

## **INTERPRETASI TOMOGRAFI PROBABILITAS PADA DATA PSEUDO TAHANAN JENIS DUA DIMENSI**

Eddy Hartantyo dan Sismanto  
Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, UGM

### **Intisari**

Metode Tomografi Probabilitas merupakan suatu konsep baru dalam upaya mengetahui kebolehjadian suatu unit sel benda memiliki parameter fisis tertentu, yang didefinisikan sebagai sebuah besaran fisis yang berhubungan secara linear dengan respon yang ditimbulkannya. Pengukuran besaran fisis tersebut secara langsung memiliki beberapa hambatan baik hambatan teknis maupun hambatan ekonomis, sehingga dipakai teknik pengukuran tomografi. Konsep tomografi akan diterapkan pada interpretasi data tahanan jenis semu dua dimensi yang diukur semi-tomografi di permukaan medium sintetis dengan konfigurasi dipole-dipole. Data keluaran hasil pemrosesan adalah kebolehjadi-an sel-sel pada suatu grid model yang memiliki nilai tahanan jenis tertentu. Secara visual, kontur probabilitas dapat menggambarkan keberadaan anomali yang memiliki tahanan jenis lebih besar ataupun lebih kecil dari tahanan jenis baku yang ditentukan. Metode dan perangkat lunak tomografi probabilitas yang dibuat, diujicobakan dengan model-model sintetis yang cukup bervariasi dan menghasilkan bentuk anomali yang relatif sama dengan model yang digunakan.

*Kata kunci : Tomografi Probabilitas, resistivitas*

## **INTERPRETATION OF PROBABILITY TOMOGRAPHY TO TWO DIMENSIONAL PSEUDO-RESISTIVITY DATA**

### **Abstract**

Probability Tomography method is a new concept to understand the probability of medium (cell) which content as an assumed physical parameter. The physical parameter was defined as a physical value that linearly related with resulted responses. The measurements of these responses have many problems, such as technical problems as well as economic problems, therefore a tomographic technique measurement has been used. This concept will be applied to two dimensional pseudo resistivity interpretations, which measured on synthetic models surface using semi-tomographic technique by dipole-dipole configuration. The result of processed data is probabilities of each cell to have an assumed resistivity. Probabilities map contour describe anomalies attitude, which have bigger, or smaller resistivity than assumed one visually. Probability tomographyc's method and software have been developed and tested with various synthetic models and yields identical responses with used models.

*Keywords : Probability tomography, resistivity*

## 1. Pendahuluan

Data tahanan jenis semu dua dimensi yang diperoleh baik pada pengukuran metode Polarisasi Terinduksi maupun pengukuran tahanan jenis dua dimensi lainnya dapat diinterpretasikan secara kualitatif maupun kuantitatif (Loke dan Barker, 1995). Interpretasi kualitatif dilakukan dengan melihat bentuk-bentuk klosur tahanan jenis yang sesuai dengan pemodelan maju yang telah dihitung, kemudian mereka-reka bentuk dan dimensi anomalnya. Sedangkan interpretasi kuantitatif memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi, baik dalam perumusan maupun dalam pemodelannya, karena membutuhkan sebuah model maju tertentu. Bagaimanapun juga, interpretasi kualitatif masih menjadi andalan dalam interpretasi data tahanan jenis dua dimensi di beberapa perusahaan pertambangan dan institusi penelitian.

Untuk lebih mempermudah upaya interpretasi kualitatif tersebut, di dalam makalah ini akan dikaji penerapan suatu metode interpretasi yang semi kuantitatif, yaitu metode tomografi probabilitas. Metode ini memberikan gambaran anomali model dalam bentuk kontur probabilitas / kebolehjadian dari tahanan jenis sel-sel yang membentuk model tersebut (Mauriello dan Patella, 1999). Kontur ini dapat digunakan sebagai referensi semi kuantitatif dalam interpretasi data tahanan jenis dua dimensi dengan konfigurasi dipole-dipole.

Tomografi probabilitas merupakan suatu konsep baru dalam upaya mengetahui kebolehjadian suatu benda memiliki parameter sebab tertentu (Mauriello dan Patella, 1999; Mauriello *dkk.*, 1998). Parameter sebab didefinisikan sebagai besaran-besaran fisis yang dimiliki oleh sebuah benda diskrit maupun kontinyu yang menyebabkan timbulnya respon pada posisi tertentu, dan biasanya hanya dapat diukur di permukaan atau diluar medium.

Secara fisis, besaran tersebut tidak dapat ditentukan secara langsung karena efek posisi, peralatan yang digunakan dan faktor ekonomis. Contohnya besaran fisis tahanan jenis dalam medium batuan di bawah permukaan bumi pada kedalaman 100 meter. Tahanan jenis ini tidak dapat ditentukan secara langsung dengan pengukuran, kecuali dengan teknik logging atau pengeboran yang membutuhkan banyak biaya. Tentu saja untuk memetakan daerah penelitian yang cukup luas, metode logging membutuhkan lebih banyak lagi

biaya dan biasanya tidak ekonomis. Salah satu metode pengukuran tahanan jenis secara tidak langsung adalah dengan menggunakan 4 (empat) buah elektroda yang dipasang segaris (*in-line galvanic methods*). Pengukuran dilakukan di permukaan tanah dan dengan merubah tata letak/konfigurasi elektrodanya sehingga diperoleh nilai tahanan jenis di bawah permukaan. Nilai tahanan jenis semu yang diperoleh biasanya disajikan dalam sayatan pseudo tahanan jenis yang menggambarkan sifat tahanan jenis medium di bawah lintasan pengukuran. Teknik tersebut dapat digolongkan sebagai teknik semi tomografi (Mauriello dan Patella, 1999).

Data pengukuran tahanan jenis yang diukur secara tidak langsung tersebut diharapkan dapat mencitrakan dimensi atau bentuk benda anomali. Pencitraan tersebut dapat menggunakan teknik inversi yang banyak dikembangkan dalam geolistrik (Loke dan Barker, 1995; Dahlin, 1996; Patella, 1997). Tetapi, mengingat volume data tomografi yang cukup besar, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan menjadi sangat signifikan.

Dalam makalah ini, akan disajikan penerapan konsep metode tomografi probabilitas yang dapat menunjukkan kebolehjadian suatu sel dalam model benda tertentu memiliki besaran fisis relatif yang dapat menunjukkan bentuk dan lokasi penyebab anomali respon yang diterima. Konsep tomografi probabilitas membutuhkan waktu yang cukup pendek karena tidak adanya proses iterasi dalam perhitungannya.

## 2. Dasar Teori

### Metode Tomografi Probabilitas

Andaikan terdapat deretan data diskrit  $y(r)$  yang merupakan respon dari sebuah besaran fisis  $a(r)$ , yang keduanya bervariasi sebagai fungsi koordinat  $r$ , dengan  $r$  adalah posisi dalam koordinat tertentu (dalam sistem koordinat kartesian  $x = 1, 2 \dots X$ ;  $y = 1, 2 \dots Y$  dan  $z = 1, 2 \dots Z$ ), maka nilai  $y(r)$  yang diukur di permukaan suatu benda (Gambar 1) akan bervariasi sebagai fungsi nilai  $a(r)$  pada setiap sel.

Respon  $y(r)$  yang merupakan suatu fungsi kontinyu untuk 1 (satu) sel model dapat dideretkan menurut deret Taylor sebagai;

$$y(r) = y_0(r) + \frac{y_0'(r)}{1!}(a_r - a_0) + \frac{y_0''(r)}{2!}(a_r - a_0)^2 + \dots \tag{1}$$

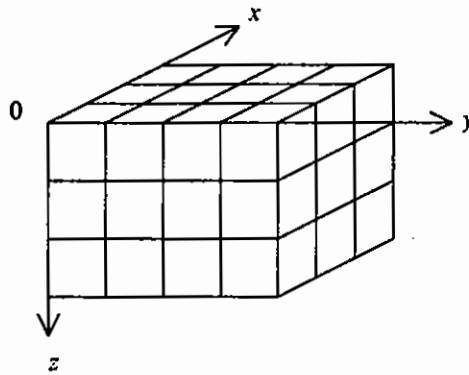
dengan  $y_0(r)$  adalah respon oleh besaran fisis awal  $a_0(r)$  yang telah ditentukan. Untuk menyederhanakan problema dan perhitungannya, persamaan (1) hanya diambil hingga orde satu saja, sehingga didapatkan persamaan

$$y(r) = y_0(r) + y_0'(r)(a_r - a_0) \tag{2}$$

Mengingat bahwa jumlah sel-sel tidak hanya tunggal, maka respon  $y(r)$  dipengaruhi oleh jumlahan respon tiap sel dari seluruh sel-sel yang membentuk model, sehingga persamaan (2) menjadi

$$\Delta y(r) = \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\partial y_0(r)}{\partial a_r} \Delta a_r \tag{3}$$

dengan  $\Delta y(r) = y(r) - y_0(r)$  merupakan selisih respon terukur dengan respon akibat model awal yang dikenakan, dan  $\Delta a_r = a_r - a_0$ .



Gambar 1. Blok model tomografi. Setiap sel memiliki parameter fisis  $a(r)$  yang menimbulkan respon terukur  $y(r)$  di permukaan model.

Besarnya energi suatu fungsi (*energy function*) didefinisikan sebagai jumlahan kuadrat fungsi tersebut, diterapkan terhadap selisih respon untuk mengetahui kuantitas kesalahan normalnya, yaitu

$$W = \sum_{r=1}^s [\Delta y(r)]^2 = \sum_{r=1}^s \Delta y(r) \cdot \Delta y(r) \tag{4}$$

Fungsi ini lazim dipergunakan sebagai parameter kecocokan inversi. Substitusi persamaan (3) ke dalam sisi kanan persamaan (4) memberikan

$$W = \sum_{r=1}^s \Delta y(r) \cdot \sum_{r=1}^s \frac{\partial y_0(r)}{\partial a_r} \Delta a_r \tag{5}$$

Bentuk diferensial pada sisi kanan persamaan (5) merupakan matriks Jacobi tiga dimensi yang dapat diringkas didefinisikan menjadi  $\Gamma(r)$  sehingga diperoleh;

$$W = \sum_{r=1}^{\infty} \Delta a_r \sum_{r=1}^{\infty} \Gamma(r) \Delta y(r) \tag{6}$$

Kemudian, dengan menggunakan pertidaksamaan Schwarz yang berbentuk  $[\sum ab]^2 \leq \sum a^2 \sum b^2$ , maka sisi kanan persamaan (6) akan menjadi

$$[\sum \Gamma(r) \Delta y(r)]^2 \leq \sum [\Gamma(r)]^2 \sum [\Delta y(r)]^2 \tag{7}$$

Dengan membagi sisi kiri persamaan (7) dengan sisi kanannya, akan diperoleh pertidaksamaan

$$-1 \leq \eta_r \leq 1 \tag{8}$$

dengan

$$\eta_r = \frac{[\sum_{r=1}^{\infty} \Gamma(r) \Delta y(r)]^2}{\sum_{r=1}^{\infty} [\Gamma(r)]^2 \sum_{r=1}^{\infty} [\Delta y(r)]^2} \tag{9}$$

Nilai  $\eta_r$  berkisar antara -1 dan 1, mengandung arti bahwa nilai negatif menunjukkan probabilitas bahwa parameter fisis  $a(r)$  pada sel  $r$  bernilai kurang dari nilai  $a_0(r)$  yang menimbulkan  $y_0(r)$ , dan nilai positif menunjukkan nilai probabilitas bahwa parameter fisis  $a(r)$  pada sel  $r$  bernilai lebih dari nilai  $a_0(r)$ .

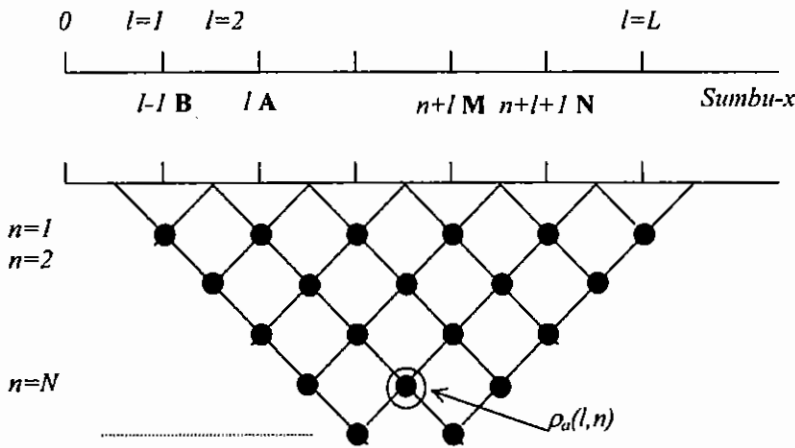
**Aplikasi Tomografi Probabilitas dalam Metode Geolistrik**

Sesuai dengan perumusan dimuka, disajikan sekelompok data tahanan jenis semu pseudo  $\rho_a(l,n)$  ( $l = 1, 2, \dots, L; n = 1, 2, \dots, N$ ) yang diukur dengan konfigurasi dipol-dipol sepanjang lintasan lurus pada sebuah medium yang homogen isotrop. Pemakaian indeks  $l$  dan  $n$  mengikuti perjanjian umum (Loke dan Barker, 1995) yang dipergunakan (Gambar 2). Diasumsikan bahwa bagian-bagian model yang mempengaruhi nilai  $\rho_a(l,n)$  merupakan kelompok sel-sel bervolume kecil ( $\Delta V$ ) yang berjumlah  $Q$ , dengan masing-masing memiliki tahanan jenis  $\rho_q (q=1, 2, \dots, Q)$ .

Ekspansi  $\rho_a(l,n)$  ke dalam deret Taylor akan memberikan perumusan

$$\begin{aligned} \Delta\rho_a(l,n) &= \rho_a(l,n) - \rho_{a,0}(l,n) \\ &= \sum_{q=1}^Q \frac{\partial\rho_a(l,n)}{\partial\rho_q} \Delta\rho_q + \sum (\text{orde lebih tinggi}) \end{aligned} \tag{10}$$

dengan  $\Delta\rho_a(l,n)$  menunjukkan selisih tahanan jenis semu pengukuran antara  $\rho_a(l,n)$  dengan tahanan jenis semu hasil perhitungan  $\rho_{a,0}(l,n)$  yang dihitung pada spasi  $(l,n)$  pada model referensi yang ditunjukkan oleh  $mod_0$ . Sedangkan  $\Delta\rho_q$  adalah selisih antara tahanan jenis sebenarnya dengan tahanan jenis  $mod_0$ .



Gambar 2. Metode profiling sayatan pseudo Dipole-dipole

Bentuk persamaan diferensial  $\frac{\partial\rho_a(l,n)}{\partial\rho_q}$ , yang nantinya berbentuk matriks, dikenal sebagai matriks Jacobi. Perumusan matriks untuk tahanan jenis sayatan pseudo ini diambil dari Loke dan Barker (1995).

Fungsi *power*  $W$  merujuk pada Patella (1997) dan Mauriello *dkk.*, (1998) diaplikasikan terhadap data beda tahanan jenis semu  $\Delta\rho_a(l,n)$  yaitu;

$$W = \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N [\Delta\rho_a(l,n)]^2 \tag{11}$$

Sesuai dengan persamaan (9) dapat diperoleh persamaan tomografi probabilitas;

$$\eta_q = \left[ \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N \Delta\rho_a(l,n) \Psi_q(l,n) \right] \times \left[ \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N [\Delta\rho_a(l,n)]^2 \cdot \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N [\Psi_q(l,n)]^2 \right]^{-1/2} \tag{12}$$

dengan  $\Psi_q(l,n)$  merupakan matriks Jacobi (Loke dan Barker, 1995). Tiap-tiap nilai  $\eta_q$  merupakan nilai probabilitas dari tiap-tiap sel  $q$  dalam model. Nilai  $\eta_q$  yang positif menunjukkan nilai probabilitas sel ke- $q$  memiliki tahanan jenis yang lebih besar dari tahanan jenis *host*, sedangkan nilai RAOP (*Resistivity Anomaly Occurance Probability*) negatif menunjukkan nilai probabilitas sel ke- $q$  memiliki tahanan jenis lebih kecil dari tahanan jenis *host* pada *mod<sub>0</sub>*.

### 3. Metode Penelitian

Untuk pengujian metode dan perangkat lunak, dipergunakan data-data sintetis hasil perhitungan model maju menggunakan program pemodelan maju dua dimensi (RES2DMOD) yang mempergunakan pendekatan beda hingga. Program tersebut diperoleh dari *site* <http://www.abem.com> yang dapat di-*download* secara gratis di internet.

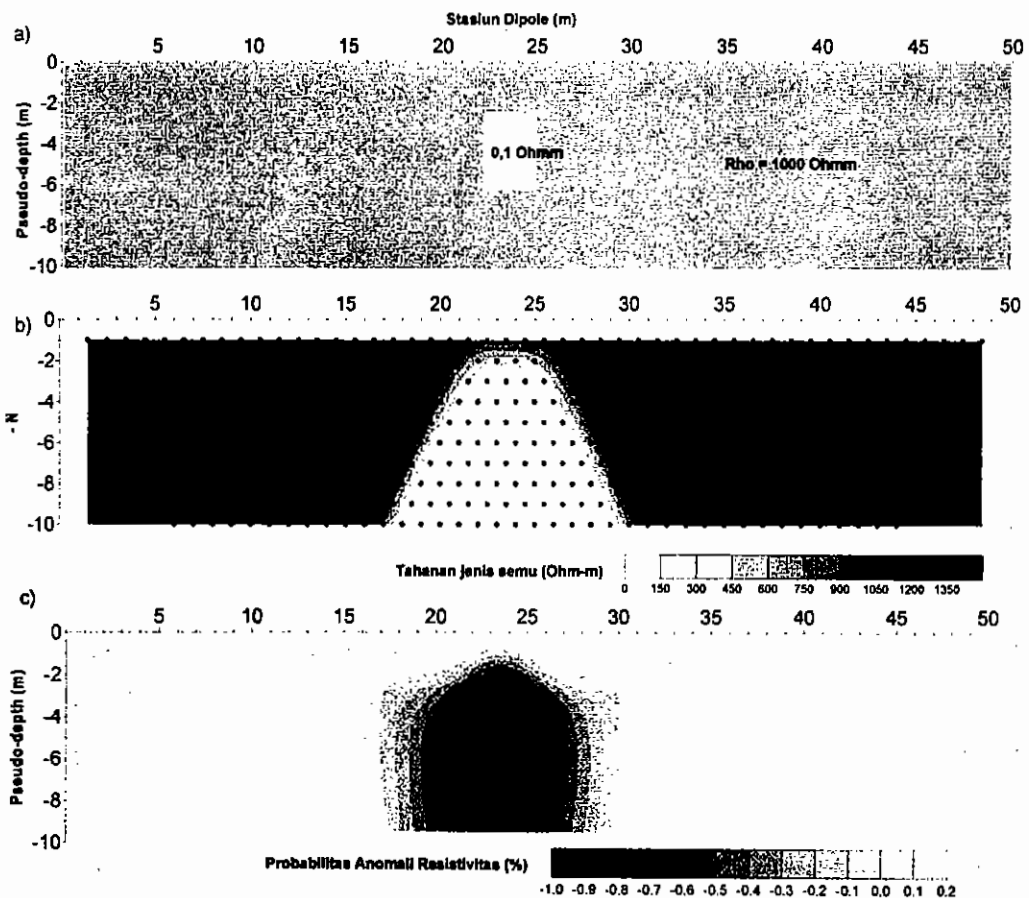
Model-model sintetis yang dibuat disesuaikan dengan kenampakan umum struktur geologi di lapangan dengan bentukan model-model yang cukup bervariasi. Perhitungan model akan menghasilkan nilai-nilai tahanan jenis semu sebagai fungsi pseudo konfigurasi dipol-dipol, dilengkapi dengan nilai tahanan jenis semu pada spasi setengah dipol untuk kelengkapan penggambaran hasil perhitungannya.

Berdasarkan susunan data keluaran program model maju yang diperoleh, diperlukan beberapa perubahan agar susunan data masukan sudah sesuai dengan data masukan yang dikehendaki oleh program tomografi probabilitas. Perubahan ini menggunakan program kecil (*converter.exe*) yang harus dibuat sebelumnya. Setelah pemrosesan program berjalan dengan baik, didapatkan hasil data keluaran yang berupa posisi sel-sel dalam model grid beserta nilai probabilitasnya. Probabilitas yang terpetakan dalam satu sayatan tersebut dibandingkan dengan model awal yang dibuat, kemudian dilihat kecocokannya secara visual. Kecocokan secara kuantitatif, misalnya nilai kesalahan *rms* (*root mean square*) tidak dapat diperoleh karena hasil akhir masih berupa nilai probabilitas.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### Model Anomali Blok Konduktif

Model yang pertama yaitu model anomali berupa sebuah blok benda konduktif dengan tahanan jenis  $0,1 \Omega\text{m}$  berdimensi  $3 \times 3.5$  (luasan dipole) berada di bawah stasiun 22 hingga 25 (Gambar 3a). Benda tersebut diasumsikan sebagai tubuh benda konduktif yang ideal. Tubuh benda kotak seperti ini merupakan kriteria standar uji coba sebuah metode ataupun program perangkat lunak. Benda anomali diletakkan pada medium induk (*host medium*) yang cukup tidak konduktif dengan tahanan jenis  $1000 \Omega\text{m}$  yang homogen isotrop di sembarang titik. Kedalaman benda model merujuk pada kedalaman pseudo (Gambar 2) yang merupakan fungsi spasi dipole ( $n$ ) sehingga kedalaman yang dipakai bukan merupakan kedalaman sebenarnya.



Gambar 3. Model anomali blok yang konduktif (a), kontur respon tahanan jenis dipole-dipole dari model (b), dan kontur probabilitas hasil perhitungan (c) yang menunjukkan keberadaan anomali.



Respon tahanan jenis semu apabila dilakukan pengukuran tahanan jenis dengan konfigurasi dipole-dipole terlihat pada gambar 3b. Panjang dipole yang dipergunakan adalah 1 m dan panjang spasi hingga  $n = 10$ . Respon yang berbentuk huruf V terbalik ( $\wedge$  shape) diperoleh dengan pusat respon berada pada spasi 23,5 berada tepat di tengah model. Plot tahanan jenis tersebut menggunakan sumbu vertikal berupa nilai  $n$  murni yang berbeda dengan *pseudo depth*.

Peta probabilitas anomali resistivitas dengan menggunakan masukan dari respon tahanan jenis semu terlihat pada Gambar 3c. Tahanan jenis *host* yang dipergunakan adalah sama dengan tahanan jenis *host* model yaitu 1000  $\Omega\text{m}$  dengan harapan hanya visualisasi anomali saja yang terlihat. Klosur probabilitas rendah (yang berarti kebolehdian memiliki tahanan jenis kurang dari tahanan jenis *host*) terlihat tepat pada lokasi model. Bentuk klosur relatif berbentuk bulat untuk model yang berbentuk kotak.

Hal ini menunjukkan kelemahan metode bahwa metode tomografi probabilitas kurang dapat memberikan petunjuk tentang bentuk atau dimensi penyebab anomali. Namun demikian, setidaknya lokasi dan kedalaman anomali dapat diperkirakan keberadaannya secara lebih cermat. Untuk model kotak, dapat disimpulkan bahwa interpretasi kualitatif dengan metode tomografi probabilitas dapat memberikan posisi anomali secara lebih tepat daripada interpretasi langsung Gambar 3b.

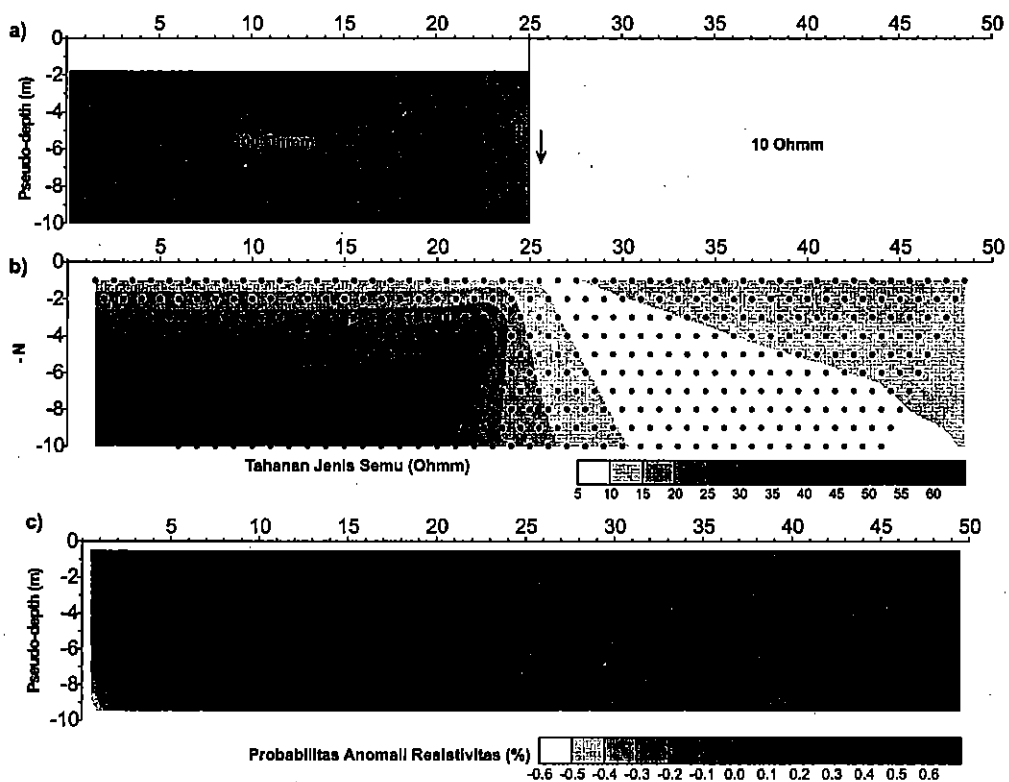
### **Model Anomali Patahan Normal**

Model yang kedua yaitu model anomali berupa sebuah blok patahan dengan blok yang turun (diasumsikan sebagai *host medium*) memiliki tahanan jenis 10  $\Omega\text{m}$ . Sedangkan blok yang diam memiliki tahanan jenis 100  $\Omega\text{m}$  terletak pada kedalaman dua pseudo meter dan lebar 25 m (Gambar 4a). Respon tahanan jenis semu apabila dilakukan pengukuran tahanan jenis dengan konfigurasi dipole-dipole terlihat pada Gambar 4b. Panjang dipole yang dipergunakan adalah 1 m dan panjang spasi sama untuk setiap model yaitu hingga  $n = 10$ . Plot tahanan jenis tersebut menggunakan sumbu vertikal berupa

nilai  $n$  murni yang penentuannya dalam medan grafik berbeda dengan *pseudo depth*.

Gambar 4c menunjukkan kontur probabilitas anomali tahanan jenis berdasarkan data masukan model patahan pada Gambar 4b. Bentuk patahan relatif tidak begitu terlihat pada klosur tersebut; melainkan hanya berupa klosur bundar dengan dimensi yang cukup lebar. Batas patahan juga tidak begitu tampak apabila dibandingkan dengan sketsa garis patahan yang dibuat.

Hal ini juga menunjukkan kelemahan metode bahwa metode tomografi probabilitas kurang dapat memberikan petunjuk tentang bentuk atau dimensi penyebab anomali. Tetapi, setidaknya lokasi dan kedalaman anomali dapat diperkirakan keberadaannya secara lebih cermat.

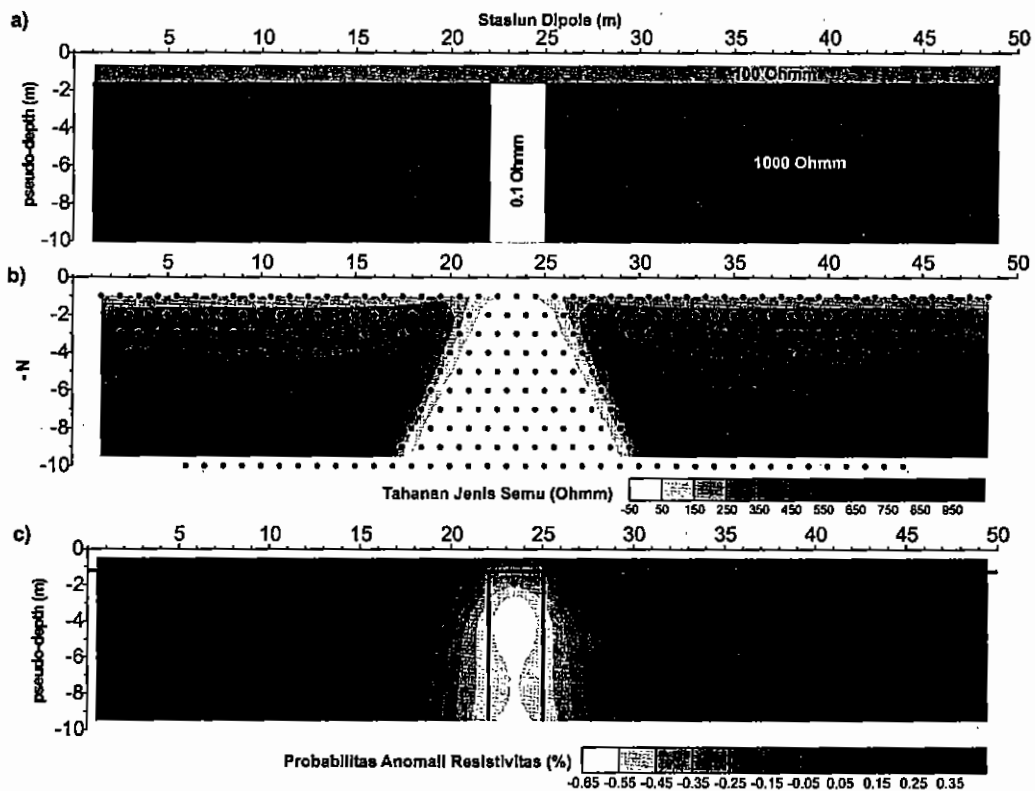


Gambar 4. Model anomali patahan normal (a), kontur respon tahanan jenis dipole-dipole dari model (b), dan kontur probabilitas hasil perhitungan (c) yang menunjukkan keberadaan anomali

### Model Anomali Urat Tegak Terkubur

Model anomali urat yang terkubur terlihat pada Gambar 5a. Medium induk diasumsikan sebagai batupasir tufaan yang memiliki tahanan jenis homogen 1000 m. Rekahan batupasir terisi oleh kuarsa yang mengandung mineral-mineral logam dengan tahanan jenis homogen 0,1 m.

Urat kuarsa diasumsikan berbentuk seperti dike tegak dengan tebal 3 panjang dipole (Gambar 5a). Medium induk dan urat kuarsa terkubur oleh batuan penutup yang diasumsikan berupa endapan aluvial yang memiliki tahanan jenis homogen 100 m. Tebal batuan penutup adalah 1,25 pseudo kedalaman.



Gambar 5. Model anomali urat tegak terkubur (a), kontur respon tahanan jenis dipole-dipole dari model (b), dan kontur probabilitas hasil perhitungan (c) yang menunjukkan keberadaan anomali

Kenampakan data pseudo tahanan jenis semu hasil perhitungan maju disajikan pada Gambar 5b. Kenampakan yang diperoleh mirip seperti model

kotak (Gambar 3b). Anomali minimum *V shape* terdapat di bawah stasiun 23 hingga 25 sama seperti model matematis yang dimasukkan. Efek pinggir hasil proses *gridding* pengkonturan selalu muncul di tepi-tepi data, yaitu pada stasiun 1,5 sampai stasiun 5.

Kontur probabilitas anomali tahanan jenis hasil pemrosesan dengan data masukan tahanan jenis semu (Gambar 5b) terlihat pada Gambar 5c. Probabilitas yang cukup kecil (-0.65) membentuk klosur keberadaan model urat yang dibuat, yang menunjukkan keberadaan benda dengan tahanan jenis yang relatif lebih kecil dari tahanan jenis rerata yang dimasukkan. Walaupun bentukan sudah cukup memberikan arti bahwa benda tersebut merupakan urat tegak, tetapi dimensi benda tidak dapat ditentukan secara baik.

Klosur probabilitas yang tinggi (sekitar 0.35) yang membentuk klosur besar secara visual dapat diinterpretasikan sebagai bentukan intrusi besar. Klosur yang cukup besar yang seharusnya merupakan batuan induk, karena efek pinggir medium maka bentukan yang dihasilkan berbentuk klosur. Lapisan penutup dengan tahanan jenis yang sedang kelihatan lebih tebal daripada model yang dipergunakan, dengan nilai probabilitas -0.05% sampai 0.05%. Lapisan ini secara visual cukup terlihat sebagai satuan medium penutup.

Hasil perhitungan probabilitas dengan model urat terkubur memberikan kenampakan umum bentuk model yang cukup baik, dengan beberapa keterbatasan yaitu bentukan medium induk yang kurang terlihat dengan jelas.

## 5. Kesimpulan

1. Metode Tomografi Probabilitas yang diterapkan dalam interpretasi data pseudo kedalaman dua dimensi memberikan kenampakan hasil secara visual yang lebih baik daripada metode interpretasi langsung.
2. Dimensi benda anomali dapat ditentukan secara lebih baik dari respon pola kontur probabilitasnya.
3. Lokasi keberadaan benda anomali dapat diperkirakan secara lebih tepat berdasar pusat kontur probabilitas positif ataupun negatif.

### **Ucapan Terima Kasih**

Terimakasih penulis ucapkan kepada *Indonesian Petroleum Association University Assistance Committee* (IPA-UAC) atas seluruh pendanaan penelitian ini dan Lab. Geofisika, FMIPA, UGM atas bantuan tempat dan fasilitas penelitian.

### **Daftar Pustaka**

- Dahlin, T., 1996, 2D Resistivity surveying for environmental and engineering applications, *First Break*, v 14, 7, 275-283.
- Loke, M. H., dan Barker, R.D., 1995, Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections, *Geophysics*, 60, 1682-1690.
- Mauriello, P., dan Patella, D., 1999, Resistivity anomaly imaging by probability tomography, *Geophysical Prospecting*, 47, 411-429.
- Mauriello, P., Monna D. dan Patella, D., 1998, 3D Geoelectric tomography and archaeological applications, *Geophysical Prospecting*, 46, 543-570.
- Patella, D., 1997. *Introduction to ground surface self-potential tomography*, *Geophysical Prospecting*, 45, 653-681.