

Pemodelan dan Inversi 1-D Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger dengan Menggunakan Matlab

Nur Faizin* dan Enjang J. Mustopa

Abstrak

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mendeteksi kandungan mineral bawah permukaan bumi berdasarkan variasi sifat kelistrikan. Dalam metode ini dikenal tiga konfigurasi yaitu Schlumberger, Wenner, dan Dipole-dipole. Dalam penelitian ini telah dimodelkan konfigurasi Schlumberger 1-D untuk dua lapis dan tiga lapis. Pemodelan dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pertama forward modeling lalu invers modeling. Dari proses forward modeling diperoleh data awal yang selanjutnya digunakan sebagai data input dalam proses invers modeling. Proses pemodelan dalam penelitian ini menggunakan software MATLAB R2013a. Data awal yang diperoleh dari proses forward modeling yaitu $\rho_1 = 320 \Omega m$, $\rho_2 = 120 \Omega m$, $z = 5 m$ (dua lapis), dan $\rho_1 = 320 \Omega m$, $\rho_2 = 120 \Omega m$, $\rho_3 = 160 \Omega m$, $z = 5 m$ (tiga lapis). Pada proses invers modeling untuk dua lapis didapatkan $\rho_{i1} = 321,75 \Omega m$, $\rho_{i2} = 121 \Omega m$ dan $z_i = 5,24 m$. Sedangkan untuk tiga lapis diperoleh $\rho_{i1} = 320,45 \Omega m$, $\rho_{i2} = 120,65 \Omega m$, $\rho_{i3} = 158,19 \Omega m$ dan $z_i = 5,43 m$. Nilai error RMS yang digunakan pada penelitian ini sebesar 10^{-6} . Setelah dibandingkan antara hasil inversi dengan data awal maka dapat disimpulkan bahwa proses invers modeling sudah sesuai.

Kata kunci: forward modeling, invers modeling, hasil inversi

Pendahuluan

Metode geolistrik tahanan jenis telah banyak digunakan untuk survai bawah permukaan. Konfigurasi-konfigurasi yang sering digunakan dalam metode geolistrik antara lain konfigurasi Schlumberger, Wenner, dan Dipole-dipole. Metode geolistrik memanfaatkan variasi resistivitas tanah yang selanjutnya digunakan untuk menginterpretasikan kandungan mineral dalam tanah tersebut. Metode ini bekerja dengan cara mengalirkan arus listrik pada elektroda arus dan diterima oleh elektroda potensial. Dari potensial dan arus ini akan diperoleh resistivitas semu.

Grafik resistivitas semu akan lebih mudah digunakan untuk memperoleh data lapisan tanah. Formulasi resistivitas semu sebagai fungsi dari komponen medan magnet azimuthal, diberikan oleh persamaan (1)

$$\rho_a = \frac{\mu_0 I H \rho_0}{4\pi R^2 B_\phi}, \quad (1)$$

dimana H adalah ketebalan lapisan tanah, ρ_0 adalah resistivitas lapisan pertama, B_ϕ adalah komponen azimuthal medan magnet, dan R adalah jarak antara transmiter dan receiver. Persamaan (1) dapat diaplikasikan untuk survey dipermukaan air, dengan asumsi bahwa H

sebagai kedalaman air [1]. Resistivitas semu dapat dimodelkan dalam 1-Dimensi (1-D). Pemodelan resistivitas semu 1-D merupakan landasan dasar untuk pemodelan dua dimensi dan tiga dimensi [2]. Survey geolistrik pada permukaan air perlu dipertimbangkan konduktivitas air dan dasar air. Dengan dasar pertimbangan ini maka persamaan (1) dapat dituliskan

$$\rho_a = \frac{\mu_0 I \rho_0}{2\pi R B_\phi} \frac{H}{\sqrt{H^2 + R^2}} - \rho_0. \quad (2)$$

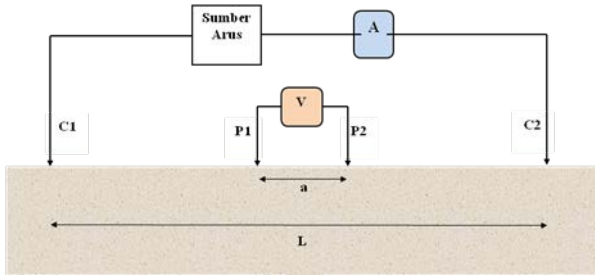
Persamaan (2) memberikan aproksimasi yang baik jika R/H kecil yaitu dalam orde 10^{-1} [3].

Pemodelan yang telah dilakukan yaitu memodelkan 1-D konfigurasi Schlumberger untuk dua lapis dan tiga lapis. Proses pemodelan dilakukan dalam dua tahap yaitu forward modeling dan invers modeling. Langkah-langkah dalam memodelkan akan dibahas pada bahasan teori, sedangkan hasil dan pembahasan akan dibahas pada hasil dan pembahasan.

Teori

Konfigurasi Schlumberger merupakan konfigurasi yang sering dipakai dalam survey geolistrik. Hal ini dikarenakan konfigurasi Schlumberger mudah dalam operasinya yaitu

cukup dengan mengubah jarak antar elektroda arusnya saja tanpa mengubah jarak elektroda potensialnya. Pengubahan jarak antar elektroda arus harus tetap memperhatikan jarak antar elektroda potensial. Untuk konfigurasi Schlumberger jarak antar elektroda potensial harus lebih kecil dibanding dengan jarak antar elektroda arus.



Gambar 1. Konfigurasi Schlumberger.

Dengan meninjau Gambar 1 maka $L \gg a$, sehingga jarak antara elektroda arus C1 maupun C2 terhadap pusat (x) adalah $L/2$.

Konfigurasi Schlumberger bekerja dengan menginjeksikan arus ke dalam suatu medium. Penginjeksian arus ini akan menghasilkan keadaan equipotensial yang berbentuk setengah bola. Keadaan equipotensial ini memenuhi persamaan Laplace,

$$\nabla^2 V = 0 \quad (3)$$

Jika bumi dianggap berlapis maka perubahan equipotensial tersebut searah dengan kedalaman bumi atau sumbu z. Sehingga persamaan (3) memiliki solusi dalam koordinat silinder. Bentuk solusi untuk persamaan (3) yaitu

$$V = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{r} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{(r^2 + 4n^2 z^2)^{1/2}} \right), \quad (4)$$

dimana k adalah koefisien refleksi yang memiliki bentuk $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$, m menunjukkan

banyaknya lapisan yang ditinjau. Adanya arus yang mengalir pada suatu medium maka hal ini memenuhi hukum Ohm yang berbentuk

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = \frac{\vec{E}}{\rho} \quad (5)$$

Besaran-besaran $\vec{J}$ dan $\vec{E}$ dapat dituliskan

$$\vec{J} = \frac{I}{\pi r^2} \text{ dan } \vec{E} = -\nabla V. \quad (6)$$

dengan menggunakan persamaan (6) serta mengambil nilai $x=L/2$, maka persamaan (5) dapat dituliskan menjadi

$$\rho_{a2} = \rho_1 \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\left(1 + \frac{16n^2 z^2}{L^2} \right)^{3/2}} \right). \quad (7)$$

Persamaan (7) merupakan bentuk persamaan resistivitas semu untuk konfigurasi Schlumberger dua lapis. Untuk model dua lapis dianggap bahwa lapisan kedua memiliki ketebalan tak hingga [4]. Sedangkan untuk tiga lapis ketebalan tak hingga diberikan untuk lapisan ketiga. Resistivitas semu untuk tiga lapis memiliki bentuk yang hampir mirip dengan dua lapis. Penyelesaian persamaan (3) diperoleh

$$V = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{r} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_n}{(r^2 + 4n^2 z^2)^{1/2}} \right), \quad (8)$$

dimana b_n merupakan koefisien refleksi yang diperoleh dengan cara rekursi [5]. Resistivitas semu konfigurasi Schlumberger diperoleh dengan mencari gradien dari persamaan (8) dan menggunakan persamaan (5) dan (6) diperoleh

$$\rho_{a3} = \rho_1 \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_n}{\left(1 + \frac{16n^2 z^2}{L^2} \right)^{3/2}} \right). \quad (9)$$

Persamaan (9) merupakan persamaan resistivitas semu untuk tiga lapis. Proses *forward modeling* dan *invers modeling* dilakukan untuk persamaan (7) dan (9).

Proses pemodelan dapat dituliskan dalam algoritma berikut,

- a) Penentuan parameter awal yaitu ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 dan z .
- b) Memplotkan dalam 1-D
- c) Menentukan parameter dugaan
- d) Proses inversi, dalam proses inversi parameter dugaan dihitung dan dibandingkan dengan data awal
- e) Jika error masih besar, maka parameter dugaan dilakukan update.

Pada proses a dan b disebut *forward modeling*. Sedangkan proses c sampai e disebut *invers*

modeling. Proses *invers modeling* dilakukan dengan menggunakan Metode *Rigde Regression* (RR). Metode RR dapat diekspresikan dengan persamaan berikut,

$$\delta g = (J^T J)^{-1} J \delta f, \quad (10)$$

dimana δg adalah perbedaan antara parameter awal dengan parameter dugaan, δf adalah perbedaan antara resistivitas semu model dengan resistivitas semu dugaan, dan J adalah matriks jacobian [6]. Matriks jacobian dapat dituliskan sebagai berikut

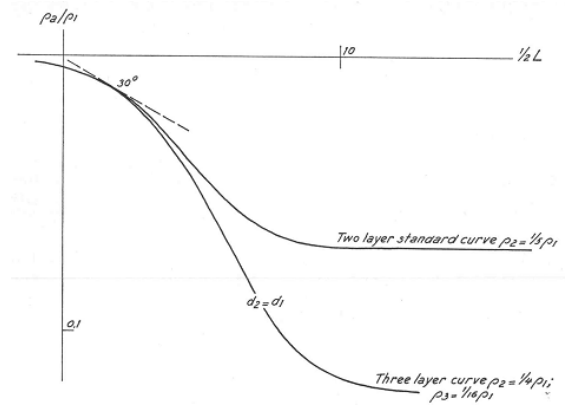
$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial g_1} & \frac{\partial f_1}{\partial g_2} & \frac{\partial f_1}{\partial g_3} \\ \frac{\partial f_2}{\partial g_1} & \frac{\partial f_2}{\partial g_2} & \frac{\partial f_2}{\partial g_3} \\ \frac{\partial f_3}{\partial g_1} & \frac{\partial f_3}{\partial g_2} & \frac{\partial f_3}{\partial g_3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial g_1} & \frac{\partial f_n}{\partial g_2} & \frac{\partial f_n}{\partial g_3} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Sedangkan besarnya error RMS (*Root Mean Square*) dapat dituliskan

$$e^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(\rho_i^t - \rho_0^s)}{\rho_i^t} \right]^2 \right), \quad (12)$$

dimana n adalah banyak data, ρ_i^t adalah resistivitas semu teori ke- i , ρ_0^s adalah resistivitas semu sintetik [7]. Seluruh proses pemodelan dalam penelitian ini menggunakan software MATLAB R2013a.

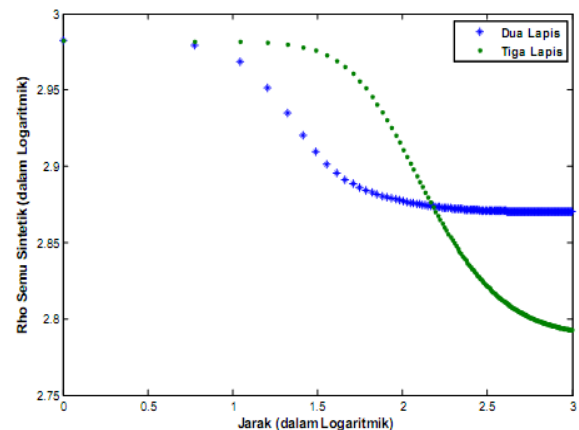
Kurva standar 1-D konfigurasi Schlumberger untuk dua lapis dan tiga lapis, ditunjukkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 diketahui bahwa untuk jarak elektroda yang relatif kecil kurva dua lapis akan berimpit dengan tiga lapis. Sedangkan untuk jarak yang relatif besar kedua kurva akan terlihat perbedaannya. Hal ini disebabkan oleh nilai koefisien refleksi yang berbeda.



Gambar 2. Kurva Standar Konfigurasi Schlumberger Dua Lapis [8].

Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini parameter-parameter fisis yang akan diinversi adalah resistivitas lapisan pertama, kedua dan ketiga, serta ketebalan lapisan pertama. Hasil pengeplotan data sintetik dalam *forward modeling* untuk dua lapis dan tiga lapis ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil *Forward Modeling* Dua Lapis dan Tiga Lapis untuk Jarak Elektroda yang Sama.

Plot data sintetik yang ditunjukkan pada Gambar 3 mengidentifikasi bahwa hasil yang diperoleh sesuai dengan teori. Untuk jarak elektroda 0 sampai 0,75 dalam skala logaritmik kurva dua lapis dengan tiga lapis saling berimpit, sedangkan untuk jarak elektroda di atas 0,75 jelas terlihat perbedaannya. Nilai resistivitas semu saat jarak elektrodanya maksimum diperoleh 28,7 untuk dua lapis dan 2,79 untuk tiga lapis.

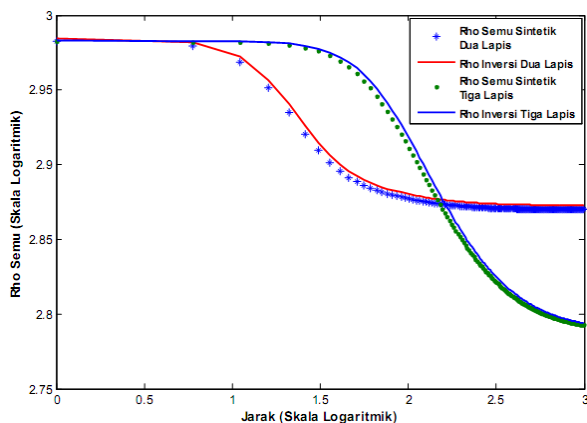
Selanjutnya pada proses *invers modeling*, data awal yang diperoleh dibandingkan dengan hasil inversi. Tabel 1 merupakan perbandingan antara data awal dengan hasil inversi. Proses *invers modeling* sangat dipengaruhi oleh besarnya error RMS.

Nilai error RMS digunakan untuk menghentikan proses inversi, sehingga nilai error RMS haruslah sangat kecil. Dalam penelitian ini nilai error RMS yang dipakai adalah 10^{-6} . Semakin kecil error RMS maka hasil inversi akan semakin mendekati data sintetik.

Tabel 1. Perbandingan antara hasil inversi dengan data sintetik untuk dua lapis dan tiga lapis.

Parameter	Dua lapis		Tiga lapis	
	sintetik	inversi	sintetik	inversi
ρ_1 (Ωm)	320	321,75	320	320,45
ρ_2 (Ωm)	120	121	120	120,65
ρ_3 (Ωm)	-	-	160	158,19
z (m)	5	5,24	5	5,43

Hasil inversi yang diperoleh pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai parameter-parameter fisis hasil inversi untuk dua lapis dan tiga lapis sangat mendekati data sintetik. plot data sintetik dengan hasil inversi ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva perbandingan data sintetik dengan hasil inversi a) dua lapis, b) tiga lapis

Gambar 4 menunjukkan hasil perbandingan data sintetik dengan hasil inversi untuk dua lapis dan tiga lapis. Pada kurva dua lapis dan tiga lapis diperoleh kurva hasil inversi yang berimpit dengan kurva data awal. Sehingga dapat dinyatakan bahwa parameter-parameter yang diperoleh dari hasil inversi sangat mendekati parameter-parameter pada data awal, hal ini sesuai dengan Tabel 1. Dari perbandingan nilai data awal dengan hasil inversi ini dapat dikatakan bahwa proses inversi telah berhasil.

Dari hasil yang diperoleh, diketahui bahwa proses forward modeling dan invers modeling telah berhasil dilakukan dengan menggunakan software MATLAB R2013a. Penggunaan software ini lebih mudah, karena beberapa fungsi matematik sudah tersedia.

Kesimpulan

Pada proses *forward modeling*, hasil plot resistivitas semu dua lapis berimpit dengan kurva resistivitas semu tiga lapis untuk jarak yang relatif kecil dan berbeda jauh saat jaraknya besar. Hasil ini sesuai dengan teori. Selanjutnya untuk proses *invers modeling* hasil inversi yang diperoleh mendekati data sintetiknya.

Referensi

- [1] Chave, A. D., & Constable, S. C. (1986). Electrical exploration methods for the seafloor: In Nabighian, MN, Ed. *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, 2.
- [2] Chen, J., Haber, E., & Oldenburg, D. W. (2002). Three-dimensional numerical modelling and inversion of magnetometric resistivity data. *Geophysical Journal International*, 149(3), 679-697.
- [3] Wolfgram, P. A., Edwards, R. N., Law, L. K., & Bone, M. N. (1986). Polymetallic sulfide exploration on the deep sea floor: The feasibility of the MINI-MOSES experiment. *Geophysics*, 51(9), 1808-1818.
- [4] Sharma, S. P., & Biswas, A. (2013). A practical solution in delineating thin conducting structures and suppression problem in direct current resistivity sounding. *Journal of Earth System Science*, 122(4), 1065-1080.
- [5] Bhattacharya, P. (2012). *Direct current geoelectric sounding: Principles and interpretation* (Vol. 9). Elsevier.
- [6] Mattice, M. D. (2011). *Geothermal and ground water exploration on Maui, Hawaii, by applying dc electrical soundings* (Doctoral dissertation, University of Hawaii at Manoa).
- [7] Gupta, P. K., Niwas, S., & Gaur, V. K. (1997). Straightforward inversion of vertical electrical sounding data. *Geophysics*, 62(3), 775-785.
- [8] Van der Hoeven, F. G. (1964). *Interpretation of geoelectric resistivity curves* (Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology).

Nur Faizin*

Earth Physics and Complex System Research Division
Institut Teknologi Bandung
payizin@gmail.com

Enjang J. Mustopa

Earth Physics and Complex System Research Division
Institut Teknologi Bandung
enjang@fi.itb.ac.id

*Corresponding Author