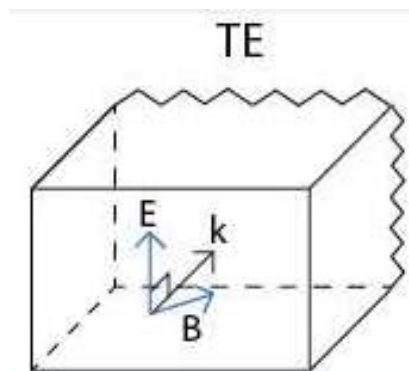
Besar kecilnya penetrasi bergantung oleh nilai resistivitas batuan dikarenakan lapisan yang memiliki nilai resistivitas rendah akan cenderung lebih mudah mengalirkan arus dibandingkan dengan lapisan yang lebih resistif. Ketika lapisan konduktif tersebut mendapat injeksi arus dari luar, maka arus luar akan lebih cenderung mengalir hanya dilapisan konduktif saja, tidak mengalir ke lapisan di bawahnya yang lebih resistif. Oleh karena itu, faktor resistivitas formasi batuan akan sangat mempengaruhi besar kedalaman penetrasi yang diperoleh. Parameter yang diukur dalam survei Magnetotellurik (MT) adalah medan listrik dan medan magnet di wilayah tersebut (Daud, 2010).

#### **D. Metode Pengukuran MT**

Dalam metode pengukuran MT, terdapat dua metode pengukuran yang dapat membantu dalam proses pemodelan atau interpretasi tahap awal, yaitu TE (*Transverse Electric*) mode dan TM (*Transverse Magnetic*) mode.

##### *1. Transverse Electric Mode*

Pada komponen yang menunjukkan medan listriknya sejajar dengan arah struktur utama dinamakan Transvers Electric (TE) mode atau juga disebut *E-Polarization*.

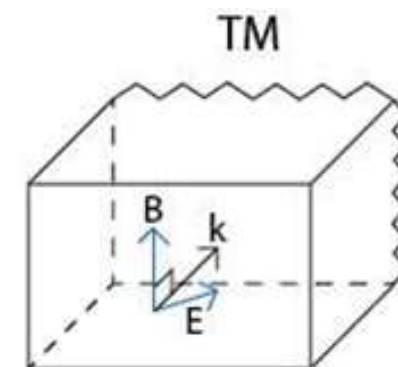


**Gambar 6.** Mode TE (*Transverse Electric*) (Unsworth, 2006).

Mode TE menunjukkan pada bidang arah sumbu y dan z hanya komponen magnetiknya saja, sedangkan komponen medan listrik sejajar dengan arah dstruktur utama (Unsworth, 2006). Mode TE dapat dilihat pada (**Gambar 6**).

## 2. *Transverse Magnetic Mode*

Pada komponen yang menunjukkan medan magnet yang sejajar dengan arah struktur utama dinamakan *Transverse Electric* (TM) mode atau disebut juga *B-Polarization*.



**Gambar 7.** Mode TM (*Transverse Magnetic*) (Unsworth, 2006).

Mode TM menunjukkan pada bidang arah sumbu y dan z hanya komponen medan listrik saja sedangkan komponen medan magnet sejajar dengan arah struktur utama (Unsworth, 2006). Mode TM dapat dilihat pada (**Gambar 7**).

## E. Pengolahan Data MT

Pengolahan data MT dilakukan dari data mentah berupa *time series* sampai diperoleh nilai resistivitas semu dan fase. Teori yang digunakan pada proses pengolahan data MT diantaranya adalah *Fourier Transform* untuk mengubah data *time series* domain menjadi *frequency domain*, *robust processing* yang berguna sebagai filter *noise* awal, menghitung nilai dari impedansi, menghitung nilai resistivitas semu dan fase, melakukan inversi 1 dimensi dan inversi 2 dimensi.

### 1. Data Time Series

Salah satu *time series* terdiri dari informasi tentang periode dan penetrasi kedalaman. Langkah awal dalam pengolahan data adalah mentransformasikan dari domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan transformasi *fourier*. *Time series* elektromagnetik direkam sampai beberapa minggu atau bulan yang menghasilkan 10 Mbytes data. Disisi lain, transfer *function* dari satu stasiun memiliki dataset yang sangat kecil yang digambarkan dengan *impedance tensor* pada 30-50 *evaluation frequencies* (Simpson dan Karsten, 2005).

### 2. Fourier Transform

*Fourier transform* merupakan suatu fungsi yang dapat mengubah sinyal dari *time series* menjadi *frequency domain*. *Fourier transform* hanya dapat digunakan untuk *space* atau *time series* yang merupakan fungsi kontinu. Berikut ini merupakan fungsi dari *Fourier transform* dengan  $f(\omega)$  adalah fungsi gelombang dalam domain frekuensi,  $f(t)$  adalah fungsi gelombang dalam *time domain*,  $i$  adalah *imaginer*,  $\omega=2\pi f$  adalah frekuensi angular,

$t$  adalah waktu dan  $e$  adalah eksponen.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (4)$$

(Rulia, 2012).

### 3. *Robust Processing*

*Robust processing* adalah teknik pemrosesan statistical yang menggunakan bobot iterative dari residual untuk mengidentifikasi dan menghapus data yang menyimpang oleh *noise*. Teknik ini dilakukan dengan mengeliminasi pengaruh dari titik data (disebut dengan *outlier*) yang tidak mempresentasikan keseluruhan data. *Outlier* adalah data dengan nilai yang menyimpang jauh dari nilai rata-rata, umumnya data tersebut dapat dianggap sebagai *noise* sehingga *robust processing* dapat berperan sebagai filter *noise* awal bagi data MT. Pada dasarnya prinsip *robust* hampir sama dengan prinsip *least square* biasa, yaitu mencari *trend* data yang lebih dominan dan meminimalisir pengaruh *outlier* terhadap data. Perbedaannya adalah dari besarnya pengaruh *outlier* yang ada dalam data. Pengaruh *outlier* pada *robust* cenderung lebih rendah daripada *least square* (Rulia, 2012).

### 4. Menghitung Impedansi, resistivitas semu dan fase

Impedensi adalah perbandingan antara medan magnet dan medan listrik, fungsi transfer magnetotellurik untuk memperoleh tensor impedansi adalah sebagai berikut (Dewi, 2012):

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix} \quad (5)$$

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 Karsten, 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 6**) sebagai berikut :

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (6)$$

Dua modus independen dari impedansi dianalisis untuk analisis pendekatan Bumi 2-D dalam system koordinat kartesian dengan y searah

dengan arah *strike* dan x tegak lurus terhadap arah struktur geologi. Modus *Transverse electric* (TE) adalah modus yang ketika medan listrik searah dengan struktur geologi. Modus *Transverse magnetic* (TM) adalah modus yang ketika medan magnet searah dengan struktur geologi. Bagian diagonal dari impedansi tensor untuk pendekatan bumi 2-D adalah nol:

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

dimana

$$Z_{xy} = Z_{TE} = \frac{E_x}{H_y} \quad (7a)$$

$$Z_{yx} = Z_{TM} = \frac{E_y}{H_x} \quad (7b)$$

Dengan demikian, nilai resistivitas semu dapat didefinisikan sebagai :

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (8a)$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \quad (8b)$$

dimana  $\rho$  yaitu resistivitas medium (ohm. m),  $Z$  yaitu impedansi,  $\omega=2\pi f$  yaitu frekuensi angular,  $\mu$  adalah permeabilitas (henry/m).

sedangkan fase, dapat didefinisikan sebagai :

$$\Phi_{xy} = \tan^{-1} \left( \frac{im\left(\frac{E_x}{H_y}\right)}{re\left(\frac{E_x}{H_y}\right)} \right) \quad (9a)$$

$$\Phi_{yx} = \tan^{-1} \left( \frac{im\left(\frac{E_y}{H_x}\right)}{re\left(\frac{E_y}{H_x}\right)} \right) \quad (9b)$$

Dimana  $\phi$  yaitu fase (degrees),  $im(Z)$  yaitu imajiner impedansi,  $re(Z)$  yaitu real impedansi.



## 5. Inversi 1 Dimensi

Model 1 dimensi berupa model berlapis horizontal, yaitu model yang terdiri dari beberapa lapisan, dimana tahanan jenis tiap lapisan homogen. Dalam hal ini parameter model 1 dimensi adalah tahanan jenis dan ketebalan tiap lapisan. Inversi 1D terdiri dari dua jenis yaitu:

### a. Inversi Bostick

Proses inversi yang terjadi dalam metode ini yaitu diterapkan pada data resistivitas semu dan fasa yang kemudian dilakukan transformasi hingga mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya dan data kedalaman. Secara sederhana, transformasi ini dapat dihitung dengan persamaan sederhana yang diperkenalkan oleh (Goldberg dan Rotstein, 1982) yaitu:

$$\rho(D) = \rho_a(\omega) \left( \frac{\pi}{2\phi} - 1 \right) \quad (10)$$

dan

$$D = \left( \frac{\rho_a(\omega)}{\mu\omega} \right)^{1/2} \quad (11)$$

dimana  $D$  adalah kedalaman,  $\rho(D)$  adalah resistivitas sebagai fungsi dari kedalaman ( $D$ ),  $\rho_a(\omega)$  adalah resistivitas semu sebagai fungsi pada frekuensi ( $\omega$ ),  $\omega$  adalah frekuensi angular  $\mu$  adalah permeabilitas magnetik, dan  $\phi$  adalah fase.

### b. Inversi Occam

Proses inversi yang terjadi dalam metode ini terbagi menjadi dua fase. Fase I adalah fase dimana proses inversi akan membawa RMS ke level yang diinginkan dengan mengubah  $\lambda$ . Sementara itu, fase II adalah fase dimana inversi akan meminimalisasi model *norm* (normalisasi model).

Hal ini dilakukan juga dengan mengubah  $\lambda$  untuk menemukan model dengan normalisasi terkecil sementara RMS tetap dijaga berada pada level yang diinginkan. Dalam inversi ini,  $\lambda$  tidak ditetapkan di awal inversi, melainkan akan berubah dari iterasi 1 ke iterasi lainnya (Suparno, 2007).

## 6. Inversi 2 Dimensi

Inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistic untuk memperoleh distribusi sifat fisis bawah permukaan. Analisis terhadap data lapangan dilakukan dengan cara melakukan pencocokan kurva antara model matematika dengan data lapangan.

Inversi 2 dimensi dapat dilakukan dengan menggunakan metode inversi *Nonlinear Conjugate Gradient* (NLCG). Metode NLCG mampu memperkecil suatu fungsi objek yang terdapat pada resistivitas. Metode NLCG dapat secara langsung meminimalisasi problem yang bukan kuadratik, membebaskan kerangka iterasi dan inversi linear.

Penyelesaian yang dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan inversi MT adalah dengan meminimalkan persamaan fungsi *unconstraint* yang ada dengan pendekatan iterasi.

Pada data magnetotellurik, terdapat dua jenis fungsi utama *unconstraint* yang harus diminimalkan dengan menggunakan pendekatan iterasi untuk menghasilkan model yang match dengan data. Salah satunya adalah dengan fungsi berikut :

$$U(m, \lambda) = \lambda^{-1}(d - F[m]) C_d^{-1} (d - F[m]) - \chi^{-2} + (m - m_0)^T C_m^{-1} (m - m_0) \quad (12)$$

Dimana  $m$  adalah model resistivity dalam dimensi M,  $m_0$  adalah prior model,  $C_m$  adalah model *matrix covariance*,  $d$  adalah data observasi dengan dimensi N,  $F[m]$  adalah *Forward model response*,  $C_d$  adalah data *Matrix covariance*,  $\chi^{-2}$  adalah misfit yang dicari,  $\lambda^{-1}$  adalah faktor pengali *Lagrange* (Amriyah, 2012).

## F. *Petroleum System*

Merupakan sebuah sistem yang menjadi panduan utama dalam eksplorasi hidrokarbon. Sistem ini digunakan untuk mengetahui keadaan geologi dimana minyak dan gas bumi terakumulasi (Koesoemadinata, 1980).

### 1. Batuan Sumber

Batuan sumber adalah batuan yang merupakan tempat minyak dan gas bumi terbentuk. Pada umumnya batuan sumber ini berupa lapisan serpih (*shale*) yang tebal dan mengandung material organik. Secara statistik disimpulkan bahwa prosentasi kandungan hidrokarbon tertinggi terdapat pada serpih, yaitu 65%, batugamping 21%, napal 12% dan batubara 2%.

Kadar material organik dalam batuan sedimen secara umum dipengaruhi oleh beberapa faktor (Koesoemadinata, 1980) antara lain lingkungan pengendapan dimana kehidupan organisme berkembang secara baik, sehingga material organik terkumpul, pengendapan sedimen yang berlangsung secara cepat, sehingga material organik tersebut tidak hilang oleh pembusukan dan atau teroksidasi. Faktor lain yang juga

mempengaruhi adalah lingkungan pengendapan yang berada pada lingkungan reduksi, dimana sirkulasi air yang cepat menyebabkan tidak terdapatnya oksigen. Dengan demikian material organik akan terawetkan.

Proses selanjutnya yang terjadi dalam batuan sumber ini adalah pematangan. Dari beberapa hipotesa (Koesoemadinata, 1980) diketahui bahwa pematangan hidrokarbon dipandang dari perbandingan hidrogen dan karbon yang akan meningkat sejalan dengan umur dan kedalaman batuan sumber itu sendiri.

## 2. Migrasi

Migrasi adalah perpindahan hidrokarbon dari batuan sumber melewati rekahan dan pori-pori batuan waduk menuju tempat yang lebih tinggi. Beberapa jenis sumber penggerak perpindahan hidrokarbon ini diantaranya adalah kompaksi, tegangan permukaan, gaya pelampungan, tekanan hidrostatik, tekanan gas dan gradien hidrodinamik.

Mekanisme pergerakan hidrokarbon sendiri dibedakan pada dua hal, yaitu perpindahan dengan pertolongan air dan tanpa pertolongan air. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa migrasi hidrokarbon dipengaruhi oleh kemiringan lapisan secara regional. Waktu pembentukan minyak umumnya disebabkan oleh proses penimbunan dan '*heat flow*' yang berasosiasi dengan tektonik Miosen Akhir.

## 3. Batuan Reservoir

Batuan reservoir merupakan batuan berpori atau retak-retak, yang dapat menyimpan dan melewatkan fluida. Di alam batuan reservoir umumnya berupa batupasir atau batuan karbonat. Faktor-faktor yang menyangkut

kemampuan batuan reservoir ini adalah tingkat porositas dan permeabilitas, yang sangat dipengaruhi oleh tekstur batuan sedimen yang secara langsung dipengaruhi sejarah sedimentasi dan lingkungan pengendapannya.

#### 4. Lapisan penutup

Lapisan penutup merupakan lapisan pelindung yang bersifat tak permeabel yang dapat berupa lapisan lempung, *shale* yang tak retak, batugamping pejal atau lapisan tebal dari batuan garam. Lapisan ini bersifat melindungi minyak dan gas bumi yang telah terperangkap agar tidak keluar dari sarang perangkapnya.

#### 5. Perangkap (*trap*)

Secara geologi perangkap yang merupakan tempat terjebaknyanya minyak dan gas bumi dapat dikelompokkan dalam tiga jenis perangkap, yaitu perangkap struktur, perangkap stratigrafi dan perangkap kombinasi dari keduanya.

Perangkap struktur banyak dipengaruhi oleh kejadian deformasi perlapisan dengan terbentuknya struktur lipatan dan patahan yang merupakan respon dari kejadian tektonik. Perangkap stratigrafi dipengaruhi oleh variasi perlapisan secara vertikal dan lateral, perubahan fasies batuan dan ketidakselarasan (Koesoemadinata,1980).

## IV. METODELOGI PENELITIAN

### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan pada 1 Februari 2017 di Pusat Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Jl. Diponegoro No. 57, Bandung, Jawa Barat dan Laboratorium Geofisika, Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Adapun waktu dan kegiatan penelitian terdapat pada (**Tabel 1**) sebagai berikut :

**Tabel 1.** Waktu dan Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan ke						
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Studi literature dan persiapan	■	■					
2	Penulisan proposal		■	■				
3	Seminar proposal				■			
4	Pengolahan data				■	■		
5	Interpretasi data				■	■		
6	Seminar hasil						■	
7	Sidang akhir skripsi							■

### B. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan pengolahan data magnetotellurik (MT) dengan jumlah titik sebanyak 5 titik. Data pengukuran MT yang digunakan adalah data

Cekungan Bintuni, Propinsi Papua Barat hasil penelitian Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung.

### **C. Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop *Acer Aspire 4732*
2. *Software Synchro Time Series View*
3. *Software SSMT2000*
4. *Software MTEditor*
5. *Software WinGlink*
6. *Software Microsoft Word dan Microsoft Excel 2007*

### **D. Prosedur Pengolahan Data Magnetotellurik**

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder Pusat Survei Geologi (PSG) yaitu data MT daerah Bintuni. Hasil data yang diperoleh dari perekaman MTU adalah berupa data mentah berupa deret waktu (*time series*), terbagi menjadi tiga band dengan ekstensi TS3, TS4, TS5, TBL, CLB dan CLC. Data tersebut merupakan input yang akan dimasukkan ke dalam *software SSMT2000* untuk dilakukan *Transformasi Fourier* yaitu perubahan data dalam domain *time series* menjadi data dalam domain frekuensi sehingga dapat diketahui nilai impedansinya.

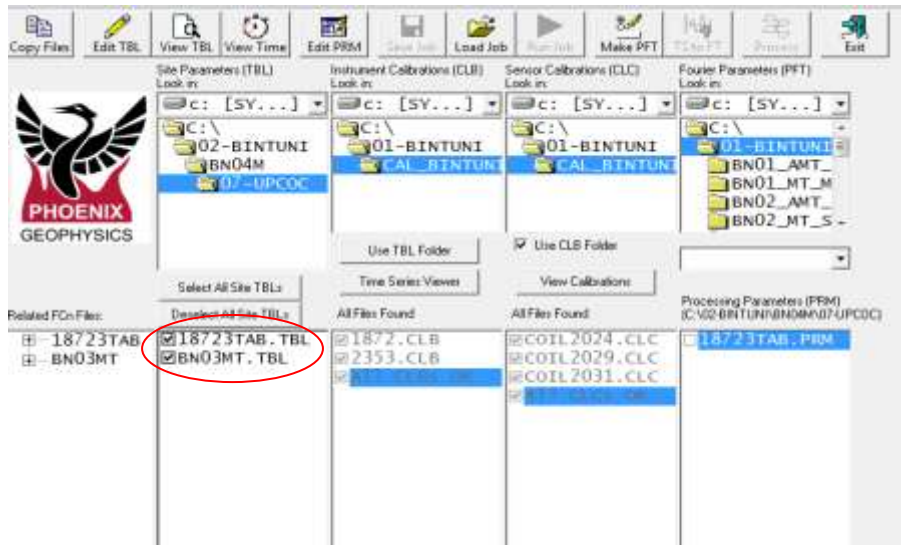
Data tersebut merupakan data yang masih mengandung *noise*, untuk mereduksi *noise* dapat dilakukan dengan melakukan *Robust Processing*. Format

data diubah menjadi data dengan format MTH dan MTL. Hasil dari perubahan domain *time series* menjadi domain frekuensi yaitu berupa *apparent resistivity* dan *apparent phase*. Data dalam bentuk frekuensi ditampilkan dalam bentuk kurva dan dilakukan pengeditan kurva agar menjadi *smooth* dengan *software MTEditor*, format data harus diubah menjadi *EDI file*.

Pengolahan selanjutnya yaitu melakukan inversi 1D untuk mengetahui lapisan bawah permukaan dan inversi 2D untuk mendapatkan penampang resistivitas baah permukaan dengan menggunakan *software WinGlink*. Setelah mendapatkan penampang resistivitas, proses selanjutnya yaitu melakukan interpretasi dengan mengkombinasikan hasil nilai resistivitas penampang 2D dengan informasi geologi daerah penelitian.

Sebelum melakukan proses pengolahan, terdapat beberapa titik data yang dilakukan *combine* atau biasa disebut dengan *remote reference*. Data tersebut yaitu pada titik BN04 dan BN06. *Combine* dilakukan dengan menambahkan sensor medan magnetik yang yang memiliki nilai regional yang dapat menjadi acuan medan magnetik lokal. *Combine* dilakukan dengan menggunakan sensor medan magnetik stasiun lain dengan jarak stasiun yang dikoreksi dengan stasiun pengkoreksi yaitu sejauh 2 sampai 4 kilometer dan titik sebagai *combine* dapat berpindah-pindah. *Combine* hanya dapat dilakukan dengan menggunakan data stasiun yang berbeda dengan waktu pengukuran yang sama. Adapun tampilan *combine* pada *software SSMT2000* yaitu terdapat pada **Gambar 8**.



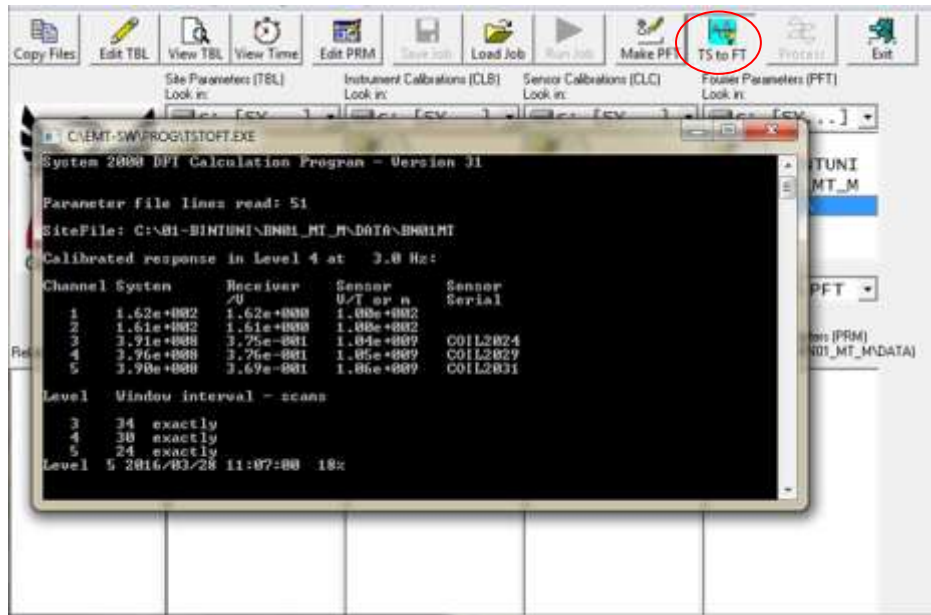


Gambar 8. Combine

### 1. Transformasi *Fourier* (FFT)

Data yang dihasilkan dari perekaman alat MT berupa *time series*, untuk melakukan pengolahan selanjutnya dilakukan perubahan data dari domain *time series* ke domain frekuensi untuk mendapatkan nilai resistivitas dan *phase*. Perubahan data *time series* ke frekuensi dapat dilakukan dengan transformasi *Fourier* pada software SSMT2000.

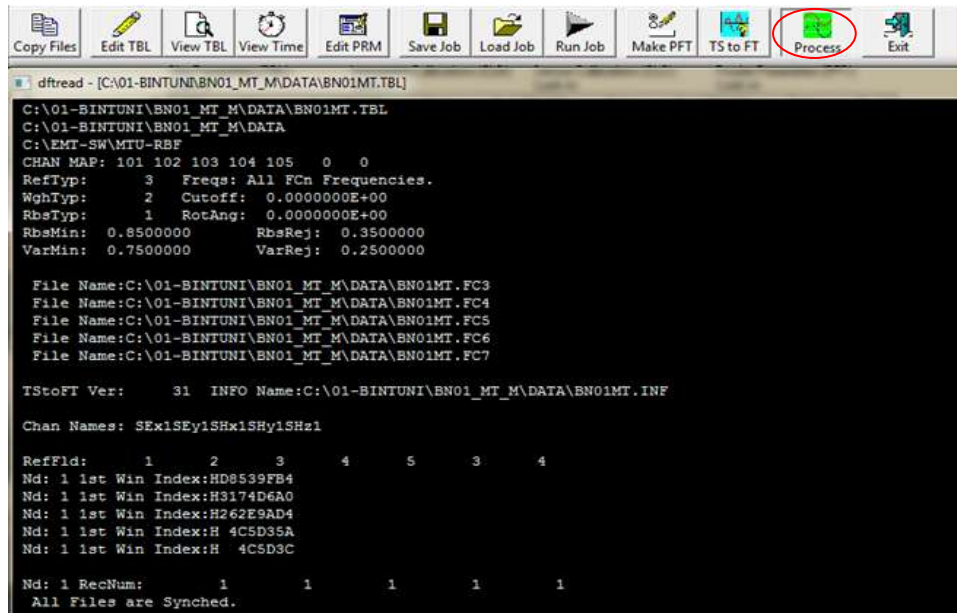
Untuk melakukan transformasi *fourier* pada software SSMT2000 dengan cara mengisi parameter proses transformasi pada *Make Parameter Fourier Transform (Make PFT)*, kemudian lakukan transformasi dengan mengklik TS-FT. Secara matematis fungsi untuk melakukan proses transformasi *Fourier* yang berupa FFT dengan menggunakan (**Persamaan 4**).



Gambar 9. Proses FFT

## 2. Robust Processing

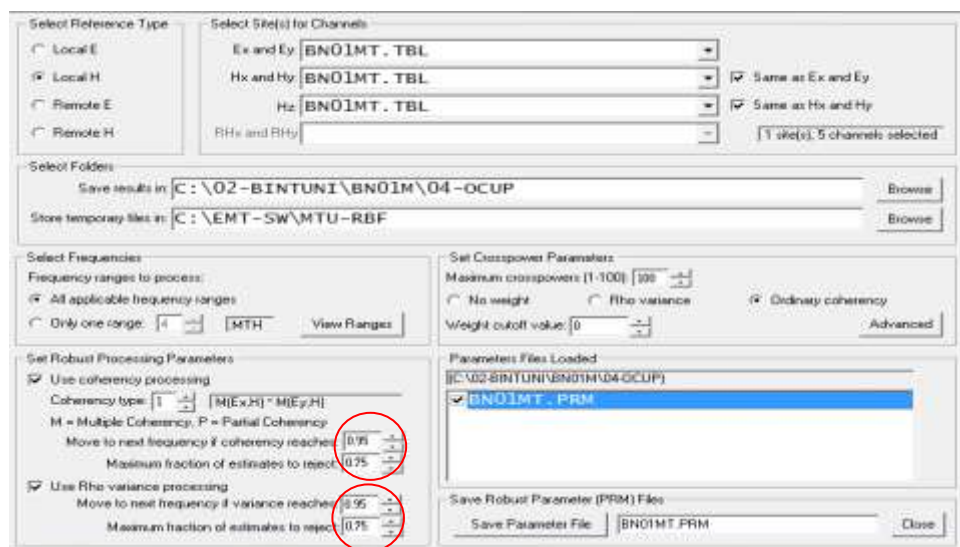
Data yang telah menjadi domain frekuensi masih terdapat *noise*, untuk mereduksi *noise* atau *filtering noise* perlu dilakukan *robust processing*. *Robust processing* memiliki tiga tipe, yaitu *robust no weight*, *rho variance* dan *ordinary coherency*. *Robust no weight* merupakan proses *robust* yang tidak memberikan pembobotan pada data, *robust rho variance* yang memberikan pembobotan bernilai besar pada data *outlayer* yang memiliki *error* kecil sehingga tidak terlalu mempengaruhi nilai koherensi. *Robust ordinary coherency* merupakan proses *robust* yang memberikan bobot lebih besar pada data yang terekam pada koil dan sensor antara *channel E* dan *H*.



**Gambar 10.** Tampilan *Robust Processing*

Setelah melakukan ketiga *robust* tersebut, selanjutnya menghitung nilai koherensi masing-masing *robust*. Nilai koherensi dapat diketahui secara kuantitatif dengan mengekspor data dari file MTH. MTL. menjadi format *Excel* dan dilakukan perhitungan menggunakan *Ms Excel*.

Untuk nilai koherensi yang tertinggi dilakukan *robust processing upgrade* dengan menaikkan nilai *setting robust process* parameter nilai *move to next frequency if coherency reaches set value* menjadi 0.95 dan 0.75.



**Gambar 11.** Tampilan *Setting Robust Processing Upgrade*

Kemudian hitung kembali nilai koherensi *robust processing upgrade*, apabila nilai koherensi  $\geq 75\%$  maka dapat dilanjutkan ke tahapan proses seleksi *cross power*. Tetapi apabila nilai koherensi  $\leq 75\%$  maka dilakukan proses seleksi *time series*.

### 3. Seleksi *Time Series*

Data mentah hasil pengukuran di lapangan merupakan data medan elektromagnetik yang terekam terhadap waktu. Pengukuran MT yang dilakukan selama 1 hari penuh menyebabkan data yang diperoleh untuk satu stasiun cukup panjang. Dari panjangnya data yang diperoleh tersebut, tidak semua data merupakan data yang baik. Kemungkinan adanya *noise* dalam data masih sangat besar terjadi. *Noise* tersebut dapat mempengaruhi nilai koherensi yang diperoleh, untuk mendapatkan nilai koherensi yang besar dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan seleksi *time series*.

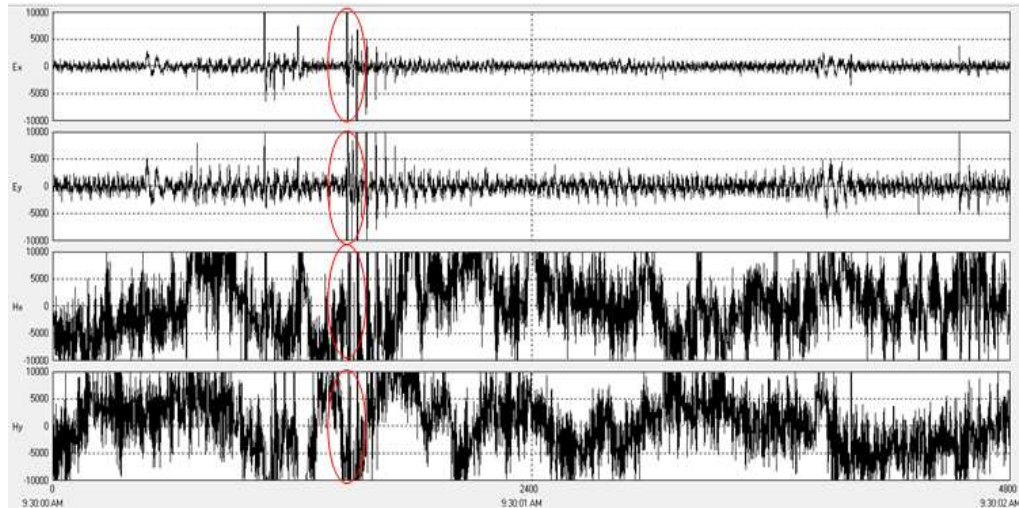
Seleksi *time series* digunakan untuk filtrasi *noise* dengan menggunakan *software Synchro Time series Viewer*. *Synchro Time series Viewer* merupakan program yang berfungsi untuk melihat dan memperkirakan *time series* mana saja yang mengandung *noise* dan tidak mengandung *noise*.



**Gambar 12.** Tampilan *Software Synchro Time series Viewer*

Pemilihan data *time series* ini penting untuk dilakukan, karena ketika data yang dipilih untuk diolah adalah data yang tidak bagus, maka hasil kurva MT yang dihasilkan pun berkemungkinan besar menjadi tidak memiliki *trend* yang *smooth* dan mempengaruhi nilai koherensi.

Seleksi *time series* dilakukan dengan menginput nilai masing-masing TS3, T4 dan T5, untuk masing-masing TS memiliki ketentuan yang berbeda dalam melakukan seleksi *time series*. Untuk TS3 dan TS5 dapat melihat panjang amplitudo pada Ex, Ey, Hx dan Hy harus menyentuh ujung atas dan bawah *windows* masing-masing Ex, Ey, Hx dan Hy. sedangkan untuk TS4 hanya salah satu dari komponen E dan H yang menyentuh ujung atas dan bawah *windows*.



**Gambar 13.** Seleksi *Time Series*

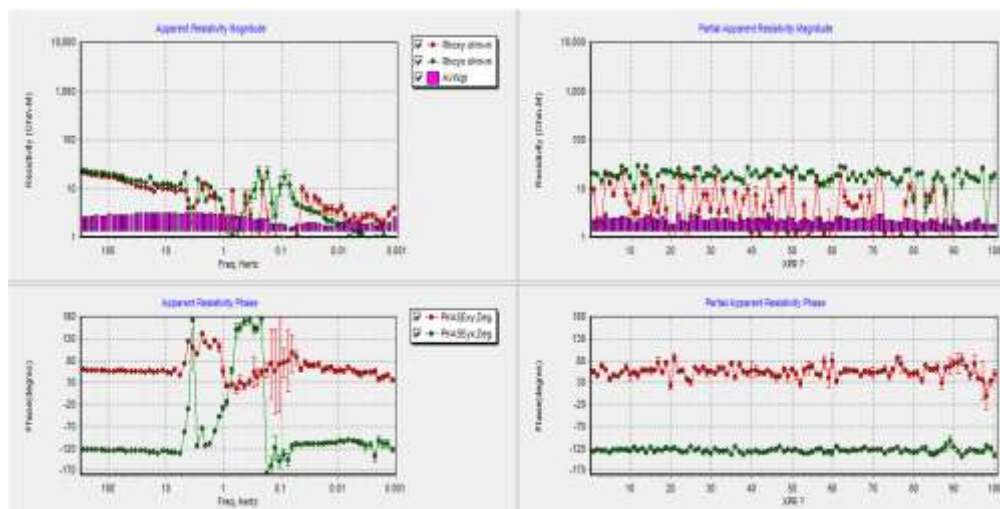
Setelah melakukan *time series*, maka dilakukan proses *robust* kembali dan menghitung koherensi data yang telah di seleksi. Kemudian dilanjutkan seleksi *cross power*.

#### 4. Seleksi *Cross power*

Setelah memperoleh data dalam domain frekuensi maka data tersebut dapat dibuka dalam program *MTEditor*. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk 2 kurva MT yaitu kurva frekuensi vs *apparent resistivity* dan kurva frekuensi vs *phase*. Kurva yang ditampilkan masih acak atau belum teratur. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses seleksi *cross power* untuk memperoleh kurva MT yang lebih baik lagi.

Pada umumnya *cross power* yang digunakan yaitu 20, 60 dan 100, pada tampilan **Gambar 14**. Terlihat jumlah *cross power* sebanyak 100. Penentuan *cross power* tersebut dapat dilakukan dengan mengedit jumlah *cross power* pada saat *robust processing*. *Cross power* merupakan kumpulan data parsial yang berupa pasangan nilai resistivitas dan fase dengan frekuensi yang sama. Proses seleksi *cross power* bertujuan untuk

memilih dan memilah data yang paling sesuai dan menghasilkan *trend* kurva resistivitas dan fase yang *smooth* dan baik. Banyaknya *cross power* menentukan banyaknya data parsial, sehingga pada saat pengeditan semakin banyak *cross power* yang digunakan maka akan semakin detail pembagian data resistivitas dan fase.

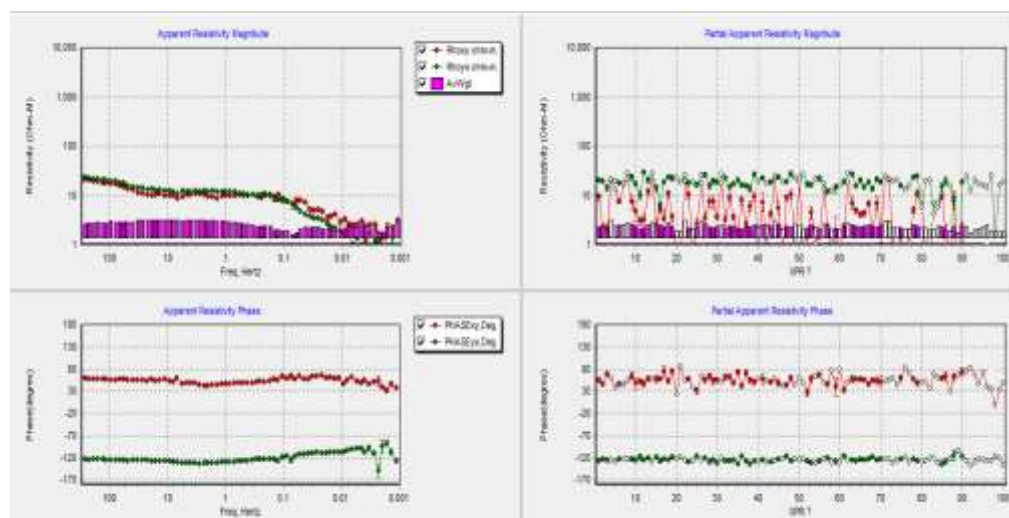


**Gambar 14.** Kurva Sebelum Seleksi *Cross Power*

Proses *editing* terdiri dari dua cara yaitu dilakukan secara otomatis maupun manual. Proses edit dilakukan dengan menekan *Toolbar Editing*. 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.



Idelanya pada saat menyeleksi *cross power* harus mendapatkan kurva yang *smooth* dengan nilai koherensi atau kualitas data yang tinggi. Untuk mendapatkan kurva yang diinginkan serta kualitas data yang baik hal yang perlu diperhatikan yaitu dengan melihat besar sudut *trend* dan pembobotan tahanan jenis. Besar sudut yang diperoleh dari kurva tidak boleh lebih dari  $45^\circ$ , dikarenakan harus disesuaikan dengan asumsi *homogeny* isotropis. Untuk pembobotan tahanan jenis dapat dilihat dengan mengaktifkan AvWgt maka akan muncul pembobotan yang berwarna ungu di bawah kurva. Besar kecilnya pembobotan akan mempengaruhi kualitas data, untuk meminimalisir mendapatkan kualitas data yang rendah maka pembobotan dengan nilai yang kecil harus di matikan.



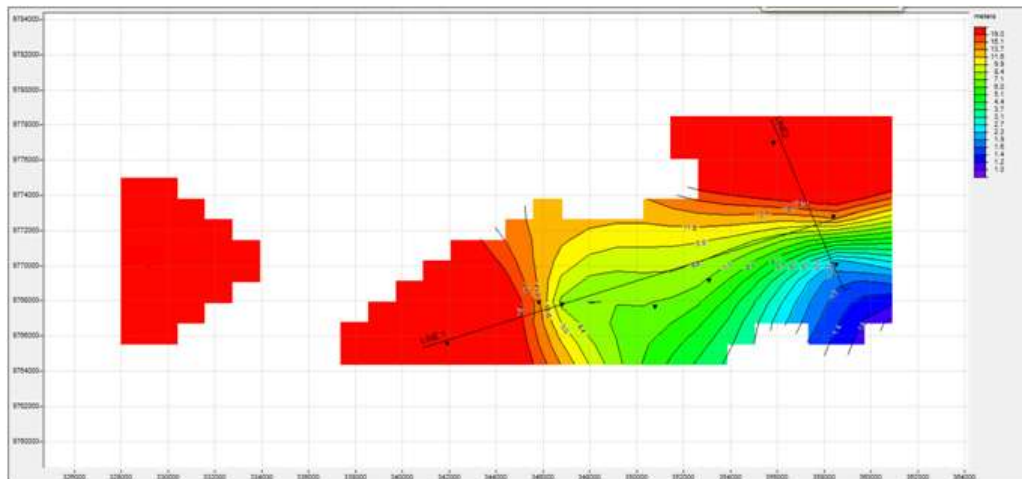
**Gambar 15.** Kurva Setelah Seleksi *Cross Power*

Setelah melakukan seleksi *cross power* selanjutnya melakukan *convert* data yang tersimpan dalam format *.mpk* menjadi *.EDI file* untuk melanjutkan ke proses inversi.



## 5. Inversi

Inversi merupakan kegiatan untuk mendapatkan model kondisi bawah permukaan, proses inversi dilakukan dengan menggunakan *software WinGlink*. Proses inversi 2D merupakan proses pemodelan distribusi resistivitas bawah permukaan dalam bentuk 2 dimensi (*profile*). Oleh karenanya, untuk memulaik inversi 2D diperlukan pembuatan peta untuk melihat persebaran titik pengukuran serta melakukan pendefinisian lintasan terlebih dahulu yaitu menentukan jumlah lintasan untuk inversi dan mendefinisikan stasiun mana saja yang masuk ke dalam lintasan tersebut.

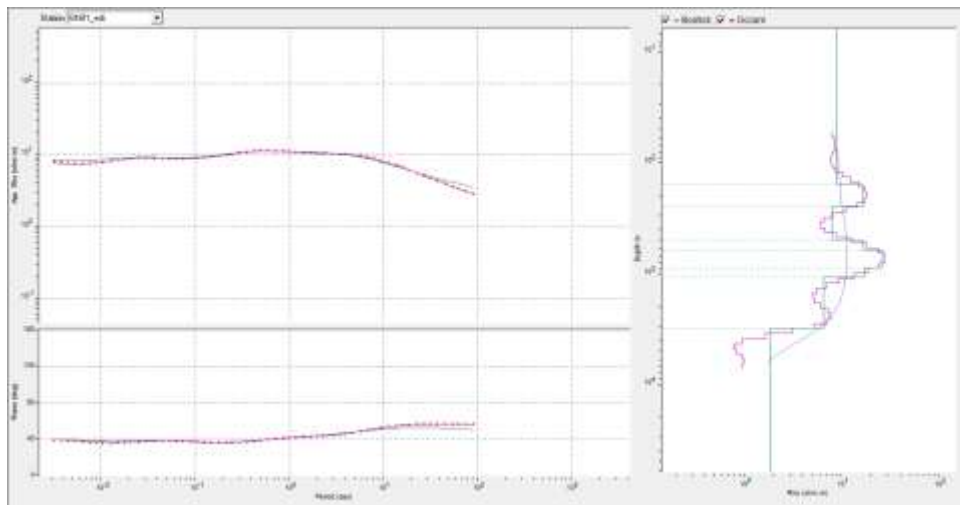


**Gambar 16.** Tampilan *Maps*

Pada **Gambar 16.** terdapat dua lintasan, dimana lintasan tersebut ditentukan dengan melihat sebaran masing-masing titik dan membuat lintasan sesuai dengan titik yang saling berdekatan. Lintasan yang digunakan yaitu LINE1 terdiri dari 5 titik pengukuran.

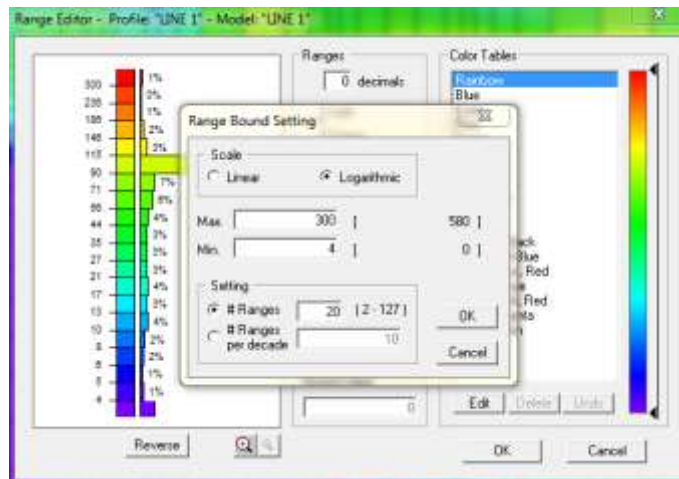
Apabila telah membuat peta selanjutnya membuat pemodelan *sounding* yaitu model struktur 1D dimana pada pemodelan 1D ini dapat diketahui nilai resistivitas serta ketebalan masing-masing lapisan. Kurva yang ditampilkan masih sesuai dengan pengeditan pada *MTEditor*, untuk

mendapatkan kurva yang lebih *smooth* maka dilakukan pengeditan kurva kembali pada kurva *sounding*. Pemodelan 1D dilakukan dengan menyeleksi data yang ingin digunakan kemudian melakukan *smoothing* kurva. Pengeditan kurva *sounding* ini akan mengubah *apparent resistivity* yang berasal dari kurva *editing MTEditor* menjadi *true resistivity* sehingga dapat mempermudah untuk tahapan interpretasi.



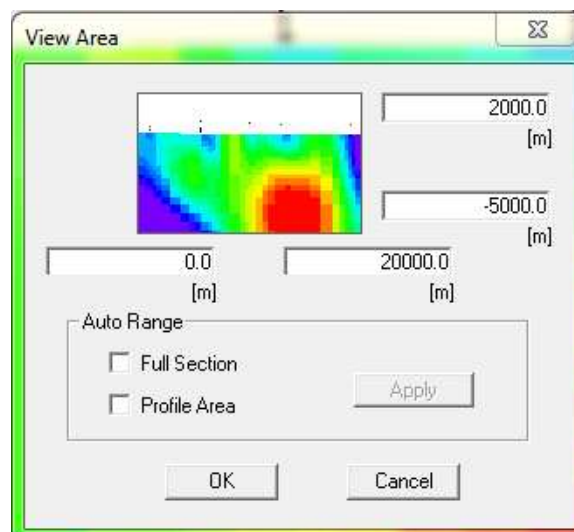
**Gambar 17.** Pemodelan *Sounding* 1D

Selanjutnya melakukan inversi 2D, sebelum melakukan inversi harus menentukan jumlah iterasi yang diinginkan. Iterasi yang digunakan yaitu sebanyak 30. Setelah proses inversi selesai dilakukan, kemudian mengubah beberapa parameter hasil inversi 2D, yaitu mengubah tampilan warna, skala resistivitas diubah menjadi *logarithmic*, menentukan batas maksimum dan minimum skala serta banyaknya range skala.



**Gambar 18.** Pengaturan Parameter Skala

Untuk menentukan batas area tampilan inversi 2D dapat diubah dengan mengatur batas atas, bawah, kanan dan kiri (batas *margin*), kita dapat menentukan batas tampilan pada *view area*. Pemilihan area ini dilakukan untuk menentukan batasan hasil inversi.

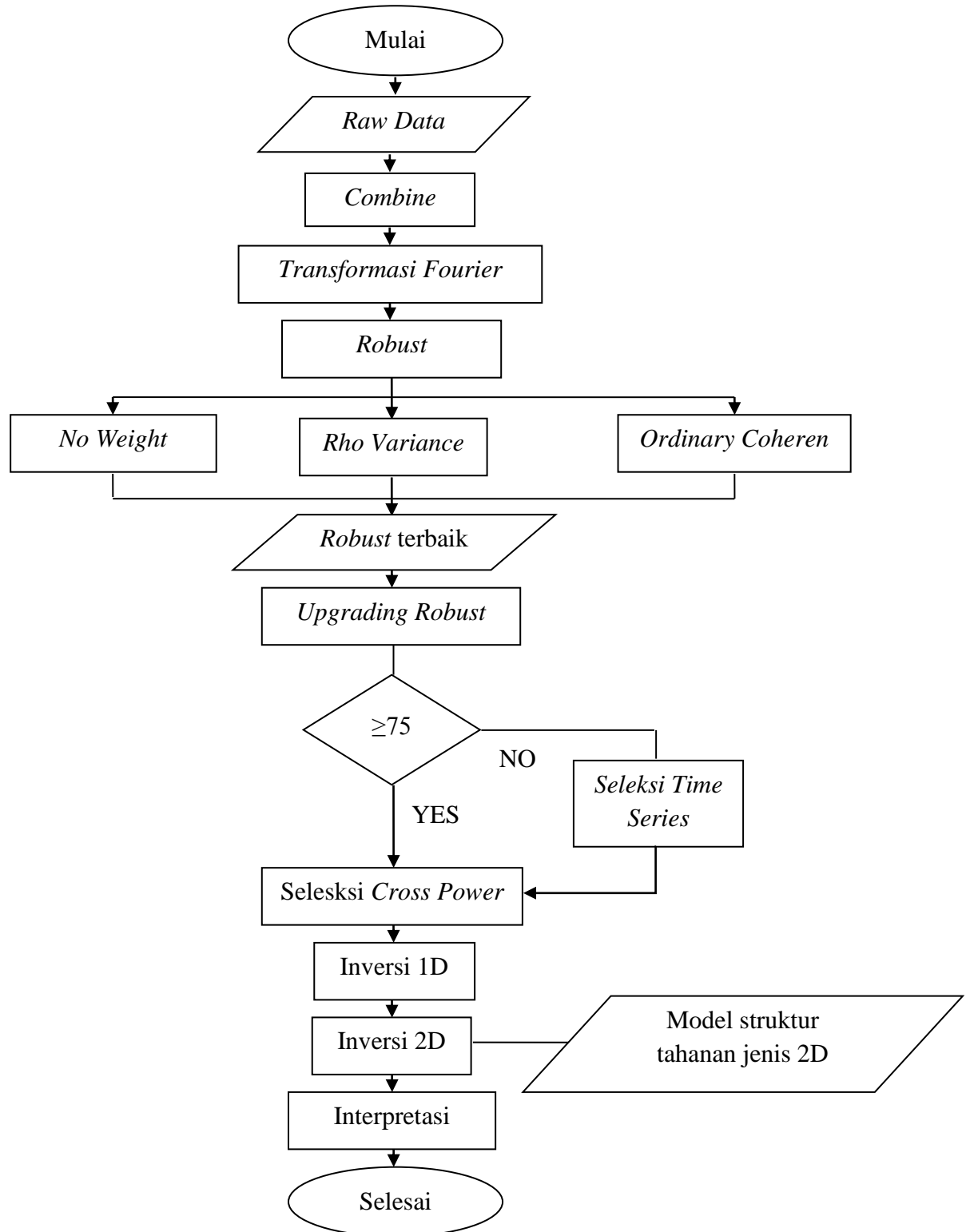


**Gambar 19.** Pengaturan Batas Tampilan Inversi 2D

Jenis inversi yang digunakan yaitu *Nonlinier Conjugate Gradient* (NLGC) dengan jumlah iterasi sebanyak 30. Apabila semua prosedur pengolahan telah dilakukan maka selanjutnya melakukan intrerpretasi dengan mengkombinasikan hasil penampang resistivitas 2D yang di dapatkan dengan informasi geologi daerah penelitian.

### E. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah seperti pada (**Gambar 20**):



**Gambar 20.** Diagram Alir

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan penampang resistivitas inversi 2D sebanyak 1 lintasan memiliki nilai *RMS error* sebesar 1.8574% terdiri dari 5 titik data dengan kualitas data yang berbeda – beda, antara lain untuk data yang *excellent* terdiri dari titik BN01 dan BN03, *very good* terdiri dari titik BN05, *good* terdiri dari titik BN04 dan *fair* terdiri dari titik BN06.
2. Penampang resistivitas 2D pada formasi Klasafet memiliki nilai resistivitas resistivitas rendah yaitu 1 – 20  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0 hingga 1000 meter di bawah permukaan diidentifikasi sebagai batu lempung, pada formasi *New Guinea Limestone* nilai resistivitas 0.62 – 6  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 1000 hingga 3500 meter di bawah permukaan diidentifikasi sebagai batu lempung, pada formasi Kemblengan nilai resistivitas 20 – 90  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 3500 meter di bawah permukaan diidentifikasi sebagai batu pasir gampingan, pada formasi Tipuma nilai resistivitas 0.62 – 2  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 8000 meter di bawah permukaan diidentifikasi sebagai batu lempung, pada formasi Kemum nilai resistivitas 20 – 32  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 6000 meter di bawah permukaan diidentifikasi sebagai batu pasir.

3. Struktur bawah permukaan yang diidentifikasi yaitu didapatkan adanya formasi hidrokarbon yang di Cekungan Bintuni berdasarkan penampang resistivitas 2D adalah batu lempung pada formasi Klasafet diduga sebagai *caprock*, batu pasir gampingan pada formasi Kemblengan diduga sebagai *reservoir*, batu pasir pada formasi Kemum diduga sebagai *basement*.

## **B. Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yaitu dalam pengukuran data Magnetotellurik perlu dilakukan pengulangan pengukuran pada data yang tergolong buruk agar pada saat pemrosesan data mendapatkan hasil maksimal. Dikarenakan apabila pengukuran dilakukan kurang maksimal maka data yang akan dihasilkan pun tidak begitu baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amriyah, Q., 2012, *Pemodelan Data Magnetotellurik Multidimensi Untuk Mendelineasi Sistem Geotermal Daerah Tawau, Malaysia*, Skripsi Studi Fisika-FMIPA, Depok : Universitas Indonesia.
- Atmawinata, S., Hakim, A. S., dan Pieters, P. E., 1989, *Peta Geologi Lembar Ransiki, Irian Jaya*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Badan Geologi, Kementrian ESDM.
- Daud, Y., 2010, *Electromagnetic Methode: Success Story in Geothermal Exploration and Possibility for Hydrocarbon Exploration*, Diktat Kuliah, Depok : FMIPA UI.
- Dewi, R., 2012, *Pemrosesan Data Magnetotellurik Dengan Memperhitungkan Faktor Kalibrasi Menggunakan Matlab*, Skripsi Studi Fisika-FMIPA, Depok : Universitas Indonesia.
- Dow, D. B., Robinson, G. P., Hartono, & U., Ratman, N., 1986, Geologic map of Irian Jaya, Indonesia, 1:1 000 000 scale, *Geological Research and Development Centre, Indonesia*.
- Dow, D. B., Robinson, G. P., & Ratman, N., 1985, New hypothesis for formation of Lengguru Foldbelt, Irian Jaya, Indonesia, *American Association of Petroleum Geologists, Also published in Bulletin of the Geological Research and Development, Centre, Indonesia*.
- Dow, D. B., & Sukanto, R., 1984, Western Irian Jaya: the end-product of oblique plate convergence in the Late Tertiary, *American Association of Petroleum Geologists, Also published in Bulletin of the Geological Research and Development, Centre, Indonesia*.
- Erdiansyah, E., Iryanti, M., dan Wardhana, D. D., 2015, Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Magnetotellurik Daerah Sekitar Bogor Jawa Barat Sebagai Potensi Sistem Hidrokarbon, *Fibusi*, Vol. 3 No. 1, Bandung : FMIPA Universitas Pendidikan Indonesia.
- Goldberg, S., & Rotstein, Y., 1982, *A Simple Form Of Presentation Of Magnetotelluric data using The Bostick Transform*, Geophysical

- Prospekting, Institute for Petroleum Research and Geophysics, Holon, Israel.
- Hamilton, W. R., 1979, Tectonics of the Indonesian Region, *Geological Survey Professional Paper*, US.
- Koesoemadinata, R. P., 1980, *Geologi Minyak dan Gas Bumi*, Jilid 1, ITB.
- LEMIGAS, 2005, *Kuantifikasi Sumberdaya Hidrokarbon Cekungan Bintuni*, LEMIGAS, Jakarta,
- Marten, R, 2012, *Lithology and Fluid Prediction refresher, The Use (and Abuse) of Geophysics in Hydrocarbon Exploration and Development*, BP Indonesia, Unpublished.
- Pigram, C. J., Robinson, G. P., & Tobing, S. L., 1982, Late Cainozoic origin for the Bintuni Basin and adjacent Lengguru Fold Belt, Irian Jaya, *Indonesia Petroleum Association, Proceedings of the Eleventh Annual Convention*, Also published in *Bulletin of the Geological Research and Development Centre, Indonesia*.
- Pigram, C. J., & Sukanta, U., 1981, *Report on the geology of the Taminabuansheet area. Indonesian Geological Research and Development Centre*, Open File Report.
- Robinson, G. P., Ryburn, R. J., Harahap, B.H., Tobing, S.I., Achdan, A., Bladon, G.M. & Pieters, P.E., 1990, *Geologi Lembar Steenkool, Irian Jaya (Geologi of the Steenkool Sheet area, Irian Jaya)*, Geological Research and Development Centre, Indonesia.
- Rulia, C., 2012, *Pengolahan Data Magnetotellurik 2-Dimensi Pada Lapangan Panasbumi Marana, Sulawesi Tengah*, Skripsi Studi Fisika-FMIPA, Depok : Universitas Indonesia.
- Simpson, F. & Karsten, B., 2005, *Practical Magnetotellurics*, Cambridge : Cambridge University Press.
- Sugiyono, E. W., Gaffar, Z., dan Sudrajat, Y., 2013, Pemodelan Resistivitas Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Magnetotellurik (Studi Daerah Gunungmeraksa-Tasim, Sumatera Selatan), *Jurnal Fisika*, Vol. 3, No. 2, FMIPA UNS, Semarang.
- Suparno, S., 2007, *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*, Departemen Fisika-MIPA, Depok: Universitas Indonesia.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E., 2004, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge : Cambridge University Press.



- Unsworth, 2006, *Overview of Electromagnetic Exploration Methods*, University of Alberta.
- Visser, W. A., & Hermes, J. J., 1962, Geological result of the exploration for oil in Netherlands New Guinea. *Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap Verhandelingen, Geologische Serie*.
- Vozoff, K, 1991, The Magnetotelluric method, Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Application, *Geophysics*, Vol. 2, *SEG Publishing*.
- Wachisbu, M. I. M., dan Santosa, B. J., 2015, Pemodelan Data Magnetotelurik dengan Remote Reference untuk Eksplorasi Cekungan Migas Studi Kasus: Lapangan Em-4, *Jurnal Sains dan Seni*, Vol. 4, No. 1, FMIPA ITS, Surabaya.