

**PENERAPAN METODE VERY LOW FREQUENCY (VLF)
PADA LOKASI ANOMALI GEOMAGNETIK RENDAH**
Bulkis Kanata¹, Teti Zubaidah² dan Oki Prio Susanto²

ABSTRACT

The research with title Evaluation of measurement result of geomagnetic anomaly in Lombok island, west nusa tenggara and analysis of its relation with gravitation anomaly and prediction of local geology (Zubaidah, 2005) in area about 25 x 30 km² result a isogam map, which known that the minimum geomagnetic anomaly equal to 558,194413 nT located in Seganteng, West Lombok (08°35'46,2" LS, 116°08'10,9" BT).

Very Low Frequency Method is one of Geophysics methods that use magnetic component of electromagnetics field which is caused by radio broadcaster use Frequency 15-30 kHz. VLF Method applied to know characteristic around the minimum geomagnetic anomaly in the form result of current density image which able to show conductive or it's not a measurement area.

This VLF Acquisition conducted to know the zona of conductive layer as long as 2500 metres from south to north pass the minimum geomagnetic anomaly. The tilt data processing is done use Moving Average method and Linear filter with use Matlab 6.1. The Result of data processing show the contour of current density with depth/space = 8 or maximum deep is 160 metres with conductive area is spread near the minimum geomagnetic anomaly which is estimated much water

Key words: *Very Low Frequency, conductive, current density contour, Linear Filter, Moving Average.*

INTISARI

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul "Evaluasi Hasil Pengukuran Anomali Geomagnet di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat dan Analisis Hubungannya dengan Anomali Gravitasi serta Tafsiran Geologis Lokal" (Zubaidah, 2005) pada area sekitar 25 x 30 km² diperoleh peta isogam dengan titik anomali geomagnetik minimum sebesar 558,194413 nT yang berada di Seganteng, Lombok Barat (08°35'46,2" LS, 116°08'10,9" BT).

Metode *Very Low Frequency* merupakan salah satu metode dalam Geofisika yang memanfaatkan komponen magnetik dari medan elektromagnet yang ditimbulkan oleh pemancar radio menggunakan frekuensi sangat rendah yaitu 15–30 kHz. Metode VLF diterapkan untuk mengetahui gambaran di sekitar daerah anomali geomagnetik minimum berupa hasil pencitraan rapat arus yang dapat menunjukkan sifat konduktif atau tidaknya daerah pengukuran.

Akuisisi VLF ini dilakukan untuk mengetahui zona lapisan konduktif pada lintasan sepanjang 2500 meter ke arah selatan dan utara melewati titik anomali geomagnetik minimum. Pengolahan data dilakukan dengan metode *Moving Average* dan *Filter Linear* atas data *tilt* menggunakan *Software Matlab 6.1*. Hasil pengolahan data *tilt* menunjukkan kontur rapat arus dengan *depth/spasi* = 8 atau kedalaman maksimum 160 meter dengan daerah konduktif tersebar dekat titik anomali geomagnetik minimum yang diduga banyak mengandung air.

Kata kunci: *Very Low Frequency, konduktif, kontur rapat arus, Filter Linear, Moving Average.*

PENDAHULUAN

Metode *Very Low Frequency* (VLF) merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan komponen magnetik dari medan elektromagnet yang

ditimbulkan oleh pemancar radio yang menggunakan gelombang frekuensi sangat rendah (15-30 kHz) yang biasa digunakan dalam eksplorasi mineral (Utama, 2005).

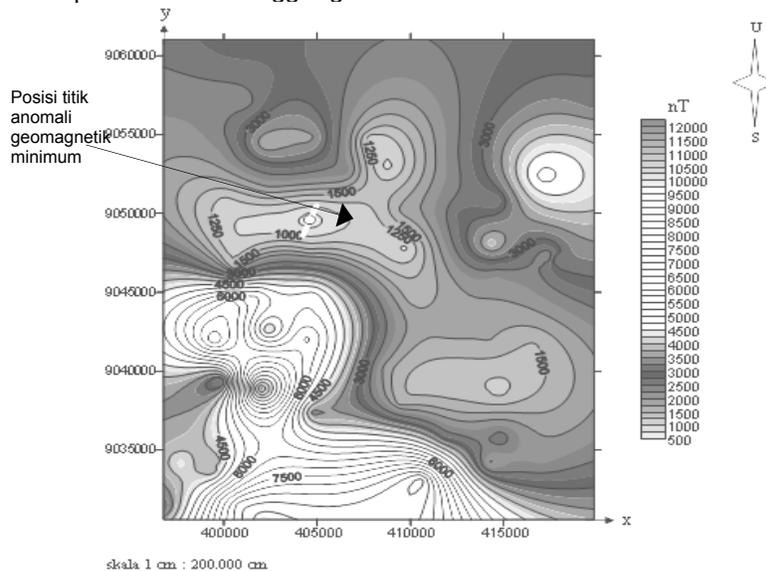
¹ Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram, uqinata@yahoo.co.id

² Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram, tetizubaidah@yahoo.com

Teknik pengukuran pada VLF ini memanfaatkan medan elektromagnetik yang berasal dari sumber yang tidak secara sengaja dibangkitkan oleh pemancar radio di sekitar daerah observasi. Gelombang menjalar melalui permukaan bumi sebagai gelombang tanah (*ground wave*) dan melalui lapisan ionosfer sebagai *sky wave* yang mengalami pemantulan dan pembiasan sehingga gelombang

VLF mampu merambat sampai tempat yang jauh dari pemancar.

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul "Evaluasi Hasil Pengukuran Anomali Geomagnet di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat dan Analisis Hubungannya dengan Anomali Gravitasi serta Tafsiran Geologis Lokal" (Zubaidah, 2005) diperoleh Peta Isogam seperti Gambar 1.



Gambar 1. Peta isogam

Peta Isogam tersebut merupakan hasil penelitian pada daerah sigian yang dibatasi area sekitar 25 x 30 km² yang berada di daerah kota Mataram, beberapa daerah di Kabupaten Lombok Barat dan Lombok Tengah, dengan titik anomali geomagnetik minimum sebesar 558,19 nT. Penelitian ini di khususkan pada daerah anomali geomagnetik rendah yang berada di Seganteng, Cakra-

negara menerapkan metode VLF yang pengukurannya dilakukan sepanjang 2500 meter dengan spasi 20 meter (1240 meter ke arah utara dan 1260 meter ke arah selatan titik anomali geomagnetik minimum) yang ditandai dengan garis putih pada Gambar 1. Lintasan penelitian tersebut ditunjukkan pada potongan peta geologi pulau Lombok Gambar 2.



Gambar 2. Posisi lintasan penelitian pada peta geologi pulau Lombok
Sumber: Peta Geologi dan Bahan Galian Nusa Tenggara Barat 1994

Metode VLF diterapkan untuk mengetahui gambaran lebih rinci di sekitar daerah anomali minimum berupa hasil pencitraan rapat arus yang dapat menunjukkan sifat konduktif atau tidaknya lokasi pengukuran.

Metode elektromagnet (EM) merupakan metode yang biasa digunakan dalam eksplorasi mineral. Metode elektromagnet memiliki dua macam metode pengukuran, yaitu metode pengukuran aktif dan pasif. Pada metode pengukuran aktif, medan elektromagnetik sengaja dibangkitkan di sekitar daerah pengukuran. Metode pengukuran pasif, memanfaatkan medan elektromagnet yang berasal dari sumber yang tidak sengaja dibangkitkan di sekitar daerah pengukuran. Salah satu contoh metode pasif adalah metode *Very Low Frequency (VLF)* dengan frekuensi rendah, 15-30 kHz yang bersumber dari pemancar yang terdapat di beberapa negara seperti; Australia, Prancis, Amerika dan Jepang.

Metode VLF ini mengukur besaran-besaran yang berkaitan dengan perubahan komponen-komponen medan magnet akibat adanya perubahan konduktivitas. Medan primer yang berasal dari pemancar, menembus bumi dan jika mengenai konduktor akan menimbulkan arus imbas dalam konduktor yang bersifat sebagai sumber baru. Arus imbas ini akan menimbulkan gelombang elektromagnet sekunder yang menjalar ke permukaan bumi dan berinterferensi dengan gelombang elektromagnetik primer. Hasil interferensi dari kedua gelombang elektromagnetik tersebut dinamakan gelombang elektromagnetik total (Utama, 20-05).

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul "Evaluasi Hasil Pengukuran Anomali Geomagnet di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat dan Analisis Hubungannya dengan Anomali Gravitasi serta Tafsiran Geologis Lokal" menunjukkan bahwa daerah dengan nilai anomali minimum terdapat di daerah Mataran, Seganteng, Cakranegara yang besarnya adalah 558,19 nT. Penemuan titik anomali minimum ini diduga berhubungan dengan struktur tanah bawah permukaan bersifat konduktif.

Very Low Frequency (VLF) bekerja dengan konsep elektromagnet yang didalamnya terdapat medan magnet dan medan listrik. Persamaan Maxwell dalam bentuk hubungan vektor medan listrik dan medan magnet dapat digunakan untuk memahami perambatan gelombang elektromagnetik VLF. Dua persamaan Maxwell untuk medan yang berubah terhadap waktu adalah:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \dots\dots\dots(1)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

- J = Rapat arus (*ampere/meter²*)
- E = Intensitas medan listrik (*Volt/Meter*)
- B = Kerapatan fluks magnet (*weber/meter²*)
- H = Intensitas medan magnet (*ampere/meter*)
- D = Pergeseran listrik (*Coloumb/meter²*)

Medan magnet primer di suatu titik dekat konduktor yang dihasilkan oleh arus I_p yang mengalir pada pemancar dapat dituliskan sebagai:

$$H_p = Ki_p = KI_p \sin \omega t \dots\dots\dots(3)$$

dengan K adalah konstanta yang bergantung pada geometri sistem, luas dan jumlah lilitan kumparan serta atenuasi gelombang, sedangkan ω adalah frekuensi sudut gelombang.

Akibat adanya medan ini, pada konduktor akan timbul GGL induksi yang ketinggalan fase sebesar $\pi/2$ di belakang medan primer. Hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$e_s = -M \frac{di_p}{dt} = \frac{-i\omega MH_p}{K} \dots\dots\dots(4)$$

dengan M adalah induktansi timbal balik (*mutual inductance*) antara pemancar dan konduktor, sehingga arus induksi yang mengalir dalam konduktor dapat dituliskan menjadi:

$$I_s = \frac{e_s}{z_s} = \frac{e_s}{(r_s + i\omega L_s)} \dots\dots\dots(5)$$

dengan $z_s = (r_s + i\omega L_s)$ adalah impedansi efektif dari konduktor yang memiliki tahanan r_s dan induktansi L_s .

Arus induksi ini akan menghasilkan medan magnet sekunder yang ditangkap oleh penerima sebagai:

$$H_s = K' i_s = \frac{-K' i \omega M H_p}{K (r_s + i \omega L_s)} - \frac{K' M H_p (Q^2 + i Q)}{K L_s (1 + Q^2)} \dots\dots(6)$$

Dengan $Q = \omega L_s / r_s$ dan K' adalah konstanta seperti halnya K , jika medan magnet primer di penerima adalah:

$$H_p' = K'' i_p = K'' \frac{H_p}{K} \dots\dots(7)$$

dengan K'' adalah konstanta seperti halnya K dan K' , maka besar relatif perbandingan antara medan primer dan medan sekunder dalam penerima adalah:

$$\left| \frac{H_s}{H_p} \right| = \frac{K' i_s}{K'' i_p} = \frac{K' M}{K'' L_s} \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{Q^2}\right)^{1/2}} \dots\dots(8)$$

Beda fase antara medan primer dan medan sekunder dapat ditulis sebagai:

$$\theta_p - \theta_s = \left(\frac{\pi}{2} + \phi \right) \dots\dots(9)$$

dengan $\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L_s}{r_s} \right)$, terjadinya

ketinggalan fase sebesar $\pi/2$ disebabkan oleh adanya *inductive coupling* antara pemancar dengan konduktor. Sedangkan tambahan ketinggalan fase sebesar ϕ disebabkan oleh sifat konduktor sebagai rangkaian listrik. Dengan demikian medan sekunder di penerima adalah

$$H_s = K' I_s \sin \left\{ \omega t - \left(\frac{\pi}{2} + \phi \right) \right\} = -K' I_s \cos(\omega t + \phi) \dots\dots(10)$$

Pada konduktor yang baik,

$$Q = \frac{\omega L_s}{r_s} \rightarrow \infty, \text{ maka } \phi \rightarrow \pi/2 \dots\dots(11)$$

pada kondisi ini fase medan sekunder tertinggal sebesar π di belakang medan primer. Pada konduktor yang buruk,

$$Q = \frac{\omega L_s}{r_s} \rightarrow 0, \text{ maka } \phi \rightarrow 0 \dots\dots(12)$$

pada kondisi ini fase medan sekunder tertinggal $\pi/2$ di belakang medan primer.

Sinyal VLF yang dipancarkan oleh pemancar VLF mempunyai daya radiasi tertentu. Besar daya radiasi pemancar VLF dapat didekati dengan persamaan:

$$P = 7 \times 10^{-13} V^2 C^2 h_e^2 f^4 \dots\dots(13)$$

dimana:

- V = tegangan yang melalui antena (*Volt*)
- C = kapasitansi antena termasuk di puncaknya (*Farad*)
- h_e = ketinggian efektif antena (*meter*)
- f = frekuensi yang dioperasikan (*kHz*)

Sedangkan harga komponen medan listrik dan medan magnet pada jarak tertentu dari pemancar dengan asumsi tanah adalah penghantar sempurna dan datar:

$$E = 9,5 \frac{\sqrt{P}}{r} \dots\dots(14)$$

$$H = \frac{E}{\eta_0} \dots\dots(15)$$

dengan,

- P = daya radiasi dari pemancar (*Watt*)
- E = intensitas medan listrik (*Volt/meter*)
- H = intensitas medan magnet (*Ampere/meter*)
- r = jarak dari pemancar (*meter*)
- η_0 = impedansi intrinsik ruang hampa ($120 \pi \text{ ohm}$)

Pada kondisi bumi sebenarnya, pengandaian diatas tidak tepat. Ada beberapa faktor utama yang berpengaruh yang harus dipertimbangkan, yaitu bumi adalah bulat (*sferis*) bukan datar (*flat*) dan dikelilingi oleh ionosfer. Efek dari bumi sferis ini mengakibatkan semakin berkurangnya sinyal yang dipancarkan. Sedangkan ionosfer mengakibatkan sinyal VLF dapat dideteksi pada jarak yang jauh. Hal ini disebabkan oleh keberadaan elektron bebas dalam ionosfer menyebabkan reaksi sebagai lapisan pemantul pada frekuensi sangat rendah. Sumber gangguan pada VLF adalah sumber eksternal yang dihasilkan oleh radiasi medan elektromagnetik ketika terjadi petir di atmosfer dan menyebabkan laju atenuasi pada fekuensi VLF dapat

menjadi rendah secara ekstrim (Rulita, 2002).

Data tilt hasil pengukuran merupakan superposisi antara sinyal yang berasal dari anomali dan gangguan (*noise*) dari struktur lokal yang tidak diharapkan. Gangguan dari struktur lokal biasanya berfrekuensi tinggi, sehingga untuk menghilangkannya dilakukan penapisan yang disebut penghalusan matrik (*matrix smoothing*). Dalam penelitian ini penghalusan matrik menggunakan teknik rata-rata bergerak (*moving average*). Dengan kata lain metode rata-rata bergerak (*moving average*) digunakan untuk menghaluskan fluktuasi yang terjadi pada data dengan menggunakan persamaan (Supranto, 1977):

$$S_{t+1} = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-(n-1)}}{n} \dots\dots(16)$$

Dengan.

S_{t+1} = Forecast untuk data ke t+1

X_t = Data pada periode t

n = orde *moving average*

Dalam kasus dua dimensi pada konduktor yang panjang, arus induksi be-

rupa garis-garis panjang tak terhingga tegak lurus dengan lintasan pengukuran. Komponen vertikal dari medan magnet disebabkan oleh rapat arus *I* menurut Hukum *Biot-Savart*.

Percobaan dengan berbagai nilai koefisien filter telah dilakukan oleh Karous-Hjelt, dalam penelitian ini digunakan filter dengan koefisien orde 1 dengan bentuk numeris sebagai berikut:

$$\frac{\Delta Z}{2\pi I_a} = (0.115 * H(k) - 1.383 * H(k+1) + 1.383 * H(k+2) - 0.115 * H(k+3)) \dots\dots\dots(17)$$

dengan:

ΔZ = Jarak Spasi antara nilai data yang juga menyatakan kedalaman semu dari Rapat Arus semu (I_a)

$H(k)$ = Nilai data *Tilt* pada stadium ke $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

I_a = Rapat arus (%) (2.18)

Untuk nilai koefisien orde *filter linear Karous-Hjelt* yang lain dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Filter untuk Beberapa Nilai n (Karous-Hjelt, 1983)

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n										
0	1.25									
1	1.383	-0.115								
2	1.446	-0.323	-0.205							
3	1.434	-0.299	-0.109	0.102						
4	1.434	-0.298	-0.116	-0.002	0.116					
5	1.434	-0.299	0.109	-0.013	0.027	0.02	0.019	0.022	0.022	0.081

Nilai koefisien filter Tabel 1 hanya setengah dari jumlah koefisien sebenarnya. Untuk setiap koefisien dikalikan (-1) pada saat proses pemfilteran.

Pelaksanaan penelitian di lapangan dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mencari informasi Geologi menyangkut kondisi tanah dan yang terdapat di lokasi pengukuran.
2. Penentuan posisi menggunakan GPS, dengan menggunakan alat ini dilakukan pengukuran titik terhadap garis lintang dan garis bujur didaerah anomali geomagnetik rendah. GPS ini digunakan untuk menentukan titik

ujung selatan, dan titik ujung utara lintasan penelitian serta titik anomali minimum.

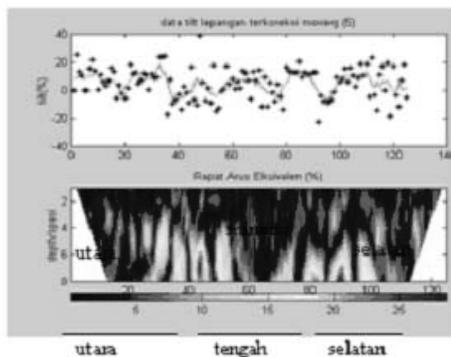
3. Melakukan pengukuran data tilt (%) menggunakan VLF *Envi Scintrex* yang dimulai dari titik anomali minimum, bergerak ke titik ujung selatan dan berhenti di tiap 20 meter untuk melakukan pengambilan data, setelah pengambilan data ke selatan selesai kemudian dilakukan pengambilan data dari titik anomali minimum

- bergerak ke titik ujung utara dan berhenti di tiap 20 meter untuk melakukan pengambilan data.
- Pengolahan data dengan bantuan Software Matlab 6.1 menggunakan Moving average 5 dan filter *linear Karous-Hjelt* untuk menggambarkan citra rapat arus bawah permukaan yang diukur yang mana hasilnya berupa peta kontur rapat arus.
 - Melakukan analisa peta kontur rapat arus untuk mengetahui lapisan konduktif pada daerah penelitian.

PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan dilakukan dengan panjang lintasan 2500 meter, spasi 20 meter, 63 titik ke arah selatan dan 62 titik ke arah utara titik anomali minimum.

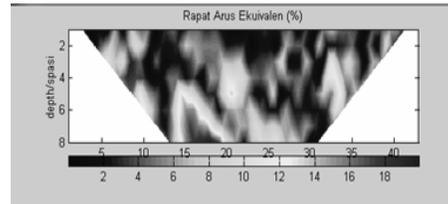
Citra rapat arus pada Gambar 3 merupakan pengolahan data *tilt* dengan *moving average* 5. Daerah dengan rapat arus lebih besar dari 15 % (citra warna merah) yang menunjukkan daerah ini lebih konduktif dari sekitarnya, sedangkan daerah dengan nilai rapat arus lebih rendah dari 15% (citra warna biru) merupakan daerah dengan rapat arus rendah



Gambar 3. Kontur rapat arus lintasan pengukuran dengan moving average 5

Agar lebih jelas lintasan pengukuran dengan *moving average* 5, dibagi menjadi 3 bagian:

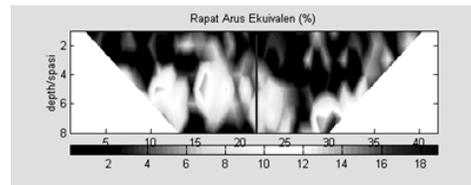
- Bagian selatan
Gambar 4. Citra warna kuning hingga merah dengan nilai rapat arus di atas 12% menunjukkan daerah yang lebih konduktif dari citra warna biru.



Gambar 4. Kontur rapat arus sebelah selatan dengan Moving Average 5

- Bagian tengah

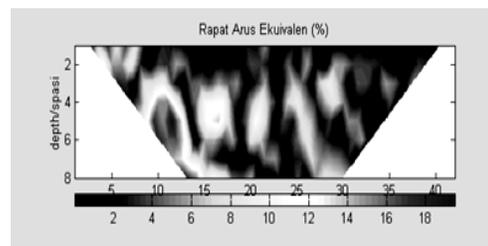
Pada Gambar 5 merupakan daerah bagian tengah lintasan pengukuran dari utara ke selatan dengan panjang lintasan 840 m. Gambar 5 memperjelas lintasan pada Gambar 3 disekitar titik anomali minimum. Garis merah vertikal menunjukkan lokasi titik anomali geomagnetik minimum. Citra warna kuning hingga merah menunjukkan nilai rapat arus lebih tinggi (lebih besar 12%) dibanding citra warna biru (lebih kecil 12 %). Citra warna kuning hingga merah bersifat lebih konduktif.



Gambar 5. Kontur rapat arus bagian tengah dengan Moving Average 5

- Bagian utara

Pada Gambar 6 panjang lintasan 820 meter. Bagian ketiga ini memiliki citra warna kuning hingga jingga yang menunjukkan nilai rapat arus lebih tinggi (lebih besar 12 %) dibanding daerah dengan citra warna biru.



Gambar 6. Kontur rapat arus sebelah utara dengan Moving Average 5

Tampak dari Gambar 3, maupun Gambar 4 sampai Gambar 6 yang merupakan penajaman dari citra Gambar 3, letak daerah yang bersifat konduktif tersebar di dekat anomali geomagnetik minimum dengan depth/spasi mulai 4 sampai 8 yang diperkirakan banyak kandungan airnya.

KESIMPULAN

Kontur rapat arus daerah anomali geomagnetik rendah dengan panjang lintasan 2500 melewati titik anomali geomagnetik minimum menunjukkan rapat arus tinggi tersebar dekat anomali Geomagnetik minimum.

Adanya rapat arus yang lebih tinggi dekat anomali geomagnetik minimum menunjukkan daerah tersebut bersifat konduktif, hal ini diperkirakan banyak mengandung air.

Perlu adanya penelitian lanjutan di dekat titik pusat anomali geomagnetik minimum untuk membuktikan dugaan adanya banyak kandungan air.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terimakasih kepada Kementerian Negara Riset & Teknologi Republik Indo-

nesia (KNRT-RI) atas pembiayaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Rulita, A, 2002, *Interpretasi Kondisi Bawah Permukaan Regional Surabaya Dengan Menggunakan Metode VLF-R*, Laporan penelitian, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (tidak dipublikasikan)
- Zubaidah, Teti, 2005, *Evaluasi Hasil Pengukuran Anomali Geomagnet di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat dan Analisis Hubungannya dengan Anomali Gravitasi serta Tafsiran Geologis Lokal*”, Hasil penelitian, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Mataram (tidak dipublikasikan)
- Utama, Widya., 2005, *Experimental Module Mataram Geophysical Workshop*,. Buku pelatihan, Geophysics Laboratory, Physics Departement Mathematics and Nature Science, Sepuluh Nopember Institute of Tecnology Surabaya (tidak dipublikasikan)