

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Teori Potensial Magnetostatik

2.1.1. Medan Dipole

Besarnya vektor medan magnet dapat diturunkan dari fungsi potensial skalar yang dirumuskan (Telford, 1976):

$$\vec{H}(r) = -\nabla A(r) \quad (2-1)$$

Potensial skalar dapat didefinisikan sebagai usaha memindahkan satu satuan kutub magnet, hubungannya (Telford, 1976) :

$$A(r) = - \int_{\infty}^r \vec{H}(r') dr' = \frac{m}{\mu r} \quad (2-2)$$

Karena kutub magnetik tunggal ini sebenarnya tidak ada, maka konsep potensial di atas harus dikembalikan pada potensial sebagai dipole magnet. Dengan menganggap medium sekitar $\mu = 1$, maka:

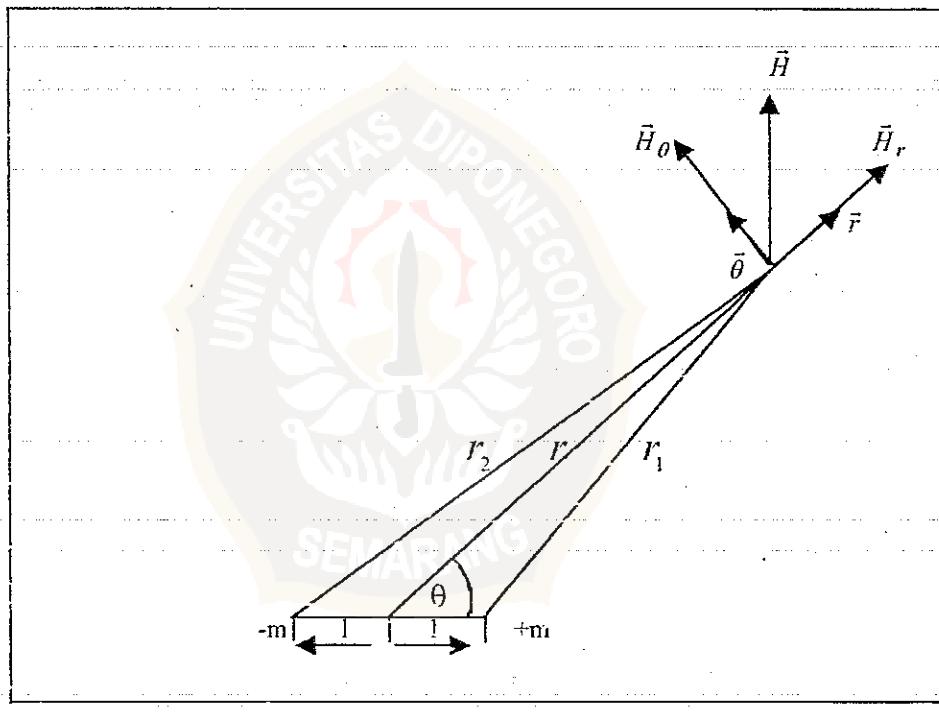
$$\begin{aligned} A &= \frac{m}{r_1} - \frac{m}{r_2} \\ &= m \left[\frac{1}{\sqrt{(r^2 + 1^2 - 2rl \cos\theta)}} - \frac{1}{\sqrt{(r^2 + 1^2 + 2rl \cos\theta)}} \right] \\ &= \frac{M \cos\theta}{r^2} \quad (\text{dengan asumsi } r \gg 1) \end{aligned} \quad (2-3)$$

Berdasarkan persamaan (2-1) di atas, maka dapat diturunkan vektor medan magnetik yang mempunyai komponen radial sepanjang r dan komponen angular normal

terhadap r sebesar θ . Dan jika $r \gg 1$, persamaan vektor medan magnetik dapat kita tuliskan sebagai:

$$\vec{H} = \vec{H}_r + \vec{H}_\theta \\ = \left[\frac{2M \cos \theta}{r^3} \right] \vec{r}_1 + \left[\frac{M \sin \theta}{r^3} \right] \vec{\theta}_1 \quad (2-4)$$

dimana \vec{r}_1 dan $\vec{\theta}_1$ adalah vektor-vektor satuan yang masing-masing mempunyai arah r dan θ . Secara lebih jelas dapat dilihat pada gambar (2.1).



Gambar 2.1. Medan dipole magnetik (Telford, 1976)

2.1.2. Medan Anomali

Suatu benda magnetik berada dalam medan magnet, maka akan timbul medan magnet baru dalam benda yang menghasilkan anomali medan magnet. Sehingga dengan adanya batuan yang mengandung mineral magnet, maka medan magnet

normal bumi akan mengalami gangguan yang disebabkan oleh anomali sebagai hasil dari magnetisasi batuan.

Suatu volume batuan yang terdiri dari bahan-bahan magnetik dapat dipandang sebagai dipole magnetik. Magnetisasi yang terdapat di dalam batuan itu tergantung dari induksi yang diterimanya.

Potensial yang terkandung pada suatu titik di dalam batuan pada gambar 2.2 dapat dituliskan (Telford, 1976):

$$A = \frac{M \cos \theta}{r^2} = -M \cdot \nabla \left[\frac{1}{r} \right] \quad (2-5)$$

dengan M adalah momen dipole per satuan volume. Selanjutnya potensial seluruh batuan dapat dituliskan:

$$A(r_0) = - \int_v M(r) \cdot \nabla \left[\frac{1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] dV \quad (2-6)$$

Apabila M konstan dan mempunyai arah $\alpha = li + mj + nk$, maka:

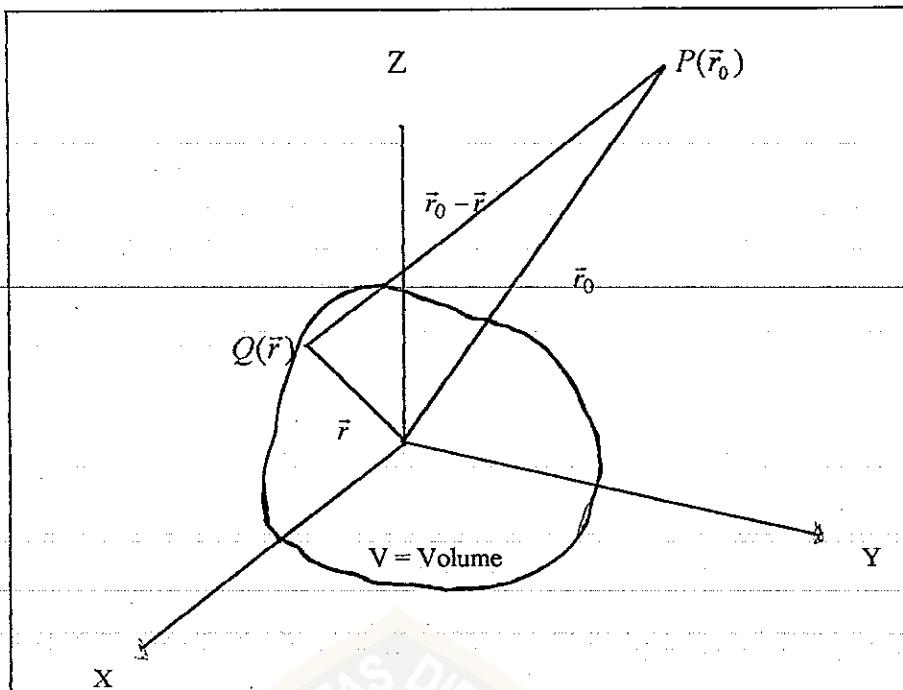
$$M \cdot \nabla = M \frac{\partial}{\partial \alpha} = M \left[l \frac{\partial}{\partial x} + m \frac{\partial}{\partial y} + n \frac{\partial}{\partial z} \right] \quad (2-7)$$

sehingga potensial seluruh batuan dapat dituliskan:

$$A(r_0) = -M \frac{\partial}{\partial \alpha} \int_v \frac{dV}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \quad (2-8)$$

Medan magnetik resultan dari batuan ini dapat ditentukan dengan mensubstitusikan persamaan (2-1) dan (2-6) menjadi:

$$H(r) = \nabla \int_v M(r) \cdot \nabla \left[\frac{1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] dV \quad (2-9)$$



Gambar 2.2. Gambaran umum medan anomali magnetik
(Telford, 1976)

Medan magnetik pada persamaan (2-9) berada bersama-sama medan magnetik utama bumi \vec{H}_0 di suatu lokasi, sehingga medan magnetik total yang terukur di permukaan adalah (Telford, 1976):

$$\vec{H}_t = \vec{H}_0 + \vec{H}(r_0) \quad (2-10)$$

dimana arah \vec{H}_0 dan $\vec{H}(r_0)$ tidak perlu harus sama.

2.2. Teori Kemagnetan Bumi.

2.2.1. Medan Magnetik Bumi

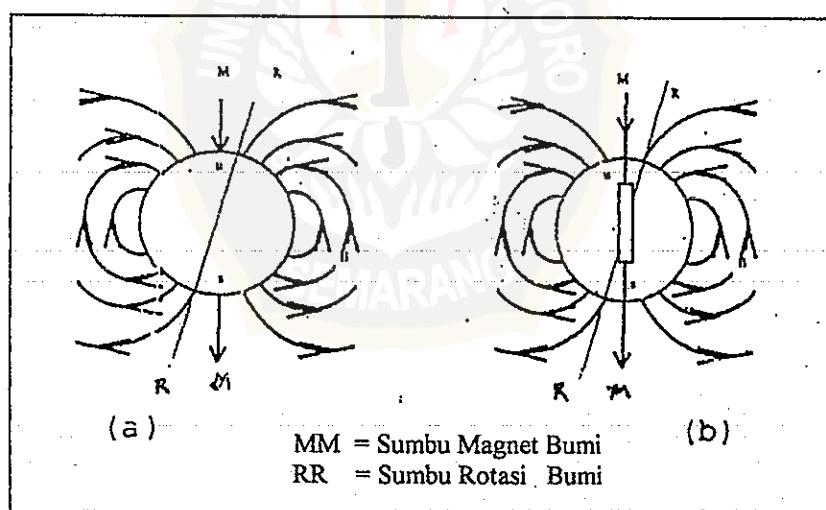
Penelitian mengenai sumber medan magnet utama bumi yaitu sumber dari luar dan dari dalam bumi dilakukan oleh Gauss pada tahun 1838 yang menyimpulkan bahwa medan magnet utama bumi yang terukur di permukaan bumi hampir

seluruhnya disebabkan oleh sumber dari dalam bumi. Sedangkan sumber dari luar bumi pengaruhnya sangat kecil (Blakely, 1995).

Beberapa teori klasik menyatakan bahwa medan magnet bumi timbul sebagai akibat adanya aliran listrik pada kerak bumi. Dalam perputaran bumi secara keseluruhan dapat dimisalkan sebagai layaknya sebuah dinamo raksasa. Suatu medan magnet timbul sebagai hasil kombinasi gerak dan aliran listrik.

Di dalam inti bumi ada suatu aksi dinamo oleh dirinya sendiri yang lebih dikenal dengan *self exciting dynamo actions* yang mana teori ini dikemukakan oleh Elsasser, 1950 (Clark, 1971 dalam Priyono 2000).

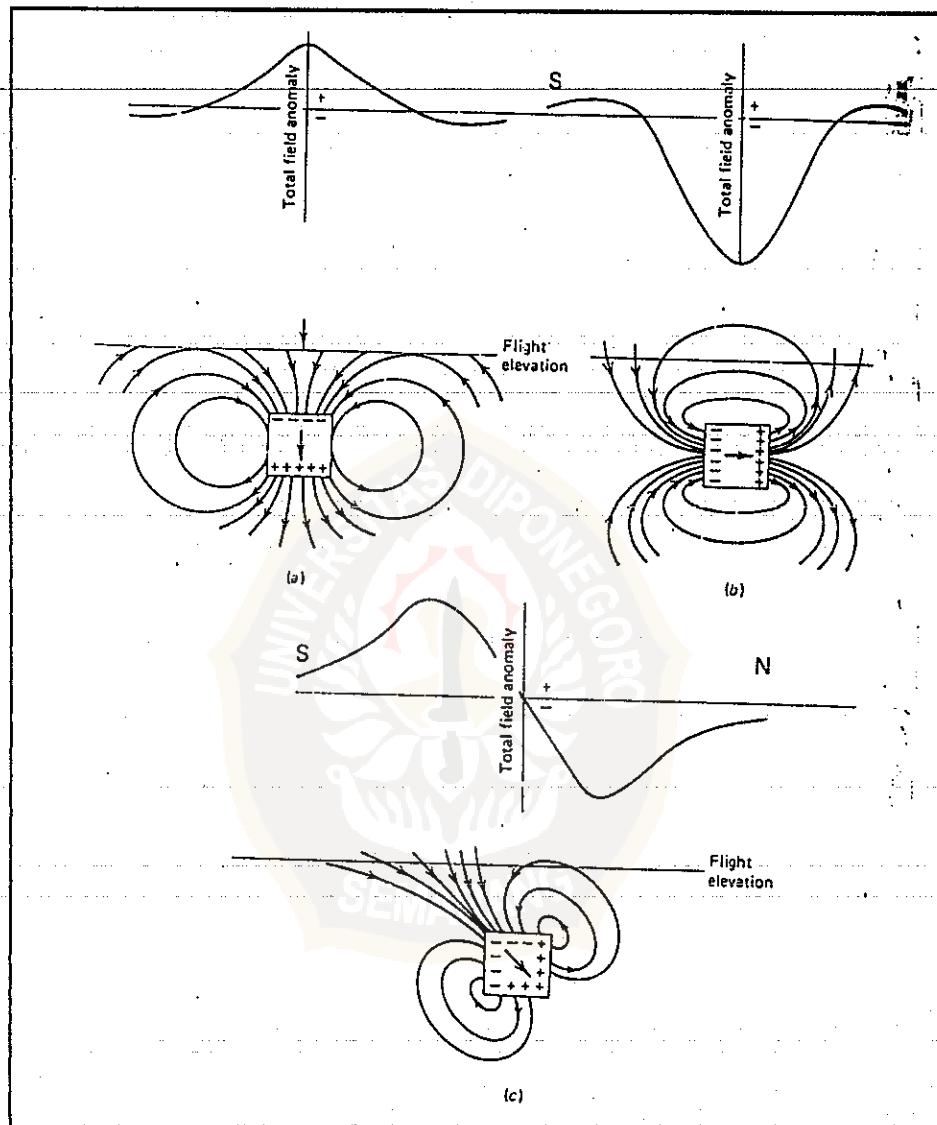
Medan magnet bumi dapat dimisalkan sebagai medan magnet batang yang besar dengan pusat medannya berada jauh di bawah permukaan bumi.



Gambar 2.3. Medan magnet Bumi
(Clark, 1971 dalam Priyono 2000)

Sifat anomali medan magnet bumi di beberapa daerah akan berbeda. Pada daerah kutub (gambar 2.4a), kumpulan garis gaya magnet yang berasosiasi dengan magnetisasi induksi adalah simetri terhadap tubuh vertikal melalui pusat tubuh. Garis

gaya magnet yang searah dengan arah medan magnet bumi akan memperkuat medan magnet bumi dan memberikan anomali positif. Sebaliknya garis gaya magnet yang berlawanan arah dengan medan magnet bumi akan memberikan anomali negatif.



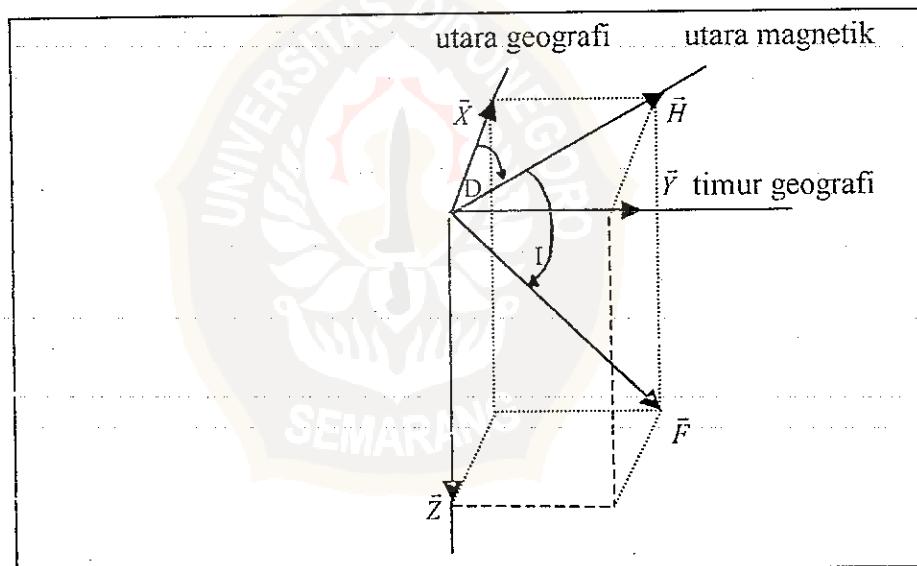
Gambar 2.4. Anomali magnetik di beberapa daerah (a). anomali magnetik di daerah kutub. (b) anomali magnetik di daerah ekuator.
(c) anomali magnetik di daerah lintang 45° (Dobrin, 1988).

Pada daerah ekuator dimana medan magnet bumi horisontal seperti pada gambar 4.2b, garis gaya magnet dari tubuh yang termagnetisasi adalah simetri pada

arah horizontal dimana arah garis gaya magnet yang melawan arah medan magnet bumi di atas pusat tubuh akan menyebabkan anomali negatif. Sedangkan pada medan magnet yang mempunyai inklinasi 45° kutub-kutub akan didistribusikan secara simetri yang berhubungan dengan arah medan magnet bumi. Garis gaya magnet simetri di sekitar arah diagonal penampang (lihat gambar 4.2c).

2.2.2. Komponen Medan Magnetik Bumi

Medan magnet bumi merupakan besaran vektor yang mempunyai tiga buah komponen yaitu satu komponen medan magnetik vertikal \vec{Z} dan dua komponen medan magnetik horisontal \vec{H} yaitu \vec{X} dan \vec{Y} .



Gambar 2.5 Komponen medan magnetik utama bumi
(Telford, 1976)

Sudut yang dibentuk antara komponen vektor \vec{H} dengan vektor \vec{F} disebut inklinasi, I . Sedangkan sudut yang dibentuk antara vektor \vec{H} terhadap arah utara geografi bumi disebut deklinasi, D . Semua parameter \vec{X} , \vec{Y} , \vec{Z} , D , I , \vec{H} dan \vec{F} dikenal sebagai elemen-elemen geomagnetik

Dari parameter-parameter di atas diperoleh hubungan:

$$\vec{F} = \vec{H} + \vec{Z} = \vec{X} + \vec{Y} + \vec{Z} \quad (2-11)$$

$$|\vec{F}| = \sqrt{\vec{H}^2 + \vec{Z}^2} = \sqrt{\vec{X}^2 + \vec{Y}^2 + \vec{Z}^2}$$

dimana: $\vec{H} = \vec{F} \cos I$

$$\vec{Y} = \vec{H} \sin D$$

$$\tan I = \vec{Z}/\vec{H}$$

$$\vec{X} = \vec{H} \cos D$$

$$\vec{Z} = \vec{F} \sin I$$

$$\tan D = \vec{Y}/\vec{X}$$

2.3. Persamaan Anomali Magnetik Berbentuk Prisma

Persamaan anomali medan magnetik total (gambar 2.6) pada setiap titik $P(x,y,0)$ hasil dari prisma tegak yang sisinya paralel terhadap sumbu koordinat, menurut Bhaskara & Ramesh (1991) yang disebut dengan persamaan eksak :

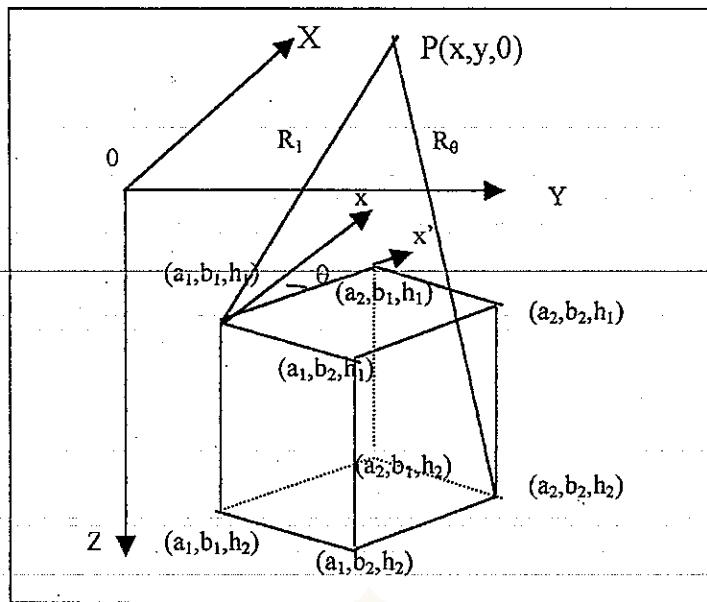
$$\Delta H(x,y,0) = G_1 F_1 + G_2 F_2 + G_3 F_3 + G_4 F_4 + G_5 F_5 \quad (2-12)$$

$$G_1 = EI(Mr + Nq), \quad G_2 = EI(Lr + Np),$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp), \quad G_4 = EI(Nr - Mq),$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp)$$

dimana EI adalah Intensitas magnetisasi, L, M, N adalah arah cosinus vektor magnetisasi dan p, q, r adalah arah cosinus medan geomagnetik.



Gambar 2.6. Prisma Tiga Dimensi
(Bhaskara & Ramesh, 1991)

$$F_1 = \ln \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2)(R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2)(R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)},$$

$$F_2 = \ln \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_1)(R_5 + \beta_2)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_1)(R_6 + \beta_2)(R_7 + \beta_2)},$$

$$F_3 = \ln \frac{(R_2 + h_2)(R_3 + h_1)(R_5 + h_1)(R_8 + h_2)}{(R_1 + h_1)(R_4 + h_2)(R_6 + h_2)(R_7 + h_1)},$$

$$\begin{aligned} F_4 = & \arctan \frac{\alpha_2 h_2}{R_8 \beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1 h_2}{R_6 \beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2 h_2}{R_4 \beta_1} \\ & + \arctan \frac{\alpha_1 h_2}{R_2 \beta_1} - \arctan \frac{\alpha_2 h_1}{R_7 \beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1 h_1}{R_5 \beta_2} \\ & + \arctan \frac{\alpha_2 h_1}{R_3 \beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1 h_1}{R_1 \beta_1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_5 = & \arctan \frac{\beta_2 h_2}{R_8 \alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2 h_2}{R_6 \alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1 h_2}{R_4 \alpha_2} \\ & + \arctan \frac{\beta_1 h_2}{R_2 \alpha_1} - \arctan \frac{\beta_2 h_1}{R_7 \alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2 h_1}{R_5 \alpha_1} \\ & + \arctan \frac{\beta_1 h_1}{R_3 \alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1 h_1}{R_1 \alpha_1} \end{aligned}$$

dimana

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_1^2}, \quad R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_2^2},$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + h_1^2}, \quad R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + h_2^2},$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + h_1^2}, \quad R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + h_2^2},$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_1^2}, \quad R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_2^2}$$

dan

$$\alpha_1 = a_1 - x, \quad \alpha_2 = a_2 - x, \quad \beta_1 = b_1 - y, \quad \beta_2 = b_2 - y$$

Jarak horisontal dari pusat ke muka prisma yang paralel terhadap sumbu x dan y disajikan dengan (a_1, a_2) dan (b_1, b_2) , kedalaman dari atas kebawah dari prisma adalah h_1, h_2 .

Jika sisi horisontal prisma tidak sejajar dengan sumbu koordinat, tetapi berotasi dengan sudut θ terhadap utara geografi maka sistim koordinat baru (x', y') sejajar terhadap sisi horisontal prisma. Titik O pada bidang pengamatan tetap merupakan sistim koordinat baru (x', y') . Maka koordinat (x, y) pada persamaan (2-12) digantikan dengan koordinat baru (x', y') dengan $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$ dan $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$, jika I dan D adalah inklinasi dan deklinasi medan geomagnet, maka arah kosinus vektor medan geomagnetik adalah :

$$p = \cos I \cos (D - \theta)$$

$$q = \cos I \sin (D - \theta)$$

$$\text{Dan} \quad r = \sin I.$$

Jika I_o dan D_o adalah inklinasi dan deklinasi dari vektor magnetisasi, maka arah kosinus magnetisasinya adalah :

$$L = \cos I_o \cos (D_o - \theta)$$

$$M = \cos I_o \sin (D_o - \theta)$$

Dan $N = \sin I_o$

Jika anomali pengamatan disebabkan oleh sebanyak N_b prisma, maka persamaan anomali magnetik pada titik medan $(x, y, 0)$ dituliskan dengan :

$$\Delta H(x, y, 0) = \sum_{k=1}^{Nb} \Delta H_k(x, y, 0) + C \quad (2-13)$$

dimana C adalah konstanta medan regional.

Seringnya penggunaan persamaan (2-12) dalam penghitungan anomali magnetik dan turunan parsial disetiap titik, dibutuhkan persamaan aproksimasi untuk mempercepat penghitungan dan pemrograman yang praktis maka prisma disederhanakan (Bhaskara & Ramesh 1991).

$$\begin{aligned} \Delta H(x, y, 0) = A & \left[(G_1\beta + G_2\alpha) \left(\frac{1}{R_1^3} - \frac{1}{R_2^3} \right) \right. \\ & + G_3C_1 \frac{\alpha\beta}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_4(C_1\beta^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} \\ & \left. - \frac{G_5(C_1\alpha^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} \right] \end{aligned} \quad (2-14)$$

dimana

$$A = (a_2 - a_1)(b_2 - b_1)$$

$$\alpha = \frac{a_1 + a_2}{2} - x', \quad \beta = \frac{b_1 + b_2}{2} - y',$$

$$R_1 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + h_1^2}, \quad R_2 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + h_2^2}$$

$$C_1 = \left[\frac{h_2}{R_2^3} - \frac{h_1}{R_1^3} - \frac{2C_2}{(\alpha^2 + \beta^2)} \right] \text{ dan}$$

$$C_2 = \left[\frac{h_1}{R_1} - \frac{h_2}{R_2} \right]$$

Persamaan ini valid disemua titik, kecuali pada selang yang didefinisikan dengan :

$$(a_2 + 2) > x' > (a_1 - 2) \quad \text{dan} \quad (b_2 + 2) > y' > (a_1 - 2) \quad (2-15)$$

2.4. Inversi

Metode inversi adalah sebuah model dipermukaan yang diasumsikan dengan kata lain respon geofisika secara teoritis dihitung dan dibandingkan dengan respon pengamatan. Proses ini diulang untuk model yang bervariasi sampai ada perbedaan minimum antara hasil perhitungan dengan pengamatan (Dimri, 1992 dalam Yulianto, 2000).

Ciri magnetisasi benda prisma mempunyai 12 parameter yang merupakan bagian suatu daerah (*region*) tertentu. Enam parameter adalah koordinat geometri posisi horizontal dan vertikal ($a_1, a_2, b_1, b_2, h_1, h_2$) dari benda prisma dan sisanya adalah intensitas magnetisasi (EI) yang besarnya adalah perkalian antara suseptibilitas dengan medan geomagnetik, θ adalah arah benda prisma terhadap utara geografi, Inklinasi (I_0) dan deklinasi (D_0) vektor magnetisasi, Inklinasi (I) dan Deklinasi (D) medan magnet bumi. Dua parameter yang terakhir diasumsikan sudah diketahui.

Teknik inversi non linier dapat digunakan untuk memperkirakan parameter-parameter yang tidak diketahui, dengan model awal dan iterasi pada parameter-parameter agar fungsi obyektif minimum, fungsi obyektif didefinisikan dengan :

$$f = \sum_{i=1}^{MxMy} \sum_{j=1}^2 [\Delta H_{obs}(i, j) - \Delta H_{cal}(i, j)]^2 \quad (2-16)$$

dimana ΔH_{obs} dan ΔH_{cal} adalah anomali pengamatan dan perhitungan dan M_x dan M_y jumlah titik pengamatan dalam arah x dan y.

Jika anomali pengamatan $\Delta H_{obs}(i,j)$ merupakan penjumlahan dari anomali yang disebabkan oleh lebih dari satu prisma, katakan N_b prisma dan jumlah parameter-parameter yang tidak diketahui setiap prisma adalah N_p . Maka total jumlah parameter-parameter yang tidak diketahui adalah :

$N = (N_b N_p) + 1$, termasuk konstanta regional, maka secara simultan sistem persamaannya menjadi :

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^{N_b} \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta H(i,j)}{\partial P_l} \frac{\partial \Delta H(i,j)}{\partial P_k} (1 + \delta_{kl} \lambda) dP_k \\ &= \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} [\Delta H_{obs}(i,j) - \Delta H_{cal}(i,j)] \frac{\partial \Delta H(i,j)}{\partial P_l} \end{aligned} \quad (2-17)$$

untuk $l = 1$ sampai N , dimana δ_{kl} adalah delta kronecker, λ adalah parameter damping dan p_k menggambarkan salah satu dari parameter $a_1, a_2, b_1, b_2, h_1, h_2, I_o, D_o$, dan EI dari setiap prisma dan konstanta regional (C); $\partial \Delta H / \partial P_l$ mewakili turunan anomali terhadap P_l , dP_k menggambarkan penambahan atau pengurangan parameter ke-k yang akan dicari dan akhirnya ditambahkan ke nilai awal parameter yang ada, konstanta λ dipilih dengan trial & error dengan nilai awal 0.5 jika langkahnya sukses (fungsi obyektif berkurang) nilai λ diturunkan dengan faktor $1/2$ dan jika fungsi obyektif yang baru $>$ fungsi obyektif yang lama disetiap langkah, maka pencarian tidak sukses, λ digandakan. Prosedur ini diulang sampai diperoleh fungsi obyektif yang baru \leq fungsi obyektif yang lama.

2.5. Suseptibilitas Magnetik Mineral dan Batuan

2.5.1. Sifat Magnetik Mineral

Sifat-sifat magnetik mineral pembentuk batuan dapat diklasifikasikan menjadi

3 (Telford, 1976) yaitu :

1. Diamagnetisme : yaitu suatu zat mempunyai sifat diamagnetisme apabila nilai suseptibilitas magnetiknya negatif sehingga intensitas magnetisasi yang diimbau I dalam zat oleh medan magnet H adalah berlawanan arah dengan H . Semua material pada dasarnya adalah diamagnetik karena gerak orbital elektron yang bermuatan negatif dalam zat pada medan magnet luar H mempunyai arah yang melawan arah H . Tetapi diamagnetisme akan timbul jika momen magnetik atomik total semua atom adalah nol jika H nol.

Contoh : grafit, gypsum, marmer, kwarsa, garam, bismuth, dll.

2. Paramagnetisme, yaitu : semua zat yang mempunyai harga suszeptibilitas (k) positif. Dalam zat semacam ini setiap atom atau molekul mempunyai momen magnetik total yang tak sama dengan nol dalam medan magnet luar yang nol.

Contoh : piroksin, olivin, granit, biotit, amfibol, dll.

3. Ferromagnetisme yaitu : material-material yang harga susceptibilitas (k) besar sekali sampai 10^6 kali lebih besar daripada material paramagnetisme dan diamagnetik Ferromagnetisme dapat dibagi menjadi 2 sub devisi :

- a. Antiferromagnetisme, yaitu material yang mempunyai susceptibilitas seperti material paramagnetik tetapi harganya naik dengan naiknya temperatur hingga mencapai temperatur curie. Contoh : hematit

- b. Ferrimagnetisme, yaitu material yang mempunyai susceptibilitas magnetik yang sangat besar dan tergantung pada suhu. Contoh : magnetit.

2.5.2. Sifat Magnetik Batuan.

Respon magnetik dari batuan pokok, secara umum adalah sebagai berikut (Robinson E.S.,1988) :

1. Batuan Sedimen

Karena sebagian besar batuan sedimen adalah magnetik yang lemah, maka anomali magnetik yang diperoleh dari survey magnetik sebagian besar disebabkan oleh lapisan batuan beku (igneous) basement .

2. Batuan Beku

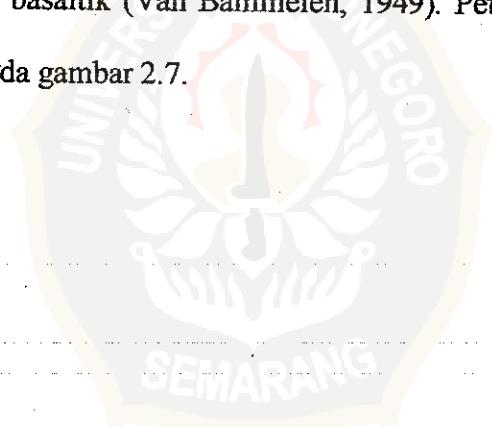
Batuan beku mempunyai sifat magnetik yang bervariasi. Biasanya jenis acidic (asam) cenderung bermagnetik lebih lemah dan pada jenis batuan yang lebih basa cenderung lebih kuat magnetiknya, karena kandungan mineral magnetik yang lebih tinggi.

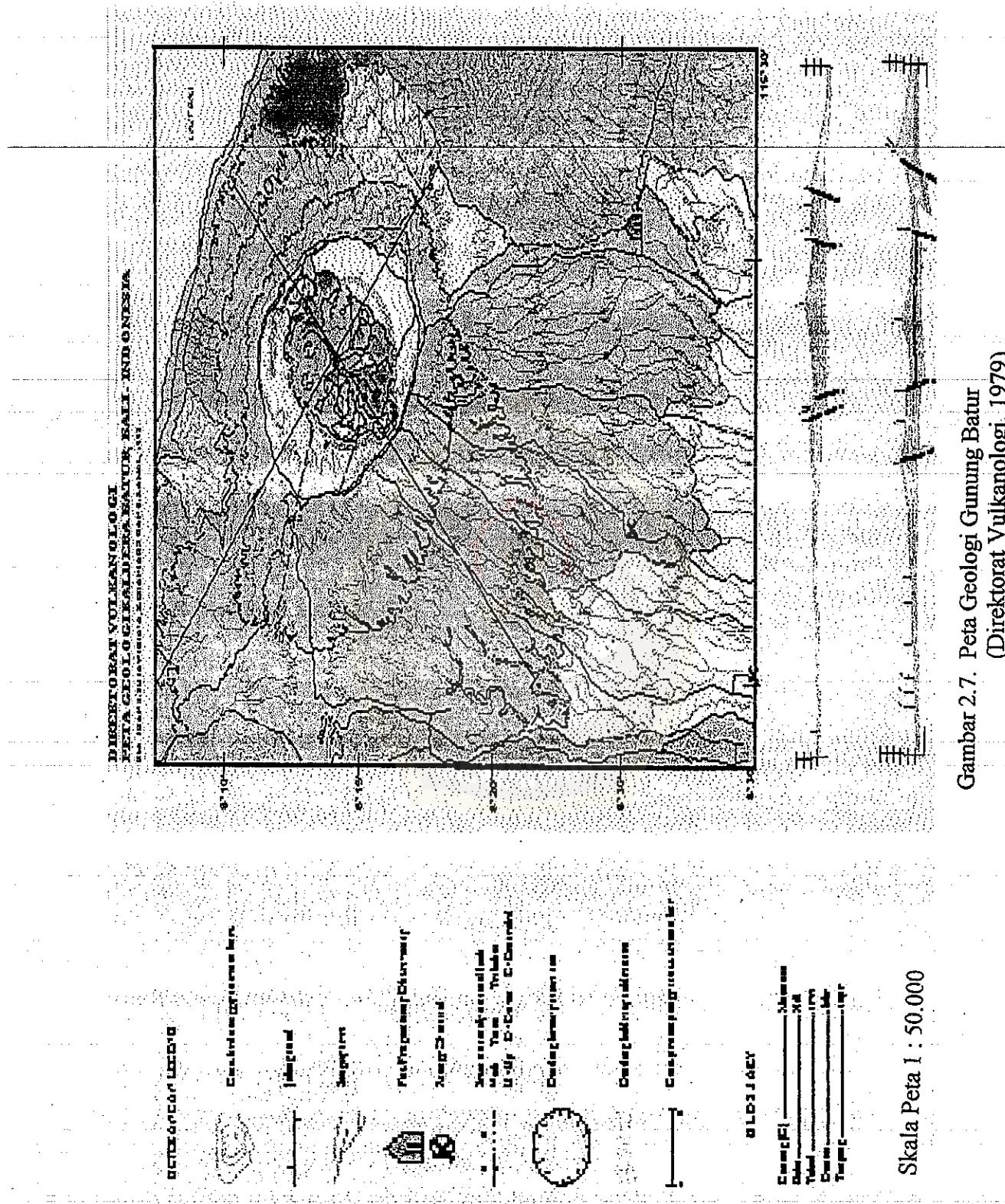
3. Batuan Metamorf

Batuan metamorf merupakan dari batuan sedimen dan atau batuan beku akibat perubahan suhu dan atau tekanan yang cukup besar, sehingga batuan metamorf selalu mempunyai sifat magnet yang bervariasi.

2.6. Kondisi Geologi Daerah Gunung Batur

Menurut (Van Bommelen, 1949) struktur topografi kaldera berundak merupakan ciri komplek Gunung Batur. Pematang kaldera mempunyai ketinggian sekitar 1267 – 2152 m di atas permukaan laut. Sementara di bagian bawahnya dijumpai lagi gawir kaldera yang terletak 120 – 300 m lebih rendah dari dasar kaldera di atasnya. Berdasarkan bentuk dan struktur Gunung Batur terdapat beberapa indikasi struktur yang berkembang di daerah penelitian. Struktur tersebut diantaranya adalah: kaldera, kawah, sesar dan beberapa kelurusan titik erupsi. Jenis batuan yang terdapat di Gunung Batur mayoritas terdiri dari andesit normal. Batuan Gunung Abang mayoritas adalah basaltik. Kerucut sentral muda dan semua sentral letusan parasit menghasilkan batuan basaltik (Van Bommelen, 1949). Peta geologi daerah Gunung Batur dapat dilihat pada gambar 2.7.





Gambar 2.7. Peta Geologi Gunung Batur
(Direktorat Vulkanologi, 1979)

Skala Peta 1 : 50.000

2.6.1. Kaldera

Di daerah penelitian terdapat dua buah kaldera yaitu kaldera bagian luar dan kaldera bagian dalam atau kaldera I dan kaldera II. Kaldera bagian luar merupakan suatu kaldera yang cukup luas dengan diameter kurang lebih 10 km.. Kaldera bagian dalam merupakan kaldera yang lebih kecil dan juga berumur lebih muda.



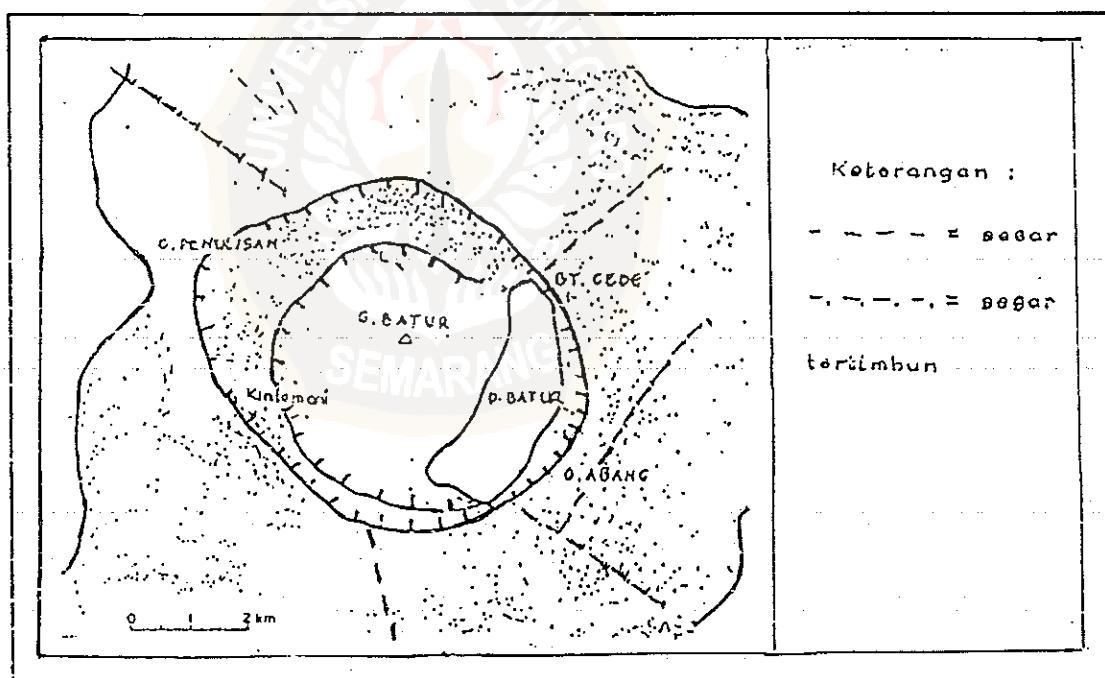
Gambar 2.8. Peta topografi Gunung Batur yang memperlihatkan adanya dua kaldera (Dzurisin dan Newhall, 1988).

2.6.2. Kawah

Struktur ini cukup dominan tersebar di daerah penelitian terutama daerah kaldera bagian dalam. Struktur ini muncul sebagai akibat adanya titik erupsi eksplosif baik bersifat magmatis maupun nonmagmatis. Dimensi dari kawah ini bervariasi, hal ini bergantung kepada besar kecilnya kegiatan erupsi, kawah yang lebih besar kemungkinan disebabkan oleh adanya erupsi yang berulang.

2.6.3. Sesar

Sesar yang bekembang di daerah penelitian umumnya mempunyai dua arah yaitu berarah relatif timur laut – barat daya dan tenggara -barat daya.



Gambar 2.9. Alur sesar di daerah Batur
(Hamidi & Kusumadinata, 1979)

2.7. Batuan Beku

Berdasarkan kondisi-kondisi pembekuan magma, batuan beku terbagi atas dua kelompok (Lange, 1991):

1. Batuan intrusif : batuan magma yang terbentuk selama proses pembekuan magma jauh di dalam permukaan bumi.
2. Batuan effusif : batuan magma yang terbentuk selama proses pembekuan magma yang keluar ke permukaan bumi.

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai jenis-jenis batuan beku maka dapat dilihat dalam tabel 2.1

Keasaman	SiO ₂ %	Indikator Keasaman	Silikat berwarna gelap	Batuan dengan silikat cerah			Batuan tanpa silikat
				dengan Ortocalce	dengan Nepheline	dengan plagiocalce	
Batu api (Average Igneous Rock)	65-75	Quartz	Biotit Herblende Augite	Liparite Quartz Phorpyrite		Dacite Quartz Phorpyrite Diorite	
Batu Dasar (Basic Rocks)	55-65		Hernblende Biotit Augite	Trachite Orthopyrite Syinite	Nepiline syinite	Andesite Porphyrite Diorite	
Ultra Basic Rocks	45-55		Augite Hernblende			Basalt Diabase Gabbro	
	< 45	Olivine	Augite				Dunite Peridotit Pyroxene

Tabel 2.1. Batu-batu magma yang utama
(Pavlov dalam Lange, 1991)

2.8. Sifat-sifat Fisik Magma

Secara umum sifat-sifat fisik magma antara lain (Alzwar, 1988):

1. Suhu magma.

Pengukuran suhu magma dilakukan dengan dua cara, yaitu : pendekatan dengan laboratorium melalui serangkaian percobaan dan pengukuran langsung di lapangan terhadap aliran lava (aliran lava dianggap identik dan analog dengan magma). Secara laboratorium magma mempunyai suhu antara $900^0 - 1100^0$

2. Viskositas magma

Penentuan viskositas juga dilakukan secara laboratorium. Viskositas diartikan sebagai pelekatan atau ketahanan substansi terhadap gerak aliran. Pengertian viskositas berlawanan dengan fluiditas (sifat mengalir). Secara laboratorium viskositas magma pada suhu 1.100^0C mempunyai viskositas 9×10^2 poise.

