

Identifikasi potensi jebakan hidrokarbon di daerah “X” sedimen pra-tercier cekungan Sumatra Utara menggunakan data gravitasi dan seismik

Mohammad S. Rosid^{1✉}, Nur N. Tullailah¹, Ricky Adi Wibowo²

¹Departemen Fisika, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

²Upstream Technical Centre, PT. Pertamina, Jakarta Pusat Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima:
08 April 2020

Disetujui:
23 April 2020

Dipublikasikan:
28 Mei 2020

Keywords:
gravity method,
North Sumatra
Basin, pre-tercier
basement, Tampur
Formation

ABSTRAK

Penemuan minyak dan gas bumi pada cekungan di Indonesia yang umumnya berasal lapisan tersier saat ini terus mengalami pengurangan. Eksplorasi hidrokarbon terus dilakukan melalui diversifikasi pencarian lapangan baru dan penggunaan konsep reservoir baru. Studi di daerah “X” pada Cekungan Sumatra Utara ini bertujuan untuk menemukan reservoir hidrokarbon baru dengan menggunakan konsep baru lapisan pra-tercier. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan ke depan 2D data gravitasi yang didukung oleh data sekunder penampang seismik. Model bawah permukaan telah dibuat dalam 2 penampang, lintasan 4 dan lintasan 6. Hasil pemodelan ke depan 2D pada lintasan 4 dan 6 menunjukkan adanya basemen pra-tercier pada kedalaman sekitar 6.000 m serta adanya beberapa formasi batuan di atas lapisan basemen yang terdiri dari formasi pra-tercier dan tersier. Struktur yang ditunjukkan dalam analisis FHD dan SVD sebagian besar adalah sesar naik. Hasil gravitasi dikonfirmasi oleh data dari penampang seismik dan geologi. Ada dua formasi di lapisan dalam tepat di atas basemen pra-tercier yang berpotensi sebagai reservoir yang baik, yaitu Formasi Tampur yang didominasi oleh batuan karbonat dan Formasi Parapat.

ABSTRACT

The discovery of oil and gas in Indonesia basins, which generally originates from the tertiary layer, is currently experiencing a reduction. Therefore, hydrocarbon exploration continues through diversification of new fields and the use of new reservoir concepts. The study in the "X" area of the North Sumatra Basin aims to find a new hydrocarbon reservoir using a new concept of a pre-tercier layer. Therefore, it is necessary to identify the existence of a pre-tercier basement layer as a boundary of a layer that has potential as a reservoir. The method used in this study is 2D forward modelling gravity data supported by secondary data of seismic section. Subsurface models have been made in 2 sections of line 4 and line 6. The results of 2D forward modelling on lines 4 and 6 show the presence of pre-tercier basement at a depth of around 6,000 m. The modelling results also show the existence of several rock formations above the basement layer consisting of pre-tercier and tertiary formations. The structure shown in the FHD and SVD analysis is mostly a reverse fault. Gravitational results are confirmed and verified by data from seismic and geological sections. There are two formations in the deep layer just above the pre-tercier basement that have the potential to be a good reservoir, namely the Tampur Formation which is dominated by carbonate rocks and the Parapat Formation

PENDAHULUAN

Kebutuhan Indonesia akan sumber daya energi minyak dan gas bumi masih sangat penting dan masih menjadi sumber energi utama. Sejumlah besar alat transportasi dan industri masih mengandalkan energi fosil hidrokarbon. Sejak tahun 2003 produksi minyak bumi Indonesia mulai mengalami defisit. Jumlah konsumsi minyak bumi pada tahun 2012 saja sudah mencapai 1,6 juta barel per hari sementara produksinya hanya sekitar 900 ribu barel saja (Saputro, 2014). Pertamina terus melakukan eksplorasi untuk menemukan prospek cadangan hidrokarbon terbaru. Indonesia memiliki banyak cekungan yang telah terbukti menghasilkan hidrokarbon termasuk cekungan di bagian barat Indonesia dan salah satunya adalah Cekungan Sumatera Utara (Siki dkk., 2016). Dalam hal urutan tektonik Geologi, Cekungan Sumatera Utara merupakan bagian dari cekungan busur belakang yang memiliki potensi sebagai reservoir hidrokarbon yang baik (Lubis dkk., 2016).

Minyak dan gas di cekungan Indonesia umumnya ditemukan pada lapisan tersier, dimana produksinya saat ini terus menurun. Eksplorasi hidrokarbon terus dilakukan dengan menggunakan diversifikasi bidang baru dan konsep reservoir baru (Wicaksono dkk., 2017). Penelitian di Daerah "X", Cekungan Sumatera Utara ini bertujuan untuk menemukan potensi reservoir hidrokarbon baru dalam konsep baru lapisan pra-tercier. Studi ini dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan basemen pra-tercier sebagai batas lapisan potensial reservoir.

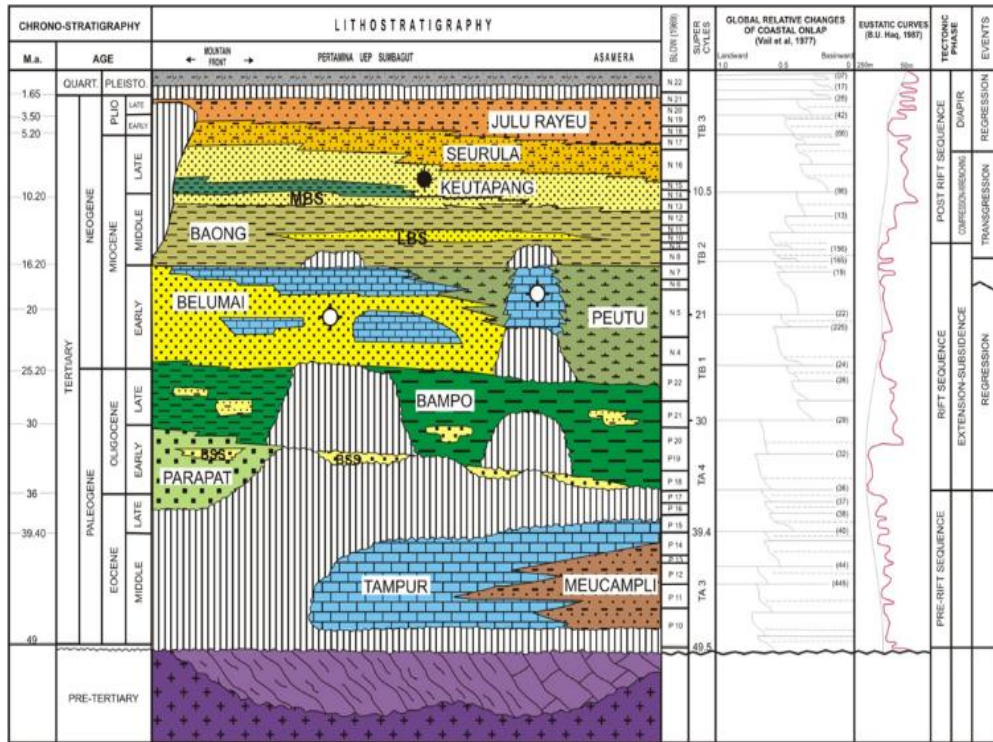
Penggambaran secara umum kondisi lapisan bawah permukaan, terutama keberadaan basemen pra-tercier, dilakukan melalui pengukuran gravitasi. Metode gravitasi memiliki kemampuan yang lebih baik untuk memberikan gambaran basemen pra-tercier yang bersifat regional dan berada di kedalaman yang dalam. Data gravitasi digunakan sebagai data primer dan didukung oleh data seismik dan geologi sebagai data sekunder. Metode gravitasi diharapkan dapat menggambarkan struktur bawah permukaan berdasarkan variasi nilai kerapatan batuan yang ada di bawah permukaan, terutama deskripsi keberadaan dan kedalaman lapisan basemen (Rosid dan Saraswati, 2020). Lapisan pra-tercier di Sumatra umumnya terbentuk dari batuan metamorf dan batuan beku (Metcalf, 2013; Handini dkk., 2017), sehingga ia akan memiliki kontras densitas yang sangat tinggi dengan lapisan sedimen di atasnya. Variasi kerapatan (densitas) batuan juga dapat menggambarkan batas antara setiap formasi dan lapisan sedimen yang ada, apakah sedimennya didominasi oleh litologi batuan karbonat, batu pasir atau tanah lempung. Data gravitasi juga sensitif terhadap variasi densitas arah lateral (Rosid dan Siregar, 2017) sehingga sangat baik dalam memetakan kemungkinan adanya patahan di daerah penelitian ini.

METODE

Stratigrafi Cekungan Sumatra Utara

Menurut Panguriseng (2008) secara stratigrafi formasi tertua pada Cekungan Sumatra Utara berumur Paleozoikum. Formasi ini terdiri dari Formasi Kluet yang tersusun atas batusabak hitam, sekis dan gneiss, dan Formasi Bahorok yang tersusun atas metawacke terbreksiasi atau konglomeratik tanpa perlapisan. Formasi berikutnya yang berumur Paleozoikum terdiri dari Formasi Sembuang dan Formasi Kaloi yang tersusun atas batugamping keras. Keduanya termasuk ke dalam Grup Peusangan. Formasi yang diendapkan pada masa Tersier dimulai dari Formasi Tampur yang berumur Oligosen Awal berupa batugamping massif, biokalkarenit dan biokalsilutit. Selanjutnya, Formasi Bruksah yang berumur Oligosen Akhir berupa batupasir, mika dan batugamping. Formasi Bampo berumur Oligosen Akhir sampai Miosen Awal berupa batulumpur dengan alas berupa konglomerat. Formasi Rampong berumur Miosen berupa batulanau dan batupasir. Pengendapan selanjutnya adalah Formasi Belumai berupa batugamping pada Miosen Awal sampai Miosen Tengah. Pada umur yang sama Formasi Peutu berupa batu lanau dan di Alur Siwah berkembang menjadi batugamping. Di atasnya ada Formasi Baong yang berumur Miosen Tengah sampai Miosen Akhir berupa batulumpur dan batu pasir di Formasi Middle Baong.

Selanjutnya, Formasi Keutapang yang berumur Miosen Akhir – Pliosen berupa batupasir selang-seling dengan batu serpih pada lingkungan delta. Formasi Seureula yang berumur Pliosen berupa batupasir, batulumpur yang bersifat tufaan. Kemudian diendapkan pada masa Plio-Plistosen adalah Formasi Juluraye dan Formasi Idi yang berumur Plistosen berupa endapan kerakal. Paling atas adalah endapan sungai berupa kerakal dan pasir lepas. Secara skematik, susunan stratigrafi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Litostratigrafi dari Sumatera Utara (Kamioli dan Naim, 1973, dan Cameron dkk., 1980)

Anomali Bouguer Lengkap

Anomali Bouguer lengkap merupakan anomali gravitasi yang telah mengalami koreksi, termasuk koreksi waktu (*drift* dan *tide*), koreksi gravitasi normal, koreksi topografi (udara bebas, Bouguer, dan koreksi medan). Dengan asumsi bahwa titik pengamatan terletak di atas datum, maka perhitungan anomali Bouguer lengkap dapat di formulasikan dalam bentuk Persamaan 1.

$$g_{BL} = g_{obs} - g_n + 0,3086h - 0,04192\rho h + TC \tag{1}$$

dimana:

- g_{BL} : anomali Bouguer lengkap
- g_{obs} : hasil pengukuran gravitasi
- g_n : nilai gravitasi dalam bidang sferoid
- h : ketinggian lokasi stasiun pengukuran
- ρ : kerapatan (densitas) rata-rata
- TC : koreksi medan

Analisis derivatif digunakan untuk menentukan lokasi dan mencari tahu jenis patahan yang ada. Untuk mendapatkan ini, *first horizontal derivative* (FHD) dan *second vertical derivative* (SVD) dilakukan pada peta anomali Bouguer atau peta anomali residual dimana selanjutnya dilakukan

analisis pada suatu penampang lintasan tertentu. Dalam penelitian ini Analisis turunan FHD dan SVD dilakukan pada data anomali Bouger lengkap (CBA).

First Horizontal Derivative (FHD)

First Horizontal Derivative (FHD) yang juga disebut gradien horizontal menggambarkan laju perubahan nilai gravitasi yang disebabkan oleh adanya benda anomali pada arah tertentu. Oleh karena itu, metode gradien horizontal dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas horizontal adanya kontras densitas batuan. Perhitungan nilai FHD secara numerik pada arah x ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$FHD = \frac{g_{(i+1)} - g_i}{\Delta x} \tag{2}$$

dimana:

- g_i : nilai anomaly gravitasi pada stasiun ke i (mgal)
- Δx : perbedaan jarak antara stasiun ke i dan ke $i+1$ (m)
- FHD : turunan pertama horisontal arah x

Second Vertical Derivative (SVD)

SVD dapat berfungsi sebagai filter frekuensi tinggi yaitu filter yang meloloskan frekuensi tinggi. SVD dapat menggambarkan anomali residual dari benda anomali dan struktur dangkal yang berarti dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan/sesar. Konsep dasar turunan kedua vertikal (SVD) secara numerik dapat dilihat pada Persamaan 3 (Rosid dan Rosa, 2012).

$$SVD = \frac{4g_{(i,j)} - g_{(i+1,j)} - g_{(i-1,j)} - g_{(i,j+1)} - g_{(i,j-1)}}{\Delta x^2} \tag{3}$$

dimana:

- $g_{i,j}$: nilai anomaly gravitasi (mgal)
- Δx : perbedaan jarak antara stasiun ke i dan ke $i+1$ (m)
- SVD : turunan kedua vertikal

Nilai absolut dari SVD_{min} and SVD_{max} dapat digunakan untuk menentukan tipe patahan sebuah sesar, yaitu sesar normal atau sesar naik. Sesar geser (*transform fault*) tidak dapat diidentifikasi dengan baik melalui metode ini karena tidak terjadi kontras gravitasi yang signifikan pada arah lateral. Jenis patahan yang ditemukan di lapangan dapat ditentukan menggunakan Persamaan 4.

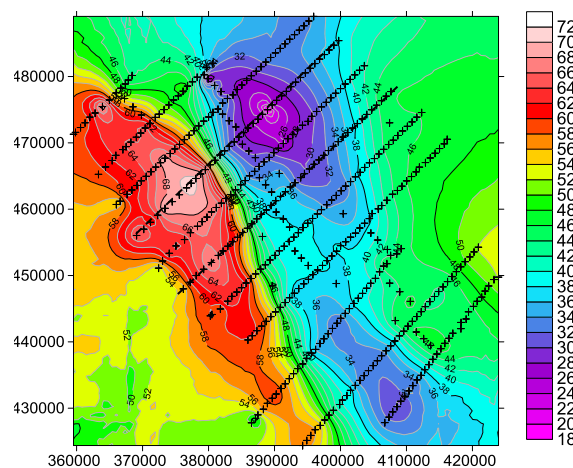
$$\begin{aligned} |SVD|_{min} < |SVD|_{max} &\rightarrow \text{Sesar/patahan Normal} \\ |SVD|_{min} > |SVD|_{max} &\rightarrow \text{Sesar/patahan Naik} \end{aligned} \tag{4}$$

Data gravitasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang di ukur dari 435 titik stasiun. Titik pengukurannya tersebar di 11 lintasan gravitasi berarah Timur laut-Barat daya. Dua dari 11 lintasan gravitasi ini digunakan sebagai lintasan pengukuran seismik untuk data sekunder.

Metode yang digunakan adalah analisis dan pemodelan batuan dan struktur bawah permukaan. Perhitungan data gravitasi dimulai dari data g_{obs} yang telah melalui koreksi pasang surut dan koreksi drift. Selanjutnya, data g_{obs} dikoreksi lagi untuk mendapatkan data *Complete Bouguer Anomaly* (CBA). Koreksi yang dilakukan adalah gravitasi normal, koreksi udara bebas, koreksi

Bouguer dan koreksi terrain/medan. Hasil CBA kemudian dipisahkan dan dibuat menjadi data anomali regional dan residual menggunakan analisis spektrum dan metode *moving average* (Sari dkk., 2012). Data analisis spektrum ini diperoleh dari hasil *slicing* pada peta anomali CBA yang disesuaikan dengan lintasan pengukuran gravitasi. Garis *slicing* dan lintasan stasiun gravitasinya ditunjukkan pada Gambar 2.

Pemodelan untuk struktur bawah permukaan dilakukan menggunakan pemodelan ke depan 2D (*2D forward modelling*) terhadap data anomali residual. Pemodelan ini hanya dilakukan pada lintasan 4 dan lintasan 6 saja agar dapat diverifikasi dengan data seismik pada lintasan yang sama. Sementara itu, analisis struktur patahan dilakukan dengan menggunakan metode FHD dan SVD pada peta CBA.



Gambar 2. Garis *slicing* dan lintasan stasiun gravitasi pada peta CBA

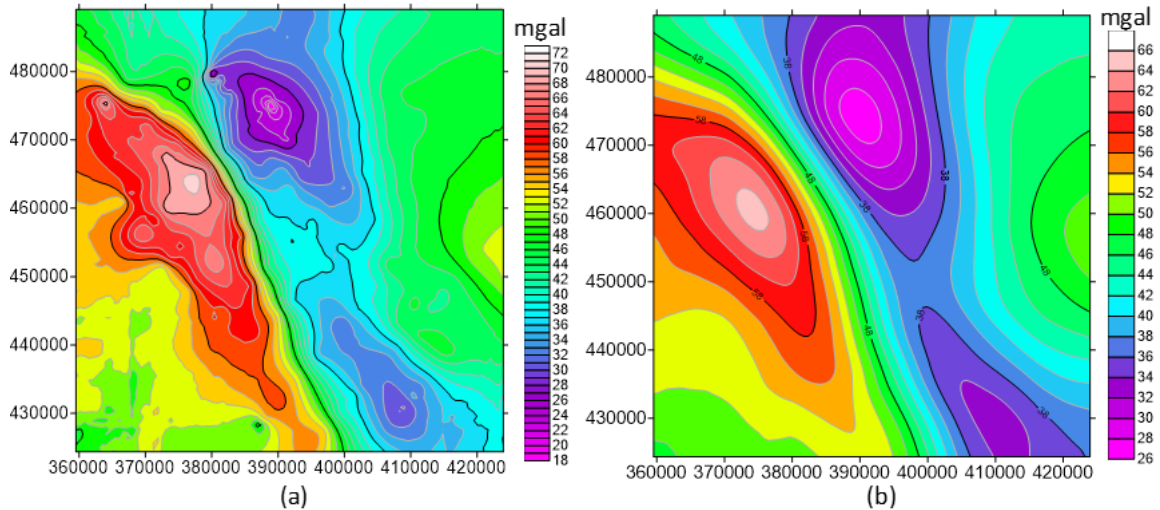
Nilai N rata-rata 17,2316 diperoleh dari hasil perhitungan analisis spektrum. Nilai ini kemudian dibulatkan menjadi $N = 19$ karena untuk melakukan proses *moving average* dibutuhkan nilai N ganjil (Purnomo dkk., 2013). Dengan nilai N inilah kemudian dilakukan pemisahan anomali regional dan residual dari peta CBA.

Setelah mendapatkan peta anomali regional dan residual, proses selanjutnya adalah *slicing* peta anomali residual untuk dilakukan pemodelan ke depan 2D menggunakan perangkat lunak Oasis Montaj pada menu Gym-sys. Pemodelan dilakukan pada dua lintasan, lintasan 4 dan 6 data gravitasi. Dalam melakukan pemodelan 2D, peta geologi permukaan diperlukan sebagai referensi dalam pemodelan formasi yang tersingkap di permukaan. Selain itu, pemodelan juga mengacu pada data seismik yang ada pada kedua lintasan yang telah ditafsirkan sebelumnya. Adapun sejumlah struktur patahan yang ada diperoleh dari hasil analisis FHD dan SVD sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

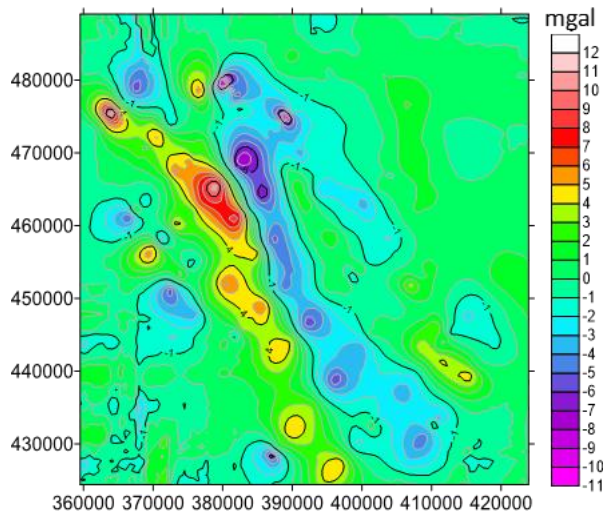
Pemisahan Anomali Regional dan Residual dari Peta CBA

Pemisahan anomali regional dan residual dari anomali Bouguer lengkap dilakukan untuk melihat perbedaan dari masing-masing body anomali. Data anomali residual menggambarkan anomali benda-benda di permukaan, sedangkan anomali regional merepresentasikan anomali benda dalam. Hasil pemisahan anomali tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Peta anomali CBA dan (b) Peta anomali regional daerah penelitian.

Peta anomali residual kemudian diperoleh dari hasil pengurangan anomali regional gravitasi terhadap anomali CBA, dan hasilnya terlihat pada Gambar 4.



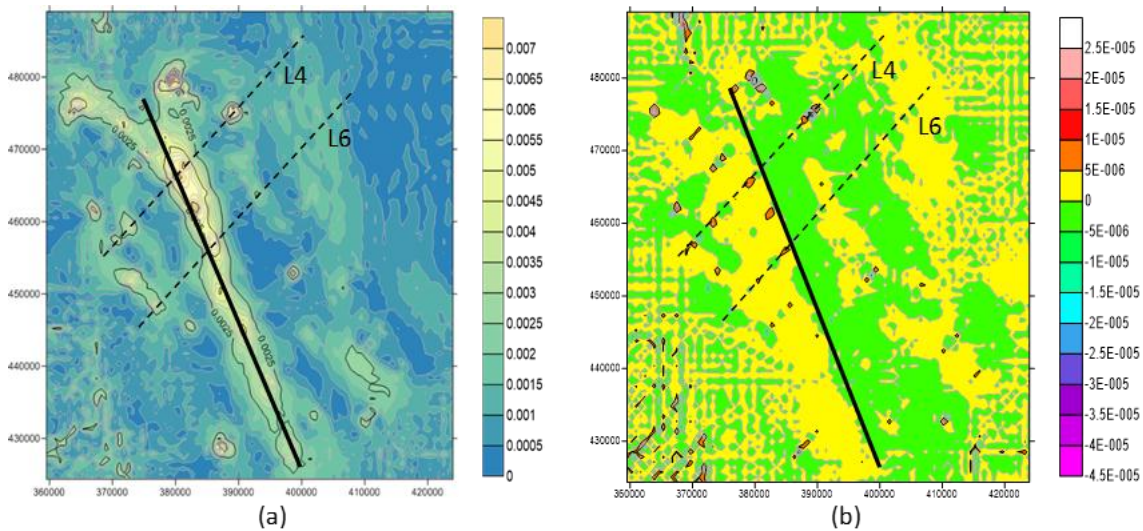
Gambar 4. Peta anomali residual daerah penelitian.

Pada Gambar 3 (a) peta CBA menunjukkan bahwa nilai gravitasi di daerah ini berkisar antara 18-72 mGal. Nilai gravitasi ini seperti terkelompok dalam 2 daerah saja, blok daerah gravitasi tinggi dan blok daerah gravitasi rendah. Daerah gravitasi rendah dengan interval nilai 18-42 mGal berada di Timur laut wilayah penelitian, sementara daerah gravitasi tinggi dengan nilai mencapai 72 mGal berada di Barat daya wilayah penelitian. Kedua blok daerah anomali gravitasi tinggi dan rendah ini seakan-akan terpisah secara jelas oleh suatu garis yang memanjang pada arah Barat laut-Tenggara. Kontras gravitasi yang sangat tegas ini mengindikasikan adanya suatu patahan. Arah patahan ini sungguh selaras dengan arah Sesar Sumatra yang memanjang dari Aceh hingga Lampung di Selatan. Pada Gambar 3 (b), peta anomali regional memiliki nilai gravitasi mulai dari 26-66 mGal. Peta anomali regional menggambarkan nilai gravitasi dari batuan dalam dan regional. Pada peta anomali regional pun data gravitasi terbagi pada 2 blok yang sama, blok gravitasi tinggi di

Barat daya dan gravitasi rendah di Timur laut. Sementara itu, pada Gambar 4, peta anomali residual yang nilainya berkisar antara -11 dan 12 mGal menunjukkan nilai gravitasi yang berasal dari benda-benda dangkal. Kedua peta anomali regional dan residual sama-sama mengindikasikan adanya anomali gravitasi seperti yang terlihat pada peta CBA. Pada kedua peta, sisi kiri menggambarkan batuan densitas tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah gravitasi tinggi, sedangkan sisi kanan memiliki anomali gravitasi rendah yang ditunjukkan oleh warna biru-ungu. Indikasi adanya struktur patahan pada data CBA, berarti patahan tersebut diduga menerus dari kedalaman dalam hingga ke permukaan. Hal ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya zona graben di wilayah gravitasi rendah (kerapatan rendah) blok Timur laut tersebut.

Analisis FHD and SVD

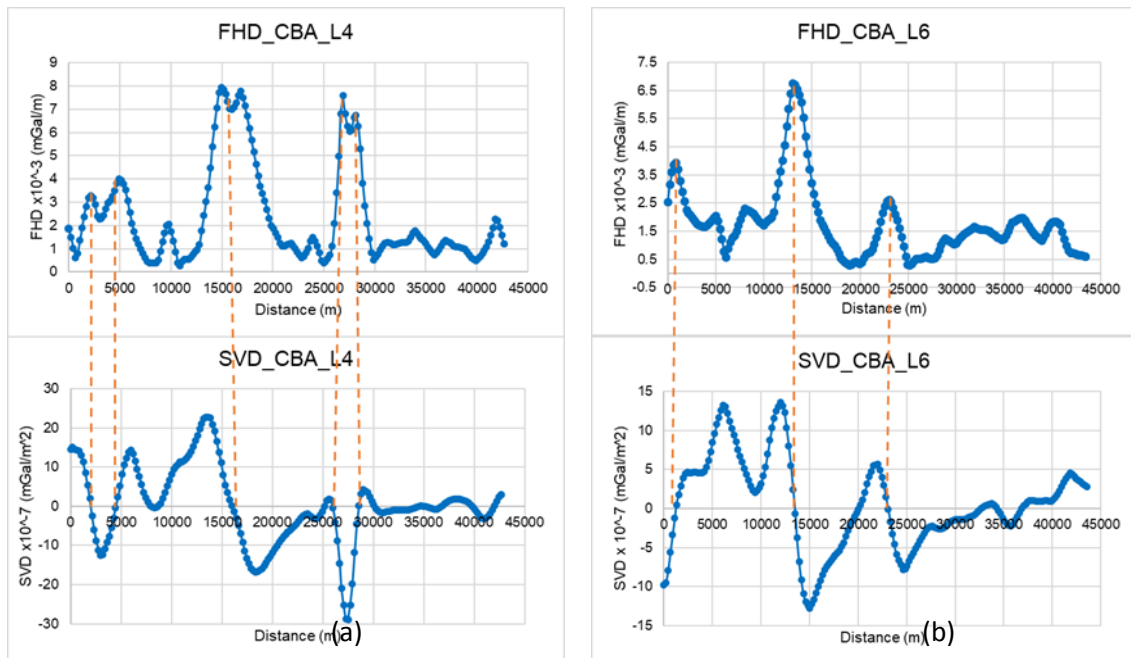
Hasil dari filter FHD dan SVD terhadap peta anomali Bouger lengkap (CBA) dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5(a) menunjukkan hasil analisis FHD dari peta CBA dimana nilai maksimal (atau nilai tertinggi adalah 0,007 mGal/m) menunjukkan patahan yang ditunjukkan oleh warna krim. Gambar 5 mengindikasikan adanya patahan/sesar yang membentang arah Barat laut-Tenggara yang membagi wilayah penelitian menjadi dua bagian Barat daya (SW/*South west*) dan Timur laut (NE/*North east*) dari garis yang ditunjukkan oleh garis hitam. Jika dilihat peta CBA pada Gambar 3(a), lokasi sesar pada peta FHD tepat antara nilai gravitasi rendah di bagian Timur laut dan nilai gravitasi tinggi di bagian Barat daya dalam peta CBA. Sedangkan Gambar 5(b) menunjukkan hasil analisis SVD, dimana keberadaan sesar ditunjukkan oleh nilai nol. Nilai yang nol ditunjukkan oleh batas pertemuan antara warna hijau dan kuning. Secara umum, pada peta SVD juga mengindikasikan adanya patahan yang memanjang pada arah Barat laut-Tenggara yang ditunjukkan oleh garis hitam. Posisi patahan dalam SVD ternyata berada pada lokasi yang sama dengan posisi yang muncul di FHD.



Gambar 5. (a) Peta hasil FHD, (b) Peta hasil SVD dari peta CBA.

Peta hasil SVD dapat digunakan untuk menunjukkan adanya sesar dan untuk mengetahui jenis sesarnya. *Slicing* pada lintasan 4 dan 6 dari setiap peta FHD dan SVD telah dibuat untuk menentukan keberadaan dan lokasi sesar serta jenisnya. Hasil *slicing* kemudian dimasukkan ke dalam format excel dan ditampilkan dalam bentuk kurva. Hasil plotting kurva dari kedua metode FHD dan SVD dan korelasi antar keduanya dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6(a) menunjukkan kurva FHD dan SVD di sepanjang lintasan 4. Gambar 6(a) mengindikasikan ada 5 sesar yang ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak (nilai maksimal) kurva FHD. Sedangkan kurva SVD menunjukkan bahwa lokasi sesar berada pada titik nol. Ada kurva SVD yang bernilai nol namun tidak mengindikasikan adanya bidang sesar karena titik tersebut tidak berasosiasi dengan puncak kurva FHD. Pada garis merah pertama yang berjarak 2200 m, nilai kurva minimum SVD lebih besar dari pada nilai maksimumnya. Hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi ini terindikasi ada sesar naik. Pada garis merah kedua yang berada pada jarak 5100 m, nilai kurva minimum nya lebih besar dari pada nilai kurva maksimum, yang berarti bahwa di lokasi tersebut diduga juga terdapat patahan naik. Sedangkan pada garis ketiga yang berada pada jarak 15.500 m, nilai kurva maksimum SVD lebih besar dari pada nilai kurva minimumnya yang menunjukkan patahan normal. Garis ke empat pada jarak 26.800 m dan garis ke lima pada jarak 28.300 m juga menunjukkan patahan naik karena nilai kurva minimumnya jauh lebih besar daripada kurva maksimum. Jenis sesar yang dominan pada lintasan 4 ini adalah sesar naik sesuai dengan penampang seismik pada lintasan 4 (seperti yang ditunjukkan Gambar 7).



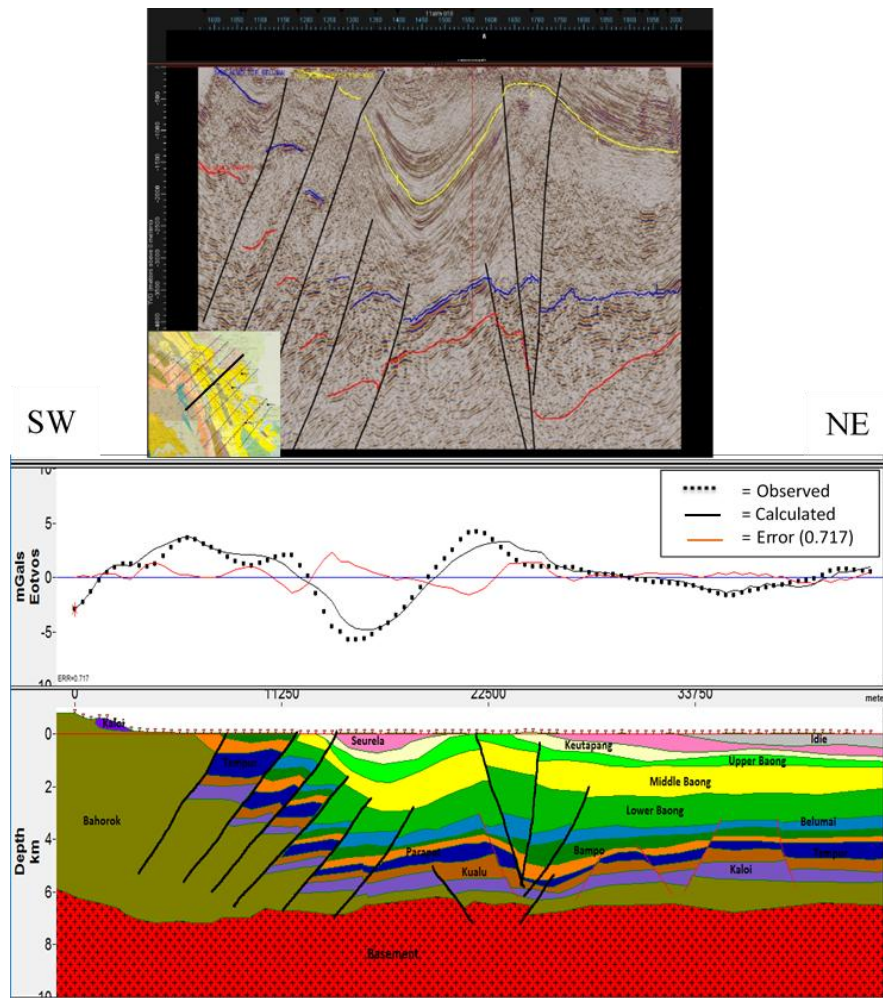
Gambar 6. Korelasi hasil FHD dan SVD dalam mengkarakterisasi sesar pada (a) lintasan 4, (b) lintasan 6.

Gambar 6(b) menunjukkan kurva FHD dan SVD di sepanjang lintasan 6. Kedua kurva FHD dan SVD mengindikasikan adanya 3 sesar/patahan dengan baik. Sama dengan fenomena pada lintasan 4, patahan disini juga ditunjukkan oleh nilai FHD yang maksimal dan terlihat membentuk puncak grafik. Sedangkan patahan pada SVD ditunjukkan oleh titik kurva yang bernilai nol. Pada garis merah pertama yang berjarak 865 m, nilai kurva minimum SVD lebih besar dari pada nilai maksimumnya. Hal ini menunjukkan bahwa ada sesar naik pada lintasan ini. Pada garis merah kedua yang berada pada jarak 13.400 m, nilai kurva minimumnya juga lebih besar dari pada nilai kurva maksimum. Ini juga menggambarkan adanya patahan naik lainnya. Sedangkan pada garis ketiga yang berada pada jarak 23.000 m, nilai kurva minimum jauh lebih besar dari pada nilai kurva maksimum yang juga menunjukkan adanya patahan naik. Jenis sesar yang dominan di sepanjang lintasan 6 adalah sesar naik. Kondisi ini analog dengan sesar yang mendominasi lintasan 4, ada

keselarasan patahan pada kedua lintasan ini. Hal ini sesuai dengan kemungkinan sesar yang ditampilkan pada penampang seismik pada lintasan 6.

Pemodelan ke Depan 2D Data Gravitasi

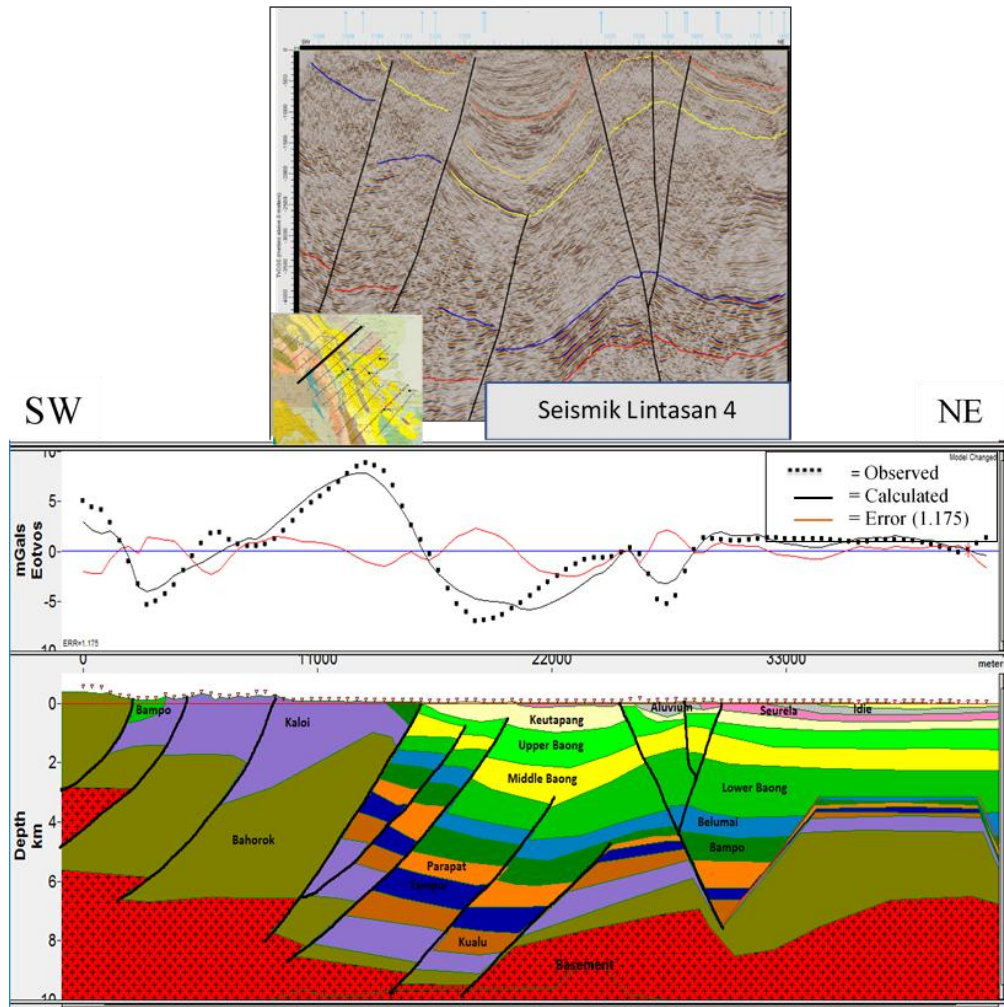
Slicing anomali residual telah dibuat pada dua lintasan gravitasi (lintasan 4 dan 6) untuk mendapatkan kurva anomali residual gravitasi di sepanjang lintasan tersebut. Penampang batuan bawah permukaan di sepanjang lintasan kemudian dibuat untuk mendapatkan model perlapisan dan struktur batuan bawah permukaan yang sesuai. Model batuan bawah permukaan dibuat dengan memasukan nilai densitas batuan, bentuk geometri batuan, dan lokasinya dari permukaan yang dilakukan secara *try and error* sehingga menghasilkan kurva anomali gravitasi yang sesuai dengan bentuk kurva pengamatan anomali gravitasi (Uwiduhaye dkk., 2016). Pemodelan ke depan (*forward modelling*) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Gym-sys pada perangkat lunak Oasis Montaj. Pemodelan dilakukan dengan mengacu pada hasil interpretasi data seismik dan data singkapan geologi, serta stratigrafi geologis di wilayah penelitian. Hasil pemodelan gravitasi 2D yang disandingkan dengan penampang seismik di sepanjang lintasan gravitasi 6 dan 4 ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Hasil pemodelan ke depan 2D dan penampang seismik pada lintasan 6

Gambar 7 menunjukkan hasil pemodelan dari penampang bawah permukaan pada lintasan 6 yang berarah Timur laut-Barat daya. Penampang ini menunjukkan korelasi yang kuat antara

intensitas struktur pelipatan dengan data gravitasi residual yang diamati. Gravitasi lokal di lintasan ini bernilai maksimum 4 mGal dan nilai minimum -6 mGal. Proses sesar yang kuat terjadi di daerah Barat daya. Hal ini terlihat juga pada penampang seismik. Proses tektonik ini menyebabkan Formasi Kalo dengan densitas 2,75 gr/cc tersingkap ke permukaan. Fenomena ini membuat kurva gravitasi lokal bernilai maksimum. Nilai maksimum ini juga berasosiasi dengan adanya pengaruh litologi batuan dengan densitas tinggi (Formasi Bahorok) yang tersingkap di permukaan. Di bagian tengah penampang terlihat bahwa gravitasi residual yang terukur nilainya berkurang. Kurva anomali gravitasinya berbentuk sinklin. Hal ini diduga karena pengaruh struktur bagian dalam dari lapisan basemen.



Gambar 8. Hasil pemodelan ke depan 2D dan penampang seismik pada lintasan 4

Gambar 8 menampilkan penampang hasil pemodelan di sepanjang lintasan 4 dengan arah SW-NE. Penampang ini juga menunjukkan adanya korelasi antara struktur pelipatan yang meningkat dengan intensitas data gravitasi residual yang terukur. Gravitasi lokal/residualnya memiliki nilai maksimum 8 mGal dan nilai minimum -6 mGal. Sesar secara dominan terjadi di area Barat daya yang membuat Formasi Kalo dengan densitas 2,75 g/cc tersingkap ke permukaan. Di pusat penampang tampak bahwa nilai maksimum gravitasi residual yang terukur cenderung berkurang dengan bentuk kurva seperti sinklin. Fenomena ini diduga kuat dipengaruhi oleh struktur

basemen. Nilai kurva residual yang agak tinggi di bagian Timur diduga disebabkan oleh pengaruh konfigurasi lapisan basemen yang juga mengalami pengangkatan.

Hasil pemodelan pada lintasan 6 dan 4 pada Gambar 7 dan 8 menggambarkan adanya 11 formasi dengan nilai densitas batuan yang berbeda. Formasi Baong dalam pemodelan ini dibagi menjadi 3 bagian, Baong Atas, Baong Midle, dan Baong Bawah. Formasi Baong Bawah dan Belumai berperan sebagai batuan induk hidrokarbon dan Formasi Baong Atas dan Keutapang sebagai batuan reservoir dan penudungnya (Barber dkk., 2005). Formasi Baong Bawah sendiri dilaporkan memiliki kandungan *total organic Carbon* (TOC) berkisar 0,8–3,5% dengan tipe kerogen II/III (*mixed oil/gas-prone*) (Bahesti dkk., 2013). Susunan ke 11 formasi batuan diurut dari yang berumur muda ke tua berikut nilai densitasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Susunan batuan hasil pemodelan diurut dari formasi batuan yang berumur muda ke tua

No.	Nama Formasi	Densitas (g/cc)
1	Idie	2,10
2	Seurela	2,30
3	Keutapang	2,40
4	Baong Atas	2,50
5	Baong Midle	2,53
6	Baong Bawah	2,55
7	Belumai	2,57
8	Bampo	2,60
9	Parapat	2,65
10	Tampur	2,68
11	Kualu	2,70
12	Kaloi	2,75
13	Bahorok	2,80
14	Basemen	3,20

Penentuan formasi batuan pada pemodelan gravitasi 2D mengacu pada informasi geologi dan stratigrafi Cekungan Sumatera Utara. Pada lintasan 6 dan 4 terlihat bahwa lapisan basemen diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 6 km ke bawah. Formasi Bahorok, Kaloi dan Kualu mungkin berada sebagai lapisan basemen juga yang diduga terbentuk selama periode Pra-Tersier. Formasi Bahorok yang terdiri dari metawacke batuan breksi atau konglomerat yang tidak ter-*coating* (tanpa lapisan penutup) telah tersingkap di bagian Barat daya dari penampang lintasan. Formasi Kaloi yang merupakan jenis formasi batu kapur keras dan Formasi Kualu yang merupakan batu pasir klastik dan batu kapur yang diendapkan pada usia pra-tercier, mengalami pengangkatan juga dan mengalami patahan naik (*reverse fault*) pada bagian Barat daya dari penampang lintasan.

Hasil analisis terpadu dengan data geologi dan penampang seismik menunjukkan batuan tersier diperkirakan pada awalnya merupakan hasil sedimentasi Formasi Tampur yang terdiri dari batu kapur massif (Halim, 2016). Di atas Tampur adalah Formasi Parapat yang terdiri dari mika, konglomerat, breksi kuarsa, serta sisipan serpih. Lalu ada Formasi Bampo yang terdiri dari batuan tanah liat (*lempung/clay*). Formasi Belumai yang merupakan batu pasir dan memiliki batu kapur berada di atas Formasi Bampo. Selanjutnya, ada Formasi Baong yang cukup tebal hingga kedalaman 3.500 m. Formasi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian bawah didominasi oleh lanau dan batulempung dengan sisipan batupasir dan batu kapur, bagian tengah (*Middle Baong Sand/MBS*) didominasi oleh batupasir glaukonit dan tanah liat dengan sisipan lanau dan lapisan tipis batu kapur, dan bagian atas sebagian didominasi oleh lanau dan tanah liat dengan sisipan batu pasir dan lapisan tipis batu kapur. Berikutnya adalah Formasi Keutapang yang terdiri dari batu pasir

diselingi oleh serpih. Di atas Keutapang ada Formasi Seurela yang terdiri dari batu pasir dan tanah liat dan Formasi Idie dalam bentuk kluster. Dari pemodelan gravitasi, muncul di Formasi Baong, Keutapang, dan Seurela struktur pelipatan yang membentuk garis antiklin dan garis sinkronisasi yang juga muncul di penampang seismik. Struktur ini dapat disebabkan juga oleh kekuatan yang mendorong dari sisi Barat dan Timur.

Analisis Potensi Jebakan Hidrokarbon

Dari sejarah eksplorasi di Cekungan Sumatera Utara, formasi yang menjadi reservoir umumnya ditemukan di Formasi Baong yang dikenal sebagai reservoir MBS yang menghasilkan minyak dan gas. Selain Formasi Baong, ada juga reservoir pada batupasir Formasi Seurela di blok X yang menghasilkan gas. Secara umum, reservoir yang telah terbukti menghasilkan hidrokarbon berada dalam formasi muda usia Miosen dan terletak tidak terlalu dalam. Untuk terus mengembangkan penemuan sumber hidrokarbon baru, penelitian ini dimaksudkan untuk menemukan potensi keberadaan reservoir atau perangkap di lapisan dalam di atas basemen pra-tersier. Berdasarkan informasi stratigrafi, batuan pra-tersier didominasi oleh batuan beku, sedimen, batu kapur, dan dolomit, ada juga metasedimen, metamorf. Batu kapur yang didalamnya juga terdapat fosil *Halobia* ditemukan di Formasi Kaloi, metasedimen dan metamorfik ditemukan di Formasi Bahorok. Sedimen pra-tersier ini mempunyai potensial sebagai reservoir terbatas (Mulhadiono dan Sutomo, 1984). Studi potensial reservoir batuan dasar (basemen) di daerah ini, bagaimanapun juga belum banyak dilakukan dan masih dalam upaya pengembangan.

Hasil susunan stratigrafi menunjukkan bahwa formasi pada lapisan dalam di atas basemen pra-tersier yang berpotensi menjadi jebakan hidrokarbon adalah Formasi Tampur ke atas, termasuk Formasi Parapat. Formasi Tampur didominasi oleh paparan karbonat yang dalam beberapa literatur biasa disebut basemen ekonomi. Formasi ini menjadi basemen batuan tersier. Formasi Tampur sebagai basemen ekonomi belum banyak diteliti. Hasil studi Primadi (2013) menyimpulkan bahwa Formasi Tampur memiliki potensi sebagai reservoir hidrokarbon dalam basemen yang retak. Studi beliau membandingkan antara nilai ekonomi vs peretakan basemen di Cekungan Sumatera Utara dimana Formasi Tampur berada. Ketika mengacu pada penampang seismik yang ada dan hasil pemodelan gravitasi, ternyata ada sesar yang terlihat dalam Formasi Tampur yang dapat berpotensi sebagai basemen retakan, selain berpotensi sebagai struktur perangkap.

Selain Formasi Tampur, formasi lain di lapisan dalam yang berpotensi sebagai reservoir yang baik adalah Formasi Parapat yang didominasi oleh batupasir. Sedimen batupasir memiliki porositas dan permeabilitas yang baik sebagai tempat untuk menjebak hidrokarbon. Formasi Parapat di darat tidak pernah terbukti sebagai reservoir hidrokarbon komersial, tetapi di sumur lepas pantai, ONS-B2, ONS-B1, dan ONS-A5 telah menunjukkan adanya minyak dan gas (Mulhadiono dan Sutomo, 1984). Studi lain yang dilakukan oleh Tri (2013) di cekungan yang sama memberikan kesimpulan bahwa Formasi Parapat di daerah penelitian menunjukkan adanya potensi hidrokarbon.

SIMPULAN

Hasil pengolahan data gravitasi ini menyimpulkan bahwa di daerah penelitian terdapat lapisan basemen pra-tersier yang diperkirakan berada pada kedalaman 6.000 m. Di atas lapisan basemen ini terdapat lapisan sedimen yang menjadi bagian dari target eksplorasi konsep baru, dan ia diperkirakan terbentuk pada masa pra-tersier juga. Lapisan sedimen ini terdiri dari Formasi Bahorok, Kaloi, dan Kualu. Ketiga formasi tersebut terbentuk dari sedimen breksi atau konglomerat, kapur, dan pasir klastik. Lapisan sedimen pra-tersier ini berpotensi untuk menjadi reservoir hidrokarbon terbatas. Lapisan dalam yang lebih berpotensi untuk menjadi reservoir hidrokarbon adalah sedimen tersier yang berada pada Formasi Tampur dan Parapat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada PT. Pertamina Hulu Energi atas izinnya untuk menggunakan data dalam studi ini dan publikasi hasilnya. Terima kasih juga kepada DRPM Universitas Indonesia atas bantuan keuangannya yang berharga melalui hibah PITTA 2019 untuk biaya publikasi hasil penelitian ini.

REFERENSI

- Bahesti, F., Eddy, A.S., Nanang, A.M., Wuryadi, S., Mohammad W., dan Nuri, F. (2013). Integrated Geochemical, Geomechanical and Geological (3G) Study of Lower Baong shale Formation for Preliminary Shale Gas Prospectivity in the North Sumatra Basin. *SPE Conference Paper, SPE Journal*.
- Barber, A.J. and De Smet, M.E.M. (2005). *Chapter 7: Tertiary stratigraphy. In: Barber, A.J., Crow, M.J., & Milsom, J.S., eds, Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. London: Geological Society, 86-97.
- Cameron, Nick R, Clarke, M.C.G, Aldiss, D.T, Aspden, J.A, and Djunuddin, A. (1980). *The Geological Evolution of Northern Sumatera*.
- Halim, I.P. (2016). Integrasi Data Geologi, Geofisika dan Reservoir dalam Pemodelan Geologi di Lapangan "X". *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*, 12.1-12.9.
- Handini, E., Setiawan, N.I., Husein, S., Adi, P.C., dan Hendarsyah. (2017). Petrologi Batuan Alas Cekungan (Basemen) Pra-Tersier di Pegunungan Garba, Sumatera Selatan. *Proceedings Joint Convention Malang 2017, HAGI – IAGI – IAFMI – IATMI (JCM 2017)*.
- Kamioli, Z.A., and Naim, A.M. (1973). Stratigraphy of Lower and Middle Miocene Sediment in North Sumatra Basin: *Proc. Indonesia Petroleum Association, 2nd Ann. Conv.*, 53-72.
- Lubis, S., Susilohadi, Usman, E., Salahuddin, M. dan Hadiwijaya, P. (2016). Potensi Hidrokarbon pada Sub-Cekungan Busur Muka Simeuleu: Tanggapan Geologi Kelautan Sebagai "Second Opinion". *PPPGL*.
- Metcalf, I. (2013). Gondwana Dispersion and Asean Accretion: Tectonic and Palaeo-Geographic Evolution of Eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66, 1-33.
- Mulhadiono, and Sutomo, J.A. (1984). The Determination of Economic Basement of Rock Formation in Exploring the Langkat-Medan Area, North Sumatera Basin, *Proceeding IPA 13th Annual Convention, Indonesian Petroleum Association*, 75-107.
- Panguriseng, M. J. (2008). Karakterisasi Litofasies dan Dimensi Reservoir Turbidit Middle Baong Sand (MBS) Dari Data Log Sumur, dan Seismik 3D dengan Pendekatan Artificial Neural Network, *Prospek "Corondum"*, Cekungan Sumatera Utara, Universitas Indonesia, Depok.
- Pertamina BPPKA. (1995). *Petroleum Geology of Indonesian Basins: Principles, Methods, and Application*, Vol. I North Sumatra Basin. Jakarta: Pertamina
- Primadi, Ignatius. (2013) Economic vs Fractured Basement: A Case Study from North Sumatra Basin, *Indonesian Journal of Sedimentary Geology ISBN 0853-9413*, The Indonesian Sedimentologists Forum (FOSI).
- Purnomo, J., Koesuma, S., and Yuniarto, Y. (2013). Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion. *Indonesian Journal of Applied Physics (2013) 3(1)*, 10-18.
- Rosid, M. S., dan Rosa, E. (2012). Fault Determination Using Gravity Anomaly Data Singkarak Area, West Sumatra, *Proceeding of 2nd Basic Science International Conference, FMIPA-UB, Malang*.
- Rosid, M. S., and Siregar, H. (2017). Determining Fault Structure Using First Horizontal Derivative (FHD) and Horizontal Vertical Diagonal Maxima (HVD) Method: a Comparative Study, *AIP Conference Proceedings 1862*, 030171.

- Rosid, M.S. dan Saraswati, C.B. (2020). Implementation 3D Inversion of Gravity Data to Identify Potential Hydrocarbon Reservoir Zones in West Timor Basin. *Journal of Sains Malaysiana*, in progress to publish.
- Saputro, H.A. (2014). Analisis Produksi Minyak Mentah Indonesia Dengan Pendekatan Error Correction Model. *Economics Development Analysis Journal*, 3(1), 36-47.
- Sari, I. P., Rosid, M. S., and Widiyanto, E. (2012). A Comparison of Filtering Method for Regional and Residual Field Separation from Bouguer Anomaly, *Proceedings of 6th Kentingan Physics Forum, International Conference on Physics and Its Applications (ICOPIA)*, 241-250.
- Siki, D.F.C., Burara, I.L., dan Triwibowo, B. (2016). Evaluasi Lapisan Batupasir B Formasi Bekasap Lapangan Tri untuk Menentukan Sumur Infill. *Promine Journal*, 4 (1), 8 – 16.
- Tri, Rachman S. (2013). Identifikasi Batupasir Formasi Parapat Sebagai Reservoar dan Perhitungan Sumber Daya Hidrokarbon yang Dikandung, di Lapangan JOE Cekungan Sumatera Utara, *Skripsi S1*, Universitas Padjadjaran, Jatinangor.
- Uwiduhaye, J., Mizunaga, H., and Saibi, H. (2016). 2-D Forward Modelling of Gravity Data, A Case Study of Kinigi Geothermal Field, Rwanda, *Proceedings of the 135th SEGJ Conference 135, 2016*, at Ishikawa, Japan.
- Wicaksono, Y.W., Syaifudin, M., dan Choiriah, S.U. (2017). Analisis pemodelan cekungan lapisan batuan induk pada Lapangan “Y” Cekungan Sumatra Utara. *Jurnal Ilmiah Geologi Pangea*, 4 (2), 41-52.