

Interpretasi Data Anomali Gravitasi untuk Identifikasi Endapan Aluvium di Kuala Gigieng, Aceh Besar

(masuk/received 4 Juli 2018, diterima/accepted 17 Maret 2019)

Interpretation of Gravity Anomaly Data to Identification of Alluvium Deposits in Kuala Gigieng, Aceh Besar

Mutiara Qalbi Pebrian, Marwan, Nazli Ismail

Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknik Kebumihan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
nazli.ismail@unsyah.ac.id

Abstrak – Aceh Besar dan Kota Banda Aceh merupakan kawasan pesisir yang dipengaruhi oleh proses sedimentasi. Kawasan ini didominasi oleh daratan berupa delta akibat aktivitas Sungai Krueng Aceh. Proses sedimentasi dapat dikaji menggunakan metode gravitasi berdasarkan distribusi percepatan gravitasi bawah permukaan. Pengukuran data gravitasi menggunakan alat Gravimeter Scintrex CG-5. Jumlah titik pengukuran adalah 120 dan luas area pengukuran adalah $1858 \times 725 \text{ m}^2$. Terdapat beberapa koreksi dalam pengolahan data gravitasi, seperti koreksi drift, pasang surut, lintang, koreksi udara bebas, koreksi bouguer dan koreksi medan. Koreksi-koreksi ini dilakukan untuk mendapatkan Anomali Bouguer Lengkap. Data anomali Bouguer lengkap tersebut dipisahkan antara efek lokal dan regional. Profil nilai Anomali residual digunakan untuk pemodelan ke depan menggunakan Software Grav2Dc. Model 2D menunjukkan struktur bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari 3 lapisan. Lapisan pertama diinterpretasikan sebagai lapisan aluvium 2 jenis pengendapan yaitu batuan aluvium pasir ($\rho = 1,66 \text{ gr/cm}^3$) dan batu lempung ($\rho = 2,07 \text{ gr/cm}^3$) yang berada pada kedalaman 0-350 meter. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai batupasir ($\rho = 2,11 \text{ gr/cm}^3$). Lapisan ketiga diinterpretasikan sebagai batupasir tuffan ($\rho = 2.18 \text{ gr/cm}^3$) sebagai lapisan paling tua pada kedalaman 375 meter. Urutan pengendapan dimulai dari batupasir, batu lempung dan aluvium pasir, kemudian terjadi pengulangan pengendapan antara aluvium pasir dan batu lempung disebabkan oleh erosi pantai di atas permukaan.

Kata kunci: metode gayaberat, anomali Bouguer lengkap, Grav2Dc, endapan aluvium, Kuala Gigieng

Abstract – Aceh Besar and Banda Aceh are coastal area affected by sedimentation process. The areas are dominated by the delta plain due to Krueng Aceh River activities. The sedimentation process can be studied using gravity method, based on the distribution of sub-surface material density. Measurement of gravity data used Gravimeter Scintrex CG-5. The number of measurement points are 120 and the area of measurement is $1858 \times 725 \text{ m}^2$. There are several corrections in the processing of gravity data, such as drift, tidal, latitude, free air, Bouguer, and field. These corrections are made to obtain Complete Bouguer Anomaly data. Complete Bouguer anomaly data were separated between local and regional effects. Profile values of residual anomalies were used for forward modeling using Grav2Dc Software. The 2D model shows the sub-surface structure of the research area consists of 3 layers. The first layer is interpreted as sand ($\rho = 1.66 \text{ g/cm}^3$) and claystone ($\rho = 2.07 \text{ g/cm}^3$) found at depth of 350 m from the surface. The second layer is interpreted as sandstone ($\rho = 2.11 \text{ g/cm}^3$). The third layer is interpreted as sandstone and tuffs ($\rho = 2.18 \text{ g/cm}^3$) as the oldest layer at depth of 375 m. The depositional sequence starting from sandstone, clay and sand, then repetition between sand and claystone caused by coastal erosion on the surface.

Key words: gravity method, Complete Bouguer Anomaly, Grav2DC, alluvium deposition, Kuala Gigieng

I. PENDAHULUAN

Aceh Besar berada pada wilayah yang dilintasi oleh dua sesar aktif di kedua sisinya yaitu Sesar Aceh di bagian Barat dan Sesar Seulimeum di bagian Timur. Kedua Sesar tersebut merupakan perpanjangan dari cabang *The Great Sumatran Fault* (GSF) [1]. Salah satu implikasi dari keberadaan kedua sesar tersebut mengakibatkan beberapa wilayah Aceh Besar hingga Kota Banda Aceh menjadi dataran yang cenderung turun sejak zaman Pliosen, membentuk suatu graben dengan susunan batuan yang diperkirakan terdiri atas aluvium, batuan kuartar (sedimen dan vulkanik), batuan tersier (sedimen dan vulkanik), batuan meta sedimen, malihan, dan terobosan pra tersier [2].

Aceh Besar merupakan wilayah pesisir secara umum, yang dipengaruhi oleh proses sedimentasi. Kawasan ini

didominasi oleh daratan berupa delta akibat aktivitas Krueng Aceh. Geologi Aceh Besar dan sekitarnya, merupakan wilayah dataran aluvium. Sehingga Wilayah dikenal sebagai Cekungan Krueng Aceh atau Lembah Krueng Aceh [3]. Bennet menyebut bahwa lembah kuartar di dataran Aceh Besar ditutupi oleh endapan aluvium yang terdiri atas kerakal, pasir, lumpur, dan lain-lainnya [4]. Jenis sedimen ini banyak dijumpai di dataran pantai yang memanjang sejajar dengan garis pantai.

Sedimen yang terbentuk di Aceh Besar adalah endapan aluvium yang dipengaruhi geologi sekitarnya. Pada sisi timur terdapat batuan gunung api dan pada sisi barat terdapat batuan gamping. Sedimen adalah akumulasi hasil rombakan material, seperti batuan, bahan organik dan mineral dengan ukuran butir yang berbeda-beda. Terdapat tiga sumber terjadinya sedimentasi di

pantai yaitu erosi pantai, erosi sungai dan erosi dasar laut. Proses sedimentasi mampu merekam peristiwa aktivitas sedimentasi yang terjadi pada kawasan tersebut. [5]. Proses sedimentasi dapat dipelajari berdasarkan aspek geologi dan aspek geofisika. Secara geologi tidak dapat diketahui bagaimana kondisi bawah permukaan, oleh karena itu sulit untuk menentukan geometri bawah permukaan. Sementara metode geofisika dapat memetakan struktur bawah permukaan berdasarkan sifat fisis batuan.

Metode gravitasi adalah salah satu metode geofisika berdasarkan variasi nilai percepatan gravitasi akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan sehingga dalam pelaksanaannya, yang diselidiki adalah perbedaan percepatan gravitasi dari suatu titik pengukuran terhadap titik lainnya. Prinsip dasar dari metode ini adalah mengukur variasi nilai percepatan gravitasi yang ditimbulkan oleh adanya perbedaan rapat massa batuan yang berada di bawah permukaan bumi [6].

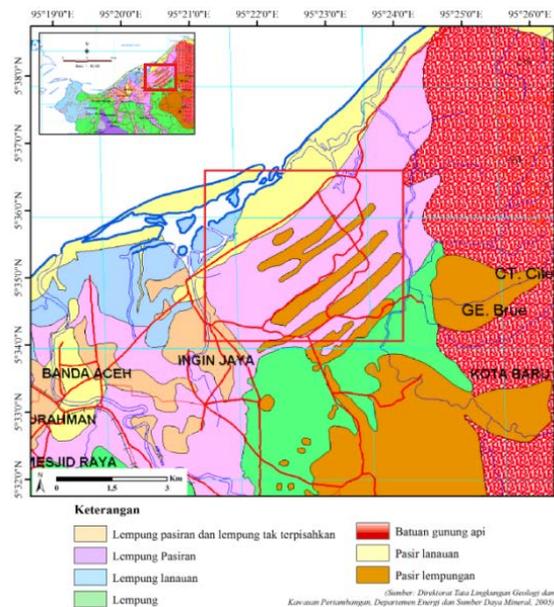
Pada penelitian ini ingin diketahui identifikasi endapan berdasarkan nilai anomali gravitasi yang didapat dari data percepatan gravitasi yang sudah dikoreksi. Metode gravitasi dilakukan untuk mengetahui keberadaan endapan aluvium di daerah Kuala Gigieng, Aceh Besar berdasarkan anomali gravitasi bawah permukaan. Perbedaan nilai anomali gravitasi dari batuan bawah permukaan akan mempengaruhi hasil interpretasi nilai percepatan gravitasi sehingga dapat mengidentifikasi endapan aluvium yang terdapat di Kuala Gigieng, Aceh Besar.

Kondisi sedimen yang terdapat di Kuala Gigieng pernah diteliti oleh Purnawan yang mengkaji hubungan arus terhadap distribusi ukuran butir rata-rata (*main grain size*). Namun penelitian tersebut masih terbatas pada ukuran butir rata-rata [7]. Melengkapi temuan tersebut, pada tulisan ini disajikan lebih detail stratigrafi endapan sedimen bawah permukaan berdasarkan model 2D distribusi densitas material serta sekuensi dan urutan kejadian pengendapan. Distribusi anomali Bouguer yang diperoleh juga dapat memberikan gambaran struktur geologi permukaan kawasan pantai. Informasi ini diperlukan untuk pengembangan pemukiman dalam kaitannya dengan pengurangan risiko bencana masyarakat pesisir dari ancaman tsunami di masa mendatang [8].

II. LANDASAN TEORI

Lokasi penelitian berada di Kuala Gigieng yang terletak di Kecamatan Baitussalam, Kabupaten Aceh Besar. Kondisi geologi Aceh Besar dan sekitarnya, sebagai wilayah dataran aluvium bergelombang hingga dataran rendah pantai yang membentang dengan arah hampir barat laut - tenggara dan semakin ke selatan makin tinggi. Berdasarkan informasi peta geologi Banda Aceh dan Aceh Besar memiliki formasi yang hampir sama, seperti pada Gambar 1 menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh batuan aluvium (Qh) (kerikil, pasir lumpur dan lainnya).

Sedimen adalah akumulasi hasil rombakan material, yaitu batuan, mineral dan bahan organik dengan ukuran



Gambar 1. Peta Geologi daerah penelitian (dimodifikasi dari ref. [4]).

butir yang berbeda-beda. Berdasarkan proses yang mendominasi, sistem aluvium dibagi menjadi tiga: [3]

a. Erosi

Erosi tanah adalah suatu peristiwa hilangnya lapisan permukaan tanah, baik disebabkan oleh pergerakan air maupun angin.

b. Transportasi

Deposit sedimen adalah hasil dari transportasi material. Perpindahan material adalah proses yang terjadi secara alami oleh gravitasi tetapi lebih umum.

c. Deposisi

Pengendapan adalah proses jatuhnya material sedimen ke dasar perairan dan menjadisedimen dasar. Dalam proses pengendapan terjadi pemilahan material berdasarkan ukuran butir.

Cekungan Kuartar Aceh Besar berada di antara Sesar Aceh dan Sesar Seulimeum mempunyai bentang alam yang lingkungannya berbeda. Ini menunjukkan bahwa proses sedimentasi yang berlangsung dalam setiap lingkungan juga berbeda. Secara umum, aluvium permukaan dicirikan oleh suatu kehomogenan sistem pengisian cekungan yang sifatnya unik.

Siklus pengendapan di Lembah Krueng merupakan interaksi peristiwa turun-naiknya permukaan laut yang berlangsung cukup cepat. Mekanisme perubahan turun-naiknya permukaan laut dapat disebabkan oleh deformasi kerak (tektonik), air yang berasal dari daratan, peristiwa glasiasi, dan perubahan volume panas samudra (*thermohalite*) [5].

Metode gaya berat pada dasarnya mengacu pada gaya tarik-menarik antara benda satu dengan benda lainnya karena massa benda keduanya. Hal tersebut didapat berdasarkan hukum Newton tentang gaya gravitasi. Besarnya gaya gravitasi antara dua benda tersebut sebanding dengan massa kedua benda dan

berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya, yang dapat dilihat dalam persamaan

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

dengan F gaya gravitasi antara dua benda (N), G adalah konstanta gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$), m_1 , m_2 adalah massa dua benda (kg) dan r adalah jarak antara pusat massa (m) [9].

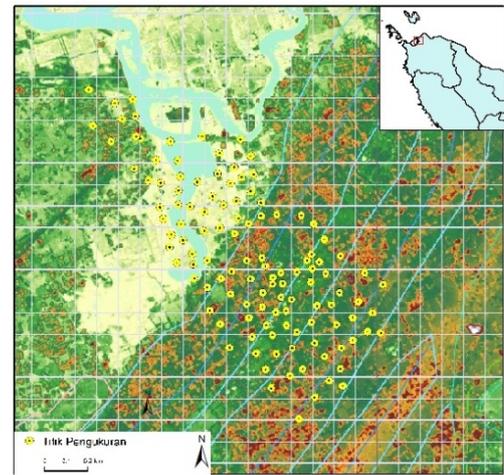
Nilai percepatan gravitasi yang terukur pada setiap titik masih dipengaruhi oleh lintang, elevasi, topografi daerah sekitarnya, perbedaan kontras densitas batuan bawah permukaan bumi dan pasang surut. Sebelum dilakukan interpretasi, pada data terukur telah dilakukan koreksi data percepatan gravitasi bumi sehingga didapatkan anomali Bouguer lengkap. Data yang diperoleh dari anomali Bouguer lengkap dianggap telah merepresentasikan respons dari objek bawah permukaan yang dicari. Anomali ini telah memperhitungkan ketinggian dari efek massa batuan di sekitar titik pengukuran dan data tersebut berada pada bidang datar. Anomali Bouguer lengkap yang diperoleh dijadikan sebagai dasar dalam pemodelan untuk interpretasi kuantitatif, sehingga didapatkan gambaran bawah permukaan lokasi penelitian.

Berikut ini adalah tahapan koreksi yang dilakukan pada data terukur. Koreksi Apungan (*Drift Correction*) bertujuan untuk menghilangkan efek perubahan sifat elastisitas pada komponen mekanik gravitimeter yaitu pegas yang sangat sensitive, yang dapat diakibatkan oleh pengaruh gaya luar seperti guncangan atau tekanan dan perubahan suhu sehingga nilai pembacaan berangsur-angsur dapat berubah terhadap waktu. Koreksi Lintang (*Latitude Correction*) Nilai percepatan gravitasi di khatulistiwa berbeda dengan di kutub. Gravitasi di khatulistiwa lebih kecil daripada di kutub karena jaringannya lebih panjang. Dengan kata lain nilai percepatan gravitasi pada setiap titik dipengaruhi oleh posisi lintang. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*) untuk menghilangkan nilai gravitasi akibat perbedaan posisi dari benda-benda diluar angkasa seperti matahari dan bulan.

Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*) dilakukan dengan menghitung besar nilai pengaruh ketinggian titik pengukuran terhadap percepatan gravitasi yang terukur di lapangan. Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*) dilakukan untuk mengkoreksi ketinggian dengan memperhitungkan efek massa batuan di sekitar titik pengukuran. Koreksi Medan (*Terrain Correction*) dilakukan dengan tujuan menjadikan data yang terukur dibawa ke bidang datar sehingga bacaan percepatan gravitasi yang terukur berasal dari respon batuan bawah permukaan.

III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Pengukuran di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat *Gravitimeter Scientrex CG-5* di kawasan Kuala Gigieng Aceh Besar, Provinsi Aceh. Jumlah titik pengukuran sebanyak 120 titik. Desain lapangan dapat dilihat pada Gambar 2. Setelah pengukuran data di lapangan dilakukan maka tahap selanjutnya adalah peng-



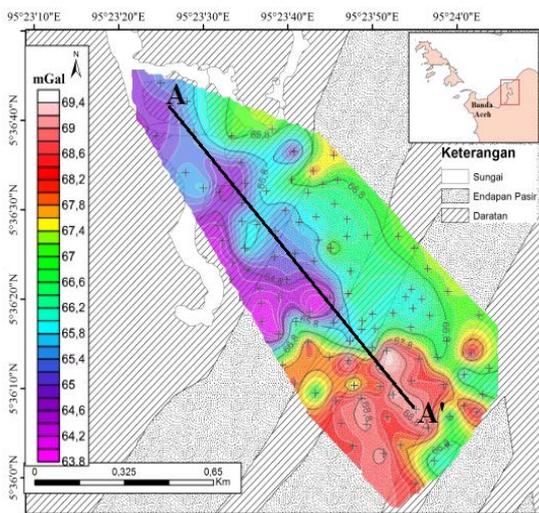
Gambar 2. Desain Lapangan Penelitian.

olahan data. Data yang telah terukur di lapangan kemudian diunggah dari instrumen alat *Gravitimeter Scientrex CG-5* ke komputer dalam bentuk data *notepad*, dimulai dari tahap mereduksi nilai gravitasi yang terukur. Hal ini dilakukan karena adanya pengaruh kondisi geologi daerah penelitian dengan hasil pengukuran di lapangan. Tahap reduksi dilakukan menggunakan *software Microsoft Excel*, di mana dalam tahap ini digunakan perhitungan matematis.

Pengolahan data gravitasi dilakukan dengan mereduksi data percepatan lapangan menggunakan beberapa koreksi, sehingga didapat nilai anomali Bouguer lengkap. Kontur data percepatan merupakan data mentah hasil pengukuran. Data tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor gaya dari luar seperti gaya tarik bumi oleh benda luar angkasa saat pengukuran disebut efek pasang surut (*tidal*), efek kelelahan alat akibat pengaruh alat pengukuran *gravitimeter* yang peka terhadap guncangan, sehingga mempengaruhi pembacaan alat. Data gravitasi juga dipengaruhi oleh efek dalam bumi, seperti faktor lintang (*latitude*) karena bentuk bumi tidak bulat sempurna sehingga gravitasi bumi memiliki nilai yang berbeda di setiap tempat. Pengaruh udara bebas karena anggapan bahwa bumi bulat sempurna yang dibatasi bidang spheroida, yang dihitung hanya pengaruh perbedaan ketinggian terhadap spheroida acuan dengan mengabaikan massa di antara spheroida, sementara Bouguer merupakan pengaruh terhadap ketinggian dan menghitung massa jenis batuan.

Setelah didapatkan nilai koreksi terrain dari setiap titik pengukuran, selanjutnya untuk mendapatkan anomali Bouguer lengkap maka dicari selisih koreksi udara bebas terhadap koreksi Bouguer, dan dijumlahkan terhadap nilai anomali Bouguer sederhana. Peta kontur anomali Bouguer lengkap ditunjukkan pada Gambar 3.

Anomali Bouguer lengkap yang diperoleh akan dijadikan sebagai dasar dalam pemodelan untuk interpretasi kuantitatif. Data anomali Bouguer lengkap tersebut dipisahkan antara efek lokal dan regional. Profil nilai Anomali residual digunakan untuk pemodelan ke depan menggunakan *Software Grav2Dc* untuk menghasilkan profil sebagai acuan dalam pembuatan model.

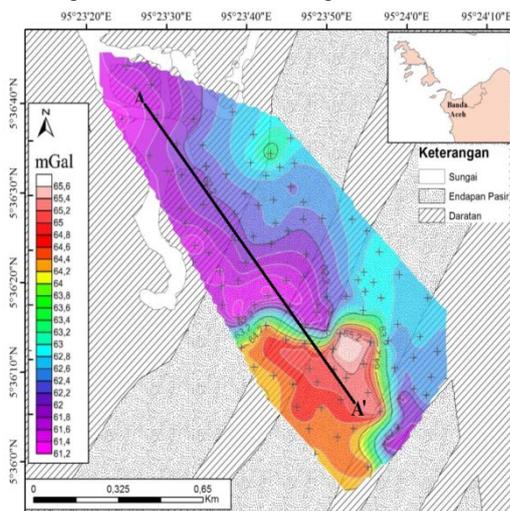


Gambar 3. Kontur Anomali Bouguer Lengkap.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouguer sendiri merupakan penjumlahan dari anomali residual dan anomali regional yang saling berinteraksi dan menimbulkan tumpang tindih, sehingga perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual pada nilai Anomali Bouguer Lengkap untuk mendapatkan nilai densitas batuan bawah permukaan yang sebenarnya. Untuk menghilangkan efek regional, digunakan metode *regresi polynomial* orde ke dua sehingga didapatkan nilai dari efek anomali regional. Sementara untuk mendapatkan anomali residual dilakukan dengan mencari selisih antara nilai anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Kontur anomali residual terdapat pada Gambar 4.

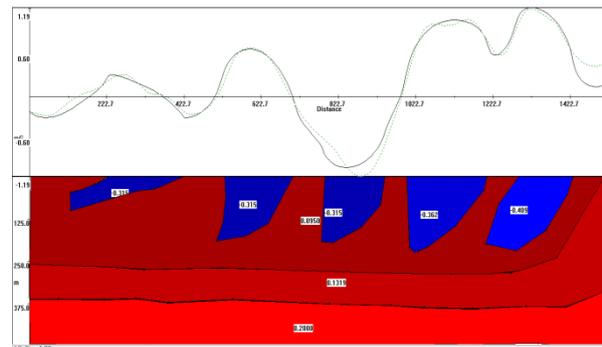
Pemodelan ke depan (*forward modelling*) dilakukan menggunakan *software Grav2DC*, dirancang untuk membuat model poligon talwani serta memiliki tingkat kontrol kesalahan saat adanya perubahan nilai kontras densitas, kedalaman, lebar model, dan panjang lintasan (*strike*). Hasil *slice* dari anomali residual merupakan input dari *Grav2DC* kemudian dilakukan pembuatan model dengan membuat sembarang model 2D berbentuk



Gambar 4. Kontur Anomali Residual.

poligon berupa pita, bola, dan batang tipis sehingga muncul profil anomali perhitungan. Untuk mengurangi ambiguitas terhadap pemodelan maka diperlukan informasi tambahan berupa data geologi dan data pelengkap lainnya.

Hasil dari pemodelan menggunakan *Software Grav2DC* menunjukkan tingkat kesalahan atau *misfit* sebesar 1,03. Nilai tersebut menunjukkan kecocokan antara profil data anomali residual dengan data anomali perhitungan sudah cukup baik. Hasil dari pemodelan 2D tersebut sudah cukup merepresentasikan kondisi di bawah permukaan lokasi penelitian sebagaimana telah didukung oleh keadaan geologi dan studi literatur yang ada di daerah penelitian. Langkah selanjutnya adalah melakukan interpretasi dari model tersebut yang dinamakan interpretasi kuantitatif. Hasil pemodelan *Grav2DC* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan Bawah Permukaan Daerah Penelitian Menggunakan *Software Grav2DC*.

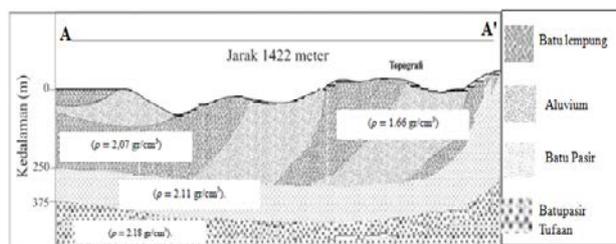
Berdasarkan hasil analisis pemodelan tersebut didapatkan 3 jenis lapisan, lapisan pertama diinterpretasikan sebagai lapisan aluvium dengan 2 jenis pengendapan yang diidentifikasi sebagai batuan aluvium pasir dengan nilai densitasnya sebesar 1,66 g/cm³ pada kedalaman 0-125 meter dan batuan lempung dengan densitas sebesar 2,07 g/cm³ pada kedalaman 0-275 meter. Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai batupasir dengan nilai densitas sebesar 2,11 g/cm³ pada kedalaman 275–350 meter. Lapisan ketiga diinterpretasikan sebagai batupasir tufaan dengan nilai densitas sebesar 2,18 g/cm³ pada kedalaman 350-500 meter.

Berdasarkan hasil pemodelan data maka dapat diinterpretasikan sebagai struktur sedimen berdasarkan perbedaan nilai densitas. Perbedaan distribusi nilai densitas mendeskripsikan lokasi pengukuran data tersusun atas lebih dari satu jenis material sedimen yang telah terendapkan.

Berdasarkan kondisi geologi pada Gambar 1 yang menyatakan bahwa kawasan Kuala Gigieng merupakan area yang didominasi oleh formasi sedimen sebagai wilayah dataran aluvium bergelombang hingga dataran rendah pantai yang membentang. Sesuai dengan hasil analisa pemodelan berdasarkan topografi lokasi penelitian, yang menunjukkan pola bergelombang akibat adanya pengikisan atau erosi pinggir pantai dan pergerakan angin sehingga menunjukkan adanya

permukaan yang berelombang atau seperti ombak dengan formasi yang didominasi oleh aluvium.

Daerah penelitian Kuala Gigieng, Aceh Besar merupakan area pengendapan pantai. Berdasarkan hasil pemodelan 2D, jenis endapan mengikuti hukum *Original Horizontalilty* yang menyatakan bahwa material sedimen yang dipengaruhi oleh gravitasi sedimen akan membentuk lapisan yang mendatar (horizontal). Akumulasi pengendapannya terjadi secara vertikal. Pada daerah ini menunjukkan adanya permukaan yang berelombang atau seperti ombak, yang disebabkan oleh erosi pantai dan pergerakan angin. Awalnya lapisan batuan sedimen tersebut datar dan horizontal, karena adanya pengaruh erosi pantai dan pergerakan angin menyebabkan bagian lemah terbawa oleh arus air sehingga menyisakan cekungan-cekungan berbentuk gelombang [10].



Gambar 6. Interpretasi Model Geologis.

Aktivitas Krueng Aceh juga mengakibatkan daerah Aceh Besar didominasi oleh dataran delta sehingga pengendapan dipengaruhi oleh material yang diangkut dan terendapkan disekitar lokasi pengukuran. Berdasarkan model 2D dengan pengaruh topografi pada Gambar 6 maka urutan pengendapan sebagai berikut: lapisan paling tua adalah batupasir yang berada pada kedalaman 375 meter, telah terendapkan dengan kurun waktu yang relatif lama. Efek erosi relatif kecil karena berada pada wilayah yang jauh dari pinggir pantai. Selanjutnya batupasir ditutupi oleh lapisan aluvium yang terdiri atas aluvium pasir dan batu lempung yang terendapkan secara berulang karena adanya pengaruh erosi pinggir pantai.

V. KESIMPULAN

Hasil pengukuran menunjukkan distribusi nilai percepatan gravitasi berdasarkan data anomali Bouguer lengkap berada antara 60,8 mGal sampai 69,4 mGal dengan pola mengikuti profil ketinggian daerah penelitian. Berdasarkan model 2D penampang A-A' dari data anomali gravitasi menunjukkan daerah penelitian memiliki 3 jenis lapisan: Lapisan pertama batuan aluvium pasir ($\rho = 1,66 \text{ g/cm}^3$), dan batu lempung ($\rho = 2,07 \text{ g/cm}^3$), lapisan kedua batupasir ($\rho = 2,11 \text{ g/cm}^3$), lapisan ketiga pasir ($\rho = 2,18 \text{ g/cm}^3$).

Berdasarkan interpretasi model 2D didapatkan bahwa kawasan zona endapan aluvium berada pada kedalaman 0-350 meter dengan 2 jenis pengendapan yaitu terdiri dari

aluvium pasir dan batu lempung serta lapisan batupasir pada lapisan kedua. Urutan pengendapan sebagai berikut: lapisan paling tua adalah batupasir yang berada pada kedalaman 375 meter, telah terendapkan dengan kurun waktu yang relatif lama. Efek erosi relatif kecil karena berada pada wilayah yang jauh dari pinggir pantai. Selanjutnya batupasir ditutupi oleh lapisan aluvium yang terdiri atas aluvium pasir dan batu lempung yang terendapkan secara berulang karena adanya pengaruh erosi pinggir pantai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Earth Observatory of Singapore (EOS) dan dikelola oleh the International Centre for Aceh and Indian Ocean Studies (ICAIOS) di bawah skim Aceh Geohazards Project 2015-2018. Terimakasih kepada Maharani, Yanis, Muzakkir, Ari, Ulya, Rexi, Amir, Arif yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan hingga penyelesaian penelitian ini.

PUSTAKA

1. S.A.Schumm, *To Interpret the Earth: ten ways to be wrong*. Cambridge University Press. United Kingdom (1991).
2. E. Meilanda, *Past, Present and Future Morphological Development of A Tsunami-Affected Coast*. Belanda: Gildeprint, Enschede, the Netherlands. (2009).
3. D. Ploethner dan B Siemon,. 2006, Hydrological reconnaissance in the Province Nanggroe Aceh Darussalam Northern Sumatra, Indonesia survey data area: Banda Aceh/Aceh Besar 2005 *Report BGR Project*, HELP ACEH, Helicopter Project Aceh, C1, (2006) 1-33.
4. J. D.Bennet, C.D. McBride, N. R. Cameron, A. Djunudin, S.A. Ghazali, D. H. Jeffery, W. Kartawa, W. Keats, N.M.S Rock, S.J. Thomson, dan R.Whamdoyo, *Peta Geologi Lembar Banda Aceh, Sumatera Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung (1981).
5. J.S. Pethick, *An Introduction to Coastal Geomorphology*. Arnold. London (1984).
6. K. D. Sieh dan Natawidjaja, Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research* 105 (2000) 28295-28326.
7. S.Purnawan, I. Setiawan, Marwan, Studi sebaran sedimen berdasarkan ukuran butir di perairan Kuala Gigieng, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh, *Depik*, vol. 1. No. 1 (2012) 31 – 36.
8. O. Oktariadi & R. Suhendar, *Panduan Wisata Bumi Warisan Geologi Sumatera*. Pusat SumberDaya Air Tanah dan Geologi Lingkungan. Bandung (2016).
9. W. M.Telford, L. P. Geldart, R. E. Sherrif, *Applied Geophysics*. Cambridge : Cambridge University Press (1990).
10. A.G. Plint, N. E.Eyles, C.H. Eyles, dan R.G. Walker, Control on Sea Level Change. In: R.G. Walker and N.P. Jones, (eds.), *Facies modelresponse to sea level change*. Geological Association of Canada (1992) 15-25.