

BAB III
INTERPRETASI ANOMALI GRAVITASI
MODEL PATAHAN NORMAL

3.1. Dasar Teori Interpretasi

Interpretasi adalah proses untuk mengestimasi posisi, besar (volume), bentuk, kedalaman, perbedaan rapat massa sumber anomali (*Budi Eka Nurcahya, 1992*). Tujuan interpretasi adalah perkiraan struktur geologi di bawah permukaan berdasarkan informasi anomali residu. Interpretasi gravitasi dapat dibagi dalam dua metode, yaitu metode langsung dan metode tak langsung (*Philip Kearey dan Michael Brooks, 1988*).

3.1.1. Interpretasi Metoda Langsung

Dalam metode ini, informasi benda anomali secara langsung diberikan oleh anomali percepatan gravitasi yang mana tidak tergantung dari bentuk benda anomali sumber. Yang dihitung adalah "variabel-variabel kunci" langsung dari peta anomali percepatan gravitasi, yaitu besar, ketajaman kontur, resolusi, pemanjangan kurva bentuk, penentuan kedalaman, bentuk dan penentuan massa total.

3.1.2. Interpretasi Metoda Tak Langsung

Dalam metode tak langsung benda penyebab anomali gravitasi disimulasikan oleh model yang secara teoritis efek gravitasinya bisa dihitung dan geometri bentuk model diubah sampai anomali terhitung cocok (*match*) dengan anomali pengamatan. Menurut *Philip Kearey* dan *Michael Brooks 1988*, permodelan ini harus melalui empat tahap, yaitu

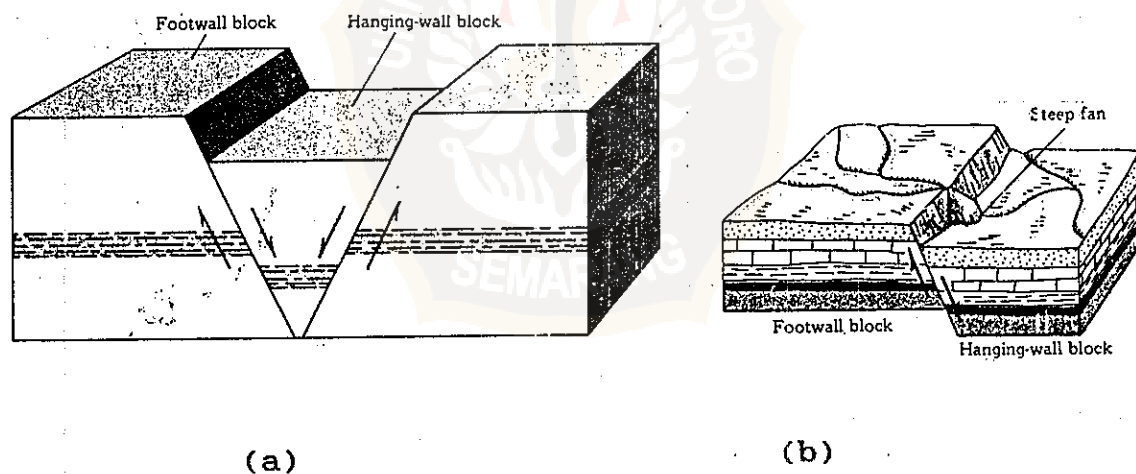
1. Menentukan bentuk model geometris sebagai pendekatan dari struktur geologi benda anomali.
2. Menghitung efek gravitasi model.
3. Membandingkan efek gravitasi model dengan anomali percepatan gravitasi pengamatan.
4. Merubah parameter-parameter model sehingga *match* dengan anomali percepatan gravitasi pengamatan.

Proses diulangi lagi dari langkah 2 sehingga didapatkan model yang terbaik (*the best fit model*).

Dalam tugas akhir ini struktur geologi yang dipilih adalah struktur patahan normal yang didekati dengan model geometris dua lapisan horizontal *semi infinite* yang satu ujungnya bergerak vertikal. Perumusan efek gravitasinya menghasilkan hubungan yang non linier dengan parameter-parameternya (lihat bentuk persamaan (3.7) dan (3.8)).

3.2. Struktur Geologi Patahan Normal

Menurut *Marvin E. Kauffman dan L. Don Leet 1987* lapisan batu bisa mengalami peretakan, dengan atau tanpa pergerakan sepanjang retakan tersebut. Kalau tidak ada kemungkinan terjadinya pergerakan (*slip*) sepanjang retakan tersebut disebut kekar (*joint*). Kalau terjadi pergerakan sepanjang peretakan tersebut disebut patahan (*fault*). Klasifikasi patahan didasarkan pada pergerakan relatif antara satu bagian lempeng batuan dengan bagian lempeng batuan lainnya yang terpotong pada daerah retakan tersebut (*Marvin E. Kauffman dan L. Don Leet, 1987*).



Gambar 3.1. Bentuk geologi patahan normal

Patahan normal/ turun adalah gejala patahan dimana *hanging-wall* bergerak relatif turun terhadap *foot-wall*. Disebut juga sebagai *gravity faults* karena gaya geologi,

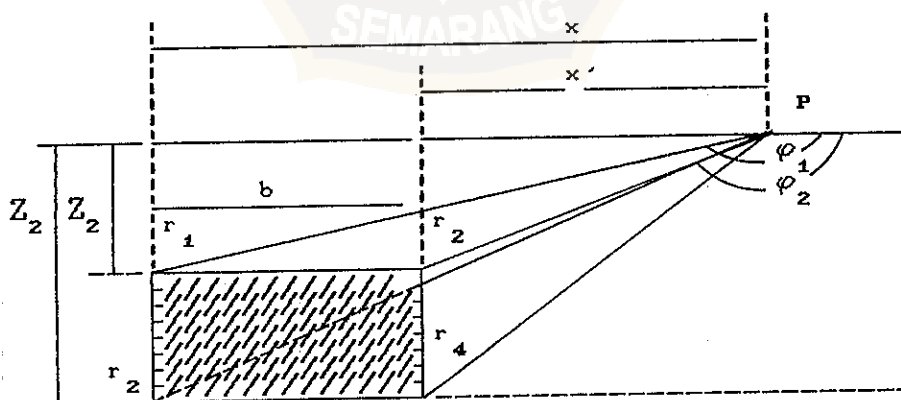
yaitu gaya luar seperti pergerakan bumi yang menyebabkan perubahan struktur geologi, yang menyebabkan turunnya *hanging-wall* dianggap gaya gravitasi. Struktur patahan normal diperlihatkan pada gambar 3.1.

3.3. Efek Gravitasi Struktur Patahan

Untuk mendapatkan efek gravitasi struktur patahan normal yang salah satu tepinya membentuk sudut dengan garis horizontal bawah patahan (terinklinasi) berturut-turut diturunkan dari model geometris prisma segiempat, patahan vertikal dan prisma segitiga.

3.3.1. Prisma segiempat

Model geometris dari prisma segiempat dapat ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Model geometris prisma segiempat
(Heiland, 1963)

Hubungan-hubungan geometris menurut *C.A. Heiland* (1963)

adalah sebagai berikut

$$x - x' = b$$

$$Z_1^2 + x^2 = r_1^2$$

$$Z_2^2 + x^2 = r_2^2$$

$$Z_2^2 + (x-b)^2 = r_3^2$$

$$Z_2^2 + (x-b)^2 = r_4^2$$

$$x = Z_1 \tan \varphi_1$$

$$x = Z_2 \tan \varphi_2$$

$$x - b = Z_1 \tan \varphi_3$$

$$x - b = Z_2 \tan \varphi_4$$

Efek gravitasinya dalam dua dimensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.9).

$$g = - 2G\rho \int_x \int_z \frac{z}{r^2} dx dz$$

$$g = - 2G\rho \int_{x=0}^b \int_{z=Z_1}^{Z_2} \frac{z}{Z_1^2 + (x - x')^2} dx dz \quad (3.1)$$

$$g = - 2G\rho \int_{x=0}^b \ln \left\{ \frac{Z_2^2 + (x - x')^2}{Z_1^2 + (x - x')^2} \right\}^{1/2} dx$$

$$g = - 2G\rho \left[x \ln \left\{ \frac{Z_2^2 + x^2}{Z_1^2 + x^2} \right\}^{1/2} \right. \\ \left. - (x - b) \ln \left\{ \frac{Z_2^2 + (x - b)^2}{Z_1^2 + (x - b)^2} \right\}^{1/2} \right]$$

$$\begin{aligned}
& + Z_2 \left\{ \arctan \frac{x}{Z_2} - \arctan \frac{x-b}{Z_2} \right\} \\
& - Z_1 \left\{ \arctan \frac{x}{Z_2} - \arctan \frac{x-b}{Z_2} \right\} \quad (3.2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g = -2G\rho \left\{ x \ln \frac{r_3 r_2}{r_1 r_4} + b \ln \frac{r_4}{r_3} + Z_2 (\varphi_2 - \varphi_4) \right. \\
\left. - Z_1 (\varphi_1 - \varphi_2) \right\} \quad (3.3)
\end{aligned}$$

3.3.2. Patahan Vertikal

Model geometris dari patahan vertikal ditunjukkan pada gambar 3.3.

Efek gravitasi patahan vertikal diperoleh dari persamaan (3.3) dengan menganggap $r_3 = r_4$, $Z_2 \varphi_4 = Z_1 \varphi_3$.

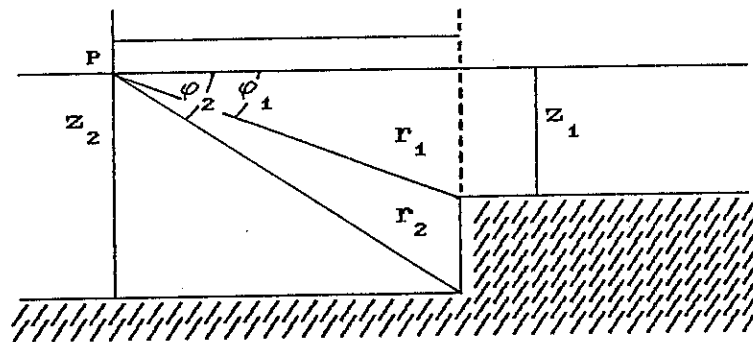
$$g = -2G\rho \left(x \ln \frac{r_2}{r_1} + Z_2 \varphi_2 - Z_1 \varphi_1 \right) \quad (3.4)$$

Apabila $x = 0$ dan $\varphi_2 = \varphi_1 = \pi/2$, maka

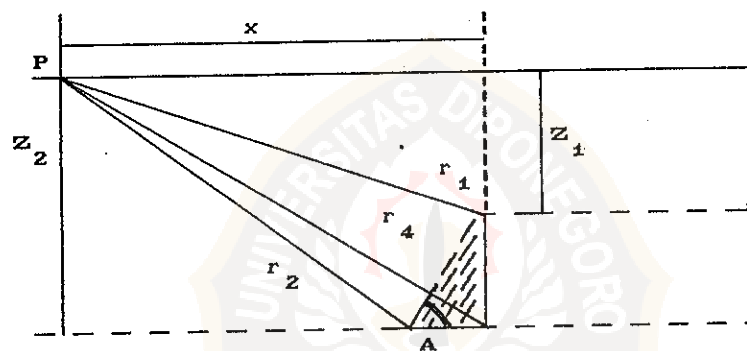
$$g = -\pi G\rho (Z_2 - Z_1) \quad (3.5)$$

3.3.3. Prisma Segitiga

Model geometris dari prisma segitiga ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.3. Bentuk geometris patahan vertikal
(Heiland, 1963)



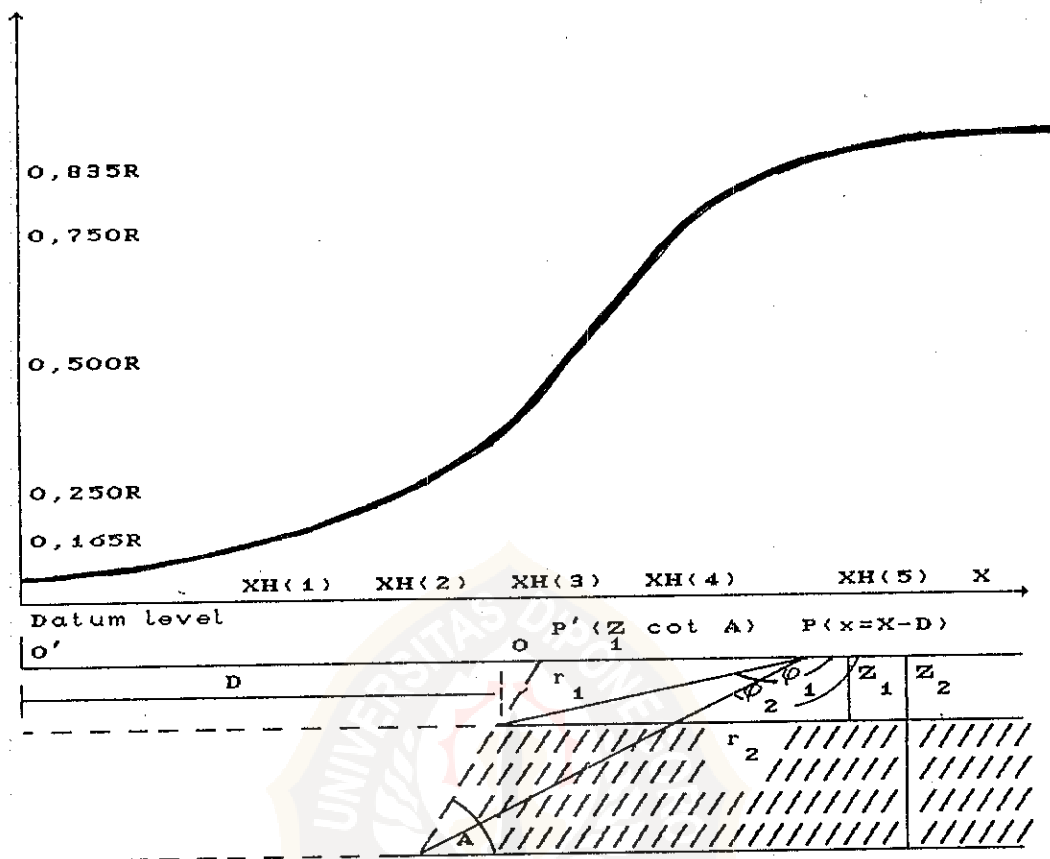
Gambar 3.4. Bentuk geometris prisma segitiga
(Heiland, 1963)

$$\begin{aligned}
 g = - 2G\phi & [- \{x \sin A + z_1 \cos A\} \{ \sin A \ln (r_2/r_1) \\
 & + \cos A (\varphi_2 - \varphi_1) \} - x \ln (r_4/r_1) \\
 & + z_2 (\varphi_2 - \varphi_4)] \quad (3.6)
 \end{aligned}$$

3.3.4. Patahan Normal

Model geometris dari patahan normal ditunjukkan

pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Bentuk geometris dari patahan normal

(I.V. Radhakrishna Murthy dan

S.K.G. Krishnamacharyulu, 1990)

Dengan hubungan-hubungan geometrisnya

$$r_1^2 = x^2 + Z_1^2$$

$$r_2^2 = \{x + (Z_2 - Z_1) \cot A\}^2 + Z_2^2$$

$$\varphi_1 = \Pi/2 + \arctan (x/Z_1), \text{ untuk } Z_1 \neq 0$$

$$= \Pi/2 (1 + x / |x|), \text{ untuk } Z_1 = 0$$

$$\varphi_2 = \Pi/2 + \arctan [(x + (Z_2 - Z_1) \cot A)/Z_2]$$

Efek gravitasi patahan normal didapatkan dengan menambahkan persamaan (3.6) terhadap persamaan (3.4)

$$g = -2G\rho [-\{x \sin A + Z_1 \cos A\} \{ \sin A \ln (r_2/r_1) + \cos A (\varphi_2 - \varphi_1) \} + Z_2\varphi_2 - Z_1\varphi_1] \quad (3.7)$$

untuk $x \neq Z_1 \cot A$

Apabila $x = Z_1 \cot A$ dan $\varphi_2 = \varphi_1 = \Pi - A$ maka

$$g = -2G\rho (\Pi - A)(Z_2 - Z_1) \quad (3.8)$$

3.4. Metoda Otomatis Penentuan Nilai Awal Parameter Model (I.V. Radhakrishna Murthy dan S.K.G. Krishnamacharyulu)

Dari gambar 3.5 anomali gravitasi pada titik P(X) dapat ditulis dengan menggantikan x pada persamaan (3.7) dan persamaan (3.8) oleh X-D, dengan X adalah jarak anomali yang diukur dari titik acuan yang sesuai pada profile dan D jarak titik acuan dengan tepi patahan, sehingga

$$g = -2G\rho [\{(X - D) \sin A + Z_1 \cos A\} \{ \sin A \ln (r_2/r_1) + \cos A (\varphi_2 - \varphi_1) \} + Z_2\varphi_2 - Z_1\varphi_1] \quad (3.9)$$

Proses inversi memperkirakan nilai-nilai terbaik dari ke-enam parameter dengan melakukan proses iteratif dari nilai-nilai awal parameter-parameter tersebut.

Berdasarkan *I.V. Radhakrishna Murthy* dan *S.K.G. Krishnamacharyulu* pada profile anomali gravitasi model patahan (gambar 3.5) jarak antara XH(1) dan XH(5) yang bersesuaian dengan 0,165 kali dan 0,835 kali anomali gravitasi maksimum, adalah kira-kira sama dengan dua kali ketebalan $T (= Z_2 - Z_1)$ patahan. Untuk patahan tipis jarak antara XH(2) dan XH(4) yang bersesuaian dengan 0,250 kali dan 0,750 kali anomali gravitasi maksimum adalah dua kali kedalaman $Z (= (Z_2 + Z_1)/2)$ pusat patahan, sedangkan XH(3) berhubungan dengan 0,500 anomali gravitasi maksimum. Untuk kasus khusus patahan vertikal (gambar 3.3), pasangan XH(1) dan XH(5), XH(2) dan XH(4) ditempatkan secara simetris di sekitar XH(3).

Untuk mendapatkan nilai-nilai awal Z_1 , Z_2 , A , ρ , dan DATUM, pada proses inversi ditempatkan lima titik XH(k), $k = 1, 5$ dan menggunakan dua pasang titik XH(1), XH(5) serta XH(2), XH(4) dan simetrinya ASYM di sekitar XH(3).

$$T = [XH(5) - XH(1)]/2$$

$$Z = [XH(4) - XH(2)]/2$$

$$Z_1 = Z - T/2 \quad (3.10)$$

$$Z_2 = Z + T/2 \quad (3.11)$$

$$ASYM = XH(5) + XH(2) - 2XH(3) \quad (3.12)$$

$$D = XH(3) - ASYM \quad (3.13)$$

$$A = \pi/2 (1 + 1,33 ASYM/T) \quad (3.14)$$

Persamaan (3.12), (3.13) dan (3.14) didasarkan pada studi

empirik. Nilai-nilai Z_1 , Z_2 , A dan D digunakan pada persamaan (3.9) dengan nilai $\rho = 1$ untuk menghitung $g'(X = x + D)$. Nilai ini dihubungkan dengan anomali pengamatan $g_{obs}(X)$ untuk mendapatkan ρ dan DATUM dari persamaan

$$\begin{aligned} g_{obs}(X) &= \rho g'(X) + \text{DATUM} \\ &= -2G\rho [-\{(X - D) \sin A + Z_1 \cos A\} \\ &\quad \{\sin A \ln (r_2/r_1) + \cos (\varphi_2 - \varphi_1)\} \\ &\quad + Z_2\varphi_2 - Z_1\varphi_1] + \text{DATUM} \quad (3.15) \end{aligned}$$

Selanjutnya nilai DATUM untuk nilai awal disamakan dengan $g_{obs}(1)$ untuk menempatkan lima titik.

Sedangkan turunan-turunan parsial dari persamaan (3.9) terhadap parameter-parameternya adalah sebagai berikut.

$$\frac{\partial g(X)}{\partial D} = 2G\rho \{\sin A \ln (r_2/r_1) + \cos A (\varphi_2 - \varphi_1)\} \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial g(X)}{\partial Z_1} = -2G\rho\varphi_1 \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial g(X)}{\partial Z_2} = 2G\rho\varphi_2 \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial g(X)}{\partial A} &= 2G\rho [\{(X - D) \sin A - Z_1 \cos A\}\{\cos A \ln (r_2/r_1) \\ &\quad - \sin A (\varphi_2 - \varphi_1)\} + \{(X - D) \cos A \\ &\quad + Z_1 \sin A\}\{\sin A \ln (r_2/r_1) \\ &\quad + \cos A (\varphi_2 - \varphi_1)\} - Z_2 + Z_1] \quad (3.19) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial g(X)}{\partial \rho} = 2G [\{(X - D) \sin A - Z_1 \cos A\}\{\sin A \ln (r_2/r_1)$$

$$+ \cos A (\varphi_2' - \varphi_1) \} + Z_2 \varphi_2 - Z_1 \varphi_1] \quad (3.20)$$

dengan r_1 , r_2 , φ_1 dan φ_2 seperti yang didefinisikan dalam persamaan (3.7) dan (3.8) ■

