



Delineasi Subcekungan dan Interpretasi Geologi Bawah Permukaan Cekungan Bangka Menggunakan High-Pass dan Low-Pass Filter serta Pemodelan 2D dan 3D Berdasarkan Analisis Data Gayaberat

Sub-Basin Delineation and Subsurface Geological Interpretation of the Bangka Basin Using High-Pass and Low-Pass Filters with 2D and 3D Modelling Based on Gravity Data Analysis

Muhammad Raksa Resturullo¹, Imam Setiadi², dan Purwaditya Nugraha¹

¹Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Lampung Selatan, 35365

²Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jalan Dr. Djunjunan, No. 236, Bandung

Email : raksamuhammad602@gmail.com

Submit: 16 May 2023, Revised: 22 February 2026, Approved: 26 Februari 2026, Online: 28 February 2026

DOI: 10.33332/jgsm.geologi.v27i1.12891

Abstrak- Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki potensi minyak dan gas bumi yang cukup besar di dunia. Hal ini dibuktikan dari hasil penelitian atlas cekungan sedimen yang berhasil memetakan cekungan sedimen berjumlah 128 cekungan. Berdasarkan jumlah tersebut, perlu dilakukan studi bawah permukaan untuk keperluan eksplorasi lebih lanjut. Salah satu di antaranya adalah pada Cekungan Bangka. Penelitian ini menggunakan data satelit Topex, dengan tujuan mendelineasi subcekungan yang ada di Cekungan Bangka. Pada analisis data gayaberat, dilakukan teknik analisis *spectral* untuk menerapkan *high-pass filter*, *low-pass filter*, *theta filter*, *forward modelling*, dan *inverse modelling*. Hasil analisis *spectral* menunjukkan bahwa tebal batuan sedimen rata-rata di daerah penelitian adalah sekitar 2,45 km, sedangkan subcekungan yang dapat didelineasi adalah 7 (tujuh) subcekungan sedimen. Lintasan yang digunakan pada *forward modelling* berjumlah dua lintasan, yaitu lintasan A – A' dan lintasan B – B'. Ketebalan sedimen maksimum pada kedua lintasan tersebut yaitu 3,47 km dan 3,78 km. Ketebalan sedimen rata-rata pada kedua lintasan tersebut adalah 2,46 km dan 2,48 km. Hasil *inverse modelling* berupa model 3D dan memiliki sebaran densitas 2,25 – 2,8 gr/cc serta kedalaman 10 km. Selain itu, *inverse modelling* menampilkan model 2D yang digunakan untuk melakukan perbandingan dengan hasil *forward modelling* pada lintasan yang sama. Perbedaan ketebalan sedimen maksimum sebesar 0,23 – 0,32 km dan ketebalan rata-rata sebesar 0,07 – 0,14 km.

Kata Kunci: *gayaberat, high-pass, theta filter, forward modelling, inverse modelling, Cekungan Bangka.*

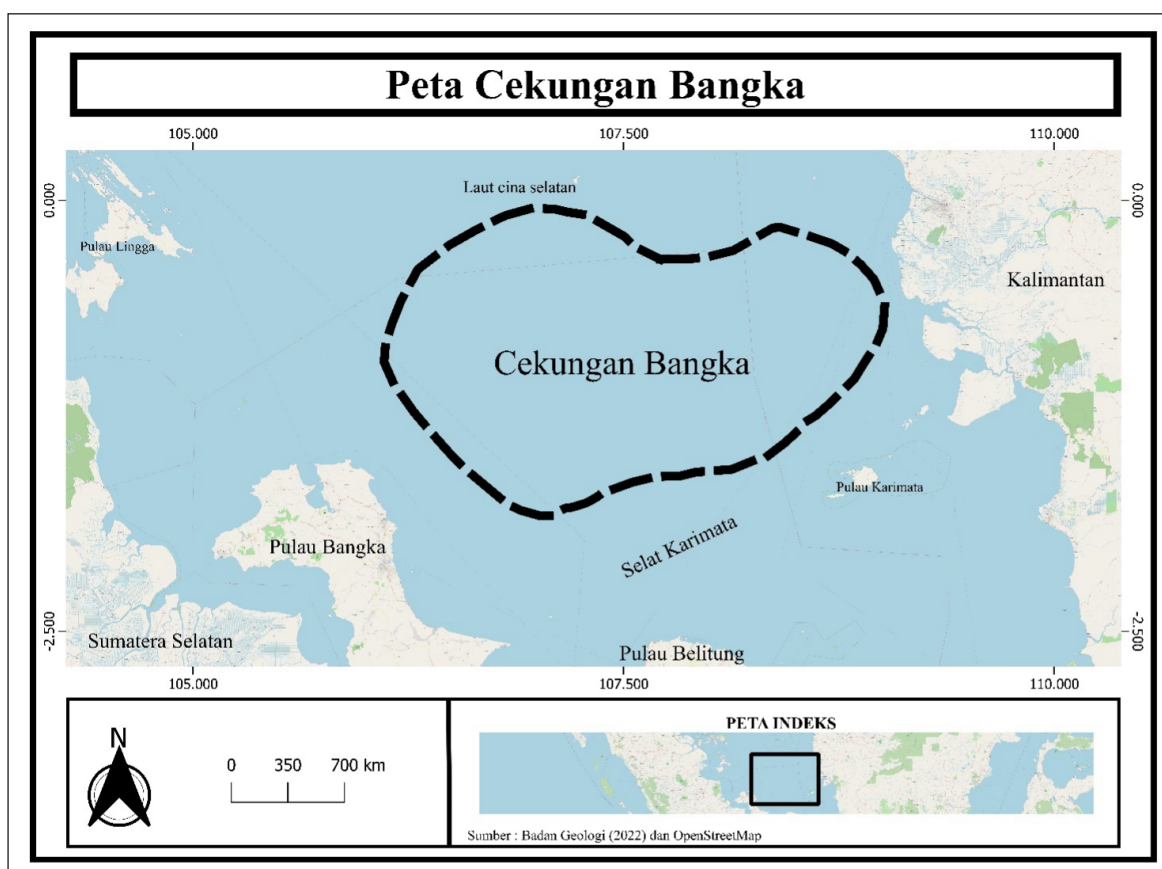
Abstract- Indonesia is one of the countries that has significant oil and gas potential in the world. This is evidenced by the results of an atlas study of sedimentary basins which mapped 128 sedimentary basins. Based on the large number of sedimentary basins in Indonesia, it is necessary to investigate these sedimentary basins for further exploration. One of these basins is the Bangka Basin. This study uses Topex satellite data, with the aim of delineating sub-basins in the Bangka Basin. Gravity data analysis was carried out using spectral analysis techniques, high-pass and low-pass filters, theta filter, forward modelling, and inverse modelling. The results of the spectral analysis show that the average thickness of sedimentary rocks in the study area is around 2.45 km, while the sub-basins that can be delineated are 7 (seven) sedimentary sub-basins. Two cross sections were used in forward modelling, section A - A' and section B - B'. The maximum sediment thickness on the two sections is 3.47 km and 3.78 km. The average sediment thickness on the two sections is 2.46 km and 2.48 km. The results of inverse modelling are presented as 3D models and have a density distribution of 2.25 – 2.8 gr/cc and a depth of 10 km. In addition, inverse modelling presents the 2D model for comparison with the forward modelling results on the same trajectory. The maximum difference in sediment thickness is 0.23 – 0.32 km and the average thickness is 0.07 – 0.14 km.

Keywords: *gravity, high-pass, theta filter, forward modelling, inverse modelling, Bangka Basin.*

PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya alam yang besar, salah satunya yaitu minyak dan gas. Berdasarkan penelitian atlas cekungan yang berhasil memetakan cekungan sedimen berdasarkan data geofisika dan geologi, yaitu terdapat sekitar 128 cekungan sedimen yang memiliki potensi secara ekonomi (KESDM, 2024). Cekungan sedimen berpotensi menjadi tempat terendapkannya batuan induk yang dapat mencapai kematangan dengan suhu dan tekanan tertentu (Boggs, 2006).

Cekungan Bangka merupakan salah satu dari 128 cekungan sedimen di Indonesia. Berdasarkan Peta Cekungan Sedimen Indonesia (KESDM, 2024), Cekungan Bangka termasuk ke dalam cekungan dengan prospek hidrokarbon. Namun, mengenai kondisi Cekungan Bangka belum banyak publikasi yang diterbitkan. Dengan demikian perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk memahami Cekungan Bangka. Secara geografis, Cekungan Bangka terletak di antara Pulau Sumatera dan Pulau Kalimantan, pada koordinat 107° - 111° BT dan 0° - 2° LS dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian di Cekungan Bangka

Cekungan ini memiliki geometri memanjang dengan arah barat-timur. Sebelah utara dibatasi oleh Laut Natuna, sebelah barat berbatasan dengan Pulau Sumatera, sebelah selatan berbatasan dengan Pulau Bangka dan Pulau Belitung, sedangkan yang menjadi batas sebelah timur adalah Pulau Kalimantan. Struktur cekungan dapat dianalisis dengan analisis geofisika dan analisis geologi. Analisis geologi digunakan untuk mengetahui kondisi geologi berdasarkan tatanan geologi, tektonika, struktur, dan fisiografi. Analisis geofisika menggunakan data geofisika berdasarkan parameter fisis tertentu hingga dapat dilakukan

pemodelan geologi bawah permukaan. Metode geofisika yang dapat digunakan untuk mempelajari struktur geologi bawah permukaan salah satunya adalah metode gayaberat.

Metode geofisika yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode gayaberat. Data gayaberat berasal dari data satelit Topex. Gayaberat merupakan ilmu yang mempelajari variasi percepatan gravitasi bumi, berdasarkan prinsip hukum Gravitasi Newton. Salah satu penggunaan dari metode gayaberat untuk kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi adalah untuk

memperkirakan keberadaan cekungan dan kedalaman *basement*. Informasi mengenai keberadaan cekungan sedimen sangat penting sebab berkaitan dengan daerah pembentukan *petroleum system* yang ada pada daerah studi. Variasi densitas yang diakibatkan oleh adanya struktur geologi bawah permukaan dan keberadaan batuan sedimen dapat dideteksi dengan metode gayaberat.

Dalam proses analisis metode gayaberat digunakan beberapa teknik, salah satunya adalah analisis *spectral*. Analisis *spectral* dalam metode gayaberat adalah teknik pengolahan data gayaberat yang memanfaatkan spektrum frekuensi (atau spektrum bilangan gelombang) untuk memahami kedalaman, dan karakter sumber anomali gayaberat di bawah permukaan bumi. Analisis *spectral* dilakukan untuk mengestimasi kedalaman anomali gayaberat dan mengestimasi lebar *window*. Nilai lebar jendela atau nilai *cutoff* optimum akan digunakan dalam pemisahan anomali *Bouguer*. Anomali *Bouguer* yang diperoleh dari hasil pengolahan data gayaberat merupakan superposisi dari anomali regional dan anomali residual, sehingga perlu dilakukan pemisahan anomali untuk mengidentifikasi target yang diinginkan. Pada penelitian ini, akan digunakan *high-pass* dan *low-pass filter* secara berturut-turut untuk melakukan pemisahan anomali residual dan regional seperti yang telah dilakukan oleh Sari (2012) dan Zahra dan Oweis (2016). Selain *high-pass* dan *low-pass filter* akan dilakukan juga *theta filter*. Studi terdahulu metode medan potensial menggunakan *theta filter* untuk memperjelas anomali di antaranya dilakukan oleh Maulana, dkk. (2025), yaitu dengan melakukan pemodelan 2D untuk mendelineasi struktur bawah permukaan Daerah Suoh, Lampung Barat menggunakan *theta filter* dan Euler Deconvolusi. Penelitian lainnya yaitu Wijns, dkk. (2005) dan Chen, dkk. (2017) melakukan analisis *theta map* data medan potensial untuk pendeteksian batas struktur (*edge detection*).

Theta filter merupakan salah satu metode dalam interpretasi data lapangan, merujuk pada penyesuaian parameter atau penguatan sudut untuk meningkatkan akurasi pemodelan dan posisi anomali yang terdeteksi. Untuk mempertegas batas-batas kontras anomali antara dua batuan yang berbeda, diterapkan *theta filter*. *Theta filter* akan menonjolkan batas struktur geologi, seperti sesar, lipatan, serta intrusi batuan beku, sehingga batas kontras densitas dapat diidentifikasi dengan lebih jelas (Wijns, dkk., 2005). Filter ini didefinisikan sebagai

rasio antara gradien horisontal total terhadap gradien total medan potensial.

Dengan persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Theta} = \frac{\sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2 + \left(\frac{df}{dz}\right)^2}}$$

Dengan,

df = Anomali Gravity

dx = Turunan terhadap x

dy = Turunan terhadap y

dz = Turunan terhadap z

Setiadi dan Marjiyono (2018) telah melakukan penelitian menggunakan metode gayaberat di wilayah Sorong dan sekitarnya, bertujuan untuk menduga konfigurasi batuan dasar, pola struktur dan mendelineasi subcekungan yang ada di Cekungan Salawati. Penelitian tersebut berhasil mendelineasi subcekungan dan menginterpretasi kondisi geologi bawah permukaan pada data gayaberat menggunakan 3D *inverse modelling*. Oleh karena itu, dari penelitian terdahulu yang sudah dilakukan, perlu dilakukan penelitian terbaru pada cekungan sedimen lain. Salah satu cekungan yang perlu dilakukan untuk mengungkap potensi sumber daya geologi di Indonesia yaitu Cekungan Bangka. Cekungan ini dikategorikan sebagai cekungan dengan potensi hidrokarbon, namun belum banyak dipublikasikan. Oleh sebab itu, studi ini diharapkan membantu memberikan informasi mengenai kondisi subcekungan pada Cekungan Bangka.

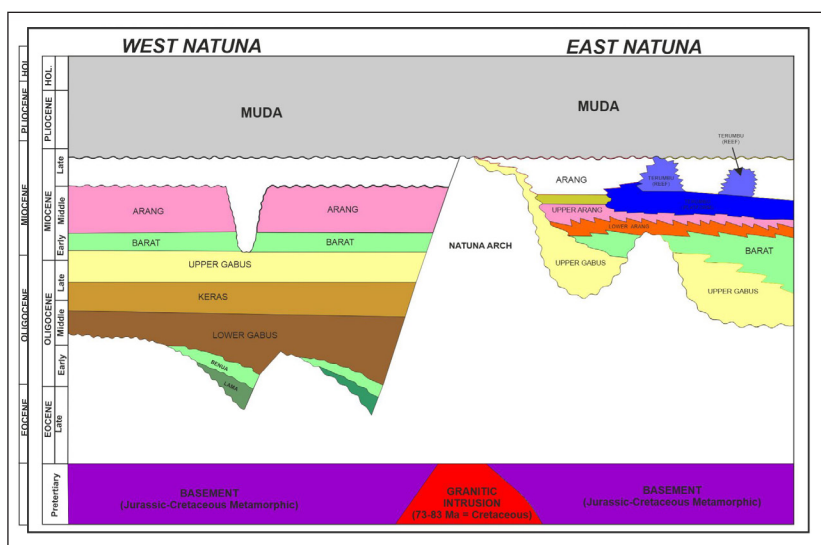
STRATIGRAFI DAERAH PENELITIAN

Menurut KESDM (2024), klasifikasi cekungan berdasarkan tatanan tektonik, Cekungan Bangka termasuk kedalam jenis *rifting valley* dan pinggir pasif (*passive margin*). Namun, karena terbatasnya informasi tektonik dan stratigrafi pada cekungan ini, Cekungan Bangka diasumsikan ekuivalen dengan Cekungan Natuna Barat (Gambar 2) dengan pertimbangan kondisi tatanan tektonik kedua cekungan tersebut sama, yaitu *rifting valley* dan *passive margin* serta lokasi kedua cekungan tersebut yang

memungkinkan dan tidak terpisah jauh. Pupilli (1973) membagi stratigrafi yang ada pada Cekungan Natuna Barat dari paling tua hingga muda, yaitu: batuan dasar yang berumur Pra-Tersier berupa batuan metamorfik. Di atas batuan dasar adalah Formasi Lama yang berumur Eosen Tengah terdiri dari endapan fluvio-deltaik berupa batu pasir, konglomerat, dan endapan lakustrin berupa batulanau dan serpih. Di atas Formasi Lama diendapkan Formasi Benua yang berumur Oligosen Akhir dan Formasi Benua terdiri dari endapan lakustrin berupa serpih. Di atas Formasi Benua adalah Formasi Gabus Bawah yang berumur Oligosen Akhir yang terdiri dari serpih lakustrin, disertai endapan delta berupa batupasir dan batulanau. Formasi Keras yang berumur Oligosen Akhir diendapkan di atas Formasi Gabus Bawah dan terdiri dari serpih lakustrin. Di atasnya diendapkan Formasi Gabus Atas yang berumur Miosen Awal yang terdiri dari serpih dan batupasir, kadang karbonatan dengan lingkungan pengendapan fluvio-deltaik. Di atas Formasi Gabus Atas diendapkan Formasi Barat yang berumur Miosen Awal dan terdiri dari serpih dan batulanau. Formasi Arang yang berumur antara Miosen Awal hingga Miosen Tengah terendapkan di atas Formasi Barat dengan ketidakselarasan bersudut dan Formasi Arang

terdiri dari pasir, batupasir yang sebagian mengandung karbonat, dan serpih. Formasi Muda berumur Miosen Akhir hingga sekarang terendapkan di atas Formasi Arang dengan ketidakselarasan bersudut dan Formasi Muda terdiri dari lempung dan sedikit lanau dengan 5 sampai 10 % material organik yang berasal dari endapan laut dangkal.

Formasi Gabus merupakan batuan induk sebagai *source rock* dengan kualitas batuan induk yang sangat baik. Nilai TOC-nya berkisar antara 0,4 - 2,2 wt%, HI antara 100-300 mgHC/gOC. Batubara dan lempung batubaraan hadir juga di Formasi Arang yang merupakan suatu endapan *syn-inversion*. Batupasir pada Formasi Gabus bagian bawah, tengah dan atas merupakan batuan reservoir dengan kualitas yang baik, sedangkan batupasir Formasi Arang bagian bawah memiliki potensi reservoir sedang hingga baik. Serpih intraformasi pada Formasi Arang terbukti sebagai batuan tudung yang sangat baik untuk reservoir Arang/Arang Bawah. Ketebalan maksimum Serpih Barat sekitar 122 m menjadikannya batuan tudung yang sangat baik untuk reservoir Gabus Atas, dan batuan tudung atas untuk reservoir Gabus bagian tengah yaitu Serpih Gajah dengan ketebalan 183 m.



Gambar 2. Stratigrafi pada Cekungan Natuna Barat (Darman, dkk., 2000)

METODE

Data gayaberat yang digunakan pada penelitian ini adalah data anomali *free air* dan altimetri yang diambil dari *topex satellite* (Topex, 2023) yang dapat diakses melalui *website* http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi dengan format ASCII. Data mempunyai jarak spasi lateral sekitar 1 min/grid dengan *error data*

anomali *freeair* 0.1 mGal dan *error* ketinggian sekitar 1 m (Sandwell dan Smith, 2009). Data yang berupa posisi xyz, anomali *freeair* dan ketinggian selanjutnya dikonversi menjadi anomali *gravity* (*Bouguer*) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$BA = FAA - \{-2\pi G(2.67 - 1.03)\} h$$

Dengan,

BA = Anomali *Bouguer* (mGal)

FAA = Anomali *Free Air* (mGal)

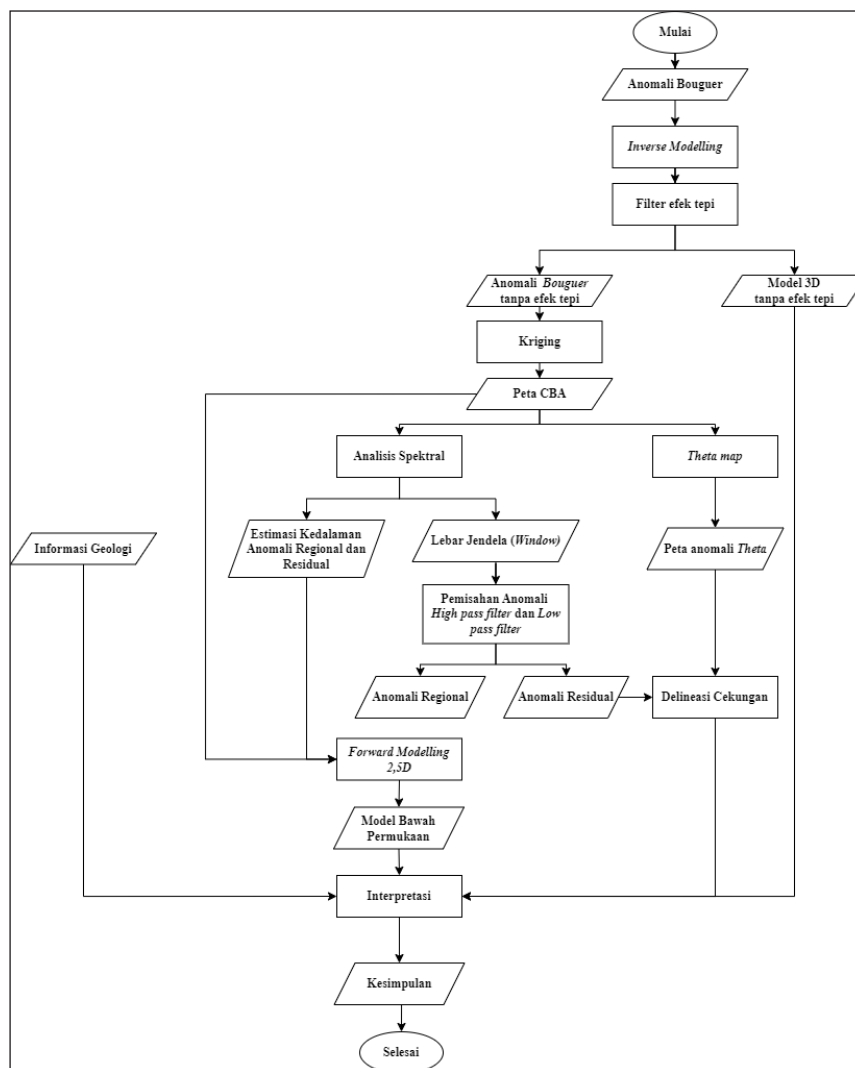
G = Konstanta Gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{Kg}^{-2}$)

h = Kedalaman Batimetri (m)

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan pemisahan anomali regional dan anomali residual dengan menggunakan metode *high-pass* dan *low-pass filter*. Kemudian, melakukan delineasi subcekungan pada Cekungan Bangka berdasarkan analisis peta *Theta*. Terakhir, membuat pemodelan litologi bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan analisis peta *Theta* berdasarkan nilai densitas pada 2,5D *forward modelling* dan 3D *inverse modelling*.

Data yang digunakan berupa koordinat *universal transverse mercator* (UTM) dengan anomali *complete bouguer*. Data tersebut dipakai untuk *input* saat

melakukan inversi pada *grablox 1,6*. Proses inversi dilakukan untuk melihat data tersebut memiliki efek tepi atau tidak. Jika terdapat efek tepi, dilakukan proses pemotongan untuk memudahkan interpretasi. Hasil dari inversi akan menampilkan berupa model 3D pada *software RockWorks 16*. Kemudian melakukan pembuatan peta CBA yang nantinya juga dilakukan proses analisis *spectral* untuk memperoleh estimasi lebar jendela. Nilai estimasi lebar jendela tersebut digunakan untuk proses pemisahan anomali regional dan residual. Setelah itu, dilakukan proses *enhancement* anomali dengan *theta* untuk mempertegas batas subcekungan. Delineasi subcekungan juga dilakukan pada peta *Theta* dengan melihat nilai anomali bernilai 1. Kemudian, pemodelan bawah permukaan dilakukan dengan metode 2,5D *forward modelling* dan 3D *inverse modelling*, di mana *input* dari kedua metode ini adalah peta *complete bouguer anomaly* (CBA). Metodologi penelitian selengkapnya dapat dilihat pada diagram penelitian seperti ditampilkan pada Gambar 3.

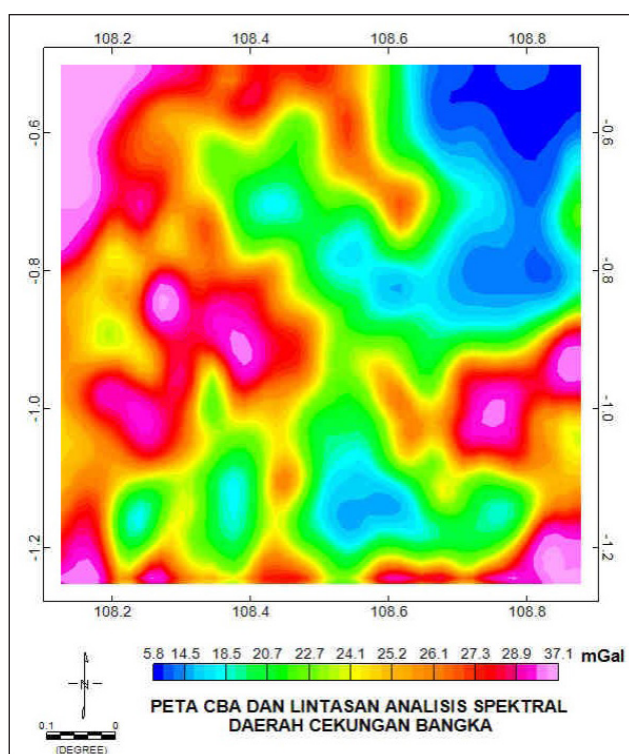


Gambar 3. Diagram alir penelitian Cekungan Bangka

HASIL DAN PEMBAHASAN

Complete Bouguer Anomaly (CBA)

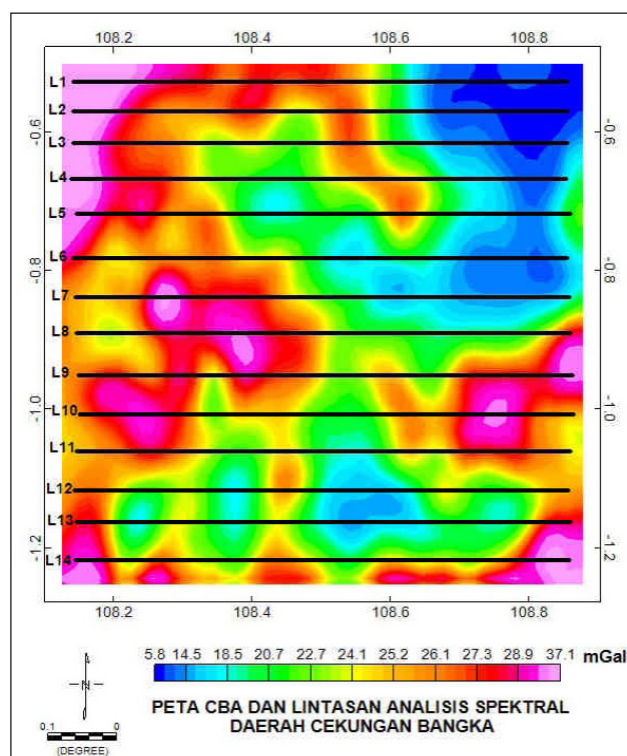
Berdasarkan hasil peta *complete bouguer anomaly* (CBA) nilai dari anomali *Bouguer* memiliki rentang nilai 10,3 – 31,2 mGal yang ditandai dengan warna biru hingga merah muda. Anomali rendah memiliki nilai anomali berkisar 10,3 – 22,9 mGal dengan warna biru hingga hijau. Anomali rendah berada pada arah utara-timur laut daerah penelitian. Nilai anomali sedang memiliki nilai anomali berkisar 22,9 – 26,3 mGal dengan warna kuning hingga jingga berada di antara anomali tinggi dan rendah. Anomali tinggi memiliki nilai anomali berkisar 26,3 – 31,2 mGal dengan warna merah hingga merah muda. Nilai yang memiliki anomali tinggi berada pada arah utara-barat laut dan juga selatan yang mengindikasikan daerah tersebut tersusun atas batuan dengan nilai densitas tinggi. Peta *complete bouguer anomaly* (CBA) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) Daerah Cekungan Bangka

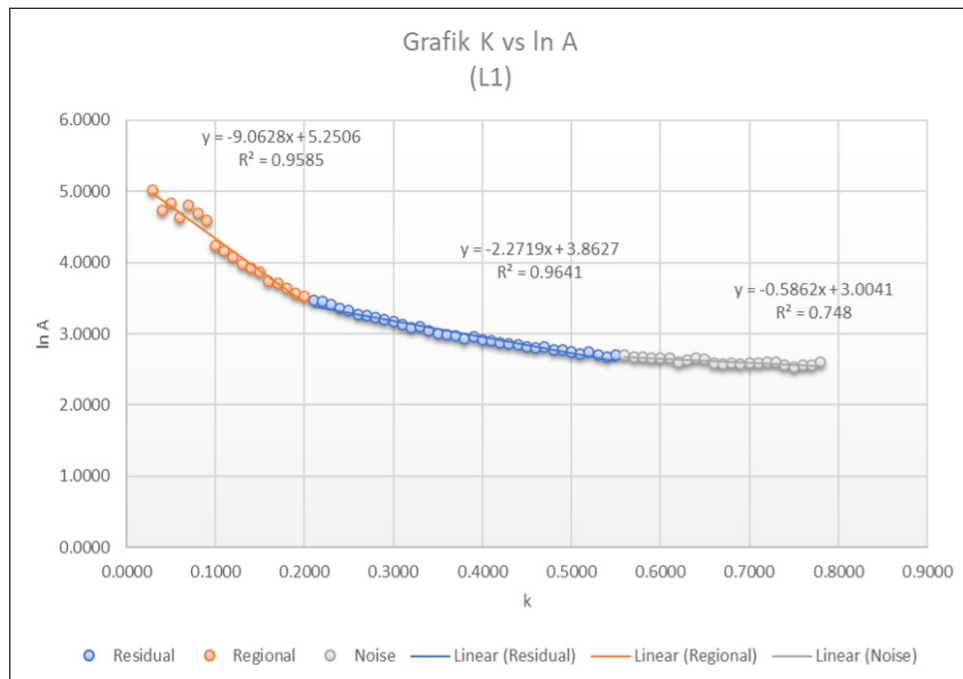
Analisis Spectral dan Pemisahan Anomali Bouguer

Pada penelitian ini dilakukan analisis *spectral* pada 14 lintasan, dimana seluruh lintasan ini memiliki arah barat sampai timur seperti terlihat pada Gambar 5. Data gayaberasat pada semua lintasan tersebut dilakukan transformasi *fourier* untuk mendapatkan informasi domain frekuensi dari informasi domain spasial.



Gambar 5. Peta *slicing* CBA untuk proses analisis *spectral*

Hasil analisis *spectral* pada lintasan 1 menunjukkan nilai kedalaman regional pada gradien curam adalah 9,0628 dan kedalaman residual pada gradien landai adalah 2,2719. Perpotongan antara gradien regional dan residual didapatkan nilai *cutoff* bilangan gelombang (k) sebesar 0,21. Setelah semua lintasan dilakukan analisis *spectral*, nilai *cutoff* bilangan gelombang (k) yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan lebar jendela (*window*) pada *high-pass filter* dan *low-pass filter*. Adapun nilai lebar jendela rata-rata hasil analisis *spectral* pada daerah ini adalah 9, yang selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1. Panjang gelombang *cutoff* yang digunakan pada saat melakukan *filter* (*high-pass* dan *low-pass*) anomali residual yaitu 32 km. Panjang gelombang *cutoff* ini diperoleh dari persamaan, dimana N adalah lebar window rata-rata, dan adalah interval jarak pada proses FFT yang digunakan.

Gambar 6. Grafik analisis *spectral* pada lintasan ke-1Tabel 1. Kedalaman bidang diskontinuitas dalam (regional), dangkal (residual), bilangan gelombang *cutoff* (K_c), dan lebar *window* (N) masing-masing lintasan *slicing*.

Lintasan	K_c	N	Regional (km)	Residual (km)
L1	0,21	7,476190476	9,0628	2,2719
L2	0,17	9,235294118	12,8612	2,8336
L3	0,1823	8,612177729	10,2208	2,429
L4	0,1912	8,211297071	12,3704	2,3778
L5	0,1208	12,99668874	20,688	2,8638
L6	0,1418	11,0719323	15,169	2,9432
L7	0,1621	9,685379395	8,0022	2,1618
L8	0,32205	4,875019407	15,2996	2,1664
L9	0,15095	10,40079497	16,218	3,1852
L10	0,1308	12,0030581	26,384	2,7899
L11	0,13	12,07692308	28,659	1,7733
L12	0,1418	11,0719323	26,091	1,7891
L13	0,22285	7,045097599	18,7736	2,1064
L14	0,22135	7,092839395	12,2638	2,6038
Rata-rata	0,178428571	9,418187477	16,57595714	2,44965714

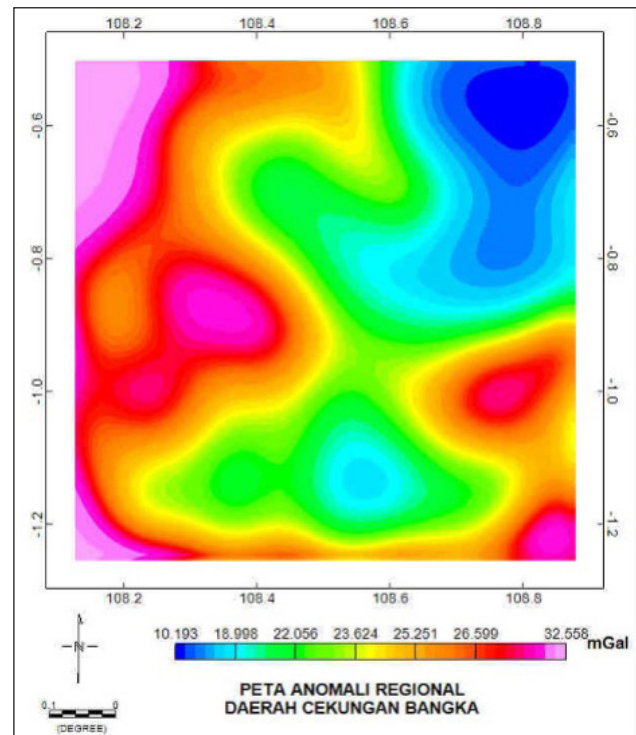
Anomali Regional dan Residual

Hasil perhitungan lebar *window* berdasarkan analisis *spectral* dapat digunakan untuk menentukan pola anomali regional daerah penelitian seperti terlihat pada Gambar 7. Anomali regional dicirikan dengan pola anomali dengan panjang gelombang yang relatif panjang dan diduga sebagai bidang diskontinuitas dalam yang berada di bawah kerak bawah (*lower crust*), anomali regional mempunyai kisaran nilai antara 10 hingga 32 mGal. Dari gambar tersebut terlihat bahwa anomali tinggi berada pada daerah sebelah barat dan tenggara yang ditunjukkan dengan warna merah dengan kisaran nilai antara 25 hingga 32 mGal. Anomali tinggi ini kemungkinan disebabkan karena adanya batuan dengan nilai rapat massa tinggi yang cenderung naik ke atas. Sedangkan anomali rendah dengan nilai anomali antara 10 hingga 24 mGal yang ditunjukkan oleh warna biru diinterpretasikan sebagai batuan yang relative turun ke bawah. Peta anomali residual merupakan hasil pengurangan dari anomali *Bouguer* dengan anomali regional yang dapat dilihat pada Gambar 8. Peta anomali residual memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan anomali *Bouguer* dan anomali regional, hal ini disebabkan karena anomali residual merupakan gambaran dari anomali dengan panjang gelombang pendek yang berada dekat dengan permukaan (bidang diskontinuitas dangkal) sehingga nilai anomali residual lebih rendah dibandingkan dengan anomali regional. Anomali residual pada Cekungan Bangka ini mempunyai nilai rentang anomali antara -5 hingga 5 mGal di mana anomali tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah dengan rentang anomali antara 0,5 hingga 5 mGal tersebar pada beberapa area di antaranya adalah pada bagian sebelah utara, tengah, dan tenggara, sedangkan anomali rendah yang ditunjukkan oleh warna biru mempunyai nilai antara -5 hingga 0,5 mGal tersebar pada bagian sebelah selatan, tengah, dan timur laut. Anomali dengan warna rendah ini diduga sebagai tempat terakumulasinya endapan sedimen pada Cekungan Bangka.

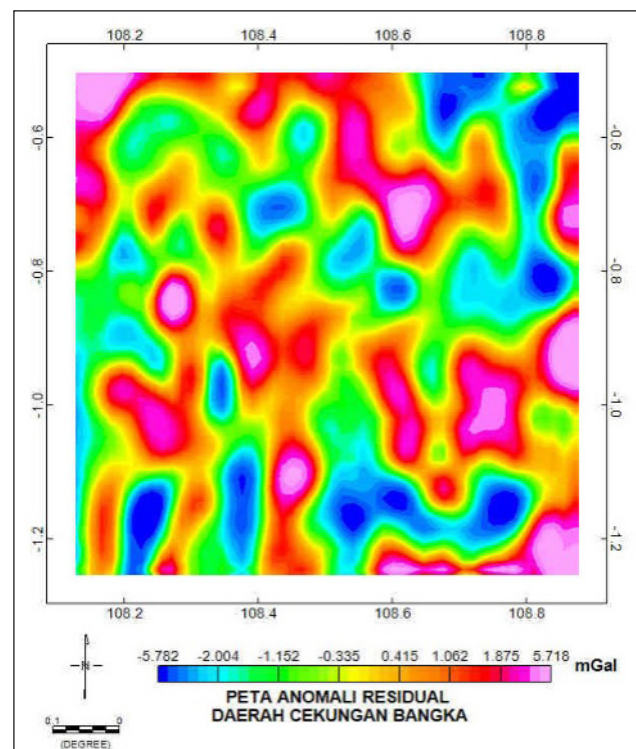
Theta Map

Theta map mampu meningkatkan nilai amplitudo kecil hingga nilai amplitudo besar dan secara akurat membedakan batas tepi struktur dari anomali gayaberat serta melihat nilai maksimum yang menjadi

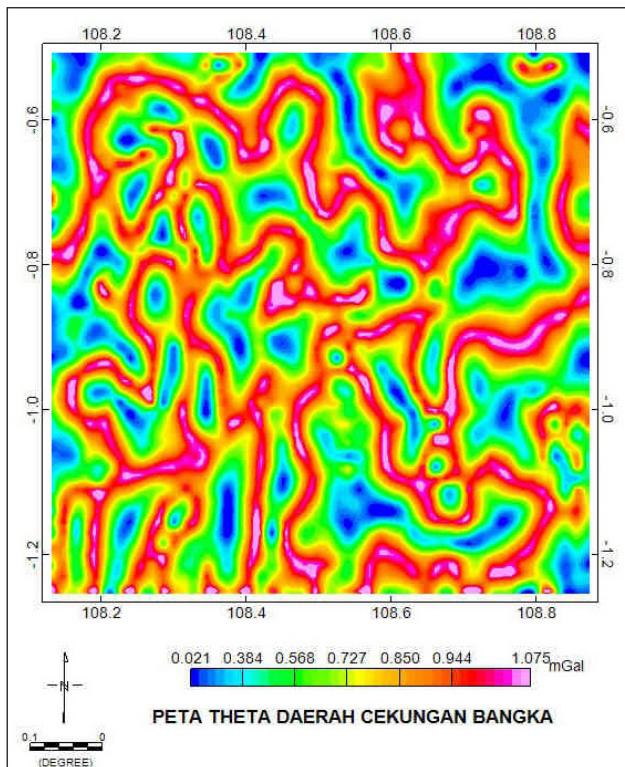
batas subcekungan. Salah satu *anomaly enhancement filter* yang dapat digunakan yaitu *Theta*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 7. Peta Anomali Regional Daerah Cekungan Bangka

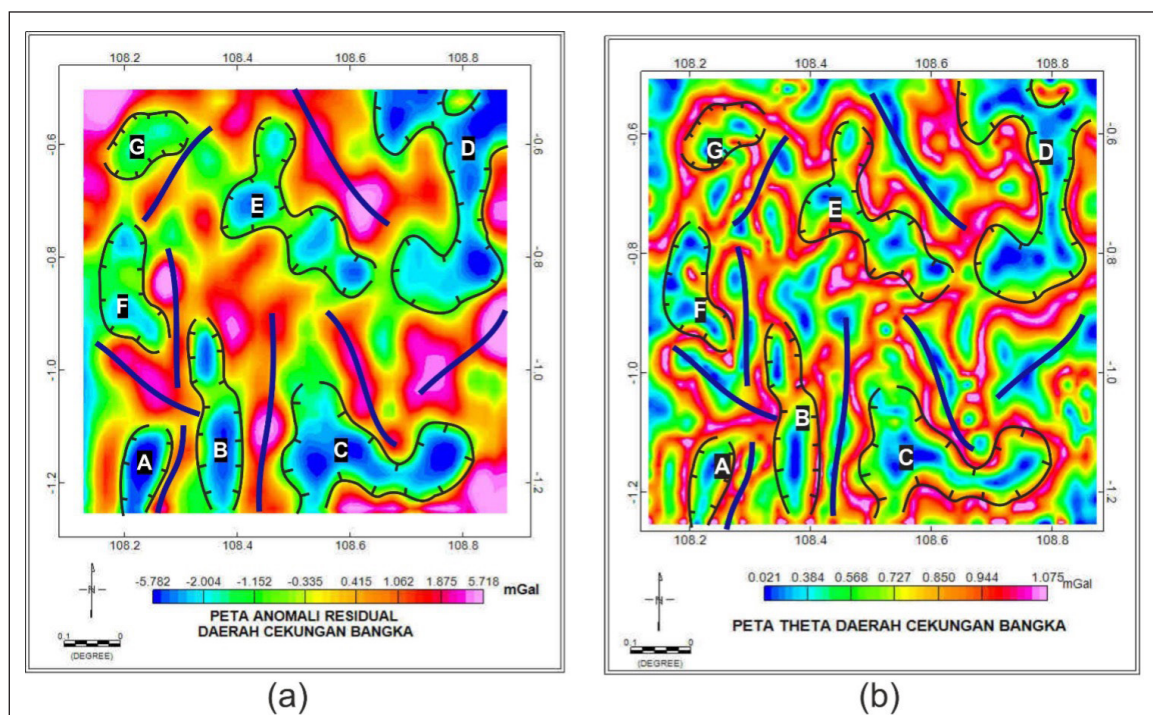


Gambar 8. Peta Anomali Residual Daerah Cekungan Bangka

Gambar 9. Peta *Theta* Daerah Cekungan Bangka

Delineasi Subcekungan pada Cekungan Bangka Menggunakan Peta Anomali Residual dan Peta *Theta*

Interpretasi kualitatif dilakukan untuk mengetahui pola delineasi subcekungan pada Cekungan Bangka berdasarkan peta anomali residual dan peta *Theta* seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Gambar 10a memperlihatkan hasil interpretasi delineasi subcekungan berdasarkan anomali residual, dari gambar terlihat bahwa terdapat 7 (tujuh) subcekungan sedimen yang didelineasi berdasarkan anomali residual ditunjukkan oleh warna biru. Pola subcekungan ini dibatasi oleh tinggian pada anomali yang berwarna merah dan garis yang berwarna biru dengan arah relatif utara-selatan. Dari 7 subcekungan tersebut terlihat bahwa subcekungan yang paling besar dan kemungkinan paling tebal batuan sedimennya adalah Subcekungan D yang dicirikan oleh warna biru tua dan penyebarannya relatif lebih luas dibandingkan dengan subcekungan yang lain, dan diikuti oleh Subcekungan C, A, B, E, F, dan G. Selanjutnya delineasi subcekungan berdasarkan peta *Theta* ditunjukkan oleh Gambar 10b.

Gambar 10. Delineasi subcekungan di Cekungan Bangka menggunakan peta anomali residual (a) dan peta *Theta* (b)

Theta adalah parameter yang digunakan untuk mendeteksi tepi (*edge*) atau batas lateral tubuh anomali pada data gayaberat, dengan kata lain *Theta* digunakan untuk menonjolkan batas struktur bawah permukaan seperti sesar, kontak litologi, atau batas cekungan. *Theta* tidak menunjukkan nilai densitas, tetapi menunjukkan di mana perubahan fisik terjadi di bawah permukaan. Dari gambar terlihat bahwa nilai anomali tinggi yang berwarna merah merupakan batas tepi dari suatu subcekungan. Pada peta anomali *Theta* dugaan batas subcekungan dapat diketahui dari anomali tinggi berwarna merah muda bernilai 1 (Wijns, dkk., 2005). Sedangkan garis warna biru merupakan struktur tinggian yang mempunyai korelasi kelurusan yang sama dengan hasil interpretasi anomali residual. Hasil interpretasi delineasi subcekungan berdasarkan peta *Theta* memperlihatkan pola yang mirip dari segi ukuran dan penyebaran, serta memperkuat batas dari subcekungan yang ada di Cekungan Bangka.

2.5D Forward Modelling

Pada penelitian ini, penulis melakukan *forward modelling* untuk membuat model bawah permukaan. Pada pembuatan model bawah permukaan ini dilakukan dengan melakukan *slicing* sebanyak 2 lintasan yaitu lintasan A-A' dengan arah barat-timur dan lintasan B-B' dengan arah utara-selatan. Pada proses *forward modelling* ini data yang digunakan sebagai *input* adalah peta *complete bouguer anomaly* dan peta *Theta*. Selanjutnya melakukan *overlay* Cekungan Bangka dengan peta *complete bouguer anomaly* dan peta *Theta*. Proses *overlay* dilakukan untuk memudahkan dalam interpretasi batas subcekungan yang masuk ke dalam Cekungan Bangka dengan melihat batas subcekungan berdasarkan anomali bernilai tinggi atau memiliki nilai 1 pada peta *Theta*. Berdasarkan 2,5D *forward modelling* pada lintasan A-A' dan lintasan B-B' fokus pada target yang diduga memiliki ketebalan sedimen yang paling tebal. Berdasarkan peta delineasi subcekungan yang telah dihasilkan pada Gambar 10, subcekungan yang diduga memiliki ketebalan sedimen paling besar yaitu Subcekungan D. Pada lintasan A-A' dan lintasan B-B' diperoleh penampang model bawah permukaan yang terdiri dari sembilan lapisan. Dari sembilan lapisan tersebut terdapat 8 (delapan) lapisan sebagai formasi batuan sedimen dan satu lapisan sebagai batuan dasar (*basement*). Delapan formasi yang teridentifikasi yaitu Formasi Muda, Formasi Arang, Formasi Barat, Formasi Gabus Atas, Formasi Keras, Formasi Gabus Bawah, Formasi

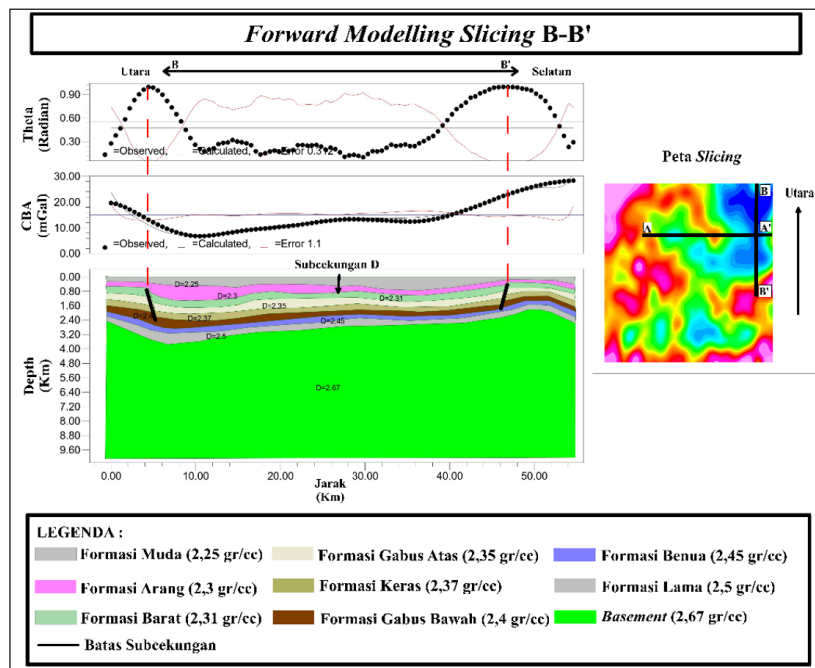
Benua, Formasi Lama, dan *basement*. Rentang nilai densitas yang ada pada Formasi Muda hingga Formasi Lama memiliki nilai 2,25 gr/cc hingga 2,5 gr/cc, sedangkan pada *basement* rentang nilai densitas dari 2,55 gr/cc hingga 2,8 gr/cc (Telford, dkk., 1990). Pada hasil *forward modelling*, peta *theta* digunakan untuk memperkirakan batas subcekungan. Batasan tersebut memiliki nilai maksimum atau memiliki nilai 1 radian pada peta *theta*. Berdasarkan pendugaan tersebut, hasil *forward modelling* memberikan gambaran struktur yang dapat diasumsikan sebagai batas subcekungan. Berdasarkan hasil pendugaan tersebut, model bawah permukaan pada hasil *forward modelling* pada lintasan A-A' dan B-B' dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12. Berdasarkan sistem petroleum yang ada, batuan reservoir diduga berada pada Formasi Keras, Formasi Benua, Formasi Gabus Bawah, dan Formasi Lama (Redjoso, 2013).

3D Inverse Modelling

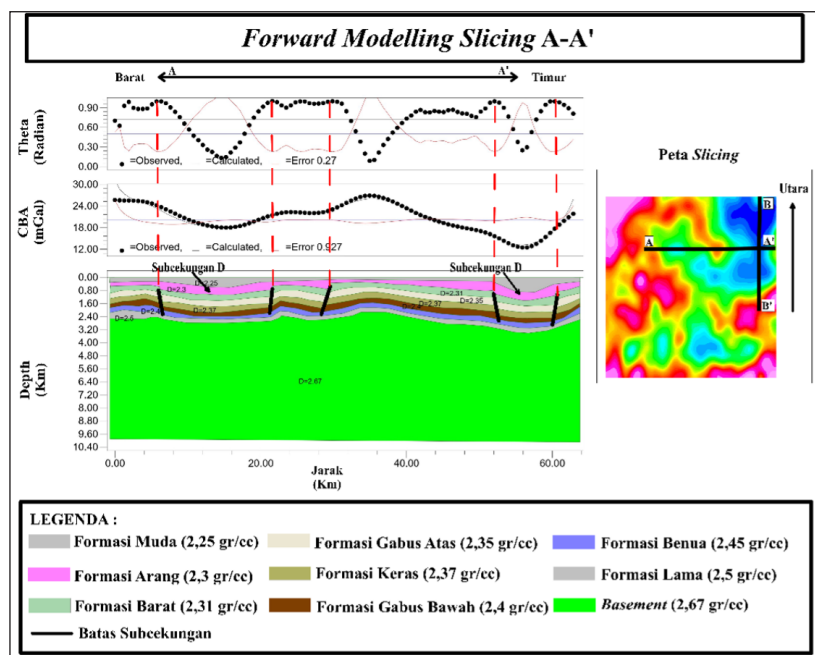
Pada penelitian ini selain melakukan *forward modelling*, penulis melakukan 3D *inverse modelling* dengan menggunakan perangkat lunak *grablox 1.6*. Metode inversi yang dipakai adalah inversi nonlinier khususnya metode *singular value decomposition* (SVD) atau dekomposisi nilai singular dan inversi Occam (Pirttijarvi, 2008). *singular value decomposition* (SVD) adalah suatu metode pemfaktoran matriks yang berkaitan erat dengan nilai singular dari matriksnya, di mana merupakan salah satu teknik analisis numerik yang cukup terkenal dalam mendiagonalkan suatu matriks. Dengan analisis SVD, solusi persamaan selalu dapat dicari meskipun matriks koefisien yang terbentuk bukanlah matriks persegi maupun matriks yang tidak mempunyai inversi. Data yang digunakan pada proses *inverse modelling* ini berupa data gayaberat *complete bouguer anomaly* (CBA). Data tersebut diinversikan menggunakan perangkat lunak *grablox 1.6* dan akan menghasilkan model 3D berupa blok mayor yang menunjukkan volume pada daerah penelitian, sedangkan pada blok minor menunjukkan nilai rapat massa batuan. Hasil model dari inversi tersebut selanjutnya ditampilkan dalam bentuk penampang 2 dimensi maupun 3 dimensi. Hasil dari inversi 3D pada *grablox 1.6* dapat dibuat di perangkat lunak *bloxer 1.6*. Namun pada perangkat lunak *bloxer 1.6* hasil dari model 3D tidak terlalu *smooth* atau halus dan untuk mengatasi masalah tersebut penulis membuat model 3D pada perangkat lunak *RockWorks 16* yang akan menghasilkan model

3D yang cukup *smooth*. Keunggulan perangkat lunak *RockWorks 16* ini juga selain dapat menampilkan hasil model 3D secara halus dapat juga menampilkan model secara 2D dengan cara melakukan *slicing* daerah yang menjadi target dan akan menampilkan model bawah permukaan secara 2D. *Inverse modelling 3D* dilakukan untuk membandingkan hasil dari *forward modelling* khususnya kemiripan yang menunjukkan kesamaan pola subcekungan. Distribusi densitas yang dihasilkan dari proses *inverse modelling* berkisar antara 2,25 gr/cc sampai 2,8 gr/cc. Persebaran densitas batuan sedimen pada daerah penelitian ini memiliki nilai minimum

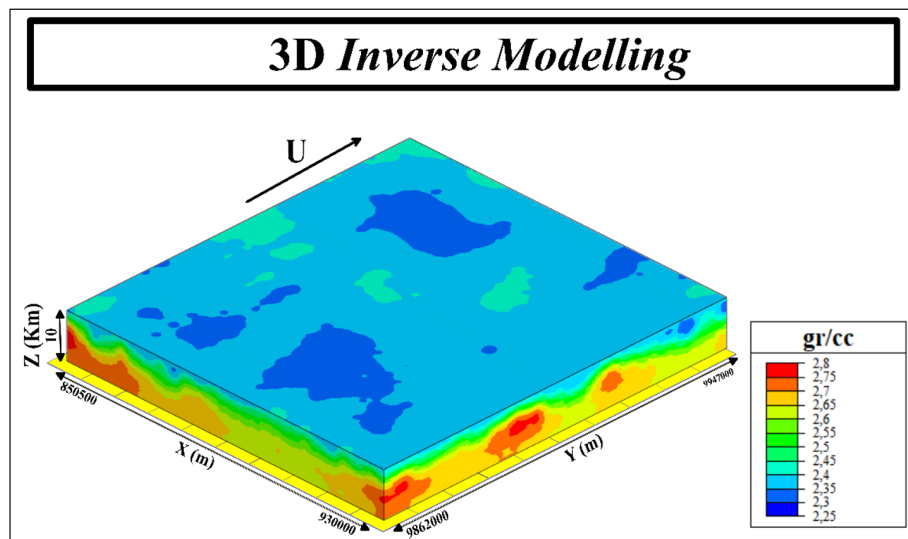
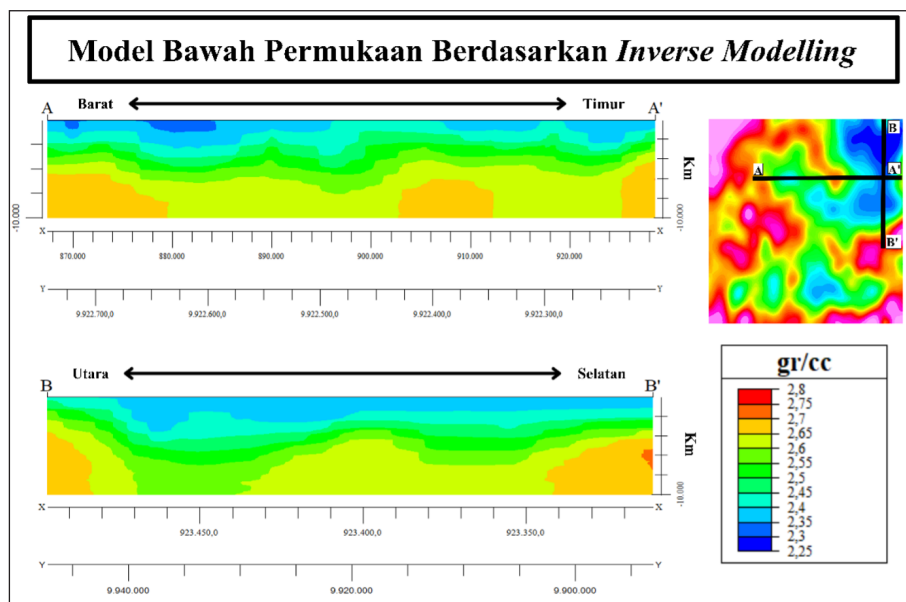
sebesar 2,25 gr/cc dan nilai maksimum sebesar 2,5 gr/cc. Rentang densitas pada batuan sedimen tersebut ditandai oleh warna biru tua hingga biru muda. Persebaran densitas pada *basement* memiliki nilai minimum sebesar 2,55 gr/cc hingga 2,8 gr/cc. Rentang densitas pada *basement* ditandai dengan warna hijau muda hingga warna merah. Dari hasil model 3D tersebut memiliki kedalaman sebesar 10 km. Hasil dari distribusi densitas pada daerah penelitian yang dibuat menjadi model 3D dapat dilihat pada Gambar 13 dan model 2D dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 11. Hasil *forward modelling* lintasan A-A'



Gambar 12. Hasil *forward modelling* lintasan B-B'

Gambar 13. Hasil 3D *inverse modelling*Gambar 14. Hasil *slicing* dari *inverse modelling* pada lintasan A-A' dan B-B'

Gambar 14 merupakan hasil dari model 2D bawah permukaan pada 2 lintasan yaitu lintasan A-A' dan lintasan B-B'. Hasil model 2D bawah permukaan didapatkan dari proses *slicing* pada lintasan yang sama dengan lintasan yang dilakukan pada proses *forward modelling*. Hal ini dilakukan agar dapat membandingkan hasil dari model bawah permukaan yang dihasilkan dari proses *inverse modelling* dan *forward modelling*. Proses yang dilakukan untuk mendapatkan model 2D bawah permukaan dilakukan pada perangkat lunak *RockWorks 16*. Model 3D tersebut kemudian dilakukan proses *slicing* dengan arah *slicing* lintasan A-A' yaitu ke arah barat hingga

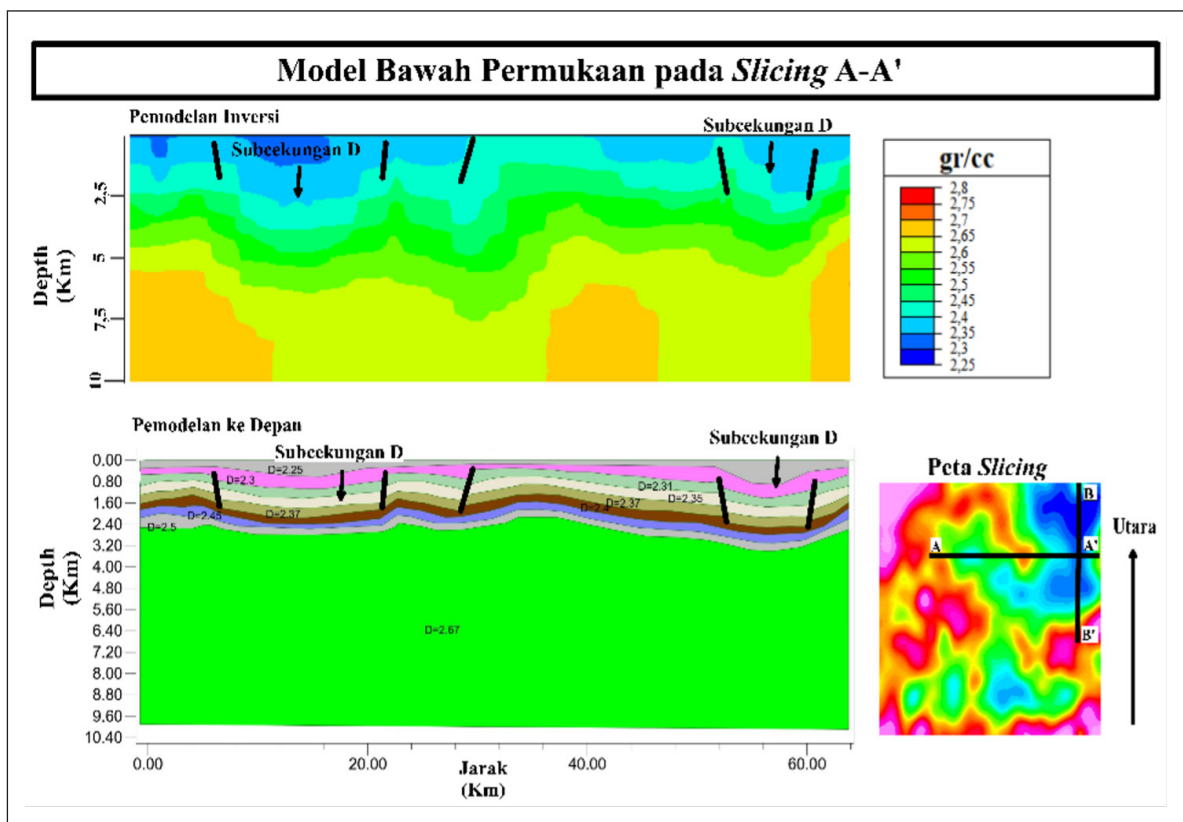
timur, sedangkan pada *slicing* lintasan B-B' dilakukan dari arah utara hingga selatan. Hasil model 2D bawah permukaan dari kedua *slicing* lintasan A-A' dan *slicing* lintasan B-B' memiliki persebaran densitas berkisar antara 2,25 gr/cc sampai dengan 2,8 gr/cc. Persebaran nilai densitas pada batuan sedimen yang berada pada lokasi penelitian berkisar antara 2,25 gr/cc hingga 2,5 gr/cc dengan ditandai warna biru tua hingga biru muda. Persebaran nilai densitas *basement* memiliki nilai 2,55 gr/cc hingga 2,8 gr/cc dengan ditandai warna hijau muda hingga merah. Hasil model 2D bawah permukaan ini akan dijadikan validasi terhadap hasil *forward modelling*.

Analisis Model Bawah Permukaan

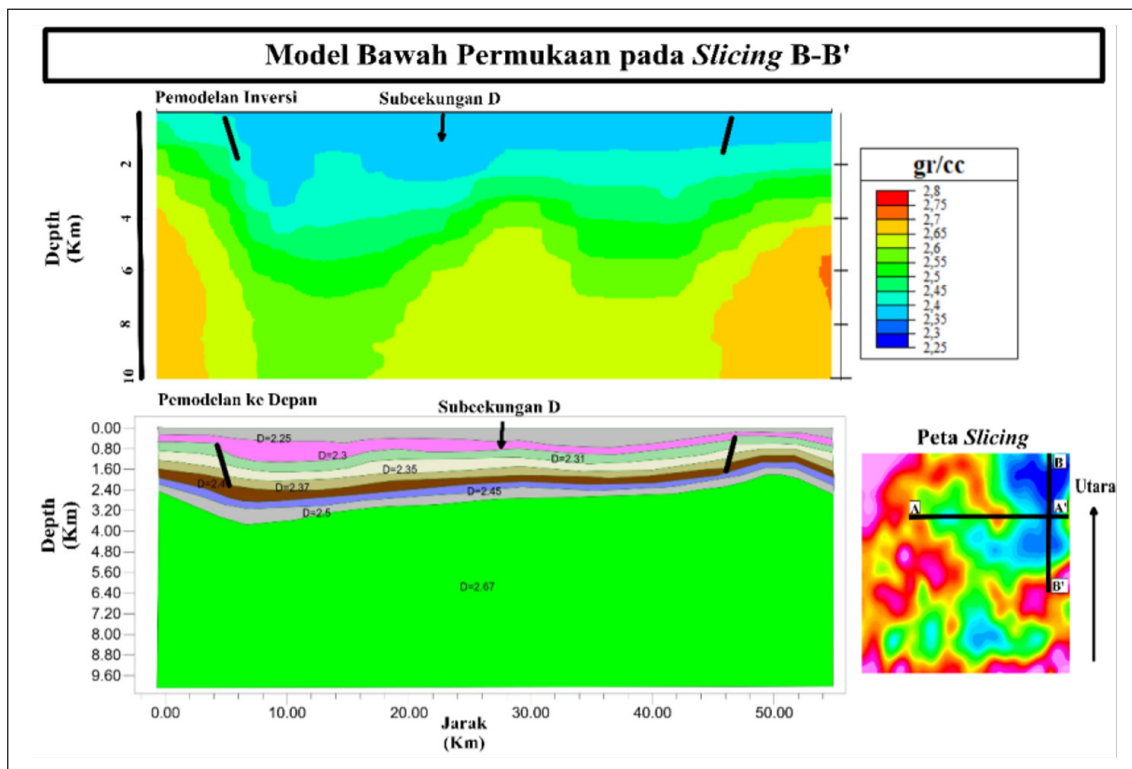
Analisis model bawah permukaan dilakukan ketika *forward modelling* dan *inverse modelling* telah selesai dilakukan. Perbandingan *forward modelling* dan *inverse modelling* dilakukan pada lintasan yang sama dari kedua pemodelan tersebut. Tujuannya untuk melihat seberapa besar perbedaan yang dihasilkan. Gambar 15 merupakan perbandingan dari model bawah permukaan *inverse modelling* dan *forward modelling* pada *slicing* lintasan A-A' yang memiliki arah barat hingga ke timur. *Slicing* pada lintasan A-A' melewati Subcekungan D. Pada gambar tersebut ketebalan maksimum pada Subcekungan D yang terdapat pada hasil *inverse modelling* memiliki ketebalan sekitar 3,7 km, sedangkan pada hasil *forward modelling* bernilai 3,47 km. Ketebalan maksimum ini diperoleh dari ketebalan maksimum sedimen yang dihitung dari permukaan hingga batas terdalam Subcekungan D yang berbatasan dengan *basement* pada lintasan A-A'. Ketebalan sedimen rata-rata pada Subcekungan D

dari hasil model bawah permukaan *inverse modelling* pada *slicing* lintasan A-A' bernilai 2,53 km, sedangkan untuk hasil *forward modelling* sebesar 2,46 km.

Gambar 16 merupakan perbandingan dari model bawah permukaan *inverse modelling* dan *forward modelling* pada *slicing* lintasan B-B' yang memiliki arah utara hingga ke selatan. *Slicing* pada lintasan B-B' melewati Subcekungan D. Pada gambar tersebut ketebalan maksimum pada Subcekungan D dari hasil *inverse modelling* memiliki ketebalan sekitar 4,1 km, sedangkan pada hasil *forward modelling* ketebalan maksimum yang didapatkan bernilai 3,78 km. Ketebalan maksimum ini diperoleh dari ketebalan maksimum sedimen yang dihitung dari permukaan hingga batas terdalam Subcekungan D yang berbatasan dengan *basement* pada lintasan B-B'. Ketebalan rata-rata model bawah permukaan dari hasil *inverse modelling* pada *slicing* lintasan B-B' bernilai 2,62 km, sedangkan untuk hasil *forward modelling* sebesar 2,48 km.



Gambar 15. Perbandingan model bawah permukaan *inverse modelling* dan *forward modelling* pada lintasan A-A'



Gambar 16. Perbandingan model bawah permukaan *inverse modelling* dan *forward modelling* pada lintasan B-B'

Berdasarkan perbandingan hasil model bawah permukaan *forward modelling* dan *inverse modelling*, secara umum keduanya memiliki model bawah permukaan yang hampir sama. Hal ini terlihat dari

perbandingan ketebalan sedimen yang dihasilkan pada kedua pemodelan tersebut. Perbandingan ketebalan sedimen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan ketebalan sedimen pada *forward modelling* dan *inverse modelling* berdasarkan lintasan pemodelan.

Line	Subcekungan	Ketebalan Maksimum (km)		Selisih Ketebalan (km)	Ketebalan Rata-rata (km)		Selisih Ketebalan (km)
		<i>Forward</i>	<i>Inverse</i>		<i>Forward</i>	<i>Inverse</i>	
A-A'	Subcekungan D	3,47	3,7	0,23	2,46	2,53	0,07
B-B'	Subcekungan D	3,78	4,1	0,32	2,48	2,62	0,14

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pola subcekungan yang dapat didelineasi berdasarkan analisis anomali residual dan peta *theta* adalah sebanyak 7 subcekungan sedimen. Subcekungan ini dibatasi oleh pola kelurusan tinggian dengan arah relatif utara-selatan. Hasil perhitungan analisis *spectral* data gayaberas menunjukkan bahwa kedalaman bidang diskontinuitas dangkal adalah sebesar 2,45 km dan diinterpretasikan sebagai kedalaman batuan sedimen daerah studi, sedangkan kedalaman bidang diskontinuitas dalam adalah sebesar 16,57 km yang

diinterpretasikan sebagai bidang diskontinuitas regional (dalam) yang diduga sebagai kerak bawah (*lower crust*). Berdasarkan penampang model bawah permukaan hasil 2,5D *forward modelling* dan 3D *inverse modelling* pada 2 lintasan yaitu lintasan A-A' dan lintasan B-B', diperoleh bahwa model geologi bawah permukaan tersusun atas sembilan lapisan dengan nilai densitas berkisar antara 2,25 gr/cc hingga 2,8 gr/cc. Berdasarkan hasil pemodelan sebaran densitas batuan bawah permukaan menunjukkan bahwa semakin bertambah kedalaman nilai densitas semakin besar. Nilai densitas antara 2,25 gr/cc hingga 2,5 gr/cc diinterpretasikan sebagai batuan sedimen,

sedangkan batuan dasar mempunyai nilai densitas 2,67 gr/cc hingga 2,8 gr/cc diinterpretasikan sebagai batuan dasar kerak granitik. Hasil delineasi subcekungan dan pemodelan menunjukkan bahwa terdapat beberapa *depocenter* yang cukup tebal, struktur patahan, dan antiklin, di antaranya pada Subcekungan D, C, dan B yang menarik untuk dieksplorasi lebih lanjut.

Saran

Perlu dilakukan penelitian dengan data geofisika lain, untuk melihat korelasi antar metode dan mengetahui kondisi Cekungan Bangka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, pembimbing tugas akhir, dan rekan-rekan tim yang telah banyak membantu menyiapkan data dan fasilitas pengolahan data, serta semua pihak yang telah membantu hingga dapat terselesaikannya karya ilmiah ini.

ACUAN

- Boggs Jr, S. 2006. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy 4th Edition*. Pearson Prentice Hall, 662.
- Chen, A.G., Zhou, T.F., Liu, D.J., dan Zhang, S. 2017. Application of an Enhanced Theta-Based Filter for Potential Field Edge Detection: A Case Study of the Luzong Ore District. *CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS*. Vol.60, No.2, 2017, pp: 203–218 DOI: 10.1002/cjg2.30039
- Darman, H., Sidi, F.H., dan Ikatan Ahli Geologi Indonesia. 2000. *An outline of the geology of Indonesia*.192. https://www.researchgate.net/publication/312092249_An_outline_of_the_geology_of_Indonesia.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2024. *Peta Cekungan Sedimen Indonesia*.
- Maulana, P.F., Irawati, M. S., dan Nugraha, P. 2025. Pemodelan 2D Data Magnetik untuk Delineasi Struktur Bawah Permukaan di Daerah Suoh, Kabupaten Lampung Barat Menggunakan Filter Theta dan Dekonvolusi Euler. *Journal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 6(4), 2262-2270. doi: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1510>
- Pirttijarvi, M., 2008. *Gravity Interpretation and Modeling Software Based on 3-D Block Models. User's Guide to Version 1.6b*. Department of Physics Sciences. University of Oulu Finlandia
- Pupilli, M. 1973. Geological Evolution of South China Sea Area; Tentative Reconstruction from Borderland Geology and Well Data. *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*, 223–241. http://archives.datapages.com/data/ipa/data/002/002001/223_ipa0020223.html
- Redjoso, M.T. 2013. Kuantifikasi ketidakpastian pengembangan lapangan secara terintegrasi *surface* dan *subsurface* dengan menggunakan desain eksperimental. *JTMGB*, 4, 66–85.
- Sandwell, D.T., dan Smith, W.H. 2009. Global Marine Gravity from Retracked Geosat and ERS-1 Altimetry: Ridge Segmentation Versus Spreading Rate. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, Vol. 114, No. B01411, doi:10.1029/2008JB006008, 2009.
- Sari, I.P. 2012. Studi Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Anomali Regional dan Residual Dari Data Anomali Bouguer.

- Setiadi I. dan Marjiyono. 2018. Interpretasi Geologi Bawah Permukaan dan Delineasi Cekungan Salawati Wilayah Sorong dan Sekitarnya Berdasarkan Analisis Spektral Serta Pemodelan 2D dan 3D Data Gayabarat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19(3), 117–130. <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.19.3.117-130>.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., dan Keys, D.A. 1990. *Applied Geophysics Second Editon*. 760. https://books.google.com/books/about/Applied_Geophysics.html?id=oRP5fZYjhXMC.
- Topex. 2023. *Anomali Freeair dan Kedalaman Laut Wilayah Utara Bangka dan sekitarnya*. http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cg (diakses pada tanggal 3 Januari 2023 pukul 10.21 WIB)
- Wijns, C., Perez, C., dan Kowalczyk, P. 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data. *Geophysics*, 70(4), L39–L43. <https://doi.org/10.1190/1.1988184>.
- Zahra, H. S. dan 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. <https://doi.org/10.1016/J.NRJAG.2016.01.005>
-