



## **Delineasi Batuan Granit dan Sedimen Daerah Bintan dan Sekitarnya, Kepulauan Riau Berdasarkan Analisis Data Gayaberat**

### *Delineation of Granite and Sedimentary Rocks of Bintan Island and Its Surrounding Area, Riau Islands Based on Gravity Data Analysis*

Imam Setiadi, Noorcahyo D. Aryanto dan Nazar Nurdin

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Balitbang ESDM

Jalan Dr. Djunjuran No.236, Husein Sastranegara, Kec. Cicendo, Kota Bandung, Jawa Barat 40174

e-mail : [setiadi\\_i@yahoo.com](mailto:setiadi_i@yahoo.com)

Naskah diterima : 27 Mei 2021, Revisi terakhir :31 Agustus 2021 Disetujui : 06 September 2021, Online : 06 September 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.22.3.143-152p>

**Abstrak**-Kepulauan Riau merupakan bagian dari jalur granit utama pembawa mineral dan timah, cebakan atau pengkayaan mineral diperkirakan terakumulasi sebagai endapan plaser Kuartar yang menempati lembah purba. Studi mengenai penyebaran batuan granit dan sedimen berdasarkan analisis data gayaberat di daerah ini belum pernah dilakukan. Pada eksplorasi sumberdaya mineral khususnya timah dan unsur tanah jarang, informasi mengenai keberadaan batuan granit penting dilakukan untuk mengetahui batuan sumber mineral tersebut. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pola penyebaran batuan granit dan batuan sedimen yang terdapat pada daerah Pulau Bintan dan sekitarnya. Metode yang dilakukan yaitu dengan cara melakukan analisis data gayaberat menggunakan analisis spektral dan *bandpass filter*, serta pemodelan 3D inversi. Hasil analisis spektral menunjukkan ketebalan batuan sedimen rata-rata diperkirakan sebesar 1,25 km, sedangkan hasil aplikasi *bandpass filter* menggunakan panjang gelombang *cutoff* dengan batas bawah 10.000 m dan batas atas 30.000 m digunakan untuk menentukan anomali regional dan residual. Hasil analisis kualitatif memperlihatkan bahwa batuan sedimen menempati bagian barat laut, tenggara dan barat daya daerah penelitian, sedangkan pola penyebaran batuan granit mempunyai arah relatif barat laut-tenggara dan utara-selatan sesuai dengan penyebaran kecenderungan regional jalur granit. Hasil pemodelan inversi 3D gayaberat menunjukkan bahwa batuan granit mempunyai nilai rapat massa rata-rata sebesar 2,65 gr/cc dan batuan sedimen mempunyai nilai rapat massa sekitar 2,4 gr/cc. Batuan granit yang muncul berdasarkan model merupakan batolit dan pada bagian atas mengalami pelapukan, batuan granit yang tererosi selanjutnya terdendapkan yang mengisi lembah-lembah sebagai batuan sedimen yang kemungkinan membawa mineral-mineral ekonomis di daerah penelitian

**Katakunci:** Batuan granit dan sedimen, gayaberat, *bandpass filter*, pemodelan 3D, Pulau Bintan, Riau.

**Abstract**-Riau Islands are part of the main granite route carrying minerals and tin deposits, in this area traps and mineral enrichment are accumulated as quaternary placer deposits that occupied at ancient valleys. Study of the distribution granite and sedimentary rocks based on gravity data analysis has not been carried out in this area. In the mineral resources exploration, especially tin and rare earth elements, information about the existance of granite is important to determine the source rock of these minerals. The purposes of the research are to know the distribution patterns of granite and sedimentary rocks in the Bintan Island region and its surroundings area. The method used in this study are by analyzing the gravity data using spectral analysis and band pass filters, as well as 3D inverse modeling. The spectral analysis results show that the average thickness of the sedimentary rock at the study area estimated 1.25 Km, the band pass filter uses a cutoff wavelength with a lower boundary of 10,000 m and an upper boundary of 30,000 m and the results are used to determine regional and residual anomalies. The qualitative analysis results show that the sedimentary rocks located at the northwest, southeast and southwest parts of the study area, while the distribution pattern of granite rocks has a relative northwest-southeast and north-south direction in accordance with the regional trend distribution of the granite route. The results of 3D gravity inverse modeling show that granit has an average mass density value of 2.65 gr/cc and sedimentary rock has a mass density value of about 2.4 gr/cc. Based on the model, granit rocks that appear are interpreted as batholiths and granit at the top location is weathered, eroded granit rocks are then deposited that fill the valleys as sedimentary rocks that are likely to carry economical minerals in the study area.

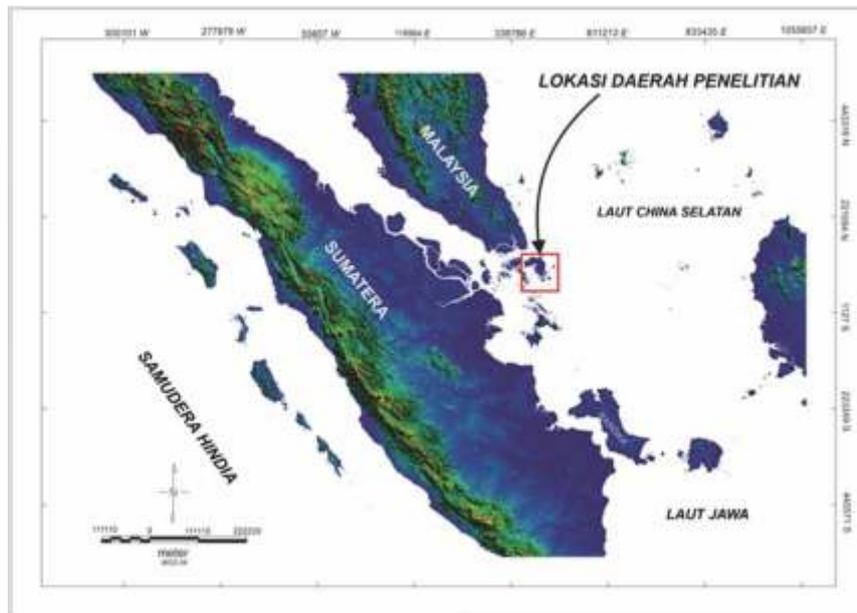
**Keywords:** Granite and sedimentary rocks, gravity, bandpass filter, 3D modeling, Bintan Island, Riau.

## PENDAHULUAN

Jalur granitoid Asia yang berbentuk intrusi plutonik menerus dari daratan Thailand, Semenanjung Malaysia, Kepulauan Riau, Singkep, Bangka-Belitung hingga Kalimantan Barat (Batchelor, 1983). Batuan granit ini muncul di sepanjang jalur timah yang mempunyai jenis berbeda-beda, Pulau Bintan merupakan jalur utama granit yang termasuk dalam sabuk timah granit sebelah timur (*eastern tin belt granite*). Sebagai daerah jalur timah, diperkirakan di daerah ini terdapat lembah (*paleo-channel*) batuan sedimen yang berasal dari batuan plutonik granit yang kemungkinan mengandung endapan timah dan mineral ekonomis. Dalam industri pertambangan dan eksplorasi endapan timah dan mineral plaser tidak hanya difokuskan pada tempat akumulasi mineral (perburuan lembah) namun perlu juga untuk menemukan batuan sumbernya, kemenerusan jalur granit ini perlu diketahui baik di wilayah darat dan laut sehingga akan membantu dalam kegiatan eksplorasi sumberdaya mineral. Gayaberat adalah salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan berdasarkan perbedaaan parameter sifat fisik rapat massa (densitas) batuan. Metode ini telah banyak digunakan di beberapa negara antara lain adalah (El Azzab dkk., 2018) melakukan interpretasi geologi Hercynian granite (*Northeastern Morocco*)

berdasarkan anomali gayaberat dan pemodelan 3D. (Fauzi dkk., 2018) melakukan survei gayaberat untuk eksplorasi timah pada granit Bongsu, Kedah, Malaysia. (Zeng dkk., 2000) melakukan interpretasi *2D forward modelling gravity* untuk mengetahui geometri granit Linglong, Provinsi Shandong, Cina Timur (Subrahmanyam & Verma, 1982) melakukan interpretasi gayaberat dan implikasi geologinya pada Dharwar greenstone, gneiss dan granit terrain di India bagian selatan.

Anomali gayaberat (*Bouguer*) merupakan gabungan dari anomali regional dan anomali residual dengan panjang gelombang yang bervariasi dari panjang gelombang panjang dan panjang gelombang pendek yang merupakan pengaruh dari komposisi batuan yang berada pada posisi dengan lokasi pada tempat yang dalam hingga dangkal. Pada penelitian ini pemisahan anomali regional dan residual data gayaberat dilakukan menggunakan *bandpass filter*, sedangkan pemodelan geologi bawah permukaan dilakukan menggunakan pemodelan inversi 3 dimensi. Informasi geologi digunakan sebagai konstrain untuk melakukan interpretasi geologi bawah permukaan. Penelitian ini membahas penyebaran batuan granit dan sedimen, serta interpretasi model geologi bawah permukaan berdasarkan parameter fisik rapat massa (densitas). Lokasi daerah penelitian berada pada wilayah Pulau Bintan dan sekitarnya Kepulauan Riau ( $104^{\circ}$  -  $105^{\circ}$ ) BT dan ( $0.5^{\circ}$  -  $1.5^{\circ}$ ) LU seperti terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Lokasi daerah penelitian di Pulau Bintan dan sekitarnya Kepulauan Riau.

## GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Kepulauan Riau secara tektonik regional merupakan inti dari Daratan Sunda pada jaman sebelum Kapur (Hall, 2009). Jalur-jalur Granit (*various Granite Belt*) pada periode Pertengahan-Akhir Kapur, baik bagian barat (*western*), utama (*main*) dan timur (*eastern*) relatif memanjang mulai dari Myanmar, Thailand, Malaysia, dan menerus ke Indonesia mulai dari Pulau Karimun, Pulau Kundur, Pulau Singkep, Bangka hingga Belitung (Batchelor, 1983). Granit ini terbentuk pada saat orogenesis Trias yang mengangkat batuan granit ke permukaan sebagai satu rangkaian pulau-pulau timah. Secara geologi wilayah Pulau Bintang dan sekitarnya termasuk dalam jalur timur (*eastern province*) granit Asia Tenggara yang berumur Karbon, Perm dan Trias yang kaya kandungan timah (Cobing, 1992).

### Stratigrafi Daerah Bintang Kepulauan Riau

Tatanan stratigrafi daerah Bintang dan sekitarnya berdasarkan peta geologi Lembar Tanjung Pinang Sumatera, terjadi pada kisaran umur Permo-karbon hingga Kuartar (Kusnama dkk., 1994). Batuan dasar yang mengalasi daerah ini yaitu batuan malihan Formasi Berakit (PCmb) yang terdiri atas filit, batusabak, dan sekis. Pada umur Trias Awal hingga Akhir terjadi terobosan granit (Trg). Granit ini berdasarkan lokasi tipe dan komposisi mineralnya dikelompokkan menjadi beberapa pluton, seperti Pluton Granit Kawal di Bintang dan Pluton Granit Nongsa di Batam. Pada umur Trias Akhir diendapkan Formasi Duariangkang (Trsd) yang terdiri atas serpih

berselingan dengan batupasir kuarsa. Pada umur Jura terjadi terobosan (intrusi) granit Manzo, dan pada umur yang sama diendapkan Formasi Pulau Panjang (Jp) yang terdiri atas serpih dengan sisipan batupasir kuarsa. Di atas formasi ini pada umur Kapur Awal terbentuk batuan sedimen Formasi Pancur (Ksp) dengan komposisi serpih, batupasir kuarsa dan konglomerat. Di atas Formasi Pancur pada umur Kapur Akhir diendapkan Formasi Semarang (Kss) yang terdiri atas batupasir arkosa dan batulempung. Pada umur Miosen Awal hingga Miosen Akhir terbentuk Formasi Tanjungkerotang (Tmpt) yang tersusun oleh konglomerat aneka bahan dan terdiri atas komponen granit, batupasir kuarsa, feldspar dan malihan yang tertanam dalam matrik batupasir kasar yang terkonsolidasi baik. Pada umur Miosen ini juga terbentuk batuan andesit (Tma) yang merupakan produk batuan gunungapi dengan sifat fifik kelabu, berkomposisi plagioklas, hornblende, biotit, tekstur porfiritik dengan masa dasar mikro kristal felspar dan agak terkekarkan. Pada umur Kuartar terbentuk batuan sedimen Formasi Goungon (Qtg) yang terdiri atas batupasir tufan, batulanau, tuf dasitan dan litik feldspatik serta tuf putih kemerahan. Dan yang paling muda diendapkan endapan alluvial permukaan (Qa) berupa butiran lepas berukuran pasir-kerikil, berwarna merah kekuningan, komposisi utama kuarsa, feldspar, hornblende dan biotit. Kerikil sebagai fragmennya berkomponen granit, batuan malihan dan batupasir, terpilah buruk dan tidak terkonsolidasi baik. Peta geologi daerah Tanjung Pinang (Kusnama dkk., 1994) selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.



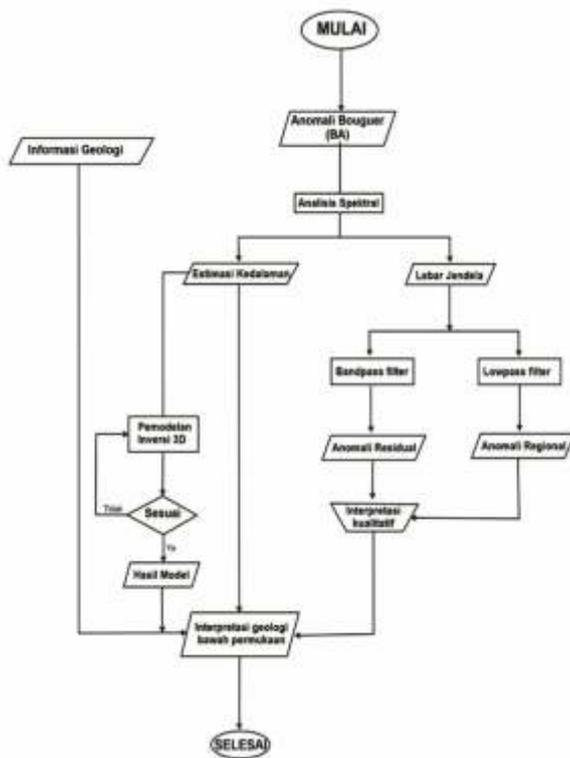
sumber: Kusnama dkk. (1994).

**Gambar 2.** Geologi daerah penelitian di Pulau Bintang dan sekitarnya Kepulauan Riau.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi yang digunakan yaitu menganalisis data gayaberat dengan menggunakan konstrain informasi geologi daerah penelitian. Analisis data gayaberat yang digunakan yaitu analisis spektral untuk mencari lebar jendela optimal dan juga untuk mengestimasi kedalaman batuan dasar, selain itu juga akan dilakukan *bandpass filter* untuk memisahkan anomali regional dan residual. Pembuatan model geologi bawah permukaan dilakukan dengan cara *3D inverse modeling* seperti dilakukan oleh (Pirttijarvi, 2008). Diagram alir penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3. Data yang digunakan pada penelitian ini data utama yaitu data anomali Bouguer lembar Tanjung Pinang (Nainggolan dkk., 2001), dan data tambahan adalah data anomali udara bebas (*free air*) gayaberat dan kedalaman laut (Topex, 2021) yang selanjutnya diproses menggunakan persamaan (Telford dkk., 1990) sehingga menghasilkan Anomali Bouguer sebagai berikut:

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



**Gambar 3.** Diagram alir penelitian menggunakan metode gayaberat.

Diagram alir penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa penelitian dimulai dari data anomali Bouguer (*gravity*) yang selanjutnya dilakukan analisis spektral untuk mengetahui lebar jendela dan kedalaman sumber anomali. Hasil lebar jendela digunakan untuk melakukan *lowpass* dan *bandpass filter* yang mana *bandpass filter* akan menghasilkan anomali residual, sedangkan *lowpass filter* akan menghasilkan anomali regional. Hasil ini selanjutnya akan digunakan untuk membuat analisis kualitatif untuk mengetahui pola penyebaran intrusi granit dan distribusi lokasi batuan sedimen. Pemodelan inversi 3D/2D dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui model geologi bawah permukaan khususnya kenampakan tubuh intrusi granit dan sedimen sehingga dapat diketahui bentuk, ukuran dan lokasi penyebarannya yang nantinya digunakan untuk analisis kuantitatif. *Bandpass filter* (BPF) adalah filter yang melewatkan sinyal dengan frekuensi tertentu yang dibatasi oleh frekuensi *cut-off* rendah (*Fcl*) dan frekuensi *cut-off* tinggi (*Fch*) dan meredam sinyal yang berada di bawah frekuensi *cut-off* rendah dan di atas frekuensi *cut-off* tinggi. Pada tanggapan frekuensi *bandpass filter*, terdapat istilah *bandwidth* (atau lebar pita) merupakan rentang frekuensi dimana sinyal masih dapat dilewatkan. Nilai *bandwidth* diperoleh dari selisih nilai antara frekuensi *cut-off* tinggi dan frekuensi *cut-off* rendah, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$BW = f_{CH} - f_{CL} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:  
 BW = *bandwidth* (Hz)  
 fch= frekuensi *cut-off* tinggi (Hz)  
 fcl = frekuensi *cut-off* rendah (Hz)

Pada penelitian ini metode inversi yang dipakai adalah inversi non linier 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, dimana merupakan salah satu teknik analisis numerik yang cukup terkenal dalam mendiaonalkan suatu matriks. Dengan analisis SVD, solusi persamaan selalu dapat dicari meskipun matriks koefisien yang terbentuk bukanlah matriks persegi maupun matriks yang tidak mempunyai inversi.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil peta anomali Bouguer daerah Bintan dan sekitarnya dapat dilihat pada Gambar 4a, nilai anomali berkisar antara 5 - 40 mGal, anomali tersebut terbagi ke

dalam dua lajur anomali yang berbeda, yaitu anomali tinggi dengan nilai kisaran antara 20 - 40 mGal dan anomali rendah dengan rentang anomali antara 5 - 39 mGal. Dari Gambar 4 terlihat bahwa anomali tinggi yang ditunjukkan dengan warna kuning hingga merah menempati bagian utara, selatan, dan timur, sedangkan anomali rendah yang diperlihatkan dengan warna biru menempati sebelah barat laut, tenggara dan tengah. Anomali tinggi kemungkinan disebabkan karena keberadaan batuan nilai rapat massa tinggi, dalam hal ini kemungkinan batuan dasar atau intrusi (batuan granit) yang terangkat hingga atas (permukaan), sedangkan anomali rendah mungkin disebabkan adanya akumulasi batuan sedimen yang mengisi daerah tersebut. Namun demikian, anomali Bouguer ini belum dapat digunakan untuk interpretasi geologi secara langsung karena anomali ini masih merupakan gabungan dari anomali regional dan residual sehingga perlu difilter terlebih dahulu.

### Analisis Spektral

Analisis spektral bertujuan untuk mengestimasi kedalaman batuan dasar dan untuk mengetahui lebar jendela optimum yang digunakan pada proses penapisan (*filtering*).

Penampang lintasan untuk analisis spektral dapat dilihat pada Gambar 4a, sedangkan grafik contoh hasil analisis spektral dapat dilihat pada Gambar 4b yang memperlihatkan ada dua slope (kemiringan) yang menunjukkan kedalaman bidang diskontinuitas dangkal dan dalam. Hasil selengkapnya proses analisis spektral dapat dilihat pada Gambar 4c. Dari Gambar 4c terlihat bahwa kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas daerah penelitian adalah 16,70 km yang diduga sebagai kedalaman bidang diskontinuitas kerak bawah, sedangkan kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas dangkal adalah 1,19 km diinterpretasi sebagai kedalaman rata-rata batuan dasar (*basement*) daerah penelitian. Lebar jendela optimum hasil analisis spektral pada daerah ini berdasarkan hasil analisis spektral adalah 35x35 km yang nantinya digunakan untuk penapisan *lowpass filter* dan *bandpass filter*. Untuk memisahkan anomali regional menggunakan filter panjang gelombang *lowpass filter* yang diperoleh dari hasil analisis spektral yaitu sebesar 35.000 m. Untuk mendapatkan anomali residual menggunakan penapisan *bandpass filter*, yaitu dengan menggunakan batas panjang gelombang bawah 10.000 m dan panjang gelombang atas 35.000 m.

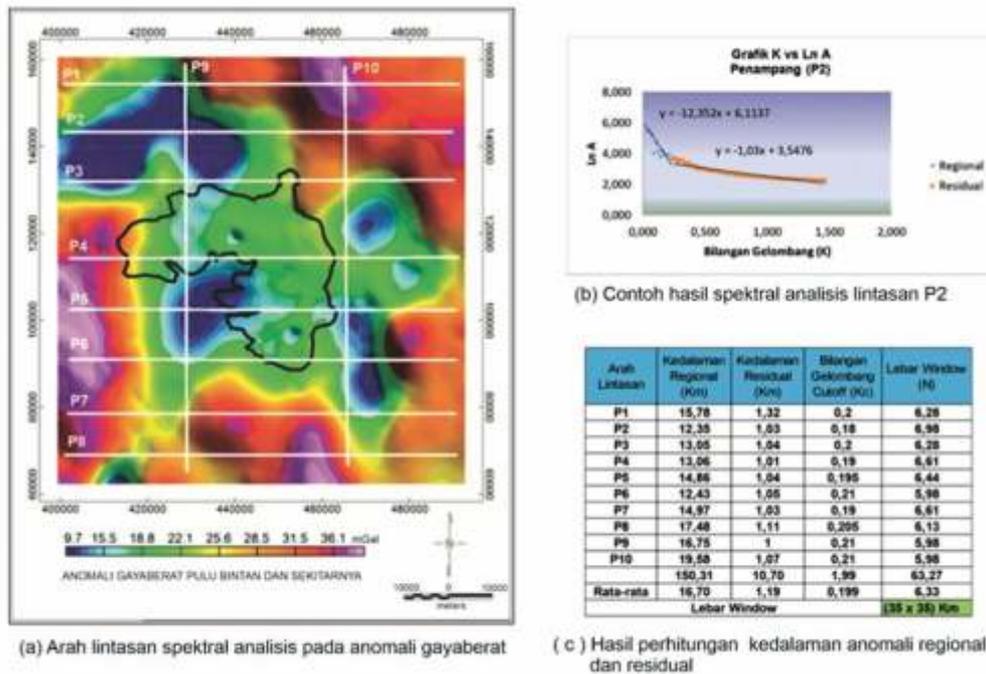
### Anomali Regional dan Residual

Anomali gayaberat yang telah difilter akan menghasilkan anomali regional dan residual yang digunakan untuk mengetahui pola struktur geologi dalam dan dangkal. Hasil pemisahan anomali regional dan residual selengkapnya terlihat pada Gambar 5, yang merupakan peta anomali regional daerah Bintan dan sekitarnya diperoleh menggunakan *lowpass filter* dengan panjang gelombang *cut-off* sebesar 35.000 m. Dari gambar tersebut terlihat bahwa anomali berkisar antara 10 - 39 mGal. Anomali tinggi ditunjukkan dengan warna merah terletak pada bagian timurlaut, selatan, dan baratdaya. Anomali regional ini merepresentasikan pola undulasi struktur geologi pada posisi yang lebih dalam (bidang diskontinuitas dalam) yang dicirikan dengan panjang gelombang yang lebih panjang.

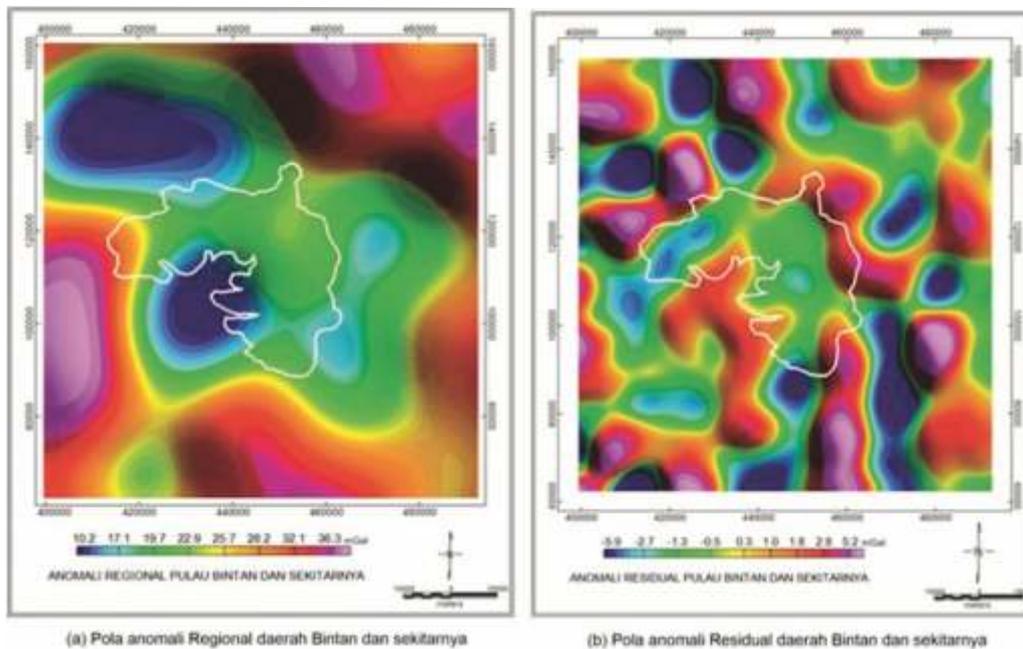
Pola anomali residual daerah Bintan dapat dilihat pada Gambar 5b, yang memperlihatkan nilai anomali berkisar antara -7 - 6 mGal. Anomali residual mempunyai panjang gelombang yang relatif pendek, mencerminkan struktur geologi dengan posisi yang lebih dangkal. Anomali tinggi yang ditunjukkan dengan warna merah tersebar hampir merata pada seluruh daerah penelitian dengan tren relatif utara-selatan. Anomali tinggi kemungkinan disebabkan karena pengaruh batuan dengan densitas tinggi, sedangkan anomali rendah yang diperlihatkan dengan warna biru mungkin disebabkan pengaruh batuan dengan nilai rapat massa lebih rendah. Anomali tinggi yang dicirikan oleh warna merah ini diduga sebagai lokasi penyebaran batuan granit, sedangkan anomali rendah kemungkinan disebabkan akumulasi batuan sedimen yang merupakan produk pelapukan dan erosi batuan granit sehingga mempunyai nilai densitas lebih rendah.

### Interpretasi Kualitatif

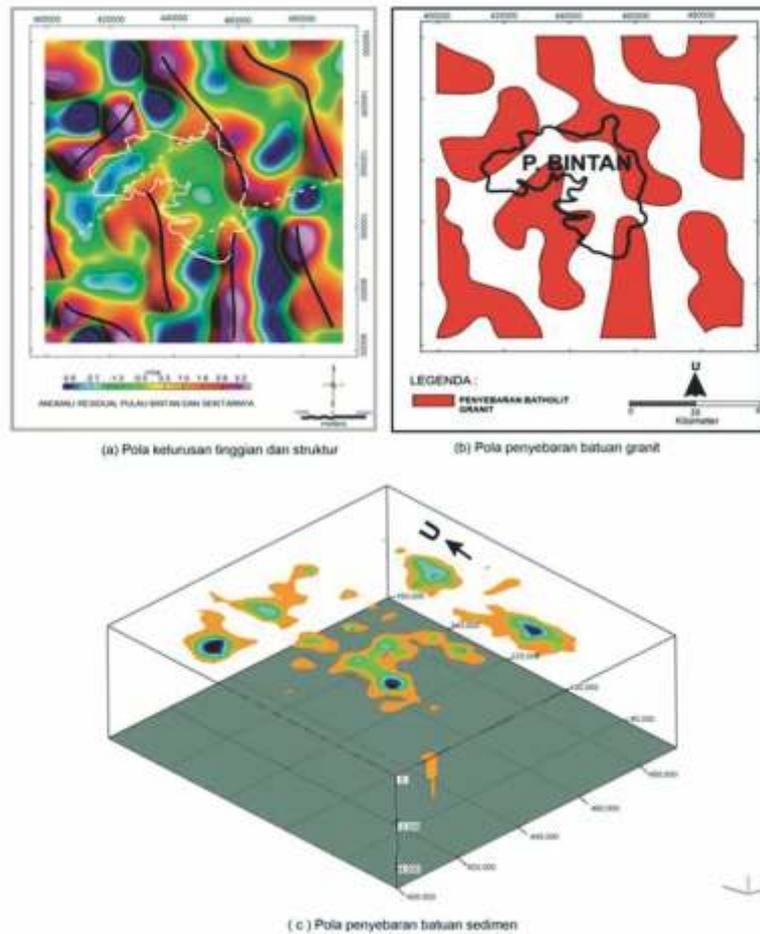
Interpretasi kualitatif dilakukan untuk mengetahui penyebaran anomali secara lateral, khususnya mengenai keberadaan batuan granit dan sedimen yang ada pada daerah penelitian. Interpretasi kualitatif dilakukan berdasarkan hasil anomali residual data gayaberat, penggunaan anomali residual ini dikarenakan target anomali yang akan dicari posisinya relatif dangkal. Interpretasi kualitatif biasanya digunakan untuk mengetahui pola struktur, tinggian, patahan dan delineasi penyebaran batuan granit dan sedimen, yang selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 4.** Hasil analisis data gayaberat, (a) Peta anomali Bouguer dan arah penampang lintasan analisis spectral, (b) contoh grafik analisis spectral, serta (c) hasil perhitungan kedalaman anomali regional dan residual berdasarkan analisis spectral.



**Gambar 5.** (a) Pola anomali regional dan (b) pola anomali residual data gayaberat daerah Bintan dan sekitarnya.



**Gambar 6.** Hasil analisis kualitatif berdasarkan analisis gayaberat, (a) pola kelurusan tinggian dan struktur, (b) pola penyebaran batuan granit, dan (c) pola penyebaran batuan sedimen.

Gambar 6a memperlihatkan pola kelurusan tinggian dan struktur daerah Bintang dan sekitarnya berdasarkan hasil anomali residual gayaberat. Pola tinggian yang terlihat dari anomali residual gayaberat ditunjukkan oleh garis warna hitam berada pada anomali tinggi tinggian. Ini diduga sebagai pola kelurusan batuan dasar, dalam hal ini granit yang sebagian muncul di permukaan. Pola kelurusan tinggian secara umum berarah relatif utara-selatan, hal ini sesuai dengan arah pola kelurusan jalur granit regional yang didampai oleh (Batchelor, 1983). Pola struktur yang ditarik dari anomali residual ditunjukkan dengan warna putih berarah relatif timurlaut-baratdaya. Struktur ini diduga sebagai sesar geser yang berada pada daerah Pulau Bintang yang memisahkan kemenerusan jalur tinggian. Struktur sesar kemungkinan diakibatkan adanya gaya dorongan dari arah barat sehingga daerah yang tidak stabil akan mengalami pergeseran. Peristiwa tektonik dan struktur patahan ini mengakibatkan terbentuknya

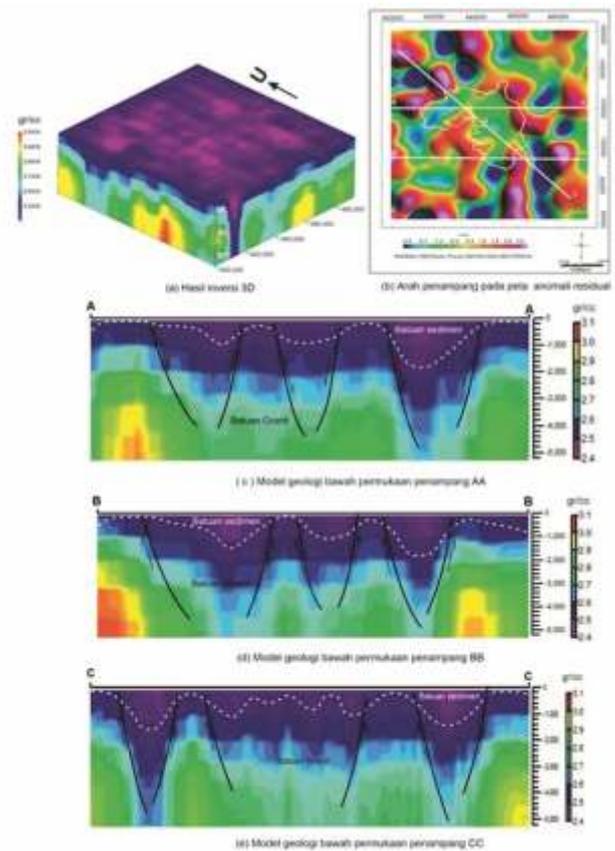
pola-pola rendahan (graben) sebagai tempat akumulasi batuan sedimen yang berada pada daerah ini. Gambar 6b menunjukkan pola penyebaran (delineasi) batuan granit yang diperoleh dari hasil anomali residual gayaberat. Batuan granit hasil delinesasi berdasarkan anomali residual gayaberat mempunyai arah relatif utara-selatan, dan tersebar pada sebagian Pulau Bintang, yaitu pada daerah sebelah utara, timur, selatan dan barat. Sebagian besar batuan granit tersebar pada wilayah laut. Gambar 6c memperlihatkan pola sebaran batuan sedimen pada daerah Pulau Bintang dan sekitarnya. Dari gambar itu terlihat bahwa endapan sedimen tersebar merata pada beberapa lokasi di daerah penelitian. Endapan sedimen ini kemungkinan disebabkan proses sedimentasi dengan batuan sumbernya adalah batuan granit yang ada pada wilayah ini. Dari Gambar 6c terlihat bahwa warna biru tua menunjukkan akumulasi sedimen lebih tebal yang menempati daerah tersebut, yaitu berada pada bagian sebelah tenggara, baratdaya dan barat laut daerah penelitian.

**Interpretasi Kuantitatif**

Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan membuat model penampang geologi bawah permukaan berdasarkan pemodelan data gayaberasat, sehingga dapat diketahui pola distribusi/penyebaran batuan secara vertikal, yang meliputi dimensi atau ukuran model, jenis batuan penyusun yang dibuat berdasarkan parameter fisik rapat massa (densitas) batuan. Hasil analisis kuantitatif selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 7. Pada Gambar 7a merupakan model hasil inversi 3D data gayaberasat menggunakan software grablox, sedangkan gambar 7b merupakan arah penampang model geologi bawah permukaan 2 dimensi. Gambar 7c merupakan model geologi bawah permukaan sepanjang A-A' yang diambil dari hasil pemodelan 3D yang memotong Pulau Bintang dengan arah relatif barat-timur. Dari gambar ini terlihat bahwa nilai rapat massa berkisar antara 2,4 - 3,1 gr/cc. Interpretasi dilakukan dengan membagi menjadi 2 bagian, yaitu lapisan atas dengan nilai densitas yang lebih rendah, yaitu sekitar 2,4 - 2.5 gr/cc diinterpretasi sebagai batuan sedimen hasil proses kimia dan fisika sehingga mengalami pelapukan dan terbentuk endapan sedimen. Lapisan di bawahnya dengan kisaran nilai rapat massa 2,6 - 3,1 gr/cc diinterpretasi sebagai tubuh batolit granit. Struktur yang muncul berdasarkan model yang dihasilkan, yaitu berupa sesar, antiklin dan sinklin. Hal ini sesuai dengan tektonik regional pada wilayah Sumatera, kemungkinan disebabkan karena pengaruh gaya dorong dari arah barat sehingga daerah ini terbentuk pola kelurusan dengan arah relatif utara-selatan. Gambar 7d memperlihatkan model penampang geologi bawah permukaan B-B' dengan arah relatif barat-timur. Penampang ini berada pada sebelah selatan penampang Gambar 7c dengan tujuan untuk melihat kemenerusan secara lateral ke arah selatan.

Seperti halnya Gambar 7c, interpretasi dilakukan dengan membagi model menjadi dua lapisan. Lapisan atas merupakan batuan sedimen, sedangkan lapisan bawah diinterpretasi sebagai batolith granit. Pada bagian barat penampang Gambar 7d terlihat pada bagian bawah (warna merah) anomali cukup tinggi dan anomali ini menerus hingga ke atas. Hal ini memperlihatkan bahwa batolit pada daerah ini cukup besar dan menerus hingga atas, sedangkan pada bagian sebelah tengah tubuh batuan granit cenderung berada lebih dalam. Anomali naik lagi pada bagian sebelah timur (wilayah laut). Pola undulasi naik dan turunnya posisi tubuh batolit granit ini menyebabkan terbentuknya sesar turun sebagai tempat untuk akumulasinya endapan sedimen pada wilayah ini.

Gambar 7e memperlihatkan model penampang geologi C-C' yang tegak lurus penampang A-A' dan B-B'. Penampang ini mempunyai arah relatif baratlaut-tenggara. Dari model terlihat bahwa pada bagian sebelah baratlaut dan tenggara terdapat batuan sedimen yang cukup tebal. Hal ini terlihat dari hasil pemodelan yang menunjukkan pola anomali densitas rendah (warna biru tua), sedangkan pada bagian tengah penampang C-C' (pada wilayah Pulau Bintang) batuan sedimen mengalami penipisan. Secara umum hasil interpretasi lapisan kedua dari ketiga model penampang bawah permukaan tersebut batuan granit pada bagian atas mempunyai nilai rapat massa yang lebih kecil. Hal ini kemungkinan karena pada bagian atas batuan granit ini sebagian telah mengalami pelapukan sehingga tidak segar dan memberikan respon densitas yang lebih rendah.



**Gambar 7.** Hasil analisis kuantitatif berdasarkan analisis gayaberasat, (a) hasil pemodelan inversi 3D, (b) arah penampang model pada anomali residual, (c), (d) dan (e) berturut turut model bawah permukaan penampang A-A', B-B' dan C-C'.

## PEMBAHASAN

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang tergolong murah, cepat dan efektif untuk mengetahui struktur dan kondisi geologi regional suatu daerah berdasarkan parameter fisik rapat massa (densitas), walaupun disadari bahwa metode ini tergolong mempunyai resolusi yang rendah sehingga tidak dapat digunakan untuk mendeteksi secara detail potensi atau geologi rinci suatu daerah. Pada penelitian kali ini, metode gayaberat diterapkan untuk mendelineasi penyebaran batuan granit dan batuan sedimen pada wilayah Pulau Bintan dan perairan laut di sekitarnya. Data utama yang digunakan yaitu data gayaberat darat dan laut yang digabungkan sehingga menghasilkan pola anomali Bouguer. Anomali residual diperoleh dengan menggunakan *bandpass filter* dengan panjang gelombang *cut-off* batas bawah 10 km dan batas atas 35 km. *Bandpass filter* ini fungsinya adalah untuk *smoothing* sehingga frekuensi tinggi dengan panjang gelombang kurang dari 10 km akan dihilangkan, sedangkan frekuensi rendah dengan panjang gelombang lebih dari 35 km yang diduga sebagai panjang gelombang panjang anomali regional juga akan dihilangkan. Hasil anomali residual dan analisis kualitatif memperlihatkan bahwa pola anomali dan kemungkinan penyebaran batuan granit mempunyai arah relatif utara selatan hal ini sesuai dengan struktur geologi regional (Hall, 2009). Hasil model inversi 2D memperlihatkan variasi nilai rapat massa antara 2,4 - 3,1 gr/cc. Lapisan atas dengan nilai rapat massa rendah diduga sebagai batuan sedimen, sedangkan lapisan di bawahnya dengan nilai rapat massa 2,6 - 3,1 gr/cc diinterpretasikan sebagai terobosan granit. Granit ini pada bagian atas kemungkinan telah mengalami pelapukan sehingga mempunyai nilai rapat massa lebih rendah dari yang berada di bawah karena lebih segar. Selain itu juga, ada kemungkinan perbedaan jenis intrusi granit pada bagian sebelah tengah dan timur atau barat daerah penelitian. Hal ini berdasarkan nilai densitas dari pemodelan inversi 2D dimana pada bagian tengah nilai rapat massa lebih rendah jika dibandingkan dengan pada bagian sebelah timur atau barat. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena perbedaan genesa magma seperti disampaikan oleh (Dirk, 2013). Tipe granit juga telah dilakukan penelitian di daerah antara Pulau Batam dan Bintan oleh (Setiady, 2004) yang menyatakan bahwa tipe granit di wilayah ini adalah granit tipe-S. Irzon (2017) melakukan penelitian mengenai kandungan potensi unsur tanah jarang di daerah Lagoi, Pulau Bintan, yang menemukan adanya

tipe/jenis unsur tanah jarang yang berbeda-beda pada tipe batuan granit tertentu. Jika dikaitkan dengan pola penyebaran batuan granit berdasarkan hasil analisis data gayaberat, penemuan unsur tanah jarang yang berada di daerah Lagoi kemungkinan berada pada daerah hasil rombakan batuan granit yang sudah lapuk, bisa jadi berupa material sedimen. Berdasarkan hasil penelitian tersebut potensi keberadaa sumberdaya alam seperti timah dan unsur tanah jarang kemungkinan berada pada daerah dengan anomali rendah, yang ditempati oleh material sedimen hasil rombakan batuan granit. Penelitian mengenai penyebaran batuan granit dan sedimen penting dilakukan sebagai informasi awal untuk memberikan arahan pada tahap eksplorasi lebih detail untuk menentukan desain survei kemungkinan lokasi keterdapatan sumberdaya alam.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis spektral menunjukkan bahwa kedalaman rata-rata batuan dasar pada daerah Bintan adalah sekitar 1,25 km. Pola struktur yang terlihat berdasarkan analisis kualitatif data anomali residual gayaberat, yaitu berupa tinggian yang diduga sebagai tubuh batuan granit yang muncul ke permukaan. Delineasi batuan granit menunjukkan penyebaran batuan yang cukup merata dengan arah relatif tenggara-baratlaut dan utara selatan mengikuti pola kecenderungan regional jalur granit. Hasil analisis kuantitatif memperlihatkan model bawah permukaan yang terdiri dari batuan sedimen pada bagian atas dengan nilai rapat massa sekitar 2,4 gr/cc yang diapit oleh tinggian batholit batu granit dengan nilai rapat massa 2,65 gr/cc. Batuan sedimen yang tersebar pada berapa lokasi merupakan hasil produk rombakan granit, kemungkinan terdapat beberapa mineral ekonomis yang perlu diteliti lebih lanjut.

Disarankan untuk melakukan penelitian yang lebih detail pada daerah yang terdapat penyebaran batuan sedimen dengan menggunakan metode seismik untuk mengetahui struktur yang lebih detail khususnya *trap/channel* yang mengandung timah dan mineral lainnya, serta sampling sedimen untuk mengetahui jenis batuan sedimen yang terdapat pada daerah tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Koordinator Kelompok Kerja Migas terima kasih atas fasilitas komputer dan software pengolah data, Koordinator Kelompok Kerja Mineral terima kasih atas kesempatan untuk mengikuti kegiatan tim granitoid

Pulau Bintan, serta rekan rekan geologi dan geofisika di Puslitbang Geologi Kelautan yang tidak dapat disebutkan satu persatu terima kasih atas diskusi dan masukannya sehingga tulisan ini dapat diselesaikan dengan baik.

### KONTRIBUTOR TULISAN

Imam Setiadi adalah sebagai kontributor utama pada tulisan ini, sedangkan Noorcahyo D. Aryanto dan Nazar Nurdin adalah sebagai kontributor anggota.

### ACUAN

- El Azzab, D., Ghfir, Y., and Miftah, A., 2018. Geological Interpretation of the Rifian Foreland Gravity Anomalies and 3D Modeling of Their Hercynian Granits (Northeastern Morocco). *Journal of African Earth Sciences*.
- Batchelor, B.C., 1983. *Sundaland Tin Plaser Genesis and Late Cainozoic Coastal Stratigraphy in Western Malaysia and Indonesia*. Ph.D. Thesis, University of Malaya.
- Cobbing, E.J., 1992. *The Granit of the South-East Asia Tin Belt*. British Geological Survey, London.
- Dirk, M.H.J., 2013. Perbedaan Genesa Magma antara Tin Bearing Granitoid Rocks dari Jalur Kepulauan Timah Indonesia dan Tin Barren Granitoid Rocks dari Pulau Bintan. *Jurnal Sumberdaya Geologi*, 23(2): 81-82.
- Fauzi, F.A., Arifin, M.H., Basori, M.B.I., Noh, K.A.M., and Umor, M.R., 2019. Application of Gravity Survey for Tin Exploration at Bongsu Granit, Kulim, Kedah, Malaysia. *Sains Malaysiana*, 48(11): 2503–2509.
- Hall, R., 2009. The Eurasian SE Asian Margin as a Modern Example of an Accretionary Orogen. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 318: 351-372.
- Irzon, R., Abidin, H.Z., Sendjaja, P., dan Kurnia, 2017. Kandungan Unsur Tanah Jarang pada Granit Putih Kemerahan dari Daerah Lagoi dan Perbandingan dengan Batuan Sejenis di Tempat Lain. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 18(3): 137-146.
- Kusnama, Sutisna, K., Amin, T.C., Koesoemadinata, S., Sukardi dan Hermanto, B., 1994. *Peta Geologi Lembar Tanjung Pinang, Sumatera, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Nainggolan, D.A., Sobari, I., dan Mirnanda, E., 2001. Peta Anomali Bouguer Lembar Tanjung Pinang, Sumatera, Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- 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.
- Setiady, D. dan Faturachman, A., 2004. Tipe Granit Sepanjang Pantai Timur Pulau Batam dan Pantai Barat Pulau Bintan, Perairan Selat Batam Bintan. *Jurnal Geologi Kelautan*, 2(2): 9-14.
- Subrahmanyam, C. and Verma, R.K., 1982. Gravity Interpretation of the Dharwar Greenstone-Gneiss-Granite Terrain in the Southern Indian Shield and Its Geological Implications. *Tectonophysics*, 84: 225-245 Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Printed in The Netherlands.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Topex.ucsd.edu/cgi-bin/get\_data.cgi, 2021. Anomali Freeair dan Kedalaman Laut Wilayah Perairan Pulau Bintan dan Sekitarnya. Diakses pada tanggal 3 Januari pukul 13.21 WIB.
- Zeng, H., Wan, T., Teyssier, C., Yao, C., and Tikoff, B., 2000. The 3-D Geometry of the Linglong Granitic Complex from 2-D Gravity Forward Modeling, Shandong Province, East China. *Geophysics*, 65(2): 421-425.