

## DELINEASI SUB-CEKUNGAN SORONG BERDASARKAN ANOMALI GAYABERAT

Ahmad Zaenudin\*, Ilham Dani, Niar Amalia

Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumatri Brojonegoro No. 1, Lampung 35145, Indonesia.

\*Corresponding author. Email: [ahmad.zaenudin@eng.unila.ac.id](mailto:ahmad.zaenudin@eng.unila.ac.id)

Manuscript received: 23 October 2019; Received in revised form: 4 February 2020; Accepted: 6 February 2020

### Abstrak

Delineasi Sub-Cekungan Sorong diinterpretasi melalui pola anomali gayaberat, pola patahan, bukaan (*rifting*), tinggian dari anomali residual, analisis *Second Vertical Derivative* (SVD), pemodelan 2D dan *structural noses*. Metode pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini ialah dengan melakukan koreksi gayaberat hingga didapatkan Anomali Bouguer Lengkap, analisis spektrum untuk mendapatkan estimasi kedalaman regional dan residual serta lebar jendela penapisan, pemisahan anomali regional dan residual dengan metode *moving average*, analisis SVD, interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa pola Anomali Bouguer Lengkap daerah penelitian pada bagian Selatan didominasi oleh anomali rendah dengan nilai 58 hingga 76 mGal yang diakibatkan oleh adanya formasi batuan sedimen. Sedangkan anomali tinggi terdapat di bagian Utara dengan nilai 88 hingga 106 mGal yang merupakan formasi batuan beku. Kedalaman residual sekitar 2,77 km di bawah permukaan dengan nilai anomali -9 hingga 10 mGal merupakan batuan sedimen dangkal. Sedangkan kedalaman regional sekitar 10.63 km di bawah permukaan dengan nilai anomali 60 hingga 100 mGal diinterpretasikan sebagai batuan dasar. Interpretasi kualitatif dan kuantitatif menunjukkan bahwa terdapat satu sub-cekungan pada daerah penelitian yang terletak pada Arar *nose*. Arah migrasi hidrokarbon berasal dari arah Barat ke Timur mengikuti struktur patahan. Berdasarkan penelitian ini, diasumsikan bahwa sesar utama Sorong tidak hanya berupa jenis sesar geser namun juga merupakan jenis sesar normal.

**Kata Kunci:** Analisis spektrum; Gayaberat; Migrasi hidrokarbon; *Second Vertical Derivative*; Sub-Cekungan Sorong.

### Abstract

Sorong Sub-Basin Delineation is interpreted through gravity anomaly patterns, fracture patterns, rifting, height of residual anomalies, Second Vertical Derivative (SVD) analysis, 2D modeling and structural noses. The data processing method used in this study is to perform gravity correction to obtain a complete Bouguer Anomaly, spectrum analysis to obtain regional and residual depth estimates and width of the screening window, regional and residual anomaly separations with moving average methods, SVD analysis, qualitative interpretation and quantitative. Processing results show that the Complete Bouguer Anomaly pattern in the southern part of the study area is dominated by low anomalies with values of 58 to 76 mGal caused by sedimentary rock formations. While the high anomaly is found in the north with values of 88 to 106 mGal which is igneous rock formations. The residual depth of about 2.77 km below the surface with anomaly values of -9 to 10 mGal is shallow sedimentary rock. While the regional depth of about 10.63 km below the surface with an anomaly value of 60 to 100 mGal is interpreted as bedrock. Qualitative and quantitative interpretations show that there is a sub-basin in the study area located on Arar nose. The direction of hydrocarbon migration originates

from West to East following the fault structure. Based on this research, it is assumed that the main Sorong fault is not only a shear fault type but also a normal fault type.

**Keywords:** Gravity; Migration of hydrocarbon; Spectrum analysis; Second Vertical Derivative; Sorong Sub-Basin.

## Pendahuluan

Informasi mengenai karakter reservoir secara kualitatif dan kuantitatif mutlak diperlukan dalam eksplorasi hidrokarbon. Pengetahuan tentang karakter reservoir dalam hal geometri, bodi dan aspek fisis reservoir yang berkembang dapat membantu dalam menentukan dan mengembangkan wilayah yang memiliki prospek minyak dan gas (Fanchi, 2002). Penggambaran evolusi struktur yang mendeskripsikan karakter reservoir secara kualitatif berdasarkan data geologi dan respon dinamika telah dilakukan di Indonesia wilayah Timur, termasuk daerah Sub-Cekungan Sorong (Satyana, 2001a). Penerapan metode gayaberat untuk mendelineasi Sub-Cekungan Sorong bertujuan untuk mengkonfirmasi bahwa sub-cekungan ini merupakan bagian dari Arar *nose* dengan batas-batas sub-cekungan yang dapat teridentifikasi secara jelas.

Metode gayaberat adalah metode geofisika non-destruktif yang telah digunakan secara luas untuk mengukur percepatan gravitasi bumi yang dipengaruhi oleh perbedaan densitas batuan di bawah permukaan. Metode ini sangat berguna dalam eksplorasi hidrokarbon (Nabighian dkk., 2005), dan mineral (Hoover dkk., 1991; Dransfield, 2007) dalam hal kemampuannya menentukan ketebalan material *overburden* yang membebani *bedrock* atau volume cadangan sedimen. Metode ini juga digunakan secara populer untuk mengeksplorasi sesar (Zongjin dkk., 2006), cekungan (Hajian dkk., 2012), lembah sungai purba (Lyatsky dan Dietrich, 1998) dan cadangan geotermal (Mariita, 2010).

## Tatanan Geologi

Sub-Cekungan Sorong bagian dari Cekungan Salawati yang terletak pada kompleks tektonik daerah Indonesia bagian Timur pada bagian kepala burung yang dipengaruhi oleh tiga lempeng besar yaitu: Lempeng Benua Eurasia, Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. Menurut Satyana dan Herawati (2011), Saputra dkk. (2014) dan Satyana dkk. (2002), elemen – elemen Cekungan Salawati secara umum didominasi oleh struktur patahan dan lipatan yang berarah Timur – Barat. Hampir seluruh patahan berkembang sebagai sesar normal ekstensional seperti sesar geser Sorong di bagian Utara. Evolusi tektonik regional di wilayah kepala burung berlangsung sejak awal Paleozoikum.

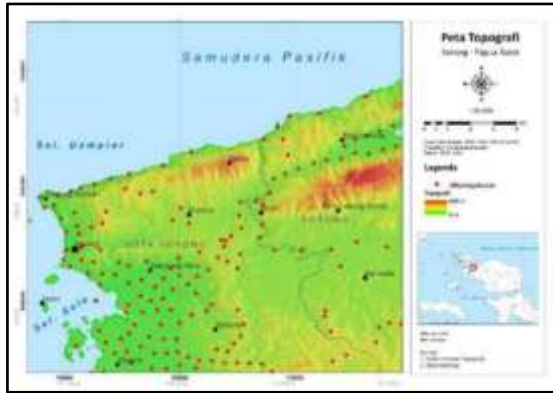
Urutan stratigrafi Cekungan Salawati dari tua ke muda dibagi menjadi 10 formasi yaitu Late Paleozic Kemun, formasi Aifam, Kembelengan, Waripi, Faumai, Sirga, Kais, Klasafet, Klasaman dan Sele (Satyana dkk., 2002). Sub-Cekungan Sorong termasuk dalam Formasi Klasaman (TQk) yang berumur Pliosen. Formasi ini didominasi oleh sedimen klastik yang terdiri dari batu lempung dengan sisipan tipis batulanau dan batugamping (Ovinda dkk., 2018).

## Metode Penelitian

### Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder hasil pengukuran gayaberat di Kota Sorong dan sekitarnya yang dilakukan oleh Badan Geologi Kementerian ESDM pada tahun 2016 dengan luas area 30 x 30 Km. Data tersebut berasal dari 209 titik pengukuran menggunakan alat gravimeter Scintrex CG-5 dengan rentang nilai anomali

berkisar dari 58 - 106 mGal dengan kontur interval 2 mGal. Titik-titik pengukuran data gayaberat tersebut tersebar secara sporadis dengan penitikberatan di daerah Barat dan Selatan yang merupakan daerah Sub-Cekungan Sorong (Gambar 1).



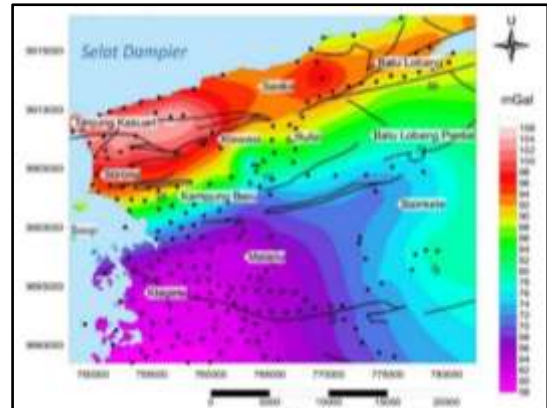
**Gambar 1.** Peta topografi dan titik pengukuran daerah penelitian

### Pengolahan Data Anomali Bouguer Lengkap

Untuk mendapatkan Anomali Bouguer Lengkap (ABL), beberapa perhitungan dan koreksi-koreksi gayaberat dilakukan menggunakan perangkat lunak *Ms. Excell*. Koreksi-koreksi tersebut yaitu koreksi pasang surut, *drift*, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer dan *Terrain*. Setelah seluruh koreksi gayaberat dilakukan, hasil perhitungannya kemudian di-grid dan dijadikan peta kontur menggunakan perangkat lunak *Surfer* sehingga diperoleh peta Anomali Bouguer Lengkap seperti pada gambar 2.

Berdasarkan gambar tersebut, pola anomali dapat digolongkan menjadi tiga kelompok yaitu anomali rendah di bagian Selatan - Barat Daya dengan rentang nilai 58-76 mGal, anomali sedang membentang dari Barat ke Timur dengan rentang nilai 78 - 86 mGal dan anomali tinggi di bagian Utara dengan rentang nilai 88 - 106 mGal. Pola anomali yang dihasilkan memiliki kemiripan dengan peta geologi daerah Sorong berupa adanya zona sesar Sorong di Utara yang memisahkan Lempeng

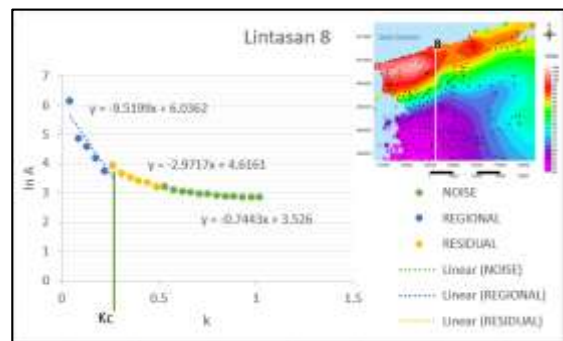
Australia di Selatan dan Lempeng Pasifik di Utara.



**Gambar 2.** Peta anomali Bouguer Lengkap (ABL) daerah penelitian

### Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk mendapatkan estimasi kedalaman anomali gayaberat dan penentuan jendela (*window*) yang akan digunakan dalam proses penapisan (*filtering*) untuk memisahkan anomali regional dan residual. Pada penelitian ini, analisis spektrum dilakukan dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) pada 10 lintasan dengan arah vertikal dan horizontal yang melewati titik-titik pengukuran yang dianggap mewakili daerah penelitian.



**Gambar 3.** Hasil FFT lintasan 8

Gambar 3 memperlihatkan hasil FFT salah satu lintasan yang memotong semua nilai ABL. Grafik arah vertikal (gradien -9,519) menunjukkan kedalaman bidang regional sebesar 9,52 km yang dapat diasumsikan sebagai batas kedalaman bidang kerak dengan batuan dasar (*basement*).

Sedangkan, kedalaman bidang residual memiliki nilai sebesar 2,97 km diasumsikan sebagai bidang batas antara batuan dasar dengan sedimen.

FFT dilakukan menggunakan perangkat lunak *Numeri* untuk mendapatkan nilai riil, imajiner, frekuensi dan amplitudo setiap lintasan sehingga diperoleh kedalaman bidang diskontinuitas dalam (anomali regional) rata-rata 10,63 Km dan bidang diskontinuitas dangkal (anomali residual) rata-rata 2,77 Km. Penentuan lebar jendela optimum berdasarkan analisis spektrum dengan spasi *grid* 3 Km menghasilkan lebar jendela rata-rata adalah 9,09 sehingga jendela yang digunakan dalam proses proses *filtering* menggunakan metode *moving average* adalah 27 x 27.

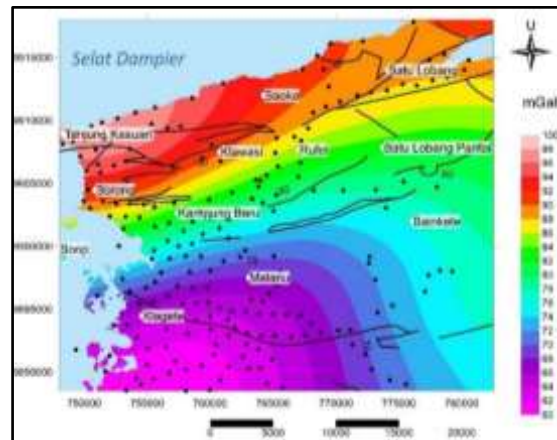
#### *Pemisahan Anomali Regional dan Residual*

Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan dengan proses penapisan *moving average* (mirip seperti *low pass filter*) yang menghasilkan frekuensi rendah dari anomali Bouguer yang mencirikan kedalaman yang lebih dalam (anomali regional) seperti pada gambar 4. Rentang nilai pola anomali regional yaitu 60 - 100 mGal dimana anomali tinggi terdapat di bagian Utara sedangkan anomali rendah berkembang di bagian Selatan. Perbedaan ini diduga akibat adanya sesar utama Sorong karena membentuk pola yang searah dengan struktur dominan sesar (garis-garis hitam).

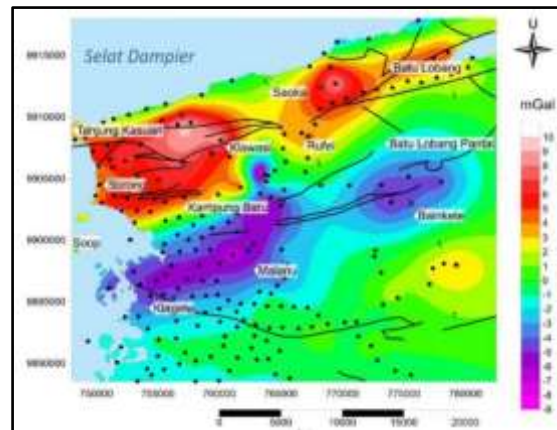
Anomali residual merupakan selisih dari anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Peta anomali residual (Gambar 5) memiliki pola yang lebih kompleks dengan panjang gelombang yang lebih pendek dan frekuensi yang lebih tinggi, menandakan kondisi lapisan batuan yang lebih dangkal.

Pola anomali residual memiliki nilai -9 hingga 10 mGal, anomali tinggi terdiri dari dua spot besar di bagian Utara (2 - 10

mGal, warna merah-putih) dan anomali rendah terdapat di bagian tengah daerah penelitian (-9 sampai -2 mGal, warna biru-ungu).



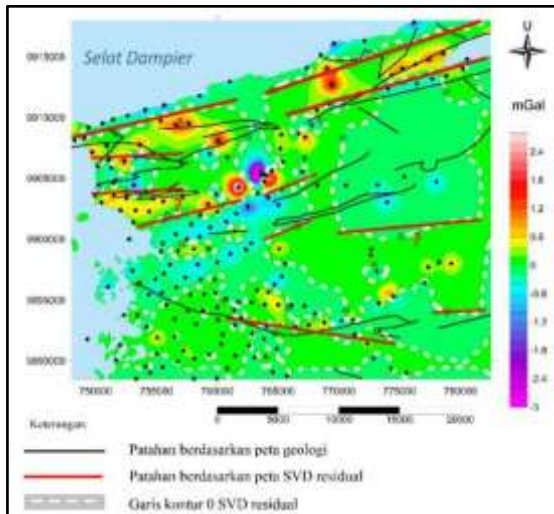
**Gambar 4.** Peta anomali regional.



**Gambar 5.** Peta anomali residual.

#### *Analisis Second Vertical Derivative (SVD)*

Analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) bertujuan untuk mengetahui kecenderungan struktur secara lateral dari anomali residual (Klinge dkk., 1991). Penentuan patahan SVD ini terindikasi dari kontras anomali positif dan negatif yang saling berhimpit (Gambar 6). Berdasarkan hasil SVD daerah penelitian, dapat diasumsikan bahwa patahan membentuk pola sub-cekungan berupa patahan normal dengan arah relatif Barat-Timur. Garis merah adalah perkiraan sesar berdasarkan data SVD yang memiliki kemiripan arah dengan interpretasi geologi (garis hitam).

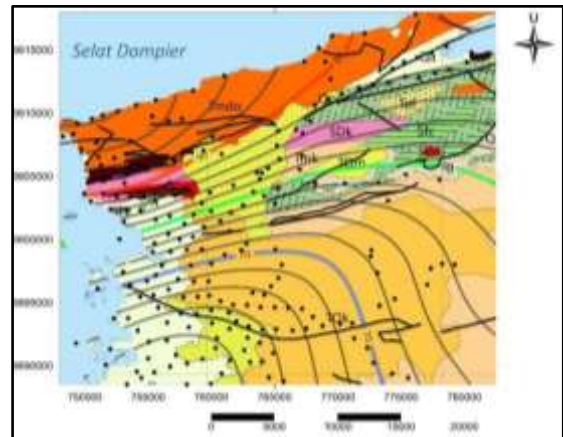


**Gambar 6.** Analisa kecenderungan struktur menggunakan SVD (garis merah) yang dikomparasi dengan struktur geologi (garis hitam).

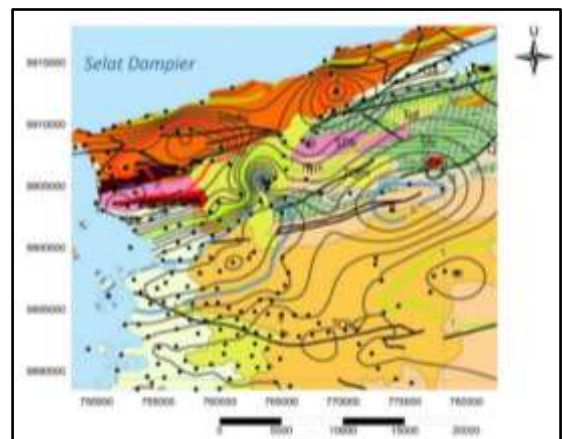
## Hasil dan Pembahasan

### *Overlay Peta Geologi dengan Anomali Regional dan Residual*

Menurut peta geologi daerah Sorong yang di-*overlay* dengan peta anomali regional (Gambar 7), terdapat kemiripan pola kontur anomali dengan formasi batuan Gunung Api Dore (Tmdo) di Utara yang memiliki litologi lava andesitan sampai basalan, tufa dan batuan klasika gunung api dengan densitas 2,73 gr/cc. Anomali tinggi ini juga berkaitan dengan keberadaan sesar utama Sorong. Kontur anomali rendah di bagian Selatan berasosiasi dengan formasi Klasaman (TQk) yang memiliki litologi serpih, batulumpur, batupasir dan lempung dengan densitas 2,35 gr/cc. Sedangkan kontur anomali sedang yang berada diantaranya merupakan kompleks formasi yang lebih muda dari formasi Klasaman.

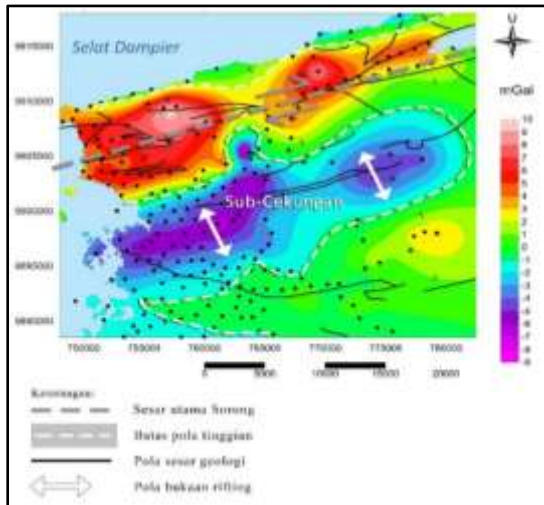


**Gambar 7.** *Overlay* peta anomali regional (garis kontur) dengan peta geologi.



**Gambar 8.** *Overlay* peta anomali residual (garis kontur) dengan peta geologi

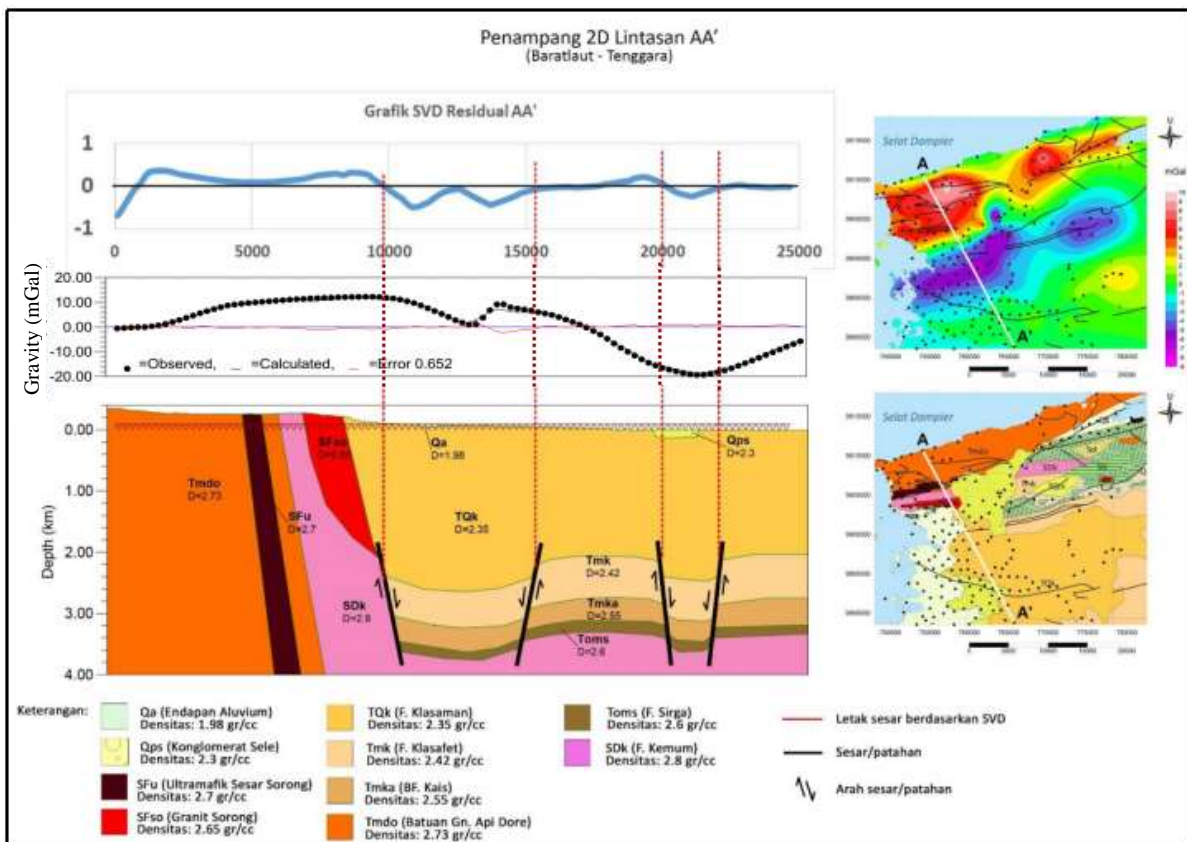
Hasil overlay antara peta geologi dengan kontur peta anomali residual menunjukkan pola yang berbeda (Gambar 8). Adanya anomali tinggi menunjukkan bahwa nilai densitas batuan di daerah tersebut tinggi (*basement high*) yang menjadi batas dari sub-cekungan. Sedangkan adanya anomali rendah menandakan bahwa nilai densitas batuan di daerah tersebut juga rendah yang diakibatkan oleh adanya pengendapan (sedimen) yang menjadi tanda keberadaan sub-cekungan. Penentuan sub-cekungan juga ini juga didukung oleh adanya pola bukaan (*rifting*) pada peta anomali residualnya (Gambar 9). Informasi mengenai pola rifting ini penting diketahui sebagai dasar untuk mendelineasi pola Sub-Cekungan Sorong.



**Gambar 9.** Pola bukaan (*rifting*) yang menggambarkan keberadaan Sub-Cekungan Sorong.

*Rekonstruksi Penampang Bawah Permukaan Sub-Cekungan Sorong dari Anomali Residual*

Penampang geologi direkonstruksi menggunakan pemodelan ke belakang dari data anomali gayaberat yang menggambarkan sebaran densitas di bawah permukaan dibuat berdasarkan sebuah garis penampang AA' yang melewati Sub-Cekungan Sorong seperti pada gambar 10. Penampang ini membentang dengan arah Barat Laut - Tenggara dengan panjang lintasan sekitar 24 km dengan koordinat titik A 754069; 9910602, dan A' 76568; 9888856. Pada gambar tersebut terlihat data *observed* (titik-titik) dan *calculated* (garis hitam) hampir berhimpitan sepenuhnya dengan *error rms* sebesar 0,652 yang menandakan tingkat akurasi yang cukup baik.



**Gambar 10.** Rekonstruksi penampang bawah permukaan berdasarkan data gayaberat pada lintasan AA' yang mendelineasi Sub-Cekungan Sorong. Kurva data *observed* (titik-titik) berhimpit dengan data *calculated* (garis hitam).

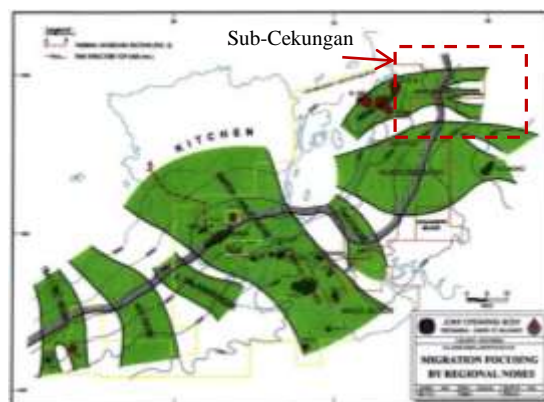
Berdasarkan penampang yang dibuat berdasarkan korelasi peta geologi Sorong, diduga adanya jenis kontak lapisan *disconformity* pada formasi TQk, formasi Tmk, formasi Tmka, dan formasi Toms yang telah tererosi dan di atasnya diendapkan lapisan lain berusia lebih muda. Pada penampang residual lintasan ini terdapat beberapa patahan dangkal yang relatif sama berdasarkan analisis SVD. Dimana dari patahan - patahan tersebut akhirnya membentuk sebuah pola sub-cekungan dimana terdapat pola sinklin dan antiklin di dalamnya.

### *Migrasi Hidrokarbon*

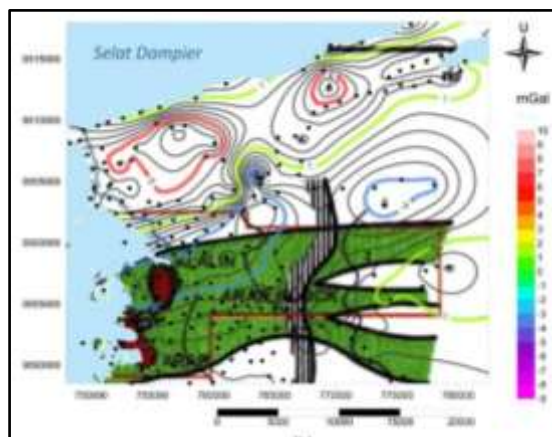
Menurut Satyana dkk. (1999), fokus migrasi dalam Cekungan Salawati terdiri dari 7 *noses* dari Barat ke Timur yaitu TBA-TBC, Koi, S. Salawati, Matoa-Walio, Moi, Klamono dan Arar (Gambar 11). Jika dilihat dari kontur anomali residual, keberadaan Sub-Cekungan Sorong masih termasuk ke dalam Arar *nose* seperti yang ditunjukkan pada gambar 12. Meskipun letak sub-cekungan tidak begitu tepat berada di dalam luasan Arar *nose*. Kemungkinan hal ini disebabkan karena titik pengukuran pada bagian Timur daerah sub-cekungan yang terlalu sedikit sehingga informasi yang didapat juga sedikit sehingga menyebabkan kurang akuratnya letak sub-cekungan pada Arar *nose*. Pada Arar *nose* ini, terdapat lapangan hidrokarbon Klalin dan Arar yang pernah dieksplorasi dan terdapat kandungan gas bumi (Satyana, 2001b; Satyana dkk., 1999).

Arah migrasi hidrokarbon dari *kitchen* yang terletak di Pulau Salawati menyebar ke berbagai arah dari lokasi *nose-nose* di Cekungan Salawati (Satyana dkk., 1999). Begitu juga dengan Arar *block* pada Sub-Cekungan Sorong yang terletak di bagian Timur Laut Cekungan Salawati, dimana arah migrasinya relatif berarah Barat menuju Timur. Jika dilihat dari kontur residualnya, maka arah migrasi

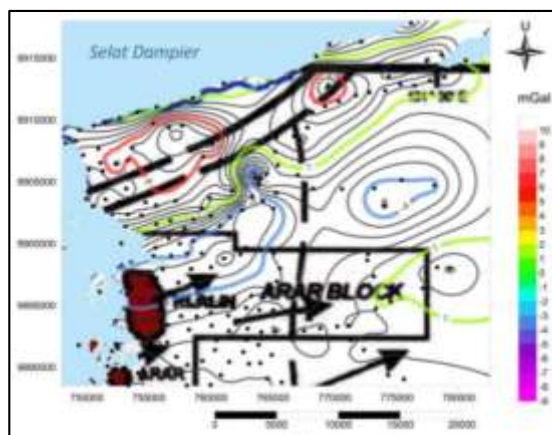
hidrokarbon bergerak di sepanjang anomali rendah yang berkaitan dengan kedalaman sedimen (Gambar 13) di lokasi penelitian.



**Gambar 11.** Lokasi Sub-Cekungan Sorong dalam sistem migrasi Cekungan Salawati yang terdiri dari 7 *noses* (area berwarna hijau).



**Gambar 12.** Fokus migrasi di Sub-Cekungan Sorong (area berwarna hijau) yang di-overlay dengan kontur anomali residual (garis kontur).



**Gambar 13.** Delineasi arah migrasi di Sub-Cekungan Sorong (tanda panah) yang di-overlay dengan peta anomali residual (garis kontur)

## Kesimpulan.

Sub-Cekungan Sorong berkaitan dengan nilai anomali residual Bouguer rendah/negatif, memanjang dari Barat ke Timur. Sub-cekungan masih termasuk ke dalam Arar nose. Arah migrasi hidrokarbon dari kitchen yang terletak di Pulau Salawati menyebar ke berbagai arah dari lokasi nose-nose di Cekungan Salawati, termasuk Sub-Cekungan Sorong yang berada di Arar block dimana arah migrasinya relatif berarah Barat menuju Timur. Jika dilihat dari kontur residualnya, maka arah migrasi hidrokarbon bergerak sepanjang anomali rendah ini.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Badan Geologi Kementerian ESDM yang telah memberikan akses data untuk diinterpretasi dan disajikan dalam bentuk paper ini.

## Daftar Pustaka

- Dransfield, M. 2007. *Airborne gravity gradiometry in the search for mineral deposits*. In: Exploration Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, pp. 341-354.
- Fanchi, J.R. 2002. *Shared Earth Modeling*. Colorado: Butterworth-Heinemann.
- Hajian, A., Zomorrodian, H., Styles, P., Greco, F. and Lucas, C. 2012. *Depth estimation of cavities from microgravity data using a new approach: the local linear model tree (LOLIMOT)*. Near Surface Geophysics. 10 (3), pp. 221-234.
- Hoover, D.B., Grauch, V.J.S., Pitkin, J.A., Krohn, D. and Pierce, H.A. 1991. *Getchell trend airborne geophysics - an integrated airborne along the Gretchell trend of gold deposits, North-Central Nevada: in geology and ore deposits of the grat basin*. In Raines, G.L., Lisk, R.E., Schafer, R.W., and Wilkinson, W.H., eds., Geological Society of Nevada 2. pp. 739-758.
- Klinge, E.E., Marson, I. and Kahle, H.G. 1991. *Automatic interpretation of gravity gradiometric data in two dimensions (vertical gradients)*. Geophysical Prospecting 39, pp. 407-434.
- Lyatsky, H.V. and Dietrich, J.R. 1998. *Mapping Precambrian basement structure beneath the Williston Basin in Canada: insights from horizontal-gradient vector processing of regional gravity and magnetic data*. Canadian Journal of Exploration Geophysics 34, pp. 40-48.
- Nabighian, M.N., Ander, M.E., Grauch, V.J.S., Hansen, R.O., LaFehr, T.R., Li, Y., Pearson, W.C., Peirce, J.W., Philip J.D. and Ruder, M.E. 2005. *Historical development of the gravity method in exploration*. Geophysics. 70 (6), pp. 63-89.
- Mariita, N.O. 2010. *Strength and weaknesses of gravity and magnetics as exploration tools for geothermal energy*. In: Short Course on Exploration for Geothermal Resources, Kenya, pp. 1-8.
- Ovinda, Sunardi, E., Hamdani, A.H., Burhannudinnur, M. and Triwerdhana, A. 2018. *Facies and sequence stratigraphy analyses of Klasaman formation in the "Xwell", Northern Salawati basin, Papua, Indonesia*. Scientific Research Publishing, Open Jurnal of Geology 8, pp. 499-513.
- Saputra, A., Hall, R. and White, L.T. 2014. *Development of the Sorong fault zone north of misool Eastern Indonesia*. In: Indonesian Petroleum Association. May 2014, IPA14-G-086, pp. 1-14.
- Satyana, A.H., Salim, Y. and Demarest, J.M. 1999. *Significance of focused hydrocarbon migration in the*



- Salawati basin : controls of faults and structural noses.* In: Indonesian Petroleum Association. October 1999. IPA99-G-107, pp. 1-18.
- Satyana, A.H. 2001a. *Dynamic Response of the Salawati Basin, Eastern Indonesia to the Sorong Fault Tectonism : Example of Inter-Plate Deformation.* In: Indonesian Association Of Geologists (IAGI) - Geosea. 10-12 September 2001. Yogyakarta, pp.1-8.
- Satyana, A.H. 2001b. *Identifying new petroleum system of the Salawati basin, West Papua : exploration opportunities in mature basin.* Lomba Karya Tulis EP II Pertamina.
- Satyana, A.H., Purwaningsih, M.E.M. and NGantung, E.C.P. 2002. *Evolution of the Salawati structures, eastern Indonesia : A frontal Sorong fault deformation.* In: Indonesian Association of Geologists. 30 September - 2 October 2002, Surabaya, pp. 1-19.
- Satyana, A.H. and Herawati, N. 2011. *Sorong fault tectonism and detachment of Salawati island: implications for petroleum generation and migration in Salawati basin, bird's head of Papua.* In: Indonesian Petroleum Association. May 2011. IPA11-G-183 pp. 1-21.
- Zongjin, M., Gaoxianglin and Zhengfan, S. 2006. *Analysis and tectonic interpretation to the horizontal-gradient map calculated from Bouguer gravity data in the China mainland.* Chinese Journal of Geophysics 49 (1), 106-11.