PEMODELAN RESPON STRUKTUR BUMI BERLAPIS TIPIS DENGAN METODA INVERSI DATA MAGNETOTELLURIK

Makalah

Disampaikan pada Seminar Nasional
Semirata MIPA BKS Barat Palembang
2 -3 Juni 2003

BKS-PTN INDONESIA WILAYAH BARAT
SEMIRATA
BIDANG MIPA- XVI 2003

MILIK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG
DITERIMA TGL. : 9 - 3 - 2006
SUMBER HARGA : H
KOLEKSI : KI
NO. INVENTARIS : 64 / K / 2006 - P2
KLASIFIKASI : 551 Akm p.2
(2)

Oleh

Drs. Akmam, M.Si

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2003

PEMODELAN RESPON STRUKTUR BUMI BERLAPIS TIPIS DENGAN METODA INVERSI DATA MAGNETOTELLURIK[*1)]

Akmam[*2)]

Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

ABSTRAK

Pada dasarnya untuk memecahkan permasalahan pemodelan geofisika sering digunakan teknik inversi. Melalui teknik inversi dicari keadaan batas iterasi dimana terdapat konvergensi antara kurva model terhadap kurva data. Oleh karena itu metoda ini dapat digunakan untuk mencari parameter geofisika yang akan diketahui (resistivitas dan ketebalan lapisan pada metoda magnetellurik). Namun teknik inversi tidak menghasilkan solusi yang unik dan sangat tergantung kepada harga parameter estimasi.

Untuk mengatasi hal di atas dikembangkanlah teknik inversi iteratif dengan menganalisa pemasalahan berdasarkan linearisasi lokal. Langkah iterasi dikontrol dengan memparamerisasi model terhadap ketebalan lapisan dan permasalahan non-linear dilinearisasi dengan inversi Occam. Untuk menghidari kesulitan inversi pada lapisan tipis, model diminimunisasi dengan mengukur normalitas turunan model resistivitas $\rho(z)$ terhadap fungsi kedalaman $f(z)$.

Kemampuan teknik inversi ini diuji dengan data sintetik bebas noise dan bernoise menggunakan statistik robust. Hasil test memperlihatkan bahwa: Pertama, hasil inversi sangat kecil tergantungnya kepada harga estimasi awal. Kedua, normalisasi yang optimum mengahasilkan struktur yang hampir tepat sebagai akibat berkurangnya kesalahan. Ketiga, lapisan tipis yang ditutupi oleh lapisan tidak konduktif dapat dideteksi dengan baik, walaupun model sudah dikotori tidak lebih dari 20%.

Kata Kunci: *magnetotellurik, resistivitas, inversi, lapisan tipis, struktur minimum, normalisasi turunan model.*

[*1)] Disampaikan dalam Seminar Nasional dalam Semirata MIPA BKS Barat Pelembang 2 – 3 Juni 2003

[*2)] Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNP Padang

BKS-PTN INDONESIA WILAYAH BARAT
SEMIRATA
BIDANG MIPA-XVI 2003

Pendahuluan

Metoda magnetotellurik (MT) merupakan salah satu metoda geofisika yang digunakan untuk eksplorasi benda-benda konduktif seperti minyak bumi, sumber-sumber mineral, serta panas bumi. Metoda ini memanfaatkan perubahan komponen medan listrik dan medan magnet akibat adanya perbedaan resistivitas material bumi dengan memanfaatkan medan elektromagnetik frekuensi rendah (10^4 – 10^{-4}) Hz dan mengabaikan pergeseran arus dalam bumi. Medan elektromagnetik yang merambat kedalam bumi dalam bentuk difusi ini pada berprilaku sebagai guide wave antara dua lempeng konduktor sejajar (Telford: 1976). Penetrasi medan magnetotellurik ke dalam lapisan bumi menghasilkan arus yang parangainya dapat dianalogikan dengan perangai arus Eddy pada benda konduktif.

Metoda ini menggunakan frekuensi cukup rendah (Nabighian:1987), metoda ini dapat mendeteksi lapisan bumi sampai dengan kedalaman 100 km. (Hermance dan Pederson :1986, Larsen:1981, Nabighian : 1987). Untuk menafsirkan resistivitas di bawah permukaan bumi dapat dilakukan dengan metoda kedepan dan inversi. Metoda inversi elektromagnetik oleh peneliti terdahulu seperti terdapat dalam (Constable dan Parker : 1987, Hermance dan Pederson : 1986 dan Vozoff dan Jupp : 1975), ternyata hasil inversinya secara umum sangat dipengaruhi oleh parameter estimasi. Hal ini mempersulit proses interprestasi data, dimana parameter hasil inversi akan cocok dengan harga struktur yang akan dicari apabila harga estimasi mendekati harga yang sesungguhnya. Akmam (1997) mengembangkan metoda inversi Occam yang dimodifikasi dengan menggunakan pemotongan nilai singuler.

Dari metoda yang dikembangkan ini telah dapat mengatasi keterkaitan harga parameter estimasi dengan hasil inversi, tetapi masih mengalami kesulitan dalam mendapat struktur bumi ketebalannya melebihi sepertiga skin depth ditutupi oleh lapisan konduktif (ketebalan lebih besar dari tiga kali skin depth). Untuk mengatasi hasil di atas, maka disusun metoda inversi dengan meminimumkan perbedaan antara parameter estimasi dengan data hasil pengukuran. Proses minimunisasi fungsi normalitas terhadap kedalaman "flatttset"(Smith dan Booker : 1988). Kemampuan teknik inversi ini diuji dengan data sintetik bebas noise dan bernoise menggunakan statistik robust.

Teori Dasar

Solusi medan elektromagnetik dalam material bumi dapat diperoleh dari persamaan Maxwell, dengan asumsi tidak terdapat muatan bebas dan arus eksternal. Salah satu solusinya adalah :

$$E(z,t) = E_o e^{(Kz-\omega t)} \tag{1}$$

$$B(z,t) = B_o e^{(Kz-\omega t)} \tag{2}$$

dimana $K^2 = \omega^2 \mu\varepsilon$ atau

$$K_{\pm}\omega = \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2}}\left[\sqrt{\left(1+\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2 \pm 1}\right]^{1/2} \tag{3}$$

Dengan mensubsitusikan persamaan (3) kepersamaan (1) dan (2) diperoleh dua informasi penting (Akmam dan Sutarno : 1997) yaitu pada material bumi yang konduktif ($\sigma >> \omega\varepsilon$) pada frekuensi lebih kecil dari 10^5 Hz, pergeseran arus akan lebih kecil dari arus konduksi, sedangkan untuk material bumi agak resistif ($\omega\varepsilon <<< \sigma$) pergeseran arus tidak dapat diabaikan terhadap arus konduksi. Dengan menyelesaikan persamaan di atas secara kalkulus, akan diperoleh kemampuan penetrasi (skin depth) medan elektromagnetik kedalam bumi sebesar:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\omega\varepsilon}} = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} = 503\sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ (meter)} \tag{4}$$

Dari persamaan (4) terlihat bahwa kemampuan penetrasi medan elektromagnetik hanya tergantung kepada resistivitas dan frekuensi gelombang sumber.

Pemilihan Variabel Model dan Fungsi Respon

Tiga kemungkinan variabel model adalah konduktivitas (σ) , resistivitas ($\rho = 1/\sigma$) dan log konduktivitas ($\log \sigma = -\log \rho$). Untuk menginterprestasikan model sebagai filter linear dari versi yang sesungguhnya merupakan hal esensial yang mana kesalahannnya berkaitan dengan linearisasi yang kecil. Hal ini tidak menjadi masalah untuk resistivitas, karena penambahan lapisan tipis resistansi yang tak hingga tidak mempunyai efek terhadap respon, tetapi dapat menghasilkan perbedaan yang signifikan dengan model filter. Hal yang sama juga berlaku untuk $\log \sigma$ dan $\log \rho$, tetapi tidak berlaku pada σ. Alasan secara fisikanya adalah konduktor dengan σ yang sangat besar pada magnetotellurik memberikan banyak

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS NEGERI PADANG

informasi, sedangkan konduktor yang resistan memberikan sedikit informasi. Jadi filter σ yang digunakan harus didominasi oleh syarat batas yang ketat, sementara filter ρ tidak terlalu terpangaruh syarat batas yang digunakan. Walaupun penggunaannya tidak lebih linear dari model σ, model log ρ dapat mengurangi penutup struktur pada zone resistivitas melalui sisi batas yang terbenam dalam dalam zone koduktivitas karena sedikit variabel. Pemakaian log σ agak sedikit sama dengan pemulihan analisa deret waktu. Pemodelan log σ juga menjamin harga σ tetap berharga positif.

Pemodelan σ sebagai model variabel untuk pemasalahan inversi harus lebih linear, dipilih pendekatan respon terhadap pengukuran. Pada pemodelan magnetotellurik 1-D, dengan asumsi ketergantungan waktu exp(-iωt) dan konduktivitas kontiniu $\sigma(z)$ yang persamaan medan horizontalnya adalah :

$$E'' = i\omega\mu_o\sigma E.$$

dimana μ_o adalah permeabilitas dan suku sebelah kanan didifferensial dua kali terhadap z. Syarat batas pada permukaan $E(0) = E_o$ dan permukaan adalah $E'(\infty) = 0$.

Itegrasi dan normalisasi pada medan permukaan adalah:

$$\frac{E'(0)}{E(0)} = \int_{-\infty}^{\infty} i\omega\mu_o\sigma(z)\frac{E(z)}{E(0)}dz \tag{5}$$

dan respon kompleksnya adalah:

$$\gamma(\omega) = \frac{E'(0,\omega)}{E(0,\omega)} = \frac{i\omega B_y(0,\omega)}{E_x(0,\omega)} \tag{6}$$

dimana B_y dan E_x adalah medan orthogonal arah horizontal. γ akan linear pada σ, dengan respon $c = -1/\gamma$. Hal inilah alasan pemilihan model respon ini.

Menentukan Struktur Minimum Model

Cara yang cocok untuk meminumkan struktur adalah dengan meminimumkan normalitas dari turunan model. Peminimuman model turunan pertama sering dikenal dengan *flattest* (Smith dan Booker : 1998) yang didefenisikan dengan:

$$F(m,f) = \int_0^Z \left[\frac{dm}{df(z)}\right] df(z) \tag{7}$$

untuk harga χ^2 tertentu, dimana m adalah ρ atau *log ρ* dan fungsi *f* mengontrol normalitas. χ^2 dihitung dari selisih pengukuran antara model dengan data yang dirumuskan dengan $\chi^2 = \sum_{i=1}^{2N}\left[\frac{\Delta\gamma_i}{\varepsilon_i}\right]^2$ dimana $\Delta\gamma_i$ merupakan data residu dan ε_i kesalahan data standard. Pemilihan *f* mempunyai efek yang sama dengan pemilihan lapisan tipis pada pencocokan model berlapis. Pilihan yang sederhana adalah dengan mengambil $f = z$. Pemilihan ini sama halnya dengan menandai struktur terdalam yang dapat diperoleh, karena daya pisah (resolusi) data magnetotellurik secara umum berkurang terhadap kedalaman. Dalam hal ini struktur terdalam memerlukan pencocokan dengan tipe data frekuensi rendah yang mempunyai skala panjang yang terpanjang dan berdistribusi terhadap $F(\rho_o,,z)$. Data frekuensi rendah ini akan lebih mudah disesuaikan dengan data dengan sedikit residu. Untuk mengganti kerugian efek ini, salah satu cara adalah dengan menysesuaikan skala turunan fungsi terhadap kedalaman dengan memilih *f(z)* tertentu (Smith dan Booker : 1998), yaitu

$$\frac{df(z)}{dz} = (z - z_0)^{\eta} \tag{8}$$

untuk beberapa harga m dan $z_o > 0$. Persamaan (8) berguna untuk memparameterisasi *f*, karena tercakup pada pemilihan model f = z dan f(z) = log(z + z_o). Hal ini dapat dibandingkan dengan pemakaian model f = z dan f = log(z - z_o) dan $f = -\frac{1}{(z - z_o)}$ dengan η= 0, -1 dan -2. Konstanta z_o pada f menjamin agar integrasi $\frac{dm}{df}$ dapat mengatur agar *m* tidak singuler. z_o diperlukan karena panjang resolusi mendekati konstan pada permukaan bumi dan mendekati nol pada jangkaun maksimum (daerah yang terdalam). Dalam hal ini harus dipilih konstanta z_o hampir sama dengan setengah kedalaman penetrasi pada frekuensi tinggi, bila tidak demikian akan diperoleh penyelesaian dengan struktur yang lebih dangkal. Untuk itu perlu diatur penyesuaian dengan frekuensi sedang sebagai pembanding terhadap z_o pada frekuensi tinggi.

Marchisio (1985) menjelaskan secara detail bahwa inversi non-linear yang meminimunisasi kuantitas yang dibatasi pada F(log σ,z) pada model dapat mendekati kemiringan yang serba sama pada kawasan setengah ruang yang mempunyai koduktivitas

sangat besar (Smith dan Booker : 1998). Keutungan yang signifikan yang diperoleh dengan cara ini teknik inversi non-linear tidak memerlukan flatest untuk memperoleh informasi tentang struktur terdalam, tetapi tidak memberi hasil yang baik untuk struktur dengan konduktivitas yang kecil, khususnya pada lapisan tipis.

Untuk mengatasi hal ini struktur dapat diminimum secara langsung dengan meminimumkan F(m,f) pada skema linearitas yang stabil. Umpamakan $m_o(0,z)$ pada model awal (model estimasi) σ_o atau log ρ_o untuk step aliran iterasi dengan $\sigma_1 = \sigma_o + \Delta\sigma$ pada lankah berikutnya. Kemudian ambil γ_i untuk i = 1..N pada bagian real dan i = N+1 .. 2N untuk bagian imajener dari normalisasi data pengukuran dengan standard kesalahan ε_i. Dengan cara yang sama ambil γ_o dan γ_1 data prekdiksi dengan σ_o dan σ_1 dinormalisasi dengan standard error tertentu. Dalam hal ini normalisasi ketidaksesuaian $e_{01} = \gamma_i - \gamma_{0i}$ dan $e_{11} = \gamma_i - \gamma_{1i}$ masing-masing adalah χ_0^2 dan χ_1^2. Jika $\Delta\rho$ cukup kecil, persamaan gangguan (4) dan pengabaian suku orde kedua pada $\Delta\rho$ menghasilkan:

$$\gamma_{1i} - \gamma_{0i} = \int_{-\infty}^{\infty} m(z)\Delta m(z)dz \tag{9}$$

dengan i = 1..N.

$$g_i(z) = \frac{1}{\varepsilon_i}\mathrm{Re}\left\{ i\mu_0\omega_i \left[\frac{E(m_o,z,\omega_i}{E(m_0,0,\omega_i}\right]^2 \right\} \tag{10}$$

Bila i = N+1 .. 2N, maka diambil harga pada bagian imajener dan bila $\rho = -\log \rho$, maka g_i diganti dengan $m_o(z)g_i(z)$, dengan demikian persamaan :

$$\Gamma_i = \int_0^{\infty} g_i(z_i)m_o(z)dz \tag{11}$$

dapat ditulis menjadi:

$$\gamma_{1i} - \gamma_{0i} + \Gamma_i = \int_0^{\infty} g_i(z)m_1(z)dz \tag{12}$$

dengan menggunakan integral sebagian, maka diperoleh:

$$\gamma_{1i} - \gamma_{0i} + \Gamma_i + G_i(o)m_1(o) = \int_0^{\infty} G_i m' dz \tag{13}$$

PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

dimana $G_i(z) \equiv \int_z^\infty g_i(z)dz$ dan m' = dm/dz

Jika tujuan kita untuk mencocokan γ_{1i} dengan γ_i secara eksak dan harga $m_1(o)$ diketahui akan memberikan 2N konstrain untuk meminimunisasi F. Sungguhpun demikian, jika tujuan kita untuk mencocokan γ_{1i} dengan γ_i hanya untuk menentukan χ_i^2, maka diganti γ_{1i} dengan $\gamma_i - e_{1i}$, sehingga persamaan (13) dapat ditulis menjadi:

$$\gamma_{1i} - \gamma_{0i} + \Gamma_i - G_i(o)m_1(o) = \int_0^\infty G_i m' dz + \chi_{1i} \tag{14}$$

dan bentuk minimumnya adalah: $W(m_1, \chi_i^2, \beta_i) = F(m_1, f) + \beta_i \chi_i^2$

Persamaan (14) dapat digunakan untuk meminimunisasi W, bila ditulis dalam bentuk vektor sebagai berikut:

$$\Gamma + \Delta\gamma' \int_0^\infty K \frac{1}{(f')^{1/2}} \left[m_0' + \Delta m\right] dz + \chi \tag{15}$$

dalam hal ini dengan menghilangkan subkrips dari χ_1, dimana

$$\Delta\gamma \equiv \Delta\gamma' - \left[m_0(o) + \Delta m(o)\right] G(o),\ \Delta\gamma \equiv \gamma - \gamma_0 \text{ dan } K = (f')^{1/2} G \tag{16}$$

Pada permukaan diambil nilai $m_o(0) + \Delta m(0)$ sebagai penyesuaian. Dengan mendefenisikan:

$$H = \int_0^\infty K K' dz \tag{17}$$

dengan subkrips (^{t}) menandakan transpose. H adalah semetris dan positif dan dapat diagonalisasi dengan transformasi orthogonal Q. Ambil $H = Q\lambda Q^t$

Kemudian dengan meminimunisasi $W(m, |\chi|^2, \beta)$ terhadap gangguan $\delta\chi$ dan $\delta[m'/(f')^{1/2}]$, salah satunya adalah:

$$\frac{\rho}{(f')^{1/2}} \equiv' K' Q[\lambda']^{-1} Q'[\Gamma + \Delta\gamma'] \tag{18}$$

dimana $\lambda' \equiv \lambda + \frac{1}{\beta} I$ yang dapat diintegral terhadap ρ. Kuadrat kecocokan $|\chi|^2$ adalah:

$$\chi'\chi = \frac{1}{\beta^2} [\Gamma + \Delta\gamma']' Q[\lambda]^{-2} Q'[\Gamma + \Delta\gamma'] \tag{19}$$

dimana λ'tergantung kepada β melalui persamaan (15) dan Δγ' tergantung kepada Δρ(0). Bila $|\chi|^2$ merupakan fungsi monotomik dari β untuk β > 0, hal ini diselesaikan untuk β secara numerik menggunakan metoda Newton.

Hal di atas menjamin setiap pemilihan Δm(0). Dengan menggunakan persamaan (17) untuk membentuk pernyataan W yang terhadap perubahan dalam Δm(0), menghasilkan:

$$m_o(0) + \Delta m(0) = \alpha'[\Gamma + \Delta\gamma], \tag{20}$$

dimana

$$\alpha' \equiv \frac{G(0)'Q[\lambda']^{-1}Q'}{G(0)'Q[\lambda']^{-1}Q'G(0)} \tag{21}$$

Dengan menggunakan kombinasi persamaan (15), (17) dan (20) diperoleh model yang minimumkan W untuk harga f(β) yaitu:

$$m(z) = [A' + \alpha' - A'G(0)\alpha'][\Gamma + \Delta\gamma] \tag{22}$$

dimana $A = Q[\lambda']^{-1}Q' \int_0^z fK(z)dz$.

Untuk mendapatkan pasangan β dan Δm(0) yang dapat memberikan model flattest dengan spesifikasi kuadrat kecocokan tertentu, diselesaikan dengan mengambil Δm(0) = 0. Pemilihan β agar fungsi $W(m_1, \chi_t^2, \beta_t)$ menghasilkan F terkecil untuk harga χ_t^2 tertentu, bila linearisasi melakat pada persamaan (8).

Dalam pembuatan model pada setiap iterasi dijaga agar perubahan model kecil, sehingga linearisasi menjadi valid, tetapi harganya diusahakan cukup besar sehingga model flattest dengan χ^2 yang diinginkan tercapai dengan cepat. Proses penambahan harga harus mencakupi agar $\chi_t^2 < \chi_o^2$, kemudian perhitungan m_1 dengan meminimumkan $W(m_1, \chi_t^2, \beta_t)$ menggunakan linearisasi lokal dan pemodelan kedepan untuk mendapatkan χ_a^2, χ^2 dapat diperoleh melalui model $m_0 + a\Delta m$. Dalam kasus ini $W(m_0 + a\Delta m, \chi_a^2, \beta_t)$ merupakan nilai awal dari model. Selanjutnya baru dimulai dengan iterasi lain, untuk mereduksi target berikutnya sampai dicapai tujuan yang diharapkan. Sungguhpun demikian nilai W dapat bertambah untuk setiap langkah kerana $a\Delta m$ sangat besar untuk menahan linearisasi. Perbaikannya tergantung kepada apakah $a\Delta m$ disebabkan oleh pemerataan model terlalu banyak didalam setiap langkah atau pengurangan ketidakcocokan yang terlalu

banyak. Untuk menentukannya digunakan linearisasi untuk mendapatkan model m_f yang meminimumkan $W(m_1, \chi_i^2, \beta_i)$ dengan harga β_f tertentu, sehingga $\chi_f^2 = \chi_o^2$. Hal ini menghasilkan $a\Delta m$ model yang merata tanpa mengurangi ketidakcocokan.

Analisa Permasalahan Inversi dan Penyelesaiannya

Misalkan dari hasil penggukuran diperoleh M jumlah data yaitu $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \ldots \lambda_M)^T$ dan sejumlah parameter model yaitu $(m_1, m_2, m_3 \ldots m_n)^T$, untuk kasus MT berupa resistivitas semu dan phasa untuk setiap frekuensi yang bentuk matriksnya adalah $(\rho_1, \rho_2, \ldots \rho_n, h_1, h_2, \ldots h_n)^T$. Hubungan data dan parameter model dalam bentuk notasi matriks dapat ditulis dengan

$$[d] = [G][m] \tag{23}$$

dengan G adalah matriks (N x M) atau matriks Kernal, N adalah jumlah data dan M adalah jumlah parameter yang akan dicari serta G adalah matriks fungsi kedepan dan matriks parameter model.

Permasalahan inversi adalah menentukan nilai parameter m agar supaya $G_i(m)$ sesuai dengan data pada setiap kedudukan. Vozoff dan Jupp (1986) menggunakan metoda dekomposisi nilai singuler untuk mendapatkan solusi inversi yang stabil. Kemudian Constabel (1987) dengan invesi Occam menghitung suku sesatan parameter terhadap kedalaman untuk menghasilkan model awal yang smooth (mulus). Cara ini dapat menggurangi ketidak-unikan hasil inversi dan ketergantungannya terhadap nilai estimasi awal. Kemudian Akmam (1997) memodifikasi inversi Occam dengan menggunakan pemotongan nilai singguler untuk mempercepat konvergensi dan memperkecil nilai sesatan.

Secara umum teknik inversi adalah untuk meminimumkan harga $\chi^2 = \sum_{i=1}^{2N} \left[\frac{\Delta\gamma_i}{\varepsilon_i} \right]^2$ yang merupakan kesalahan relatif antara data model dengan respon. Pada jangkuan yang lebar kesalahan seperti persamaan (16) dapat direduksi sehingga diperoleh hasil lebih smooth. Dengan menimumkan fungsi W terhadap parameter model **m**, jika $G_i(m)$ linear dapat ditulis seperti pada persamaan (22). Sedangkan apabila $G_i(m)$ tidak linear, maka persamaan (22) dapat ditulis menjadi:

$$m(z)_{n+1}^{est} = m(z)_n^{est} + \mu[A_n^t + J_n^{T} J_n + \alpha_n^t - A_n^t G(m_n^{est})\alpha_n^t][\Gamma_n + \Delta\gamma_n] \tag{24}$$

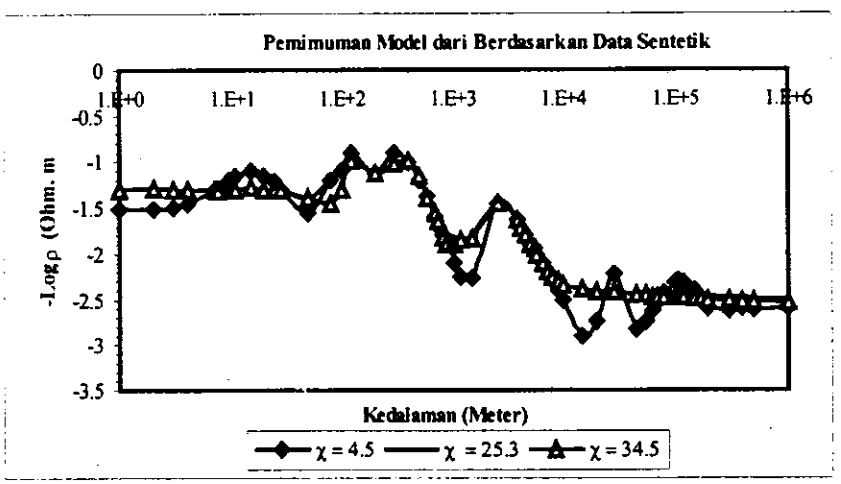
MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

Persamaan (24) ini digunakan secara rekursif untuk memperoleh hasil inversi yang stabil untuk mendapatkan struktur bumi berlapis tipis.

Hasil Dan Pembahasan

Tingkat Ketidakcocokan

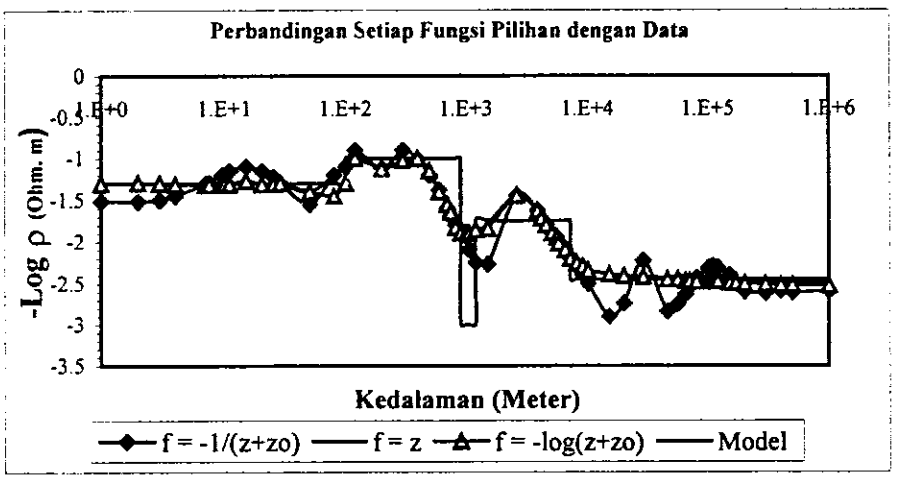
Dalam hal ini dibutuhkan sangat sedikit ketidakcocokan dengan osilasi yang besar untuk memperoleh model yang fit. Tentu sebaiknya data yang didapatkan sesuai dengan respon struktur bumi yang sesungguhnya. Sungguhpun demikian, bila tidak mengetahui struktur bumi yang sesungguhnya, yang terbaik dapat dikerjakan untuk mencapai tujuan adalah memperoleh nilai $E(\chi^2) = 2N$. Walaupun tingkat ini tidak selalu dapat diperoleh karena model hanya dapat melalui pendekatan, khususnya bila frekuensi sangat rapat dan ketidakcocokan itu sendiri lebih besar dari $E(\chi^2)$. Malahan salah satu cara untuk memperoleh model flattest dengan tingkat kesalahan yang tinggi, seperti 95%. Kemudian salah satu yang dapat dipercaya bahwa struktur yang terdapat pada model diperlukan untuk pencocokan data. Efek gangguan diuji dengan menambahkan noise kepada data. Dengan menggunakan data sentetik dengan respon sebagai berikut.



Gambar 1: Peminimuman Model F(-Log ρ, Log(z+zo) dengan data sintetik, dengan derajat kecocokan tertentu

Gambar 1, diplot model –log ρ yang turunannya model terhadap kedalaman "flattest" adalah log (z +zo), (a) dengan indeks ketidakcocokan yang cukup kecil χ^2 = 4.5, (b) dengan χ^2 = 25.3, serta (c) dengan χ^2 = 34.5. Sebagai pembanding pada gambar 2, juga diplot model sesungguhnya dan lokasi resistivitas yang sangat sesuai dengan model (χ^2 = 2.74). Nilai resistivity model diskalakan kedalam resistivitas

dengan membaginya dengan jarak antara titik tengah ke titik puncak kurva. Hal merupakan resistivitas yang dihasilkan dari redistribusi resistivity kedalam lapisan yang seragam (uniform) yang muncul pada titik tengah. Skala resistivity ini mempunyai nilai yang sangat dekat model yang sesungguhnya, hal ini konsisten dengan kenyataan bahwa teknik inversi cukup menjanjikan. Model sesungguhnya membuat tidak ada berusaha mencocokan kesalahan pada data dan mempunyai tingkat ketidak sesuaian 23.5. Pada kasus ini kesesuain yang diharapkan χ^2 (model b) menutupi secara esensial semua struktur model sesungguhnya dengan pengkecualian pada zone resistive (1 km sampai dengan 1.6 km). Kecocokan hanya 95% seperti pada gambar 1 dengan daya pisahnya sudah hilang, tetapi sensitif terhadap kesalahan. Perubahan normalitas dengan mengurangi η pada persamaan (8), disebabkan oleh struktur pada bagian terdalam dan secara cepat menambah ukuran residu pada frekuensi rendah yang relatif terhadap residu frekuensi tinggi, membuat struktur cocok dengan data.

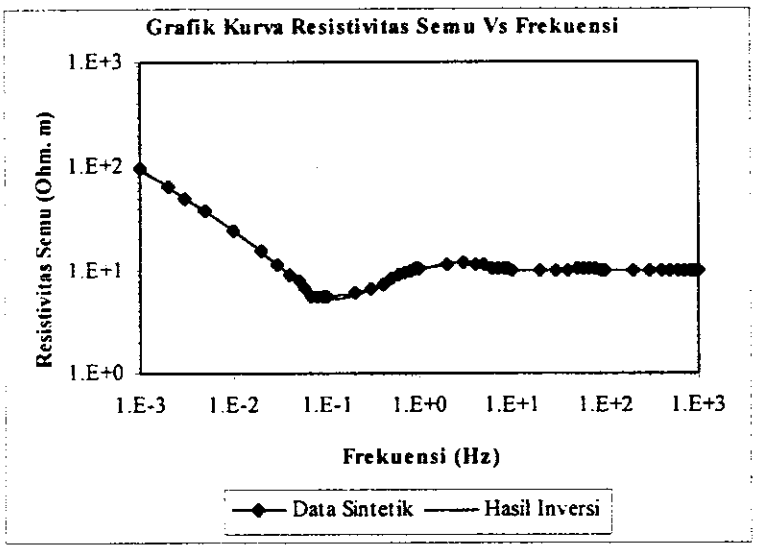


Gambar 2: Model semuanya dengan derajat kesesuaian 25.5 dengan data sintetik, fungsi peminimum (a) F(-log ρ,1/(z + zo), (b) F(-log ρ,z), (c) F(-log ρ,(z + zo), (d). Model dari data dengan derajat kesesuaian $\chi^2 = 25.5$

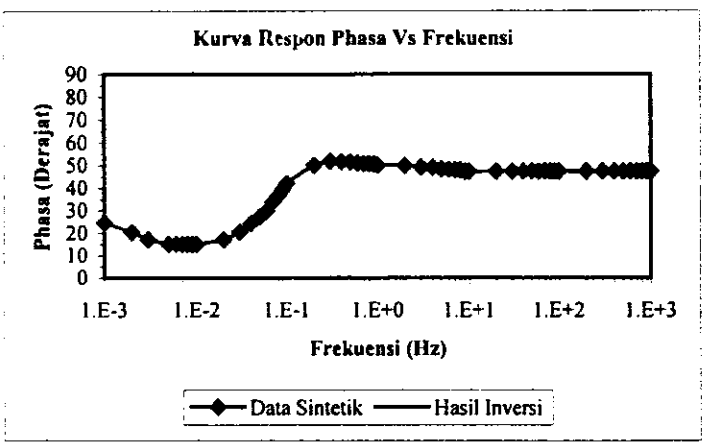
Pada gambar 2 dibandingkan model sesungguhnya dengan model flattest dari log(ρ) terhadap z, log(z + zo) dan –1/(z + zo) dengan η masing-masing adalah 0, -1, -2. Semua model flattest dengan faktor ketidakcocokan (χ^2) sama dengan nilai yang diharapkan 25.5. Dalam hal ini terlihat model flattest terhadap log(z + zo) memperlihatkan struktur yang jelas dari ketiga inversi ini. Pada model flattest terhadap z memperlihatkan nilai yang berfluktuasi pada bagaian terdalam dengan tidak

memperlihatkan struktur yang sesungguhnya dan struktur yang jelas terlihat pada permukaan. Model flattest terhadap $-1/(z + zo)$ dapat memperlihatkan struktur yang lebih detail pada bagian yang terdalam, tetapi nilainya berfluktuasi dekat permukaan.

Pada gambar (3) diambil bentuk struktur bumi berlapis 7, dimana dengan pendekatan yang dilakukan tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara hasil inversi dengan data sesungguhnya. Hal yang sama juga berlaku untuk respon phasa terhadap frekuensi seperti pada gambar (4). Hal ini berarti bahwa teknik inversi dapat berfungsi dengan baik.

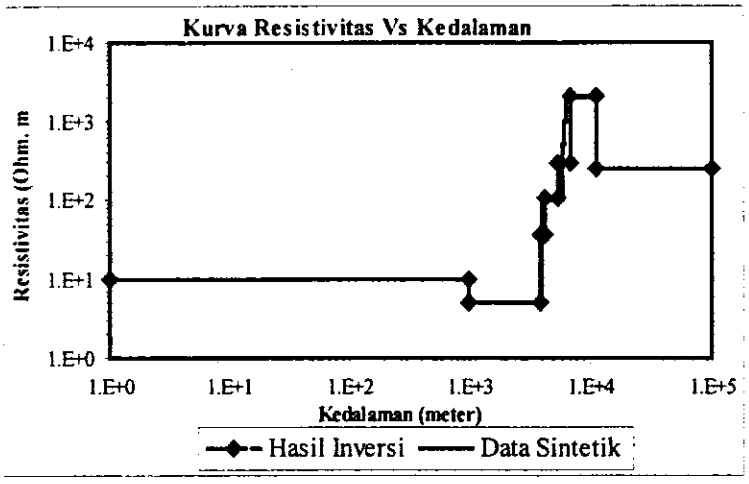


Gambar 3. Kurva perbandingan respon restivitas terhadap frekuensi hasil inversi dengan data sintetik



Gambar 4: Kurva perbandingan respon phasa terhadap frekuensi hasil inversi dengan data sintetik

Pada gambar (5) diperlihatkan perbandingan hasil inversi dengan data sintetik. Disini terlihat bahwa struktur ketebalan sekitar 2 km dengan resistivitas 100 ohm.m kurang terdeksi dengan baik. Demikian juga halnya dengan lapisan dibawahnya. Metoda ini dapat dengan baik struktur dekat permukaan dan struktur terdalam.

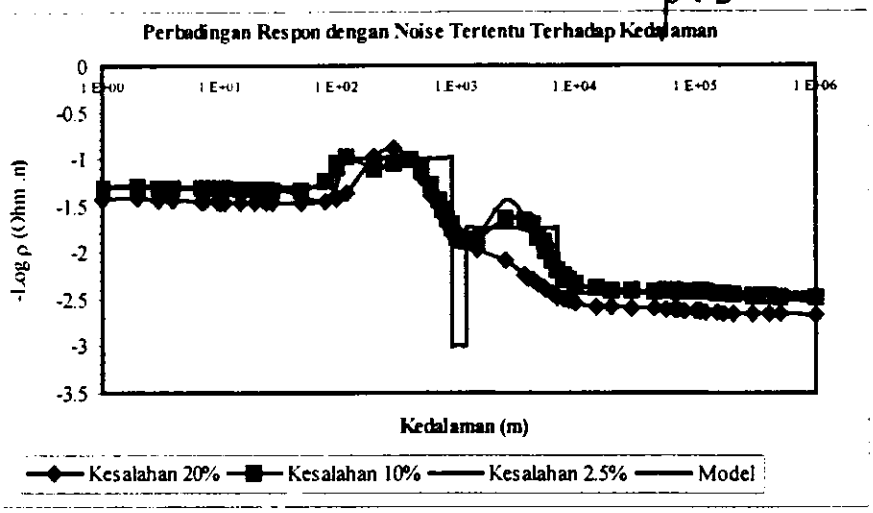


Gambar 5: Kurva perbandingan respon phasa terhadap frekuensi hasil inversi dengan data sintetik

Efek Tingkat Kesalahan Terhadap Hasil Model

Pada data MT bila tingkat kesalahan berkurang, maka inversi flattest menghasilkan struktur yang lebih akurat. Gambar 3, diperlihatkan beberapa pengaruh tingkat kesalahan yang diberikan terhadap model. Dalam penelitian ini dibuat tiga set data sentetik dengan penambahan kesalahan 20%, 10% dan 2.5%. Frekuensi dan model yang sesungguhnya sama dengan model pada gambar 2. Gambar 3, memperlihatkan ploting model yang meminimumkan F[-log ρ, log(z + zo)] tiga set data dengan harga kesesuaian masing-masing.

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG



Gambar 3 Peminimuman model F(-log ρ,(z + zo) untuk set data pada model 2d, pada gambar 2 masing-masing dengan kesalahan (a) 2%, (b) 10% dan (c) = 20%, (d). Model dari data dengan derajat kesesuaian $\chi^2 = 25.5$

Dalam data inversi. sangat diperlukan etimasi kesalahan pada data yang sesungguhnya. Jika estimasi kesalahan sangat besar, estimasi ketidakcocokan χ^2 akan sangat kecil, akibatnya kecocokan harga χ^2 yang terdapat pada data akan kehilangan daya beda.

Dengan model flattest m(z) dapat diperlihatkan M(z) yang smoth melalui fungsi resolusi ditambah dengan kesalahan non-linear. Untuk model yang benar, maka persamaan (9) menjadi:

$$e_L = \gamma_M - \gamma_m = \int_0^\infty g_i(z,m)[M - m]dz \tag{25}$$

dimana γ_M dan γ_m adalah normalisasi data prediksi dengan model sesungguhnya dan flattset. Dalam hal e_L adalah kesalahan linearisasi.

Dalam bentuk vektor, jika M adalah bumi sesungguhnya dan pengukuran γ merupakan jumlah dari data sesungguhnya γ_M dan tingkat kesalahan data adalah e_d. Berarti bahwa:

$$\gamma = \gamma_M + e_d \tag{26}$$

Umpamakan $\Delta\gamma$ merupakan residu dari kesesuian model *m*, maka juga dapat ditulis:

$$\gamma = \gamma_M + \Delta\gamma \tag{27}$$

Dengan asumsi proses inversi iterasi konvergen, sehingga Δm merupakan pengabaian yang kecil. Selanjutnya model estimasi pada step m_o dan hasil model adalah m adalah indentik. Berdasarkan pemakaian persamaan (25), (26) dengan (9) dan (11) serta (22), diperoleh:

$$m(z) = \int B(z)' ga(z_o, m) M(z_0) dz_0 + B' e_L + B' e_d \qquad (28)$$

dimana $B^t \equiv A^t + \alpha^t - A^t G(0)\alpha^t$

Persamaan (28) mengkarakterisasi model flattest sebagai bumi yang sesungguhnya yang smooth melalui fungsi resolusi $B(z)'g(z_o)$ ditambah dengan kesalahan non-linear $B^t e_L$ dan kesalahan stochastik $B^t e_d$. Kesalahan non-linear membuat interprestasi model sebagai filter dari sesungguhnya diberikan dengan perambatan e_L pada model estimasi. Hal yang sama juga berlaku untuk e_d.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data terlihat bahwa teknik inversi yang ditawarkan ini dapat digunakan untuk mendekteksi lapisan tipis horizontal yang relatif konduktif terhadap disekitarnya. Lapisan tipis dapat terdeteksi walaupun ditutupi oleh lapisan walaupun ketebakannya tiga kali skin depth. Berdasarkan test dengan data sintetik memperlihatkan bahwa normalitas yang diminimunisasi dapat diperoleh dengan baik pada skala besar dari resistivitas yang sesungguhnya. Walaupun dalam kasus ini efek non-linaer sangat berpengaruh seperti pemodelan $-\log \rho$. Bagian-bagian yang tidak dapat diselesaikan dengan model flattest penyesuaian dengan data tidak diperlukan, karena keberadaanya tidak dapat ditentukan dari data. Model flattest resistivitas yang kobinasikan dengan pemotongan nilai singuler dan inversi Occam dimana efek non-linear dapat diperkecil sehingga nilai model dapat diinterprestasikan sebagai resistivitas yang sesungguhnya.

Walaupun demikian keberadaan teknik ini masih perlu dikaji ulang, terutama dengan data lapangan serta menentuan model kedepan yang tidak smooth. Pemberian kesalahan yang bersifat terkonsentrasi juga masih perlu dikaji ulang.

Referensi

Akmam, *Pemodelan Inversi Satu-Dimensi Data Magnetotellurik*, Thesis S-2, Jurusan Fisika ITB Bandung, 1997.

Akmam dan Sutarno, Dody, *Pemodelan Inversi Satu-Dimensi Data Magnetotellurik, Memodifikasi Inversi Occam dengan Menggunakan Pemotongan Nilai Singguler*, Kontribusi Fisika Indonesia Vol.8 No.2, al 63 – 72, Mai 1997.

Constable, S.C, dan Parker, R.L., Constable C.G., *Occam's Inversion: A Practical Algorithm for Generating Smooth Model from Electromagnetik Sounding Data*, Geophysics Vol.52 No.3 hal, 289 – 293, March 1987.

Hermance, J.F. dan Pederson.J., *Least Squares Inversion of One Dimensional Magnetotellurik Data: An Assesment of Procedures Employed by Brown University*, Geophysics Astronomi No.8 hal. 187 – 231., 1986.

Larsen, J.C., *A New Technique for Layered Earth Magnetotelluric Inversion*, Geophysics Vol. 46 No.9, hal, 1247 – 1257, September, 1981.

Nabighian, M.N., (Ed). *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Theory* Sociaty of Exploration Geophysics Vol.1, Oklahoma, 1987.

Smith, J.T., dan Booker J.R., *Magnetotelluric Inversion for Minimum Strukture*, Geophysics Vol. 53 No.12, hal, 1565 – 1576, Desember , 1988.

Vozoff , K dan Jupp, D.L.D., *Stable Iterative Methods for The Inversion of Geophysics Data*, Geophysics No.42, hal, 1957 – 1976, 1975,

MILIK PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS NEGERI PADANG