



Struktur Geologi Bawah Permukaan Cekungan Bintuni Berdasarkan Analisis Data Gayaberat

Subsurface Geological Structures of the Bintuni Basin Based on Gravity Data Analysis

Accep Handyarso dan Tatang Padmawidjaja

Pusat Survei Geologi

Jl. Diponegoro no. 57, Bandung 40122

E-mail : accep@yahoo.com, Phone : +62 813 1311 8916

Naskah diterima : 21 Februari 2017, Revisi terakhir : 21 Mei 2017, Disetujui : 22 Mei 2017, Online : 29 Mei 2017

Abstrak - Cekungan Bintuni merupakan salah satu cekungan besar di Kawasan Timur Indonesia (KTI). Sampai saat ini hanya terdapat beberapa lapangan minyak dan gas yang memproduksi di Cekungan Bintuni. Hal ini mendorong pemerintah untuk melakukan percepatan penemuan cadangan migas baru di KTI, khususnya di Cekungan Bintuni. Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang kerap digunakan dalam penelitian awal cekungan sedimen. Pola anomali Bouguer yang diperoleh direduksi dengan menggunakan densitas rata-rata berdasarkan metode Nettleton. Pemisahan anomali regional-residual dilakukan berdasarkan analisis spektrum. Pola anomali residual memperlihatkan adanya beberapa *closure* antiklin dengan arah tenggara-baratlaut, selain itu terindikasi keberadaan *strike-slip* yang diduga sebagai akibat adanya gaya kompresi dari pergerakan Lempeng Samudra Pasifik dan Lempeng Benua Australia. Hasil analisis spektrum memperlihatkan bahwa kedalaman rata-rata batuan dasar di daerah penelitian mencapai 6.5 km. Berdasarkan hasil estimasi 2.5D struktur geologi bawah permukaan menunjukkan adanya pendangkalan basemen ke arah Mogoi dan Kamundan dengan beberapa struktur sesar yang memungkinkan terjadinya migrasi hidrokarbon dari batuan induk Pra Tersier ke reservoir Kais.

Kata Kunci : Cekungan Bintuni, *bouguer*, residual, analisis spektrum, antiklin.

Abstract - Bintuni Basin is one of the giant basins in Eastern Region of Indonesia (KTI). Until now there are only few oil and gas production fields in the Bintuni Basin. This case prompted the government to accelerate the discoveries of new oil and gas reserves in Eastern Region of Indonesia, particularly in the Bintuni Basin. Gravity method is one of geophysical method that is commonly used in preliminary studies of sedimentary basins. Bouguer anomaly obtained is reduced by using an average density based on the Nettleton method. Regional-residual anomaly separation is performed based on the spectral analysis. Residual anomaly showed anticline closures with a northwest-southeast directions, and also there are indication of some *strike-slip* faults which are expected as the result of the compression due to the Pacific Oceanic Plate and the Australian Continent Plate movement. The result from spectral analysis showed that the average depth of the bedrock is up to 6.5 km. Based on the 2.5D subsurface geological structures estimation indicates shallowing basement toward Mogoi and Kamundan district area with some fault structures that allows migration of the hydrocarbon from Pra-tertiary source rocks to the Kais reservoir.

Keywords: Bintuni Basin, *Bouguer*, Residual, Spectral Analysis, Anticline

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Cekungan Bintuni merupakan salah satu Cekungan Pratersier–Tersier yang berada di Kawasan Timur Indonesia (KTI). Berdasarkan Peta Cekungan Sedimen Indonesia (Badan Geologi, 2010), Cekungan Bintuni ini memiliki luas hingga $\pm 30.000 \text{ km}^2$, namun sampai sekarang ini hanya terdapat beberapa lapangan minyak dan gas yang berproduksi, yaitu Lapangan Minyak di Wiriagar (Petro Energy Utama Wiriagar), Lapangan Gas LNG Tangguh di Teluk Bintuni, Distrik Babo (BP), dan Lapangan Migas di Mogoi (Petro Papua Mogoi Wasian). Oleh karena itu Cekungan Bintuni menarik untuk dikaji lebih jauh.

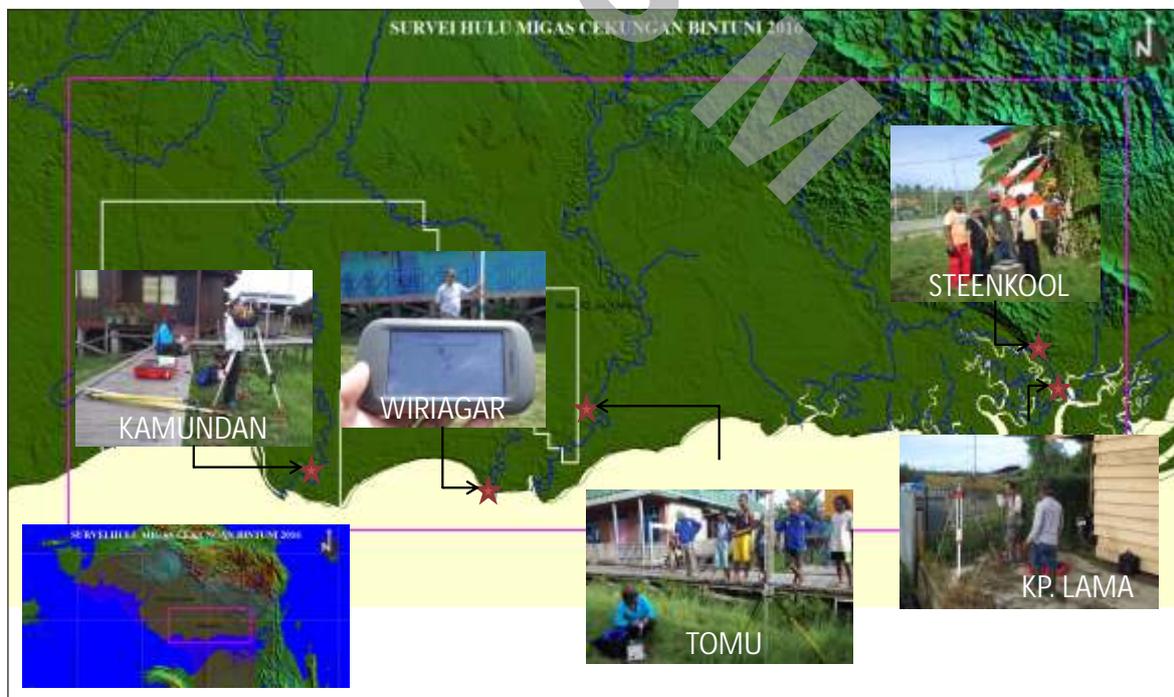
Rencana strategis pemerintah melalui Kementerian ESDM tentang kedaulatan di bidang energi membawa Badan Geologi khususnya Pusat Survei Geologi untuk melakukan penelitian Geologi dan Geofisika (G&G) di cekungan ini. Salah satu penelitian G&G yang dilakukan adalah gayaberat. Penelitian ini dimaksudkan untuk menambah basis data gayaberat di daerah cekungan ini dan menjadi target utama eksplorasi migas di Indonesia. Penelitian ini juga dilakukan dalam rangka pendugaan struktur geologi bawah permukaan yang akan membawa kepada pemahaman terhadap *play*

concepts yang berkembang di daerah tersebut, sehingga resiko eksplorasi dapat diminimumkan.

Dalam tulisan ini penulis mencoba memodelkan struktur geologi bawah permukaan di Cekungan Bintuni, termasuk dalam hal estimasi kedalaman batuan dasar yang berkembang di daerah penelitian.

Metode Penelitian

Lokasi daerah penelitian dibatasi oleh koordinat $132^{\circ} 23' 36.4496'' \text{ BT}$ dan $1^{\circ} 48' 27.2637'' \text{ LS}$ sampai dengan $133^{\circ} 39' 3.6369'' \text{ BT}$ dan $2^{\circ} 19' 28.1955'' \text{ LS}$ dengan luasan $\pm 8029.87 \text{ km}^2$ (Gambar 1). Daerah penelitian seluas ini memerlukan beberapa titik pangkal gayaberat lokal (*cell centre*), agar data hasil pengukuran memiliki akurasi dan kualitas yang baik. Untuk itu dilakukan penurunan titik–titik *cell centre* (CC) yang terdiri atas CC Steenkool, CC Pelabuhan Kp. Lama, CC Tomu, CC Wiriagar dan CC Kamundan. Semua titik CC tersebut diikatkan dengan titik DG0 yang berada di Museum Geologi Bandung. Titik CC Steenkool merupakan titik *cell centre* pertama, yang memanfaatkan tugu Titik Kontrol Geodesi (TKG) milik Badan Informasi Geospasial (BIG) di Bandara Steenkool, Distrik Bintuni (www.srgi.big.go.id). Distribusi lokasi CC di daerah penelitian gayaberat di Cekungan Bintuni ditunjukkan pada Gambar 1.



Sumber : Badan Informasi Geospasial (2016)

Gambar 1. Posisi titik–titik pangkal gayaberat (*cell centre*–CC) yang berada di daerah penelitian yang terdiri dari CC Steenkool, CC Pelabuhan Kp. Lama, CC Tomu, CC Wiriagar, dan CC Kamundan. Tumpang susun dengan Peta Rupa Bumi Indonesia Provinsi Papua.

Data hasil pembacaan peralatan gravimeter kemudian dikonversi dengan menggunakan tabel konversi yang sesuai sehingga akan diperoleh hasil pembacaan dalam mGal. Koreksi selanjutnya adalah koreksi pasang surut gayaberat (*tide correction*), koreksi apungan (*drift correction*) dari instrument ukur, koreksi udara bebas (*free air correction*), koreksi Bouguer (*Bouguer correction*), dan koreksi medan (*terrain correction*). Ketiga koreksi terakhir memerlukan data ketinggian yang diperoleh dari pengamatan peralatan *Differential Global Positioning System* (DGPS).

DASAR TEORI

Metode Gayaberat (*Gravity*)

Anomali Gayaberat adalah selisih antara nilai hasil pengamatan Gayaberat dengan nilai Gayaberat teoritis. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut

$$g_{anomali} = g_{obs} - g_{teori} \quad (1)$$

Keduanya baik g_{obs} maupun g_{teori} harus dikoreksi terlebih dahulu. Nilai hasil pengamatan Gayaberat (g_{obs}) adalah nilai Gayaberat pembacaan (g_{baca}) yang dikoreksi dengan koreksi pasang-surut (*Tide Correction*) dan koreksi apungan (*Drift Correction*). Kemudian nilai Gayaberat teoritis (g_{teori}) adalah nilai Gayaberat normal (g_n) yang dikoreksi dengan koreksi udara bebas (*Free Air Correction*), koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*) dan koreksi medan (*Terrain Correction*) seperti dituliskan dalam persamaan 5 (Lilie, 1999).

$$g_n = g_e \frac{1 + 0.00193185138639 \sin^2 j}{\sqrt{1 - 0.00669437999013 \sin^2 j}} \quad (2)$$

$$FAC = h \cdot \frac{0.308}{m} \frac{mGal}{\ddot{t}} \quad (3)$$

$$BC = 2p \cdot r \cdot G \cdot h = 0.0419 \cdot r \cdot h \quad (4)$$

$$g_{anomali} = g_{obs} - (g_n - FAC + BC - TERR) \quad (5)$$

dimana :

g_n : Nilai Gayaberat normal pada *World Geodetic System* 1984 (Blakely, 1995)

g_e : Nilai Gayaberat di ekuator (978 032.67714 mGal)

g_{obs} : Nilai Gayaberat hasil pengamatan

g_{baca} : Nilai Gayaberat hasil pembacaan dalam mGal

: Posisi lintang (*Latitude*) dari titik pengukuran

FAC : Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*) dalam mGal

h : Ketinggian titik pengamatan dari muka air laut (MSL)

BC : Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*) dalam mGal

$TERR$: Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

: Densitas dari *Bouguer Slab*

G : Konstanta Gravitasi

Nilai gayaberat hasil pengamatan adalah nilai hasil pembacaan yang dikoreksi dengan menggunakan koreksi pasang surut dan koreksi apungan sebagai berikut,

$$g_{obs} = g_{baca} + tide - drift \quad (6)$$

Dengan demikian anomali gayaberat diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan 6 ke dalam persamaan 5 sehingga akan dihasilkan persamaan 7 berikut (Grandis, 2015).

$$g_{anomali} = (g_{baca} + tide - drift) - (g_n - FAC + BC - TERR) \quad (7)$$

Penulisan persamaan 5 atau persamaan 7 memiliki arti bahwa gayaberat normal (g_n) yang berada pada datum muka air laut atau MSL (Telford drr, 2004) "dipindahkan" ke lokasi titik pengukuran yang sebenarnya di permukaan topografi dengan melakukan beberapa koreksi seperti koreksi *free air correction*, *Bouguer correction* dan *terrain correction* agar dapat dibandingkan dengan nilai gayaberat hasil pengamatan yang berada pada ketinggian topografi (h) dari muka air laut.

Persamaan gayaberat juga dapat dituliskan sebagai persamaan Wellenhof & Moritz (2005), yaitu :

$$g_{anomali} = (g_{obs} + FAC - BC + TERR) - g_n \quad (8)$$

$$g_{anomali} = (g_{baca} + tide - drift + FAC - BC + TERR) - g_n \quad (9)$$

Persamaan 8 atau persamaan 9 menyatakan bahwa nilai gayaberat hasil pengamatan pada titik pengukuran sebenarnya yang berada di atas permukaan topografi "dipindahkan" ke datum muka air laut atau MSL melalui beberapa koreksi. Dengan demikian nilai gayaberat hasil pengamatan akan dapat dibandingkan dengan nilai gayaberat normal (g_n) yang memang berada pada MSL.

Persamaan 5 atau persamaan 7 secara numeris sama dengan persamaan 8 atau persamaan 9. Dengan kata lain persamaan-persamaan tersebut akan memberikan hasil perhitungan nilai anomali Bouguer yang sama. Persamaan yang akan digunakan di dalam perhitungan sangat bergantung pada pilihan pembaca.

Turunan Tegak Kedua (*Second Vertical Derivative – SVD*)

Pola kontur anomali residual diperoleh melalui proses pemisahan anomali regional-residual. Efek dangkal yang terkandung di dalam data anomali residual dapat dimunculkan dengan menerapkan teknik *anomaly enhancement* yang salah satunya dengan menggunakan metode *Second Vertical Derivative (SVD)*. Metode SVD ini sangat baik dalam mendelineasi patahan.

Medan potensial $U(P)$ dengan tidak terdapat sumber maka akan berlaku persamaan Laplace (Blakely, 1995) berikut.

$$\nabla^2 U(P) = \frac{\partial^2 U(P)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U(P)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U(P)}{\partial z^2} = 0 \quad (10)$$

Dengan demikian untuk persamaan *Second Vertical Derivative (SVD)* menjadi

$$\frac{\partial^2 U(P)}{\partial z^2} = - \frac{\partial^2 U(P)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 U(P)}{\partial y^2} \quad (11)$$

Persamaan 11 tersebut kemudian dipergunakan untuk menghitung pola anomali SVD dari data anomali residual yang telah diperoleh.

GEOLOGI REGIONAL

Stratigrafi Regional

Batuan dasar (*basement*) Cekungan Bintuni adalah Formasi Kemum yang berumur Silur-Devon (Paleozoic), yang tersusun oleh batulempung, *graywackes*, dan klastik kasar (Patra Nusa Data, 2006). Formasi ini diduga telah mengalami perlipatan dan intrusi batuan granit Devon.

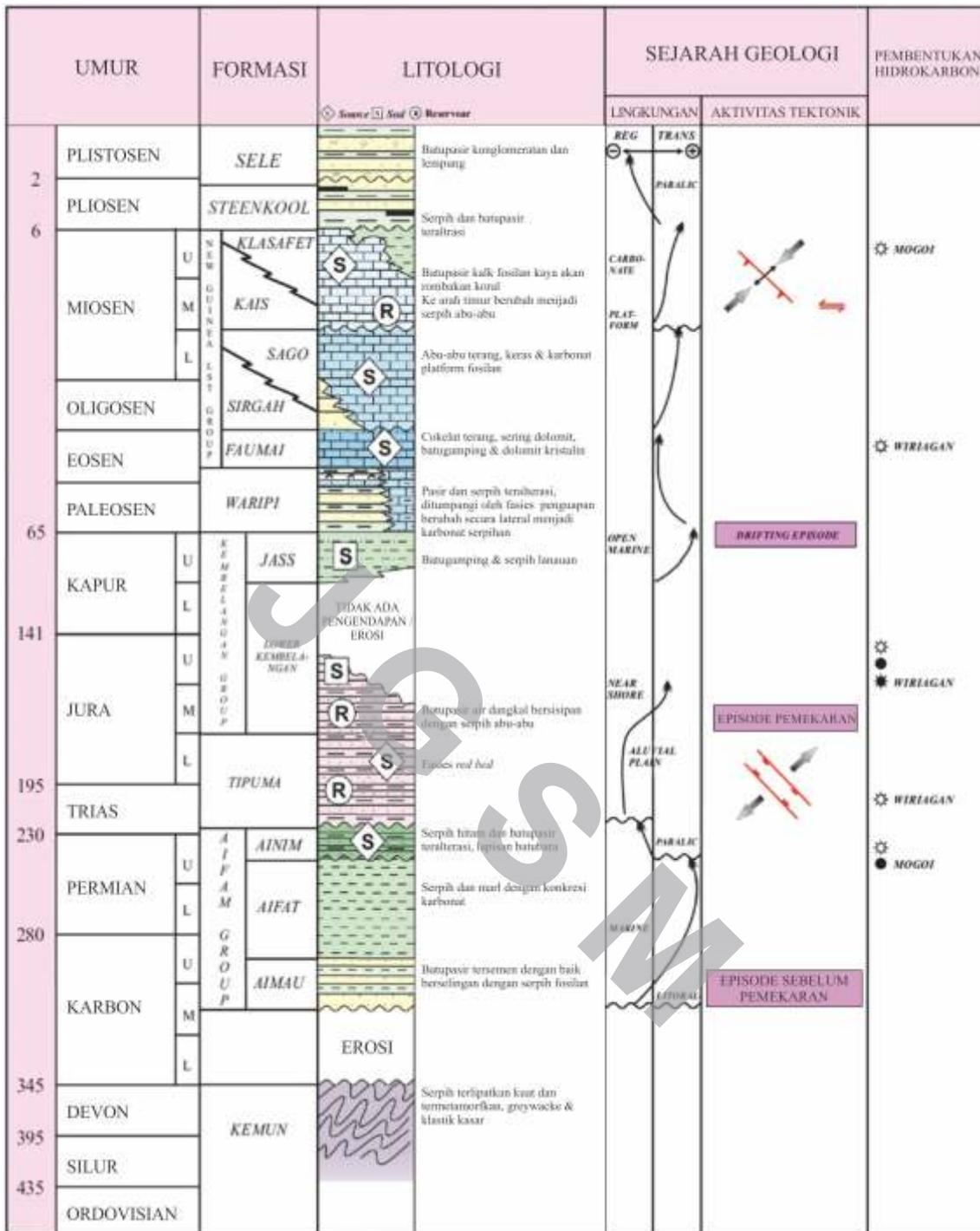
Kelompok Aifam yang terdiri dari Formasi Aimau, Formasi Aiduna / Aifat, dan Formasi Ainim berumur Permian Akhir menindih secara tidak selaras Formasi Kemum. Formasi Tipuma yang berumur Triasik-Jurasik Awal diendapkan secara tidak selaras di atas kelompok Aifam. Litologi penyusun Formasi Tipuma adalah batupasir kuarsa dan batulempung karbonatan yang diendapkan pada lingkungan fluvial deltaik.

Kelompok Kembelangan yang berumur Jurasik Awal-Kapur dibagi menjadi Kembelangan Bawah dan

Kembelangan Atas. Kembelangan Bawah yang berumur Jurasik Awal-Kapur Awal, dan secara tidak selaras menindih Formasi Tipuma, tersusun oleh batupasir, batuan karbonat dan batubara dengan lingkungan pengendapan deltaik hingga laut tertutup. Formasi yang termasuk ke dalam Kembelangan Bawah adalah Formasi Kopai dan Formasi Ayot. Sedangkan Formasi Kembelangan Atas yang berumur Kapur Awal-Kapur Akhir, dan secara tidak selaras menindih Formasi Kembelangan Bawah, terdiri atas batupasir dan batulempung. Kembelangan Atas terdiri atas batugamping Piniya, batupasir Ekmai dan Formasi Jass. Formasi Kembelangan Bawah dan Kembelangan Atas dipisahkan oleh ketidakselarasan yang berumur Kapur Awal atau disebut dengan *intra-cretaceous unconformity* dan juga merupakan awal dari fase *rifting* (Patra Nusa Data, 2006).

Formasi Waripi menindih secara selaras Kelompok Kembelangan dan berumur Paleosen. Litologi penyusunnya adalah batupasir, batulempung dan serpih yang merupakan ciri dari endapan lingkungan laut dalam. Kelompok Batugamping New Guinea diendapkan pada Eosen-Miosen Tengah. Pada Kapur Akhir terjadi penghentian suplai detritus klastik ke utara laut Australia, sehingga terjadi akumulasi karbonat yang merupakan sekuen batugamping yang tebal. Tiga Formasi yang termasuk dalam Kelompok batugamping New Guinea yaitu: Formasi Faumai yang berumur Eosen-Oligosen, Formasi Sirga berumur Miosen Awal dan Formasi Kais berumur Miosen Tengah. Lapisan karbonat ini meluas sepanjang Cekungan Bintuni dengan lingkungan pengendapan berupa *shallow-shelf*. Kelompok *New Guinea Limestone* ini diketahui merupakan batas akhir fase kompresi antara Lempeng Australia dengan Lempeng Pasifik. Kelompok ini merupakan *source rock* dan *reservoir* dari Cekungan Bintuni (Patra Nusa Data, 2006).

Formasi Klasafet diendapkan pada Miosen Akhir-Pliosen yang diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Kais. Litologi penyusunnya terdiri atas berupa serpih, dalam lingkungan pengendapan laguna (*lagoon*). Formasi ini berfungsi sebagai penutup (*seal*) pada Cekungan Bintuni. Kemudian pada Pliosen Awal-Pleistosen, terjadi tektonik yang membentuk Cekungan Bintuni dan Lengguru *Fold-Thrust-Belt (LFTB)* dan diendapkan Formasi Steenkool yang tersusun oleh batulanau, batupasir serpihan, batulempung dengan lingkungan pengendapan neritik. Formasi ini diketahui berperan sebagai penutup (*seal*) pada Cekungan Bintuni (Patra Nusa Data, 2006). Kolom Stratigrafi Cekungan Bintuni ditunjukkan pada Gambar 2.



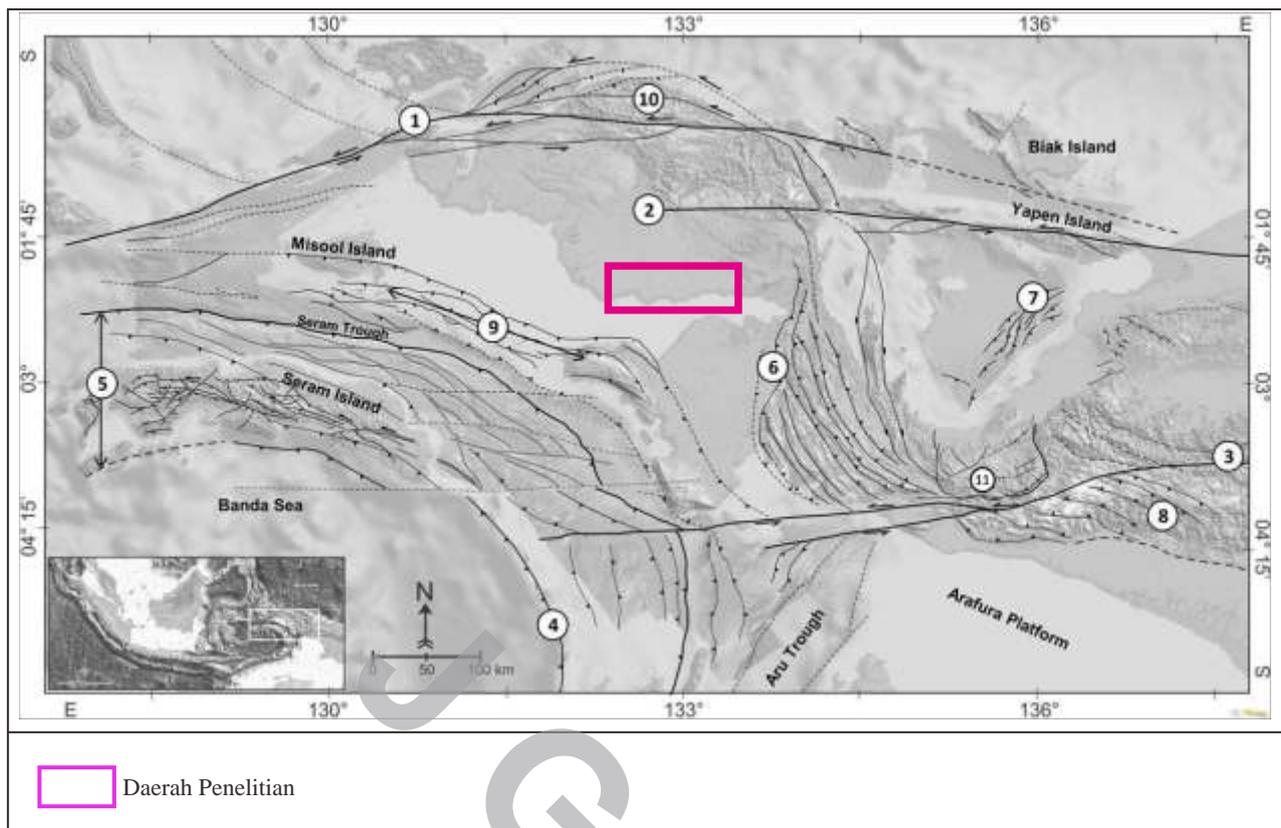
Sumber : Patra Nusa Data, (2006)

Gambar 2. Kolom stratigrafi regional daerah Papua Barat dengan Formasi Kemun sebagai batuan dasar yang kemudian tertutup oleh Kelompok Aifam, Formasi Tipuma, Kelompok Kembelangan, Formasi Waripi, Kelompok Batu Gamping New Guinea, dan Formasi Steenkool.

Struktur Geologi Regional

Cekungan Bintuni secara umum berada di daerah Kepala Burung yang merupakan daerah dengan kondisi geologi yang sangat kompleks. Secara regional Pulau Papua dipengaruhi oleh dua aktivitas tektonik besar yang saling bertumbukan secara serentak sampai

sekarang. Saat ini, Lempeng Samudra Pasifik (Caroline) bergerak ke arah baratdaya dengan kecepatan 11.0 cm/th relatif terhadap Lempeng Benua Indo-Australia (Cloos drr, 2005). Menurut Sapiie drr, (2012), tumbukan ini kemudian membentuk suatu tatanan struktur kompleks di Pulau Papua (Gambar 3).



Sumber : Sapiie drr, (2012)

Gambar 3. Struktur Geologi Regional Daerah Papua. (1) Sorong Fault Zone, (2) Yappen Fault Zone, (3) Tarera-Aiduna Fault Zone, (4) Banda Trench, (5) Seram Fold-Thrust-Belt, (6) Lengguru Fold-Thrust-Belt, (7) Cendrawasih Bay Fold-Thrust-Belt, (8) Central Range Fold-Thrust-Belt, (9) Misool-Onin-Kunawa Ridge, (10) Kemum High, (11) Weyland Overthrust.

Pulau Papua dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu Kepala Burung (KB) yang meliputi Papua bagian Barat; Badan Burung (BB) yang meliputi Papua dan Papua New Guinea; dan Ekor Burung (EB) yang meliputi Papua New Guinea. Semua bagian ini berpola barat-timur yang ditunjukkan oleh *Sorong Fault Zone*, Tinggian Kemum (*Kemum High*) di Kepala Burung; *Yappen Fault Zone* yang berada di sebelah selatannya; dan *Tarera-Aiduna Fault Zone* dan *Central Range* di Badan Burung. Kedua pola kelurusan ini dipisahkan oleh Jalur Lipatan Anjakan Lengguru (*Lengguru Fold-Thrust-Belt*) yang berarah baratlaut-tenggara di daerah Leher Burung dan Teluk Cendrawasih (Sapiie drr, 2012).

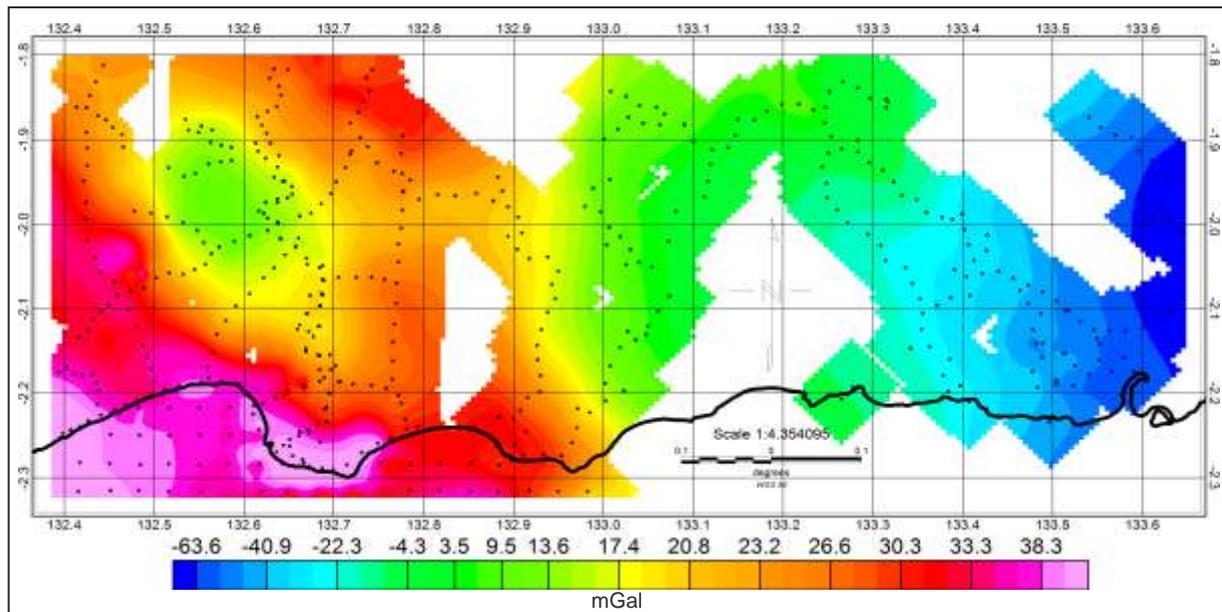
Batuan dasar di daerah KB terbagi menjadi dua bagian dengan Sesar Sorong sebagai pemisah. Batuan dasar di sebelah selatan Sesar Sorong diduga berupa Australian Continental Plate, sedangkan batuan dasar di sebelah utaranya berupa *Pacific Ocean Plate* (Ikhwanudin & Abdullah, 2015).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouguer Daerah Penelitian

Anomali Bouguer yang diperoleh memiliki nilai anomali rendah sebesar -65 mGal dan anomali tinggi sebesar 42 mGal (Gambar 4). Sebaran anomali rendah berada di bagian timur, sedangkan anomali tinggi cenderung berada di bagian barat daerah penelitian.

Analisis densitas dominan dilakukan dengan menggunakan formulasi *Nettleton*. Berdasarkan hasil analisis densitas *Nettleton* diperoleh nilai ± 2.2 gr/cc dimana nilai densitas tersebut adalah nilai densitas yang memiliki korelasi terkecil dengan topografi daerah penelitian (*Nettleton*, 1942). Densitas dominan ± 2.2 gr/cc ini menunjukkan adanya lapisan sedimen cukup tebal. Densitas ± 2.2 gr/cc diasosiasikan dengan tanah (*soil*), lempung (*clay*), dan atau pasir (*sand*). Secara umum memang daerah penelitian hampir semuanya ditutupi oleh Formasi Steenkool, Formasi Klasafet dan Endapan Aluvial.



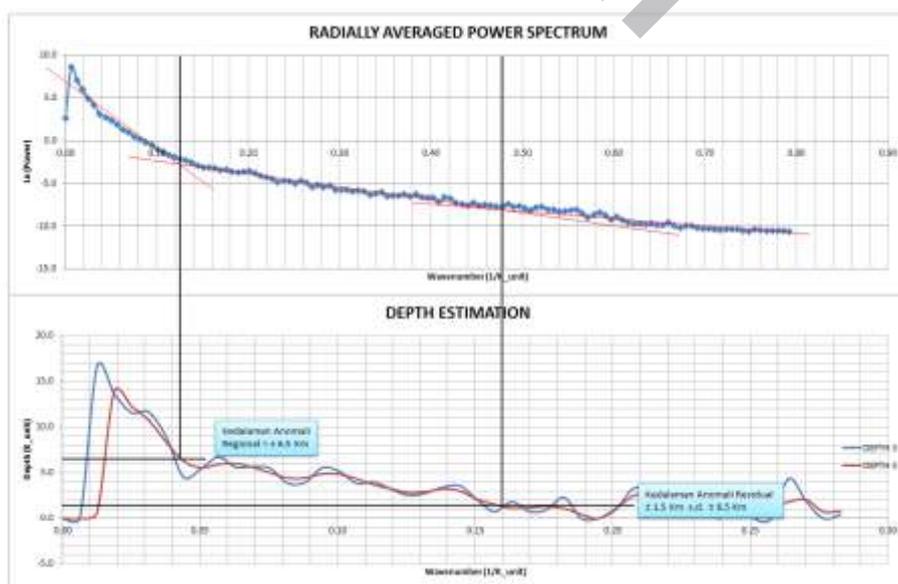
Gambar 4. Pola kontur anomali Bouguer daerah penelitian dengan titik–titik hitam pada peta menunjukkan lokasi pengukuran gayaberat.

Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan dengan mentransformasi data anomali Bouguer ke domain frekuensi berdasarkan Transformasi Fourier yang biasa dikenal sebagai *Fast Fourier Transform (FFT)*. Transformasi *Fourier* pada dasarnya mendekomposisi suatu sinyal sembarang menjadi beberapa sinyal periodik yang memiliki frekuensi tunggal. Dengan diketahui frekuensi dari setiap sinyal penyusun tersebut maka akan diperoleh nilai amplitudo setiap spektrum frekuensi yang ada. Proses penyusunan kembali sinyal–sinyal dengan frekuensi tunggal tersebut menjadi sebuah sinyal awal

biasa dikenal dengan *Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)*. Dengan demikian akan terbentuk sinyal yang sama dengan sinyal aslinya (Kadir, 2000).

Penerapan analisis spektrum terhadap data anomali Bouguer akan menghasilkan spektrum seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Diagram spektrum tersebut digunakan dalam melakukan pemisahan anomali regional–residual. Berdasarkan hasil analisis spektrum diperoleh bahwa kedalaman rata–rata anomali regional diperkirakan mencapai kedalaman ± 6.5 km, sedangkan untuk kedalaman rata–rata anomali residual diperkirakan ± 1.5 km sampai ± 6.5 km.



Gambar 5. Grafik analisis spektrum dari anomali Bouguer daerah penelitian. Berdasarkan grafik spektrum tersebut terbagi menjadi frekuensi rendah yang berasosiasi dengan anomali regional, frekuensi menengah yang berasosiasi dengan anomali residual, dan frekuensi tinggi umumnya berupa *noise*.

Anomali Residual

Pola anomali residual yang diperoleh menunjukkan adanya beberapa sub cekungan yaitu Sub Cekungan Kamundan dan Sub Cekungan Tembuni. Selain itu terdapat pola *closure* antiklin baratlaut–tenggara. *Closure* antiklin tersebut diduga diakibatkan oleh gaya kompresi dari pergerakan Lempeng Samudra Pasifik dan Lempeng Benua Australia. Pola *closure* antiklin ini diperkirakan merupakan perangkap hidrokarbon di Cekungan Bintuni.

Keberadaan sumur–sumur produksi yang ditumpang susun dengan peta anomali residual menunjukkan adanya kesesuaian antara posisi sumur tersebut dengan pola anomali residual yang berupa *closure–closure* antiklin. Keberadaan sumur gas cenderung terdapat di puncak antiklin, sedangkan keberadaan sumur–sumur minyak cenderung berada di bagian sayap antiklin (Gambar 6).

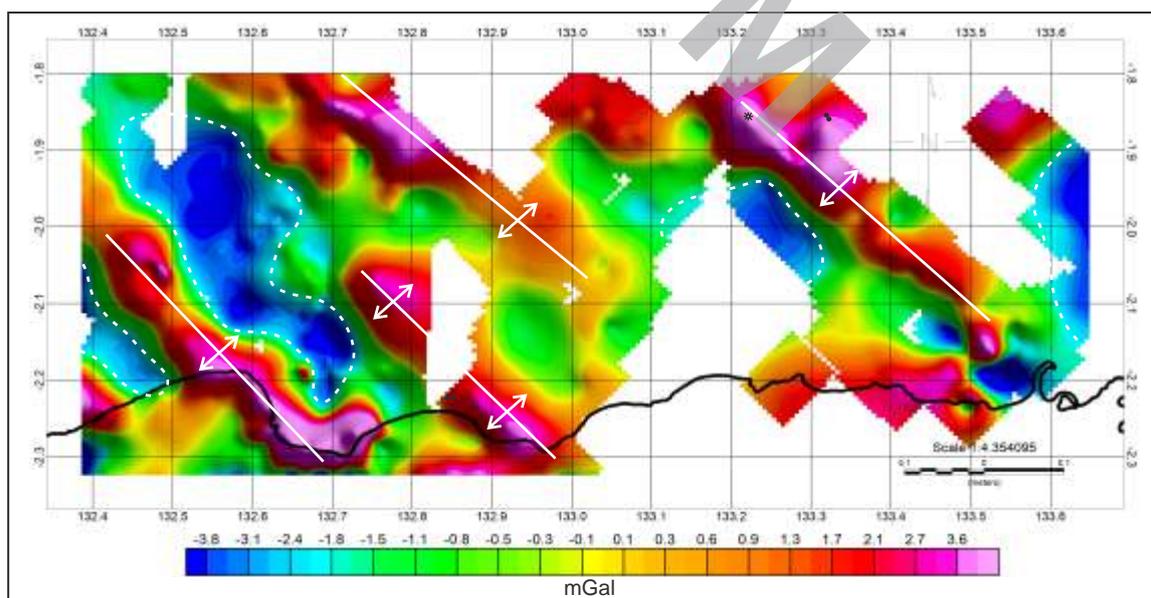
Berdasarkan pola anomali residual terdapat indikasi adanya sesar mendatar (*strike-slip fault*) yang memotong *closure* antiklin baratlaut–tenggara. Keberadaan *strike-slip fault* tersebut memungkinkan hidrokarbon bermigrasi dari lapisan *source rocks* Pratersier dan terperangkap pada Formasi Kais yang termasuk ke dalam Kelompok *New Guinea Limestone*. Pembentukan sesar mendatar ini diduga sama dengan pembentukan lipatan sebagai akibat adanya kompresi

dari pergerakan Lempeng Samudra Pasifik dan Lempeng Benua Australia. Pola struktur sesar mendatar tersebut akan terlihat lebih jelas dengan menggunakan analisa *Second Vertical Derivative* (SVD).

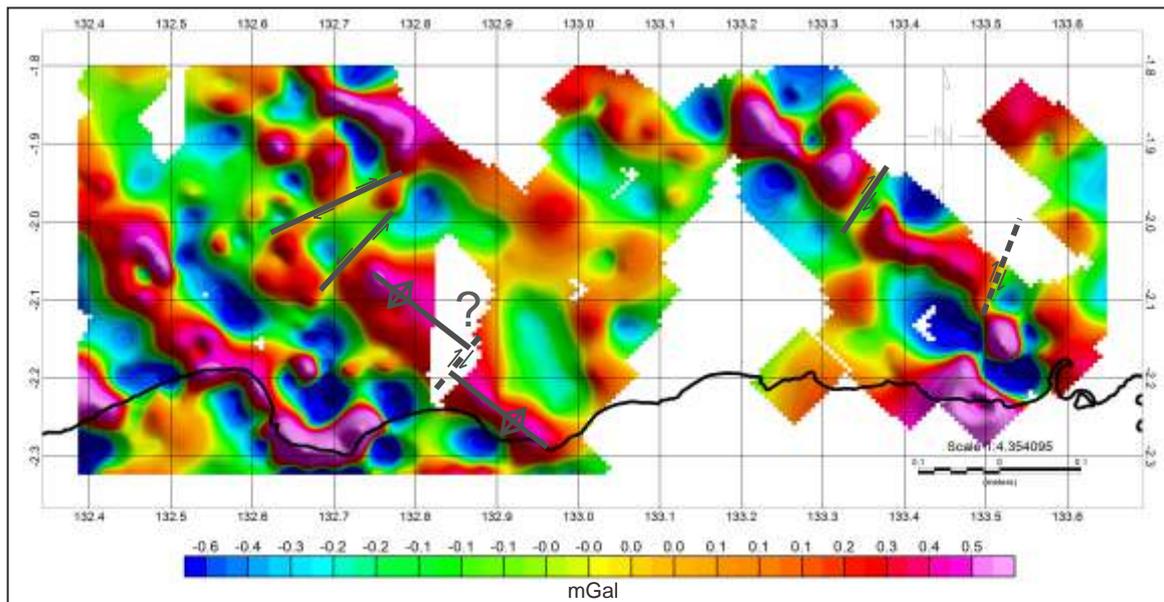
Anomali *Second Vertical Derivative* (SVD)

Anomali *Second Vertical Derivative* (SVD) memperlihatkan adanya pergeseran (*shifting*) pada anomali tinggi baratlaut–tenggara, hal ini menunjukkan adanya sesar mendatar yang diduga memotong perangkap hidrokarbon tersebut di Cekungan Bintuni. Sesar mendatar tersebut menunjukkan kelurusan relatif baratdaya–timurlaut. Sesar ini memotong antiklin baratlaut–tenggara, sehingga sesar ini pembentukannya masih relatif sama yaitu merupakan produk dari adanya gaya kompresi. Salah satu sesar mendatar yang memotong perangkap hidrokarbon yang berupa tinggian antiklin baratlaut–tenggara terdapat di daerah Wiriagar. Berdasarkan analisa *Second Vertical Derivative* (SVD) terlihat bahwa pola antiklin di Wiriagar sedikit bergeser yang diakibatkan oleh adanya sesar mendatar (Gambar 7).

Diperoleh sesar mendatar (*strike-slip fault*) lainnya di sebelah timur yang memiliki kelurusan hampir utara–selatan, hal ini menunjukkan bahwa sesar mendatar baratdaya–timurlaut telah mengalami rotasi berlawanan dengan arah jarum jam (*Counter Clockwise*) di daerah Kepala Burung (KB).



Gambar 6. Pola kontur anomali *Residual* dengan beberapa anomali rendah (sub cekungan) yang berada di daerah Kamundan, daerah Tembuni, dan daerah Manimeri. Terdapat pola anomali tinggi yang berupa *closure–closure* antiklin dengan kelurusan baratlaut–tenggara. Posisi sumur–sumur produksi minyak ditunjukkan dengan titik berwarna hitam, sedangkan sumur produksi gas ditunjukkan dengan titik berlubang.



Gambar 7. Pola kontur anomali Turunan Tegak Kedua atau *Second Vertical Derivative* (SVD) daerah penelitian. Pola anomali tersebut menunjukkan adanya indikasi sesar mendatar (*strike-slip fault*) di daerah Wiriagar yang dicirikan oleh adanya pergeseran pola anomali tinggi.

Sesar mendatar yang memiliki kelurusan utara-selatan tersebut diduga terbentuk lebih dahulu daripada sesar mendatar dengan kelurusan baratdaya-timurlaut yang ditemukan di sebelah barat daerah penelitian. Hal ini sesuai dengan mekanisme rotasi berlawanan arah jarum jam di daerah Kepala Burung sebagai akibat sesar Sorong yang berubah menjadi tidak aktif, sehingga blok struktur di daerah KB mengalami rotasi sebesar 30° – 40° (Charlton, 1999).

Penampang Bawah Permukaan

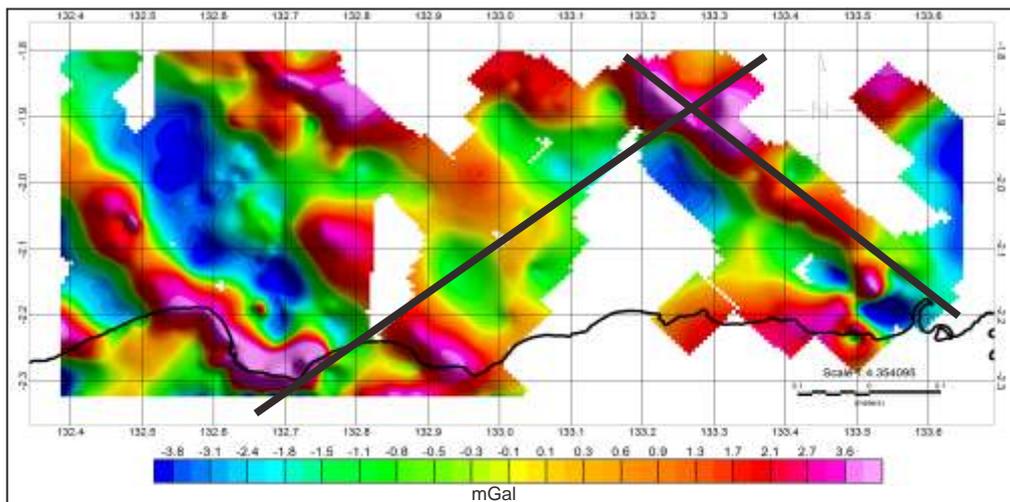
Proses pembuatan penampang bawah permukaan dilakukan dengan mengikat data gayaberat dengan data seismik. Permasalahan yang dihadapi adalah keberadaan lapisan batugamping Kelompok *New Guinea Limestone* yang posisinya berada di bawah Formasi Steenkool dan Formasi Klasafet. Keberadaan Kelompok *New Guinea Limestone* tersebut menyebabkan data seismik terlihat buram atau *blur* pada bagian bawahnya, hal ini menyebabkan proses interpretasi data seismik menjadi lebih rumit.

Picking pada data seismik digunakan untuk menentukan kedalaman *interface* pertama (*interface teratas*) yang kemudian *interface* ini diinterpretasikan sebagai batas litologi Formasi Klasafet atau Formasi Steenkool dengan Kelompok *New Guinea Limestone*. Batas litologi kedua formasi tersebut dapat menuntun proses interpretasi data gayaberat. Perpaduan antara data kedalaman dari *interface* pertama dengan data

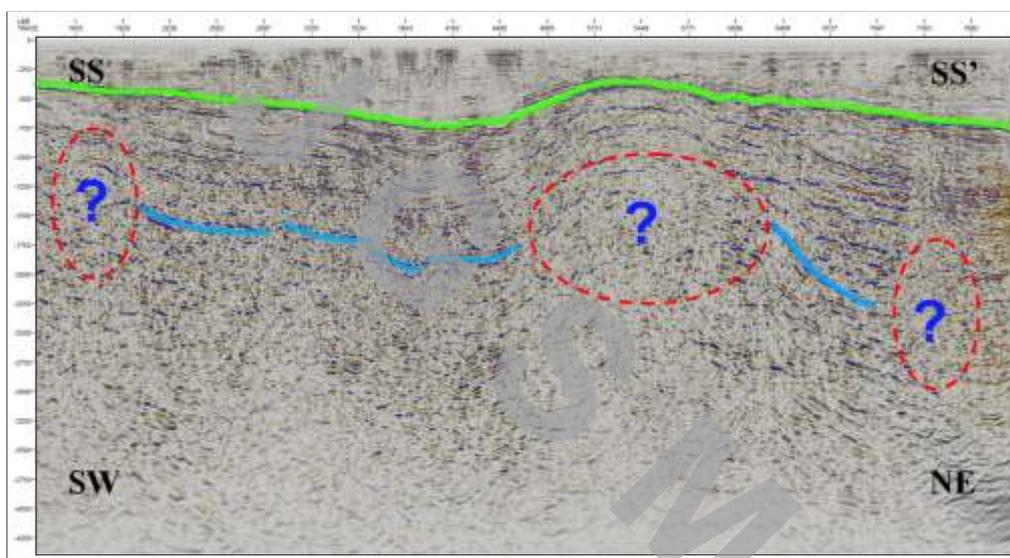
gayaberat memungkinkan untuk dilakukan estimasi ketebalan lapisan sedimen kedua yang berarti pula kedalaman batuan dasar. Keberadaan *interface* pertama akan mengurangi parameter yang tidak diketahui pada saat melakukan estimasi penampang bawah permukaan. Dengan demikian ambiguitas dari metode gayaberat dapat diminimumkan. Gambar 9 menunjukkan proses interpretasi *interface* pertama berdasarkan data lintasan seismik SS – SS', sedangkan posisi lintasan seismik diperlihatkan pada Gambar 8.

Berdasarkan hasil pemodelan penampang bawah permukaan yang ditunjukkan Gambar 10 dan Gambar 11, diperoleh data anomali Bouguer yang *fit* antara *observed data* (Obs) dengan *calculated data* (Calc). Proses pembuatan model penampang bawah permukaan dikontrol dengan menggunakan data seismik untuk penentuan kedalaman *interface* pertama. Dengan demikian parameter yang tidak diketahui hanya berupa kedalaman *interface* kedua yang tidak lain adalah kedalaman batuan dasar (*basement*).

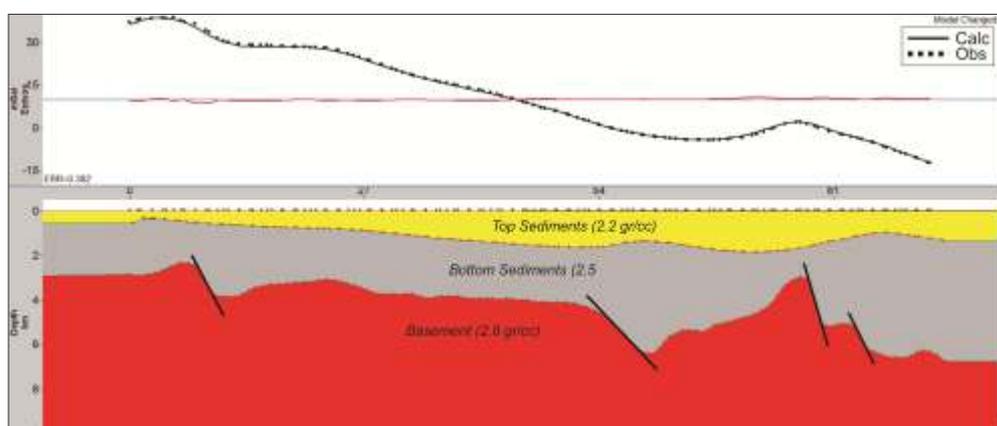
Berdasarkan data seismik diperoleh kedalaman *interface* pertama yang diinterpretasikan sebagai *Top Kais (Limestone)*. Penentuan nilai densitas setiap lapisan dilakukan dengan mengkaitkan antara litologi batuan penyusun dengan nilai densitas yang sesuai. Dengan demikian nilai densitas di bawah *interface* pertama diasosiasikan sebagai lapisan gampingan yang memiliki densitas sebesar 2.55 gr/cc (Telford drr, 2004).



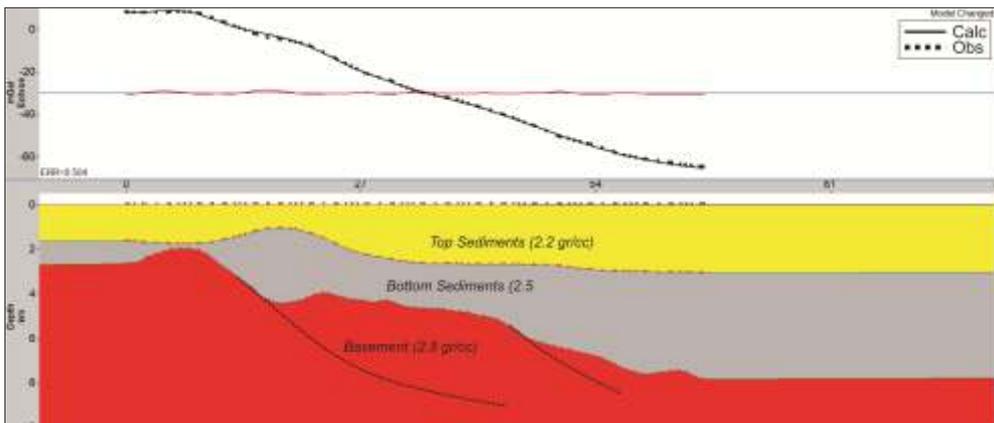
Gambar 8. Posisi penampang bawah permukaan pada data anomali residual dan posisi lintasan *seismic section* SS–SS' (garis merah) di daerah penelitian.



Gambar 9. Salah satu penampang seismik (*seismic section*) di daerah Kamundan (penampang SS–SS' pada Gambar 8). Identifikasi lapisan pertama (*first interface*) dapat dilakukan dengan mudah dan diinterpretasikan sebagai Top Kais. Namun interpretasi pada *interface* di bawahnya sulit untuk dilakukan karena respon data seismik yang tidak jelas (*blur*) sebagaimana ditunjukkan dengan garis berwarna biru.



Gambar 10. Penampang bawah permukaan AB dengan kelurusan hampir baratdaya (SW) – timurlaut (NE) pada Gambar 8, memotong Kamundan ke arah Mogoi.



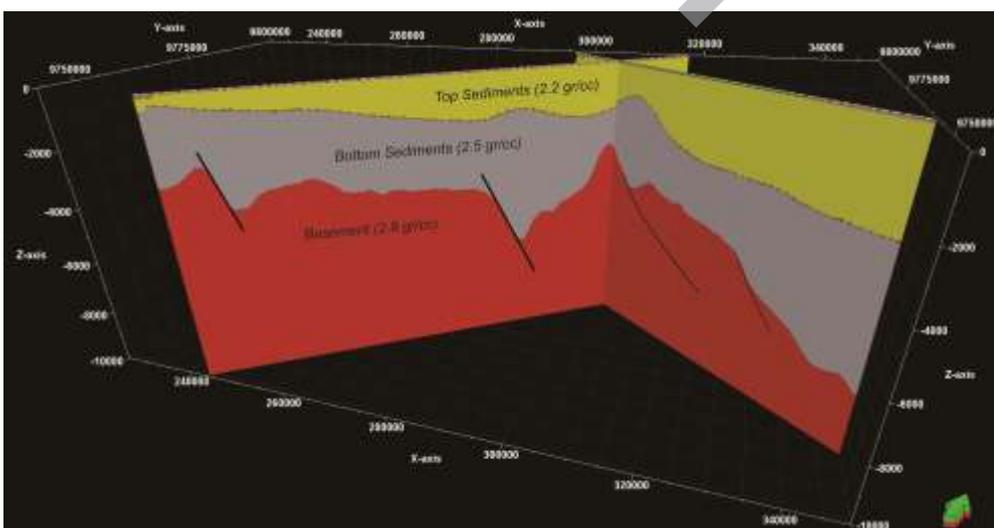
Gambar 11. Penampang bawah permukaan CD dengan kelurusan baratlaut (NW) – tenggara (SE) pada Gambar 8, memotong Mogoi ke arah Bintuni.

Adanya *shale* dan *sandstone* di bawah lapisan *New Guinea Limestone* akan menurunkan nilai densitas secara keseluruhan. Oleh karena itu untuk lapisan di bawah *interface* pertama (*bottom sediments*) dipilih densitas sebesar 2.5 gr/cc. Kemudian untuk lapisan batuan dasar (*basement*) yang berupa *continental plate* dari benua Australia diperkirakan memiliki nilai densitas rata-rata sebesar 2.8 gr/cc (Haddad & Watts, 1999). Lapisan sedimen yang berada di atas *interface* pertama secara umum diinterpretasikan berupa Formasi Klasafet dan Formasi Steenkool yang batuan penyusunnya berupa tanah, lempung, dan pasir. Dengan demikian nilai densitas untuk kelompok tersebut (*top sediments*) berada pada kisaran 2.2 gr/cc (Telford drr, 2004).

Gambar 12 memperlihatkan pola struktur bawah permukaan yang berkembang di daerah penelitian.

Lapisan *top sediments* yang memiliki densitas 2.2 gr/cc cenderung menebal ke arah timur. Hal yang sama terlihat pula pada lapisan *bottom sediments* yang memiliki densitas 2.5 gr/cc. Batuan dasar (*basement*) secara umum mengalami pendangkalan ke arah Kamundan dan Mogoi dari sebelah timur daerah penelitian.

Struktur geologi bawah permukaan terlihat jelas pada penampang bawah permukaan AB yang memiliki kelurusan baratdaya (SW) – timurlaut (NE). Struktur-struktur geologi tersebut diperkirakan menjadi jalur migrasi hidrokarbon yang berada di Cekungan Bintuni. Pola migrasi diperkirakan terjadi di dua tempat yaitu di daerah Wiriagar dan di daerah Mogoi. Arah migrasi hidrokarbon yang mungkin terjadi ditunjukkan dengan tanda panah pada Gambar 12.



Gambar 12. Penampang bawah permukaan dalam 2.5D yang menunjukkan perpotongan penampang AB dan penampang CD. Terdapat pendangkalan *basement* dari deposenter Cekungan Bintuni di sebelah timur ke arah Mogoi dan Kamundan di sebelah barat daerah penelitian. Arah migrasi hidrokarbon yang mungkin ditunjukkan dengan tanda panah.

Struktur pertama (a) pada Gambar 12 menunjukkan adanya struktur naik pada bagian sebelah selatan, sedangkan pada bagian sebelah utara dari struktur pertama (a) adalah daerah Wiriagar. Pola serupa juga dijumpai pada struktur kedua (b), dimana pada bagian sebelah selatan dari struktur kedua naik. Hal ini mendorong hidrokarbon untuk bermigrasi ke antiklin yang berada di sebelah utara dari struktur kedua (b), daerah tersebut tidak lain adalah daerah Mogoi. Pola struktur demikian memungkinkan terjadinya migrasi hidrokarbon dari lapisan *source rocks* Pratersier ke Formasi Kais sebagai Reservoir. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa hidrokarbon yang terperangkap pada Formasi Kais di Cekungan Bintuni diperkirakan berasal dari formasi yang lebih tua atau formasi yang berada di bawahnya (Dolan drr, 1988).

Berdasarkan hasil penelitian gayaberat diketahui bahwa pola perangkap hidrokarbon di daerah penelitian berupa *closure* antiklin dengan kelurusan baratlaut–tenggara yang terpotong / terpancung oleh struktur sesar mendatar (*strike-slip fault*) dengan kelurusan baratdaya–timurlaut. Pola struktur demikian ditemukan pada lapangan produksi migas di Wiriagar dan Mogoi. Kombinasi ini dapat dijadikan sebagai “*template*” di dalam penemuan perangkap hidrokarbon lain yang

mungkin ada di Cekungan Bintuni. Tidak menutup kemungkinan perangkap hidrokarbon lainnya memiliki pola yang sama.

KESIMPULAN

Hasil analisis Cekungan Bintuni berdasarkan data gayaberat menunjukkan bahwa pola *closure* antiklin dengan arah baratlaut–tenggara tersesarkan oleh *strike-slip fault* yang memiliki arah baratdaya–timurlaut, sehingga memungkinkan terjadinya migrasi hidrokarbon dari lapisan *source rocks* Pratersier ke lapisan Reservoir Kais (Tersier). Estimasi penampang bawah permukaan yang dikontrol dengan data seismik 2D memperlihatkan adanya pendangkalan batuan dasar (*basement*) dari sebelah timur daerah penelitian ke daerah Mogoi–Kamundan di Cekungan Bintuni.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi beserta jajarannya yang telah memberikan fasilitas selama pelaksanaan penelitian. Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Sri Sulistiyono dan Wawan Gunawan yang telah turut serta dalam proses akuisisi data.

ACUAN

- Badan Geologi. 2010. *Peta Cekungan Sedimen Indonesia Berdasarkan Data Gayaberat dan Geologi skala 1:5.000.000*. Bandung.
- Badan Informasi Geospasial. 2016. *Peta Rupa Bumi Indonesia lembar Fak–Fak (2913) Skala 1:250.000*. <http://tanahair.indonesia.go.id/>
- Blakely, RJ. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. Cambridge University Press: hal. 128 – 153; 324 – 328.
- Charlton, TR. 1999. Tertiary Evolution of The Eastern Indonesia Collision Complex. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18 (2000) pp. 603 – 631.
- Cloos, M., Sapiie, B., Quarles van Ufford, A., Weiland, RJ., Warren, PQ., Mc Mahon, TP. 2005. Collisional delamination in New Guinea: The geotectonics of subducting slab breakoff. *Special papers of Geological Society of America*. No. 400.
- Dolan, PJ., Hermany. 1988. The Geology of The Wiriagar Field, Bintuni Basin, Irian Jaya. *Proceedings Seventeenth Annual Convention IPA*. Jakarta. hal. 53 – 87.
- Grandis, H. 2015. *Anomali Bouguer bagian 1 dan bagian 2*. <http://geofisika.net/gravitasi/>
- Haddad, D., Watts, AB. 1999. Subsidence History, Gravity Anomalies, and Flexure of The NorthEast Australian Margin in Papua New Guinea. *Tectonics* Vol 18, No. 5 pp. 827–842.
- Ikhwanudin, F., Abdullah, CI. 2015. Indication Strike Slip Movement a part of Sorong Fault Zone in Yappen Island, Papua, Indonesia. *GSTF Journal of Geological Sciences (JGS)*. Vol. 2 No. 1. hal. 25 – 33.

- Kadir, WGA. 2000. *Eksplorasi Gaya Berat dan Magnetik*. Program Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Lilie, RJ. 1999. *Whole Earth Geophysics, An Introductory Textbook for Geologists & Geophysicists*. Prentice-Hall: hal. 223–283.
- Nettleton, LL. 1939. Determination of density for reduction of gravimeter observations, *Geophysics*, Vol. 4, pp. 176–183, <http://dx.doi.org/10.1190/1.1437088>.
- Patra Nusa Data, PT. 2006. *Indonesian Basin Summaries (IBS)*. Inameta Series, Indonesia Metadata Base.
- Sapie, B., Naryanto, W., Adyagharini, AC. and Pamumpuni, A. 2012. *Geology and Tectonic Evolution of Birds Head Region Papua, Indonesia: Implication for Hydrocarbon Exploration in Eastern Indonesia*, Search & Discovery Article, No. 30260.
- Telford, WM., Geldart, LP., Sheriff, RE. 2004. *Applied Geophysics 2nd edition*. Cambridge University Press. Cambridge: hal. 10–19.
- Wellenhof, BH., Moritz, H. 2005. *Physical Geodesy*. Springer Wien New York. Austria: hal. 129–155.
- www.srgi.big.go.id

J
G
S
M

JGSM