



Interpretasi Penyebaran Batuan Induk Pada Cekungan Bintuni, Papua Barat Berdasarkan Analisis Data Magnetotelurik dan Gayaberat *Interpretation of Source Rock Coverage Area in the Bintuni Basin, West Papua Based on Data Analysis of Magnetotelluric and Gravity*

Hidayat, Asep Rohiman, Marjiyono dan G.M Lucki Junursyah, dan Irianto Djaswadi

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jalan Diponegoro No. 57, Bandung

Naskah diterima: 23 Mei 2022, Revisi terakhir: 09 September 2022, Disetujui: 09 September 2022, Online: 18 Oktober 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23.4.217-223>

Abstrak - Integrasi data magnetotelurik (MT) dan gayaberat satelit digunakan untuk mendelineasi keberadaan batuan induk di bawah permukaan di Cekungan Bintuni. Data MT diperoleh dengan survei darat sebanyak 8 titik pengukuran yang membentang sepanjang 20 km berarah timurlaut-baratdaya. Pengolahan data MT berhasil meningkatkan kualitas data dari rentang 53,17 - 74,53 % ke rentang koherensi 78,57 - 91,12 %. Data MT dengan kualitas baik selanjutnya digunakan untuk melakukan pemodelan bawah permukaan. Data gayaberat diperoleh dari data GGMPPlus yang memiliki resolusi spasial sebesar 200 m. Data berupa *gravity disturbance* kemudian diolah hingga memperoleh anomali Bouguer lengkap. Selanjutnya, anomali Bouguer lengkap ditapis untuk memperoleh sebaran anomali residual. Hasil dari metode gayaberat menunjukkan adanya klosur anomali tinggi dan rendah dengan arah baratlaut-tenggara yang diduga merupakan sumbu antiklin-sinklin di sekitar area yang tersesarkan geser mengiri berarah timurlaut - baratdaya. Geometri struktur geologi berupa antiklin dan sinklin tersebut dikonfirmasi oleh penampang vertikal MT yang sekaligus memetakan keberadaan puncak (*top*) anomali tahanan jenis rendah yang diperoleh di kedalaman 1.500 - 4.000 m di bawah permukaan. Anomali tahanan jenis rendah ini diduga merupakan respons keberadaan *mature black shale* Formasi Ainim yang berperan sebagai batuan induk di Cekungan Bintuni. Integrasi metode MT dan gayaberat ini dapat digunakan sebagai alternatif dalam studi regional pada Cekungan Sedimen.

Katakunci: Cekungan Bintuni, gayaberat, GGMPPlus, magnetotelurik, struktur geologi.

Abstract - The integration of magnetotelluric (MT) data and satellite gravity was used to delineate the presence of subsurface source rock in the Bintuni Basin. MT data was obtained by a land survey as many as 8 measurement points along 20 km in a northeast-southwest direction. MT data processing managed to improve data quality from the range of 53.17 - 74.53 % to the coherence range of 78.57 - 91.12 %. MT data with good quality is then used to perform subsurface modeling. Gravity data is obtained from GGMPPlus data which has a spatial resolution of 200 m. The gravity disturbance data is then processed to obtain a complete Bouguer anomaly. Furthermore, the complete Bouguer anomaly is filtered to obtain the residual anomaly distribution. The results of the gravity method show the presence of high and low anomalous closures with a northwest-southeast direction which may be associated with an anticline-syncline axis around the study area which is faulted by a sinistral strike-slip fault with a northeast-southwest trend. The geometry of the anticline and syncline was confirmed by the vertical section of the MT which at the same time mapped the presence of low resistivity anomaly obtained at a depth of 1,500 - 4,000 m below the surface. This low resistivity anomaly is obtained from the presence of *mature black shale* of the Ainim Formation which is potential for source rock in the Bintuni Basin. The integration of the MT and gravity method can be used as an alternative in regional studies of the Sediment Basin.

Keywords: Bintuni Basin, gravity, GGMPPlus, magnetotelluric, geological structure.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Cekungan Bintuni merupakan salah satu cekungan sedimen yang secara administratif terletak di Provinsi Papua Barat dan telah terbukti sebagai cekungan sedimen penyumbang produksi migas yang cukup signifikan (Utomo, 2016). Batuan induk utama sebagai penghasil hidrokarbon diduga berasal dari sedimen berusia Permian, yaitu pada Formasi Ainim (Chevallier & Bordenave, 1986). Berdasarkan studi geokimia, Formasi Ainim yang didominasi oleh serpih hitam memiliki kerogen tipe II dan tipe III dengan kandungan TOC sekitar 0,74 dan 1,53 yang tergolong kategori cukup-baik potensinya menghasilkan hidrokarbon (Waples, 1985).

Warna hitam pada serpih hitam merupakan penciri kekayaan material organik di dalamnya. Beberapa studi terkait serpih hitam telah banyak dilakukan karena kaitannya sebagai batuan induk suatu sistem petroleum. Studi terdahulu telah menunjukkan hubungan antara *thermal maturity* dengan serpih hitam yang dikarakterisasi dengan nilai tahanan jenis rendah (Gauchier, 1983; Laukola-Ruskeenaemi, 1989; Korja, 1990). Hal ini disebabkan karena suhu yang tinggi dapat merubah komposisi kimia serpih hitam sehingga sifat fisiknya menjadi konduktif. Untuk itu, studi dengan menggunakan metode geofisika telah cukup banyak digunakan dalam mengidentifikasi keberadaan serpih hitam yang termatangkan secara termal (*mature black shale*) di bawah permukaan menggunakan metode magnetotelurik (MT) (Weckmann dkk., 2007; Adao dkk., 2015; Hidayat dkk., 2021).

Mengingat bahwa Formasi Ainim merupakan batuan induk berusia Mesozoikum yang produktif, menandakan bahwa Formasi Ainim telah mencapai kematangan termal yang memadai. Untuk itu, studi dengan menggunakan metode magnetotelurik pada Cekungan Bintuni ini akan fokus pada keberadaan beda anomali dengan nilai tahanan jenis rendah.

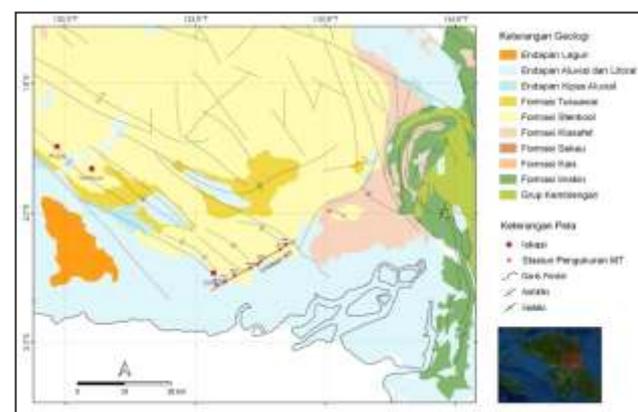
Untuk keperluan interpretasi struktur regional di sepanjang lintasan MT, data gayaberat satelit yang telah dikoreksi dan peta struktur permukaan regional akan digunakan sebagai validasi hasil penampang vertikal inversi MT.

Geologi Regional Area Studi

Ditinjau dari struktur geologi regionalnya, area studi di Cekungan Bintuni terletak pada tumbukan tepi Lempeng Benua Australia Utara dengan Lempeng

Samudra Pasifik (Hamilton, 1979). Area Studi MT yang relatif terletak di bagian utara Lempeng Australia dikarakterisasi dengan sesar-sesar purba berarah U 300 T (Henage, 1993) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Lintasan MT sepanjang 20 km yang berarah timurlaut - baratdaya yang tegak lurus dengan arah sesar-sesar tersebut.

Lintasan MT memotong Formasi Stenkool dan Endapan Aluvial, sedangkan Formasi Ainim yang menjadi target pada studi ini tidak tersingkap di sepanjang lintasan MT, namun dilihat dari stratigrafi regional Cekungan Bintuni (Gambar 2), Formasi Ainim yang terendapkan pada masa Perem Tengah - Akhir kemungkinan terendapkan jauh di bawah permukaan pada lokasi survei MT, karena apabila ditinjau dari sistem petroleunya secara regional, Kelompok Kemblengan merupakan Formasi batuan tertua di area studi. Batulanau dari Kelompok Kemblengan dapat berperan sebagai batuan penyekat yang cukup efektif karena terendapkan dengan sangat tebal, hal ini dibuktikan dari beberapa sumur yang mengindikasikan keterdapatan gas pada Roabiba-1 dan Owaferi-1 yang batuan penyekatnya merupakan bagian bawah dari Kelompok Kemblengan yang terendapkan pada umur Jura-Kapur. Pada Miosen, Formasi Kais terendapkan, batugamping pada Formasi Kais dapat berperan sebagai reservoir pada sistem petroleum Cekungan Bintuni. Perangkap pada Cekungan Bintuni diduga merupakan struktur-struktur berupa antiklin yang sumbunya berarah baratlaut-tenggara. Lintasan MT (Gambar 1) yang melewati beberapa sumbu antiklin dan sinklin dapat digunakan sebagai alternatif untuk melihat beberapa bentukan jebakan struktur di bawah permukaan. Perangkap stratigrafi yang terdapat pada area studi tidak menjadi interest pada studi ini karena metode MT tidak dapat meresolusi keberadaannya.



sumber: dimodifikasi dari Atmawinata dkk. (1989).

Gambar 1. Geologi regional Bintuni. Kotak berwarna merah pada peta indeks merupakan lokasi area survei yang terletak di Kabupaten Teluk Bituni, Provinsi Papua Barat.

UMUR		BINTUNI		
UNIT	STRATIGRAFI	FORMASI	LITOLOGI	
PLEISTOSEN		SALE	Konglomerat amekakahan, sedikit batupasir dan batubakar dengan sisa tumbuhan	
PLIOSEN		STENOBI	Batuempang dan batubakar mikasa	
ATAS	MIOSEN	KLASAFET	Batuapal, batubakar gamping, sedikit batugamping	
TENGAH		KAS		
BAWAH		SAGO		
OLIGOSEN		GRUP GAMPING NEW GUENFA	Batuapal dan batubakar gamping	
EOSEN		TAUMAI	Batugamping pasiran	
PALEOSEN		WARPI	Batupasir dan aliansi serpih	
ATAS	KAPUR	GRUP REMLENGAN	JASS	Batubakar gamping, batupasir silis
BAWAH			SEMELINGAN BANDUNG BATUAN	Batubakar, serpih, batulanau, sedikit batupasir kasar
ATAS	JURA	GRUP AYAM	AYAM	Batuapal, serpih, batulanau, sedikit batupasir kasar
TENGAH				
BAWAH				
TRIAS		TRIAS	Batuempang kasar dan batulanau	
ATAS	PERMIAN	GRUP AYAM	AYAM	Serpih hitam dan batupasir
TENGAH				
ATAS	KARBON	GRUP AYAM	AYAM	Serpih dan rapak karbonatan
TENGAH				
BAWAH			Batupasir berkilang dengan serpih berkilang	
DEVONIAN		DEVONIAN		
SILURAN		SILURAN	Serpihan yang terlapuk kuat, gres dan silurid sedimen karstik kasar	
ORDOVISIAN		ORDOVISIAN		

sumber: dimodifikasi dari Patra Nusa Data (2006).

Gambar 2. Stratigrafi Cekungan Bintuni, dengan *blackshale* pada Formasi Ainim sebagai target *low resistivity anomaly*.

METODOLOGI

Data Gayaberat

Data gayaberat yang digunakan dalam studi ini adalah data gayaberat satelit yang diperoleh dari GGMPPlus yang disediakan oleh Western Australian Geodesy Group di Curtin University (<http://murraylab.caltech.edu/GGMplus/>). GGMPPlus menyediakan data *gravity disturbance* yang ekuivalen dengan anomali gayaberat *Free Air* dengan *spatial resolution* sekitar 200 m (Suprianto dkk., 2021). Data satelit GGMPPlus digunakan pada studi ini karena memiliki resolusi yang lebih baik daripada data satelit Topex. Data yang diperoleh dari GGMPPlus selanjutnya dilakukan koreksi Bouguer dan koreksi terrain untuk memperoleh anomali Bouguer lengkap. Densitas rata-rata yang digunakan adalah 2,67 gr/cc, sedangkan data elevasi diperoleh dari DEMNAS (DEM nasional) yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Anomali Bouguer lengkap (ABL) kemudian ditapis dengan menggunakan *band pass filter* untuk memperoleh sebaran anomali residual untuk dapat memberikan informasi terkait dengan struktur geologi regional yang berkembang di sekitar area studi.

Data Magnetotelurik

Data Magnetotelurik (MT) yang digunakan dalam studi ini adalah data milik negara yang diakuisisi oleh Pusat Survei Geologi pada tahun 2016. Data MT yang digunakan terdiri dari 8 titik pengukuran yang tersebar membentuk 1 lintasan berarah timurlaut – baratdaya sepanjang kurang lebih 20 km. Pengukuran

dilakukan dengan menggunakan sensor AMTC30 dan MTC50, sehingga data MT ini memiliki rentang frekuensi dari 10.400 – 0.000034 Hz.

Data MT yang diperoleh merupakan suatu deret intensitas medan magnetik (Hx, Hy dan Hz) dan intensitas medan listrik (Ex dan Ey) terhadap waktu yang dikenal sebagai deret waktu (*time series*). Data deret waktu tersebut kemudian ditransformasi ke dalam domain frekuensi dengan operator *fast fourier transform* (FFT). Selanjutnya, dilakukan *robust processing* untuk mereduksi *electromagnetic noise* (EM) pada data MT. Seleksi *cross power* (XPR) kemudian diterapkan pada data MT yang telah dalam bentuk kurva tahanan jenis semu (Gambar 3). Data dengan kualitas baik dikarakterisasi dengan nilai koherensi yang tinggi (>75%). Koherensi tinggi merupakan suatu indikasi kuantitatif yang dapat menunjukkan *signal to noise ratio* yang tinggi secara cepat dan efektif. Tahapan pengolahan data berhasil menaikkan koherensi dari rentang 53,17 % (BN06) – 74,53 % (BN01) ke rentang koherensi 78,57 % (BN06) – 91,12 % (BN01). Seluruh alur pengolahan data dari *robust processing* hingga seleksi XPR dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SSMT1500 dan MTEditor. Data MT yang telah diolah hingga seleksi XPR akan digunakan pada tahap pemodelan inversi. Pemodelan inversi 2D pada studi ini menggunakan algoritma inversi *nonlinear conjugate gradien* (NLCG) (Rodi & Mackie, 2001) dengan perangkat lunak WinGlink.

Nilai tahanan jenis (*resistivity*) yang menjadi interest pada studi ini adalah anomali rendah yang mengacu pada studi terdahulu tentang eksplorasi *shale gas* dengan metode MT dan tabel nilai tahanan jenis batuan (Palacky, 1988).

HASIL STUDI

Hasil pada studi ini difokuskan kepada hasil inversi 2D MT yang divalidasi oleh respon anomali residual gayaberat yang diperoleh dari GGMPPlus.

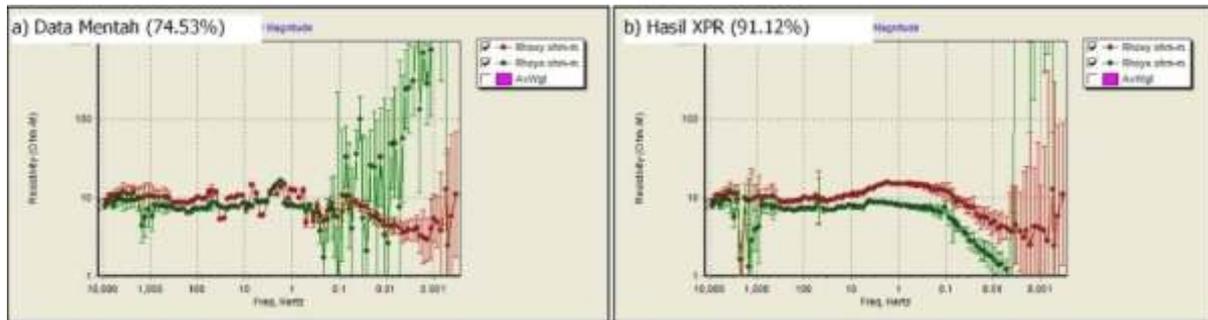
Hasil Metode Gayaberat GGMPPlus

Untuk mengetahui struktur secara regional, digunakan data gayaberat satelit GGMPPlus (Gambar 4). Kotak berwarna merah merupakan area pengukuran MT yang menunjukkan adanya struktur berarah relatif U 300° T. Data gayaberat satelit ini sekaligus mengkonfirmasi studi sebelumnya yang menyatakan keterdapatan struktur-struktur purba dengan arah yang sama (Henage, 1993). Kelurusan gayaberat yang dicirikan dengan garis berwarna hitam pada Gambar 4, juga mengkonfirmasi struktur geologi yang tersingkap di permukaan yang

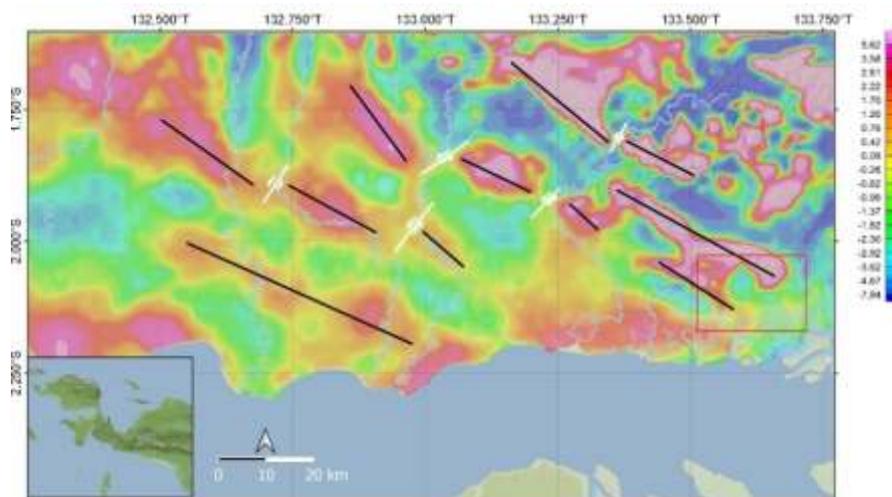
diperoleh dari peta anomali regional skala 1:250.000 lembar Ransiki (Atmawinata dkk., 1989). Berdasarkan Gambar 4, tutupan anomali tinggi yang diduga merupakan respon kelurusan sumbu-sumbu antiklin (garis hitam) tersesarkan oleh adanya sesar mengiri (*sinistral*) yang relatif berarah baratdaya-timurlaut (garis putih).

Berdasarkan Gambar 5, diketahui bahwa lintasan MT A – A' memotong anomali gayaberasat tinggi di stasiun BN01, BN11 dan BN13, zona ini diduga merupakan salah satu sumbu antiklin yang terdapat di sekitar pusat Kabupaten Teluk Bintuni. Anomali gayaberasat rendah yang diduga merupakan suatu sumbu sinklin dipotong pada stasiun BN04, BN15 dan BN06, hal ini juga dikonfirmasi berdasarkan peta geologi regional lembar Ransiki skala 1:250.000 (Atmawinata dkk.,

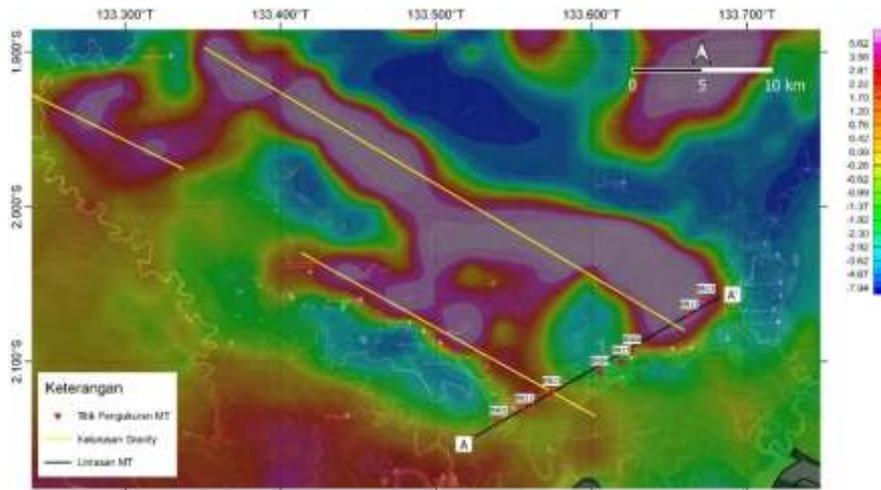
1989). Di sebelah timur lintasan A - A' terdapat kembali anomali gayaberasat tinggi yang diduga merupakan suatu sumbu antiklin yang dipotong oleh stasiun BN12 dan BN05. Zona-zona anomali residual rendah dan tinggi pada Gambar 5 yang dilewati oleh lintasan A – A' ini akan dijadikan sebagai validasi model inversi MT. Metode gayaberasat memiliki resolusi horizontal yang baik, namun tidak memiliki resolusi vertikal, sehingga dalam pencitraan bawah permukaan (*subsurface imaging*) dibutuhkan metode MT yang dapat mengetahui variasi tahanan jenis secara vertikal (*vertical resolution*). Walaupun resolusi vertikal ini berkurang terhadap kedalaman, namun dalam konteks delineasi zona *low electrical anomaly* di bawah permukaan, metode MT merupakan salah satu metode geofisika yang bisa digunakan.



Gambar 3. Perbandingan kurva tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) pada sebelum dan sesudah pengolahan data MT BN01, a) *apparent resistivity* mentah hasil *robust processing* dengan koherensi data 74,53 % berbanding dengan b) *apparent resistivity* hasil *robust processing* dan seleksi XPR dengan koherensi data 91,12 %.



Gambar 4. Sebaran anomali gayaberasat residual di Kabupaten Teluk Bintuni yang menunjukkan kelurusan anomali tinggi yang relatif berarah baratlaut-tenggara. Kotak berwarna merah merupakan area lokasi lintasan MT.



Gambar 5. Sebaran anomali gayaberat residual yang merupakan zoom in dari Gambar 4 di sekitar area lokasi lintasan MT yang memotong kelurusan gayaberat yang relatif berarah baratlaut-tenggara. Zona depresiasi yang dikarakterisasi oleh anomali gayaberat rendah terdapat di sekitar lokasi pengukuran MT yaitu BN04, BN15 dan BN06.

Hasil Metode MT

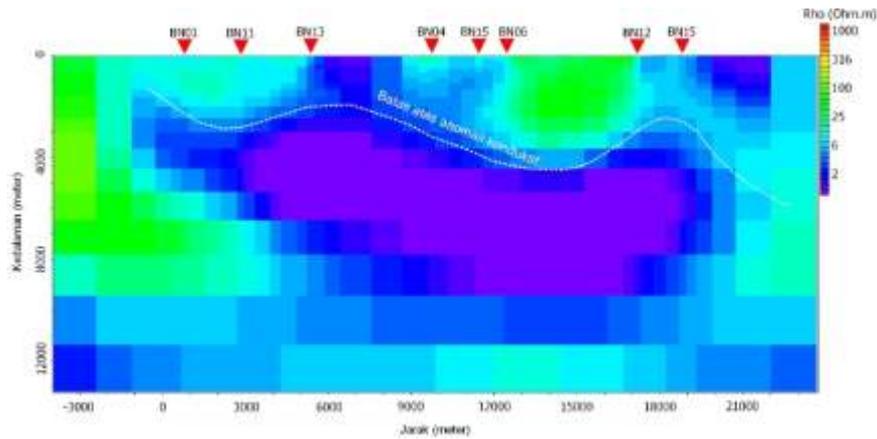
Lintasan MT terdiri dari 8 stasiun pengukuran sepanjang 20 km yang berarah timurlaut-baratdaya dan memotong klosur tinggian dan rendahan dari anomali residual gayaberat seperti pada Gambar 5. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan algoritma inversi NLCG (Rodi & Makie, 2001) dan menghasilkan model sayatan bawah permukaan berdasarkan kontras tahanan jenis (*resistivity*) dengan RMS 1,71 % seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Dilihat dari aspek anomali tahanan jenis pada Gambar 5, anomali tahanan jenis rendah yang menjadi interest terdapat pada kedalaman 1.500 m pada bagian baratdaya lintasan MT yang merupakan salah satu sumbu antiklin yang dipotong oleh lintasan A-A'. Di bagian tengah lintasan MT, ditafsirkan sebagai zona sinklin yang berada di bawah titik BN04, BN15 dan BN06 sehingga batas atas (*top*) tubuh anomali tahanan jenis rendah diperoleh pada kedalaman yang cukup dalam, yaitu pada kedalaman 4.000 m. Di bagian timurlaut lintasan MT, anomali tahanan jenis rendah diperoleh di kedalaman 2.500 m yang merupakan sumbu antiklin bagian timur yang dipotong oleh lintasan A-A'.

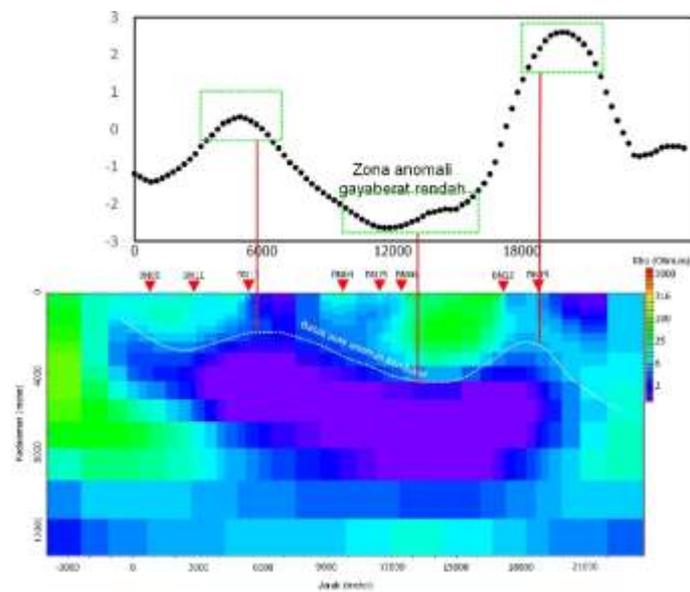
Anomali tahanan jenis ini diduga merupakan *top* dari batuan induk berupa serpih hitam (*black shale*) dari Formasi Ainim. Dugaan ini didasarkan pada fakta bahwa Formasi Ainim sudah menjadi batuan induk penghasil hidrokarbon di Cekungan Bintuni,

sehingga kondisi *thermal maturity* dipastikan sudah tercapai pada serpih hitam pada Formasi Ainim. Selanjutnya, studi terkait dengan *matured black shale* telah cukup banyak dilakukan. Beberapa sampel dari anomali tahanan jenis tinggi bahkan telah diambil dan dilakukan analisis laboratorium. Hasilnya diperoleh bahwa seluruh sampel dari tahanan jenis rendah berasosiasi dengan mature black shale (Weckmann, 2007; Adao, 2015). Oleh karena itu, tahanan jenis rendah di sepanjang lintasan A-A' diduga merupakan kontribusi dari keberadaan *mature black shale* Formasi Ainim.

Sebagai validasi hasil dan delineasi struktur lipatan berupa antiklin dan sinklin yang tergambar pada Gambar 6, respon anomali gayaberat coba diekstrak di sekitar lintasan MT yang memotong sumbu antiklin dan sinklin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Dua puncak anomali tinggi pada kurva respon anomali gayaberat menunjukkan geometri berupa puncak antiklin pada lintasan A-A', sedangkan zona anomali gayaberat rendah dikarakterisasi oleh struktur lipatan berupa sinklin di sepanjang lintasan A-A'. Hal ini saling mengkonfirmasi satu dengan yang lain, bahwa lintasan A-A' memotong struktur berupa lipatan dan juga mengkarakterisasi keberadaan zona batuan induk (serpih hitam Formasi Ainim) yang dikarakterisasi oleh nilai tahanan jenis rendah. Zona dengan nilai tahanan jenis rendah ini merupakan zona yang paling berpotensi akan *mature black shale* relatif dibandingkan dengan zona lainnya di sepanjang lintasan A-A'.



Gambar 6. Penampang 2D (Lintasan A-A') Bintuni yang terdiri atas 8 titik pengukuran MT sepanjang 20 km yang relatif berarah baratdaya-timurlaut.



Gambar 7. Respon anomali gayaberat (kurva berwarna hitam) terhadap inversi 2D MT yang menunjukkan respon yang saling mengkonfirmasi terkait dengan keberadaan struktur berupa antiklin dan sinklin di sepanjang lintasan MT.

DISKUSI

Analisis dan evaluasi data metode non-seismik, yaitu data MT dan satelit gayaberat dapat digunakan sebagai alternatif dalam *imaging* keberadaan batuan induk di sekitar Cekungan Bintuni. Sebaran anomali residual gayaberat secara lateral dapat digunakan sebagai data dukung dalam mendelineasi struktur secara regional, namun sifat *non-uniqueness* pada metode ini tidak dapat digunakan dalam pembuatan sayatan yang representatif, sehingga metode MT dapat digunakan untuk memberikan gambaran sayatan vertikal yang cukup baik dalam delineasi struktur dan memetakan anomali tahanan jenis di bawah permukaan yang dalam hal ini adalah *mature black shale* dari Formasi Ainim yang berperan sebagai

batuan induk bagi Cekungan Bintuni. Berdasarkan data gayaberat residual, diperoleh klosur-klosur anomali tinggi (merah) yang diduga merupakan struktur lipatan berupa antiklin, sedangkan klosur-klosur anomali rendah (biru) merupakan struktur lipatan berupa sinklin yang mengikuti orientasi struktur utama di sekitar area berarah baratlaut-tenggara. Klosur-klosur tersebut diduga tersesarkan oleh sesar geser mengiri dengan tren timurlaut-baratdaya. Lintasan MT sepanjang 20 km memotong beberapa tren struktur tersebut untuk melihat gambaran bawah permukaannya. Lapisan-lapisan tipis di bawah permukaan pada kedalaman yang dalam (>1.500 m) tidak dapat dideferensiasi oleh metode MT karena resolusi dari metode ini berkurang terhadap kedalaman.

KESIMPULAN

Hasil integrasi dua metode geofisika ini berhasil memetakan adanya struktur berupa lipatan di sepanjang lintasan A – A' dan batas atas (*top*) zona tahanan jenis rendah yang menjadi interest studi ini. Anomali tahanan jenis rendah diperoleh dari kedalaman yang bervariasi pada rentang 1.500 m hingga 4.000 m di bawah permukaan. Zona tahanan

jenis rendah ini diduga merupakan respons keberadaan *mature black shale* Formasi Ainim yang berperan sebagai batuan induk untuk Cekungan Bintuni, sedangkan zona yang dikarakterisasi dengan nilai anomali gayabarat tinggi menunjukkan posisi keberadaan endapan *mature black shale* Formasi Ainim yang relatif lebih dekat ke permukaan jika dibandingkan dengan zona yang dikarakterisasi oleh nilai anomali gayabarat rendah.

ACUAN

- Adão, F., Ritter, O., and Spangenberg, E., 2016. The Electrical Conductivity of Posidonia Black Shales - From Magnetotelluric Exploration to Rock Samples. *Geophysical Prospecting*, 64(2): 469-488.
- Atmawinata, S., Hakim, A.S., dan Pieters, P.E., 1989. *Peta Geologi Lembar Ransiki Irian Jaya, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Chevallier, B. and Bordenave, M.L., 1986. Contribution of Geochemistry to the Exploration in the Bintuni Basin, Irian Jaya. *Indonesia Petroleum Association, 15th Annual Convention Proceedings*, p. 439-460.
- Gaucher, E., 1983. Estimation of Sulphide Content of a Potential Orebody from Surface Observations and Its Role in Optimising Exploration Programmes. In *Developments in Geophysical Exploration Methods 4*: 1-37. Springer, Dordrecht.
- Hamilton, W.B., 1979. *Tectonics of the Indonesian Region (Vol. 1078)*. US Government Printing Office.
- Henage, L.F., 1993. Mesozoic and Tertiary Tectonics of Irian Jaya: Evidence for Non-rotation of Kepala Burung. *Proc. Indon. Petrol. Assoc., 22nd Ann. Conv.*: 763-792.
- Hidayat, Setiawan, A., Setiawan, J.J.H., Ibrahim, A., Marjiyono, dan Junursyah G.M.L., 2021. Studi Magnetotelurik (MT) untuk Mendelineasi Potensi Regional Gas Serpigh Bawah Permukaan Berdasarkan Properti Tahanan Jenis di Cekungan Kutai, Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 22(2): 107-114.
- Korja, T., 1990. Magnetotelluric Soundings along the SVEKA Profile in the Central Fennoscandian (Baltic) Shield, Finland. Dept. of Geophysics, Univ. of Oulu, Report, 17.
- Loukola-Ruskeeniemi, K., 1989. Early Proterozoic Metamorphosed Black Shales in the Kainuu Schist Belt and in the Outokumpu Region. *Geol. Surv. Finl. Spec. Pap.*, 10: 103-106.
- Palacky, G.J., 1988. Resistivity Characteristics of Geologic Targets. *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, 1: 52-129.
- Patra Nusa Data, PT., 2006. *Indonesian Basin Summaries (IBS)*. Inameta Series, Indonesia Metadata Base.
- Rodi, W. and Mackie, R.L., 2001. Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion. *Geophysics*, 66(1): 174-187.
- Suprianto, A., Priyantari, N., and Cahyono, B.E., 2021. Correlation Between GGMPlus, Topex and BGI Gravity Data in Volcanic Areas of Java Island. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1): 012-023). IOP Publishing.
- Utomo, W., 2016. Potensi Permian Akhir - Trias Awal Formasi Ainim Sebagai Batuan Induk pada Lapangan Ran, Cekungan Bintuni, Papua Barat. Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada.
- Waples, D.W., 2013. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. Springer Science & Business Media.
- Weckmann, U., Jung, A., Branch, T., and Ritter, O., 2007. Comparison of Electrical Conductivity Structures and 2D Magnetic Modelling along Two Profiles Crossing the Beattie Magnetic Anomaly, South Africa. *South African Journal of Geology*, 110(2-3): 449-464.