

# SIMULASI PENDUGAAN KEDALAMAN JALUR KONDUKTIF BAWAH PERMUKAAN DENGAN PROBABILITAS TOMOGRAFI GEOLISTRIK

*Depth Estimation of Subsurface Conductive Track Simulation Using Geoelectric Probability Tomography*

Eddy Hartantyo<sup>1</sup>, Waluyo<sup>1</sup>

Program Studi Ilmu Fisika  
Program Pascasarjana universitas Gadjah Mada

## ABSTRACT

Application of Probability Tomography methods in order to determine high conductivity zone in a medium has been conducted. The input data are electric potential on the surface of the medium with varied conductive pipe-like inside. Those potential have been calculated by 3D geoelectric forward modeling using finite different method. All models are flat topography.

Boundary condition techniques which give the smallest error between potential calculated using finite different method and potential calculated with analytic solution on the surface have been applied. Root mean square error is 4.29% single current source on the surface and less than 4% at some depths. This is agreed with numerical modeling condition.

Probability tomography has been applied to a line of potential which taken from calculated potential on the surface. The result is tomogram images, i.e., probabilities of occurrence conductive zone as a function of depth beneath the line.

Analysis to the cross section shows that the center of nuclei, always relate with conductive pipe-like, especially for horizontal conductive pipe-like and step like subsurface conductive pipe-like (with height difference on each side). But, for a case of branched conductive pipe-like, this method cannot resolve the response from separate conductive blocks except the top of measured potential profiles are visually separated.

**Keywords:** *probability tomography, conductive track, cross section analysis*

<sup>1</sup> Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada

## PENDAHULUAN

Menurut definisi, tomografi adalah suatu teknik pencitraan yang menghasilkan gambaran sayatan melintang (tomogram) dari sebuah obyek/medium dengan mengukur respon obyek dari sebuah sumber energi nondestruktif yang diterapkan dari luar (Lo & Inderweisen, 1994). Daily & Owen, 1991 memakai istilah 'tomografi geolistrik' untuk mencitrakan distribusi konduktivitas diantara dua lubang bor dalam sumur pengeboran minyak dengan konfigurasi pol-pol termodifikasi. Namun, di dalam banyak kasus eksplorasi tidak tersedia lubang bor untuk menerapkan teknik tomografi yang dimaksud. Untuk mengatasi hal ini, salah satunya diterapkan metode geolistrik *mise ala masse* (Sharma, 1997) yang juga menggunakan konfigurasi pol-pol yang termodifikasi.

Konfigurasi pol-pol termodifikasi mempergunakan 4 (empat) elektroda; 2 elektroda untuk injeksi arus ( $C_1$  dan  $C_2$ ) dan 2 elektroda untuk mengukur beda potensial ( $P_1$  dan  $P_2$ ). Secara teoretis,  $C_1$  dan  $P_1$  berada di tak berhingga, sehingga perumusan matematisnya dapat didekati oleh sumber arus tunggal (monopol) pada  $P_2$ .

Pada konfigurasi tersebut,  $C_2$  ditempatkan di sebarang titik asalkan bersentuhan dengan target konduktif. Arus yang mengalir dari  $C_2$  menyebar ke seluruh medium, dengan rapat muatan terbesar pada bagian-bagian yang lebih konduktif. Penyebaran potensial diukur di sebarang titik di permukaan dengan menggunakan elektroda  $P_2$ . Hasil akhir dari pengukuran ini adalah distribusi potensial (kontur potensial) di permukaan daerah penelitian yang merupakan respon distribusi muatan di bawah permukaan..

Biasanya, kontur tersebut langsung dianalisis/diinterpretasikan tanpa mengalami proses pengolahan, ataupun dirubah terlebih dahulu menjadi nilai tahanan jenis semu. Tentu saja interpretasi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh ketidak-homogenen medium dan topografi. Andaikan pengukuran dilakukan di daerah yang datar, interpretasi juga hanya terbatas pada 'arah' penyebaran bagian konduktif tanpa diketahui kedalamannya.

Berkaitan dengan penentuan kedalaman daerah konduktif tersebut, akan diimplementasikan teknik probabilitas tomografi untuk memprediksi kedalaman jalur konduktif tersebut. Teknik ini diadopsi dari metode probabilitas untuk analisis potensial diri (Patella, 1997). Sebagai sarana pengujian dan penyediaan data model, akan dibangun perhitungan pemodelan 3D geolistrik dengan metode beda hingga (Dey & Morrison, 1979; Zhang et al, 1995), sehingga dapat dibuat

banyak model yang berkaitan dengan daerah konduktif. Model lapangan yang didekati adalah model sungai bawah tanah di daerah batugamping (karst), sehingga model yang paling tepat adalah model jalur konduktif pada medium yang lebih tidak konduktif.

Permasalahan yang muncul dibatasi terutama pada penyusunan distribusi konduktivitas model. Model *host* adalah homogen isotrop dengan konduktivitas 0.0001 Mho/m (batugamping) sedangkan model jalur konduktif (air sumur) juga homogen isotrop dengan konduktivitas 0.1 Mho/m. Kontras yang diperoleh cukup besar sekitar 1000, mengingat tahanan jenis batugamping rata-rata  $10^4$  Ohmm dan air sumur rata-rata 10 Ohmm (Sharma, 1997). Variasi model dilakukan pada posisi arus dan bentuk/geometri jalur konduktif tersebut.

Batasan yang kedua adalah efek topografi. Model-model yang dibangun dibatasi untuk model bertopografi datar sehingga perumusan dan analisis untuk beda hingga dan probabilitas konduktivitasnya lebih sederhana. Blok-blok konduktivitas yang digunakan juga berbentuk kubus, sehingga lebar blok  $dx = dy = dz$ .

### Tomografi Geolistrik

Pencitraan konduktivitas medium di bawah permukaan, khususnya bumi, dapat digambarkan dengan metode tomografi, baik *full tomografi*, *single hole tomography* ataupun metode *Cross Hole tomography* (Abubakar & van den Berg, 2000, Daily & Owen, 1991). Metode-metode tersebut biasanya diselesaikan dengan teknik inversi kuadrat terkecil (*least square*) yang iteratif dengan selalu memperbarui matriks pengarah (berupa derivatif-parsial / Jacobi) yang muncul pada penyederhanaan deret Taylor (Tripp et al, 1984; Olayinka & Yaramanci, 2000, Loke & Barker, 1995).

Pembaruan (*updating*) matriks Jacobi tersebut diperlukan dalam setiap iterasinya, dan biasanya membutuhkan waktu dan memori komputer yang cukup banyak. Oleh karena itu beberapa penulis menggunakan teknik perturbasi, khususnya Loke & Barker (1996a,b) untuk memperbarui komponen Jacobi. Teknik ini diikuti oleh beberapa paper dengan beberapa modifikasi hingga saat ini.

### Pemodelan Geolistrik

Pendekatan beda hingga yang dipergunakan untuk perhitungan maju geolistrik sebarang konfigurasi, selalu merujuk ke Dey & Morrison (1979) untuk pemodelan 3D dan Mufti (1976) untuk

kasus 2D. Beberapa *paper* (Swift, 1971; Zhang et al, 1995) menggunakan pendekatan jaringan (*networking*) dan pemanfaatan transformasi Fourier (Trip et al, 1984) di dalam pemodelan majunya.

Khusus untuk pemodelan numerik dengan metoda beda hingga, terdapat permasalahan pada syarat batas. Permasalahan tersebut terletak pada sisi tepi *node* yang seharusnya terdapat pada posisi tak berhingga tetapi dalam pemodelan disyaratkan menjadi berhingga untuk perhitungan numerik. Salah satu cara penyelesaian masalah tersebut adalah dengan memanjangkan secara eksponensial dimensi blok-blok yang terletak di tepi (Mufti, 1976).

Dey & Morrison (1979) telah memperbaiki permasalahan tersebut dengan memunculkan konsep syarat batas campuran (*mixed boundary condition*), antara syarat Neumann yang terlalu *overshoot* dan syarat Dirichlet yang terlalu *undershoot*. Syarat batas campuran yang telah dibuat sudah cukup signifikan untuk sumber arus tunggal (Zhang et al, 1995). Tetapi, untuk sumber arus yang lebih dari satu, Zhang et al (1995) memodifikasi syarat batas campuran khusus untuk lebih dari satu sumber arus (*improved BC*).

### Probabilitas Tomografi

Konsep probabilitas tomografi dimunculkan oleh Mauriello & Patella (1999) yang diaplikasikan untuk mengetahui distribusi tahanan jenis bawah permukaan metode geolistrik dipol-dipol. Sebaran tahanan jenis dinyatakan sebagai citra bawah permukaan yang memiliki probabilitas negatif (tahanan jenis pada posisi tersebut relatif lebih rendah dari tahanan jenis rerata) dan probabilitas positif (sebaliknya).

Sebelumnya, konsep probabilitas tersebut juga telah dipergunakan untuk metode SP (Patella, 1997) dimana hasil pengukuran potensial di permukaan dipergunakan untuk mencari sumber arus monopul dan dipol pada medium yang homogen di bawah lokasi pengukuran. Citra hasil dinyatakan dalam bentuk nilai probabilitas. Probabilitas positif menunjukkan keberadaan pusat (nuklei) arus positif dan probabilitas negatif menunjukkan keberadaan pusat (nuklei) arus negatif.

Pada penelitian ini, konsep probabilitas akan diterapkan untuk mencari daerah konduktif dengan metode pol-pol termodifikasi, khususnya untuk model sungai bawah tanah yang sederhana. Metode pole-pole termodifikasi ini mirip seperti metode Mise Ala Masse, dimana sumber arus diinjeksikan pada atau bersentuhan dengan jalur

konduktif. Arus akan menjalar pada daerah konduktif yang menyebabkan rapat arus di lokasi tersebut lebih tinggi dari lokasi yang lebih tidak konduktif (Robinson & Coruh, 1988; Sharma, 1997). Model maju geolistrik 3D yang digunakan berdasar Dey & Morrison (1979), syarat batas berdasar Zhang et al (1995) dan probabilitas tomografi yang digunakan berdasar Patella (1997).

## TEORI

Potensial  $\phi$  di titik  $P$  di permukaan pada medium isotrop tak homogen yang di dalamnya terdapat rapat arus sebarang dirumuskan sebagai (Alfano, 1959);

$$\phi(P) = \frac{1}{4\pi} \left[ \int_v \frac{\rho \nabla \cdot \mathbf{J}}{r} dv + 2 \int_v \frac{\mathbf{E} \cdot \nabla \rho}{\rho r} dv \right] \quad (1)$$

dengan  $\mathbf{J}$  adalah vektor rapat arus dan  $r = |\mathbf{r}|$  adalah jarak dari titik amat  $P$  ke volume infinitesimal  $dv$  pada medium konduktif. Ruas kiri berlaku untuk seluruh medium dengan konduktivitas tidak nol dan ruas kanan berlaku untuk  $\nabla \rho \neq 0$  (pada bidang batas).

Menurut Patella(1997) pers (1) dapat dituliskan dalam bentuk;

$$\phi(P) = \sum_{q=1}^Q \frac{\Gamma_q}{r_q} \quad (2)$$

dengan  $\Gamma_q$  adalah intensitas akumulasi muatan total pada ke  $q$  dan  $r_q$  adalah jarak dari titik amat  $P$  ke suatu titik  $q$  ( $r_q > 0$ ).

Dalam aplikasi di lapangan, diandaikan potensial diukur di permukaan medium sepanjang sumbu  $x$ , dimana sumbu  $y$  dan sumbu  $z$  saling ortogonal terhadap sumbu  $x$ , dan sumbu  $z$  positif ke bawah. Jika ditentukan  $h_q^2 = y_q^2 + z_q^2$ , maka pers (2) dapat dituliskan menjadi;

$$\phi(P) = \sum_{q=1}^Q \frac{\Gamma_q}{[(x - x_q)^2 + h_q^2]^{1/2}} \quad (3)$$

Bila medan listrik  $E_x$  kontinu sepanjang sumbu  $x$ , maka minus gradien pers (3) akan diperoleh;

$$E_x(x) = \sum_{q=1}^Q \frac{\Gamma_q(x - x_q)}{[(x - x_q)^2 + h_q^2]^{3/2}} \quad (4)$$

Menurut Patella (1997), sebarang komponen medan listrik di permukaan dapat diasumsikan sebagai superposisi kontinyu gelombang-gelombang harmonic stasioner dengan panjang gelombang sembarang antara 0 hingga  $+\infty$ . Berdasar pernyataan tersebut, medan listrik di permukaan sepanjang sumbu  $x$  untuk  $q$  buah titik akumulasi muatan listrik di bawah permukaan dapat dituliskan sebagai;

$$E_x(x) = \sum_{q=1}^Q E_x(x - x_q, h_q). \quad (5)$$

Jumlahan kuadratis (*power integral*) pada medan listrik di permukaan  $E_x(x)$  dapat dituliskan sebagai;

$$\int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx = \sum_{q=1}^Q \int_{-\infty}^{+\infty} E_x(x) E_x(x - x_q, h_q) dx. \quad (6)$$

Salah satu aplikasi yang akan digunakan adalah mengevaluasi sisi kanan pers (6) dengan pertidaksamaan Schwartz (*cross-correlation bounding inequality*) sehingga akan didapatkan:

$$\left[ \int_{-\infty}^{+\infty} E_x(x) E_x(x - x_q, h_q) dx \right]^2 \leq \int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx \int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x, h_q) dx \quad (7)$$

Didefinisikan sebuah variabel baru yaitu;

$$\mathfrak{I}_x(x - x_q, h_q) = \frac{(x - x_q)}{\left[ (x - x_q)^2 + h_q^2 \right]^{3/2}} \quad (8)$$

yang dikenal sebagai fungsi pemayar kawasan ruang (*space domain scanning (SDS) function*). Substitusi pers (8) kedalam pers (4) untuk satu titik  $q$  akan menghasilkan;

$$E_x(x - x_q, h_q) = \Gamma_q \mathfrak{I}_x(x - x_q, h_q) \quad (9)$$

Kemudian, substitusi pers (9) pada pers (7), akan menghasilkan;

$$\left[ \int_{-\infty}^{+\infty} E_x(x) \mathfrak{I}_x(x - x_q, h_q) dx \right]^2 \leq \int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx \int_{-\infty}^{+\infty} \mathfrak{I}_x^2(x, h_q) dx \quad (10)$$

dimana variabel  $\Gamma_q$  menjadi hilang di kedua sisinya.

Berdasar tabel integral (Patella, 1997), nilai kuadrat fungsi SDS diberikan sebagai;

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \mathfrak{I}_x^2(x, h_q) dx = \frac{\pi}{8h_q^3} \quad (11)$$

yang berlaku untuk  $h_q > 0$ . Dengan demikian, ruas kanan pers (10) dapat dituliskan sebagai;

$$\int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \mathfrak{I}^2(x, h_q) dx = \frac{1}{B^2 h_q^3} \quad (12)$$

dengan

$$B = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi \int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx}}$$

Nilai  $B$  hanya bergantung dari komponen medan listrik  $E_x(x)$  yang terukur di permukaan. Dengan demikian, substitusi pers(12) ke dalam pers(10), akan mendapatkan

$$\left[ \int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \mathfrak{I}^2(x - x_q, h_q) dx \right]^2 \leq \frac{1}{B^2 h_q^3}$$

Persamaan tersebut dapat ditulis kembali menjadi:

$$B^2 h_q^3 \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \mathfrak{I}^2(x - x_q, h_q) dx \right]^2 \leq |1|,$$

yang kemudian diakarkan pada kedua sisi menjadi;

$$B h_q^{3/2} \int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \mathfrak{I}^2(x - x_q, h_q) dx \leq |1| \quad (13)$$

Ruas kiri pertidaksamaan (13) merupakan nilai  $COP$  yang dianalisis berdasarkan medan listrik di permukaan akibat suatu rapat muatan di titik  $x_q, h_q$ . Persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai:

$$-1 \leq \eta(x_q, h_q) \leq +1 \quad (14)$$

dengan

$$\eta(x_q, h_q) = Bh_q^{3/2} \int_{-\infty}^{+\infty} E_x(x) \mathfrak{F}_x(x - x_q, h_q) dx \quad (15)$$

yang berlaku untuk  $h_q > 0$ .

Nilai COP pada persamaan (15) sudah dapat dihitung, mengingat tidak terdapat lagi variabel medan pada kedalaman  $h_q$ , melainkan hanya medan di permukaan dan nilai SDS yang sudah diketahui. Fungsi ini dapat digunakan untuk menunjukkan harga pengenalan pola (*pattern recognition*) tingkat konduktivitas di bawah permukaan.

Semakin besar nilai COP di suatu tempat, menandakan semakin besar akumulasi muatan positif di tempat tersebut, yang berarti di tempat tersebut semakin konduktif. Sedangkan semakin kecil nilai COP menunjukkan semakin sedikit akumulasi muatan di tempat tersebut yang berarti tempat tersebut semakin tidak konduktif.

## METODE PENELITIAN

Langkah pertama adalah penentuan model, dimana untuk model uji menggunakan medium homogen isotrop dengan sumber arus tunggal baik di permukaan maupun pada beberapa kedalaman. Model kedua adalah model aliran (jalur konduktif) yang berada pada medium yang lebih resistif. Pada model kedua ini, titik arus diinjeksikan pada posisi sedemikian sehingga bersentuhan dengan jalur konduktif. Sesuai dengan perumusan beda hinga, model disusun dalam blok-blok yang memiliki konduktivitas isotrop yang berbeda-beda, sesuai dengan model yang telah disebutkan.

Berdasar model tersebut, dapat dihitung potensial listrik pada setiap *node* di dalam model yang disusun, tetapi potensial yang dipergunakan sebagai data adalah potensial di permukaan ( $z = 1$ ). Pada tahap awal, potensial terhitung dipermukaan dari model pertama dibandingkan dengan potensial hasil perhitungan analitik, dan diusahakan kesalahan *rms* bernilai kurang dari 5% sesuai kriteria Dey & Morrison (1979).

Kemudian, dengan cara yang sama dihitung nilai potensial di permukaan dengan model kedua. Potensial tersebut disayat pada arah tertentu sehingga diperoleh profil potensial, yang dapat dihitung nilai medan listrik pada arah sayatan. Medan listrik tersebut merupakan data masukan pada metode probabilitas konduktivitas. Keluaran dari

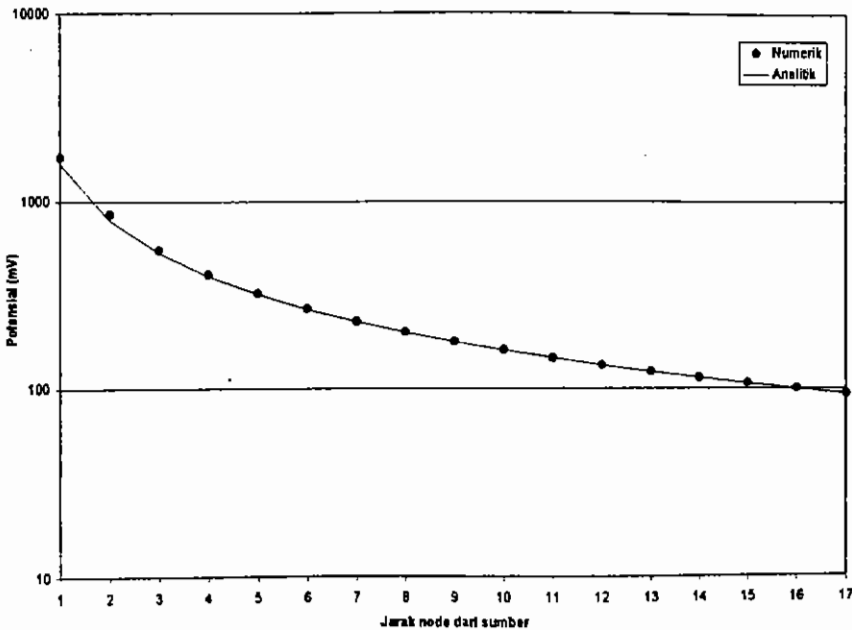


proses ini adalah nilai probabilitas keberadaan muatan sebagai fungsi posisi.

Nuklei dengan nilai maksimum merupakan daerah konduktif, dimana posisinya dapat dibandingkan dengan model konduktif yang dipergunakan. Berdasar hasil perbandingan tersebut dianalisis keunggulan dan kelemahan penerapan metode probabilitas konduktivitas terhadap problem geolistrik pol-pol termodifikasi.

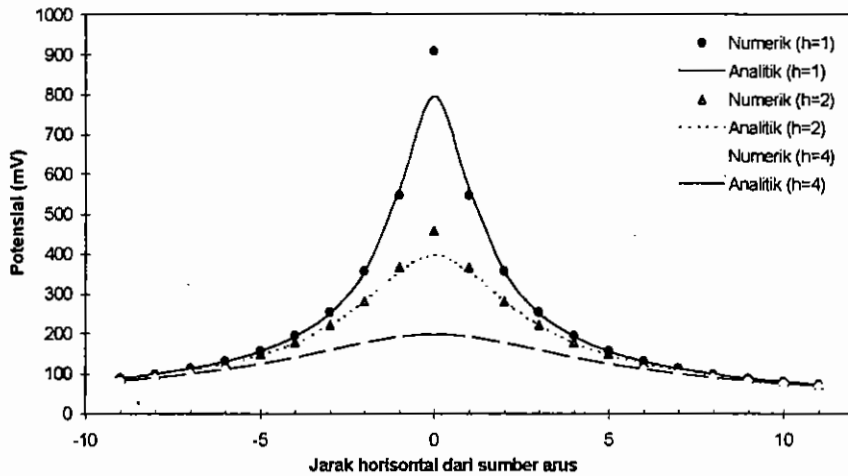
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan antara data model potensial hasil perhitungan beda hingga dengan potensial analitik untuk arus tunggal di permukaan ditunjukkan pada gambar 1. Kesalahan rms mencapai 4.29%. Medium yang dipergunakan berkonduktivitas homogen isotrop, dengan resistivitas 100 Ohmm



Gambar 1. Grafik Perbandingan potensial teoretis (garis) dengan potensial hasil pendekatan numerik (dot) berasal dari sayatan gambar 5.1 pada node 3, rms error keduanya = 4.29%.

Untuk kasus titik arus di bawah permukaan, untuk beberapa kedalaman perbandingannya ditunjukkan pada gambar 2. Nilai kesalahan rms semuanya kurang dari 5% yang masih memenuhi kaidah pemodelan maju dari Dey & Morrison (1979).

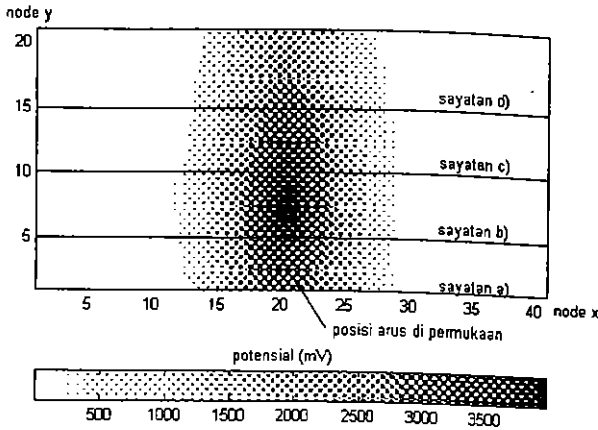


**Gambar 2. Grafik Perbandingan nilai potensial hasil perhitungan numerik beda hingga dengan analitik untuk kedalaman  $h = 1$  ( $rms\ err = 3.2\%$ ),  $h = 2$  ( $rms\ err = 3.4\%$ ) dan  $h = 4$  ( $rms\ err = 1.2\%$ ).**

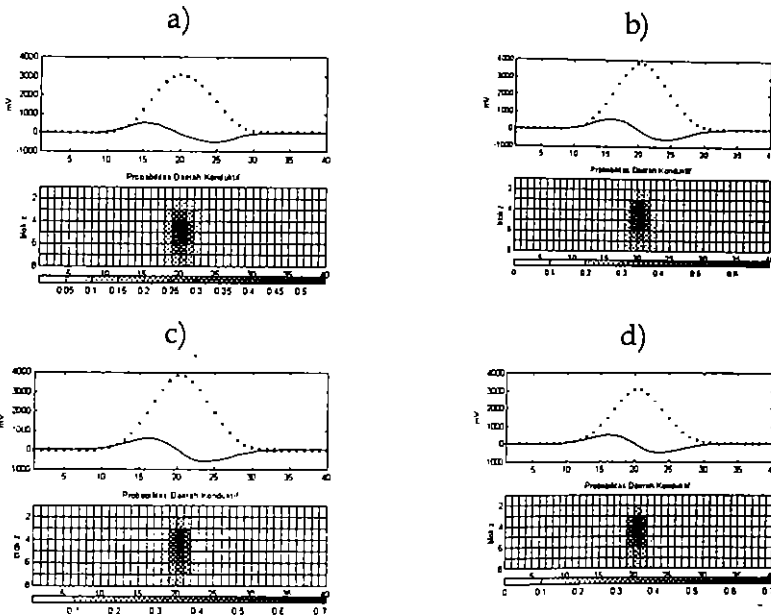
### Model sungai bawah tanah horisontal

Model ini berdimensi  $10 \times 40 \times 8$  blok tahanan jenis. Model ini akan memberikan  $11 \times 41 \times 9$  buah *node*, sehingga total memberikan 4059 buah *node*. Tahanan jenis *host* adalah 10000 Ohmjarak, sedangkan tahanan jenis sungai 10 Ohmjarak, sehingga kontras tahanan jenis memberikan nilai 1000. Blok konduktif tertata sepanjang sumbu  $y$  pada posisi blok  $x=20$  dan  $z=5$ . Arus yang diinjeksikan sebesar 100mA tertancap pada posisi *node* [21, 2, 6].

Gambar 3. adalah potensial terhitung (mV) di permukaan dengan kesalahan sisa relatif  $7.6 \times 10^{-15}$ . Potensial tertinggi berada di atas titik arus sebesar sekitar 3900 mV dan berangsur-angsur mengecil ke arah sumbu  $y$ . Hal ini mengindikasikan bahwa rapat arus menjadi semakin kecil pada jarak yang semakin jauh dari sumber. Hal ini disebabkan oleh faktor *spreading*/geometri, faktor distribusi konduktivitas, juga penyebaran arus di bawah permukaan akan memiliki luasan sebaran yang lebih besar daripada di permukaan (*medium full space* dan *lower half space*).



Gambar 3. Potensial (mV) model di permukaan, yang diambil dari potensial  $z = 1$ . Sayatan-sayatan potensial diambil pada arah tegak lurus sungai.

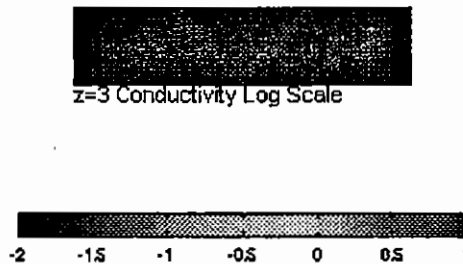


Gambar 4. Profil dan interpretasi posisi dengan metode probabilitas. a) adalah sayatan pada  $y = 1$  (ujung depan), b) pada  $y=5$ , c) pada  $y=10$  dan d) pada  $y=15$ . Sayatan yang diperoleh berdasar potensial pada gambar 5.7 bawah.

Gambar 4. merupakan hasil interpretasi zona konduktif berdasar data potensial pada gambar 3. Sayatan dibuat sepanjang sumbu  $x$  untuk masing-masing *node* pada sumbu  $y$ . Profil potensial digambarkan berupa *dot*, sedangkan profil gradiennya (medan listrik) digambarkan sebagai garis. Probabilitas yang tinggi menunjukkan zona/daerah yang paling *probable* untuk dilalui arus (daerah konduktif). Apabila ditinjau dari posisi keterdapatan blok konduktif, posisi horisontal dan vertikal berada tepat pada posisi blok konduktif model.

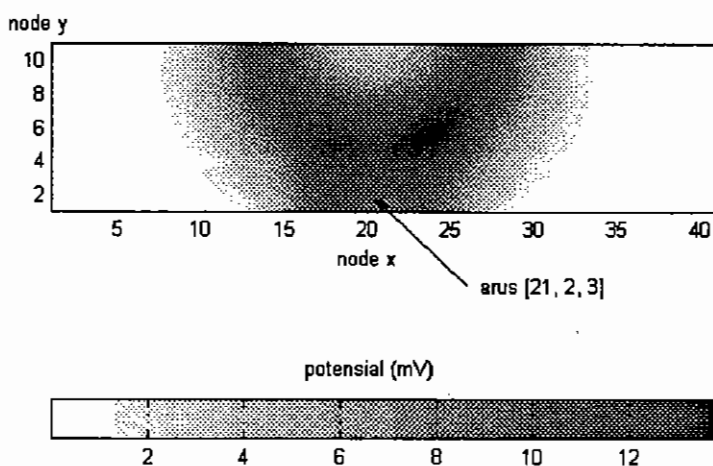
### Model Sungai Bercabang

Model terdiri dari  $40 \times 20 \times 8$  blok, sehingga *node* yang menyelubunginya berukuran  $41 \times 21 \times 9$  atau sejumlah 4059 *node*. Sama dengan model sebelumnya, tahanan jenis *host* adalah 10000 Ohm dan tahanan jalur konduktif adalah 10 Ohmm. Arus diinjeksikan dari posisi 21, 2, 3 sebesar 100 mA. Sayatan pada kedalaman  $z = 3$  dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Model melintang konduktivitas sungai bercabang pada kedalaman  $z = 3$

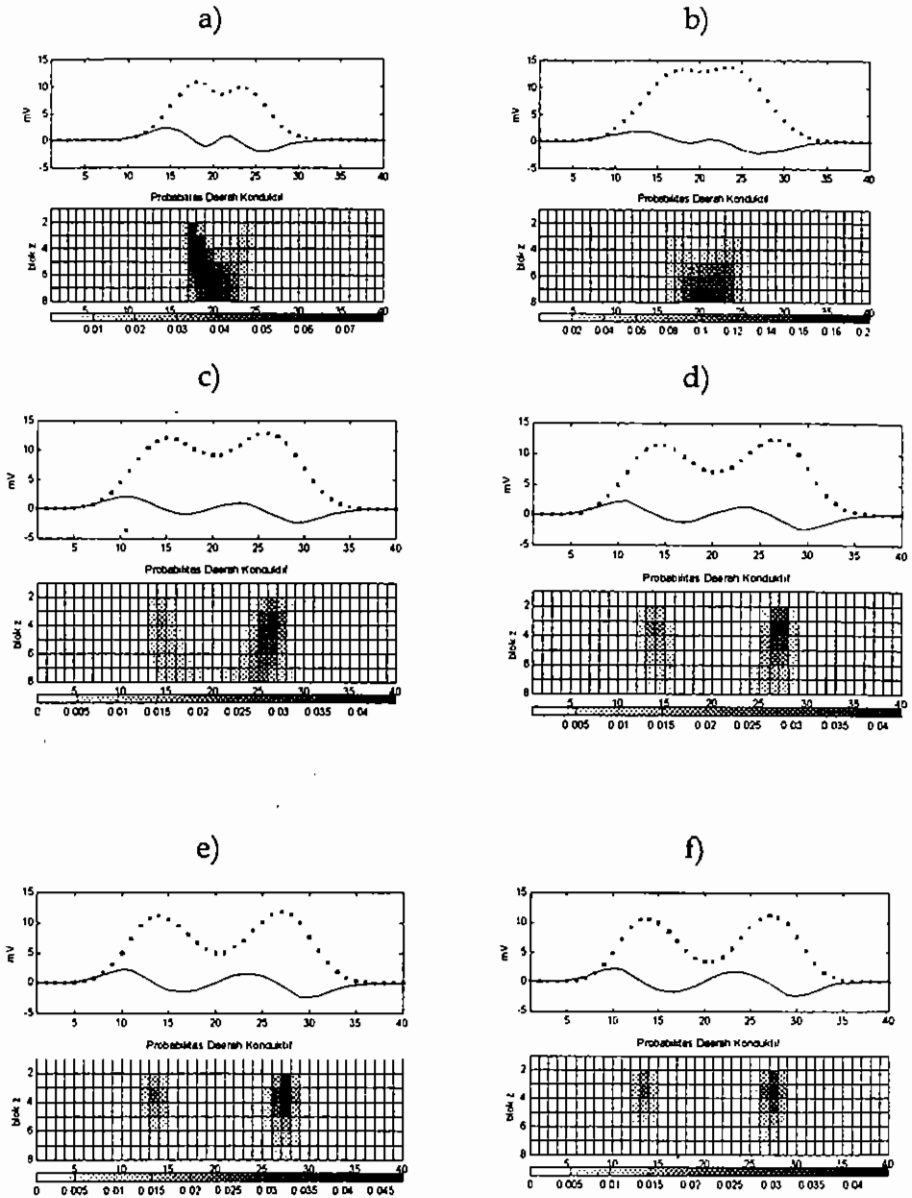
Gambar 6. adalah nilai potensial pada  $z = 1$ . Nilai-nilai potensial di permukaan masih dapat membentuk kenampakan yang sesuai dengan model yang diberikan yaitu berbentuk huruf V. Beberapa profil ditinjau dari data potensial di permukaan untuk meninjau kemampuan memisahkan (*resolve*) benda konduktif yang memiliki perbedaan jarak secara horisontal.



Gambar 6. Potensial terhitung di permukaan dari model sungai bercabang.

Hasil interpretasi ditunjukkan pada gambar 7. Beberapa sayatan profil potensial (a) sayatan pada  $y = 1$  yang memberikan profil yang masih menyatu memberikan hasil yang sangat keliru. Probabilitas yang dihasilkan berbentuk huruf V dengan pusat nuklei berada pada kedalaman blok 5. Profil (b) yang diambil pada sayatan  $y = 3$  juga masih memberikan hasil yang belum mampu memisahkan benda konduktif.

Sayatan profil (b) yang disayat pada sumbu  $y = 5$  masih belum memberikan hasil yang diinginkan. Metode mampu memisahkan benda konduktif pada profil (e) yang disayat pada sumbu  $y = 8$  dengan jarak 6 node dari sumber arus. Demikian juga dengan profil (f) pada  $y = 9$ , (g) pada  $y = 10$ , dan profil (h) pada  $y = 11$ . Dengan demikian dapat dikatakan bahwa metode mampu memprediksi dengan baik asalkan potensial yang direkam juga mampu dipisahkan dengan baik. Apabila ditinjau dari kedalaman nuklei pada tomogram (e - h), posisi telah berada pada blok kedalaman 3 yang sesuai dengan kedalaman model pembangkit.



G

**Gambar 7.** Probabilitas konduktivitas dari data potensial di permukaan gambar 5.13; a) adalah data sayatan pada  $y = 1$ , (b)  $y = 5$ , (c)  $y = 8$ , (d)  $y = 9$ , (e)  $y = 10$ , (f)  $y = 11$ . Nuklei baru dapat terlepas pada sayatan d) dan terpisah sempurna pada gambar f).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis terhadap beberapa model matematis yang telah dibangun, dapat dihasilkan beberapa kesimpulan antara lain; Keakuratan nilai-nilai potensial yang dihasilkan dengan metode beda hingga dan kondisi batas campuran, baik untuk sumber arus di permukaan maupun pada kedalaman tertentu memiliki kesesuaian yang tinggi dengan metode analitis (kesalahan rms < 5%) dengan sumbangan kesalahan tertinggi pada posisi di atas titik arus.

Kemudian metode probabilitas tomografi geolistrik untuk mengetahui konduktivitas medium di bawah permukaan secara tidak langsung berdasar pengukuran potensial di permukaan dapat diterapkan untuk konfigurasi pol-pol termodifikasi (sumber arus tidak di permukaan).

Limitasi dari aplikasi ini adalah bahwa; sayatan potensial diharapkan tegak lurus terhadap respon anomali, posisi sumber arus harus menancap pada jalur konduktif, dan untuk sementara permukaan daerah pengukuran bertopografi datar, kemudian metode ini mampu mencitrakan posisi daerah konduktif di bawah permukaan 'hanya' berdasar potensial kontinyu fungsi jarak yang terekam di atas permukaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A. & van den Berg P, M., 2000, Non-Linear three-dimensional inversion of cross-well electrical measurements, *G.Prospect*, v48, 109-134.
- Alfano, L., 1959, Intriduction to the interpretation of resistivity measurements for complicated structural conditions, *Geoph. Prospect*, v7, 311-366.
- Daily, W. & Owen, E., 1991, Cross-borehole resistivity tomography, *Geophysics*, v56, 1228-1235.
- Dey, A. & Morrison, H.F., 1979, Resistivity modelling for arbitrarily shaped three dimensional structures, *Geophysics*, v44, 753-780.
- Golub, G.H., dan Van Loan, C.F., 1996, *Matrix Computation*, 3<sup>rd</sup> ed, The Johns Hopkins University Press, Maryland, US.
- Grant, F.S. & West, G.F., 1965, *Interpretation theory in applied geophysics*, Mc Graw Hill, Inc.

- Lo, T.W. & Inderwiesen, P.L., 1994, **Fundamentals of seismic tomography**, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- Loke, M.H. & Barker, R.D., 1995, Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections, *Geophysics*, v60, 1682-1690.
- Loke, M.H., & Barker, R.D., 1996a, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method, *G. Prosp.*, v44, 131-152.
- Loke, M.H., & Barker, R.D., 1996b, Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion, *G. Prosp*, v 44, 499-523.
- Mauriello, P., & Patella, D., 1999. Resistivity anomaly imaging by probability tomography, *Geophysical Prosp.*, 47, p.411-429.
- Mufti, I.R., 1976, Finite-difference resistivity modelling for arbitrarily shaped two-dimensional structures, *Geophysics*, v41, 62.
- Olayinka, A.I. & Yaramanci, U., 2000, Assesment of the reliability of 2D inversion of apparent resistivity data, *G. Prosp*, v48, 293-316.
- Patella, D., 1997, Introduction to ground surface self-potential tomography, *G. Prosp.*, v45, 653-681.
- Robinson, E.S., and Coruh, C., 1988, **Basic Exploration Geophysics**, 10<sup>th</sup> ed., Kin Keong Printing Co. Ltd., Singapore.
- Sharma, P. V., 1997, **Enviromental and Engineering Geophysics**, 1<sup>st</sup> ed., University Press, Cambridge.
- Swift, C.M., 1971, Theoretical magnetotelluric and Turam response from two-dimensional inhomogenities, *Geophysics*, v36, 38-52.
- Trip, A.C., Hohmann, G.W., & Swift, Jr, 1984, Two-Dimensional resistivity inversion, *Geophysics*, v49, 1708-1717.
- Vanderlinde, J., 1993, **Classical Electromagnetic Theory**, John Wiley and Sons Inc, Canada.
- Zhang, J., Mackie, R.L., Madden, T.R., 1995, 3-D resistivity forward modelling and inversion using conjugate gradients, *Geophysics*, v60, 1313-1325.