

Model Numerik Alat Pengukuran Gelombang Elektromagnetik Alam Untuk Eksplorasi Mineral Dengan Menggunakan Pendekatan Elemen Hingga

Drs. Riad Syech, MT, Drs. Juandi.M.Msi dan Drs. Sugianto
JURUSAN FISIKA FMIPA UNIVERSITAS RIAU

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang model numerik alat pengukuran gelombang elektromagnetik alam untuk eksplorasi mineral dengan menggunakan pendekatan elemen hingga. Dari hasil penelitian tersebut bahwa metode elemen hingga mampu menggambarkan respon medan elektromagnetik alam dengan baik, sedangkan gambaran endapan mineral dapat ditunjukkan dengan baik melalui gambaran struktur geologi dua dimensi yang dibuat. Ternyata besarnya respon medan elektromagnetik alam tergantung pada frekuensi, parameter endapan mineral geologinya seperti posisi skin depth.

Kata Kunci : Struktur geologi dua dimensi

PENDAHULUAN

Metode magnetotelurik (MT) pertama kali dikembangkan oleh Tikhonov (1950) dan Cagniard (1953). Metode magnetotelurik digunakan untuk mengetahui tahanan jenis batuan bawah permukaan dengan memanfaatkan medan elektromagnetik alam. Medan elektromagnetik ini dihasilkan oleh berbagai proses fisik yang terjadi di alam, seperti angin matahari (solar wind) dan petir. Angin matahari yang mengandung partikel-partikel bermuatan listrik berinteraksi dengan medan magnet bumi permanen sehingga menyebabkan adanya variasi medan elektromagnetik yang merupakan gelombang bidang selanjutnya menjalar ke permukaan bumi dan menginduksikan arus Eddy (arus telurik)

Spektrum frekuensi medan elektromagnetik ini sangat tinggi, sehingga metode ini mempunyai kelebihan terutama dalam hal kedalaman penetrasinya. Selain itu kelebihan lain pada metode ini adalah kemudahan dalam pengukuran di lapangan. Sedangkan kekurangannya adalah sangat peka terhadap adanya gangguan (noise) oleh kegiatan manusia di sekitar daerah pengamatan.

Dalam survei geofisika dengan menggunakan metode magnetotelurik, sifat fisik yang relevan adalah konduktivitas atau tahanan jenis batuan. Beberapa studi menunjukkan adanya kaitan erat antara tahanan jenis dengan porositas, kandungan fluida (gas atau cair) dan suhu formasi batuan. Dengan demikian metode magnetotelurik dapat digunakan untuk keperluan eksplorasi sumberdaya alam seperti mineral, minyak dan gas bumi serta keperluan studi lingkungan.

Metode magnetotelurik cukup baik untuk mencari anomali pada suatu bentuk struktur geologi tertentu misalnya patahan, efek topografi, zona konduktif dan zona mineralisasi. Perhitungan anomali pada metode ini dapat dilakukan dengan melakukan pemodelan numerik. Dalam penelitian ini, pembahasan dibatasi hanya untuk pemodelan numerik terhadap struktur dua dimensi.

TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon medan elektromagnetik pada frekuensi tertentu terhadap model struktur

geologi dua dimensi.

TINJAUAN PUSTAKA

METODE MAGNETOTELURIK

Metode magnetotelurik adalah suatu metode geofisika yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang bersumber pada bumi untuk mengukur intensitas medan listrik (E) dan medan magnet (H) bumi. Kebergantungan fenomena listrik-magnet terhadap sifat kelistrikan terutama konduktivitas bumi digunakan sebagai konsep dasar metode magnetotelurik. Hal ini dilakukan dengan mengukur secara simultan variasi E dan H sebagai fungsi frekuensi untuk menentukan struktur tahanan jenis dalam bumi. Beberapa perumusan persamaan medan elektromagnetik pada bagian ini diambil dari Cagniard (1953), Cantwell (1960), Reddy dan Rankin (1975) serta Spies (1989).

Besarnya penetrasi kedalaman (skin depth) gelombang elektromagnetik tergantung dari frekuensi serta konduktivitas medium yang dilalui. Skin depth (δ) adalah kedalaman pada medium homogen (bumi) yang ditempuh gelombang elektromagnetik dimana intensitasnya menurun sebesar e^{-1} dari harga di permukaan bumi. Skin depth dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\delta = 503,29 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

dimana :

δ = Skin depth (meter)

ρ = Tahanan Jenis medium (Ohm meter)

f = Frekuensi (Hertz)

Target kedalaman penelitian dengan menggunakan metode magnetotelurik kurang lebih $1,5 \delta$ (Spies, 1989). Namun demikian dikenal pula adanya kedalaman efektif metode magnetotelurik, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$d = \frac{\delta}{\sqrt{2}}$$

dimana:

d = Kedalaman efektif

Kurva hubungan skin dwepth dan kedalaman efektif, sebagai fungsi tahanan jenis dan frekuensi oengukuran ditunjukkan pada gambar 1. (Spies,1989) di lampiran.

2. Persamaan Elemen Hingga

Bentuk persamaan elemen yang dugunakan adalah :

$$Lf = S \quad (2.1)$$

dimana :

f = Variabel medan (merupakan fungsi impedansi)

S = Fungsi sumber

L = Operator linier persamanan Helmholtz

Dalam penelitian ini bentuk elemen hingga yang digunakan adalah segitiga yang mempunyai tiga dan enem titik simpul, dimana ketiga titik simpulnya terletak pada sudut-sudut elemennya.

Dari persamaan medan pada titik simpul sebagai berikut :

$$F_{(e)} = a_1 + a_2 Y + a_3 Z \quad (2.2)$$

$F_{(e)}$ adalah fungsi interpolasi atau fungsi isoparametrik dalam satu elemen segitiga yang menyatakan komponen medan magnet (H) dan medan listrik (E). Variabel menunjukkan bnyaknya titik simpul pada satu elemen. Ini berarti jika ada segitiga yang berseberangan dalam jaringan (mesh), maka akan ada satu sisi yang memiliki secara bersamaan elemen tersebut.

Fungsi yang menyatakan jumlah dari fungsi interpolasi elemen dalam satu jaringan dinyatakan sebagai berikut :

$$f = \sum_{e=1}^m f_{(e)} \quad (2.3)$$

dimana : $f = \sum_{e=1}^m N_{(e)} f_{(e)}$

f = jumlah fungsi interpolasi dalam jaringan

m = Banyaknya elemen yang digunakan dalam jaringan

e = Simbol yang menyatakan elemen

$N_{(e)}$ = Jumlah total titik simpul

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode magnetotelurik dengan pendekatan elemen hingga yang menggunakan program MT2DFEM dengan tiga langkah proses sebagai berikut :

Langkah pertama :

1. Menset susunan matriks
2. Membaca setiap komponen jaringan elemen hingga, yang elemennya berbentuk segitiga.

3. Membaca semua data masukan (input), termasuk sifat bahan pada setiap elemen dan semua kondisi batas medan elektromagnetik.

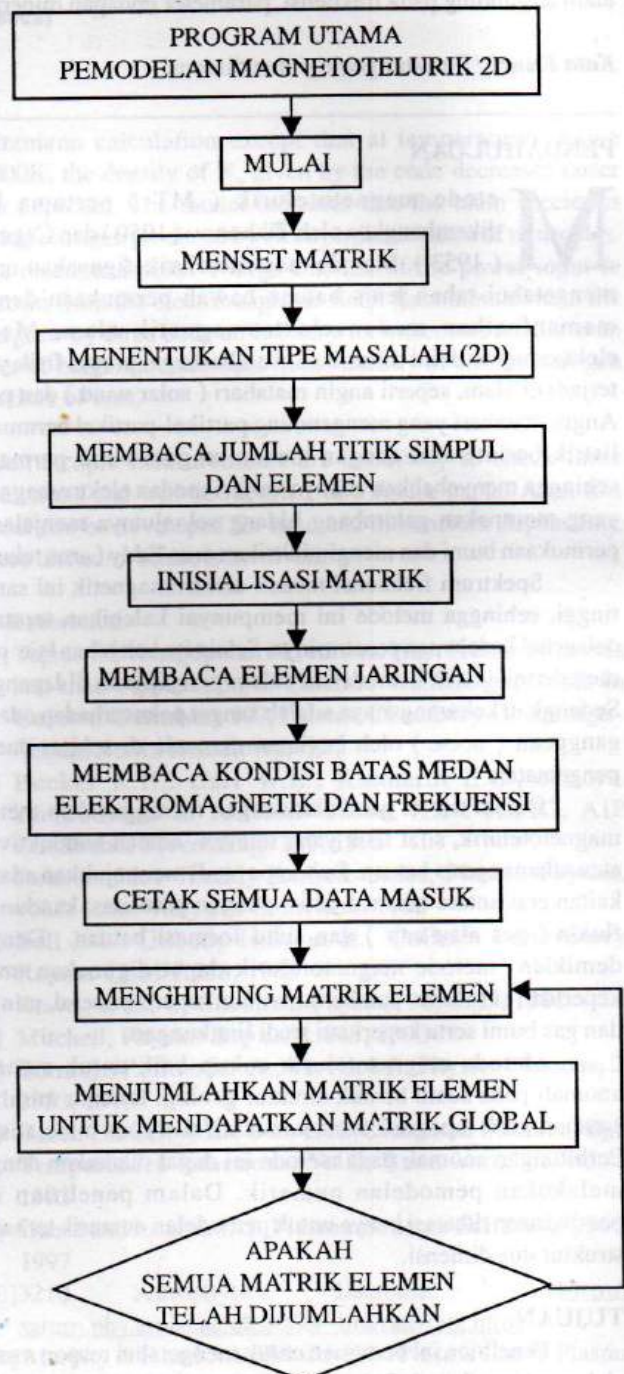
Langka kedua :

Mengevaluasi persamaan matrik pada setiap elemen dan kemudian menjumlahkan semua persamaan matriks elemen menjadi global.

Langka ketiga :

Memodifikasi persamaan matrik global dengan menerapkan kondisi batas dan memecahkan sistem persamaan linier untuk mencari komponen medan elektromagnetik yang belum diketahui.

Diagram alir program sesuai dengan gambar 2.





Gambar 2. Diagram Alir Program MT2DFEM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini dititik beratkan pada analisa hasil pemodelan dan diskusi terhadap pengaruh parameter model atas respon medan elektromagnetik.

Pengaruh perubahan parameter model terhadap respon model antara lain disebabkan oleh lapisan penutup, kedalaman benda anomali, dimensi benda anomali dan kemiringan benda anomali.

Pengaruh lapisan penutup sangat berpengaruh terhadap respon tahanan jenis yang dihasilkan suatu model. Lapisan penutup bisa bersifat konduktif atau resistif. Lapisan penutup yang bersifat konduktif cenderung memperlemah respon tahanan jenis model dibandingkan lapisan penutup yang bersifat resistif. Gambar 3 . memperlihatkan pengaruh lapisan penutup pada model kontak vertikal untuk frekuensi 1 Hz. Pada model tanpa lapisan penutup terlihat respon cukup besar, sedangkan pada model dengan lapisan penutup respon tahanan jenis sangat lemah dan cenderung datar. Hal ini disebabkan lapisan konduktif di permukaan berfungsi sebagai peredam yang akan memperlemah model.

Pengaruh benda anomali terlihat pada gambar 4. Kedalaman benda anomali terhadap respon tahanan jenis yang dihasilkan pada model slab horizontal yang terletak di permukaan ($Z=0$), kedalaman 400 meter dan kedalaman 1200 meter. Dari respon tahanan jenis yang dihasilkan terlihat bahwa semakin dalam letak benda anomali semakin lemah respon tahanan jenis yang di hasilkan.

Pengaruh kemiringan benda anomali yang terlihat pada gambar 5. Kemiringan benda anomali terhadap respon tahanan jenis yang dihasilkan pada model slab tegak ($\theta=90^\circ$) dan model slab miring ($\theta=45^\circ$) yang mempunyai dimensi yang sama pada kedalaman tetap. Pada slab tegak respon tahanan jenis pada setiap frekuensi cenderung simetri, sedangkan pada model slab miring respon tahanan jenis yang dihasilkan tidak simetri dan responnya cenderung lebih besar. Hal ini menunjukan bahwa semakin kecil kemiringan benda anomali menyebabkan respon tahanan jenis semakin besar.

Pengaruh dimensi benda anomali yang terlihat pada gambar 6. Pengaruh dimensi benda anomali terhadap respon tahanan jenis yang dihasilkan pada model slab tegak dan slab horizontal pada kedalaman yang sama. Benda anomali dari slab tegak berukuran panjang 2400 meter dan lebar sisi mendarat 600 meter, sedangkan slab horizontal mempunyai ukuran panjang sisi tegak 1200 meter dan sisi mendarat 2000 meter. Pada model slab horizontal respon tahanan jenis cenderung lebih

besar dan lebih tajam dibandingkan dengan model slab tegak. Hal ini menunjukan bahwa respon tahanan jenis akan lebih dipengaruhi oleh lebar benda anomali di bandingkan oleh panjang benda anomali.

KESIMPULAN

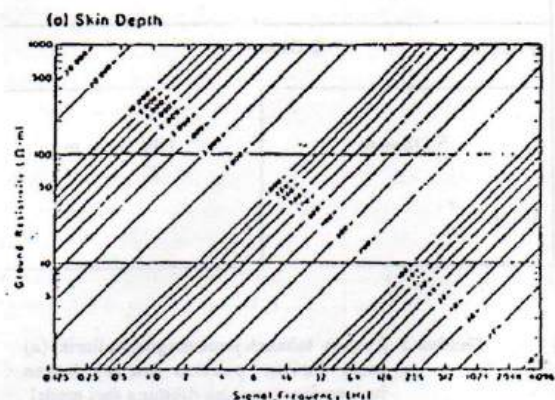
Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

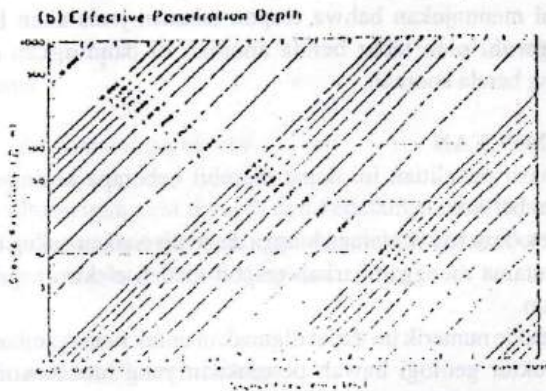
1. Metode numerik elemen hingga dapat digunakan cukup baik, terutama menggambarkan respon medan elektromagnetik alam.
2. Metode numerik ini dapat digunakan untuk menggambarkan struktur geologi bawah permukaan yang mencerminkan endapan mineral.
3. Respon tahanan jenis yang dihasilkan tergantung pada pendisainan model dalam jaringan elemen hingga.
4. Besarnya respon medan elektromagnetik tergantung pada frekuensi yang digunakan, parameter model dan posisi skin depth.

DAFTAR PUSTAKA

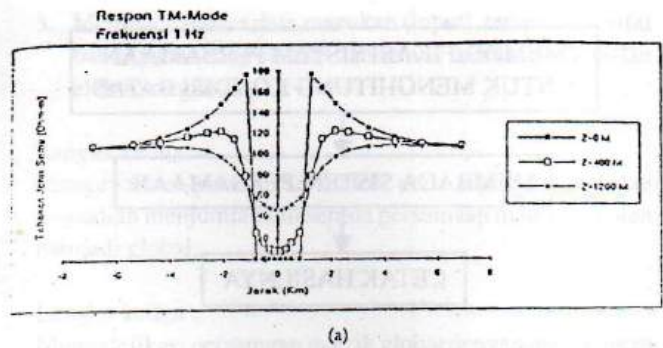
1. Cagniard, L., 1953, *Basic magnetotellurics theory of the method of geophysical prospecting*, Geophysics, 18, 605-635.
2. Cantwell, T., 1960, *Detections and analysis of low frequency electromagnetic signals*, Ph.D.Thesis, M.I.T.Cambridge, Mass.
3. Fox, R.C., Hohmann, G.W., Killpack, T.J., Rijo, L., 1980, *Topographic effects in resistivity and induced polarization survey*, Geophysics, 45, 75-93.
4. Hubner, K.H., 1975, *The finite element methods for engineer*, John Willey and Son, New York.
5. Reddy, I.K., and Rankin, D., 1975, *The magnetotellurics response of laterally inhomogeneous and anisotropic media*, Geophysics, 40, 1035-1045.
6. Rijo, L., 1977, *Modelling of electric and electromagnetic data*, Ph.D. Thesis, Univ of Utah, Salt Lake City.
7. Spies, 1989, *Depth of investigation in electromagnetic sounding method*, Geophysics, 54, 872-888.

Lampiran

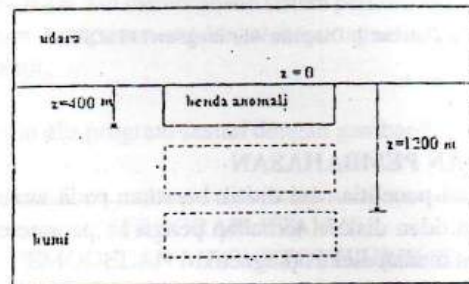




Gambar 1. Kurva yang menunjukkan Skin Depth (a) dan kedalaman efektif (b) sebagai tahanan jenis medium dan frekuensi $9f \cdot T^2$ (Spies, 1989)

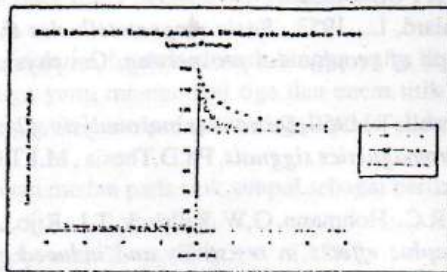


(a)



(b)

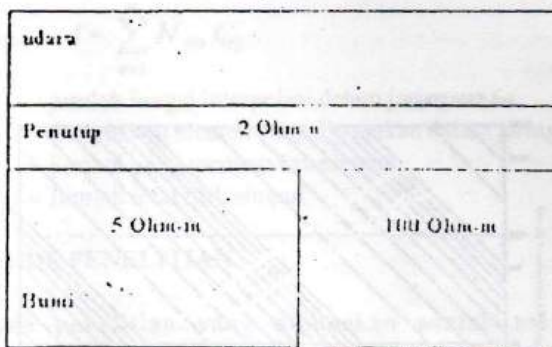
Gambar 4. Pengaruh beda kedalaman benda anomali (b) Terhadap bentuk respon tahanan jenis Magnetotelurik



(a)

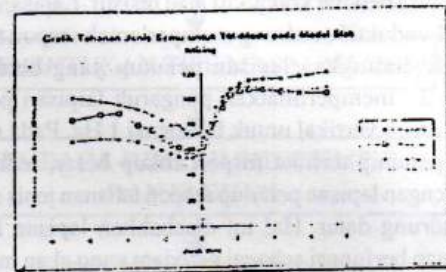


(b)

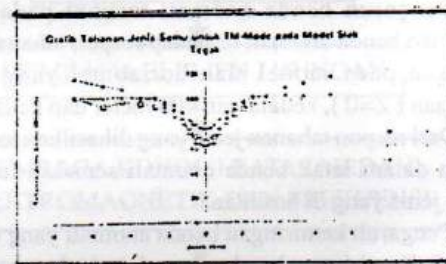


(c)

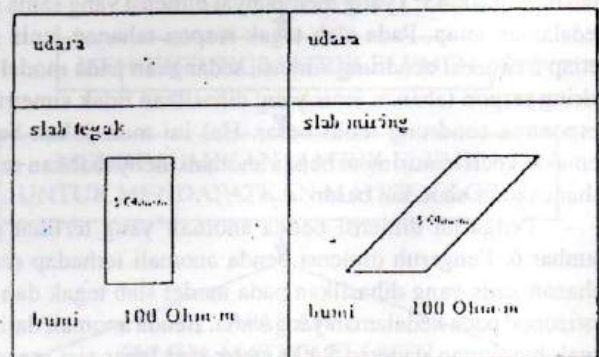
Gambar 3. Respon tahanan jenis magnetotelurik, (a) tanpa lapisan penutup dan (b) dengan lapisan penutup yang dihitung dari model



(a)

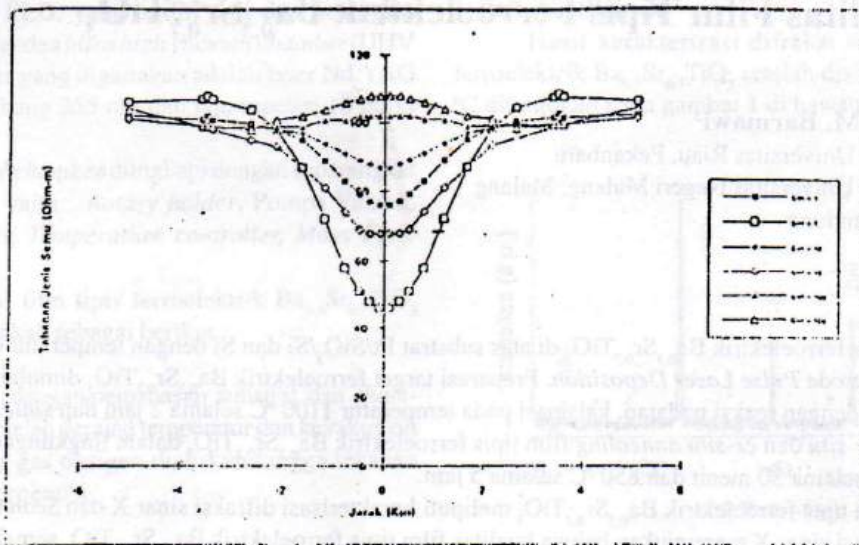


(b)

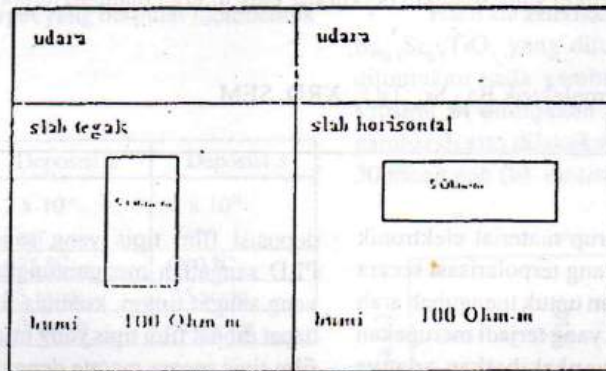


(c)

Gambar 5. Pengaruh kemiringan benda anomali (c) terhadap respon tahanan jenis magnetotelurik (a) dan (b)



(a)



(b)

Gambar 6. Pengaruh dimensi benda anomali (b) terhadap respon tahanan jenis magnetotellurik (a) SVF adalah frekuensi untuk slab tegak dan SHF untuk model slab horizontal