

PEMODELAN KE DEPAN METODA MAGNETIK DUA -DIMENSI

Dwi Puji Astuti, M.Si, DR. Badrul Mustafa, Hamdy Arifin, SSI

ABSTRAK

Untuk mengetahui respon medan magnetik dari suatu sumber magnetik dilakukan beberapa teknik pemodelan yang diantaranya adalah pemodelan ke depan (*forward modeling*). Melalui pemodelan dengan memperkirakan model sumber magnetik yang berada di bawah permukaan bumi akan dapat diketahui besarnya respon medan magnetik di permukaan bumi.

Melalui penghitungan secara komputasi dengan menggunakan program magnetik, penampang geologi dari sembarang benda dapat didekati melalui poligon dua-dimensi bersisi- n yang mempunyai intensitas yang seragam. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa respon medan magnetik semakin besar dengan bertambahnya dimensi tebal, intensitas magnetik dan lebar anomali, sebaliknya respon tersebut semakin kecil dengan bertambahnya kedalaman sumber.

I. PENDAHULUAN

Bumi sebagai benda magnet telah dikenal sejak lama. Tetapi pada kenyataannya bumi tersebut tidaklah tersusun dari bahan yang memiliki sifat kemagnetan yang sama. Jika bumi tersusun dari bahan yang mempunyai kemagnetan yang sama, dan berbentuk bulat maka garis-garis gaya akan melintas secara ideal dari satu kutub ke kutub yang berlawanan sebagaimana bola magnet biasa. Tetapi bentuk bumi tidaklah bulat sempurna seperti bola, melainkan mengalami pemipihan pada kedua kutubnya. Kenyataan ini mengakibatkan perubahan-perubahan pada lintasan garis gaya kemagnetan. Penyimpangan-penyimpangan ini selanjutnya disebut sebagai anomali magnetik.

Penghitungan dan kemajuan teknologi memberikan peluang untuk memberikan interpretasi kuantitatif dalam usaha untuk mengetahui secara lebih tepat bentuk dan ukuran dari benda-benda magnetik. Teknik interpretasi kuantitatif ini dapat dikategorikan atas beberapa metoda diantaranya adalah metoda pemodelan ke depan. Melalui pemodelan ke depan (*forward modelling*) dapat ditampilkan respon medan magnet dari sumber magnetik berbentuk poligon dua-dimensi bersisi- n di permukaan bumi.

Dengan menggunakan metode pemodelan ke depan algoritma Ribbon dapat dilakukan penghitungan secara komputasi kondisi dari benda anomali dengan cara memberikan parameter dan posisi masing-masing sisi poligon sebagai masukan. Informasi yang diperoleh pemodelan ini adalah respon medan magnetik di setiap titik pengamatan di permukaan bumi.

II. Teori

2.1 Magnet Bumi

Magnet bumi dapat digambarkan sebagai batang raksasa pada pusat bumi atau sebagai bola bumi yang sempurna. Pada pusat medan tidak diketahui dengan pasti tapi disebabkan oleh aliran fluida (inti cair) di dalam bumi.



Gambar 1. Medan magnet bumi Ideal

Medan magnet atau fluks berarah vertikal pada daerah kutub utara dan kutub selatan sedangkan pada bagian ekuator medan magnet berarah mendatar. Sumber medan magnet yang tercatat pada alat merupakan komponen yang berasal dari medan utama, medan luar dan variasi medan utama (anomali).

2.2 Medan Magnet Utama

Medan magnet bumi tidak dipengaruhi oleh keadaan geografis di permukaan bumi. Hal tersebut menandakan bahwa sumber magnetik jauh terletak di dalam bumi atau jauh di luar bumi.

Sumber penyebab terjadinya medan magnet bumi berasal dari dalam maupun dari luar bumi. Teori terakhir menyatakan bahwa medan magnet bumi disebabkan oleh aliran listrik pada kerak bumi. Ada kemungkinan aliran ini timbul sebagai akibat adanya variasi temperatur dan bahan-bahan kimia penyusun kerak bumi tersebut.

Sumber magnetik bumi dapat dimisalkan sebagai sebuah dinamo berkonduktivitas tinggi dan bergerak dengan mekanisme yang kompleks. Kombinasi gerak dan arus ini akan menimbulkan medan magnet.

2.3 Medan Magnet Luar

Medan magnet luar turut memberikan kontribusi dalam medan magnet bumi. Penyebabnya berhubungan dengan aliran listrik yang terjadi pada lapisan ionosfer pada atmosfer bagian luar. Perubahannya berlangsung sangat cepat.

Badai matahari merupakan salah satu penyebabnya. Variasi harian dalam periode 24 jam berkisar sekitar 30 gamma, bergantung pada letak dan keadaan musim di permukaan bumi. Hal ini berhubungan dengan intensitas penyinaran matahari pada aliran listrik di lapisan ionosfer.

Kedudukan bulan terhadap bumi dapat menimbulkan perubahan sekitar 2 gamma, dan siklus ini berlangsung sepanjang bulan. Hal tersebut berhubungan dengan interaksi bulan dengan lapisan ionosfer.

2.4 Anomali Magnetik Lokal

Dalam penyelidikan geomagnet, anomali ini merupakan hal yang sangat menarik. Anomali magnetik ini timbul akibat batuan pada kerak bumi memiliki perbedaan komposisi mineral magnetik dan berada dekat dengan permukaan bumi. Variasi yang ditimbulkan anomali magnetik ini terhadap medan magnet lokal relatif kecil.

2.5 Pemodelan Poligon Bersisi-n

Metoda Talwani merupakan algoritma yang banyak digunakan dalam interpretasi medan potensial baik untuk model dua-dimensi, maupun model tiga-dimensi. Benda yang memiliki penampang melintang seragam dengan panjang tak hingga merupakan deskripsi dari model dua-dimensi. Penampang lintang sembarang benda dua-dimensi dapat didekati dengan poligon bersisi-n. Efek tarikan massa dari penampang benda dua-dimensi berbentuk poligon dengan rapat massa yang seragam diperkenalkan oleh Talwani (1959), begitu juga persamaan numeriknya.

Besarnya medan magnet pada benda yang termagnetisasi seragam dengan luas S sebesar :

$$\vec{B} = C_m \int_s \frac{M \cdot \hat{n}}{r^2} \hat{r} dS \dots\dots\dots (3.1)$$

Persamaan di atas memiliki kesamaan dengan persamaan yang digunakan pada medan gayaberat yaitu :

$$g = -G \rho \int_s \frac{\delta(S)}{r^2} dS \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana $\delta(S)$ adalah rapat luas dengan satuan massa per satuan luas pita horizontal dengan densitas ρ memiliki panjang yang tak berhingga, dengan posisi (x_1, z') sampai (x_2, z') , elemen dx merupakan bagian dari bidang xz pada (x', z') , memiliki massa per satuan panjang sebesar :

$$\lambda = \rho dx \dots\dots\dots (3.3)$$

Besarnya gaya berat yang ditimbulkan elemen dx sebesar :

$$g = -2 G \lambda \frac{\hat{r}}{r} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan $\lambda = \rho dx$, gaya gravitasi diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan di atas terhadap x ,

$$g = 2 G \rho \left[\hat{i} \log \frac{r_2}{r_1} + \hat{k} (\theta_1 - \theta_2) \right] \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana r_1 dan r_2 adalah jarak dari P ke pinggir pertama dan pinggir kedua, dan θ_1 dan θ_2 merupakan sudut yang terbentuk antara sumbu- x dengan garis yang menghubungkan pinggir pertama dan pinggir kedua. Secara umum, pita memiliki dua vektor satuan yaitu vektor \hat{n} yang merupakan arah normal dan \hat{s} sejajar dengan pita. Dimana :

$$\hat{n}_x = \hat{s}_z \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\hat{n}_z = -\hat{s}_x \dots\dots\dots (3.7)$$

Komponen gaya gravitasi dalam arah \hat{n} dan \hat{s} diberikan sebagai :

$$g_n = 2 G \rho (\theta_1 - \theta_2) \dots\dots\dots(3.8)$$

$$g_s = 2 G \rho \log \frac{r_2}{r_1} \dots\dots\dots(3.9)$$

komponen x dan z diberikan sebagai :

$$g_x = \hat{s}_x g_s + \hat{s}_z g_n \dots\dots\dots(3.10)$$

$$g_z = \hat{s}_z g_s - \hat{s}_x g_n \dots\dots\dots(3.11)$$

Untuk mengubah persamaan tersebut ke dalam kasus magnet maka substitusikan persamaan di atas dengan $G = C_m$ dan $\rho = -M \cdot \hat{n}$ akan diperoleh

$$\bar{B}_z = -2 C_m (M \cdot \hat{n}) \left[\hat{s}_z \log \frac{r_1}{r_2} + \hat{s}_x (\theta_1 - \theta_2) \right] \dots\dots\dots(3.12)$$

$$\bar{B}_x = -2 C_m (M \cdot \hat{n}) \left[\hat{s}_x \log \frac{r_1}{r_2} - \hat{s}_z (\theta_1 - \theta_2) \right] \dots\dots\dots(3.13)$$

dimana :

B_x, B_z = medan magnet komponen x dan z (Tesla)

C_m = konstanta magnetik = 10^{-7} henri meter⁻¹

M = Magnetisasi (Ampere/meter)

Medan magnet total untuk prisma berbentuk poligon bersisi-n adalah :

$$\bar{B} = \sum_{i=1}^n \bar{B}_x + \bar{B}_z \quad \text{dimana } B_{ix} \text{ dan } B_{iz} \text{ merupakan medan magnet}$$

pada komponen x dan z pada sisi ke-i.

Pada metoda geomagnet, efek magnetisasi yang dihitung dapat berupa induksi magnet, magnet sisa, atau gabungan keduanya. Di dalam penafsiran dianggap bahwa magnetisasi di bawah permukaan seluruhnya berupa induksi magnet.

III. Metoda Penelitian

Penelitian dilakukan secara komputasi untuk mengetahui pengaruh parameter dan posisi benda anomali terhadap respon magnetik di permukaan bumi. Langkah-langkah penelitian ini dimulai dengan mengembangkan algoritma ke dalam bentuk program komputasi dan selanjutnya program tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh parameter benda anomali (lebar, ketebalan, kedalaman dan magnetisasi) terhadap respon magnetik di permukaan bumi.

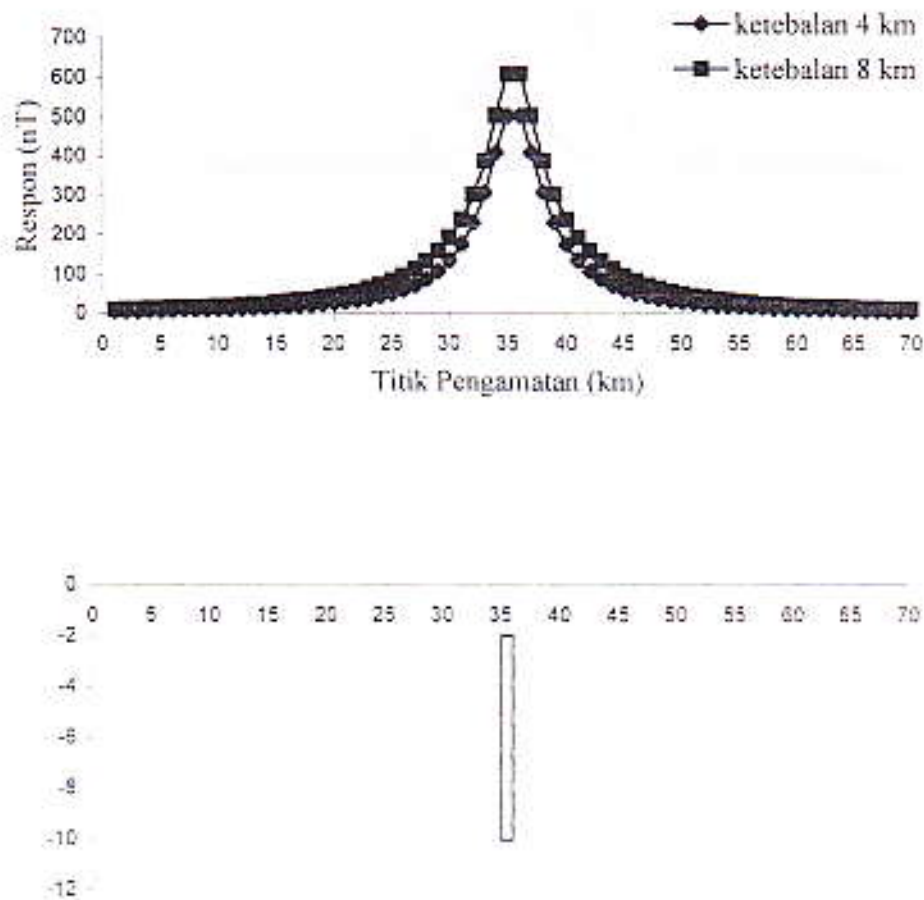
IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dengan melihat perbandingan respon magnetik akibat pengaruh lebar, ketebalan, kedalaman dan magnetisasi dari sumber magnetik sederhana akan lebih mudah memperkirakan bentuk suatu sumber magnetik yang lebih kompleks.

4.1 Pengaruh Ketebalan Terhadap Respon Anomali

Semakin tebal suatu sumber magnetik yang berada di bawah permukaan bumi maka respon yang ditimbulkan sumber magnetik tersebut juga akan semakin besar, begitu juga sebaliknya semakin tipis sumber magnetik yang berada di bawah permukaan

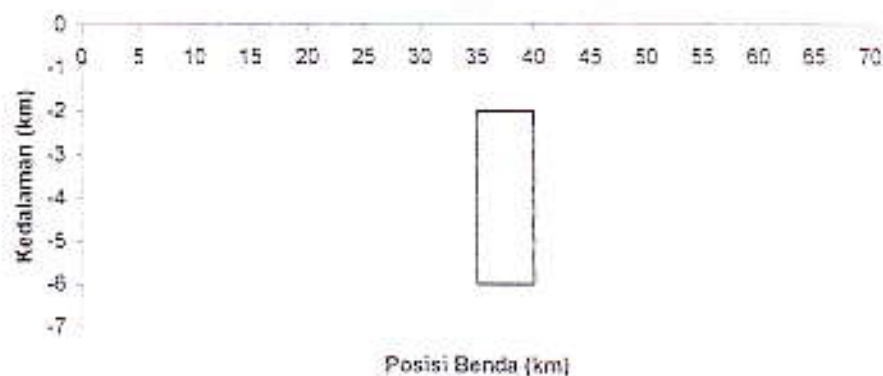
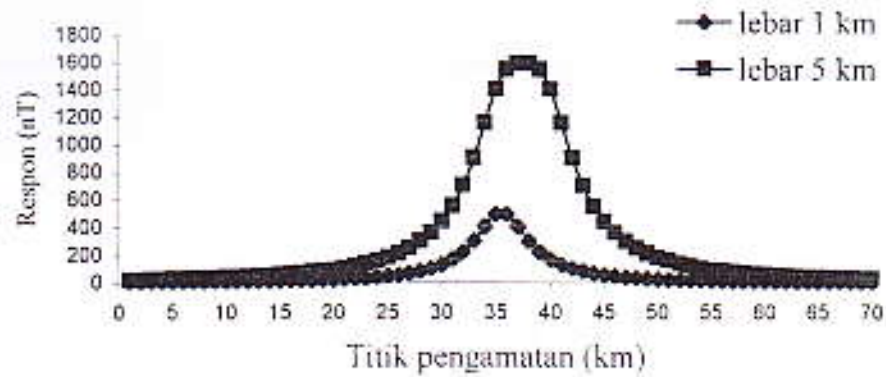
bumi maka respon anomali yang ditimbulkan juga akan semakin kecil. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh ketebalan

4.2 Pengaruh Lebar Terhadap Respon Anomali

Sumber magnetik yang memiliki lebar yang lebih besar memiliki respon anomali yang lebih besar dan bentuk kurva yang melebar daripada bentuk kurva dari sumber magnetik standar. Semakin lebar suatu sumber magnetik di bawah permukaan bumi maka respon yang ditimbulkannya juga akan semakin besar, begitu juga sebaliknya semakin kecil lebar yang dimiliki suatu sumber magnetik maka respon yang ditimbulkannya juga akan semakin kecil (Gambar 3).



Gambar 3. Pengaruh Lebar

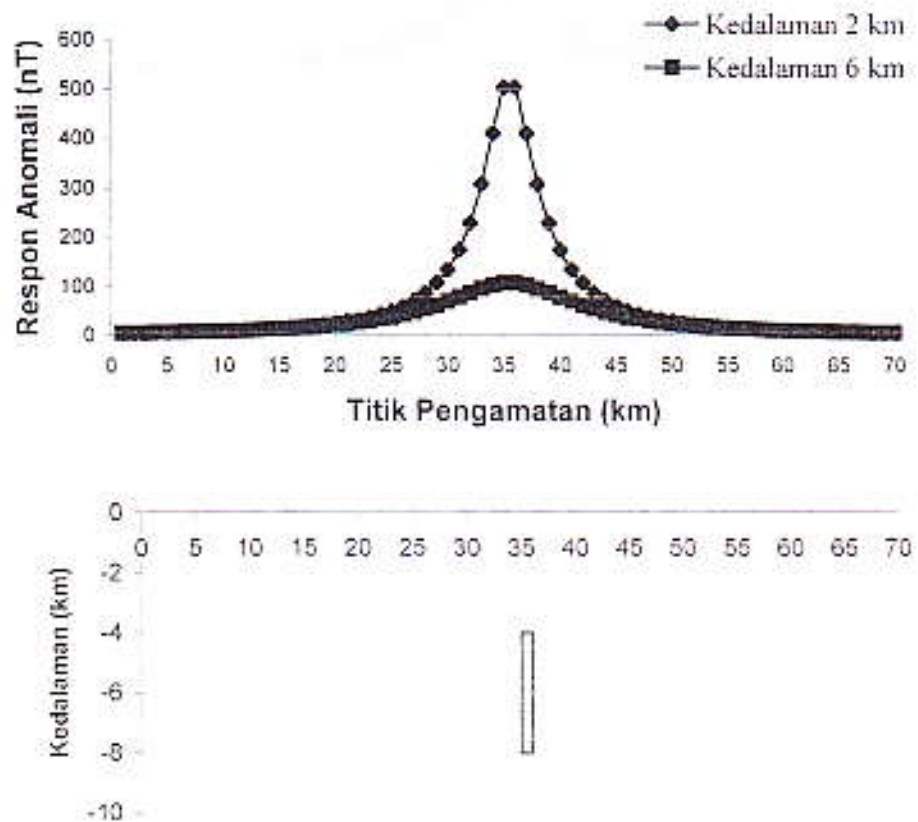
4.3 Pengaruh Kedalaman Terhadap Respon Anomali

Dengan menggunakan komponen magnetisasi yang sama dengan model standar yaitu sebesar 8 A/m , seperti yang terlihat pada Gambar 4, semakin dalam keberadaan suatu sumber magnetik di bawah permukaan bumi maka respon anomali yang ditimbulkannya juga relatif kecil. Hal tersebut ditunjukkan oleh bentuk puncak kurva dimana semakin jauh keberadaan suatu sumber dari permukaan bumi maka kurva yang dihasilkan akan semakin datar dibandingkan dengan sumber yang berada dekat permukaan.

Dengan memvariasikan kedalaman dari model magnetik yang mempunyai lebar 1 km dan ketebalan 4 km, diperoleh perbedaan bentuk kurva anomali medan magnet seperti terlihat pada Gambar 4. Koordinat sumber magnetik pada kedalaman 2 km adalah (35,2), (36,2), (35,6), (36,6) dan pada kedalaman 4 km adalah (35,4), (36,4), (35,8), (36,8) dalam satuan km. Respon yang timbul pada permukaan dari sumber

magnetik dapat dilihat melalui bentuk kurva anomali yang dihasilkan, dimana pada kedalaman 2 km kurva yang dihasilkan lebih tajam daripada kurva pada kedalaman 4 km.

Semakin dekat suatu sumber magnetik ke permukaan bumi, respon yang ditimbulkan juga akan semakin besar begitu juga sebaliknya. Semakin jauh suatu sumber magnetik dari permukaan bumi, respon yang ditimbulkan juga akan semakin kecil.

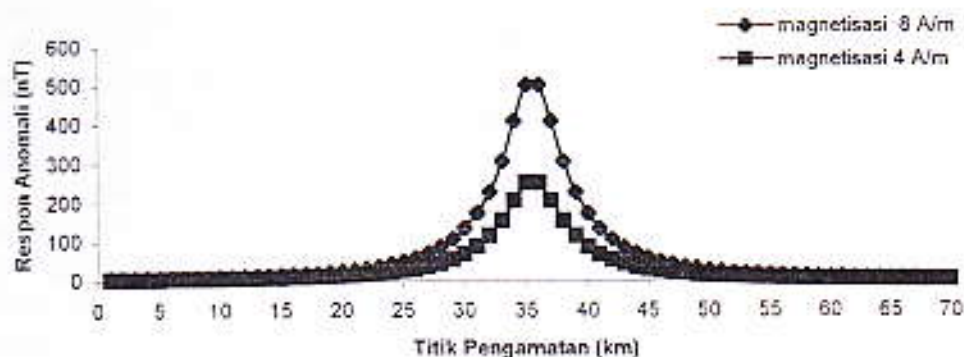


Gambar 4. Pengaruh Kedalaman

4.4 Pengaruh Magnetisasi Terhadap Respon Anomali

Intensitas magnet dari suatu sumber magnetik memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap respon yang dihasilkan di permukaan bumi. Dengan membandingkan kurva respon anomali dari model standar yang memiliki magnetisasi sebesar 8 A/m dengan sumber magnetik yang memiliki magnetisasi sebesar 4 A/m, diperoleh bahwa kurva respon magnetik dari sumber magnetik dengan intensitas sebesar 8 A/m lebih tinggi dari kurva yang dihasilkan oleh sumber magnetik dengan intensitas sebesar 4 A/m.

Semakin besar magnetisasi yang dimiliki suatu sumber magnetik maka respon di permukaan bumi juga akan semakin besar, sebaliknya semakin kecil magnetisasi dari suatu sumber magnetik maka respon yang dihasilkan di permukaan juga akan semakin kecil.



Gambar 5. Pengaruh Magnetisasi

V. Kesimpulan

Secara keseluruhan dari hasil yang diperoleh dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum metode pemodelan kedepan dengan menggunakan algoritma Ribbon dapat memberikan solusi dalam memodelkan bentuk dari suatu sumber magnetik dua-dimensi dan respon yang ditimbulkannya di permukaan bumi.
2. Secara fisis besarnya respon medan magnet dari suatu sumber magnetik bergantung kepada bentuk dari sumber magnetik itu sendiri dan posisi letak sumber magnetik tersebut terhadap permukaan bumi.
3. Penggunaan dan perubahan titik-titik sudut untuk pendekatan bentuk kontras densitas dari masing-masing poligon secara leluasa dapat menghasilkan nilai respon yang lebih akurat.
4. Informasi geologi dan geofisika dari daerah pengamatan akan menjadi faktor penunjang untuk memperoleh hasil yang lebih akurat

VI. Daftar Pustaka

1. Blakely, R.J., 1995, *Potensial theory in gravity and magnetics applications*, Cambridge University Press, U.S.A.
2. Bott, M., 1970, *Interior of Earth*, Edward Arnold Publisher Ltd., London, England.
3. Cady, J.W., 1980, *Calculation of gravity and magnetic anomalies of finite length right polygonal prisms*, Geophysics, U.S. geological Survey, Denver U.S.A. pp 1507-1511.
4. Chapman, S.J., 1998, *Fortran 90 95 for scientists and enginers*, Mc Grawhill international., Adelaide, Australia.
5. Dobrin, M.B., 1960, *Introduction to Geophysical prospecting*, Mc Graw Hill book company, Newyork, U.S.A..

5. Dobrin, M.B., 1960, *Introduction to Geophysical prospecting*, Mc Graw Hill book company, Newyork, U.S.A..
6. Fitch, A.A., 1979, *Developments In Geophysical Exploration Methods*, Applied science publisher, Newyork.
7. Gerkens, J.C., 1989, *Foundation of explorations geophysics*, Elsivier science publisher B.V., Netherland.
8. Gilluly, J., 1968, *Principles of Geology*, W.H. Freeman and Toppan Company, San Fransisco, U.S.A.
9. Grant, F.S. and West, G.F., 1965, *Interpretation teori in applied geophysics*, McGraw-hill Book co., Newyork.
10. Ludman, A., Coch, N., 1982, *Physical Geology*, McGraww-Hill Inc., U.S.A.
11. Lowrie, W., 1997, *Fundamentals of Geophysics*, Cambridge university Press, Melbourne, Australia.
12. Sidharta, S. 1980. *Geomagnet*, Geofisika eksplorasi terbatas, LIPI, Bandung.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Prof. Dr. Dayar Arbain sebagai Ketua Lembaga Penelitian Universitas Andalas atas dana yang telah diberikan untuk penelitian ini. Selanjutnya ucapan terima kasih kami ucapkan juga kepada Djedi S. Widarto, Ph.D, dan Nugroho D. Hananto, Staf Geoteknologi LIPI Bandung, atas bantuan pustaka dan diskusinya.