

Identifikasi Struktur Endapan Aluvial di Kawasan Kuala Gigieng, Aceh Besar, Berdasarkan Data Anomali Medan Magnetik Total Menggunakan Metode Pseudogravitasi dan Reduksi ke Kutub

(masuk/received 5 Juli 2018, diterima/accepted 2 Maret 2019)

Alluvial Deposit Structure Identification in Kuala Gigieng Area, Aceh Besar, Based on Total Magnetic Field Anomaly Data Using Pseudogravity and Reduction to Pole Methods

Maharani, Marwan, Nazli Ismail

Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknik Kebumihan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
maharanirr04@gmail.com, nazli.ismail@unsyiah.ac.id

Abstrak - Banda Aceh dan sebagian Kabupaten Aceh Besar merupakan kawasan yang terbentuk dari pengendapan delta. Kajian proses sedimentasi pada kawasan ini akan dapat memberikan informasi pendudukan dan bencana purba. Oleh karena itu, telah dilakukan survei metode magnetik di kawasan Kuala Gigieng, Aceh Besar. Metode magnetik termasuk metode geofisika yang mudah dalam pengoperasian dan pengolahan, namun interpretasi hasil anomali medan magnetik total relatif sulit terutama pada pengukuran di daerah lintang geomagnetik rendah. Transformasi pseudogravitasi dan reduksi ke kutub merupakan metode yang dapat digunakan untuk mempermudah interpretasi data anomali medan magnetik tersebut. Kedua metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan berdasarkan anomali medan magnetik total terukur pada kawasan Kuala Gigieng. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai maksimum dan minimum pada peta kontur transformasi pseudogravitasi dan reduksi ke kutub sangat berhubungan dengan topografi daerah pengukuran. Nilai maksimum dan minimum pada peta anomali pseudogravitasi yaitu 0,05 sampai 0,3 pseudo mGal dan nilai minimum -0,15 sampai -0,4 pseudo mGal, sedangkan pada peta anomali reduksi ke kutub memiliki nilai maksimum 200 nT sampai 600 nT dan nilai minimum -600 nT sampai -1800 nT. Topografi rendah dan tinggi tersebut dipengaruhi oleh proses pengendapan aluvial. Urutan lapisan sedimen menunjukkan urutan waktu pengendapan. Lapisan berumur tua terbentuk jauh dari pantai dan lapisan muda terbentuk dekat pantai. Urutan pengendapan terdiri dari pasir, lempung, dan aluvial pasir. Kemudian terjadi pengulangan endapan pasir dan aluvial pasir karena adanya erosi pantai dengan arah yang sejajar dengan garis pantai.

Kata kunci: anomali medan magnetik total, transformasi pseudogravitasi, reduksi ke kutub, Kuala Gigieng, endapan aluvial

Abstract - Banda Aceh and parts of Aceh Besar Regency are areas formed by delta deposition. The study of the sedimentation process in this area will be able to provide information of settlement and paleo disasters. Therefore, survey of magnetic method was conducted at Kuala Gigieng area, Aceh Besar. Practically, the magnetic method is considered as a simple method as well as in data processing. However, interpretation of the total magnetic field anomaly is difficult, especially for the data measured on low latitude geomagnetic. In order to simplify interpretation of the total magnetic field anomalies, pseudogravity and reduction to pole transformations were applied in this study. Both methods aim to identify subsurface structures of Kuala Gigieng area based on the measured data. The transformed data show maximum and minimum values of the pseudogravity and the reduction to pole contour maps are in agreement with topographic of the area. The maximum and minimum values on the pseudogravity anomaly map are 0.05 to 0.3 pseudo mGal and the minimum values are -0.15 to -0.4 pseudo mGal. And reduction to pole anomaly map has a maximum value 200 nT to 600 nT and a minimum value of -600 nT to -1800 nT. Undulation of the topography is subjected by alluvial deposition process with respect to time sequence. Older deposits were formed far away from the beach and younger deposits were formed near the shore line. Order of the depositions are composed by sand, clays and sandy alluvial. Repetition of the sand and alluvial deposits were influenced by coastal erosion processes in direction parallel to the coastline.

Key words: total magnetic field anomaly, pseudogravity transformation, reduction to pole, Kuala Gigieng, alluvial deposits

I. PENDAHULUAN

Kawasan Kota Banda Aceh dan sebagian wilayah Kabupaten Aceh Besar merupakan daerah yang didominasi oleh endapan aluvial dengan ketebalan sampai 80 meter di bawah permukaan [1]. Kawasan ini

telah menjadi pemukiman padat sejak awal milenial pertama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemukiman di kawasan pantai Kota Banda Aceh dan Aceh Besar telah mengalami beberapa kali perpindahan akibat adanya bencana alam pada masa lalu [2]. Proses migrasi penduduk dari satu kawasan ke kawasan lain di garis

pantai sangat dipengaruhi oleh adanya perubahan lahan kawasan pantai, baik karena adanya bencana alam atau karena proses alami lainnya yang terjadi secara perlahan dan kontinyu seperti abrasi pantai. Tingginya frekuensi ancaman bencana berupa gempa bumi dan tsunami di kawasan tersebut mengharuskan adanya kajian-kajian yang terintegrasi. Sejauh ini, kajian perubahan geomorfologi terkait dengan proses ini belum dilakukan secara menyeluruh di kawasan pantai Banda Aceh dan Aceh Besar. Informasi keadaan geomorfologi dan struktur bawah permukaan sangat diperlukan untuk perencanaan pemukiman pesisir. Dalam makalah ini disajikan keberhasilan dari survei metode magnetik pada kawasan pantai Kuala Gigieng, untuk identifikasi endapan aluvial.

Metode magnetik merupakan salah satu metode potensial yang dapat digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Mulai dari investigasi skala kecil yang sangat dekat dengan permukaan hingga pemetaan geologi regional dalam skala besar [3]. Peralatan pada metode magnetik ini lebih mudah digunakan dan lebih murah daripada metode geofisika pada umumnya, juga koreksi pada metode ini lebih sederhana.

Namun demikian, pada proses interpretasi metode ini memiliki ambiguitas yang tinggi karena medan magnetik bumi bersifat *dipole*, terutama pada daerah pengukuran dekat dengan ekuator medan magnet bumi. Sifat *dipole* medan magnetik bumi menyebabkan penyimpangan posisi keberadaan benda bersifat magnetik di bawah permukaan dengan nilai maksimum dan minimum anomali medan magnetik total yang terukur di daerah dekat ekuator magnetik bumi. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan lebih lanjut untuk mempermudah proses interpretasi. Dalam makalah ini digunakan metode transformasi pseudogravitasi dan reduksi ke kutub [4].

Transformasi pseudogravitasi dan reduksi ke kutub dapat mengubah anomali medan magnetik total yang *dipole* menjadi *monopole*, sehingga dapat menyederhanakan interpretasi data. Kedua metode ini dapat diterapkan untuk kajian pembentukan sedimentasi aluvial pada kawasan Kuala Gigieng. Pada lokasi penelitian ini terjadi proses sedimentasi yang disebabkan oleh aktivitas Sungai Krueng Aceh yang mengalir pada bagian utara graben yang dibentuk oleh pergerakan Sesar Sumatera [5].

Sedimen yang terendapkan pada kawasan pesisir pantai Banda Aceh berupa endapan kuartar yang terdiri dari endapan pematang pantai, endapan rawa, dan endapan alluvial [6]. Pada lokasi penelitian yang terdapat di Kawasan Kuala Gigieng, Aceh Besar menunjukkan bahwa proses penumpukan sedimen yang ada di daerah ini cenderung berubah dan tidak stabil [7]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memetakan endapan sedimen aluvial pada kawasan pantai Kuala Gigieng berdasarkan pola anomali transformasi pseudogravitasi dan reduksi ke kutub.

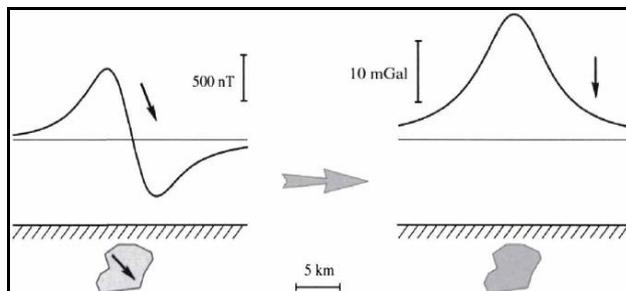
II. LANDASAN TEORI

A. Transformasi Pseudogravitasi

Transformasi pseudogravitasi mengasumsikan bahwa data anomali medan magnetik total yang *dipole* dapat diubah menjadi *monopole* seperti medan gravitasi. Pada anomali *monopole*, keberadaan benda penyebab anomali berhubungan langsung dengan pola maksimum dan minimum anomali yang dihasilkan [4].

Transformasi pseudogravitasi menjadi strategi untuk menafsirkan anomali magnetik, bukan karena distribusi massa benar-benar sesuai dengan distribusi magnetik untuk survei magnetik bawah permukaan tetapi untuk menafsirkan dan mengukur anomali magnetik ke anomali gravitasi di atas tubuh tabular yang memiliki gradien horizontal yang curam pada bagian tepi anomali dan hubungan ini dapat dimanfaatkan dalam mengubah anomali magnetik untuk anomali pseudogravitasi dan mencari anomali pseudogravitasi untuk gradien horizontal maksimum [8].

Transformasi ini digunakan pada penelitian untuk menentukan keadaan bawah permukaan dengan menghitung nilai magnetisasi terhadap nilai densitas semu. Nilai kesebandingan yang dipakai adalah 100 kg/m³ per A/m [8]. Perubahan respon anomali dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Anomali magnetik sebelum dan sesudah transformasi pseudogravitasi [8].

Relasi Poisson yang terdapat pada menunjukkan bahwa potensial magnetik (V) dan potensial gravitasi (U), yang disebabkan oleh keseragaman densitas dan magnetisasi benda yang dihubungkan oleh turunan langsung, maka

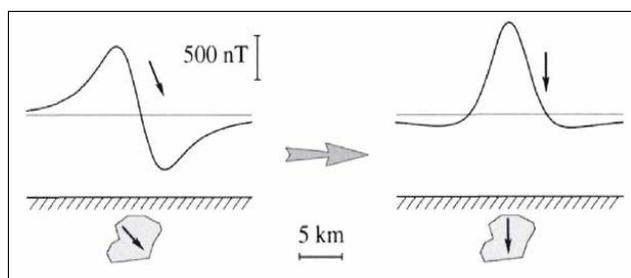
$$V = -\frac{C_m M}{\gamma \rho} \hat{m} \cdot \nabla_p U = -\frac{C_m M}{\gamma \rho} g_m \quad (1)$$

dengan ρ kontras densitas, M intensitas magnetisasi, \hat{m} adalah arah magnetisasi dan g_m adalah komponen gravitasi ke arah magnetisasi \hat{m} , sedangkan konstanta C_m satuannya adalah $4\pi \times 10^{-7}$ henry per meter (H/m) atau newton persegi (N/A²) dan γ adalah konstanta universal gravitasi ($\gamma = 6,67 \times 10^{-11}$ m³kg⁻¹s⁻²).

Aplikasi dari Relasi Poisson di mana anomali medan magnetik total dikoversikan ke dalam anomali gravitasi yang dapat diamati jika distribusi magnetik dapat digantikan dengan distribusi identitas serupa (dengan kata lain, M/ρ bernilai konstan di sepanjang sumber). Hasilnya dinamakan anomali pseudogravitasi, dan perubahannya disebut transformasi pseudogravitasi [9]. Perubahan respon anomali dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Reduksi ke Kutub

Anomali positif gravitasi cenderung terletak di atas konsentrasi massa, tetapi hal yang sama belum tentu terjadi pada anomali magnetik ketika magnetisasi dan medan ambien keduanya tidak diarahkan vertikal. Reduksi ini dilakukan dengan cara mengubah sudut inklinasi dan deklinasi menjadi 90° dan 0° . Kecuali apabila m dan f vertikal, θ_m dan θ_f akan menjadi fase untuk anomali magnetik, yang dapat menggeser anomali secara lateral, mendistorsikan bentuk, dan mengubah tandanya seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Anomali magnetik sebelum dan sesudah direduksi ke kutub [8].

Perubahan anomali pada domain Fourier diberikan pada persamaan

$$\mathcal{F}[\Delta T_r] = \mathcal{F}[\psi_r] \mathcal{F}[\Delta T]. \quad (2)$$

Penerapan $\mathcal{F}[\psi_r]$ disebut sebagai reduksi ke kutub [8] karena ΔT_r anomali yang diukur pada kutub utara magnetik di mana magnetisasi terinduksi dan medan ambien keduanya akan diarahkan secara vertikal ke bawah Gambar 2.

Pengurangan ke kutub menghilangkan satu tingkat kompleksitas dari proses penafsiran yaitu menggeser anomali secara lateral untuk ditempatkan di atas masing-masing sumber dan mengubah bentuk keduanya sehingga menjadi sumber simetris yang menyebabkan anomali simetris [8].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dengan menggunakan metode magnetik ini memiliki tiga tahapan yaitu proses pengambilan data, pengolahan data, dan interpretasi hasil. Tempat penelitian ini berlokasi di kawasan Kuala Gigieng, Aceh Besar dengan luas daerah penelitian $1,82 \text{ km} \times 0,73 \text{ km}$. Titik pengukuran dibuat dalam bentuk grid sebanyak 120 stasiun dan jarak antara titik pengukuran berkisar antara 90 m – 120 m.

Pada tahapan pendahuluan kegiatan yang dilakukan adalah mengkaji literatur daerah penelitian untuk mengetahui lokasi geomorfologi daerah penelitian, dan persiapan alat yang diperlukan dalam pengambilan data dengan menggunakan metode magnetik.

Proses yang kedua merupakan proses pengambilan data di lapangan menggunakan satu unit peralatan *Proton Precision Magnetometer*, karena peralatan yang digunakan hanya satu unit maka dilakukan pengukuran

secara *looping* ke *base station* setiap satu sampai dua jam. Selanjutnya pada awal pengukuran dimulai dengan pengaturan tanggal dan waktu pada alat. Pengukuran pertama dilakukan di *base station* yang digunakan sebagai *control point* perubahan nilai magnetik akibat variasi harian (*diurnal*).

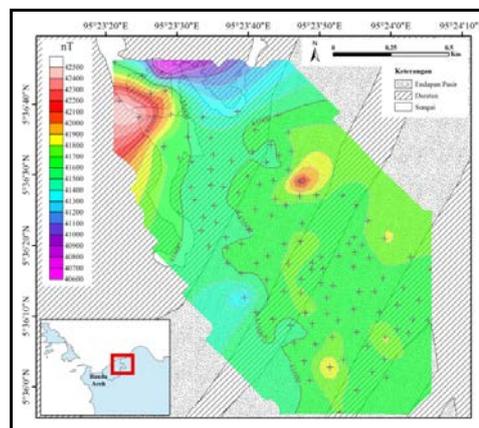
Tahapan selanjutnya adalah pengolahan data magnetik, dilakukan beberapa koreksi untuk mendapatkan hasil medan anomali magnet, karena pada saat pengukuran medan anomali yang diukur berupa medan magnetik total dari benda anomali magnetik, medan utama bumi, dan medan dari luar angkasa. Koreksi data ini dilakukan pada *Microsoft Excel* secara matematis. Tahapan koreksi data yang pertama dilakukan pada data pengukuran ini adalah koreksi IGRF (*International Geomagnetism Reference Field*). Kemudian dilakukan koreksi harian (*diurnal*) yang didapatkan dari data magnetik di *base station*. Koreksi ini dilakukan untuk melihat perubahan nilai total medan magnetik yang terukur.

Selanjutnya setelah dilakukan proses koreksi data, dilakukan penapisan data (*filtering*) yang berguna untuk memisahkan anomali medan magnetik total dari anomali medan magnetik total regional dan lokal, sehingga data yang diperoleh akan lebih mudah diinterpretasi. Penapisan tersebut dilakukan dengan transformasi pseudogravitasi dan reduksi ke kutub dengan menggunakan *software OasisMontaj*. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis pola anomalnya dan diinterpretasikan secara kualitatif.

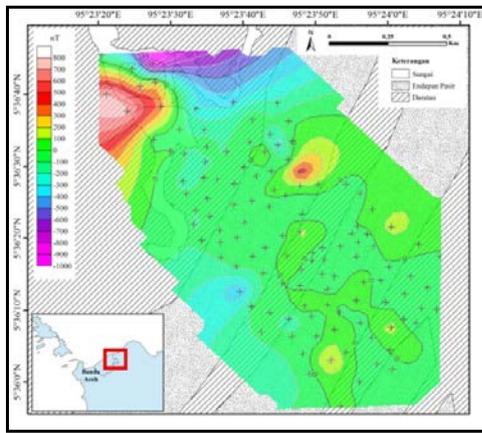
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola kuat medan magnetik total yang terukur dapat menunjukkan daerah yang memiliki nilai magnetik yang tinggi dan daerah yang memiliki nilai magnetik yang rendah pada lokasi pengukuran. Pada kawasan Kuala Gigieng ini terdapat nilai medan magnetik yang tinggi dan juga nilai yang rendah seperti pada Gambar 3.

Pola pada kontur tersebut menunjukkan gambaran awal mengenai lokasi yang memiliki kuat medan yang besar dan juga kawasan yang memiliki kuat medan yang kecil. Nilai magnetik terendah yaitu 40.655,7967 nT, nilai tersebut terdapat di *range* warna ungu dengan nilai mulai dari 40.600 nT sampai 40.700 nT, dan nilai magnetik ter-



Gambar 3. Peta kontur intensitas medan magnetik total.



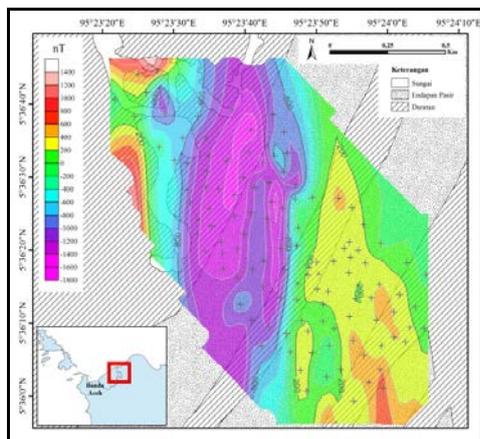
Gambar 4. Peta kontur intensitas medan magnetik total.

tinggi yaitu 42.452,9167 nT terdapat di *range* warna merah muda hingga putih dengan nilai lebih besar dari 42.500 nT.

Nilai medan anomali magnetik total diperoleh dari hasil koreksi diurnal dan IGRF. Setelah dilakukan koreksi data tersebut distribusi anomali magnetik total dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai anomali tertinggi yang terdapat pada peta tersebut adalah lebih besar dari 800 nT dan nilai terendah adalah -1.000 nT. Pada gambar tersebut sebaran nilai anomali medan magnetik total didominasi oleh nilai -200 nT sampai dengan 200 nT yang ditunjukkan dalam *range* warna hijau. Selain itu juga terdapat kontras nilai anomali yang tinggi dan rendah pada arah barat laut dan utara peta.

Pada arah barat laut didominasi oleh nilai anomali magnetik yang tinggi mulai dari 400 nT hingga 800 nT yang ditunjukkan pada *range* warna merah hingga putih. Sedangkan arah utara didominasi oleh nilai anomali magnetik yang rendah -700 nT sampai -1.000 nT yang ditunjukkan pada *range* warna ungu tua hingga muda.

Pada kawasan dengan nilai anomali yang tinggi terdapat kawasan pemukiman penduduk, dan pada kawasan yang memiliki nilai anomali yang rendah berada pada kawasan dekat air. Pada peta sebaran anomali magnetik total masih terdapat nilai positif dan negatif, hal ini dikarenakan anomali magnetik masih dipengaruhi oleh efek *dipole*.



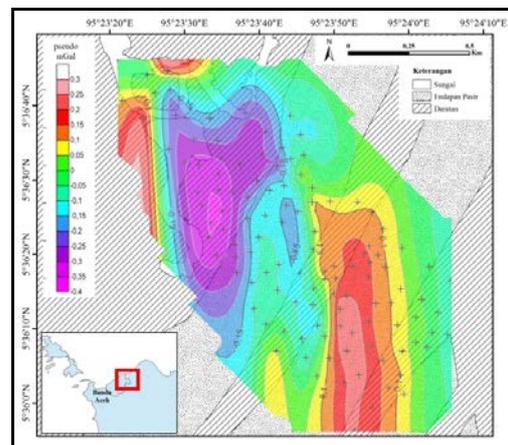
Gambar 5. Peta kontur reduksi ke kutub anomali medan magnetik total.

Pola anomali yang ditunjukkan pada peta anomali medan magnetik total menunjukkan pola tinggi-rendah karena masih dipengaruhi oleh efek *dipole* sehingga lebih sulit untuk diinterpretasi. Terdapat cara untuk menghilangkan efek *dipole* pada data magnetik, beberapa diantaranya adalah reduksi ke kutub dan transformasi pseudogravitasi. Gambar 5 merupakan peta kontur reduksi ke kutub dengan nilai inklinasi pada lokasi penelitian $-4,564^\circ$ dan deklinasi $-0,752^\circ$.

Peta ini menunjukkan adanya kontur maksimum dan minimum pada beberapa titik. Bagian tengah peta (barat) didominasi oleh nilai yang rendah ditunjukkan pada *range* warna biru hingga ungu dengan nilai -600 nT hingga -1.800 nT, sedangkan pada bagian bawah peta (selatan) didominasi oleh kontur dengan nilai yang tinggi yang ditunjukkan pada *range* warna kuning hingga merah dan nilainya berada pada 200 nT sampai dengan 600 nT.

Pada transformasi pseudogravitasi (Gambar 6) dilakukan perhitungan nilai kesebandingan magnetisasi dengan densitas semu yang digunakan untuk mempermudah analisis endapan sedimen pada lokasi penelitian. Nilai maksimum ditunjukkan pada kontur yang berwarna kuning sampai merah dengan nilai densitas semunya 0,05 – 0,3 pseudo mGal, dan pada nilai minimum ditunjukkan pada kontur yang berwarna biru hingga ungu dengan nilai sebesar -0,15 sampai -0,4 pseudo mGal. Pada peta hasil pseudogravitasi ini menunjukkan bahwa anomali yang terlihat merupakan anomali dengan bentuk regional sehingga transformasi pseudogravitasi ini dapat digunakan sebagai dasar penentuan lokasi awal anomali. Hasil dari pseudogravitasi memiliki kesamaan dengan hasil dari reduksi ke kutub.

Reduksi ke kutub juga dapat mengkorelasikan anomali magnetik dengan anomali geofisika lainnya seperti anomali gravitasi, seperti halnya pseudogravitasi. Karena anomali yang ditunjukkan pada kedua kontur ini menunjukkan anomali maksimum dan minimum dengan menghilangkan anomali-anomali lokal [10]. Efek *dipole* pada kedua transformasi ini telah di transformasi sehingga hanya menampilkan efek *monopole* saja. Berdasarkan Gambar 6 lokasi penelitian ini berada pada topografi tinggi-rendah yang ditunjukkan dengan adanya



Gambar 6. Peta kontur transformasi pseudogravitasi anomali medan magnetik total.

perbedaan nilai kontur tinggi dan rendah.

Pada peta topografi tinggi-rendah tersebut, di lapangan ditemukan adanya gundukan-gundukan pasir. Pesisir pantai pada lokasi penelitian (Kuala Gigieng) memiliki transisi karakteristik antara cembung (barat daya) dan cekung (timur laut) sepanjang garis pantai sehingga terdapat endapan sedimen pasir pada kawasan cekungan tersebut. Kemudian adanya proses tektonik yang mengakibatkan tsunami menyebabkan proses sedimentasi terganggu. Setelah terjadi tsunami selama beberapa dekade endapan sedimen pasir mulai terendapkan kembali [11].

Berdasarkan data model hasil metode gravitasi [12] terdapat adanya pola perulangan pengendapan pada lokasi penelitian. Pola tersebut mengikuti hukum *original horizontality*. Dimana lapisan yang pertama dibentuk akan diendapkan secara horisontal, namun ada beberapa pengecualian sehingga terdapat keadaan dimana pola pengendapan tersebut tidak selalu horisontal.

Hasil pengendapan pada model menunjukkan adanya gambaran proses pengendapan aluvial berdasarkan fungsi waktu. Proses pengendapan maupun pengikisan kawasan pantai dapat terjadi dalam rentang waktu yang lama atau sebaliknya dalam waktu yang singkat seperti kejadian bencana alam tsunami pada masa lampau [2]. Berdasarkan observasi di lapangan, kawasan Kuala Gigieng ini juga termasuk daerah yang mengalami pembentukan endapan delta karena adanya aktivitas sungai Krueng Aceh. Urutan pengendapan dimulai dari lapisan pasir, lempung, dan aluvial pasiran. Lapisan aluvial terdeposisi dipengaruhi oleh arah gelombang laut sehingga terjadi pengulangan endapan pasir dan aluvial pasiran karena adanya erosi pantai dengan arah yang sejajar dengan garis pantai.

Lapisan yang terbentuk pertama merupakan lapisan sedimen yang letaknya jauh dari pantai, selanjutnya lapisan sedimen yang lebih muda terbentuk di daerah dekat pantai. Endapan yang relatif muda ini lebih cepat mengalami erosi dan kembali mengalami pengendapan sehingga membentuk pengulangan bentuk endapan pada di Kuala Gigieng.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan kesimpulannya adalah hasil perbandingan peta pseudogravitasi dan reduksi ke kutub anomali medan magnetik total menunjukkan kesamaan pola anomali dimana nilai maksimum pada peta anomali pseudogravitasi yaitu 0,05 sampai 0,3 pseudo mGal dan nilai minimum -0,15 sampai -0,4 pseudo mGal, sedangkan pada peta anomali reduksi ke kutub nilai maksimumnya yaitu 200 nT sampai 600 nT dan nilai minimum -600 nT sampai -1800 nT. Pada kontur terdapat pada lokasi yang sama dan bentuk anomali yang mirip, sehingga kelebihan dari kedua metode ini yaitu dapat digunakan pada kawasan lintang geomagnetik yang rendah karena memiliki kesamaan pola anomali magnetik. Namun, kekurangan dari kedua metode ini adalah tidak cocok digunakan pada kawasan lintang geomagnetik yang tinggi dan diperlukan analisis yang tepat dalam menentukan nilai susceptibilitas

dan densitas batuan pada proses pengolahan data. Hasil interpretasi kualitatif menunjukkan adanya korelasi antara informasi geologi pada lokasi penelitian yang memiliki pengendapan aluvial pada beberapa lokasi. Pada lokasi pengendapan terdapat perubahan pola kontur tinggi dan rendah yang mengindikasikan perubahan topografi naik (aluvial terendapkan) dan turun (aluvial tererosi).

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 Mutiara Qalbi Pebrian, Ulya Wardah, Uswatun Hasanah, Muhammad Yanis, Muzakkir, Ari, Rexi, Amir, Arif yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan hingga penyelesaian penelitian ini.

PUSTAKA

1. Nazli Ismail, Groundwater Resources Assessment Using Geophysical VLF Method; A Case Study from Coastal Urban Forest in Banda Aceh, *Jurnal Natural* 13, 2, 2013.
2. Kerry Sieh, Patrick Daly, E. Edwards McKinnon, Jessica E. Pilarczyk, Hong-Wei Chiang, Benjamin Horton, Charles M. Rubin, Chuan-Chou Shen, Nazli Ismail, Christopher H. Vane, and R. Michael Feener, Penultimate predecessors of the 2004 Indian Ocean tsunami in Aceh, Sumatra: Stratigraphic, archeological, and historical evidence, *J. Geophys. Res. Solid Earth* 120, 2015, 1-18.
3. J.M. Reynolds, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Jhon Wiley & Sons, 1997.
4. Telford, et al., *Applied Geophysics Second Edition*, Press Syndicate of the University of Cambridge, 1990.
5. Takahashi, et al., *Restoration after the Sumatra Earthquake Tsunami in Banda Aceh: Based on the Results of Interdisciplinary Researches by Nagoya University*. *Journal of Natural Disaster Science*, Vol:29, 2007, 53-61.
6. Bennet, et al., *Peta Geologi Lembar Banda Aceh, Sumatra (1:250.000). Geologic Map of the Banda Aceh Quadrangle, Sumatra, Lembar (Quadrangle) 0421 (Banda Aceh)*, 1981, 19.
7. Purnawan, et al., *Studi Sebaran Sedimen Berdasarkan Ukuran Butir di Perairan Kuala Gigieng, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh* ISSN 2089-7790. Depik, 2012, 1(1), 31-36.
8. Blakely, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, 1995.
9. V. Baranov, *A New Method for Interpretation of Aeromagnetic Maps: Pseudo-Gravimetric Anomalies*. *Geophysics* 22, 1957, 359-83.
10. V. Baranov and H. Naudy, *Numerical Calculation of The Formula of Reduction to The Magnetic Pole*. *Geophysics* 29, 1964 67-79.
11. Ella Meilinda, *Past, Present and Future Morphological Development of A Tsunami-Affected Coast*. Gildeprint, Enschede, 2009.
12. Mutiara Qalbi Pebrian, *Interpretasi Data Anomali Gravitasi untuk Identifikasi Endapan Aluvium di Kawasan Kuala Gigieng, Aceh Besar*, Skripsi, Universitas Syiah Kuala, 2018.