

INVERSI 2D DATA MAGNETOTELURIK UNTUK MENGETAHUI KEBERADAAN HIDROKARBON DAERAH BULA, MALUKU

Elen Novia Limswipin*¹, Syamsurijal Rasimeng¹, Karyanto¹, Noor Muhammad
Indragiri²

¹Teknik Geofisika, Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

²Pusat Survei Geologi
Jurusan Teknik Geofisika, FT UNILA

e-mail: *¹elennovialimswipin@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian dengan tema “inversi 2 dimensi data magnetotelurik untuk mengetahui keberadaan hidrokarbon daerah Bula, Maluku”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi resistivitas daerah penelitian berdasarkan data magnetotelurik, mengidentifikasi keberadaan hidrokarbon berdasarkan nilai resistivitas dari hasil inversi 2D data magnetotelurik. Metode pengolahan data yang dilakukan adalah (i) mengubah raw data dari domain waktu kedalam domain frekuensi, (ii) mereduksi noise dengan melakukan *robust processing*, (iii) melakukan proses *combine*, (iv) seleksi *cross power*, (v) melakukan inversi 1D dan 2D. Hasil inversi 2D yaitu penampang distribusi resistivitas bawah permukaan, lapisan yang memiliki nilai resistivitas 7 – 16 Ωm disepanjang titik MT1 dan MT7 pada kedalaman mencapai 1000 meter merupakan batu lempung yang diindikasikan sebagai *cap rock*. Lapisan dengan nilai resistivitas 34 – 120 Ωm yang berada diantara titik MT6 dan MT7 pada kedalaman 1500 meter merupakan batu pasir yang diindikasikan sebagai reservoir. Berdasarkan informasi geologi dan penampang inversi 2D terlihat adanya sesar berdasarkan nilai resistivitas yang kontras yaitu diantara titik MT2 dan MT3, MT3 dan MT4 serta MT6 dan MT7.

ABSTRACT

There had been done a regional research which title is “2D inversion magnetotelluric data for understanding the hydrocarbon presence in Bula, Maluku”. This study aims to determine the resistivity distribution area of research based on data Magnetotelluric, identifying the presence of hydrocarbons based on the value of the resistivity of the results of 2D inversion of data Magnetotelluric. Methods of data processing done are (i) transform raw data from the time domain into the frequency domain, (ii) reduce noise by robust processing, (iii) process combine, (iv) Selection cross power, (v) inversion 1D and 2D. 2D inversion results is sectional subsurface resistivity distribution, layer having resistivity values 7-16 Ωm along MT1 and MT7 point at a depth of 1000 meters is a clay stone which is indicated as cap rock. Layer with resistivity values 34-120 Ωm , which is between the point MT6 and MT7 at a depth of 1500 meters is indicated as the sandstone reservoir. Based on geologic information and sectional 2D inversion seen their fault based on the resistivity contrast is between the point MT2 and MT3, MT3 and MT4 and MT6 and MT7.

Keywords— magnetotelluric, 1D inversion, 2D inversion, hydrocarbon, Bula

1. PENDAHULUAN

Keterdapatn hidrokarbon di daerah Bula sudah diketahui sejak zaman perang dunia kedua (Gafoer dkk, 1993). Telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Styanta dan Setiadi pada tahun 2010 untuk mengetahui pola struktur dan geodinamika cekungan di Pulau Seram termasuk cekungan pada daerah Bula.

Penelitian oleh Setyanta dan Setiadi pada tahun 2010 menggunakan metode gaya berat. Pada penelitian tersebut cekungan ditunjukkan oleh kontur anomali - 50 mgal hingga 0 mgal berdasarkan petaanomali bouger. Sedangkan batuan penyusun cekungan tersebut diidentifikasi berdasarkan nilai rapat massa dalam pemodelan.

Terdapat beberapa metode geofisika yang digunakan dalam eksplorasi cekungan migas, salah satu metode yang digunakan adalah metode Magnetotelurik (MT). Metode MT mampu memetakan struktur geologi serta menampilkan zona *interest* berdasarkan kontras tahanan jenis material bawah permukaan.

Dalam penelitian ini, melakukan inversi 1 dan 2 dimensi resistivitas bawahpermukaan berdasarkan data magnteotelurik. Prosedur pada penelitian ini adalah: mengubah data *time series* menjadi frekuensi, *robust processing*, *robust processing up*, *combine*, seleksi *cross power*, mengubah data menjadi EDI file, melakukan inversi dan kemudian menginterpretasi data magnetotelurik yang telah diolah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di wilayah Bula di Kabupaten Maluku Tengah, Secara koordinat berada pada 4 00' LS. Batas utara dan timur ialah Laut

Seram, di selatan Laut Banda dan di barat Lembar Masohi.

2.2 Struktur Geologi dan Tektonika

Kawasan Indonesia Timur, termasuk Busur Banda adalah tempat berinteraksinya lempeng-lempeng aktif di dunia, yakni Lempeng Filipina, Lempeng Laut Banda, Lempeng Australia, dan Lempeng Pasifik (de Smet dalam Setyanta dan Setiadi, 2010). Tektonis 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.

Struktur perdauan (foliasi) dijumpai pada batuan malihan dengan arah yang tidak teratur. Kekar yang kecil dijumpai pada batuan yang tua, tetapi jarang pada batuan yang berumur Tersier Akhir sampai Kuartar. Sesar yang dijumpai adalah sesar naik, sesar turun, dan sesar geser jurus. Sesar naik terjadi pada batuan malihan, sedimen Trias-Jura dan batuan yang berumur Miosen. Ditafsirkan, sesar naik ini terjadi pada kala Miosen Akhir. Arah jurusnya lebih kurang baratlaut-tenggara dengan kemiringan ke arah baratdaya (Gafoer dkk, 1993).

2.3 Fisiografi Regional

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 tiga satuan Morfologi, yakni: pegunungan, perbukitan dan dataran (Gafoer dkk, 1993).

2.4 Stratigrafi

Urut-urutan stratigrafi secara garis besarnya dapat dijelaskan sebagai berikut: Pertama adalah Seri Australia yang terdiri atas kelompok batuan malihan Formasi Kanikeh (Trias), Formasi Saman saman (Trias-Jura), Karbonat Manusela (Jura) dan Kelompok Nief (Kapur-Miosen Akhir). Kedua adalah Seri Seram yang diawali dengan terobosan batuan vulkanik (Ambon Volcanic) dan disusul dengan pengendapan Formasi Wahai (Pleistosen Awal) dan Formasi Fufa (Pleistosen Akhir) (Kemp & Mogg, 1992).

3. TEORI DASAR

3.1 Metode Magnetotelurik

Metode Magnetotelurik (MT) merupakan suatu metode eksplorasi geofisika pasif yang bertujuan untuk merekam besarnya medan elektromagnetik bumi alami, guna mengetahui kondisi bawah permukaan. Konsep gelombang elektromagnetik yang mendasari metode magnetotelurik ini adalah konsep Persamaan Maxwell, khususnya dalam Persamaan Hukum Ampere dan Persamaan Hukum Faraday (Simpson dan Bahr, 2005).

3.2 Konsep Dasar Metode MT

Persamaan Maxwell merupakan sintesa hasil-hasil eksperimen mengenai fenomena listrik magnet yang didapatkan oleh Faraday, Ampere, Gauss, Coulomb disamping dilakukan oleh Maxwell sendiri (Grandis, 2010). Dalam bentuk diferensial, Persamaan Maxwell dalam domain frekuensi dapat ditulis sebagai berikut:

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

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

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

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

Persamaan (1) menunjukkan hukum Faraday, dimana medan listrik dihasilkan dari medan magnet yang berubah terhadap waktu. 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 monopole magnetik.

3.3 Impedansi Bumi Homogen

Model bumi yang paling sederhana adalah suatu *half-space* homogen isotropik dimana diskontinuitas tahanan-jenis hanya terdapat pada batas udara dengan bumi. Dalam hal ini setiap komponen horisontal medan listrik dan medan magnet hanya bervariasi terhadap kedalaman.

3.4 Impedansi Bumi Berlapis Horizontal

Impedansi dinyatakan sebagai perbandingan antara medan listrik (\vec{E}) dan medan magnet (\vec{H}) bergantung pada tahanan-jenis medium atau batuan. Dengan demikian, impedansi sebagai fungsi dari periode memberikan informasi mengenai tahanan-jenis medium sebagai fungsi dari kedalaman. Berdasarkan hal tersebut metoda *sounding* MT dilakukan dengan merekam data berupa variasi medan listrik dan medan magnet pada beberapa periode tertentu.

3.5 Skin Depth

Besaran *skin depth* digunakan untuk memperkirakan kedalaman penetrasi atau kedalaman investigasi gelombang elektromagnetik. Adapun *skin depth* dalam metode Magnetotelurik memenuhi Persamaan berikut ini:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ (km)} \quad (5)$$

Persamaan (5), terlihat bahwa *skin depth* dipengaruhi oleh besarnya frekuensi alat yang kita gunakan dan resistivitas Formasi. 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.

3.6 Transformasi Fourier

Secara prinsip, transformasi fourier merupakan suatu operasi matematis yang mengubah sinyal menjadi spectrum. Berikut ini adalah fungsi dari fourier transform dengan $x(\omega)$ adalah fungsi gelombang dalam domain frekuensi $x(t)$ adalah fungsi gelombang dalam domain waktu, i adalah bilangan imajiner, $\omega = 2\pi f$ adalah frekuensi angular dan t adalah waktu.

3.7 Transverse Magnetic Mode (TM) dan Transverse Electric Mode (TE)

Pada kasus 2 dimensi terdapat dua jenis modulus yaitu modulus TE dan TM. Modus TE merupakan modulus yang mengukur medan listrik searah dengan *strike* dan medan magnet tegak lurus dengan *strike*. Sedangkan modulus TM merupakan modulus yang mengukur medan magnet searah dengan *strike* dan medan listrik tegak lurus dengan *strike*.

3.8 Inversi Non Linier Conjugate Gradient (NLCG)

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

Pada penelitian ini digunakan metode inversi *Nonlinear Conjugate Gradient* (NLCG). Metode NLCG merupakan jenis inversi dapat digunakan untuk meminimalisasi *objective functional* (S). Fungsi objek berisi jumlah beban *weigthed* dari model fungsi objektif dan data misfit.

$$S = \Phi_d + \tau \Phi_m \quad (7)$$

merupakan data misfit dan merupakan model fungsi objektif. adalah parameter regulasi yang mengontrol *trade off* dan . dipilih agar sama dengan nilai konsistensi error data. Nilai semakin besar mengindikasikan model cocok dengan data. Inversi 2D untuk mengatur model fungsi objektif dan data misfit sama dengan

$$\Phi_m = \|L(m - m_0)\|^2 \quad (8)$$

$$\Phi_d = (d - F(m))^T R_{dd}^{-1} (d - F(m)) \quad (9)$$

Keterangan :

L = operator linier

m = model vektor unkown

= model awal

d = vektor data observasi

$F(m)$ = operator pemodelan *forward*

R_{dd} = matrik kovarian error

Operator linier yang dipilih adalah

Laplacian $L = \Delta$

$$\|L(m - m_0)\|^2 = \int \Delta \left((m_{(x,z)} - m_{0(x,z)}) \right)^2 dx dz \quad (10)$$

Solusi masalah inversi dilakukan dengan iteratif, metode NLCG mengaplikasikan secara langsung

minimalisasi dari S. Rangkaian model diberikan oleh:

$$m^{i+1} = m^i + \alpha^{i+1} h^{i-1} \quad (11)$$

adalah arah pencarian didapatkan dari NLCG dan dihitung untuk meminimumkan S dengan *line search*. Misfit rata-rata antara data prediksi dan data observasi diwakili oleh eror RMS (root mean square). Eror RMS untuk program inversi 2D ditentukan dengan

$$RMS = \sqrt{\frac{(d-F(m))^T R_{dd}^{-1} (d-F(m))}{N}} \quad (12)$$

N adalah jumlah titik data.

Proses *update model* dengan mencari nilai yang meminimalisasi fungsi $W(m_k + \alpha_k u_k)$. logaritma ini membutuhkan hasil dari J atau J^T . Efisiensi komputasi algoritma ini, dikontrol oleh jumlah iterasi (N_{cg}). N_{cg} adalah fungsi dari λ . Nilai λ yang besar akan membutuhkan N_{cg} yang kecil. Akan tetapi, nilai λ yang kecil akan membutuhkan N_{cg} yang besar (Siripunvarapou dkk, 2007).

Pendekatan Hessian yang berkorelasi dengan Laplacian operator untuk meningkatkan efisiensi *pre-conditioner*. Dengan *pre-conditioner*, jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi ke level yang diinginkan menjadi sangat berkurang hal ini menunjukkan bahwa jumlah konvergensi dapat dicapai dengan iterasi yang sedikit.

4. METODE PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan Penelitian

- a. Data Magnetotelurik;
Data magnetotelurik yang digunakan adalah data sekunder di daerah hidrokarbon, Bula, Maluku Tengah.
- b. *Software* dan *hardware*
Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Software RockWorks15*, *Microsoft Excel*, *Software (53)*, *Surfer10*, *Software*

Global Mapper12, *Software ArcGIS v.10*, *SSMT2000*, *MT Editor*, dan *WinGlink*. *Hardware* yang digunakan yaitu, laptop *Acer Aspire 4736Z*.

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Pengubahan *Time series* ke dalam domain frekuensi

Hasil perekaman pada alat MT yaitu komponen medan listrik dan medan magnet berupa data dalam format *time series*. Data *time series* ini akan diubah ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan *software SSMT 2000* yang didasari oleh konsep Transformasi Fourier.

4.2.2 Robust Processing

Robust processing merupakan *filter noise*. Data diproses dengan menggunakan *software SSMT 2000*. *Robust processing* memiliki tiga tipe yaitu *no weight*, *rho variance*, *ordinary coherency*.

4.2.3 Combine

Combine merupakan proses penambahan sensor medan magnetik yang memiliki nilai regional yang dapat menjadi acuan medan magnetik lokal. *Combine* memiliki peranan yang sama seperti *remote reference*, perbedaan keduanya adalah jarak stasiun yang akan dikoreksi dengan stasiun yang menjadi pengkoreksi.

4.2.4 Seleksi *cross power*

Seleksi *cross power* dengan menggunakan *software MTEditor*. Data ditampilkan dalam bentuk kurva *apparent resistivity* terhadap frekuensi. Kemudian dilakukan pemilihan data.

4.2.5 Inversi

Inversi yang dilakukan yaitu inversi 1D dan 2D dengan menggunakan *software WinGlink*. Inversi 1D akan menghasilkan profil tahanan jenis setiap titik pengukuran, sedangkan inversi 2D proses pemodelan distribusi tahanan jenis bawah permukaan.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Titik Pengukuran MT

Jumlah titik pengukuran MT adalah 7 titik dengan arah lintasan timurlaut - baratdaya. Spasi antar titik pengukuran rata-rata 2.5 kilometer. Waktu pengukuran setiap titik yaitu selama 12 jam.

5.2 Hasil Koherensi Data

Pengolahan data dengan melakukan *robust processing* bertujuan untuk mereduksi *noise* dengan meningkatkan nilai koherensi seperti yang telah dijelaskan pada bab metode penelitian. Hasil nilai koherensi data yang diolah dapat dilihat pada **Tabel 1**. Nilai koherensi pada titik MT2 setelah di *upgrade* kurang dari 75% bahkan bernilai lebih kecil dari tipe *robust* sebelum di *upgrade*.

Data dengan nilai koherensi di bawah 75% berarti kualitas data ini kurang baik sehingga perlu dilakukan pemrosesan data selanjutnya yaitu *combine*. Sedangkan pada titik yang lain dianggap telah tereduksi *noise* karena memiliki nilai koherensi diatas 75%.

Dapat dilihat pada **Tabel 2**, nilai koherensi setelah dilakukan *combine* meningkat, berarti tingkat kualitas data semakin baik.

5.3 Hasil Inversi 1D Data MT

Inversi 1D menunjukkan nilai resistivitas terhadap kedalaman. Pada inversi 1D digunakan mode *invariant*.

Kurva inversi 1D terdapat 2 kurva yang berbeda warna. Hijau merupakan *bostick* dan merah muda merupakan *occam*. Kurva *bostick* merupakan *apparent resistivity* sedangkan *occam* merupakan *true resistivity* seperti pada **Gambar 1**.

Dapat dilihat pada **Tabel 3**, kedalaman 48.16 meter hingga 1763.82 meter memiliki nilai resistivitas yang rendah yaitu antara 4 – 15 Ωm diduga sebagai batulempung pada Kompleks Salas.

Kedalaman 1763.82 meter hingga 2770.27 meter memiliki nilai resistivitas yang 23.54 Ωm diduga batupasir pada Formasi Kanikeh dan pada kedalaman 2770.27 meter hingga 5500 meter dengan nilai resistivitas 6.98 Ωm diduga batulempung pada Formasi Kanikeh.

Tabel resistivitas Telford (1990) menjadi acuan dalam mengidentifikasi litologi hasil inversi 1D yang ditunjukkan pada **Tabel 4**.

5.4 Hasil Inversi 2D Data MT

Inversi 2D merupakan penampang distribusi resistivitas batuan bawah permukaan dengan menggabungkan titik-titik pengukuran Magnetotelurik. Proses inversi 2D dengan *software WinGlink* dan didapatkan distribusi resistivitas seperti pada **Gambar 3**.

Berdasarkan informasi geologi pada **Gambar 2**, dan hasil inversi 2D pada **Gambar 3**, dapat diidentifikasi bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas telford pada **Tabel 4**, sebagai acuan.

Berdasarkan sayatan geologi pada **Gambar 2**, Formasi pada daerah penelitian ini dari arah Timurlaut-Baratdaya yaitu Formasi Wahai, Formasi Kanikeh dan Kompleks Salas.

Pada nilai resistivitas rendah yaitu sekitar 7 – 16 Ωm disepanjang titik MT1 hingga MT7 pada kedalaman mencapai 1000 meter diidentifikasi sebagai batu lempung.

Batu lempung merupakan batuan yang bersifat *impermeable* yang menahan fluida

pada batuan serta sulit untuk meloloskannya, sehingga batu lempung ini dapat diidentifikasi sebagai *cap rock* atau batuan penutup.

Penampang resistivitas dengan nilai 34-120 Ωm diantara titik MT6 dan MT7 pada kedalaman sekitar 1500 meter merupakan batu pasir. Batu pasir yang bersifat *permeable* yaitu dapat meloloskan dan menyerap fluida serta memiliki permeabilitas dan porositas yang baik. Sehingga, batupasir dapat diidentifikasi sebagai batuan *reservoir*. Menurut Zillman dan Paten (1975) batuan *reservoir* pada cekungan di daerah Bula yaitu batu pasir.

Penampang resistivitas hasil inversi 2D pada **Gambar 3**. menunjukkan adanya sesar berdasarkan nilai resistivitas yang kontras dan informasi geologi oleh Gafoer dkk (1993) pada **Gambar 2**, yaitu antara titik pengukuran MT2 dan MT3, MT3 dan MT4 serta MT6 dan MT7.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Berdasarkan data geologi dapat diidentifikasi Formasi pada daerah penelitian yaitu Formasi Wahai yang terdiri dari batu napal yang bersisipan dengan batu gamping pasiran dan batupasir halus, Formasi Kanikeh yang terdiri dari batupasir, batulanau dan batulempung serta Kompleks Salas yang terdiri dari batu beku, sedimen dan metamorf yang menyatu pada massadasar lempungan.
2. Data magnetotelurik penelitian ini memiliki kualitas yang baik.
3. Hasil pengolahan data dan inversi 2D data magnetotelurik didapatkan:
 - a. Lapisan dengan nilai resistivitas 7 – 16 Ωm disepanjang titik MT1 hingga MT7 pada kedalaman mencapai 1000 meter diduga batu

lempung yang diindikasikan sebagai *cap rock*.

- b. Lapisan dengan nilai resistivitas 34 – 120 Ωm pada titik MT6 dan MT7 pada kedalaman sekitar 1500 meter diduga batu pasir yang diindikasikan sebagai *reservoir*.
4. Hasil inversi 2D data magnetotelurik memiliki kesamaan dengan model geologi daerah penelitian.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah:

1. Sebaiknya didukung oleh data log pada titik pengukuran MT agar semakin jelas litologi bawah permukaan daerah penelitian.
2. Sebaiknya penelitian tidak hanya 1 line saja agar penampang 2D dapat lebih mudah diinterpretasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Noor Muhammad Indra Giri dan Hidayat (Pusat Survei Geologi, Bandung) sebagai pembimbing lapangan, serta Syamsurijal Rasimeng S.Si., M.Si dan Karyanto, S.Si., M.T. yang telah membimbing dan memberikan dukungan terhadap penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amriyah, Q., 2012, Pemodelan Data Magnetotelurik Multidimensi untuk Mendelineasi Sistem Geotermal Daerah Tawau Malaysia, *Skripsi*, Depok: Universitas Indonesia.
- Audley-Charles, M.G., Carter D.J. dan Barber A.J., 1975, Stratigraphic Basin for Tectonic Interpretations of the Banda Arcs, Eastern

- Indonesia, *Proc. Indones Petroleum Association 3rd Annual Convention*, p. 25-44.
- Badan Informasi Geospasial. 2015. *Peta Rupa Bumi Provinsi Maluku skala 1:250.000*. Jakarta : Permendagri.
- Daud, Y., 2010, *Metode Mangnetotelurik Laboratorium Geofisika*, Depok: FMIPA UI.
- Erdiansyah, E., Iryanti, M. dan Wardana, D.D., 2015, Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dengan Menggunakan Metode Magnetotelurik Daerah Sekitar Bogor Jawa Barat Sebagai Potensi Sistem Hidrokarbon, *Fisika*, Vol. 3, No.1, p.1-9.
- Gafoer S., Suwitodirdjo K. dan Suharono, 1993, *Peta Geologi Lembar Bula-Watubela, Maluku Skala 1:250.000*, Bandung: Pusat Survei Geologi.
- Grandis, H., 2010, *Metode Magnetotelurik (MT)*, http://hendragrandis.file.wordpress.com/2010/01/mt_teks1.pdf.
- Green, A.M., 2003, *Magnetotelluric Crustal Studies in Kenai, Alaska*, Colorado: School of mines.
- Kusworo dan Aries, 2014, *Tabel Nilai Porositas*, Bandung:Pusat Survei Geologi
- Rodi, W. dan Mackie, R.L., 2001, Nonlinier Conjugate Gradient Alogarithm for 2D Magnetotelluric Inversion, *Geophysics* Vol. 66, No.1, p. 174-187.
- Setyanta, B. dan Setiadi, E., 2010, Pola Struktur dan Geodinamika Cekungan Bula Berdasarkan Anomali Gaya Berat, *Geophysics* Vol. 20, No.1, p. 41-55.
- Siripunvarapon, W., Egbert, G., Lenbury, Y., dan Uyeshima, M., 2005, Three-dimensional Magnetotelluric Inversion: Data Space Method, *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, Vol 150, p. 3-14.
- Simpson dan Bahr., 2005 *Practical Magnetotellurics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Supriyanto., 2007, *Analisis Data Geofisika:Memahami Teori Inversi*, Depok: Universitas Indonesia.
- Telford, W., Geldart M.L.P. dan Sheriff R.E., 1990, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Unsworth, 2006, *Overview of Elektromagnetic Exploration Methods*, Geophysics 424, Kanada: University of Alberta.
- Vozoff, K., 1972, The Magnetotelluric Method in the Exploration of Sedimentary Basins, *Geophysics*, Vol 37, p. 98 – 141.
- Wachisbu, MIM. dan Santosa, B.J., 2015, Pemodelan Data Magnetotelurik dengan Remote Reference untuk Eksplorasi Cekungan Migas Studi Kasus: Lapangan Em-4, *Fisika* Vol. 4, No.1, p. 17-20.
- Zillman, N.J. dan Paten R.J., 1975, Geology and petroleum prospects of Seram Island, Eastern Indonesia, *A.P.E.A.J.*, Vol. 15, No. 1, p.73-80.
-

LAMPIRAN

Tabel 1. Hasil nilai koherensi data

Stasiun	Koherensi			
	NW	RV	OC	UP
MT1	83.890134	84.9735	85.1599	85.8252
MT2	69.963148	73.2942	74.2235	72.1593
MT3	84.2632561	84.9053	85.6265	86.8237
MT4	81.1180012	81.6626	82.5317	83.8954
MT5	78.9476904	78.8278	79.177	80.5498
MT6	74.3366406	74.7625	76.1429	77.0086
MT7	78.13572	78.6152	80.0422	82.7725

Tabel 2. Sebelum *combine* (a) sesudah *combine* (b)

STASIUN	RHOBUST TERBAIK			
	RHOBUST	CXY	CYX	AVERAGE
MT1	OC UP AUTO	85.75323	85.89709	85.82516
MT2	OC AUTO	74.79076	73.47389	74.13233
MT3	OC UP AUTO	87.45761	86.18985	86.82373
MT4	OC UP AUTO	87.4857	80.30517	83.89544
MT5	OC UP AUTO	83.99704	77.1025	80.54977
MT6	OC UP AUTO	78.12629	75.89095	77.00862
MT7	OC UP AUTO	82.59734	82.94775	82.77255

(a)

STASIUN	RHOBUST TERBAIK			
	RHOBUST	CXY	CYX	AVERAGE
MT1	OC UP AUTO	85.7532	85.8971	85.8251599
MT2	OC AUTO	81.5456	80.2944	80.9200203
MT3	OC UP AUTO	87.4576	86.1898	86.8237275
MT4	OC UP AUTO	87.4857	80.3052	83.8954366
MT5	OC UP AUTO	83.997	77.1025	80.5497724
MT6	OC UP AUTO	78.1263	75.891	77.0086202
MT7	OC UP AUTO	82.5973	82.9477	82.7725462

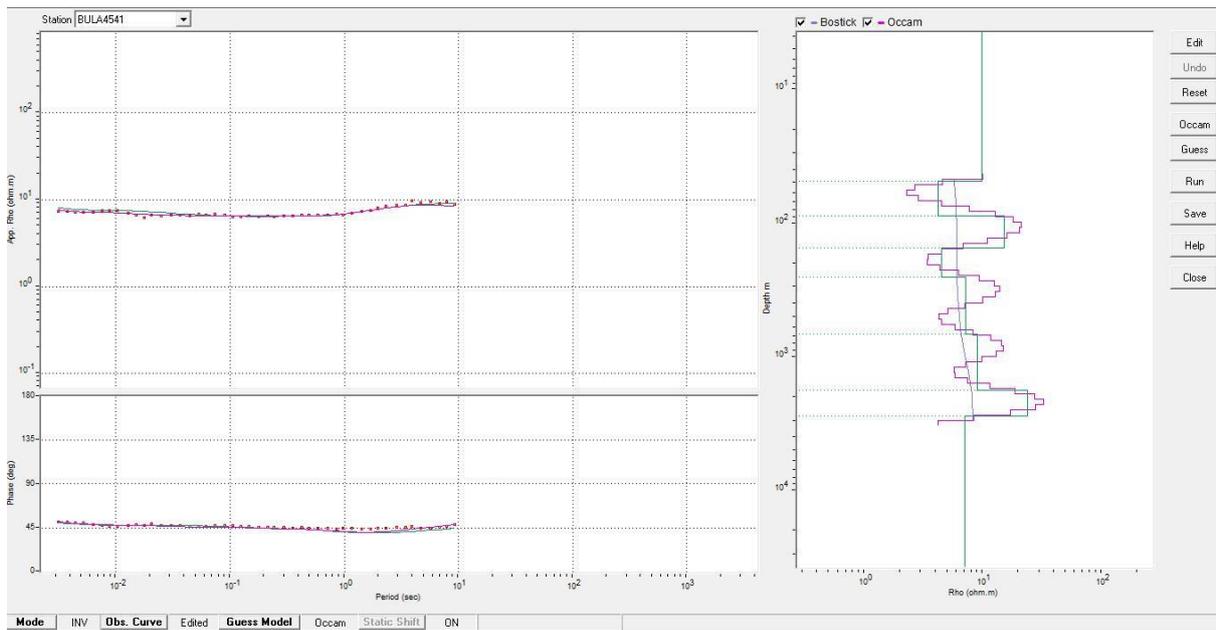
(b)

Tabel 3. Resistivitas dan ketebalan lapisan pada titik MT1

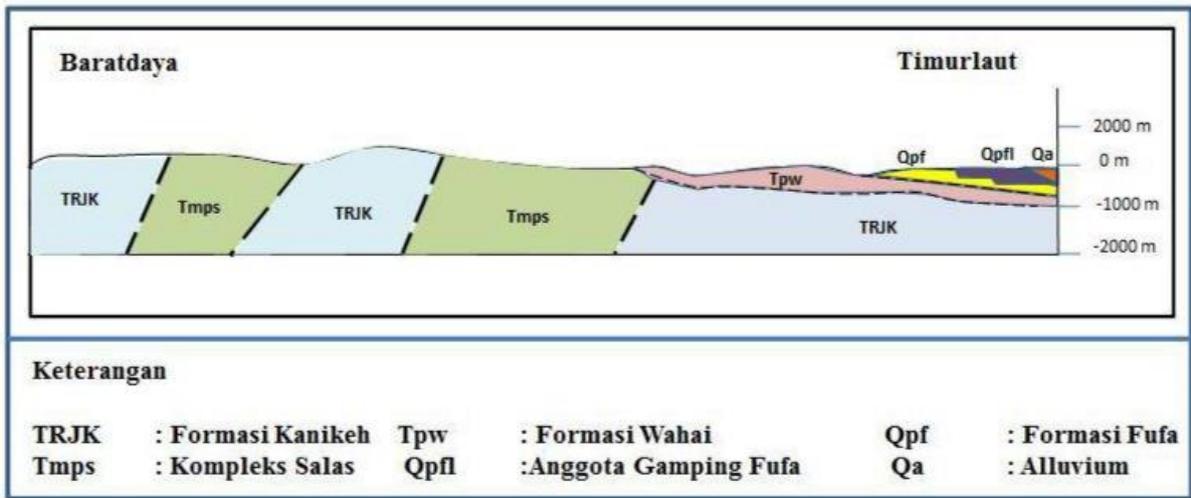
<i>Depth to Top (m)</i>	<i>Depth to base (m)</i>	<i>True resistivity (Ωm)</i>	<i>Lithology</i>
0	48.16	9.73	<i>Claystone</i>
48.16	87.76	4.14	<i>Claystone</i>
87.76	151.89	15.17	<i>Claystone</i>
151.89	250.16	4.46	<i>Claystone</i>
250.16	675.34	7.11	<i>Claystone</i>
675.34	1763.82	8.93	<i>Claystone</i>
1763.82	2770.27	23.54	<i>Sandstone</i>
2770.27	5500	6.98	<i>Claystone</i>

Tabel 4. Nilai resistivitas batuan (Telford, 1990).

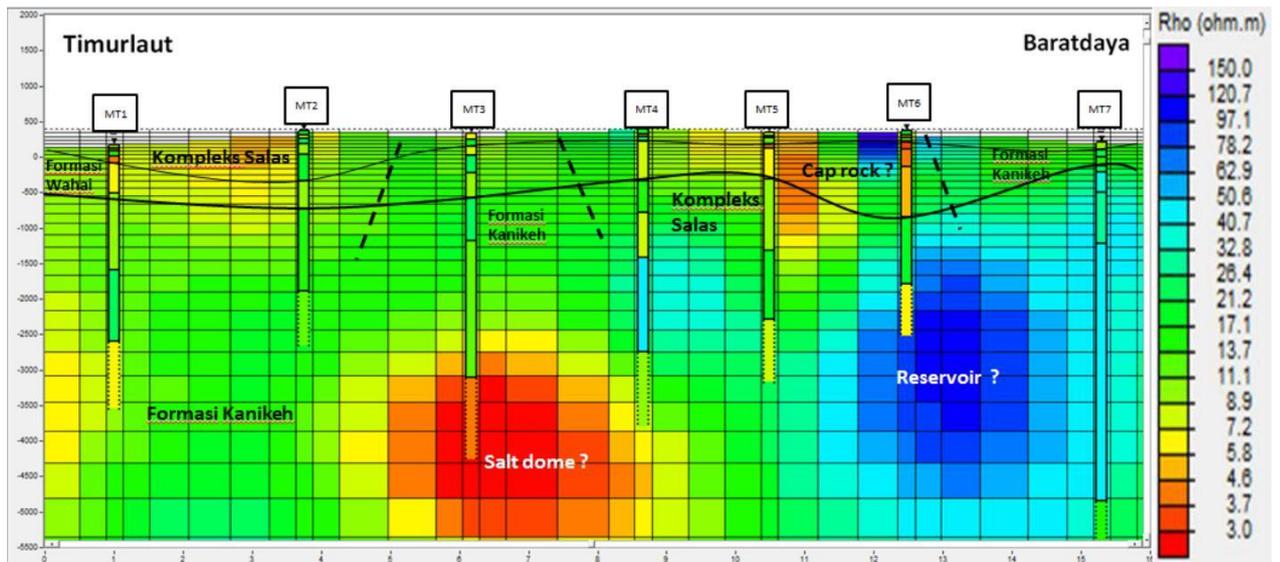
<i>Rock type</i>	<i>Resistivity range (Ωm)</i>
<i>Sandstone</i>	$1 - 7.4 \times 10^8$
<i>Limestone</i>	$5 \times 10 - 10^1$
<i>Marls</i>	$3 - 7 \times 10$
<i>Claystone</i>	$1 - 10^2$
<i>Shale</i>	$20 - 2 \times 10^3$
<i>Conglomerates</i>	$2 \times 10^3 - 10^4$
<i>Chalk</i>	$50 - 150$
<i>Gabro</i>	$10^3 - 10^6$



Gambar 1. Inversi 1D data MT



Gambar 2. Sayatan geologi daerah penelitian



Gambar 3. Inversi 2D data MT