

PEMODELAN ANOMALI GRAVITASI SESAR DENGAN PENDEKATAN MODEL SHEET (MODELLING GRAVITY ANOMALIES OF FAULT BY SHEET MODEL APPROACH)

M. Irham Nurwidyanto¹ dan Ari Setiawan²

1 Jurusan Fisika Universitas Diponegoro Semarang

2 Jurusan Fisika Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Abstract

The modelling gravity anomaly of fault model with a model sheet approach with the aim to study the response of gravity anomalies of faults was done.

Modelling is done by modelling approaches bedding with a thickness t and density contrast with surrounding $\Delta\rho$. The gravity anomaly at a point are formulated and the calculation and visualization program created in matlab8RS.

From the modelling is made it can be concluded that the fault position is generally located between the gravity anomaly minimum and maximum gravity anomaly. When the types of fault are vertical normal fault then the fault position precisely located on the horizontal gradient maximum value, whereas when the fault are not vertical, the location of fault are to be near (around) the maximum horizontal gradient.

Key words: *modelling, gravity anomalies, faults, model sheets.*

Abstrak

Telah dilakukan pemodelan anomali gravitasi model sesar dengan pendekatan model sheet dengan tujuan untuk mengetahui respon anomali gravitasi dari sesar.

Pemodelan dilakukan dengan pendekatan model perlapisan dengan ketebalan t dan kontras densitas dengan sekitarnya $\Delta\rho$. Anomali gravitasi yang dihasilkan pada suatu titik dijabarkan perumusannya kemudian perhitungan dan visualisasinya dibuat program dalam matlab8RS.

Dari pemodelan yang dibuat dapat disimpulkan bahwa posisi sesar secara umum terletak antara nilai anomali gravitasi minimum dan anomali gravitasi maksimum. Bila sesarnya jenis sesar normal vertikal maka posisi sesar tepatnya berada pada nilai gradient horizontal grafitasinya maksimum, sedangkan bila sesarnya miring berada didekat (disekitar) nilai gradient horizontalnya maksimumnya.

Kata kunci : *Pemodelan, anomali gravitasi, sesar, model sheet.*

Pendahuluan

Metode gravitasi merupakan metoda dalam geofisika yang cukup simpel dan mudah pengoperasiannya dan mempunyai penetrasi cukup baik. Bila dibandingkan dengan metode GPR (*ground penetration Radar*), atau metode elektromagnetik lain dengan frekuensi tinggi dan juga metode *resistivity* karena metode gravity tidak dipengaruhi konduktivitas tinggi dipermukaan (efek *skin depth*). Prinsip dasar dari metode *gravity* adalah mengukur nilai medan gravitasi bumi

disuatu tempat di permukaan bumi dengan ketelitian dalam orde miligal atau bahkan mikrogal ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$). Adapun tujuan pengukurannya untuk memperkirakan kondisi dibawah permukaan bumi berdasarkan adanya kontras densitas batuan di bawah permukaan bumi. Medan gravitasi yang terukur dipermukaan bumi dipengaruhi oleh berbagai factor antara lain posisi lintang dan ketinggian titik pengukuran, gaya gravitasi matahari dan bulan pada saat pengukuran (dikenal dengan efek tidal), kondisi topografi daerah disekitar

pengukuran (efek medan pengukuran) dan perbedaan densitas batuan di bawah permukaan. Sebelum melakukan interpretasi data medan gravitasi yang terukur maka factor-faktor selain yang terakhir harus dikoreksi atau dihilangkan. Setelah data terkoreksi maka data siap dilakukan interpretasi.

Metode gravitasi dapat diaplikasikan dalam berbagai tujuan misalnya dalam pengelolaan lingkungan dan geoteknik dapat digunakan untuk memperkirakan kedalaman atau ketebalan lapisan tanah (lapisan penutup), dapat juga digunakan untuk monitoring kedalaman level muka air tanah, untuk mendeteksi gua bawah tanah (*cave*) dan *sinkhole* atau sesar di dekat permukaan. Dalam eksplorasi hidrokarbon biasanya digunakan sebagai survey pendahuluan untuk mencari cekungan pengendapan biasanya dipadukan dengan metode lain misalnya metode magnetik. Penerapan metode gravitasi yang relatif baru adalah metode gravity 4 dimensi (4D *gravity*), yakni mencari variasi medan gravitasi dengan melakukan pengukuran medan gravitasi secara temporal. Penerapan metode ini dapat digunakan untuk penentuan kedalaman level muka air tanah, penentuan laju amblesan tanah (*subsidence*) pemantauan pergerakan fluida dalam *steam flood injection*, pemodelan dinamika kantong magma pada gunung api dan lain-lain[1].

Sesar adalah rekahan pada batuan yang telah mengalami pergerakan dan sejajar dengan bidangnya. Pada umumnya kita tidak mungkin untuk mengetahui seberapa gerakan sebenarnya yang terjadi sepanjang sesar dan blok (bagian) mana yang bergerak dan blok mana yang diam, karena pergerakannya biasanya telah terjadi diwaktu yang lampau. Dalam klasifikasi pergeseran sesar dipergunakan istilah pergeseran relative, karena tidak tahu blok mana yang bergerak, dapat

dikatakan bahwa satu sisi sesar bergerak relatif terhadap sisi yang lainnya. Pergeseran salah satu sisinya melalui bidang sesar membuat salah satu blok relative naik, turun atau mendatar terhadap lainnya. Blok yang berada di atas bidang sesar disebut blok *hanging wall* sedangkan yang di bawah disebut blok *foot wall*]².

Pada makalah ini dibuat pemodelan kedepan untuk memodelkan kondisi sesar vertikal dan sesar miring dengan berbagai variasi sudut dengan pendekatan perlapisan model *sheet* dengan ketebalan t dan kontras densitas $\Delta\rho$. Penghitungan efek gravitasi dan visualisasinya dari model sesar tersebut dibuat dengan paket program matLab 8.

Sesar (Fault)

Sesar adalah rekahan pada batuan yang telah mengalami pergerakan dan sejajar dengan bidangnya. Secara garis besar sesar dapat diklasifikasikan berdasarkan atas dip dari bidang sesar dan arah gerak relatifnya dapat dikelompokkan menjadi **sesar normal** (*normal Fault*), **sesar naik** (*reverse fault* atau *thrust fault*) dan **sesar mendatar** (*strike slip fault*)[2]

Sesar normal disebut juga sesar turun yang disebabkan oleh stress tensional yang seolah-olah menarik/memisahkan suatu blok, seperti halnya kalau suatu blok mendapat gaya dari bawah. Sesar ini didefinisikan sebagai sesar yang *hanging wall*-nya relatif turun terhadap *foot wall*-nya, atau sebaliknya dapat dikatakan *footwall* relatif naik terhadap *hanging wall*-nya. Pada umumnya dua atau lebih sesar normal dengan jurus yang sejajar dan kemiringan yang berlawanan membentuk segmen tinggian dan amblesan. Blok yang turun disebut graben atau *rift*, jika dibatasi oleh dua sesar normal dan *half* graben bila pergeserannya hanya pada satu sesar normal. Sedangkan blok yang naik

diantara keduanya biasanya disebut *horst*.

Sesar naik berkembang karena stress kompresional. Gerak pada sesar naik terjadi jika blok hanging wall relative naik terhadap blok *foot wall*. Sesar naik terjadi karena suatu blok memendek (kena gaya tekan). Bila kemiringan bidang sesarnya kurang dari 45° dinamakan sesar anjakan (*thrust fault*). Pada umumnya sesar ini berasosiasi dengan lipatan yang kuat, akibat gaya kompresi horizontal yang sangat kuat pada suatu blok. Biasanya sesar ini berkembang dari lipatan yang kemudian tersesarkan. Sesar jenis ini banyak dijumpai pada pegunungan lipatan.

Sesar mendatar (*strike slip fault*) biasa disebut juga dengan sesar geser. Sesar ini terjadi akibat shear stress dengan arah gerak utama sesar ini adalah horizontal dan sejajar dengan bidang sesarnya. Pergerakan lateralnya ditentukan dengan melihat bidang sesarnya. Jika pengamat berdiri di depan blok sesar yang bergerak ke arah kanannya, maka sesar mendatar tersebut namanya sesar mendatar mengangan atau sesar mendatar dextral atau disebut juga dengan right lateral slip fault. Dan bila sebaliknya bila blok didepan pengamat bergerak ke kiri namanya sesar mendatar mengiri atau sesar mendatar sinistral atau left lateral slip fault. Biasanya terjadinya sesar ini berkaitan dengan aktifitas lempeng tektonik, sehingga biasanya masih aktif, contoh jenis sesar ini adalah sesar San Andreas di California, sesar Sumatra di bagian barat pulau Sumatra, sesar Palu-Karo di Sulawesi dan sesar Sorong di Irian.

Sesar ini menjadi penting karena berbagai efek yang ditimbulkan misalnya pada bidang eksplorasi hidrokarbon sesar dapat sebagai perangkap hidro carbon, bisa juga sebagai jalur migrasi hidro carbon. Pada bidang pertambangan biasanya pada

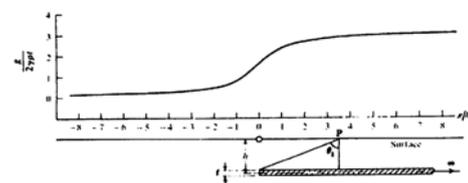
zona patahan terjadi mineralisasi sehingga tidak jarang endapan mineral dijumpai pada zona sesar. Pada bidang geothermal juga sebagai pengontrol aliran fluida panas dari reservoirnya. Pada bidang mitigasi sesar keberadaannya perlu dipetakan karena kawasan sesar tentunya zona yang rentan mengalami dislokasi lagi yang ini bila terjadi tentu terjadi gempa yang banyak menelan korban baik jiwa maupun raga dan harta[3].

Pemodelan Sesar

Model horizontal Sheet

Model horizontal sheet (gambar-3) bisa digunakan untuk pendekatan pemodelan sesar normal. Medan grafitasi *g* pada satu titik *P* yang dihasilkan oleh model sheet horizontal dengan ketebalan *t* dan kedalaman *h* dan kontras densitas dengan sekitarnya adalah ρ secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut [4,5]:

$$g(x) = 2G\rho t \left\{ \frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left(\frac{x}{h} \right) \right\} \tag{1}$$



Gambar-2, Gambar model horizontal sheet dan anomali grafitasi yang diakibatkannya [3]

Model patahan dari horizontal sheet

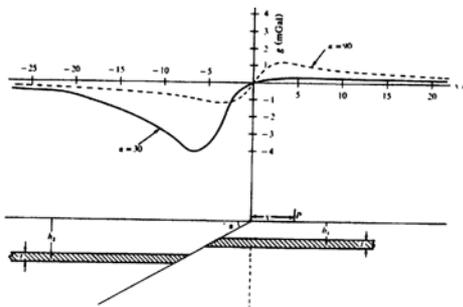
Model patahan bisa didekati dengan patahan dari horizontal sheet (gambar-5),

Medan grafitasi *g* pada satu titik *P* yang dihasilkan oleh model patahan sheet horizontal dengan ketebalan *t*, kedalaman rata-rata bagian atas adalah *h*₁, dan kedalaman rata-rata bagian bawah adalah *h*₂ dan kontras densitas dengan sekitarnya adalah ρ , secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut[3,5]:

$$g(x) = 2G\rho t \left(\pi + \tan^{-1} \left(\frac{x}{h_1} \right) + \cot(\alpha) \right) - \tan^{-1} \left(\frac{x}{h_2} \right) + \cot(\alpha) \Bigg\}$$

Bila patahan vertical ($\alpha=90^\circ$) maka persamaan tersebut bisa disederhanakan menjadi :

$$g(x) = 2G\rho t \left\{ \pi + \tan^{-1} \left(\frac{x}{h_1} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{x}{h_2} \right) \right\}$$



Gambar-3, model patahan horizontal sheet dan anomaly grafitasi yang dihasilkannya, pada harga $h_1 = 750$ m, $h_2=1250$ m dan $t = 300$ m dengan $\alpha=30^\circ$ dan 90° [4].

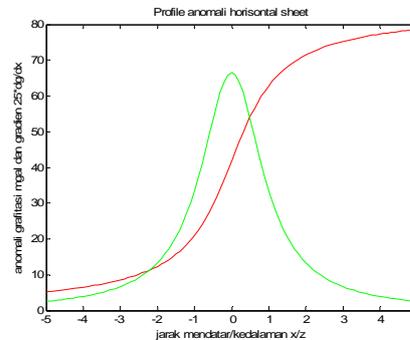
Hasil dan Diskusi

Model horizontal sheet

Pada pemodelan dengan model horizontal sheet digunakan parameter berupa kontras densitas sebesar 1 g/cc yang harganya tetap, ketebalan sheet 2000 m dan kedalamannya 1000 m dari permukaan. Untuk menghitung harga medan grafitasi yang diakibatkannya serta gradien horisontalnya berdasarkan rumus (1) dibuat program dengan MatLab 8. Profil anomaly medan grafitasi dan gradient horisontal yang dihasilkan dari pemodelan ini ditunjukkan pada gambar-4 :

Pada model ini batas sheet berada pada $x/z=0$, dengan parameter kedalaman 1 km, ketebalan 2 km dan kontras densitas pada 1 g/cc. Dari profil anomaly dapat diperkirakan lokasi ujung batas sheet berada pertengahan antara harga asimtot minimum dan asimtot maksimum, atau pada harga pertengahan antara anomaly maksimum dan anomaly minimum. Sedangkan dari profile gradient horisontal dari anomaly

grafitasi (warna hijau) terlihat dengan jelas bahwa lokasi ujung batas dari sheet berada pada nilai gradient maksimumnya.



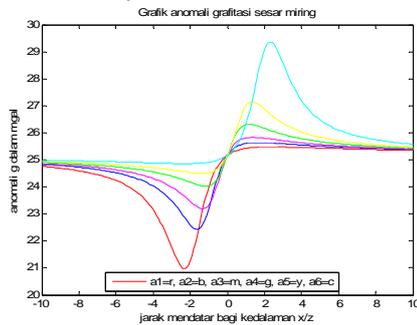
Gambar-4, Profile anomaly grafitasi (merah) dan gradient horisontal anomaly grafitasi (hijau) dari model horizontal sheet dengan parameter kedalaman 1 km, ketebalan 2 km dan kontras densitas pada 1 g/cc.

Model patahan horizontal sheet

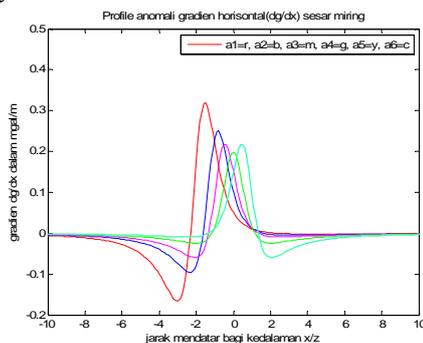
Pada pemodelan ini posisi patahan pada $x = 0$ m, dengan parameter kedalaman bagian atas (h_1) = 600 m, dan kedalaman bagian bawah $h_2 = 800$ m kontras densitas sebesar 1.2 g/cc dengan ketebalan sheet 500 m. Perhitungannya menggunakan bahasa matlab8, adapun profil anomaly grafitasi untuk sudut $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 45^\circ$, $\alpha = 60^\circ$, $\alpha=90^\circ$, $\alpha = 120^\circ$ dan $\alpha = 150^\circ$ ditunjukkan pada gambar-5 berikut, sedangkan profil gradient horisontalnya ditunjukkan pada gambar-6.

Dari gambar profile pada pemodelan horizontal sheet (gambar-5), lokasi model sesar yang sebenarnya berada pada sekitar $x = 0$ m, hal ini bersesuaian dengan nilai anomaly maksimum dan minimum, yakni kira-kira pada pertengahannya. Sedangkan dari profile gradient anomalnya (gambar-6) untuk posisi bidang sesarnya 90° , posisi sesar tepat berada pada nilai gradient maksimumnya. Untuk bidang sesar yang kurang dari 90° posisi sesarnya berada disebelah kanan nilai maksimumnya, dan untuk posisi bidang sesar lebih dari 90° sedikit

disebelah kiri nilai gradient maksimumnya.



Gambar-5, Profile anomaly gravitasi model sesar miring dengan parameter $t = 500$ m, $z_1=600$ m $z_2= 800$ m, $\Delta\rho = 1,2$ g/cc. Warna merah dengan $\alpha = 30^\circ$, warna biru $\alpha = 45^\circ$, warna magenta $\alpha = 60^\circ$, warna hijau $\alpha =90^\circ$, warna kuning $\alpha =120^\circ$ dan warna cyan $\alpha =150^\circ$.



Gambar-6, Profile gradient horizontal anomaly gravitasi model sesar miring dengan parameter $t = 500$ m, $z_1=600$ m $z_2= 800$ m, $\Delta\rho = 1,2$ g/cc. Warna merah dengan $\alpha = 30^\circ$, warna biru $\alpha = 45^\circ$, warna magenta $\alpha = 60^\circ$, warna hijau $\alpha =90^\circ$, warna kuning $\alpha =120^\circ$ dan warna cyan $\alpha =150^\circ$.

Kesimpulan

Setelah melakukan pemodelan ini dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Letak posisi sesar secara umum berada diantara nilai gravitasi minimum dan maksimum pada pertengahannya.
2. Bila bidang sesarnya vertical posisi sesar tepat berada pada posisi gradient horisontalnya maksimum.

3. Bila bidang sesar kurang dari 90° , posisi sesar berada disebelah kanan nilai gradient maksimumnya.
4. Bila bidang sesar lebih dari 90° , posisi sesar berada disebelah kiri nilai gradient maksimumnya.

Saran

Setelah melakukan pemodelan ini untuk meningkatkan hasil yang diperoleh disarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Dilakukan pemodelan dilakukan untuk berbagai bentuk sederhana sehingga bisa dengan lebih baik menentukan letak suatu anomaly.
2. Dilakukan pemodelan dengan bahasa pemograman lain yang bisa dibuat dalam bentuk type file exe biar lebih mudah digunakan.

Daftar Pustaka

- [1] Reynolds, J,M, 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons Ltd, England.
- [2] Sapiie, B., Magetsari, N.A., Harsolumakso, A.H., Abdullah, C.I.,2006, *Geologi Fisik*, penerbit ITB Bandung.
- [3] Taushmalani, R, 2010, *Application of gravity method in fault path detection*, Australian Journal of Basic and applied sciences, 4(12), 6450-6460, ISSN 1991-8178.
- [4] Nettleton,L.L., 1976, *Gravity and Magnetics in Oil Prospecting*, McGraw-Hill, New York.
- [5] Telford, W.M., Geldart, R.E., Sheriff, D.A., and Keys, 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.

