



Reduksi Efek Dimensionalitas 3D pada Data Magnetotelurik Menggunakan Analisis Koherensi, Tren Kurva, dan Skin Depth: Studi Kasus di Pulau Yapen Bagian Selatan dan Sekitarnya, Papua

Reduction of 3D Dimensionality Effects on Magnetotelluric Data Using Coherence Analysis, Curve Trend, and Skin Depth: Case Study in Southern Yapen Island and Surrounding Areas, Papua

G.M. Lucki Junursyah¹, Edwin Parlindungan², Hidayat¹, dan Asep Harja²

¹Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro No.57, Bandung 40122.

²Program Studi Geofisika, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Sumedang 45363.

email: g.junursyah@esdm.go.id; parlinedwin@gmail.com

Naskah diterima: 12 Juli 2022, Revisi terakhir: 19 September 2022, Disetujui: 07 November 2022, Online: 07 November 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23.4.247-255>

Abstrak - Data magnetotelurik rentan terhadap noise akibat penggunaan sumber alami yang berasal dari aktivitas matahari dan petir dengan rentang frekuensi yang sangat lebar. Oleh sebab itu, diperlukan proses reduksi noise secara kuantitatif dan kualitatif, yaitu dengan cara analisis koherensi, proses tren kurva, dan *skin depth*, yang menghasilkan koherensi data mencapai rata-rata 91,5 %. Analisis *skewness* dilakukan untuk mengevaluasi tipe distorsi 1D, 2D, atau 3D, yang terjadi pada tensor impedansi. Kemunculan efek dimensionalitas 3D akibat adanya distorsi pada tensor impedansi pada 8 (delapan) lokasi pengukuran magnetotelurik di Pulau Yapen bagian selatan dan sekitarnya telah tereduksi secara keseluruhan oleh analisis koherensi, proses tren kurva, dan *skin depth*, sehingga hasil data tidak perlu dilakukan analisis rotasi terlebih dahulu sebelum dilakukan pemodelan inversi 1D-2D. Hasil penafsiran pada penampang tahanan jenis 2D memperlihatkan bahwa batuan dasar di daerah ini adalah Batuan Gunungapi Yapen yang ditindih secara tidak selaras oleh Batugamping Wurui.

Katakunci: Koherensi, magnetotelurik, *skewness*, *skin depth*, tren kurva.

Abstract - Due to the use of natural sources from solar activity and lightning activity in a very wide frequency range, magnetotelluric data is susceptible to interference. As a result, electromagnetic noise must be processed quantitatively and qualitatively, i.e through coherence analysis, trend curve processes, and skin depth analysis, resulting in data quality of 91.51% on average. Skewness analysis is used to determine the type of 1D, 2D, or 3D distortion of the impedance tensor. All of the 3D effect in the impedance tensor distortion in eight (8) magnetotelluric soundings from southern part Yapen Island and its surroundings has been reduced by applying coherence analysis, trend curve process, and skin depth analysis so the impedance rotation analysis is not necessary before applying 1D-2D inversion modeling. The interpretation of the 2D resistivity section results show that the bed rock in this area is the Yapen Volcanic Rock, which overlies disconformity by the Wurui Limestone.

Keywords: Coherence, magnetotellurics, skewness, skin depth, curve trend.

PENDAHULUAN

Metode magnetotelurik merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik (EM) alam. Medan elektromagnetik tersebut ditimbulkan oleh berbagai proses fisis yang cukup kompleks dengan spektrum frekuensi sangat lebar (10^4 - 104 Hz). Pada frekuensi yang cukup rendah (<1 Hz), angin matahari yang mengandung partikel-partikel bermuatan listrik berinteraksi dengan medan magnet permanen bumi sehingga menyebabkan variasi medan EM. Variasi pada frekuensi audio (> 1 Hz) terutama disebabkan oleh aktivitas meteorologis berupa petir yang terjadi di suatu tempat dan menimbulkan gelombang EM yang terperangkap antara ionosfer bumi dan menjalar mengitari bumi (Vozzof, 1991).

Metode magnetotelurik merupakan metode pasif yang memanfaatkan sumber gelombang EM alamiah. Hal ini menyebabkan seluruh medan EM yang terdapat di lokasi pengukuran akan terekam, sehingga data akan tercampur dengan gangguan (*noise*). Proses reduksi *noise* pada data magnetotelurik perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas data menjadi lebih baik, diawali dengan analisis koherensi yang terdiri dari beberapa proses berdasarkan nilai koherensi (Mwakirani, 2012), dilanjutkan dengan proses tren kurva untuk menghilangkan data *outlier* dari tren pada kurva tahanan jenis semu dan sudut fase, serta proses *skin depth* untuk menentukan perkiraan kedalaman penetrasi rata-rata optimum. Data yang mengandung *noise* dapat memengaruhi dimensionalitas data, sehingga memunculkan distorsi 3D pada tensor impedansi magnetotelurik (Chave & Jones, 2012) dan menyebabkan penetrasi kedalaman menjadi berkurang (Junursyah dkk., 2019). Untuk mengetahui data tersebut memiliki dimensionalitas 1D, 2D, atau 3D, diperlukan analisis *skewness*.

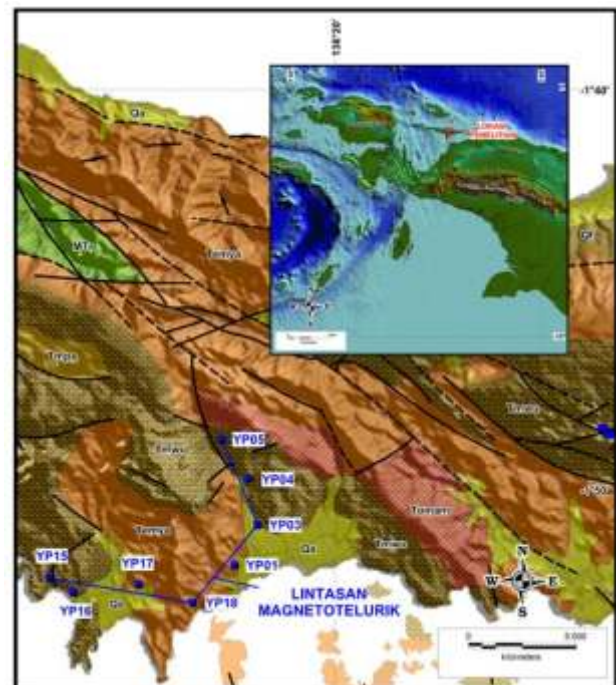
Hasil analisis koherensi, proses tren kurva, dan proses *skin depth* dapat memberikan informasi secara kuantitatif dan kualitatif terhadap peningkatan kualitas data akibat reduksi *noise* yang berkaitan dengan penurunan efek dimensionalitas 3D, sehingga dapat menentukan perlu tidaknya proses rotasi tensor impedansi dalam pemodelan data menggunakan algoritma inversi 2D pada suatu data magnetotelurik.

Geologi

Penyelidikan magnetotelurik di Pulau Yapen adalah sebagai salah satu kegiatan survei terpadu yang dilakukan oleh Pusat Survei Geologi pada tahun 2013, untuk mengetahui potensi cekungan sedimen di

daerah tersebut yang termasuk ke dalam cekungan Biak-Yapen (Badan Geologi, 2009) atau cekungan Waipoga (Patra Nusa Data, 2006). Cekungan ini merupakan salah satu cekungan *frontier* di kawasan timur Indonesia yang diperkirakan memiliki potensi sumber daya hidrokarbon (Permana dkk., 2019). Berdasarkan peta geologi Lembar Yapen, Irian Jaya skala 1:250.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Atmawinata dkk., 1989), diketahui satuan batuan yang tersingkap di daerah ini (Gambar 1). Batuan tertua berumur Oligosen - Miosen adalah Batuan Gunungapi Yapen (Temya) yang terdiri atas perselingan breksi gunungapi dan tuf, bersisipan lava, batupasir piroklastika tuf gampingan, dan lensa batugamping, serta menutupi secara tidak selaras Batuan Malih Rosburi (Mtr). Pada Miosen diendapkan Batugamping Wurui (Tmwu) yang terdiri atas kalkarenit, kalsilutit, sedikit kalsirudit, dengan sisipan batugamping kapuran, napal pasiran, dan batupasir gampingan, serta secara selaras terendapkan di atas Batuan Gunungapi Yapen (Temya). Kedua satuan batuan tersebut ditutupi secara tidak selaras oleh Endapan Aluvium dan Litoral (Qa) terdiri atas kerikil, pasir dan lumpur, serta bahan tumbuhan.

Bentuk memanjang barat - timur Pulau Yapen dan sebaran satuan geologinya sebagian besar dikendalikan oleh sistem sesar utama yang memotong Pulau Yapen,



Sumber: modifikasi dari Atmawinata dkk. (1989).

Gambar 1. Lokasi lintasan pengukuran magnetotelurik (garis biru) yang dilakukan di Pulau Yapen dikorelasikan dengan peta geologi regional skala 1:250.000.

yaitu Sistem Sesar Randawaya dan Jobi. Sistem Sesar Randawaya ditafsirkan sebagai sekumpulan sesar menurun dan mendatar yang menyayat miring Pulau Yapen bagian tengah dan memotong Batuan Gunungapi Yapen dan Batugamping Wurui, sebagian merupakan bidang batas antara Batuan Gunungapi Malih Rosburi dan Batuan Gunungapi Yapen. Sistem Sesar Jobi terdapat di bagian timur Pulau Yapen, dianggap suatu kelompok sesar mendatar mengiri berarah barat - baratlaut yang memisahkan Breksi Ofiolit Jobi dari Batuan Gunungapi Yapen dan Batugamping Wurui.

Metodologi

Hasil dari pengukuran magnetotelurik menggunakan peralatan Phoenix MTU-5A ini terdiri dari 8 (delapan) titik data audio magnetotelurik dalam rentang frekuensi 5,6 - 10400 Hz dan magnetotelurik dalam rentang frekuensi $3,4 \times 10^4$ - 320 Hz, membentuk satu lintasan bersegi memanjang dari arah baratdaya hingga ke timurlaut sepanjang 17 km dan terletak di bagian selatan Pulau Yapen. Proses hingga analisis data dilakukan dalam beberapa tahapan, sebagai berikut (Gambar 2):

Tahapan Analisis Koherensi

Kualitas data magnetotelurik secara kuantitatif dapat diketahui berdasarkan nilai koherensinya. Nilai koherensi merupakan besaran yang menyatakan

hubungan antara medan listrik dan magnet yang saling tegak lurus. Data dianggap koheren apabila nilai E_x dan H_y adalah sama, begitu pula dengan E_y dan H_x , yaitu bernilai 1 atau dalam persentasi adalah 100 %. Kondisi ideal tersebut sulit terjadi karena sinyal data akan selalu mendapat gangguan alami, oleh karena itu nilai koherensi yang mendekati angka 1 (satu) merupakan data yang baik (Mwakirani, 2012).

Proses pertama yang dilakukan untuk mereduksi data dari gangguan adalah proses Robust dengan melibatkan algoritma persamaan kuadrat terkecil dan pembobotan secara interatif untuk menghitung penyimpangan dari

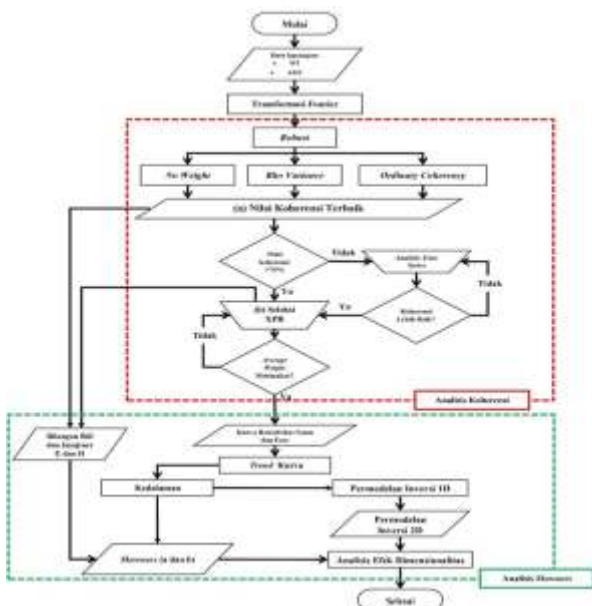
$$\Psi = \frac{(E \cdot B)}{((E \cdot E)(B \cdot B))^{1/2}} \dots\dots\dots (1)$$

kesalahan *Gaussian distribution* (Simpson & Bahr, 2005), terbagi menjadi tiga macam jenis pembobotan (Phoenix Geophysics, 2005), yaitu: *no weight* (tanpa pembobotan), *rho variance* (berdasarkan variasi nilai tahanan jenis) dan *ordinary coherence* (berdasarkan koherensi terbaik dari medan E dan H). Koherensi dari ketiga pembobotan tersebut kemudian dibandingkan untuk menentukan nilai koherensi terbaik pada setiap titiknya. Proses selanjutnya adalah analisis *time series* (deret waktu) yang dilakukan secara manual pada data hasil Robust terbaik dengan nilai koherensi < 75 %. Proses terakhir pada tahapan reduksi *noise* ini adalah seleksi XPR yang dilakukan secara manual dengan melakukan seleksi data XPR dengan pembobotan rendah pada setiap frekuensinya. XPR sendiri merupakan data parsial setiap frekuensi pada nilai tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) dan fase.

Tahapan Analisis Skewness

Pembatasan kualitas data yang akan digunakan dalam analisis *skewness* dilakukan dengan proses tren kurva dengan cara *D+ smoothing* (Beamish & Travassos, 1992) dan proses *skin depth*. Proses tren kurva dilakukan secara manual pada kurva tahanan jenis semu dan sudut fase hasil seleksi XPR di setiap titik dengan cara mengeliminir data *outlier* dari tren kurva, sehingga kedua kurva tersebut selaras dengan tren kurva. Proses *skin depth* dilakukan pada data hasil tren kurva untuk menentukan estimasi kedalaman penetrasi rata-rata terbaik yang digunakan dalam analisis *skewness* dan pemodelan inversi 2D. Estimasi kedalaman penetrasi dapat dilakukan dengan perhitungan *skin depth*, sebagai berikut:

$$\delta \approx 503 \sqrt{\rho/f} \dots\dots\dots (2)$$



Sumber: modifikasi dari Junursyah (2021).

Gambar 2. Diagram alir pengolahan data, analisis data, hingga pemodelan 2D pada data magnetotelurik - audio magnetotelurik di selatan Pulau Yapen.

Dimensionalitas data magnetotelurik bisa terjadi dalam bentuk 1D, 2D, dan 3D, atau bisa akibat kesalahan proses pengolahan data yang menyebabkan perubahan dimensionalitas. Analisis *skewness* digunakan untuk mengetahui apakah adanya penyimpangan atau adanya distorsi telurik pada tensor impedansi yang diamati. Nilai *phase sensitivity skewness* () dapat digunakan untuk memperhitungkan efek distorsi yang terjadi di dalam tensor impedansi yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Bahr, 1991):

$$\eta = \sqrt{2 \frac{\text{Re}Z_{xx}\text{Im}Z_{yy} - \text{Re}Z_{yy}\text{Im}Z_{xx} + \text{Im}Z_{xy}\text{Im}Z_{yx}}{|\text{Z}_{yy}-\text{Z}_{xx}|}} \dots\dots\dots(3)$$

Nilai Re adalah komponen real dan Im adalah komponen imajiner dari bilangan kompleks, sedangkan nilai Z_{xx} , Z_{xy} , Z_{yx} , dan Z_{yy} , adalah elemen tensor impedansi. Nilai $\eta > 0,3$ mengindikasikan adanya efek dimensionalitas 3D pada data, sedangkan nilai $\eta < 0,3$ mengindikasikan adanya efek dimensionalitas 2D (Xiao, 2011). Kondisi ideal terjadi apabila nilai $\eta = 0$ yang menyebabkan efek dimensionalitas 1D (Bahr, 1991; Lezaeta, 2002).

Tahapan Pemodelan 2D

Data masukan pada pemodelan inversi 2D ini adalah hasil pemodelan inversi 1D setiap data invariant hasil proses analisis koherensi yang dibatasi oleh proses tren kurva dan *skin depth*. Permodelan inversi 2D dilakukan berdasarkan *smooth model inversion* menggunakan algoritma NLGC (*nonlinear conjugate gradient*; Rodi & Mackie, 2001) dengan perangkat lunak WinGlink yang memaksimalkan iterasi hingga RMS-error mencapai $< 3-5\%$.

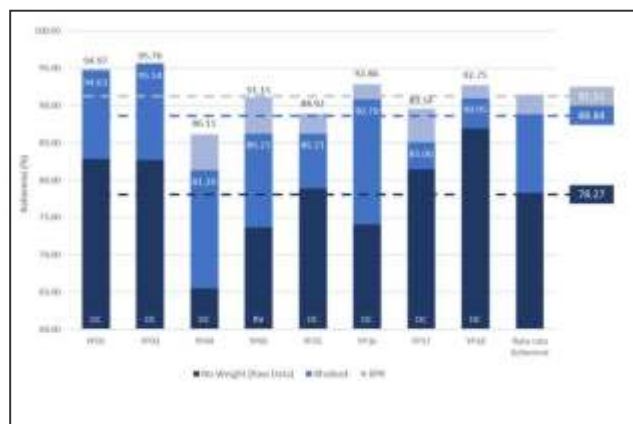
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Koherensi

Hasil proses Robust hingga seleksi XPR pada 8 (delapan) lokasi magnetotelurik di daerah Yapen dan sekitarnya memperlihatkan peningkatan kualitas data yang signifikan. Berdasarkan analisis koherensi secara kuantitatif (Gambar 3) memperlihatkan data awal (*no weight*) memiliki nilai koherensi terendah sebesar 65,52 % (YP04) dan tertinggi 86,92 % (YP18), setelah dilakukan proses Robust, nilai koherensinya meningkat dengan nilai terendah sebesar 81,29 % (YP04) dan tertinggi 95,54 % (YP03). Pemilihan proses Robust terbaik didominasi oleh pembobotan *ordinary coherency*, hanya titik YP05 yang menggunakan pembobotan *rho variance*.

Hasil proses Robust memperlihatkan kualitas data secara keseluruhan berada $>75\%$, sehingga tidak dilakukan analisis deret waktu sebelum dilakukan proses seleksi XPR. Hasil proses seleksi XPR memperlihatkan peningkatan nilai koherensi mencapai 86,11 % (YP04) hingga 95,76 % (YP03). Secara umum dapat diketahui bahwa peningkatan kualitas data secara kuantitatif berdasarkan analisis koherensi paling signifikan terjadi pada proses Robust dengan peningkatan rata-rata mencapai 10,57 % dari data awal, jika dibandingkan dengan proses seleksi XPR yang hanya mengalami peningkatan mencapai 2,67 % dari proses Robust.

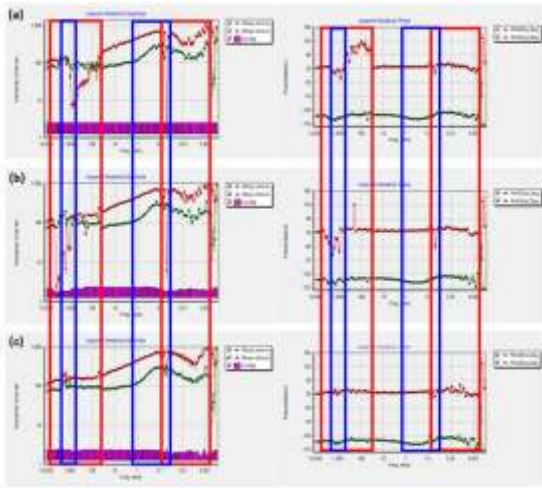
Secara kualitatif peningkatan kualitas data berdasarkan analisis koherensi bisa terlihat pada kurva tahanan jenis semu dan kurva sudut fase (contoh di titik YP18) yang memperlihatkan perbandingan data awal (Gambar 4.a) dengan hasil proses Robust (Gambar 4.b) hanya berpengaruh pada peningkatan reduksi *outlier*, tetapi tidak merubah kedua kurva menjadi lebih *smooth*. Setelah proses seleksi XPR (Gambar 4.c) terlihat kedua kurva mengalami perubahan yang signifikan dan menjadi lebih *smooth* jika dibandingkan dengan hasil proses Robust. Peningkatan reduksi efek *outlier* dan kurva *smooth* pada data di titik YP18 terlihat secara signifikan terjadi pada frekuensi tinggi dari interval 4,00 Hz hingga 4400 Hz dan frekuensi rendah dari interval $8,40 \times 10^{-4}$ Hz hingga $8,80 \times 10^{-2}$ Hz (kotak merah pada Gambar 4). Secara umum peningkatan reduksi efek *outlier* dan kurva *smooth* pada keseluruhan data rata-rata terjadi di frekuensi tinggi pada interval 900 - 1800 Hz dan frekuensi rendah pada interval $3,70 \times 10^{-2}$ - 2,34 Hz (kotak biru pada Gambar 4).



Gambar 3. Hasil analisis koherensi dari delapan data audio magnetotelurik - magnetotelurik di Pulau Yapen dan sekitarnya yang memperlihatkan peningkatan kualitas data secara kuantitatif dari data awal, proses Robust hingga proses seleksi XPR.

Analisis Skewness

Berdasarkan hasil proses tren kurva data hasil proses seleksi XPR di titik YP18 terlihat data yang tereleminasi



Gambar 4. Perbandingan kurva tahanan jenis semu dan sudut fase di titik YP18 pada (a) data awal; (b) proses Robust; dan (c) proses seleksi XPR.

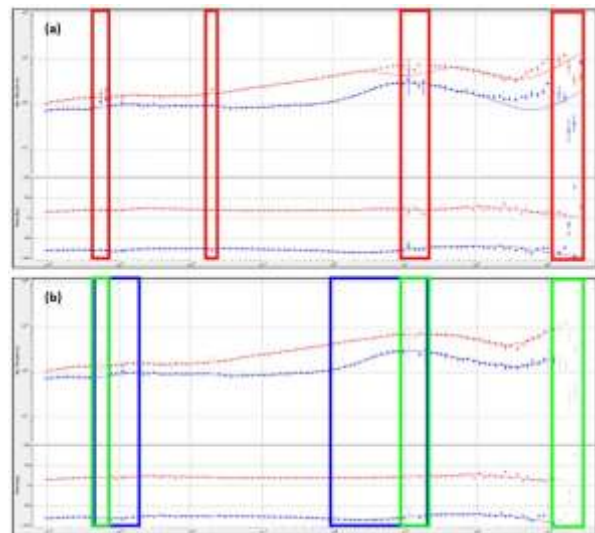
sebanyak 12 data yang terbagi pada beberapa interval frekuensi, yaitu 1500 - 1800 Hz; 49 Hz; $8,80 \times 10^{-2}$ - $5,40 \times 10^{-2}$ Hz; dan $6,90 \times 10^{-4}$ - $3,40 \times 10^{-4}$ Hz (kotak merah pada Gambar 5.a). Secara umum data yang tereliminasi pada keseluruhan data rata-rata terjadi pada interval frekuensi 1500 - 1800 Hz; $8,80 \times 10^{-2}$ - $5,40 \times 10^{-2}$ Hz; dan $6,90 \times 10^{-4}$ - $3,40 \times 10^{-4}$ Hz (kotak hijau pada Gambar 5.b), jika dikorelasikan dengan peningkatan reduksi efek outlier dan kurva smooth pada keseluruhan data rata-rata hasil analisis koherensi (kotak biru pada Gambar 5.b), memperlihatkan hasil proses tren kurva dapat mengeliminasi efek outlier yang masih muncul.

Proses *skin depth* dilakukan untuk mengetahui kedalaman penetrasi terbaik pada keseluruhan data hasil proses tren kurva. Berdasarkan perhitungan *skin depth* (Gambar 6) dapat diketahui kedalaman penetrasi terdalam mencapai 23,2 m (YP03) hingga 447 m (YP17), sedangkan kedalaman penetrasi terdalam mencapai 24.600 m (YP16) hingga 410.605 m (YP18), sehingga dapat ditentukan kedalaman penetrasi yang terbaik pada keseluruhan data, yaitu dari kedalaman 447 m hingga 24.600 m. Kedalaman terbaik ini akan digunakan sebagai pembatas data masukan pada analisis *skewness*.

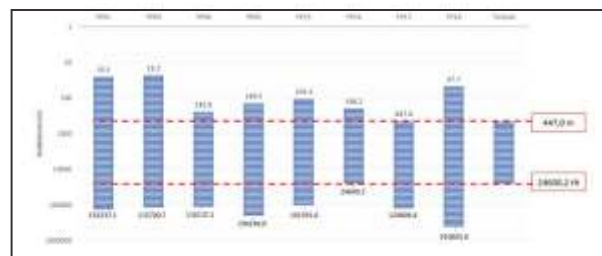
Berdasarkan analisis *skewness* secara kuantitatif terhadap seluruh data hasil analisis koherensi sebelum (Gambar 7.a) dan sesudah (Gambar 7.b) dilakukan proses tren kurva dan *skin depth* dapat terlihat perbedaan yang signifikan dalam mereduksi efek dimensionalitas data 3D. Pada Grafik 3.a memperlihatkan nilai $>0,3$ pada data awal terdapat sebanyak 53 dengan jumlah tertinggi terdapat pada titik YP17 (16). Setelah dilakukan proses Robust

maka nilai $>0,3$ berkurang menjadi 45, akan tetapi di beberapa titik terjadi peningkatan dengan jumlah tertinggi terdapat di titik YP05 (17), kemudian setelah dilakukan proses seleksi XPR nilai $>0,3$ malah meningkat menjadi 64. Hal ini terjadi akibat data yang digunakan belum dilakukan pembatasan berdasarkan proses tren kurva dan *skin depth*, sehingga efek-efek dimensionalitas data 3D yang terjadi secara keseluruhan akibat efek outlier masih diperhitungkan. Pada Gambar 7.b memperlihatkan nilai $>0,3$ pada data awal hasil analisis koherensi sesudah dilakukan proses tren kurva dan *skin depth* hanya muncul di titik YP17 sebesar satu (1), kemudian setelah dilakukan proses Robust hanya muncul di titik YP03 sebesar 1 (satu). Perubahan kemunculan efek dimensionalitas data 3D ini tidak dapat betul-betul direduksi, karena proses Robust dilakukan secara otomatis, tetapi pada proses hasil seleksi XPR nilai $>0,3$ sudah tereduksi secara keseluruhan.

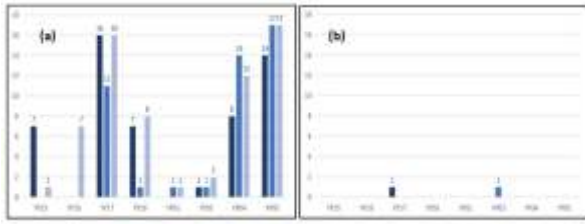
Secara kualitatif analisis *skewness* yang ditampilkan dalam penampang 2D dengan kedalaman maksimal 10



Gambar 5. Kurva tahanan jenis semu dan fase terhadap periode titik YP18 yang (a) sebelum proses analisis tren kurva (b) setelah proses seleksi XPR berdasarkan analisis tren kurva. Pada proses ini dieliminasi sebanyak 12 unit data.



Gambar 6. Estimasi kedalaman penetrasi berdasarkan proses *skin depth* yang memperlihatkan kedalaman terbaik berada pada 447 m hingga 24.600 m.



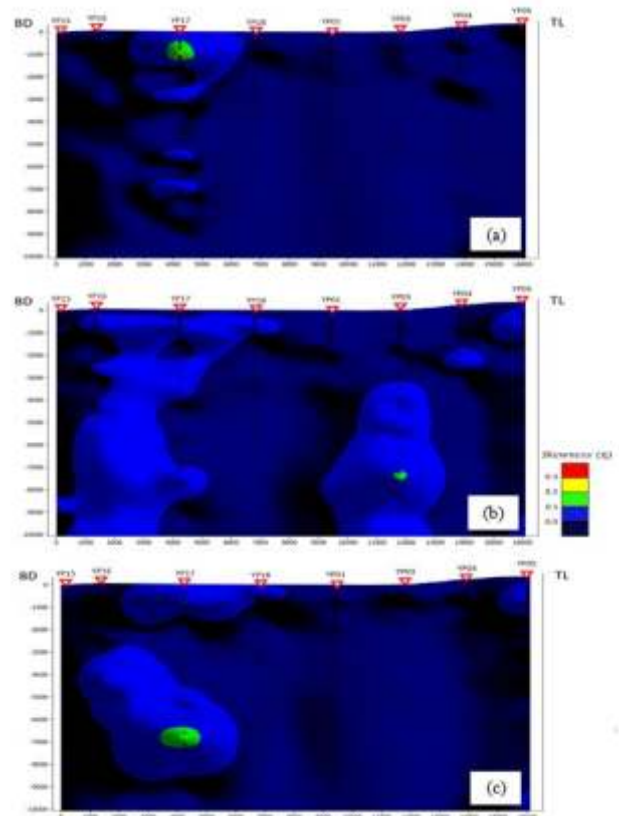
Gambar 7. Jumlah nilai *skewness* >0,3 yang terjadi pada keseluruhan proses analisis koherensi pada (a) sebelum dan (b) sesudah dilakukan proses tren kurva dan *skin depth*.

km (Gambar 8) terhadap seluruh data hasil analisis koherensi setelah dilakukan proses tren kurva dan *skin depth*, memperlihatkan efek dimensionalitas data 3D pada data awal (Gambar 8.a) muncul di kedalaman 1.065 m di bawah titik YP17 dan pada proses Robust (Gambar 8.b) sudah tidak terlihat lagi, karena kemunculannya berada di kedalaman 15.000 m di bawah titik YP03, tetapi memunculkan efek dimensionalitas 2D di kedalaman sekitar 7.500 m di bawah titik YP03. Pada penampang *skewness* hasil seleksi XPR (Gambar 8.c) efek dimensionalitas 3D sudah tidak muncul, tetapi memunculkan efek dimensionalitas 2D di kedalaman sekitar 7.000 m di bawah titik YP17. Secara umum berdasarkan analisis *skewness* terlihat bahwa proses tren kurva dan *skin depth* sangatlah perlu dilakukan untuk memvalidasi data hasil analisis koherensi dan secara lanjut mengeliminasi efek *outlier* yang berkesinambungan dengan kemunculan efek dimensionalitas 3D, sehingga dapat menentukan data terbaik dan kemunculan efek dimensionalitas 3D yang tidak berkesinambungan dengan efek *outlier*.

DISKUSI

Berdasarkan analisis koherensi terjadi peningkatan kualitas data secara kuantitatif. Peningkatan koherensi yang paling signifikan terjadi pada proses Robust yang mencapai 10,57 %, sedangkan proses seleksi XPR hanya sebesar 2,67 %. Jika dilihat secara kualitatif, perubahan kurva tahanan jenis semu dan sudut fase mengalami peningkatan kualitas data yang rata-rata cukup signifikan pada frekuensi 900 - 1.800 Hz dan $3,70 \times 10^{-2}$ - 2,34 Hz. Kualitas data berdasarkan analisis koherensi yang mencapai rata-rata 91,51 % memperlihatkan kualitas yang sangat baik secara keseluruhan, tetapi belum bisa mereduksi efek dimensionalitas 3D yang terjadi akibat masih terdapatnya efek *outlier* pada data.

Hasil proses tren kurva yang dilakukan memperlihatkan bahwa eliminasi data terjadi pada interval frekuensi 1500 - 1800 Hz; $8,80 \times 10^{-2}$ -



Gambar 8. Perbandingan penampang *skewness* 2D hasil analisis koherensi setelah dilakukan proses tren kurva dan *skin depth* (a) data awal; (b) proses Robust dan; (c) seleksi XPR.

$5,40 \times 10^{-2}$ Hz; dan $6,90 \times 10^{-4}$ - $3,40 \times 10^{-4}$ Hz. Pada frekuensi tinggi, 1.500 - 1.800 Hz terjadi peningkatan reduksi efek *outlier* setelah dilakukan analisis koherensi (900 - 1.800 Hz), sehingga dapat mereduksi efek dimensionalitas 3D yang terjadi akibat gangguan di permukaan dangkal. Hal ini terjadi pula pada zona frekuensi *dead band* magnetotelurik ($8,80 \times 10^{-2}$ - $5,40 \times 10^{-2}$ Hz) setelah dilakukan analisis koherensi ($3,70 \times 10^{-2}$ - 2,34 Hz), peningkatan reduksi efek *outlier* dan dimensionalitas 3D terjadi akibat adanya optimalisasi data pada kondisi fluktuasi gelombang elektromagnetik berintensitas rendah (Simpson & Bahr, 2005). Pada frekuensi rendah $6,90 \times 10^{-4}$ - $3,40 \times 10^{-4}$ Hz terjadi peningkatan efek *outlier* yang secara umum tidak dapat direduksi oleh analisis koherensi, berkesinambungan dengan tereduksinya efek dimensionalitas 3D yang terjadi akibat penetrasi gelombang elektromagnetik. Proses *skin depth* dilakukan sebagai pembatasan kedalaman penetrasi yang terbaik pada keseluruhan data hasil proses tren kurva, yaitu dari kedalaman 447 m hingga 24.600 m yang digunakan sebagai pembatas data masukan pada analisis *skewness*.

Berdasarkan analisis *skewness* pada proses Robust setelah dilakukan proses tren kurva dan *skin depth*,

memperlihatkan bahwa proses ini dapat mereduksi efek dimensionalitas 3D (kotak merah) yang terjadi pada data awal di kedalaman 1.065 m (Gambar 9), tetapi masih memunculkan efek dimensionalitas 3D di luar penampang pada kedalaman 15.000 m dan efek dimensionalitas 2D pada kedalaman sekitar 7.500 m (Gambar10). Jika dilihat perbandingan antara penampang hasil pemodelan inversi 1D-2D pada data awal (Gambar 9) dengan proses Robust (Gambar 10) yang meningkatkan kualitas data berdasarkan analisis koherensi hingga mencapai 10,57 %, tidak memperlihatkan peningkatan nilai RMS error hasil *smooth model inversion* (4,63 %) dan tidak terjadi perubahan kontras nilai tahanan jenis secara signifikan, tetapi hanya memperlihatkan peningkatan kedalaman penetrasi rata-rata hasil pemodelan inversi 1D dari 5.238 m menjadi 8.629 m.

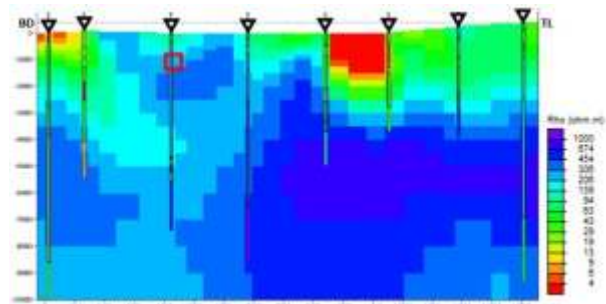
Peningkatan kualitas data berdasarkan analisis koherensi proses seleksi XPR ini lebih kecil (2,67 %) dibandingkan proses Robust, tetapi ternyata terdapat perubahan yang signifikan berdasarkan analisis *skewness* dan pada penampang hasil pemodelan 1D-2D. Pada analisis *skewness* terlihat efek dimensionalitas 3D telah tereduksi secara keseluruhan, hanya memunculkan efek dimensionalitas 2D pada kedalaman sekitar 7.000 m di bawah titik YP17. Pada penampang pemodelan 1D-2D hasil proses seleksi XPR (Gambar 11), terlihat peningkatan nilai RMS error menjadi 2,66 %, peningkatan kedalaman penetrasi rata-rata hasil pemodelan 1D mencapai 15.258 m, serta terjadi perubahan kontras nilai tahanan jenis yang signifikan. Pada permukaan dangkal terlihat perubahan penyebaran nilai tahanan jenis hingga 206 ? m yang terpisah pada titik YP15 – YP16, YP17, dan YP18 – YP05 dengan kedalaman beragam dari 1.000 m hingga 5.000 m, menjadi terpisah secara lebih kontras pada YP18 – YP05 mencapai ± 2.000 m dan titik YP15 – YP17 mencapai ± 8.000 m. Pada permukaan dalam terlihat penyebaran >206 ? m tidak lagi terbatas pada > 8.000 m, akan tetapi lebih dari 10.000 m (YP15 – YP16 dan YP04 – YP05), hal ini ditafsirkan sebagai indikasi batas dari batuan dasar di daerah penyelidikan berdasarkan kontras tahanan jenis hasil data magnetotelurik.

Berdasarkan kontras nilai tahanan jenis pada pemodelan 2D (Gambar 11) yang dikorelasikan sebaran satuan batuan di permukaan berdasarkan geologi regional (Atmawinata dkk., 1989) maka dapat ditafsirkan batuan dasar di daerah penyelidikan dialasi oleh Batuan Gunungapi Yapen (Temya) yang berumur Oligosen – Miosen dengan variasi nilai

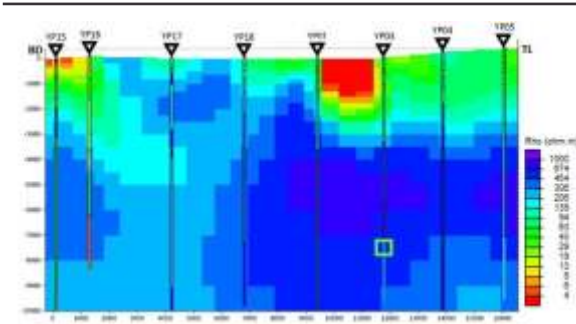
tahanan jenis >206 ? m. Pada batuan dasar ini terindikasi adanya variasi nilai tahanan jenis yang lebih rendah (139 – 206 ? m) dan tidak selaras dengan sekitarnya pada kedalaman < 8.000 m (di bawah titik YP17), serta diperkuat pula oleh kemunculan efek dimensionalitas 2D pada kedalaman 7000 m, maka ditafsirkan terjadi patahan naik yang pada bagian *footwall*-nya diendapkan batuan yang lebih muda dan berkomponen lebih halus dibandingkan batuan dasar, yaitu Anggota Manupang (Temm) yang terdiri atas tuf, sisipan batugamping, tuf gampingan, dan aglomerat. Penyebaran Anggota Manupang ini ke arah baratdaya penampang dibatasi oleh patahan normal yang pada bagian *footwall*-nya dikuasai oleh batuan dasar.

Pada bagian permukaan hampir dominan ditutupi oleh Batugamping Wurui (Tmwu) dengan variasi nilai tahanan jenis <206 ? m. Pada bagian baratdaya penampang, ketebalan satuan batuan ini mencapai 3.500 m dan ditafsirkan menindih secara tidak selaras batuan dasar, pada bagian timurlaut dibatasi oleh patahan normal yang pada bagian *footwall*-nya dikuasai oleh batuan dasar. Pada bagian timurlaut penampang, ketebalan satuan ini bervariasi dari 600 m hingga 1.500 m yang penyebarannya dikontrol oleh patahan normal. Variasi nilai tahanan jenis yang makin menurun ke arah permukaan menandakan bahwa di bagian permukaan terendapkan Endapan Aluvium dan Litoral (Qa) yang batasnya tidak diketahui secara jelas karena terlalu tipis (<100 m).

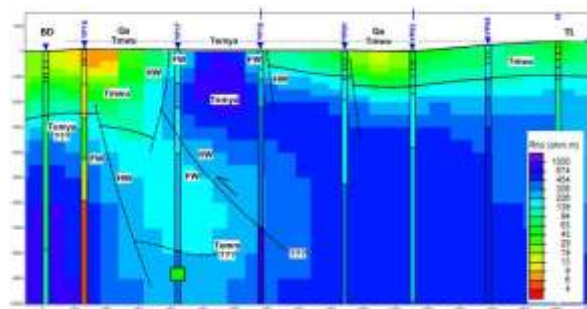
Patahan naik yang terjadi ditafsirkan merupakan hasil produk kelanjutan dari proses tumbukan antara Lempeng Pasifik dan Kerak Benua Australia pada Oligosen - Miosen yang menyebabkan busur kepulauan dan kerak samudra tersesarkan ke atas tepi Benua Australia (Atmawinata dkk., 1989). Pada proses pengangkatan ini terjadi pula perekahan busur kepulauan yang membentuk sesar mendatar dan normal pada Miosen Akhir hingga sekarang.



Gambar 9. Penampang hasil pemodelan inversi 1D-2D pada data awal dengan RMS error mencapai 4,63 % yang memperlihatkan kemunculan efek dimensionalitas 3D pada kedalaman 1.065 m di bawah titik YP17 (kotak merah).



Gambar 10. Penampang hasil pemodelan inversi 1D-2D pada data hasil proses Robust dengan RMS error mencapai 4,63 % yang memperlihatkan kemunculan efek dimensionalitas 2D pada kedalaman 7.500 m di bawah titik YP03 (kotak hijau).



Gambar 11. Penampang hasil pemodelan inversi 1D-2D pada data hasil roses seleksi XPR dengan RMS error mencapai 2,66 % yang memperlihatkan sebaran satuan di bawah permukaan yang dialasi oleh batuan dasar Batuan Gunungapi Yapen (Temya).

KESIMPULAN

Analisis koherensi mampu mereduksi *noise* berupa efek *outlier* pada 8 (delapan) lokasi pengukuran magnetotelurik - audio magnetotelurik di daerah Yapen Selatan dan sekitarnya, dengan peningkatan kualitas mencapai rata-rata 91,51 % dari data awal atau mengalami kenaikan hingga 13,24 %, akan tetapi belum bisa mereduksi secara keseluruhan efek dimensionalitas 3D yang terjadi, akibat masih terdapatnya efek *outlier* pada data. Hal ini dapat

direduksi dengan proses tren kurva dan analisis *skin depth* data. Berdasarkan analisis *skewness* terlihat bahwa terjadi adanya reduksi efek dimensionalitas 3D dari data awal hingga seleksi XPR yang menyisakan hanya satu data dengan efek dimensionalitas 2D. Untuk pemodelan inversi 1D-2D tidak diperlukan rotasi tensor impedansi terlebih dahulu karena keseluruhan data tidak memiliki efek dimensionalitas 3D. Peningkatan kualitas data terlihat pada penampang pemodelan inversi 1D yang mengalami peningkatan kedalaman penetrasi dari 5.238 m menjadi 15.258 m, serta penampang pemodelan inversi 2D yang mengalami perbaikan RMS error dari 4,63 % menjadi 2,66 %, serta perubahan penyebaran kontras nilai tahanan jenis yang signifikan.

Berdasarkan pemodelan inversi 2D hasil proses reduksi *noise* yang dikorelasikan dengan sebaran batuan di permukaan, dapat ditafsirkan bahwa daerah penyelidikan dominan ditutupi oleh Batugamping Wurui (Tmwu) dengan variasi nilai tahanan jenis <206 ? m. Ketebalan satuan ini bervariasi dari 600 m hingga 3.500 m, yang penyebarannya dikontrol oleh patahan normal, menindih secara tidak selaras batuan dasar yang ditafsirkan sebagai Batuan Gunungapi Yapen (Temya) berumur Oligosen – Miosen dengan variasi nilai tahanan jenis >206 ? m. Hubungan antara Anggota Manumpang (Temm) dengan batuan dasar hingga kedalaman < 8.000 m dikontrol oleh patahan naik dan normal sebagai hasil kelanjutan proses tumbukan pada Oligosen - Miosen dan proses pengangkatan pada Miosen Akhir hingga sekarang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan dan dukungannya kepada seluruh staf Pusat Survei Geologi, khususnya di Sub Kelompok Kerja Geofisika Dasar dan Terapan, Kelompok Kerja Geosains, para dosen dan staf Universitas Padjadjaran, khususnya lingkungan Program Studi Geofisika, serta seluruh staf Redaksi Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral.

ACUAN

Atmawinata, S., Ratman, N., dan Pieters, P.E., 1989. *Peta Geologi Lembar Yapen, Irian Jaya, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Bahr, K., 1991. Geological Noise in Magnetotelluric Data: A Classification of Distortion Types. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 66: 24-38.

Beamish, D. and Travassos, J.M., 1992. The Use of D+ Solution in Magnetotelluric Interpretation. *Journal of Applied Geophysics*, 29(1): 1-19.

-
- Badan Geologi, 2009. *Peta Cekungan Sedimen Indonesia Berdasarkan Data Gaya Berat dan Geologi, Skala 1:5.000.000*. Badan Geologi, Bandung.
- Chave, A.D., and Jones, A.G., 2012. *The Magnetotelluric Method Theory and Practice*. Cambridge University Press: 544h.
- Junursyah, G.M.L., Salsabil, D.H., dan Miranda, E., 2019. Pengaruh Peningkatan Kualitas Data Magnetotelurik di Pulau Muna dan Sekitarnya Berdasarkan Analisis Koherensi Terhadap Pemodelan 2D. *Natural B.*, 5(2): 49-58.
- Junursyah, G.M.L., Amalia, T.D.A., Hidayat., Rizkika, O., Marjiyono., dan Handyarso, A., 2021. Optimasi Kualitas Data Magnetotelurik di Daerah Singkawang dan Sekitarnya Berdasarkan Analisis Koherensi. *Publikasi Khusus Geosains Laboratorium dan Sarana Penyelidikan*, : 69-86.
- Lezaeta, P., 2002. The Confidence Limit of the Magnetotelluric Phase Sensitive Skew. *Earth Planets and Space*, 54: 45-457.
- Mwakirani, R., 2012. Magneto-telluric (MT) Data Processing. Short Course VII on Exploration for Geothermal Resources, Kenya.
- Phoenix Geophysics, Ltd., 2005. *Data Processing User Guide Version 3.0*. Phoenix Geophysics, Toronto: 201h.
- Patra Nusa Data, P.T., 2006. *Indonesia Basin Summaries*. Inameta Series, Indonesia Metadata Base. PT. Patra Nusa Data: 466h.
- Permana, A.K., Shima, J., Maryanto, S., dan Wahyudiono, J., 2019. Model Fasies Batuan Karbonat Formasi Wainukendi di Cekungan Biak-Yapen, Papua. *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral*, 20(2): 101-110.
- Rodi, W. and Mackie, R.L., 2001. Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion. *Geophysics*, 66(1): 174-187.
- Simpson, F. and Bahr, K., 2005. *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press: 245h.
- Vozoff, K., 1991. The Magnetotelluric Method. In: Nabighian, M.N. (Eds.). *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, v. 2, pt. B: 641-711, Tulsa, Oklahoma.
- Xiao, Q., Cai, X., Liang, G., Xu, X., and Zhang, B., 2011. Application of 2D magnetotelluric methods in a geological complex area, Xinjiang, China. *Journal of Applied Geophysics*, 75(1): 19-30.
-