

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam eksplorasi geomagnet parameter yang terpenting adalah sifat kerentanan dari tubuh benda magnet (susseptibilitas) magnet.

3.1 Susseptibilitas Magnetik

Susseptibilitas (χ) adalah kemampuan suatu benda untuk termagnetisasi oleh medan magnet yang mempunyai hubungan :

$$\chi = \mathcal{G} / H \quad \text{atau} \quad \vec{I} = \chi \vec{H} \quad (3-1)$$

dimana :

χ = susseptibilitas benda

Parameter ini sangat penting dalam penyelidikan dan interpretasi, karena respon magnetik batuan dan mineral ditentukan oleh jumlah mineral magnetik yang dikandungnya dan akhirnya mempunyai nilai χ lebih besar daripada batuan dan mineralnya sendiri. Harga χ makin tinggi jika jumlah mineral magnetik yang dikandung material makin tinggi, jadi harga χ tidak konstan. Selama harga H naik, maka χ naik dengan cepat mencapai maximum dan kemudian turun menjadi nol (*hysterisis loop*).

Pengukuran susseptibilitas tidaklah umum dilakukan secara langsung di lapangan, meskipun telah ada instrumen - instrumen untuk keperluan ini, tetapi hanya dapat digunakan pada singkapan atau sampel batuan. Pengukuran tersebut tidak

memberikan susseptibilitas suatu formasi. Beberapa harga susseptibilitas batuan terdapat dalam tabel 3-1 dan tabel 3-2.

3.2 Induksi Magnet

Sebuah benda yang diletakkan dalam medan magnet \vec{H} , akan terimbas sesuai dengan medan tersebut. Akibatnya pada benda itu sendiri akan timbul medan magnet \vec{H}' yang konsekuensinya mengakibatkan bertambahnya kuat medan magnet total. Medan magnet total benda sekarang didefinisikan sebagai induksi magnet \vec{B} , yang merupakan jumlah dari medan benda ditambah dengan medan utama.

$$\vec{B} = \vec{H} + \vec{H}' = \vec{H} + 4\pi I \quad (3-2)$$

dengan mensubstitusi ke persamaan (3-1) didapat :

$$\vec{B} = (1 + 4\pi k) \vec{H} \quad (3-3)$$

Sekarang dengan mendefinisikan perbandingan induksi, \vec{B} dengan kuat medan \vec{H} sebagai permeabilitas magnetik μ , maka persamaan (3-3) menjadi :

$$\vec{B} = (1 + 4\pi k) \vec{H} = \mu \vec{H} \quad (3-4)$$

dimana

$$\vec{B} = \text{induksi magnetik}$$

$\mu = (1 + 4\pi k)$ menyatakan hubungan antara susseptibilitas dan permeabilitas magnetik. Dalam sistem cgs, \vec{B} dinyatakan dalam Gauss dan permeabilitas μ satuannya menjadi Gauss/Oersted. Dengan demikian karena μ adalah besaran yang tanpa dimensi, akibatnya Gauss sama dengan Oersted. Berarti tidak ada perbedaan antara \vec{B} dan \vec{H} . Tetapi kenyataannya \vec{B} dan \vec{H} tidak sama, karena \vec{H} adalah

SUSCEPTIBILITIES OF METAMORPHIC ROCKS					
Rock	LOCALITY	INVESTIGATOR	SUSCEPTIBILITY X 10 ⁶	FIELD STRENGTHS IN GAUSS	REMARKS
Amphibolites Magnetite amphibolites	Uri, Switzerland Krivoj-Rog	Koenigsberger Bahunn	88 9000	0.5-1.0	Tertiary
Gneiss Gneiss Gneiss	Bellinzona Gotthard Parana, Brazil	Koenigsberger " Malampby, et al.	10-280 13-28 2000	Very low " " H = 0.235- 0.255 Z = -0.00- -0.06 237-240	Average
Metamorphosed slate	Mt. Sorrel	Wilson	61		
Phyllite Talcous slate Schist	Switzerland Urals Oberhars	Koenigsberger Bahunn Roesser & Puschs	130 3000 115	1.3	
Serpentine Serpentine Iron quartzite	Hars Urals Krivoj-Rog	Puschs Bahunn "	254 14,100 650	5-50 30.5 19.3	

Tabel 3.1 Tabel Susseptibilitas Batuan Metamorf

SUSCEPTIBILITIES OF SEDIMENTARY ROCKS					
Rocks	LOCALITY	INVESTIGATOR	SUSCEPTIBILITY X 10 ⁶	FIELD STRENGTHS IN GAUSS	REMARKS
Anhydrite & gypsum	N. Germany	Heiland	-1 to -10	0.5	Calculated from anomalous or outcrops and rocks
Rock salt Dolomite	" Nottingham- shire	Koenigsberger Wilson	-0.4 1.8	605	
Coal Limestone Sandstone Dolomite Sandstone	Waldenburg Leicestershire Halston Lake Hars	Koenigsberger Wilson Koenigsberger Steiner Puschs	<3 1.8 5 14 15.1 16.2 16.7 16.8	6 300-615 80 0.5 180 150 80 1	Ferrous
Blue clay Blue clay slate	Irthlingborough Charwood Forest	Wilson " "	20 19	84-375 245-355	
Shales Sandy shales Shaly sands	Texas " "	Collingwood " "	44 48 64		

Tabel 3.2 Tabel Susseptibilitas Batuan Sedimen

kuat medan intrinsic dan \vec{B} kuat medan induksi ditambah dengan kuat medan intrinsic, dalam beberapa material (bahan), mungkin \vec{B} lebih besar dan tidak mempunyai hubungan dengan medan \vec{H} .

3.3 Potensial Magnetostatik Medan Dipole

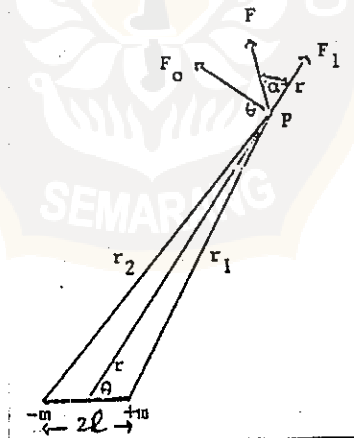
Vektor medan magnet dapat diturunkan dari fungsi potensial skalar :

$$\vec{F}(\vec{r}) = -\nabla A(\vec{r}) \quad (3-5)$$

potensial ini didefinisikan sebagai kerja yang dilakukan untuk memindahkan satu kutub magnet terhadap medan magnet, hubungannya :

$$A(\vec{r}) = -\int_{\infty}^r \vec{F}(\vec{r}') \cdot d\vec{r}' = \frac{m}{\mu r} \quad (3-6)$$

Secara praktis magnetik ber kutub tunggal hanyalah kutub semu, kendatipun demikian secara matematis kutub tunggal itu ada. Dengan melihat gambar 3.1 :



Gambar (3-1) Medan Dipole

dan $\mu = 1$ untuk medium sekitarnya, potensial A pada suatu titik dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$A = \frac{m}{r_1} - \frac{m}{r_2}$$

$$= m \left\{ \frac{1}{\sqrt{(r^2 + l^2 - 2rl \cos \theta)^{3/2}}} - \frac{1}{\sqrt{(r^2 + l^2 + 2rl \cos \theta)^{3/2}}} \right\} \quad (3-7)$$

Jika $r \gg l$, maka

$$A \approx \frac{2ml \cos \theta}{r^2} = \frac{M \cos \theta}{r^2} \quad (3-8)$$

dari persamaan (3-9) didapat vektor medan magnetik, yang mempunyai komponen radial sepanjang r dan komponen anguler terhadap normal r sebagai berikut :

$$F_r = - \frac{\partial A}{\partial r}$$

$$= -m \left\{ \frac{r + l \cos \theta}{(r^2 + l^2 + 2rl \cos \theta)^{3/2}} - \frac{r - l \cos \theta}{(r^2 + l^2 - 2rl \cos \theta)^{3/2}} \right\} \quad (3-9)$$

$$F_\theta = - \frac{1}{r} \frac{\partial A}{\partial \theta}$$

$$= m \left\{ \frac{l \sin \theta}{(r^2 + l^2 + 2rl \cos \theta)^{3/2}} + \frac{l \sin \theta}{(r^2 + l^2 - 2rl \cos \theta)^{3/2}} \right\} \quad (3-10)$$

dan bila $r \gg l$, maka persamaan di atas menjadi :

$$F_r \approx \frac{2M \cos \theta}{r^3} \quad (3-11)$$

$$F_{\theta} \approx \frac{M \sin \theta}{r^3} \quad (3-12)$$

Kasus khusus, untuk $\theta = 0$, maka persamaan (3-11) dan (3-12) menjadi :

$$F_r = \frac{2Mr}{(r^2 - 1^2)^{3/2}} \quad (3-13)$$

$$F_{\theta} = 0$$

$$\text{dan } \theta = \frac{\pi}{2}$$

$$F_r = 0$$

$$F_{\theta} = \frac{2Mr}{(r^2 - 1^2)^{3/2}} \quad (3-14)$$

dan bila $r \gg 1$, bentuk di atas dapat disederhanakan menjadi

$$F_r \approx \frac{2M}{r^3} \quad (\theta = 0) \quad (3-15)$$

$$F_{\theta} \approx \frac{M}{r^3} \quad (\theta = \frac{\pi}{2}) \quad (3-16)$$

Resultan total persamaan (3-12) dan (3-13) adalah :

$$F = \frac{M}{r^3} \sqrt{(4 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta)} \quad (3-17)$$

sedangkan arah F_r adalah :

$$\tan \alpha = \frac{F_{\theta}}{F_r} = \frac{1}{2} \tan \theta \quad (3-18)$$

dalam notasi vektor hubungan antara persamaan (3-12) dan (3-13) sebagai berikut :

$$\vec{F} = \left(\frac{2M \cos \theta}{r^3} \right) \vec{r}_1 + \left(\frac{M \sin \theta}{r^3} \right) \vec{\theta}_1 \quad (3-19)$$

dimana, vektor satuan \vec{r}_1 dan $\vec{\theta}_1$ bertambah dengan arah berlawanan dengan jarum jam.

3.4 Hubungan Poisson

Hubungan Poisson, menunjukkan hubungan antara potensial gaya berat, U dan potensial magnetik A dari benda, jika densitas σ dan momen dipolenya konstan, maka hubungan tersebut ditulis :

$$A = - \frac{\varphi}{\gamma \sigma} \frac{\partial U}{\partial \alpha} = \frac{\varphi}{\gamma \sigma} \nabla U \cdot \alpha_1 = - \frac{\varphi}{\gamma \sigma} g_\alpha \quad (3-20)$$

dimana :

- A : potensial magnetik
- U : potensial gaya berat
- γ : konstanta gaya berat
- σ : densitas benda
- ∇ : operator nabla
- g_α : komponen gravitasi

Suku-suku potensial ditulis :

$$F_\beta(\vec{r}) = \text{Komponen } \vec{F}(\vec{r}) \text{ dalam arah } \beta_1$$

$$= - \frac{\partial A}{\partial \beta} = \frac{\varphi}{\gamma \sigma} \frac{\partial g_\alpha}{\partial z} \quad (3-21)$$

Untuk kondisi khusus dimana polarisasi vertikal, kita dapat menulis :

$$z = \frac{\varphi}{\gamma \sigma} \frac{\partial g_\alpha}{\partial z} \quad (3-22)$$

dimana :

- z : komponen vertikal medan magnet

Hubungan ini sangat penting, sebab medan gaya berat secara umum dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah magnetik.

3.5 Persamaan Medan Magnetik

Untuk medium homogen di luar volume (benda) seperti terlihat pada gambar 3-2 , maka potensial magnetik memenuhi persamaan Laplace :

$$\nabla^2 A = 0 \quad (3-23)$$

Demikian juga potensial magnetik pada benda, hubungan Poisson berbentuk

$$\nabla^2 A = 4\pi \nabla \cdot \vec{M}(\vec{r}) \quad (3-24)$$

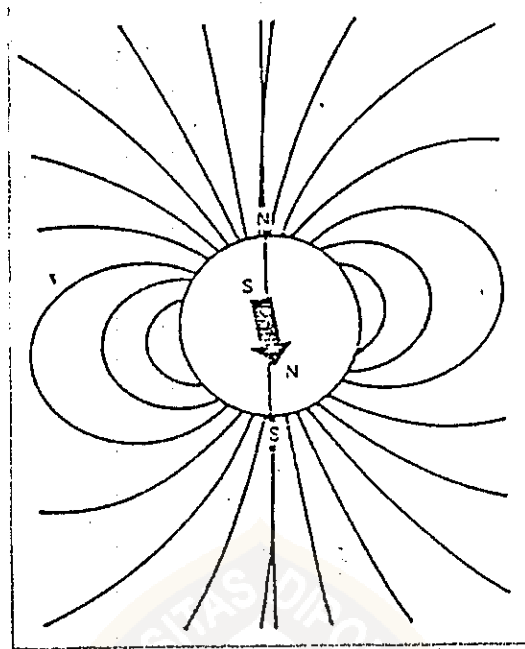
3.6 Medan Magnet Bumi

Teori tentang timbulnya medan magnet bumi antara lain :

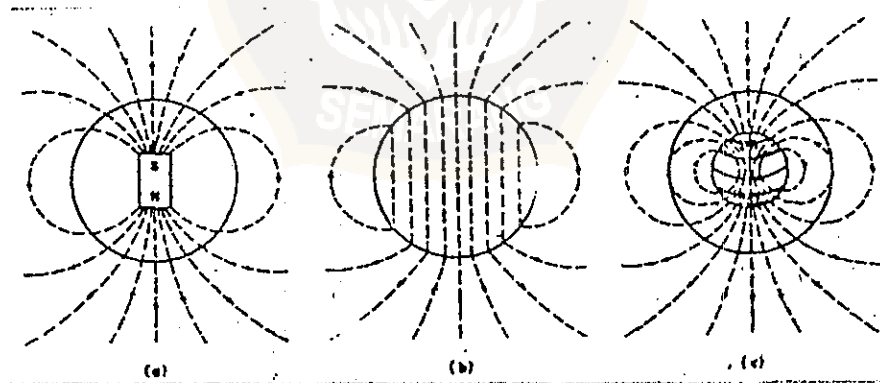
1. Medan magnetik bumi berasal dari sebuah magnet batang yang berada di dalam bumi.
2. Bumi adalah sebuah bahan homogen bersifat magnetik terinduksi di dalam medan luar sehingga menimbulkan medan magnetik bumi.
3. Medan magnetik bumi berasal dari adanya arus listrik yang berputar di dalam inti luar bumi.

Dari ketiga teori tersebut yang ketiga yang sering digunakan untuk menjelaskan medan magnetik bumi. Ketiga teori tersebut dapat terlihat pada gambar 3-3 .

Medan magnet bumi dibangkitkan oleh adanya arus listrik



Gambar 3.2 Garis Gaya Magnet



Gambar 3.3 Medan Magnet dengan teori kemungkinan timbulnya medan tersebut

yang berputar di dalam inti luar bumi. Pusat medan tidak diketahui dengan pasti tetapi disebabkan oleh aliran fluida (inti cair) dalam bumi.

Medan magnet atau flux adalah garis-garis gaya magnet di permukaan dari kutub selatan menuju ke kutub utara seperti terlihat pada gambar 3-2. Flux berarah vertikal pada daerah kutub utara dan selatan serta horisontal di equator.

Medan geomagnet teratur dapat diwakili secara formal sebagai medan dipole yang terletak di pusat bumi dengan arah momen magnetiknya menuju selatan geografis bumi.

Bumi merupakan dua kutub magnetik yang besar dan terletak di Utara dan Selatan dengan kedudukan yaitu 72°N , 102°W dan 68°S , 146°E . Pusat dwi kutub ini ± 750 mil dari pusat geografis bumi dan sumbunya bergeser sebesar 18° terhadap diameter kutub-kutub bumi.

Sumber medan magnet yang tercatat pada alat adalah komponen yang berasal dari :

- i. Medan utama, yang tak konstan terhadap waktu, variasinya relatif kecil.
- ii. Medan luar, lebih kecil dari medan utama dan berubah dari waktu ke waktu lebih cepat dibanding medan utama secara random oleh penyebab dari luar bumi.

iii. Variasi medan utama (anomali), variasinya relatif tetap dan jauh lebih kecil dari medan utama. Anomali ini disebabkan gangguan lokal yang ada pada kerak bumi, dan kelainan tersebut justru yang menjadi tujuan utama dalam penyelidikan geomagnet.

3.6.1 Medan Utama

Medan magnet utama secara teoritis disebabkan sumber dari dalam bumi, magnetisasi permanen oleh aliran arus listrik, atau arus listrik keluar dan masuk bumi.

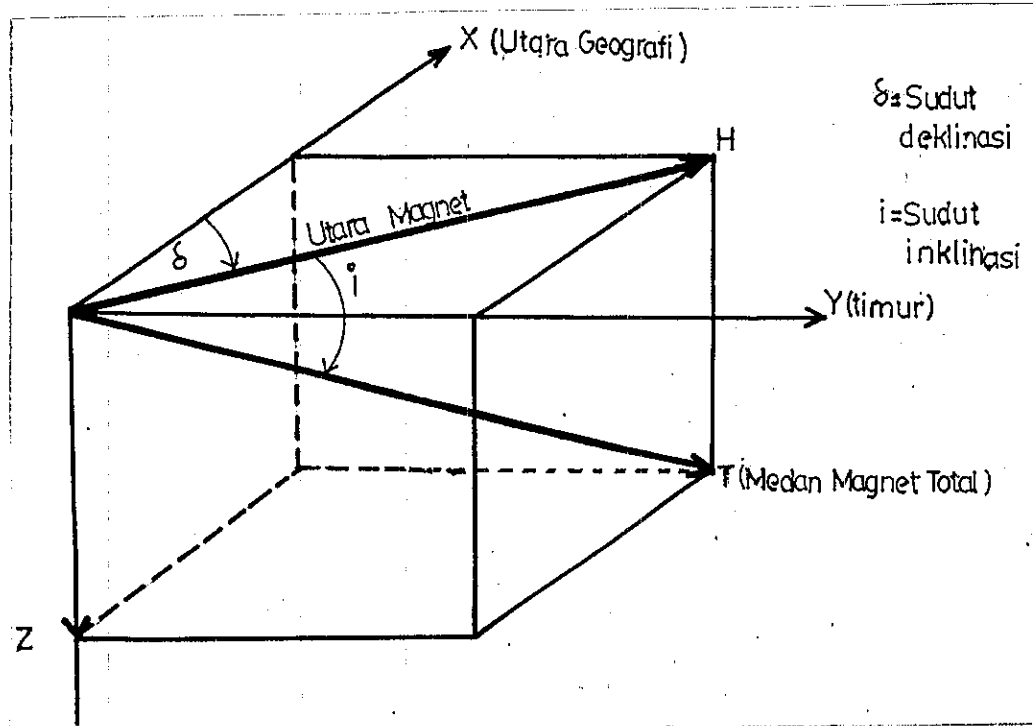
Secara teoritis medan magnet disebabkan oleh sirkulasi arus di luar inti bumi. Beberapa alasan menganggap inti bumi tersusun oleh besi dan nikel, dua material yang dikenal sebagai konduktor yang sangat baik.

Apapun penyusun inti, suatu gagasan menyatakan sumber magnetik adalah dinamo berkonduktivitas tinggi dan bergerak dengan mekanisme kompleks, seperti arus listrik, bisa jadi disebabkan oleh unsur atau senyawa kimia dan variasi termal beserta alirannya. Kombinasi gerak dan arus menimbulkan medan magnet. Uji laboratorium memperlihatkan bahwa pembangkit / sumber dinamo dapat menerangkan adanya variasi sekuler yang dikenal sebagai kejadian / peristiwa tentang kemagnetan bumi (Telford, W.M dan Geldart, LP 1982). Dikenal beberapa pengertian tentang elemen-elemen medan magnet bumi :

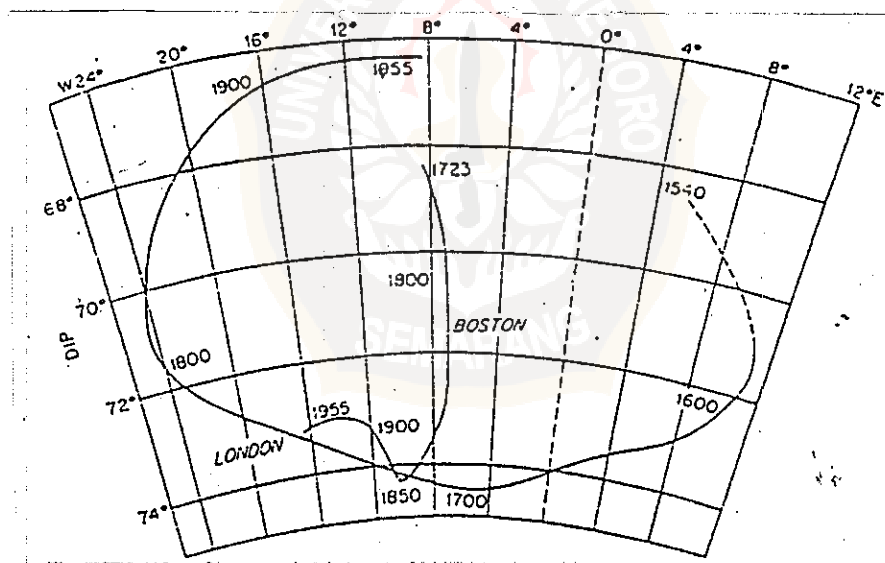
H : medan horisontal

Y : komponen arah timur

D : deklinasi (sudut antara utara geografi dengan utara magnet)



Gambar 3.4 Pembentuk Medan Magnet Bumi



Gambar 3.5 Variasi inklinasi dan deklinasi magnet terhadap waktu (Applied Geophysics, WM Telford)

Z : komponen vertikal

X : komponen arah utara

I : inklinasi (sudut antara utara magnet dengan medan total)

Z : medan vertikal

H : medan total

lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3-4

$$\vec{F} = \vec{H} + \vec{Z} = \vec{X} + \vec{Y} + \vec{Z}$$

$$Z = F \sin I$$

$$\tan D = \frac{Y}{X}$$

$$H = F \cos I$$

$$\tan I = \frac{Z}{H}$$

$$X = H \cos D$$

$$Y = H \sin D$$

Garis-garis deklinasi, inklinasi, intensitas horisontal yang sama, jika diplot akan menghasilkan peta isomagnetik (*isomagnetic charts*) yang menunjukkan variasi medan magnet di permukaan bumi. Medan magnet ternyata tidak dipengaruhi oleh keadaan geografis di permukaan. Ini menandakan bahwa sumber medan terletak jauh di dalam bumi atau sangat jauh di luar bumi. Berbagai peta dunia telah disusun yang menggambarkan :

- deklinasi sama, disebut peta isogonik
- kemiringan sama, disebut peta isoklinik
- F, H atau Z sama, disebut peta isodinamik

Harga F pada kutub Utara dan Selatan magnet berturut-turut 0,6 dan 0,7 Oersted, harga minimum 0,25 Oersted terdapat di Pasifik lepas pantai Antofagasta di utara Chili. Garis inklinasi sama dengan nol (dimana $Z = 0$) terletak lebih dari 15° dari equator, simpangan terbesar ke selatan terdapat di daerah-daerah Amerika Selatan dan Pasifik Timur, sedangkan pergeseran ke utara ada di Afrika dan Asia. Garis kontur deklinasi yang sama memberikan keterangan yang lengkap dan lebih rumit. Terlihat pada

gambar 3-5.

Inklinasi dan deklinasi berubah dari waktu ke waktu (*secular variations*). Dari tahun 1580 di London dan Paris inklinalasi berubah 10° (dari 75° menjadi 65°) dan deklinasi berubah 35° (dari 10° E ke 25° W kembali ke 10° W)

Perubahan ini relatif cepat sekali dan kelihatannya terjadi dalam siklus waktu tertentu. Perubahan ini berbeda-beda dari tempat satu ke tempat lain. Konsekuensinya, terjadi pula pergeseran-pergeseran kutub-kutub magnetnya.

Dugaan penggambaran medan diungkapkan secara lengkap oleh rekaman unsur-unsur magnetik. Dalam banyak contoh / kasus variasi sekuler ditampilkan secara regional di seluruh dunia. Walaupun sumber tidak pasti, namun selalu pada inti bumi, kemungkinan berhubungan dengan perubahan arus konveksi dalam inti dengan cepat dalam mantel.

Secara lengkap peta kontur intensitas magnet, inklinalasi, deklinasi di seluruh dunia terlihat pada Lampiran G.

3.6.2 Medan Magnet Luar

Merupakan bagian kecil dari medan magnetik bumi sebesar 1% berasal dari luar bumi dan berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi atmosfer luar (ionosfir). Perubahan medan ini relatif cepat dan terdiri atas beberapa bagian :

- a. Perubahan dengan periode 24,8 jam perubahan ini berhubungan dengan gaya pasang surut yang ditimbulkan

- oleh bulan dalam atmosfer, range 2 γ .
- b. Perubahan dengan periode 24 jam, perubahan ini berhubungan dengan gaya pasang surut yang ditimbulkan matahari dalam atmosfer, range 30 γ .
- c. Perubahan terjadinya konduktivitas listrik pada lapisan ionosfir yang tinggi. Pada lapisan ini banyak mengandung pembawa muatan seperti : ion dan elektron. Partikel konduksi pada lapisan ionosfir ditimbulkan oleh gaya tidal dan gaya lainnya yang mana gerakan dinamo di bawah pengaruh medan magnetik bumi membangkitkan aliran arus di lapisan ionosfir pada ketinggian sekitar 100 km di atas permukaan bumi. Keadaan tersebut merupakan penyebab medan variasi harian matahari luar yang relatif tetap terhadap arah matahari. Karena bumi berrotasi, keadaan tersebut menghasilkan induksi elektromagnetik yang kemudian akan menghasilkan medan. Siklus ini terjadi selama 11 tahun.
- d. Pengaruh oleh karena adanya badai magnetik yang ditimbulkan oleh partikel surya bermuatan yang dipancarkan oleh matahari dan sampai di bumi, range sekitar 1000 γ , gangguan ini bersifat transien sehingga karena amplitudo yang terlalu besar, maka pada puncak badai magnetik ini penelitian dengan metode ini dihentikan. Badai magnetik kadang-kadang terjadi dalam siklus 27 hari tergantung peristiwa yang terjadi di

dalam matahari. Selain itu masih ada perubahan-perubahan yang ditimbulkan oleh sinar kosmik surya dan efek "Solar Flare" melalui pancaran sinar X, ultraviolet, frekuensi radio dan masih banyak lagi yang lainnya.

3.6.3 Anomali Magnetik

Anomali magnetik terutama disebabkan oleh perbedaan komposisi mineral-mineral yang bersifat magnetik yang berada di dekat permukaan. Variasinya relatif konstan terhadap waktu dan tempat dan jauh lebih kecil dari medan utama. Pada umumnya anomali ini bersifat lokal, karena sumbernya terletak tidak terlalu dalam. Secara garis besar anomali tersebut disebabkan oleh dua hal yaitu : magnetisasi remanen dan magnetisasi induksi. Magnetisasi remanen sesuai dengan sifat logam benda itu sendiri sedangkan magnetisasi induksi disebabkan oleh medan utama. Anomali ini merupakan sasaran utama dalam metode geomagnet.

Dianggap benda mempunyai distribusi dipole kontinyu yang menghasilkan vektor dipole per satuan volume sebagai $\vec{M}(\vec{r})$. Persamaan (3-8) memperlihatkan potensial skalar pada suatu titik pada jarak tertentu dari dipole, memberikan hubungan

$$A = \frac{M \cos \theta}{r^2} = - M \nabla \left(\frac{1}{r} \right) \quad (3-25)$$

dengan demikian potensial keseluruhan menjadi :

$$A(r_0) = \int \vec{M}(\vec{r}) \cdot \nabla \left(\frac{1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right) dV \quad (3-26)$$

dimana sistem koordinatnya adalah seperti gambar 3.6 :

Jika \vec{M} konstan dan berarah tetap, seperti ditunjukkan oleh :

$\alpha = l + m + n$, maka :

$$\vec{M} \cdot \nabla = M \frac{\partial}{\partial x} = M \left(l \frac{\partial}{\partial x} + m \frac{\partial}{\partial y} + n \frac{\partial}{\partial z} \right) \quad (3-27)$$

dan

$$A(\vec{r}_o) = -M \frac{\partial}{\partial x} \int_V \left(\frac{dV}{|\vec{r}_o - \vec{r}|} \right) \quad (3-28)$$

Resultan medan magnet benda didapat dengan mengerjakan persamaan (3-5) dan (3-27), hasilnya :

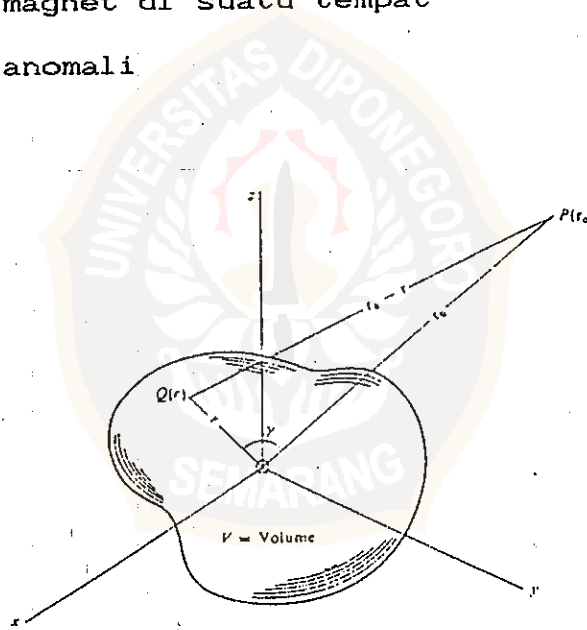
$$\vec{F}(\vec{r}_o) = \nabla \int \vec{M}(\vec{r}) \cdot \nabla \left(\frac{1}{|\vec{r}_o - \vec{r}|} \right) dV \quad (3-29)$$

Bila F_o adalah medan magnet bumi di tempat tersebut, maka :

\vec{F}_t : medan magnet total

\vec{F} : medan magnet di suatu tempat

$\vec{F}(\vec{r}_o)$: medan anomali



Gambar 3.6 Anomali Magnetik Umum

\vec{F}_o dan $\vec{F}(\vec{r}_o)$ tidak searah, kecuali jika harga $\vec{F}(\vec{r}_o)$ jauh lebih

kecil dari \vec{F}_0 atau benda tidak mempunyai magnetisasi residual pada tempat tersebut, dan dalam kondisi seperti ini \vec{F}_1 dan \vec{F}_0 dianggap searah. Dalam kondisi umum, dimana harga $\vec{F}(r_0)$ dan \vec{F}_0 berbeda (sekitar 25 % atau lebih) dan $\vec{M}(r)$ berbeda arah dengan \vec{F}_0 . Komponen $\vec{F}(r_0)$ pada arah medan \vec{F}_0 menjadi :

$$F_{\beta}(r_0) = -\beta_1 \cdot \nabla A(r_0) = -\frac{\partial A(r_0)}{\partial \beta}$$

$$= M \frac{\partial^2}{\partial \alpha \partial \beta} \int_V \left(\frac{dV}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right) \quad (3-30)$$

dimana β_1 menunjukkan arah \vec{F}_0 . Jika momen magnetik benda tak mempunyai perbedaan orientasi karena efek residual, maka magnetisasi hanya akan dipengaruhi oleh induksi \vec{F}_0 pada arah β_1 . Dengan menggunakan persamaan intensitas magnet dan persamaan (3-1), maka persamaan (3-30) menjadi :

$$F_{\beta}(r_0) = M \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \int_V \left(\frac{dV}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right) = k \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \int_V \left(\frac{dV}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right) \quad (3-31)$$

Didefinisikan potensial logaritma untuk menggambarkan dua dimensi, sehingga persamaan (3-30) menjadi :

$$F_{\beta}(r_0) = 2M \frac{\partial^2}{\partial \alpha \partial \beta} \int_S \log |\vec{r}_0 - \vec{r}| dS \quad (3-32)$$

atau

$$F_{\beta}(r_0) = 2k F_0 \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \int_S \log |\vec{r}_0 - \vec{r}| dS \quad (3-33)$$

dimana S adalah penampang benda

Terlepas dari efek badai magnetik yang kadang-kadang terjadi, medan magnet yang bervariasi mempunyai banyak penafsiran dalam eksplorasi. Tanpa variasi H atau Z ($\approx 7 \gamma / \text{mile}$) diperlukan koreksi data medan, kecuali survai pada daerah luas, misalnya airborne yang dikerjakan untuk eksplorasi minyak. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, perubahan penting terjadi pada medan utama sebagai variasi mineral magnetik yang dikandung batuan dekat permukaan. Anomali kadang-kadang cukup besar menambah medan utama.

Berdasarkan sifat medan magnet bumi dan sifat kemagnetan bahan pembentuk batuan, maka bentuk medan magnetik anomali yang ditimbulkan oleh penyebabnya tergantung kepada :

1. Inklinalasi medan magnet di sekitar benda penyebab.
2. Geometri dari benda penyebab.
3. Kecenderungan arah dipole-dipole magnet di dalam benda penyebab.
4. Orientasi arah dipole-dipole magnet benda penyebab terhadap arah medan bumi.

3.7 Penjelasan Teori Dinamo

Saat ini teori yang dapat menjelaskan adanya medan magnet bumi salah satunya adalah teori dinamo yang diusulkan oleh WM Elasser (1950). Teori dinamo menyatakan bahwa di dalam inti bumi ada suatu aksi dinamo oleh dirinya sendiri (*self-exciting dynamo actions*) yang dapat menimbulkan medan magnet bumi. Seperti

terlihat pada gambar 3.7.

Garis fluks magnet pada gambar terbelokkan oleh inti yang berrotasi menjadi gambar berikutnya. Kemudian garis tersebut lebih terdeformasi. Sehingga membentuk suatu toroidal loop yang terisolasi seperti terlihat pada gambar d. Toroidal loop ini akan menghasilkan arus listrik di saat dirinya terbentuk. Adanya arus listrik ini dapat disebabkan oleh variasi kimia ataupun variasi termal. Karena ada arus listrik inilah maka timbul medan magnet bumi. Meskipun teori dinamo ini sangat menarik dan diterima oleh para ilmuwan kebenarannya belum dapat dipastikan secara nyata.

Prinsip dari efek dinamo adalah sebagai berikut :

Kita menganggap sebuah cakram yang diandaikan sebagai inti bumi yang berputar relatif, terhadap gulungan kawat, sehingga timbul medan listrik yang kemudian menimbulkan arus listrik dalam koil, sehingga timbul beda potensial pada cakram :

$$\begin{aligned}\int E \, dr &= \int v \times B \, dr = \int B \, \omega \, r \, dr \\ &= 1/2 B \, \omega \, a^2\end{aligned}\quad (3-34)$$

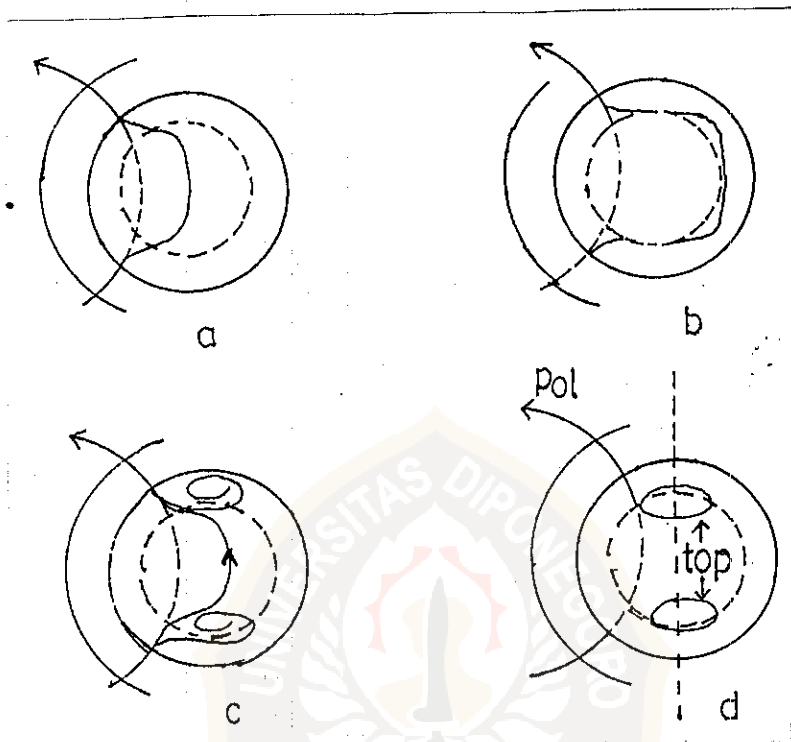
Impedansi dari rangkaian tersebut tergantung dari tahanan total R dan induksi diri dari koil L, sehingga

$$1/2 B \, \omega \, a^2 = IR + L \frac{\partial I}{\partial t}\quad (3-35)$$

Jika M adalah induktansi bersama cakram dan koil maka hubungan medan dengan arus adalah :

$$\pi a^2 B = M I$$

Substitusi ke persamaan (3-35)



Gambar 3.7 Self Exciting Dynamo

$$L \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right) = \left(\frac{M \omega}{2\pi R} \right) B \quad (3-36)$$

sehingga

$$B = B_0 \exp \left(t \cdot \frac{M \omega - 2\pi R}{2\pi L} \right) \quad (3-37)$$

(Parkinson 1983)

Jika medan B_0 menembus cakram pada waktu $t = 0$, medan B akan bertambah secara eksponensial jika $\omega > \omega_c$ dimana $\omega_c = 2\pi R/M$.

Pertambahan yang begitu besar adalah tidak sesuai dengan kenyataan. Penyelesaian persamaan (3-37) diperoleh dengan anggapan kecepatan sudut ω konstan, tanpa memperhatikan intensitas medan magnet. Karena gaya Lorentz berlawanan dengan arah rotasi, tentu saja torsi penggerak akan bertambah. Suatu pendekatan realistis adalah torsi penggerak konstan. Apabila medan magnet bertambah maka torsi juga bertambah besar sehingga ω berkurang sampai mencapai kesetimbangan pada kecepatan ω_c . Magnitude dari medan magnet tidak tergantung ω tetapi hanya tergantung torsi penggerak. (Parkinson 1983).

Meskipun bentuk dari cakram dinamo sangat berbeda dari inti bumi, namun pendekatan tersebut cukup baik menggambarkan proses dinamo dari inti bumi. Inti bumi bagian luar (outer core) berada di antara jari-jari 3.484 km sampai dengan 1.217 km yang terdiri dari logam cair (besi?) dengan sedikit campuran bahan lain seperti silikon dan sulfur yang mempunyai konduktivitas $6 \cdot 10^5$ mho/m dan rapat massa bertambah semakin dalam dari 9,9 sampai $12,2 \text{ mg/m}^3$.