

POTENSI *AIRBORNE GRAVITY* UNTUK STUDI SESAR

Aswar Syafnur¹, T. Aris Sunantyo²
Departement Magister Geomatika Universitas Gadjah Mada
aswar.syafnur@mail.ugm.ac.id,
sunantyo@ugm.ac.id

ABSTRAK

Posisi Indonesia yang berada di atas pertemuan tiga lempeng besar dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik. Pergerakan lempeng yang merupakan aktifitas kegempaan memicu terbentuknya sesar-sesar aktif. Keberadaan sesar tersebut dapat menjadi suatu ancaman bencana gempa tektonik akibat pergerakan patahan tersebut.

Maka dari itu, perlu dilakukan studi untuk mengidentifikasi keberadaan patahan. Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan adalah *Airborne Gravity*. Dalam penelitian ini membahas mengenai potensi data gayaberat untuk mengidentifikasi keberadaan patahan disuatu wilayah dengan memanfaatkan data *airborne gravity* berupa data gayaberat, data GNSS (*Global Navigation Satellite System*) dan data geologi setempat dan data pendukung lainnya. Pada pengolahan data gayaberat, data gayaberat dilakukan pengkoreksian data agar tidak mengandung noise yang disebabkan oleh kondisi alat maupun kondisi alam saat akuisisi data.

Hasil pengolahan data gayaberat berupa nilai anomali Bouguer yang pada dasarnya telah memperhitungkan densitas batuan penyusun daerah pengamatan. Nilai anomali Bouguer tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta kontur dan dilakukan analisis *derrivative* untuk mengetahui jenis sesarnya. Dengan diketahuinya keberadaan sesar pada suatu wilayah diharapkan dapat bermanfaat untuk melakukan mitigasi bencana.

Kata kunci *airborne gravity*, gayaberat, patahan, sesar, mitigasi bencana

ABSTRACT

Indonesia is located on the three largest tectonic plates in the world, namely the Eurasian plate, the Indo-Australian plate and the Pacific plate. The tectonic plates movement which is a seismic activity is installed to form active faults. The existence of this fault can be a threat of tectonic earthquakes due to the movement of the fault.

Therefore, it is necessary to do the experiment for identify the faults. One of the technologies that can be utilized is Airborne Gravity. In this study discussed the potential of gravity data to identify the presence of faults in an area by utilizing airborne gravity data in the form of gravity data, GNSS data (Global Navigation Satellite System) and local geological data and other supporting data. in gravity data processing, gravity data is corrected so that data does not contain noise caused by the condition of the equipment or natural conditions during data acquisition.

The result of gravity data processing is the Bouguer anomaly value which basically takes into account the density of the rock making up the observation area. The Bouguer anomaly value is then visualized in the form of a contour map and derrivative analysis is performed to determine the type of fault. By knowing the existence of faults in an area it is hoped that it can be useful to mitigate disasters.

Keyword *Air gravity, gravity, faults, disasters mitigation*

PENDAHULUAN

Indonesia berada di atas pertemuan tiga lempeng besar duni yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo – Australia dan lempeng Pasifik membuat indonesia riskan terhadap bencana alam seperti erupsi gunungapi dan gempa bumi akibat dari pergerakan lempeng – lempeng tersebut. Pergerakan lempeng yang merupakan aktifitas kegempaan memicu terbentuknya sesar-sesar aktif. Identifikasi struktur geologi berupa patahan pada suatu daerah sangat perlu dilakukan untuk perencanaan pembangunan dan mitigasi bencana terlebih mengingat indonesia merupakan wilayah dengan potensi bencana yang tinggi.

Metode yang dapat diaplikasikan untuk mengidentifikasi patahan adalah metode gayaberat, yaitu dengan melakukan pengukuran variasi gayaberat bumi. Pengidentifikasian sesar dilakukan berdasarkan perbedaan rapat massa atau densitas batuan [1]. Selama ini yang dilakukan adalah survey gayaberat terestris yang terkendala pada area survei yang luas dan ekstrim sehingga dinilai kurang efisien dalam pengaplikasiannya. Salah satu teknologi yang dinilai efisien untuk hal tersebut adalah dengan melakukan *airborne gravity survey*. *Airborne gravity survey* merupakan survei pengukuran gayaberat yang dilakukan di udara dengan menggunakan wahana pesawat udara yang dilengkapi dengan gravimeter dan sensor pendukung lainnya. Survei tersebut dilakukan di udara sehingga akan memudahkan untuk akuisisi data pada daerah yang sulit dijangkau dengan survei gayaberat terestris seperti kawasan hutan, pegunungan dll.

Pemanfaatan *airborne gravity* untuk tinjauan struktur geologi telah banyak dilakukan. Penelitian sebelumnya oleh Weyoung Li dkk. tahun 2016 mengenai eksplorasi hidrokarbon menggunakan *airborn gravity* untuk studi cekungan hidrokarbon yang kompleks dengan mengkombinasikan data *airborne gravity* dengan data sumur lepas pantai, data seismik dan data regional [2]. Selain itu pengaplikasian *airborne gravity* oleh Wenyounng Li dkk. tahun 2016 memanfaatkan *ariborne gravity* untuk melakukan analisis cekungan sedimen. Hasilnya menyatakan bahwa metode ini efektif digunakan untuk pemetaan sumberdaya mineral maupun visualisasi struktur geologi pada daerah yang ekstrim [3]. Pemanfaatan *airborne gravity* juga dilakukan oleh Abdel Zaher dkk. tahun 2017 di daerah Siwa Oasis, Mesir. Penelitian tersebut bertujuan meninjau struktur geologi terkait potensi panas bumi. Inversi 3D data *airborne gravity* digunakan untuk memvisualisasikan kedalam batuan basement dan didapatkan hasil kedalam batuan basement dikedalam 2 km hingga 3 km [4].

Sejauh ini pemanfaatan *airborne gravity* di Indonesia belum begitu maksimal. Mengingat Indonesia merupakan wilayah dengan kondisi geologi yang kompleks dengan potensi bencana yang cukup tinggi maka dirasa perlu untuk dilakukan identifikasian sesar pada suatu wilayah menggunakan *airborne gravity survey*. Hasil dari pengidentifikasian sesar menggunakan *airborne gravity* diharapkan dapat menjadi *fast assessment* untuk penelitian lebih lanjut dan dapat menjadi informasi pendukung terkait keberadaan sesar pada suatu daerah untuk kepentingan mitigasi bencana.

METODE

Survei metode gayaberat melibatkan pengukuran variasi gayaberat bumi. Hal tersebut dilakukan untuk menemukan massa lokal dengan massa jenis yang besar atau lebih kecil dari formasi disekitarnya. Variasi massa jenis batuan sekitar permukaan menyebabkan perbedaan medan gravitasi [1]. Metode gayaberat sensitif terhadap perubahan vertikal, oleh karenanya dinilai efisien untuk studi kontak intrusi, batuan dasar, struktur geologi seperti sesar, gua bawah permukaan dsb. [5].

Airborne gravity survey merupakan survei akuisisi data gayaberat yang dilakukan di udara menggunakan wahana pesawat udara yang telah dilengkapi gravimeter, alat pengukur kecepatan, receiver GNSS (*Global Navigation Satellite System*), IMU (*Inertial Measurement Unit*) dan sensor pendukung lainnya. Jika dibandingkan dengan survei gayaberat konvensional, terestris, survei udara relatif lebih menghemat waktu dan efisien dilakukan di daerah yang sulit dijangkau melalui darat seperti hutan, pegunungan dll. Masalah utama dalam survei *airborne gravity* adalah terjadinya perubahan yang besar pada g_{obs} yang disebabkan oleh perubahan ketinggian pesawat, percepatan linier, *roll* dan *heading* [1].

Komponen perangkat keras pada Airborne Gravimeter dapat dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu komponen penentuan posisi dan orientasi, dan komponen penentuan percepatan gravitas [6]. Saat melakukan survei, akselerasi di pesawat bisa mencapai 1 m/s, setara dengan

100000 mGal. Pemrosesan data harus mengekstrak data gravitasi dari lingkungan yang sangat dinamis ini. Hal ini dapat dicapai dengan memodelkan pergerakan pesawat terbang dalam penerbangan dengan pengukuran GPS yang sangat akurat. Selain menyediakan tingkat noise yang rendah, teknik ini memungkinkan survei diselesaikan dengan baik meskipun geometri satelit yang buruk dan aktivitas ionosfir yang tinggi [7].

Penentuan posisi yang presisi dilakukan dengan menggunakan sistem GPS/IMU aerocontrol II.b. Sistem Aerocontrol dikembangkan untuk penentuan posisi, orientasi dan kecepatan sensor udara yang tepat untuk fotogrametri dan penginderaan jauh, seperti kamera pemetaan udara, sistem LiDAR atau SAR. Untuk mendapatkan akurasi yang cukup untuk georeferensi. Sistem Aerocontrol dirancang untuk mencapai akurasi 0,005° untuk sudut roll dan pitch dan 0,01° untuk heading [8].

Koreksi Percepatan Vertikal

Data yang diperoleh pada GPS/IMU digunakan untuk menentukan percepatan vertikal dengan menurunkan kecepatan pada arah vertikal terhadap waktu. Persamaan umum percepatan vertikal adalah sebagai berikut [6]:

$$V_{acc} = \frac{\partial up^2}{\partial t^2} = \frac{\partial v_{up}}{\partial t} \tag{1}$$

Dimana up merupakan posisi pada komponen vertikal, v_{up} merupakan kecepatan pada komponen vertikal, dan t merupakan waktu pengamatan.

Koreksi Kemiringan Dudukan

Gravimeter hanya mengukur komponen gravitasi (g_v) apabila gravimeter berada pada posisi setimbangnya yang searah terhadap arah vertikal pada medan gravitasi bumi. Pada pengukuran percepatan gravitasi yang bersifat dinamis, maka koreksi kemiringan dudukan dapat ditentukan sebagai berikut [6]:

$$\Delta g_{tilt} = \frac{L_{acc}^2 + X_{acc}^2 - (acc_l^2 + acc_n^2)}{2g} \tag{2}$$

Koreksi Eotvos

Efek Eotvos merupakan perubahan gaya gravitasi akibat adanya perubahan percepatan sentrifugal yang disebabkan oleh adanya pergerakan yang berlawanan arah seperti pergerakan menuju arah timur ataupun barat. Ketika bergerak menuju arah timur, kecepatan sudut dari objek yang bergerak akan lebih cepat (disebabkan adanya efek rotasi bumi) sehingga gaya sentrifugal yang dialami akan semakin membesar dan menyebabkan pengurangan dari gaya gravitasi yang dirasakan. Koreksi Eotvos pada pengukuran percepatan gravitasi dapat ditentukan sebagai berikut [6]:

$$\Delta g_E = [2\omega_e v_h \cos(\varphi) \sin(\alpha)] + \frac{v_h^2}{(R_e+h)} \tag{3}$$

v_h merupakan komponen horizontal dari kecepatan ($v_h = \sqrt{v_e^2 + v_n^2}$), α merupakan arah pesawat dari utara, dan R_e adalah jari-jari rata-rata bumi.

Pada umumnya hasil pengukuran gayaberat di lapangan masih terpengaruh oleh beberapa noise [1]. Hasil pengukuran gayaberat yang dilakukan menggunakan gravimeter masih dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti [9]:

- a. Perbedaan derajat garis lintang
Nilai gayaberat di suatu titik tergantung pada posisi lintang. Secara umum nilainya akan semakin besar ke arah kutub dan mengecil ke arah equator.
- b. Perbedaan topografi
Pengukuran gayaberat pada suatu titik di permukaan bumi dipengaruhi oleh kondisi topografi titik tersebut. Keberadaan bukit yang menyebabkan kelebihan massa dan keberadaan lembah yang menyebabkan kekosongan massa mempengaruhi hasil pengukuran gayaberat.
- c. Kedudukan bumi dalam tata surya/pasang surut

- Posisi massa matahari dan posisi massa bulan memberikan yang menitari bumi memberikan pengaruh pada pengukuran gayaberat secara periodik.
- d. Perbedaan elevasi tempat pengukuran
Semakin jauh jarak titik pengukuran dengan pusat bumi maka nilai gayaberat yang terekam akan semakin kecil. Artinya ketinggian posisi titik pengukuran memberikan pengaruh terhadap hasil perekaman nilai gayaberat di titik tersebut.
 - e. Variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi
Anomali gayaberat sangat penting dalam metoda gayaberat ini. Anomali gayaberat disebabkan karena adanya variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi.

Hasil perekaman data gayaberat yang masih mengandung *noise* oleh beberapa faktor yang telah disebutkan dia atas maka perlu dilakukan koreksi terhadap data tersebut untuk mereduksi *noise* yang ditimbulkan untuk mendapatkan nilai anomali gayaberat yang sesungguhnya sesuai dengan variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi [1]. Adapun koreksi yang harus dilakukan dalam proses pengolahan data gayaberat antara lain sebagai berikut [9]:

- a. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)
Goncangan terhadap instrumen gravimeter yang digunakan saat akuisisi data di lapangan adalah salah satu hal yang tidak dapat dihindari. Hal ini menyebabkan bergesernya pembacaan titik nol pada gravimeter. Untuk melakukan koreksi *noise* yang ditimbulkan akibat guncangan ini maka dilakukan dengan cara membuat lintasan tertutup (*close loop*) pada titik titik pengukuran. *Close loop* dilakukan dengan cara melakukan pengukuran ulang pada stasiun awal (titik *base station* tiap *loop*). Untuk melakukan perhitungan koreksi *drift* menggunakan formula matematis sebagai berikut [9]:

$$K_d(t_i) = \left\{ \frac{(t_i - t_{aw})}{(t_{ak} - t_{aw})} (g_{ak} - g_{aw}) \right\} \quad (4)$$

Keterangan:

- $K_d(t_i)$ = koreksi *drift* pada waktu perekaman titik ke- n
- t_i = waktu pembacaan di titik ke- i
- t_{aw} = waktu pembacaan di titik awal
- t_{ak} = waktu pembacaan di titik akhir
- g_{aw} = pembacaan gravimeter di titik awal
- g_{ak} = pembacaan gravimeter di titik akhir

- b. Koreksi Gravitasi Normal/Teori
Bumi berbentuk elipsoid sehingga jari-jari bumi bervariasi untuk lintang yang berbeda akibat rotasi bumi. Percepatan sentrifugal menyebabkan rotasi bumi maksimum di daerah equator dan nol di kedua kutub bumi. Hal tersebut bertolak belakang dengan percepatan gravitasi yang lebih besar di daerah kutub dibandingkan dengan daerah equator [1]. Olehnya itu perlu dibuat suatu bentuk perumusan g_θ sebagai fungsi kedudukan lintang, yang biasa disebut koreksi gravitasi normal atau teoritis. Perumusan menurut *Geodetic Reference System* yang mengacu pada bentuk bumi secara teoritis. *International Association of Geodesy* mengembangkan *Geodetic Reference System 1980* yang menuntun pada *World Geodetic System 1984* (WGS 84) dalam bentuk sebagai berikut [9]:

$$g_n = 9.7803267714 \left(\frac{1 + 0.0019385138639 \sin^2 \theta}{\sqrt{1 - 0.00669437999013 \sin^2 \theta}} \right) \quad (5)$$

- c. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)
Koreksi udara bebas didasari kenyataan bahwa gravitasi bumi secara keseluruhan dapat dianggap sama seandainya massa terkonsentrasi di pusatnya. Jika ketinggian gravitometer dirubah, maka jarak dari pusat bumi berubah dengan nilai yang sama besar [9]:

$$h \frac{\partial}{\partial r} = g_{fa} \approx -0.308765h \text{ (mGal/m)} \quad (6)$$

Nilai koreksi udara bebas ditambahkan jika titik amat berada di atas bidang datum dan dikurangkan jika berada di bawah bidang datum.

d. Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Dalam koreksi udara bebas dan gravitasi normal, massa batuan diantara titik amat dan bidang datum diabaikan. Pada keadaan sebenarnya massa dibawah titik pengukuran harus diperhitungkan. Jadi koreksi Bouguer tergantung pada ketinggian titik amat dari bidang datum dan rapat massa batuan antara titik amat dan bidang datum. Besar nilai koreksi *Bouguer* adalah [9]:

$$B_c = 0.04193 \rho h \text{ mGal/m atau } B_c = 0.01273 \rho h \text{ mGal/ft} \quad (7)$$

Dengan ρ merupakan rapat massa *Bouguer* dan h merupakan ketinggian titik pengukuran dari bidang sferoid.

e. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan dilakukan karena permukaan bumi yang tidak rata atau pengaruh topografi pada di titik pengukuran yang mempengaruhi nilai yang terekam saat pengukuran gayaberat. Adanya lembah dan bukit di sekitar titik pengamatan menimbulkan efek yang dapat mengurangi besarnya gayaberat sesungguhnya di titik amat. Besarnya koreksi medan adalah [1]:

$$T_c = 2\pi G\rho R \quad (8)$$

Dengan T_c merupakan koreksi medan. G merupakan konstanta gravitasi Newton. ρ merupakan rapat massa dan R merupakan jari-jari bumi.

f. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Dalam sistem tatasurya dimana matahari menjadi pusat tatasurya, bumi dikelilingi oleh begitu banyak benda-benda langit. Bulan dan matahari memiliki pengaruh yang paling besar saat perekaman data gayaberat oleh gravimeter, karena faktor massa dan jarak dari bumi ke bulan dan matahari. Untuk mereduksi pengaruh tersebut terhadap perubahan gravitasi maka data hasil pengukuran perlu dilakukan koreksi pasang surut (T_{dc}). Besarnya koreksi pasang surut adalah sebagai berikut [9]:

$$T_{dc} = \frac{3\gamma r}{2} \left\{ \frac{2M}{3d^2} (\sin^2 p - 1) + \frac{Mr}{d^4} (5\cos^3 p - 3\cos p) + \frac{2S}{3d^3} (3\cos^2 q - 1) \right\} \quad (9)$$

Dimana p merupakan sudut zenit bulan, q merupakan sudut zenith matahari, M merupakan massa bulan, S merupakan massa matahari, d merupakan jarak antara bumi dan bulan, D merupakan jarak antara pusat bumi dan matahari, γ merupakan konstanta gravitasi Newton dan r merupakan jarak pengukuran dari pusat bumi.

Data yang telah direduksi terhadap *noise* dengan cara melakukan koreksi-koreksi yang telah dijelaskan sebelumnya, maka didapatkan nilai anomali percepatan gayaberat dari setiap titik pengamatan, yaitu [9]:

a. Anomali medan gayaberat udara bebas ($\Delta g(x, y, z)_{f.a}$):

$$\Delta g(x, y, z)_{f.a} = g_{obs}(x, y, z) - g_n(x, y, z) \quad (10)$$

$$\text{Dengan } g_n(x, y, z) = [g_n(x, y, 0) + g_{f.a}]$$

Nilai Free Air Anomaly (FAA) yang didapatkan merupakan nilai FAA pada ketinggian terbang pesawat udara, oleh karenanya diperlukan metoda Downward continuation untuk membawa nilai FAA tersebut ke topografi. Berbeda dengan akuisisi data percepatan gravitasi dengan metoda terestris yang bersifat statik, akuisisi data menggunakan metoda *Airborne Gravity* bersifat dinamik. Sehingga percepatan gravitasi yang terekam tidak benar-benar ke arah vertikal. Persamaan umum untuk perhitungan anomali udara bebas (*Free air gravity anomaly*) adalah [6]:

$$\vartheta g_f = g_{obs} - g_f - g_0 - V_{acc} - \Delta g_{tilt} - \Delta g_E - \Delta g_{FX} \quad (11)$$

dimana ϑg_f merupakan anomali udara bebas, V_{acc} merupakan koreksi percepatan vertikal, Δg_{tilt} merupakan koreksi kemiringan pada dudukan (*platform*) gravimeter, dan Δg_E koreksi Eotvos.

b. Anomali *Bouguer* (Δg_B)

➤ Anomali *Bouguer* sederhana ($\Delta g_{BS}(x, y, z)$)

$$\Delta g_{BS}(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - [g_n(x, y, z) + g_B(x, y, z)] \quad (12)$$

➤ Anomali *Bouguer* Lengkap ($\Delta g_{BL}(x, y, z)$)

$$\Delta g_{BL}(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - [g_n(x, y, 0) + g_{fa}] + g_B(x, y, z) - g_T(x, y, z) \quad (13)$$

Pada koreksi *Bouguer* dan koreksi medan ada satu nilai yang belum diketahui, yaitu densitas *Bouguer* yang merupakan densitas rata-rata untuk seluruh massa di bawah permukaan. Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-pori, serta pepadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami oleh batuan tersebut. Salah satu metode yang dapat dilakukan dalam penentuan densitas lapisan permukaan kerak bumi adalah dengan berdasarkan peta geologi untuk mendapatkan jenis batuan, kemudian dilihat nilai densitas batuan penyusunnya pada tabel densitas batuan [9].

HASIL

Analisa Derivative

Analisa derivative digunakan untuk menentukan batas dan mengetahui jenis patahan. Untuk mendapatkan hal tersebut maka dilakukan *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Horizontal Derivative* (SHD) dari lintasan yang dibuat dalam peta anomali bouguer, peta anomali regional ataupun peta anomali residual.

First Horizontal Derivative

First Horizontal Derivative atau dikenal dengan *Horizontal Gradient*. *Horizontal gradient* dari anomali gayaberata yang disebabkan oleh suatu *body* cenderung untuk menunjukkan tepian dari *body* tersebut. Metode *First Horizontal Derivative* dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontras densitas horisontal dari data gayaberat. Untuk menentukan nilai FHD maka dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut [5]:

$$FHD = \frac{g^{(i+1)} - g^{(i)}}{\Delta x} \quad (14)$$

g adalah nilai anomali dalam mGal, Δx adalah selisih jarak pada lintasan dalam meter dan *FHD* adalah *First Horizontal Derivative*.

Second Horizontal Derivative

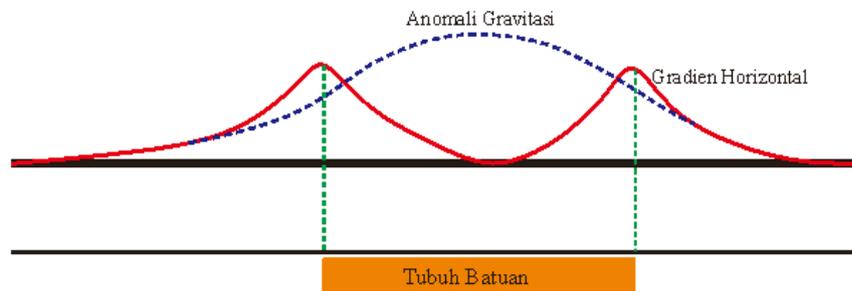
Second Horizontal Derivative bersifat *high-pass filter*, sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun atau naik. Untuk menentukan nilai SHD dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$SHD = \frac{g^{(i+1)} - 2g^{(i)} + g^{(i-1)}}{\Delta x^2} \quad (15)$$

g adalah nilai anomali dalam mGal, Δx adalah selisih jarak pada lintasan dalam meter dan *SHD* adalah *Second Horizontal Derivative*.

Analisa *Second Horizontal Derivative* dapat digunakan untuk menggambarkan sumber-sumber anomali dan menentukan jenis struktur geologi bawah permukaan seperti patahan naik ataupun turun. Salah satu metoda untuk melakukan analisa *Second Horizontal Derivative* adalah dengan

teknik gradien horizontal. Teknik gradien horizontal dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak kontras densitas horizontal dari data gravitas [5]. Pada gambar 1 menampilkan respon dari anomali gravitasi dan gradien horizontal yang disebabkan oleh tubuh tabular. Puncak anomali terdapat pada bagian tengah anomali, sedangkan puncak respon gradien horizontal berada pada kedua sisi anomali. Analisis untuk menentukan jenis struktur geologi seperti patahan naik ataupun turun jika kedua sisi tersebut adalah batas kontak antar dua massa batuan [5].



Gambar 1 Anomali gravitasi gradien horizontal [5].

Gradien horizontal merupakan perubahan nilai anomali gravitasi dari titik satu ketitik yang lain yang terpisah dengan jarak tertentu. Gradien horizontal merupakan turunan pertama dari *First Horizontal Derivative* (FHD) yang jika diturunkan satu kali lagi akan didapatkan *Second Horizontal Derivative* (SHD). Dari analisa SHD didapatkan kriteria untuk jenis struktur patahan naik dan turun [5]:

1. Patahan naik:

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{maks} > \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{min}\right| \quad (16)$$

2. Patahan turun:

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{maks} < \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{min}\right| \quad (17)$$

3. Patahan Mendatar

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{maks} = \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right)_{min}\right| \quad (18)$$

Untuk melakukan interpretasi terhadap jenis struktur geologi dan arah kemiringannya digunakan tabel analisis dari Cordell (1979) seperti yang ditampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penentuan sesar dan arah kemiringan berdasarkan *Second Horizontal Derivative* (SHD) pada data gravitasi [5]

| SHD | Tipe Sesar | Arah Kemiringan | |
|---------------------------|------------|-----------------|---------|
| | | Ke Kanan | Ke Kiri |
| $SHD_{max} > SHD_{min} $ | Naik | | |
| $SHD_{max} < SHD_{min} $ | Turun | | |

SIMPULAN

Wilayah Indonesia dengan dinamika lempeng yang tinggi. Pergerakan lempeng yang merupakan aktifitas kegempaan memicu terbentuknya sesar-sesar aktif. Analisa terhadap anomali Bouguer yang pada dasarnya telah memperhitungkan massa jenis dari batuan penyusun wilayah pengamatan mampu memvisualisasikan keberadaan sesar. Massa jenis dari suatu wilayah pengamatan dapat dilakukan dengan memperhatikan batuan penyusun daerah pengamatan pada peta geologi. Tipe sesar juga dapat diketahui melalui analisis *Second Horizontal Derivative*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*, Second Edi. Press Syndicate of the University of Cambridge, 1990.
- [2] W. Li, Y. Liu, B. Li, and F. Luo, "Hydrocarbon exploration in the South Yellow Sea based on airborne gravity, China," *J. Earth Sci.*, vol. 27, no. 4, pp. 686–698, 2016.
- [3] W. Li, Y. Liu, J. Zhou, X. Zhou, and B. Li, "Sedimentary basin analysis using airborne gravity data: a case study from the Bohai Bay Basin, China," *Int. J. Earth Sci.*, vol. 105, no. 8, pp. 2241–2252, 2016.
- [4] M. Abdel Zaher, H. Saibi, K. Mansour, A. Khalil, and M. Soliman, "Geothermal exploration using airborne gravity and magnetic data at Siwa Oasis, Western Desert, Egypt," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. October 2017, pp. 3824–3832, 2017.
- [5] N. Haeruddin, "Model Sistem Panas Bumi Rajabasa dengan Menggunakan Metode Geofisika Terpadu," Universitas Gadjah Mada, 2010.
- [6] B. Bramanto, D. Daharta, and P. Kosasih, "Analisa Data Gayabarat Airborne Gravity dan Aolikasinya (Studi Kasus: Tarakan)," *Tek. Geofis. Intitut Teknol. Bandung*, 2018.
- [7] S. Sander, M. Argyle, S. Elieff, S. Ferguson, V. Lavoie, and L. Sander, "The AIRGrav airborne gravity system," *CSEG Rec.*, no. October, pp. 32–36, 2005.
- [8] J. Neumeyer, U. Schäfer, J. Kremer, H. Pflug, and G. Xu, "Derivation of gravity anomalies from airborne gravimeter and IMU recordings-Validation with regional analytic models using ground and satellite gravity data," *J. Geodyn.*, vol. 47, no. 4, pp. 191–200, 2009.
- [9] Sunaryo, "Studi Zona Mineralisasi di Kawasan Malang Selatan Jawa Timur Menggunakan Metode Geofisika Terpadu," Universitas Gadjah Mada, 2007.