

INTERPRETASI GEOLOGI CEKUNGAN BERAU - PAPUA DAN SEKITARNYA, BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT

GEOLOGICAL INTERPRETATION OF BERAU BASIN - PAPUA AND SURROUNDING AREA, BASED ON GRAVITY DATA ANALYSIS

Imam Setiadi^{1*}, Tumpal Bernhard Nainggolan, Ali Albab

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuna 236 Bandung
*setiadi_i@yahoo.com

Diterima : 24-06-2020, Disetujui : 21-09-2020

ABSTRAK

Cekungan Berau merupakan cekungan yang mempunyai potensi menghasilkan hidrokarbon seperti halnya cekungan Bintuni dan Salawati. Penelitian yang telah dilakukan pada cekungan ini umumnya membahas studi tektonik dan stratigrafi regional serta geokimia. Analisis mengenai pola sub-cekungan dan konfigurasi batuan dasar belum pernah dilakukan pada daerah ini. Pada eksplorasi hidrokarbon, informasi mengenai tebal sedimen pola struktur dan pola tinggian diperlukan sebagai informasi awal dalam memetakan keberadaan deposenter yang ditindaklanjuti dengan survei lebih detail menggunakan metode seismik sehingga penelitian ini penting dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi keberadaan sub-cekungan sedimen, mengidentifikasi pola struktur geologi, dan konfigurasi batuan dasar pada cekungan Berau berdasarkan analisis data gayaberat. Metode yang dilakukan yaitu dengan menganalisis data gayaberat menggunakan analisis spektral, filter polinomial, dan pemodelan 2D. Hasil analisis spektral menunjukkan bahwa ketebalan batuan sedimen rata-rata diperkirakan 3.38 Km, orde yang dipilih dari hasil filter polinomial yaitu orde 6 yang digunakan untuk menentukan anomali regional dan residual. Sub-cekungan yang didelineasi berdasarkan hasil anomali residual gayaberat yaitu sebanyak 6 sub-cekungan sedimen, sedangkan pola struktur yang teridentifikasi yaitu berupa pola tinggian, graben, dan patahan/sesar. Hasil pemodelan 2D menunjukkan bahwa batuan dasar pada cekungan Berau yaitu batuan metamorfik dengan nilai rapat massa sebesar 2.8 gr/cc, lapisan di atasnya diinterpretasikan sebagai batuan sedimen berumur PraTersier dengan nilai rapat massa 2.5 gr/cc, di atas batuan PraTersier diinterpretasikan sebagai batuan sedimen berumur Paleogen dengan nilai densitas sebesar 2.3 gr/cc, lapisan yang paling atas diinterpretasikan sebagai batuan sedimen berumur Neogen dengan nilai rapat massa sebesar 2.4 gr/cc. Berdasarkan hasil analisis gayaberat menunjukkan bahwa Cekungan Berau mempunyai lapisan batuan sedimen yang cukup tebal dan beberapa struktur tinggian yang diduga sebagai tempat migrasi hidrokarbon yang menarik untuk diteliti lebih lanjut untuk mengetahui keberadaan hidrokarbon.

Kata Kunci : Gayaberat, Analisis Spektral, Polinomial, Pemodelan 2D, Cekungan Berau, Papua Barat

ABSTRACT

Berau Basin is one of basin that potential to produce hydrocarbons like Bintuni and Salawati Basin. Research that has been carried out in these basins is generally tectonic and stratigraphic regional and geochemical studies. Analysis of sub-basin patterns and basement configurations haven't been done in these area. In hydrocarbon exploration, information about sediment thickness, structure lineament and basement hight patterns is needed as initial information to mapping the depocenter existence which is followed by a more detailed survey such as seismic methods, so that this study is important to do. The research was conducted to delineate sediment sub-basin, to identify geological structure patterns, and basement configuration in the Berau basin based on gravity data analysis. The method used by analyzing gravity data by using spectral analysis, polynomial filtering and 2D forward modeling. The spectral analysis result showed that the average thickness of sedimentary rocks estimated 3.38 Km. The polynomial order chosen from

1. Imam Setiadi adalah sebagai kontributor utama pada tulisan ini, sedangkan yang lainnya adalah sebagai kontributor anggota.

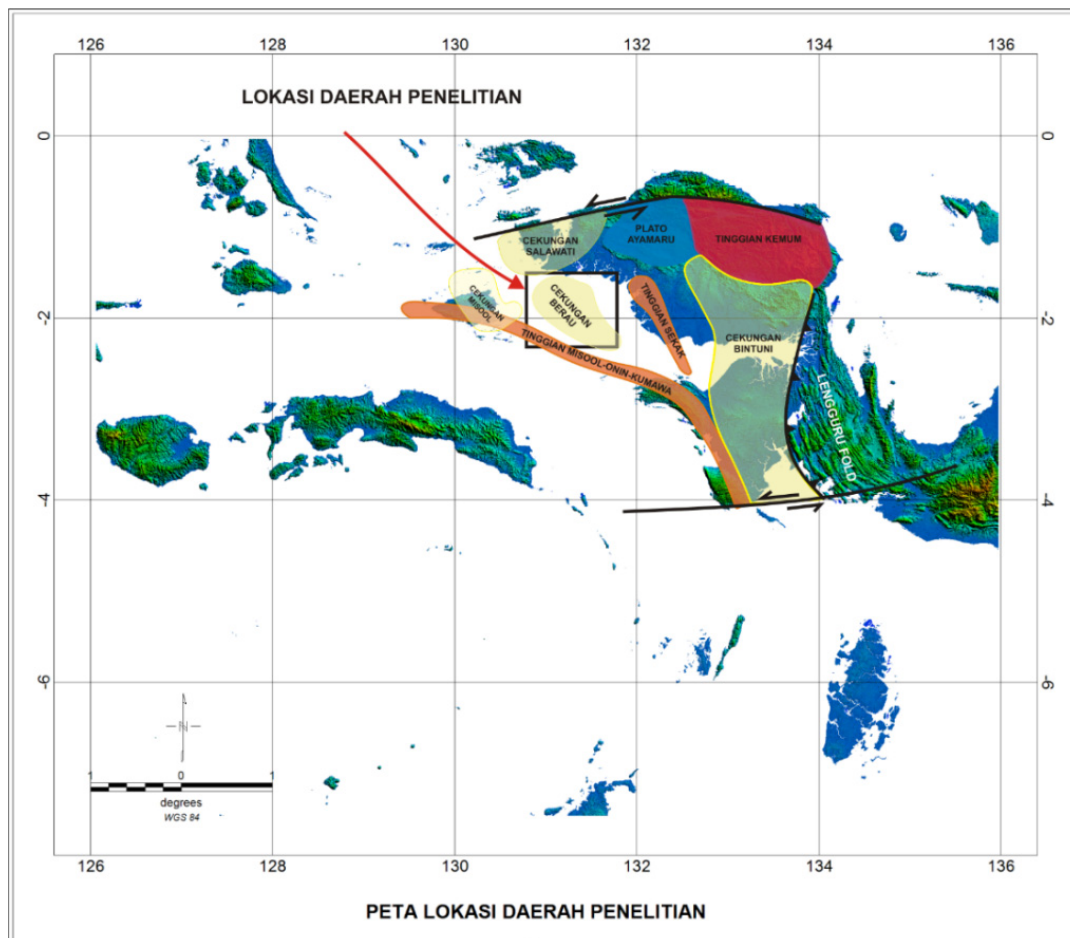
the results of the polynomial filter is order 6 which is used to determine regional and residual anomalies. The sub-basins were delineated based on the results of gravity residual anomalies were 6 sediment sub-basins, while the structural patterns identified are basement height, graben, and fault. The 2D modeling results show that the basement of the basin is metamorphic rock with a mass density value of 2.8 gr/cc, the upper layer of the basement is interpreted as PraTersier sedimentary rock with a mass density value of 2.5 gr/cc, on PraTersier rocks is interpreted as Paleogene sedimentary rocks with a density value of 2.3 gr/cc, the top layer is interpreted as a Neogene sedimentary rock with a mass density value of 2.4 gr/cc. Based on the results of gravity analysis shows that the Berau Basin has a thick layer of sedimentary rocks and some basement height structures that are suspected as places of migration of hydrocarbons which are interesting to be explored further to determine the presence of hydrocarbons.

Keywords : Gravity, Spektral Analysis, Polynomial, 2D Modeling, Berau Basin, West Papua

PENDAHULUAN

Cekungan Berau merupakan salah satu cekungan yang berada di wilayah kawasan Indonesia Bagian Timur tepatnya di bawah kepala Burung, Papua. Cekungan ini berbatasan dengan cekungan Salawati pada bagian Baratlaut, Tinggian Ayamaru pada sebelah Timur, Tinggian Sekak pada bagian Tenggara dan Tinggian Misool-Onin pada bagian Baratdaya (Gambar 1) Hingga saat ini masih jarang penelitian yang dilakukan di cekungan Berau, penelitian pada umumnya membahas tektonik dan stratigrafi regional Papua seperti yang dilakukan oleh (Decker, dkk., 2009) mengenai evolusi tektonik kepala Burung Papua

yang bergerak relatif ke arah Baratdaya karena dorongan dari lempeng samudera Pasifik. (Dow dan Sukanto, 1984) menjelaskan bahwa kompresi diakibatkan oleh konvergensi miring antara lempeng Australia yang bergerak relatif ke utara dan lempeng Pasifik yang bergerak relatif Baratdaya. Menurut Situmorang (2018) yang telah melakukan studi geokimia pada cekungan Berau dan menerangkan bahwa cekungan Berau memiliki sistem petroleum yang lengkap, Formasi Kembengan bawah pada sumur gunung-1 berada pada kematangan akhir. Informasi mengenai keberadaan cekungan/sub-cekungan, konfigurasi batuan dasar dan pola tinggian (*basement high*)



Gambar 1. Lokasi penelitian di cekungan Berau, Papua Barat

diperlukan dalam eksplorasi hidrokarbon, khususnya mengenai ketebalan sedimen yang dapat berfungsi sebagai batuan sumber (*source rock*), batuan reservoir, cebakan dan batuan penutup (*seal*).

Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan sub-cekungan sedimen, konfigurasi dasar dan ketebalan batuan sedimen adalah metode gayaberat (*gravity*). Beberapa penelitian aplikasi metode gayaberat untuk mengetahui cekungan sedimen dan pola kelurusan struktur geologi diantaranya telah dilakukan oleh (Ekinci and Yigitbas, 2015; Zahra and Oweis, 2016; Zang, dkk., 2019; Setiadi, dkk., 2010). Gayaberat adalah salahsatu metoda geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan berdasarkan parameter fisis rapat massa, anomali yang terdapat pada metoda gayaberat ini dikenal dengan nama anomali Bouguer. Anomali Bouguer merupakan gabungan dari anomali regional dan anomali residual dengan panjang gelombang yang bervariasi dari panjang gelombang panjang dan panjang gelombang pendek yang merupakan pengaruh dari komposisi batuan yang berada pada posisi dengan lokasi pada tempat yang dalam hingga dangkal. Ada beberapa metoda yang dapat digunakan untuk memisahkan anomali regional dan residual yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya diantaranya adalah penggunaan filter Upward kontinuitas dan trend surface analysis (Kebede, dkk.,2020), penggunaan filter polinomial pada data gayaberat (Muhajir, dkk., 2020; Okiwelu, dkk., 2010; dan Abokhodair, 2010). Pada penelitian ini pemisahan anomali regional dan residual data gayaberat akan dilakukan menggunakan filter Polinomial, estimasi ketebalan batuan sedimen dilakukan menggunakan analisis spektral, dan pemodelan geologi bawah permukaan dilakukan menggunakan pemodelan maju 2 dimensi. Informasi geologi digunakan sebagai konstrain untuk melakukan interpretasi geologi bawah permukaan. Penelitian ini nantinya akan membahas delineasi sub-cekungan sedimen, pola struktur dan tinggian, konfigurasi batuan dasar serta interpretasi model geologi bawah permukaan berdasarkan parameter fisis rapat massa (densitas). Lokasi daerah penelitian berada pada sebelah selatan kepala burung Papua Barat pada koordinat (130.5° - 131.5°) BT dan (1.5° - 2.3°) LS seperti terlihat pada Gambar 1.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Geologi Papua sangat kompleks sebagai akibat dari interaksi dua lempeng tektonik yang besar yaitu lempeng kerak benua Australia dan lempeng kerak Samudera Pasifik. Evolusi tektonik wilayah Papua diawali dengan pergerakan mantel dan kerak benua Australia ke utara dan menunjam dengan kemiringan ke utara, kemudian diikuti dengan tumbukan dan mulai terjadi tunjaman ke selatan oleh lempeng Samudera Pasifik (Dewey dan Bird, 1970; Hamilton, 1979). Peristiwa tumbukan lempeng tektonik ini menimbulkan munculnya cekungan-cekungan sedimen di Wilayah Papua. Berdasarkan sejarah tektonik Papua diketahui bahwa pada bagian selatan Papua secara umum di alasi oleh kerak benua Australia, termasuk sedimen di atasnya yang berasal dari paparan Baratlaut Australia. Keberadaan batuan sedimen yang umumnya berumur Mesozoik sangat penting artinya karena sebagian merupakan batuan sumber hidrokarbon dan juga batuan waduk (Bachri, 2014), hal ini berdasarkan korelasi stratigrafi batuan Mesozoik di utara Australia khususnya di cekungan Bonarte yang telah terbukti mengandung hidrokarbon. Berdasarkan tatanan stratigrafi sebagaimana dikutip oleh Darman dan Sidi (2000), cekungan Salawati dan cekungan Bintuni saat ini merupakan cekungan hidrokarbon yang produktif. Diharapkan bahwa cekungan-cekungan lain seperti cekungan Berau yang lokasinya bersebelahan dengan cekungan Salawati dan Bintuni yang mengandung facies Australia terdapat batuan sumber maupun batuan waduk hidrokarbon.

MASA	UMUR	FORMASI
KENOZOIK	KUARTER	ALLUVIUM
	PLIOSEN	STEENKOOL FM
	MIOSEN	KAIS LST
	OLIGOSEN	NEW GUINEA LST
	EOSEN	FAUMAI LST
	PALEOSEN	WARUPI DARAM
MESOZOIK	KAPUR AKHIR	JASS FM GAMTA LST
	KAPUR AWAL	LEUNTA FM
	JURA AKHIR	DEMU FM
	JURA TENGAH	WONGWOGI
	JURA AWAL	YEFBIE FM
	TRIAS AKHIR	BOGAL LST
	TRIAS AWAL	
PZ	PERM AKHIR	AINIM FM
	PERM AWAL	AIFAT/AIMAU

Gambar 2. Stratigrafi regional Cekungan Berau, Papua Barat (modifikasi dari Pieters, dkk., 1983)

Stratigrafi Cekungan Berau

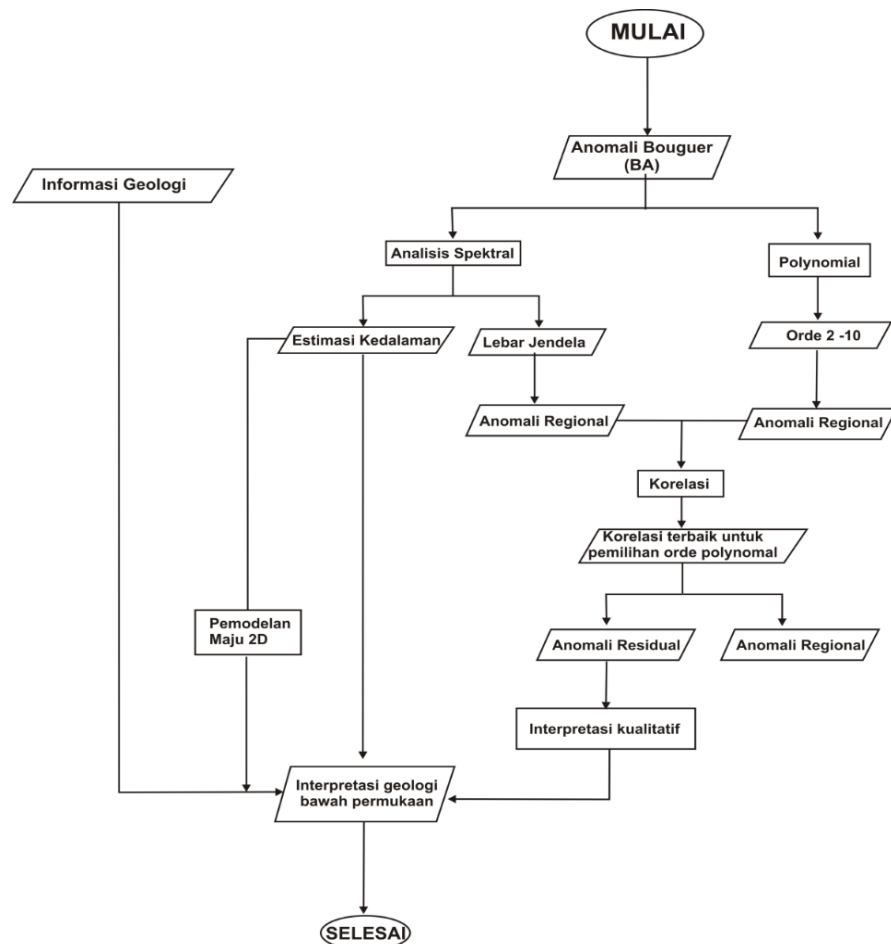
Stratigrafi Cekungan Berau dimulai dari umur Permian hingga umur pliosen (seperti terlihat pada Gambar 2).

Batuan dasar yang mengalasi cekungan ini yaitu batuan metamorfik dan batuan granitik kerak benua Australia. Stratigrafi cekungan ini diawali dengan pengendapan Kelompok Aifam, yang terdiri dari Formasi Aimau/Formasi Aifat, dan Formasi Ainim. Formasi Aimau/Formasi Aifat diendapkan pada kisaran umur Permian, endapannya berupa batupasir sisipan serpih, serpih dan napal. Formasi Ainim terdiri dari perlapisan serpih hitam dan batupasir, terdapat pula lapisan batubara. Pada umur Trias diendapkan secara tidak selaras endapan Batugamping, diperkirakan batugamping ini adalah bagian dari endapan Formasi Bogal. Formasi Yefbie diendapkan secara tidak selaras pada kisaran umur Jura Awal-Jura Tengah. Formasi ini memiliki litologi batulempung tufaan, batupasir, dan sedikit fragmen vulkanik. Formasi Woniwogi diendapkan diatas Formasi Yefbie pada umur Jura Tengah hingga awal Jura Akhir. Formasi ini didominasi oleh endapan batupasir. Pada umur Jura Akhir diendapkan endapan Formasi Lelinta, Formasi ini terdiri dari endapan sedimen batugamping dan serpih. Pada kisaran umur Kapur Atas diendapkan Formasi Batugamping Gamta dan Formasi Jass. Formasi Jass terdiri perlapisan antara batulempung dan serpih lanauan. Formasi Daram diendapkan pada umur Paleosen, batumannya terdiri dari serpih tufaan dan sedikit endapan batupasir. Masih pada kisaran umur yang sama, diatas Formasi Daram diendapkan endapan Formasi Waripi. Pada umur Eosen sampai Oligosen diendapkan Formasi Batugamping Faumai. Formasi ini didominasi oleh endapan batugamping. Formasi Kais diendapkan secara tidak selaras diatas endapan Formasi Batugamping

Faumai. Formasi ini memiliki umur Oligosen sampai Miosen dan terdiri dari batugamping paparan dangkal. Pada umur Plioson terjadi pengendapan Formasi Steenkool. Formasi ini terdiri dari perlapisan antara serpih dan batupasir.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada studi ini akan dilakukan analisis data gayaberat dengan menggunakan konstrain informasi geologi yang terdapat pada daerah penelitian. Analisis data gayaberat yang digunakan yaitu analisis spektral untuk mencari lebar jendela optimal dan juga untuk mengestimasi kedalaman batuan dasar, selain itu juga akan dilakukan filter polinomial untuk memisahkan anomali regional dan residual. Pemilihan orde polinomial dilakukan dengan cara mencari nilai korelasi terbaik antara anomali regional hasil spektral analisis dengan anomali regional hasil polinomial. Pembuatan model geologi bawah permukaan dilakukan dengan cara pemodelan maju 2D (*2D forward modeling*). Diagram alir penelitian selengkapanya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian Cekungan Berau, Papua Barat menggunakan metode gayaberat

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data anomali udara bebas (free air) gayaberat dan kedalaman laut (Topex, 2019) yang selanjutnya diproses menggunakan persamaan (Telford., dkk., 1990) sehingga menghasilkan Anomali Bouguer sebagai berikut :

$$AB = AUB - \{-2\pi G (2,67-1,03)\} h \quad (1)$$

Analisis Spektral

Potensial gravitasi dari sebuah titik massa m diberikan oleh $U = \gamma m / r$. Transformasi fourier dari potensial gayaberat yang teramati pada bidang horizontal (Blakely, 1996) secara sederhana dituliskan sebagai :

$$F(U) = \gamma m F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi\gamma m \frac{e^{k(z_0-z')}}{|k|}; z' > z_0; |k| \neq 0 \quad (2)$$

Gerak vertikal gravitasi yang disebabkan suatu titik massa adalah vertikal derivative dari potensial gayaberatnya. Jika diamati pada suatu medan horizontal, medan ini mempunyai transformasi fourier sebagai berikut:

$$F(g_z) = \gamma m F\left(\frac{\delta}{\delta z} \frac{1}{r}\right) = \gamma m \frac{\delta}{\delta z} F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (3)$$

$$F(g_z) = 2\pi\gamma m e^{k(z_0-z')}; z' > z_0$$

Dalam kepentingan mencari lebar window yang optimal spectrum amplitudo yang dihasilkan transformasi fourier tadi dilogartimkan sehingga :

$$\ln|F(g_z)| = \ln 2\pi\gamma m e^{k(z_0-z')} \quad (4)$$

$$\ln|F(g_z)| = |k|(z_0 - z') + \ln 2\pi\gamma m$$

Persamaan diatas dapat dianalogikan dengan persamaan garis lurus :

$$y = mx + c$$

Dengan: $\ln|F(g_z)|$ = Sumbu y; $|k|$ = Sumbu x; $(z_0 - z')$ = kemiringan garis (m)

Dengan demikian $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang sampling yang besarnya $2\pi/\lambda$, dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan λ dengan Δx diperoleh dari persamaan $k = 2\pi/\lambda = 2\pi/\Delta x$. Seharusnya dari persamaan tersebut nilai λ sama dengan Δx , tentunya ada factor lain pada Δx yang disebut

konstanta pengali, sehingga $\lambda = N\Delta x$. Konstanta N didefinisikan sebagai lebar window dan nilainya harus ganjil.

Metode Polinomial

Data 2-D, persamaan polinomial orde 2 (Okiwelu, 2010) menggunakan persamaan :

$$\Delta g_i = c_1 + c_2 x_i + c_3 y_i + c_4 x_i^2 + c_5 x_i y_i + c_6 y_i^2 \quad (5)$$

dimana :

i : 1,2,3,.....,n = nomor stasiun

Δg : anomali gayaberat

x_i, y_i : koordinat stasiun

$c_1, c_2, c_3, \dots, c_6$: konstanta polinomial

Pertama harus dicari dulu konstanta polinomial kemudian dengan menggunakan persamaan diatas dapat dihitung anomali regionalnya. Proses ini dapat dilihat dalam bentuk matrik sbb:

$$\begin{pmatrix} \Delta g_1 \\ \Delta g_2 \\ \vdots \\ \Delta g_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & \dots & y_1^2 \\ 1 & x_2 & \dots & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_i & \dots & y_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_6 \end{pmatrix} \quad (6)$$

atau

$$\vec{G} = D \vec{C} \quad (7)$$

Untuk menghitung konstanta c dimana jumlah stasiun lebih besar dari jumlah konstantanya digunakan metoda '*least square*' yang diberikan oleh :

$$\vec{C} = (D^T D)^{-1} D^T \vec{G} \quad (8)$$

kemudian regionalnya dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{pmatrix} \Delta g_1' \\ \Delta g_2' \\ \vdots \\ \Delta g_i' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & \dots & y_1^2 \\ 1 & x_2 & \dots & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_i & \dots & y_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_6 \end{pmatrix} \quad (9)$$

atau

$$\vec{G}' = D \vec{C} \quad (10)$$

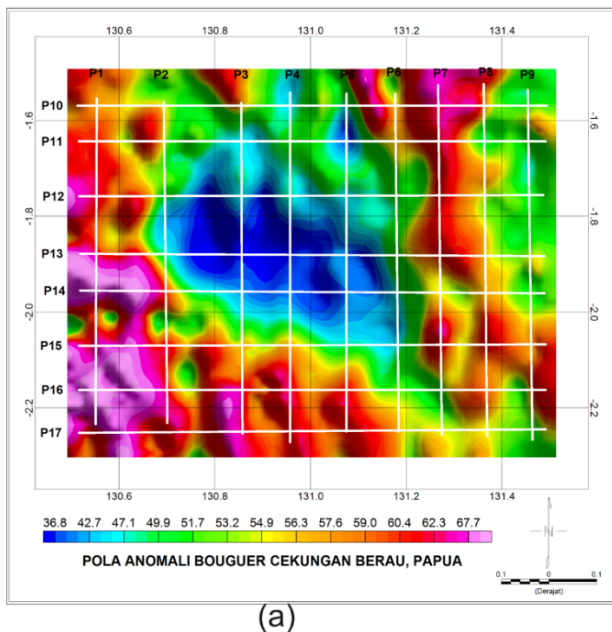
Sedangkan residualnya adalah :

$$\vec{G}_{res} = \vec{G} - \vec{G}' \quad (11)$$

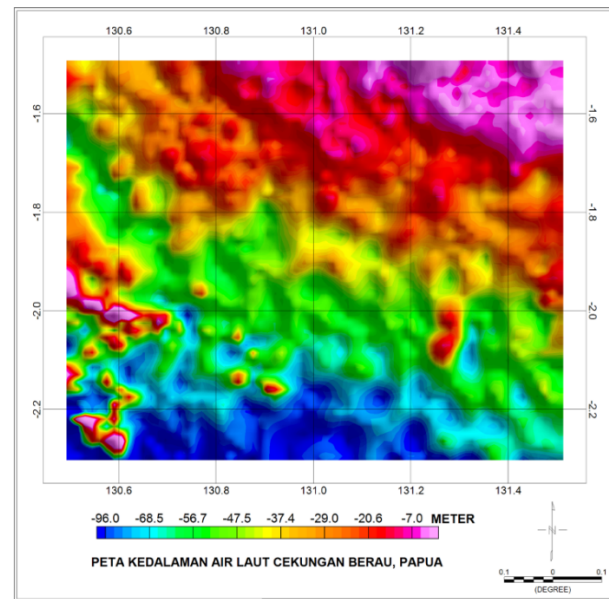
HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouguer dan Kedalaman Air Laut

Hasil anomali Bouguer dan kedalaman air laut yang diperoleh di daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Pola anomali Bouguer dan Penampang Analisis spektral, (b) peta kedalaman air laut wilayah Cekungan Berau, Papua.

Gambar 4a menunjukkan peta anomali Bouguer dan lintasan analisis spektral cekungan Berau, Papua. Dari Gambar terlihat bahwa nilai anomali berkisar antara (35 – 70) mGal, anomali ini dapat dikelompokkan kedalam dua lajur anomali yang berbeda. Yang pertama yaitu anomali tinggi, anomali ini mempunyai rentang nilai antara (50 - 70) mGal, anomali ini menempati daerah pada bagian sebelah Baratdaya dan Timurlaut yang dicirikan dengan warna merah. Yang kedua yaitu anomali rendah, anomali ini berada pada bagian tengah dengan kisaran nilai anomali antara (35 – 49) mGal yang dicirikan dengan warna hijau hingga biru. Anomali tinggi pada bagian Baratdaya dan Timurlaut diduga karena pengaruh dari batuan dengan nilai rapat massa yang tinggi yang menempati daerah tersebut, sedangkan anomali rendah yang berada pada bagian sebelah tengah kemungkinan karena pengaruh dari batuan dengan densitas rendah yang mengisi daerah tersebut. Batuan dengan nilai densitas rendah kemungkinan adalah batuan sedimen yang terendapkan pada bagian tengah sehingga membentuk cekungan Berau. Anomali Bouguer ini merupakan gabungan antara anomali regional yang bersumber dari anomali dengan panjang gelombang panjang (posisi

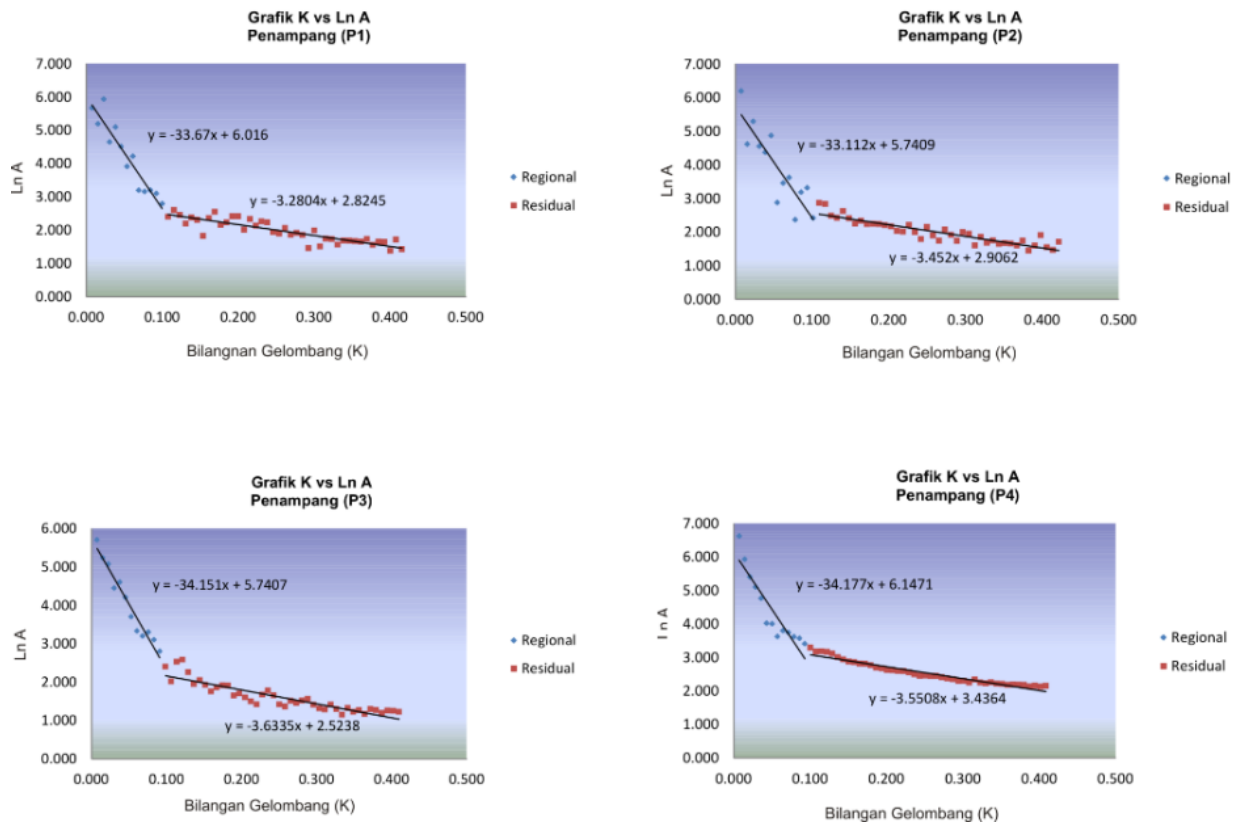
batuan lebih dalam) dan anomali residual yang bersumber dari anomali dengan panjang gelombang pendek (lokasi batuan lebih dangkal). Hasil anomali Bouguer ini karena masih gabungan dari anomali dangkal dan dalam sehingga perlu

dipisahkan anomali regional dan residual dengan cara penapisan (*filtering*). Gambar 4b adalah peta kedalaman air laut daerah penelitian, kedalaman air laut berkisar antara (3 hingga 90) meter, kedalaman air laut tergolong dangkal. Kedalaman air laut yang paling dalam yaitu pada bagian selatan yang ditunjukkan warna biru yaitu sekitar 90 meter yang lokasinya sebelah utara palung seram, secara umum kedalaman pada bagian tengah hingga utara yaitu sekitar (3 – 50) meter.

Analisis Spektral

Sebelum dilakukan penapisan (*filtering*), terlebih dahulu dilakukan analisis spektral dengan cara membuat penampang lintasan pada anomali Bouguer (Gambar 4a) untuk mengetahui kandungan sinyal gelombang yang ada pada masing-masing lintasan.

Jumlah lintasan yang dibuat sebanyak 17 yang mewakili seluruh daerah penelitian yang selanjutnya dilakukan Transformasi Fourier (FFT) sehingga dapat dihitung bilangan gelombang (k) dan Amplitudo (A), sehingga dapat dibuat grafik hubungan bilangan gelombang (k) dan Amplitudo ($\ln A$) seperti terlihat pada Gambar 5. Pada Gambar tersebut terlihat ada dua kemiringan



Gambar 5. Grafik hasil analisis spektral contoh penampang P1-P4

(*slope*) yang menunjukkan bidang diskontinuitas dalam dan dangkal.

Hasil selengkapnya proses analisis spektral dapat dilihat pada Tabel 1, dari tabel terlihat bahwa kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas dalam daerah penelitian adalah 33.36 Km yang diduga sebagai kedalaman bidang diskontinuitas kerak

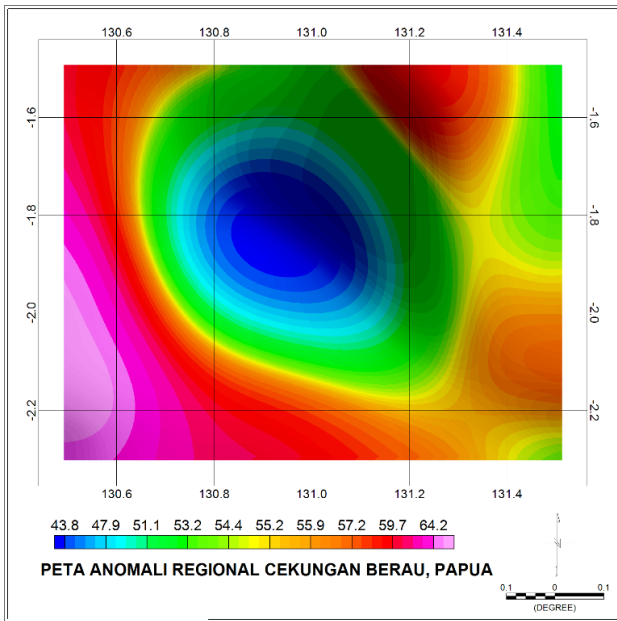
bawah, sedangkan kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas dangkal adalah 3.38 Km diinterpretasikan sebagai kedalaman rata-rata batuan dasar (*basement*) daerah penelitian. Berdasarkan informasi peta ketebalan sedimen (Hamilton, 1974), ketebalan sedimen di daerah penelitian ini berkisar antara (3 hingga 4) Km.

Tabel 1. Kedalaman bidang diskontinuitas dalam (regional), dangkal (residual), bilangan gelombang cutoff (Kc), dan lebar jendela (N)

PENAMPANG LINTASAN	KEDALAMAN BIDANG REGIONAL (KM)	KEDALAMAN BIDANG RESIDUAL (KM)	BILANGAN GELOMBANG CUTOFF (KC)	LEBAR WINDOW (N)
P1	33.67	3.28	0.108	14.54
P2	33.11	3.45	0.102	15.39
P3	34.15	3.63	0.099	15.86
P4	34.17	3.55	0.1	15.70
P5	33.21	3.46	0.097	16.18
P6	33.04	3.47	0.104	15.09
P7	32.04	3.02	0.108	14.53
P8	32.44	3.22	0.099	15.85
P9	31.14	3.41	0.107	14.67
P10	34.75	3.38	0.101	15.54
P11	32.46	3.41	0.092	17.06
P12	33.41	3.42	0.086	18.25
P13	34.52	3.62	0.092	17.06
P14	34.65	3.47	0.092	17.06
P15	34.8	3.32	0.107	14.67
P16	31.86	3.12	0.107	14.67
P17	33.77	3.19	0.107	14.67
RATA RATA	33.36	3.38	0.076	15.7

Hasil perhitungan lebar window berdasarkan analisis spektral ini dapat digunakan untuk menentukan pola anomali regional daerah penelitian, seperti terlihat pada Gambar 6.

Dari Gambar terlihat bahwa anomali tinggi pada bagian sebelah Baratdaya dan Timurlaut ditandai dengan warna merah. Anomali tinggi kemungkinan disebabkan karena adanya batuan rapat massa tinggi yang cenderung naik ke atas ke dekat permukaan, selain itu pada bagian Selatan-Baratdaya terdapat tinggian Misool-Onin-Kumawa sehingga memberikan



Gambar 6. Pola anomali regional hasil spektral analisis daerah cekungan Berau, Papua

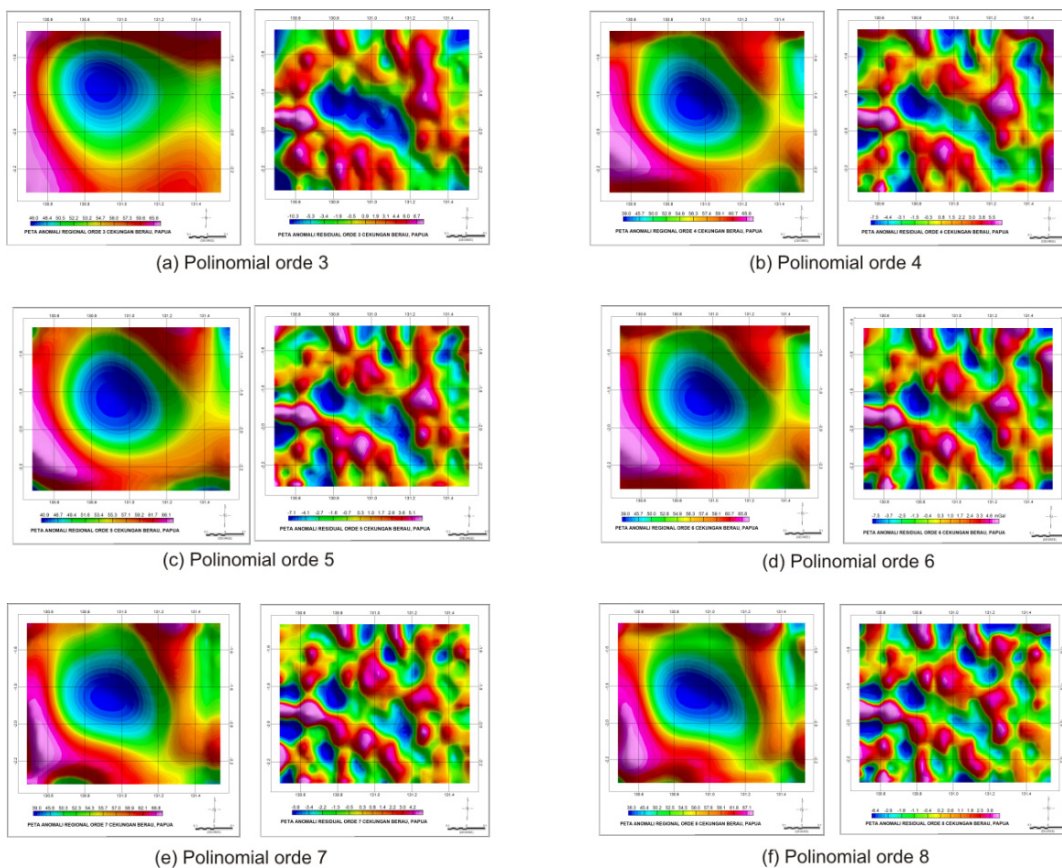
respon nilai densitas yang lebih tinggi. Anomali rendah terdapat pada bagian sebelah tengah yang dicirikan dengan warna biru, anomali rendah ini kemungkinan disebabkan karena struktur kerak yang relatif ke bawah atau adanya akumulasi

sedimen dengan nilai rapat massa rendah yang mengisi daerah tersebut yang diduga sebagai area cekungan Berau.

Polinomial

Filtering menggunakan metoda polinomial ini dilakukan pada orde 2 hingga 10, untuk analisa diambil hasil dari orde 3 hingga 8 seperti terlihat pada Gambar 7. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa, Gambar 7a merupakan hasil polinomial orde 3, Gambar 7b merupakan hasil polinomial orde 4 dan seterusnya hingga Gambar 7f yang merupakan hasil polinomial orde 8.

Hasil filtering polinomial ini yaitu berupa anomali regional dan anomali residual untuk masing masing orde polinomial. Pada Gambar 7a anomali regional Gambar sebelah kiri dan anomali residual Gambar sebelah kanan, begitu pula untuk orde yang lain. Hasil polinomial Gambar 7 memperlihatkan bahwa derajat polinomial semakin tinggi mencerminkan pola dengan panjang gelombang anomali lebih pendek, hal ini terlihat baik dari anomali regional maupun residualnya. Untuk itu perlu pemilihan orde polinomial yang akan digunakan untuk interpretasi kualitatif nantinya. Pemilihan orde polinomial dilakukan dengan cara melakukan korelasi anomali regional



Gambar 7. Hasil peta anomali regional dan residual hasil filter polinomial orde 3 sampai 8

hasil polinomial dengan anomali regional yang diperoleh dari hasil analisis spektral. Tabel korelasi anomali regional hasil spektral analisis dan polinomial selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2. Dari tabel terlihat bahwa nilai korelasi yang terbaik yaitu pada anomali regional orde 6, sehingga untuk analisis selanjutnya akan digunakan hasil anomali residual dan regional berdasarkan nilai korelasi yang terbaik.

Tabel 2. Korelasi anomali regional hasil spektral

SPEKTRAL ANALISIS	POLYNOMIAL	NILAI KORELASI
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 2	0.998294
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 3	0.998704
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 4	0.999016
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 5	0.998949
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 6	0.999041
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 7	0.99874
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 8	0.998655
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 9	0.99844
ANOMALI REGIONAL	REGIONAL ORDE 10	0.998359

Interpretasi Kualitatif

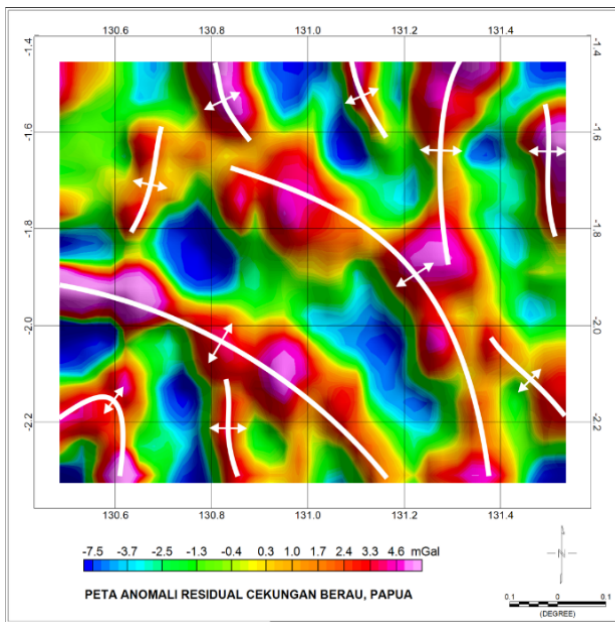
Interpretasi kualitatif sifatnya tidak terukur bertujuan untuk mengetahui pola atau kecenderungan struktur secara lateral berdasarkan anomali residual terbaik yang terpilih berdasarkan *filtering* menggunakan metoda polinomial orde 6. Dari anomali residual (Gambar 7) terlihat bahwa nilai anomali berkisar antara (-10 hingga 7) mGal. Anomali tinggi dicirikan dengan warna merah dengan nilai rentang anomali antara (1 hingga 7) mGal, anomali ini diduga karena adanya batuan dengan nilai rapat massa lebih tinggi yang menempati area tersebut, atau kemungkinan lain adanya batuan dasar yang relatif naik ke atas sehingga memberikan respon anomali lebih tinggi dari sekitarnya. Anomali rendah dengan kisaran nilai anomali antara (-10 hingga 1) mGal ditunjukkan dengan warna biru kemungkinan diakibatkan karena pada area tersebut terisi oleh batuan dengan rapat massa rendah (batuan sedimen yang cukup tebal). Hasil anomali residual polinomial orde 6 digunakan untuk interpretasi secara kualitatif daerah penelitian. Dari Gambar terlihat bahwa anomali residual digunakan untuk mengetahui pola struktur baik tinggian, kelurusan sesar, pola bukaan serta deliniasi sub cekungan sedimen. Gambar 8a merupakan Gambar pola tinggian (*basement high*) yang ditarik berdasarkan hasil anomali residual polinomial orde 6. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa pola tinggian secara umum berarah relatif Baratlaut-Tenggara,

sebagian ada yang mempunyai arah relatif Utara-Selatan hal ini kemungkinan karena secara tektonik regional gaya utama pembentukan cekungan yaitu dari arah Timurlaut (Samudera Pasifik) dan dorongan dari arah Selatan (lempeng Australia) sehingga terbentuklah struktur dengan arah relatif Baratlaut- Tenggara dan Utara-Selatan, termasuk disini adalah terbentuknya tinggian Misool-Onin Kumawa dengan arah relatif Baratlaut-Tenggara. Gambar 8b memperlihatkan pola struktur sesar dengan arah relatif Timurlaut-Baratdaya, ada 3 sesar utama yang dapat ditarik dari anomali residual gayaberat yaitu bagian utara, tengah dan selatan.

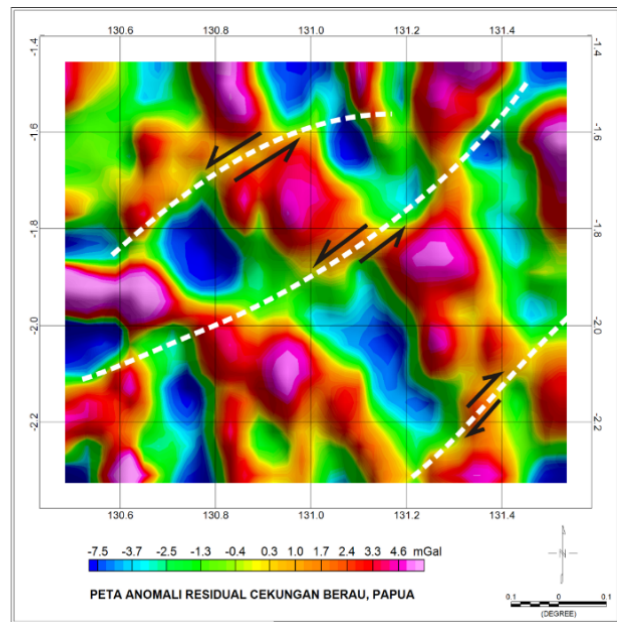
Sesar ini terlihat dari ketidakmenerusan anomali residual yang kemungkinan karena adanya pergeseran batuan akibat gayatektonik dari arah lempeng pasifik yang mendesak ke arahBarat laut sehingga terbentuklah pola sesar dengan arah relatif Timurlaut-Baratdaya. Selain stuktur tinggian dan kelurusan sesar dari anomali residual gayaberat ini juga dapat terlihat pola bukaan dengan arah relatif baratlaut-Tenggara, pola bukaan ini kemungkinan disebabkan karena pergerakan lempeng Benua Australia ke arah Timurlaut selanjutnya menabrak lempeng samudera Pasifik yang bergerak relatif ke arah Baratdaya sehingga elemen-elemen kerak benua mengalami regangan membentuk pola bukaan yang selanjutnya terisi oleh sedimen sehingga terbentuklah cekungan sedimen seperti terlihat pada Gambar 8d. Pola sub-cekungan mempunyai arah relatif Baratlaut-Tenggara sesuai dengan arah dari pola bukaan yang terlihat dari anomali residual gayaberat. Pola sub-cekungan yang dapat di deliniasi berdasarkan anomali residual gayaberat adalah sebanyak 6 sub-cekungan sedimen. Pola deposenter sub-cekungan inilah yang kemungkinan mempunyai ketebalan sedimen yang cukup tebal yang nantinya berperan sebagai pengontrol petroleum system yang ada di cekungan Berau. Sedangkan pola tinggian/antiklin berperan sebagai tempat untuk terakumulasinya hidrokarbon pada cekungan ini.

Interpretasi Kuantitatif

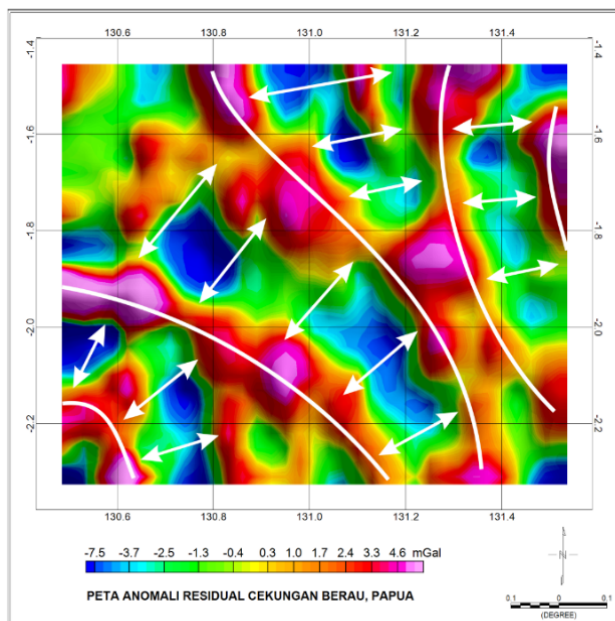
Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan tujuan untuk memperkirakan model geologi bawah permukaan dengan melakukan pembuatan model 2 dimensi, sebelum pembuatan model terlebih dahulu dibuat penampang lintasan pemodelan bawah permukaan pada anomali residual seperti terlihat pada Gambar 9a. Interpretasi kuantitatif dibuat tiga lintasan penampang pemodelan, yang pertama adalah penampang lintasan AB yang



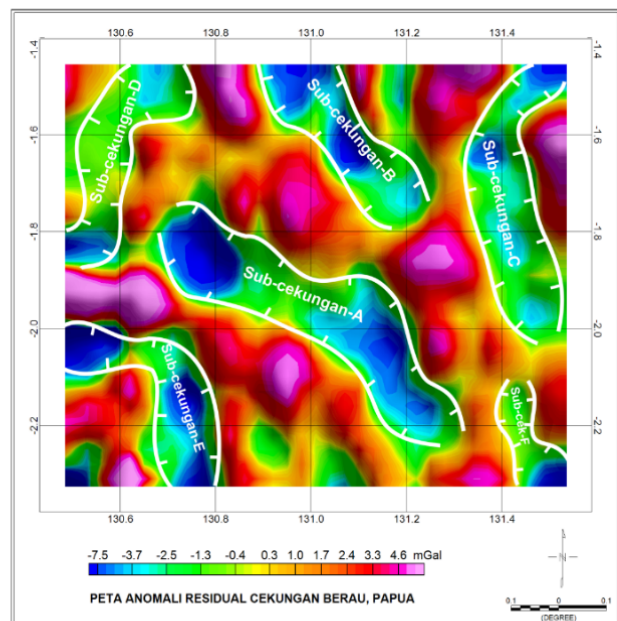
(a) Pola tinggian (*basement high*)



(b) Pola kelurusan sesar utama



(c) Pola bukaan/ rifting cekungan sedimen



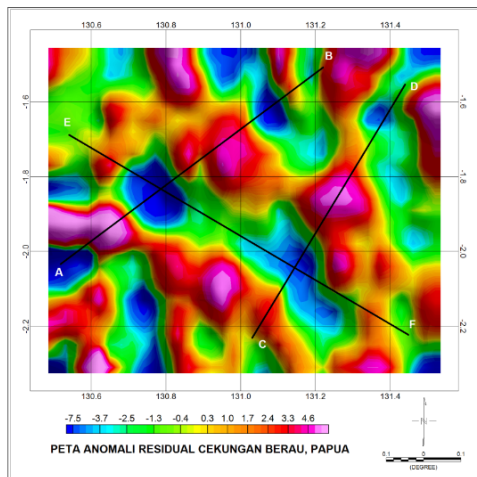
(d) Pola delineasi sub cekungan sedimen

Gambar 8. Interpretasi kualitatif dari hasil anomali residual, (a) pola tinggian (*basement high*), (b) pola kelurusan sesar utama, (c) pola bukaan (rifting) cekungan sedimen dan (d) pola delineasi sub-cekungan Berau, Papua.

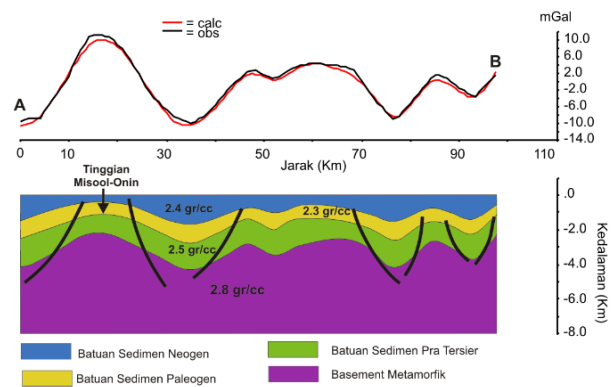
mempunyai arah relatif Timurlaut-Baratdaya, yang kedua adalah penampang CD yang mempunyai arah sejajar penampang lintasan AB, dan penampang terakhir yaitu penampang EF yang posisinya tegak lurus dari penampang AB dan CD. Penampang AB dan CD dengan arah relatif Timurlaut-Baratdaya diambil tegak lurus arah struktur yaitu memotong tinggian Misool-Onin-Kumawa dan memotong Sub-cekungan sedimen

pada daerah ini. Hasil pemodelan pada penampang AB dapat dilihat pada Gambar 9b, dari Gambar terlihat bahwa penampang ini memotong sub-cekungan A, B dan E.

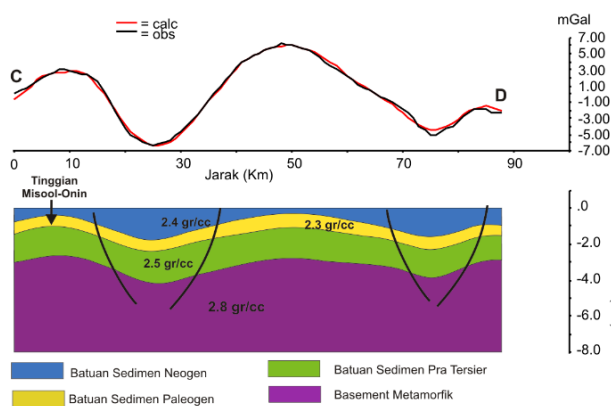
Kedalaman rata-rata batuan dasar hasil pemodelan yaitu sekitar 3.4 Km, hal ini sesuai dengan hasil perhitungan spektral analisis dan ketebalan batuan sedimen (Hamilton, 1979). Gambar 9b memperlihatkan bahwa batuan dasar



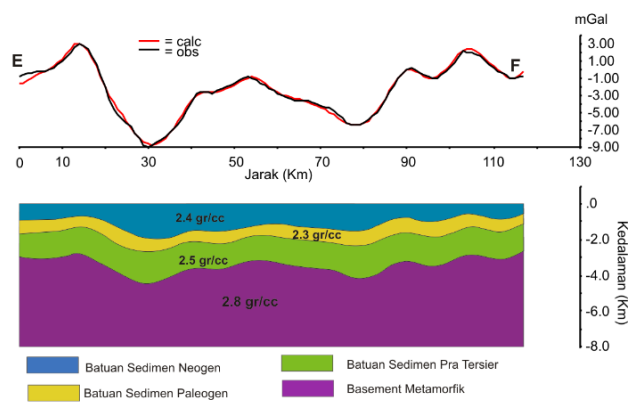
(a) Arah penampang model



(b) Model penampang AB



(c) Model penampang CD



(d) Model penampang EF

Gambar 9. Interpretasi kuantitatif model geologi bawah permukaan, (a) arah penampang pemodelan, (b) model bawah permukaan penampang AB, (c) model bawah permukaan penampang CD dan (d) model bawah permukaan penampang EF cekungan Berau, Papua

yang mengalasi cekungan ini adalah batuan metamorfik dengan nilai rapat massa sebesar 2.8 gr/cc, di atas batuan dasar ini diendapkan batuan sedimen tua yang berumur PraTersier mulai dari Permian hingga Kapur dengan nilai rapat massa 2.5 gr/cc, di atas sedimen PraTersier diendapkan batuan sedimen Tersier berumur Paleogen dengan nilai rapat massa 2.3 gr/cc, dan model yang paling atas yaitu batuan sedimen dengan umur Neogen dengan nilai rapat massa 2.4 gr/cc. Model yang kedua yaitu penampang lintasan CD yang sejajar dengan penampang AB (Gambar 9c), seperti halnya pada penampang AB, model pada penampang CD diawali dari model batuan dasar yaitu berupa batuan metamorfik dengan nilai rapat massa 2.8 gr/cc, lapisan di atasnya dimodelkan batuan PraTersier yang terdiri dari gabungan Formasi Aifat, Ainim, Bogal, Yefbi, Woniwogi, Lelinta, Gamta dan Jass dengan nilai rapat massa sebesar 2.5 gr/cc, di atasnya yaitu

model batuan sedimen Tersier berumur Paleogen yang terdiri dari Formasi Daram, Waripi dan Faumai dengan nilai densitas sebesar 2.3 gr/cc, dan yang paling atas adalah model batuan sedimen Tersier dengan umur Neogen yang terdiri dari Formasi Kais dan Steenkool dengan nilai rapat massa 2.4 gr/cc. Penampang lintasan pemodelan terakhir yaitu penampang EF yang mempunyai arah tegak lurus dari penampang AB dan CD seperti terlihat pada Gambar 9d. Seperti halnya penampang AB dan CD, dari Gambar terlihat bahwa batuan dasar yang mengalasi penampang EF adalah batuan metamorfik dengan nilai rapat massa sebesar 2.8 gr/cc, di atasnya adalah batuan sedimen PraTersier berumur Permian hingga Jura yang terdiri dari batupasir sisipan serpih, napal, batugamping, lapisan batubara, batulempung, dan fragmen vulkanik dengan nilai rapat massa 2.5 gr/cc, di atasnya dimodelkan batuan sedimen Tersier Paleogen yang terdiri dari

serpih tufaan, batupasir, batulanau dan batugamping dengan nilai densitas sebesar 2.3 gr/cc, model paling atas yaitu batuan sedimen berumur Tersier Neogen yang terdiri dari batugamping, serpih dan batupasir dengan nilai densitas sebesar 2.4 gr/cc. Hasil pemodelan bawah permukaan menunjukkan bahwa terdapat beberapa struktur seperti tinggian, antiklinal, dan graben yang cukup tebal terisi batuan sedimen yang secara sistem petroleum cukup menarik untuk proses terbentuknya hidrokarbon.

KESIMPULAN

Hasil anomali residual dan regional gayaberas menunjukkan bahwa pola kelurusan mempunyai arah relatif Baratdaya-Tenggara, pola ini kemungkinan diakibatkan karena aktifitas tektonik lempeng benua Australia yang bergerak relatif kearah Timurlaut, yang selanjutnya bertumbukan dengan lempeng kerak smudera Pasifik yang bergerak relatif kearah Baratdaya, sehingga menimbulkan struktur pola tinggian dan sub-cekungan dengan arah relatif Baratlaut-Tenggara. Hasil filter *polinomial* setelah dikorelasikan dengan anomali regional menunjukkan bahwa orde yang paling sesuai yaitu orde 6. Hasil analisis spektral memperlihatkan bahwa kedalaman batuan dasar (*basement*) daerah penelitian diperkirakan sekitar 3.38 Km. Jumlah sub-cekungan sedimen yang dapat didelineasi berdasarkan analisis data gayaberas ini adalah sebanyak 6 sub-cekungan sedimen. Batuan dasar yang mengalasi daerah penelitian yaitu berupa batuan kerak benua Australia yang telah mengalami metamorfisme dengan nilai rapat massa sekitar 2.8 gr/cc. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pada daerah penelitian terdapat beberapa deposenter cekungan sedimen yang cukup tebal dan juga struktur patahan serta antiklinal yang menarik dari sisi petroleum sistem untuk dieksplorasi lebih lanjut.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut di sekitar sub-cekungan yang telah didelineasi dengan melakukan penelitian metode geofisika yang lebih detail seperti metoda Seismik 3D, selain itu perlu adanya survei geokimia mikroseeepage dan bathimetri detail untuk mengetahui indikasi keberadaan hidrokarbon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan

Geologi Kelautan, Koordinator Kelompok Kerja Migas Bapak Riza Rahardiawan terima kasih atas fasilitas komputer dan software pengolah data, rekan rekan geologi dan geofisika di Puslitbang Geologi Kelautan Bapak Dida Kusnida, Bapak Lukman Arifin dan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu terima kasih atas diskusi dan masukannya.

DAFTAR ACUAN

- Abokhodair, A.A., 2010. *Constrained polynomial fitting for recovery of regional gravity*. Geophysical Prospecting, vol. 59, pp. 749–759
- Bachri, S., 2014. Kontrol Tektonik dan Struktur Geologi Terhadap Keterdapatannya Hidrokarbon di Daerah Papua, *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral*, Vol.15, No.3 Agustus Tahun 2014, Hal: 133-141
- Blakely, R. J., 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Darman, H., & Sidi, F.H., 2000. An Outline of the geology of Indonesia, *Indonesian Association Geology*, 192h.
- Decker, J., Bergman, S.C., Teas, P.A., Baillie, P., Orange, D.L., 2009. Constraints on the Tectonic Evolution of the Bird's Head, West Papua, Indonesia. *Proceedings Indonesian Petroleum Assotiation Thirty-Third Annual Convention and Exhibition*.
- Dow, D.B., and Sukanto, R., 1984. Western Irian Jaya: The end product of oblique plate convergence in the late tertiary : *Tectonophysics*, vol. 106 : 109 – 139.
- Dewey, J.F. and Bird, J.M., 1970. Mountain belt and the new global tectonic: *Journal of geophysical Research*, vol. 75 : 2625 – 2647.
- Ekinci, Y.L., and Yigitbas, E., 2015. Interpretation of gravity anomalies to delineate some structural features of Biga and Gelibolu peninsulas, and their surroundings (north-west Turkey), *Geodinamica Acta*, 27:4, 300-319, DOI: 10.1080/09853111.2015.1046354
- Hamilton, W., 1974. *Map of Sedimentary Basin of The Indonesian Region*, Prepared on behalf of the Ministry of Mine, Government of Indonesia and The Agency for International Development, U.S. Departement of State in Cooperation with The Geological Survey of Indonesia.

- Hamilton, W., 1979. *Tectonic of the Indonesia region*. Geol. Survey Professional Paper 1078, 345p.
- Kebede, H., Alemu, A., and Fisseha, S., 2020. *Upward Continuation and Polynomial Trend Analysis as a Gravity Data Decomposition, case study at Zaway-Shala Basin, Central Main Ethiopian Rift*. Heliyon, vol.6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.203292>.
- Muhajirin, Ismail, N., dan Bukhari, 2020. Perhitungan Anomali Residual dan Regional Data Metode Gravitasi Dengan Filter Polinomial Menggunakan Microsoft Excel. *J. Aceh Phys. Soc.*, Vol. 9, No. 2 pp.37-41
- Okiwelu, A.A., Osazua, B.I., and Lawal, K.M., 2010. Isolation of Residuals Determined from Polynomial Fitting to Gravity Data of Calabar Flank, Southeastern Nigeria. *The Pacific Journal of Science and Technology*, Volume 11. Number 1, pp. 576-585
- Pieters, P.E., Pigram, C.J., Trail, D.S., Dow, D.B., Ratman, N., and Sukanto, R., 1983. The Stratigraphy of Western Irian Jaya, *Proceedings Indonesian Petroleum Assotiation Twelfth Annual Convention*.
- Setiadi, I., Setyanta, B., Widijono, B.S. 2010. Delinasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Berdasarkan Analisa Data Gayaberat. *Jurnal Sumber Daya Geologi* Vol. 20 No. 2: 93-106.
- Situmorang, H., Kesumajana, A.H., dan Subroto, E.A., 2018. Studi Geokimia Batuan Induk dan Pemodelan Cekungan Blok Berau Barat Cekungan Berau Papua Barat. *Bulletin of Geology Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung*, Vol.2, No.2.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., and Keys. D. A., 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi, 2019. *Anomali Freeair dan kedalaman laut wilayah Papua Barat*, diakses pada tanggal 28 Agustus 2019 pukul 10.07 WIB.
- Zahra, H.S. and Oweis, H.T., 2016. Application of high-pass filtering techniques on gravity and magnetic data of the eastern Qattara Depression area, Western Desert, Egypt. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 5 (1), 106 -123. <http://doi.org/10.1016/j.nrjag.2016.01.005>
- Zang, M.H., Qiao, J.H., Zao, G.X., and Lan, X.Y., 2019. Regional Gravity Survey and Application in Oil and Gas Exploration in China. *China Geology*, vol.3, 380 – 390p.

