

PENDUGAAN JENIS BATUAN BAWAH PERMUKAAN DAERAH BENDUNGAN KARANGKATES MENGGUNAKAN METODE GEOMAGNETIK

Faisol Mohammad Abdullah¹, Sunaryo², Adi Susilo³
¹⁾ Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Univ. Brawijaya
^{2,3)} Dosen Jurusan Fisika FMIPA Univ. Brawijaya
Email: faizz5075@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan studi geofisika dengan metode geomagnetik di daerah bendungan Karangates (Lahor-Sutami). Pengukuran dilakukan menggunakan *Proton Precession Magnetometer (PPM)* dimana spasi antar titik pengukuran 500 meter dan didapatkan sebanyak 88 titik ukur. Pengolahan data menggunakan *software Surfer* versi 10 dan *Mag2DC* untuk mendapatkan penampang model anomali magnetik. Diperoleh nilai anomali magnetik total berkisar antara -600 nT sampai dengan 1600 nT. Dari pemodelan yang telah dilakukan didapatkan beberapa jenis batuan yaitu berupa tuf pasir, batu apung dan lava.

Kata kunci: Metode geomagnetik, bendungan Karangates (Lahor-Sutami), jenis batuan

PENDAHULUAN

Metode geomagnetik merupakan metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik. Variasi ini disebabkan oleh adanya variasi distribusi batuan termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Selain itu variasi medan magnetik bisa disebabkan oleh adanya perubahan struktur geologi setempat.

Bendungan Karangates terletak di Desa Karangates, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang. Bendungan Karangates terdiri dari dua bagian yaitu bendungan Lahor yang didirikan pada tahun 1977 dan bendungan Sutami yang didirikan pada tahun 1981. Bendungan Karangates merupakan bendungan nasional kedua yang dibangun oleh Departemen Pekerjaan Umum setelah bendungan Jatiluhur di Purwakarta, Jawa Barat. Selain dibangun sebagai PLTA bendungan ini dirancang mampu mengendalikan banjir dan sebagai irigasi untuk wilayah setempat [5].

Melihat usia bendungan yang sudah berdiri puluhan tahun maka diperlukan studi geofisika untuk mengetahui jenis batuan bawah permukaan di sekitar bendungan, dalam hal ini menggunakan metode geomagnetik.

DASAR TEORI

Induksi magnetik B setara dengan medan magnetik H dimana kedua istilah tersebut digunakan untuk membedakan bahan magnetiknya. Dalam material linier didapatkan:

$$B = \mu H \quad (1)$$

Dimana dalam SI, baik B maupun H keduanya diukur dalam Tesla (T) atau ampere per meter (A/m). Dalam suatu medium hampa permeabilitas mutlak sama dengan μ_0 . Jadi suatu

medan magnetik H akan menciptakan kerapatan arus $B_0 = \mu_0 H$ dalam hampa. Untuk selanjutnya μ_0 ditentukan sama dengan $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$. Jadi, jika pada suatu titik dalam hampa kerapatan arus sama dengan B_0 , gaya yang berhubungan ialah B_0/μ_0 . Dalam kemagnetan kita mengenal suatu sifat dasar, yaitu kerentanan magnet (*magnetic susceptibility, k*) dalam hampa $k=0$. Magnitudo suatu medan magnet bergantung pada kerentanan magnet tersebut. Jadi medan magnet tersebut dapat ditulis sebagai intensitas magnet $I=kH$. Jadi, kerentanan magnet adalah suatu ukuran besar atau kecilnya suatu intensitas magnet. Suatu benda yang mudah terimbas oleh medan magnet luar memiliki kerentanan medan magnet tinggi. Oleh karena B dan H adalah vektor, maka dapat ditulis sebagai berikut [7]:

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2)$$

Tingkat kemagnetan suatu benda untuk dapat termagnetisasi disebut dengan suseptibilitas magnetik (k), dimana:

$$I = k H \quad (3)$$

I adalah intensitas magnet (T) dan H adalah kuat medan magnet (H). Di dalam penyelidikan magnet besarnya intensitas magnet suatu batuan ditentukan juga oleh faktor kerentanan (suseptibilitas) magnet k dari batuan tersebut, yaitu kemampuan dari suatu batuan dalam menerima sifat magnet dari medan magnet bumi. Kerentanan magnet k suatu batuan sebanding dengan konsentrasi kelompok mineral magnetik di dalam batuan tersebut. Dengan kata lain batuan yang sedikit atau sama sekali tidak mengandung mineral magnetik, akan mempunyai intensitas magnet yang kecil, sehingga untuk batuan yang telah mengalami ubahan (alterasi) atau pelapukan, intensitasnya akan rendah [6].

Nilai dari suseptibilitas berbeda dengan nilai yang diberikan oleh permeabilitas. Hubungan antara permeabilitas dan suseptibilitas dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$\mu = 1 + 4\pi k \quad (4)$$

dengan μ adalah permeabilitas batuan, sedangkan k adalah suseptibilitas batuan. Berdasarkan nilai suseptibilitas (k) tersebut, maka diklasifikasikan beberapa material yang memiliki sifat magnetik. Hal tersebut didasarkan pada bagaimana material itu bereaksi terhadap medan magnet luar [6].

Dalam kemagnetan ada suatu besaran yang disebut Koenigsberger (*Koenigsberger ratio*, Q_n) yang dirumuskan:

$$Q_n = M_n/kT \quad (5)$$

Dimana

Q_n = *Koenigsberger ratio*

M_n = Intensitas Kemagnetan Sisa

kT = Imbasan Kemagnetan

Jumlah momen magnet m dari suatu batuan dapat dihitung dari suatu anomali magnet yaitu dengan pengertian bahwa m adalah jumlah vektor momen yang disebabkan oleh kemagnetan terimbas dan kemagnetan sisa. Jika V adalah volume dari suatu massa, maka:

$$m = V kT + V M_n \quad (6)$$

Jika T dan M_n sejajar maka:

$$m = V kT + V Q kT \quad (7)$$

dari persamaan (6) maka diperoleh:

$$V = \frac{m}{(1+Q)T} \quad (8)$$

Jika kemagnetan sisa dihilangkan yaitu $Q = 0$, volume V akan semakin besar, ini dapat dilihat dari persamaan 7. Bila T dan M_n berlawanan arah dan menghilangkan kemagnetan sisa [7], maka:

$$V = m/k(1-Q)T \quad (9)$$

Deklinasi ialah sudut antara geografi dan utara magnet. Inklinasi ialah sudut antara magnet datar dengan magnet total. Hubungan antara unsur magnet adalah sebagai berikut:

$$H = F \cos I \quad Z = F \sin I = H \tan I$$

$$X = H \cos D \quad Y = H \sin D$$

$$X^2 + Y^2 = H^2 \quad X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2 = F^2 \quad (10)$$

Dalam pengukuran magnetik di lapangan akan tertangkap semua medan magnet yang dihasilkan oleh berbagai sumber. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi terhadap hasil pengukuran lapangan [1]. Beberapa koreksi yang perlu dilakukan antara lain sebagai berikut.

a. Koreksi Harian (Diurnal)

Koreksi Diurnal adalah penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dan efek sinar matahari dalam satu hari. Koreksi harian adalah koreksi yang dilakukan terhadap data magnetik terukur untuk menghilangkan

pengaruh medan magnet luar atau variasi harian. koreksi diurnal ini dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H_D = \frac{(t_n - t_{aw})}{(t_{akh} - t_{aw})} (H_{akh} - H_{aw}) \quad (11)$$

Dimana

t_n = t pada titik n

t_{aw} = t awal

t_{akh} = t akhir

H_{akh} = Nilai medan magnet di titik akhir

H_{awl} = Nilai medan magnet di titik awal

b. Koreksi Normal (IGRF)

Koreksi IGRF adalah koreksi yang dilakukan terhadap data medan magnet terukur untuk menghilangkan pengaruh medan utama magnet bumi. Dalam hal ini sudah tersedia peta magnetik dan koreksi didasarkan atas koordinat titik pengukuran masing-masing [1].

Nilai IGRF ini yang akan digunakan dalam pengolahan terhadap koreksi IGRF, dimana nilai koreksi IGRF ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$H\alpha = Hrata^2 - H_{var} - H_{IGRF} \quad (12)$$

Dimana:

$H\alpha$ = Anomali medan magnetik total

$Hrata^2$ = Nilai rata-rata H di tiap stasiun

H_{var} = Koreksi variasi harian

H_{IGRF} = Koreksi IGRF (45300nT)

c. Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi keatas merupakan proses medan potensial magnetik suatu data yang terukur diatas permukaan yang lebih tinggi. Kontinuasi ini digunakan untuk memisahkan anomali lokal terhadap anomali regional. Anomali regional berasosiasi dengan kondisi geologi umum yang dominan di daerah pengukuran, di cirikan dengan anomali frekuensi rendah. Sedangkan anomali lokal, atau sering juga disebut sebagai anomali sisa, mengandung kondisi geologi setempat yang telah terdeviasi dari kondisi regionalnya yang biasanya terdapat pada kedalaman yang dangkal [2].

d. Reduksi ke Kutub

Untuk melokalisasi daerah dengan anomali maksimum atau minimum tepat berada di atas tubuh benda penyebab anomali maka dilakukan reduksi ke kutub dengan cara melokalisasi kenampakan *dipole* menjadi kenampakan *monopole* dimana posisi benda menjadi tepat di bawah klosur utama.

Reduksi ke kutub merupakan teknik pengolahan data yang intensitas magnet total menginduksi medan magnet yang memiliki inklinasi 90°. Reduksi ke kutub mengasumsikan bahwa batuan yang ada pada daerah survei adalah

magnetisasi paralel terhadap medan magnet yang ada di bumi [3].

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: *Proton Precession Magnetometer (PPM) type GEOMETRICS G-856 Memory-Mag™ PPM*, GPS Garmin, Kompas, Penunjuk waktu (jam), Alat tulis, Peta geologi, Perangkat komputer dengan instalasi *software MS. Word, MS. Excel, Surfer 10, Magpick dan Mag2dc*.

Pada saat pengambilan data magnetik peneliti menggunakan metode loop tertutup, dengan artian satu siklus pengukuran diawali dan diakhiri pada tempat yang sama. Koreksi diurnal merupakan penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dalam satu hari, sedangkan proses pengukuran menggunakan metode magnetik ini tidak selesai dalam satu waktu. Kemudian titik-titik (spasi) diatur sejarak 500 meter akan tetapi jarak antar titik-titik tersebut sewaktu-waktu bisa berubah dikarenakan titik-titik tersebut mengikuti jalur-jalur yang memungkinkan untuk bisa dilewati.

Tahapan pengolahan data dan interpretasi data yaitu pertama kali harus dilakukan koreksi harian (diurnal) dan IGRF dengan menggunakan *software Microsoft Excel*. Dimana koreksi harian diperoleh dari pembacaan nilai medan total harian yang dilakukan di titik acuannya pada kurun waktu tertentu dikurangkan dengan nilai pembacaan rata-ratanya sedangkan IGRF didapatkan dengan mengurangkan nilai medan total pembacaan dengan nilai dari koreksi harian dan koreksi IGRF-nya.

Setelah di dapatkan nilai anomali magnetik total, kemudian dibuat peta kontur dari daerah penelitian menggunakan perangkat lunak *Surfer 10*, sehingga dapat diketahui gambaran dasar dari daerah penelitian. Dengan bantuan *software Magpick*, peta anomali tersebut kemudian direduksi ke bidang datar dan di kontinuasi ke atas untuk menghilangkan pengaruh topografinya. Sehingga dapat diketahui anomali sisanya yang merupakan pengurangan dari anomali magnetik hasil pengamatan dikurangkan dengan hasil kontinuasi ke atasnya. Nilai anomali magnetik sisa tersebut kemudian ditransformasi reduksi ke kutub dan gradien horizontal menggunakan *software Magpick* dan di dapatkan peta kontur anomali magnetik yang telah ditransformasi. Dengan peta kontur anomali magnetik tersebut dapat dilihat pola anomali magnetik baik sebelum dilakukan transformasi reduksi ke kutub maupun setelah dilakukan transformasi *Reduction to pole*.

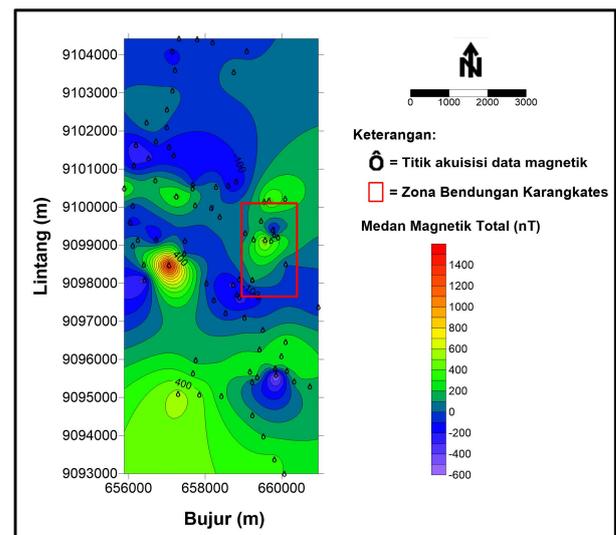
Setelah diperoleh hasil transformasi ke kutub, kemudian di lakukan pemodelan menggunakan *software Mag2dc* untuk mengetahui struktur bawah permukaan dengan memasukkan nilai inklinasi, deklinasi, latitude dan longitude posisi penelitian serta nilai anomali magnetiknya. Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan *software Mag2dc* dengan meminimalisir nilai kesalahan yang diperoleh.

Kemudian untuk interpretasi dilakukan dengan menggunakan kualitatif dan kuantitatif. Dimana interpretasi kualitatif bertujuan untuk menganalisis peta kontur anomali magnet total dan kontur anomali magnet sisa. Sedangkan interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menyamakan hasil anomali yang diperoleh pada penelitian dan hasil yang diperoleh di *software Mag2dc*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Interpretasi Kualitatif

Berikut ini merupakan bentuk kontur anomali magnetik total dari hasil perhitungan dan bentuk pemodelan *Surfer*.



Gambar 1. Peta kontur anomali medan magnetik total

Gambar di atas menunjukkan nilai anomali medan magnetik total yang berada pada kisaran -600 nT hingga 1600 nT yang dikelompokkan menjadi anomali rendah-sedang (klosur kontur yang berwarna biru-hijau) dan anomali tinggi (klosur kontur berwarna kuning-merah). Tampak bahwa di sekitar area/zona bendungan Karangates menunjukkan adanya anomali rendah-sedang yang berkisar antara -600 nT hingga 500 nT.

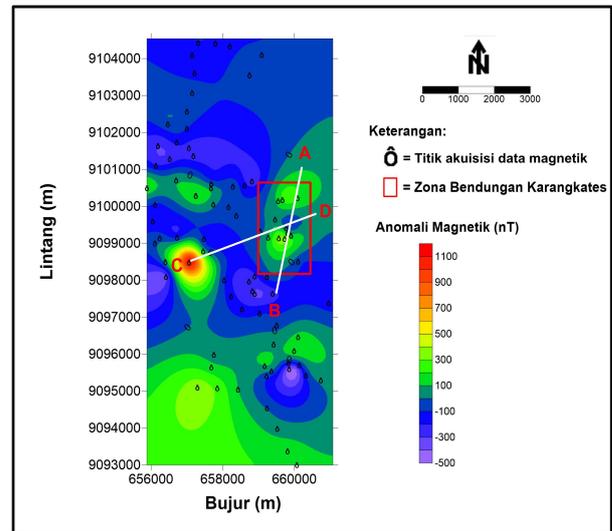
Kenampakan kontur tersebut di atas masih merupakan gabungan antara anomali regional dan anomali lokal sehingga kontur anomali lokal (residual) yang menjadi target penyelidikan perlu

didapatkan untuk dilakukan pemodelan lebih lanjut dengan mekanisme standar yang umumnya dilakukan. Diantaranya harus dilakukan terlebih dahulu proses reduksi bidang datar, karena salah satu faktor yang mempengaruhi nilai intensitas medan magnet dari suatu pengukuran adalah adanya pengaruh dari permukaan termagnetisasi daerah pengukuran terhadap nilai magnetik yang diukur. Kontinuasi ke atas dilakukan untuk memisahkan anomali regional dan anomali lokal, dimana proses ini dimaksudkan agar diperoleh pola anomali magnetik regional yang lebih halus (*smooth*) sehingga anomali lokal lebih terlihat dan dapat diketahui benda-benda yang menyebabkan anomali. Transformasi reduksi ke kutub yang dapat mentransformasikan vektor kemagnetan sehingga mempunyai arah vertikal seperti ketika dilakukan pengukuran di kutub. Transformasi reduksi ke kutub ini dapat menghasilkan suatu pola anomali magnetik yang bersifat monopul yang diharapkan dapat lebih memudahkan proses interpretasi. Gradien horizontal untuk menentukan informasi tentang lokasi dari benda anomali pada daerah penelitian.

b. Interpretasi Kuantitatif

Proses selanjutnya adalah dilakukan interpretasi secara kuantitatif yaitu dengan menganalisis pola penampang dari anomali magnet sisa dari lintasan yang telah ditentukan.

Untuk membuat model struktur bawah permukaan pada daerah penelitian dengan menggunakan perangkat lunak *Mag2dc* proses pertama adalah memasukkan nilai inklinasi dan deklinasi yaitu IGRF yaitu 45124.9 nT, inklinasi -33.7°, deklinasi 1.31°, dan kedalaman maksimum yang diinginkan dan satuan yang digunakan. Setelah itu diperlukan data masukan berupa nilai jarak lintasan (meter) dan nilai anomali sisa (nT), maka akan muncul bentuk model berupa garis putus-putus dan garis tegas. Pada penelitian ini, dibuat dua lintasan yang akan diteliti yaitu penampang AB dan CD. Dapat dilihat pada Gambar 2. dibawah ini.



Gambar 2. Peta kontur anomali magnet sisa lintasan AB dan CD

Dalam setiap pemodelan struktur bawah permukaan besarnya eror harus diperhatikan. Semakin kecil presentase eror yang didapatkan, maka semakin tinggi tingkat keakuratan dari model yang dihasilkan. Adapun semakin besar presentase eror yang didapatkan, maka tingkat keakuratan dari model yang dihasilkan akan semakin kecil.

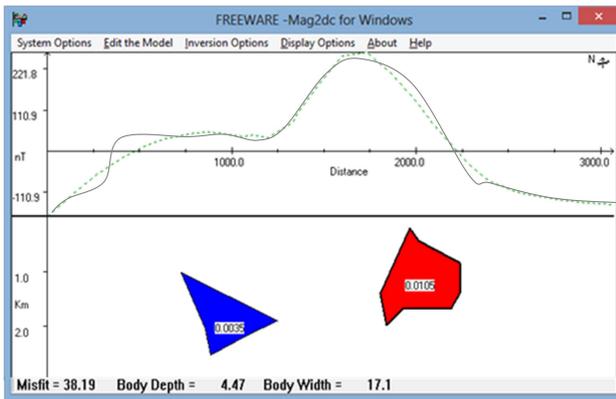
Untuk mengetahui nilai eror dari model hasil interpretasi lintasan, maka digunakan persamaan di bawah ini [4],

$$R_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{XL_i - XM_i}{XL_i} \times 100 \% \quad (13)$$

Dimana,

- R_M : Ralat atau nilai eror rata-rata
- X_L : Data lapangan (*observed field*)
- X_M : Data hasil model (*calculated field*)
- n : Jumlah data

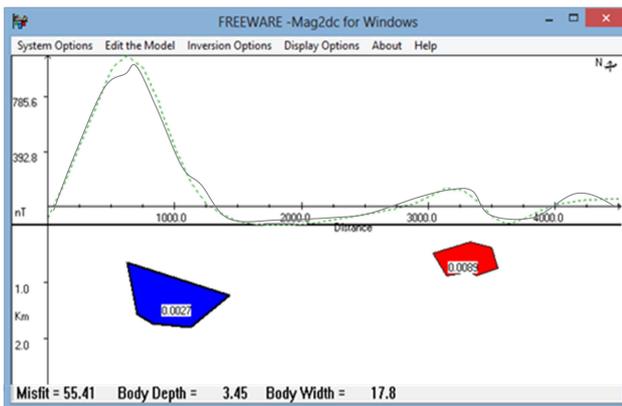
Model penampang melintang anomali sisa lintasan AB digambarkan pada Gambar 3. terdiri dari sumbu Y negatif, sumbu Y positif dan sumbu X. Pada Gambar 3. sumbu Y positif merupakan nilai anomali magnet dari hasil pengamatan (nT), sumbu Y negatif merupakan kedalaman dari permukaan yang akan diamati yang pada pemodelan ini menggunakan kedalaman maksimum mencapai 3 km. Sumbu X merupakan jarak lintasan pengamatan (meter) mulai titik A sampai dengan titik B.



Gambar 3. Model penampang melintang hasil interpretasi lintasan AB

Kontras suseptibilitas yang didapat memiliki nilai yang berkisar 0.0035 dan 0.0105, diindikasikan untuk lintasan AB didominasi oleh tuf pasir (*sandy tuf*) pada kedalaman ± 1 km sampai kedalaman ± 2.5 km dan ditemukan juga lava pada kedalaman ± 0.25 km sampai ± 2 km.

Gambar 4. dibawah merupakan penampang melintang anomali sisa untuk lintasan CD. Sebagaimana pada lintasan AB, penentuan lintasan CD ini juga didasarkan pada interpretasi secara kualitatif dari kontur anomali sisa.



Gambar 4.12 Model penampang melintang hasil interpretasi lintasan CD

Kontras suseptibilitas yang didapat memiliki nilai yang berkisar 0.0027 dan 0.0089, diindikasikan untuk lintasan CD didominasi oleh batuan sedimen yang berupa tuf pasir pada kedalaman ± 0.5 km sampai ± 1.8 km. Sementara di area sekitar bendungan diduga juga terdapat batu apung (*pumice*) ($k=0.0089$) pada kedalaman ± 0.25 sampai ± 1 km.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data, interpretasi dan analisis dengan menggunakan metode geomagnetik di daerah bendungan Karangates (Lahor dan Sutami) dapat disimpulkan yaitu diperoleh nilai anomali

magnetik total berkisar antara -600 nT sampai dengan 1600 nT. Dari pemodelan yang telah dilakukan didapatkan beberapa jenis batuan yaitu berupa tuf pasir, batu apung dan lava. Dari diindikasikan beberapa jenis batuan ini dapat dijadikan informasi untuk melihat ketahanan bendungan yang keberadaannya sangat bermanfaat sebagai PLTA maupun pengairan untuk pertanian penduduk setempat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Geomagnet, T., 1990. *Survey Geomagnet*. ITB : Bandung.
2. Musyafak dan Bagus, 2007. *Interpretasi Metode Magnetik Untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan di Sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri*. Tesis S2. ITS. Surabaya.
3. Risdiasari, F. 2010. *Analisis Zona Potensi Panasbumi Daerah Waesekat, Kabupaten Buru Selatan, Maluku Berdasarkan Data Magnetik*. Fakultas MIPA UB : Malang.
4. Sunaryo. 2001. *Pendugaan Struktur Kantong Magma Gunung Api Kelud Berdasarkan Survei Magnetik*. Tesis, UGM Yogyakarta.
5. Sunaryo, Adi Susilo. 2014. *Vulnerability of Karangates Dams Area by Means of Zero Crossing Analysis of Data Magnetic*. 4 th International Symposium on Earthquake and Disaster Mitigation (ISED 2014), 060007-1
6. Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press : Cambridge.
7. Untung, M., 2001. *Dasar-Dasar Magnet Dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.