

Analisis kuantitatif pemodelan anomali self-potential : metode gradien numerik dan metode *least-square*

Marleni Wirmas^{1, a)}, Enjang Jaenal Mustopa^{1, b)}

¹Laboratorium Fisika Bumi
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

a) marleni.wirmas@gmail.com

b) enjangjaenalmustopa@gmail.com

Abstrak

Metode Self-Potential (SP) merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika untuk mengukur anomali SP berbagai objek yang terdapat di bawah permukaan tanah. Secara umum, penelitian ini membahas fenomena Self Potensial yang faktor penyebab terjadinya self potensial, jenis-jenis self potensial beserta besarnya, dan perumusan umum serta solusi untuk menentukan parameter fisis dalam pemodelan SP. Secara khusus, penelitian ini membahas tentang pemodelan anomali SP dua dimensi dalam beberapa bentuk, yaitu silinder vertikal dan horizontal, pelat vertikal dan horizontal, dan pelat dengan kemiringan tertentu. Metode yang digunakan terdiri dari derivatif numerik dan pemodelan dengan metode inversi non-linear least square. Dari hasil yang didapat dari metode yang digunakan, didapatkan beberapa besaran fisis terkait dengan interpretasi kuantitatif model anomali SP.

Kata kunci: inversi, least square, metode gradien.

PENDAHULUAN

Metode Self Potensial (SP) merupakan salah satu metode geofisika dalam mengukur tegangan bawah permukaan tanah yang berasal dari reaksi elektrokimia dan elektrokinetik di bawah permukaan tanah. Metode pengukuran ini tidak memerlukan injeksi arus ke dalam tanah seperti resistivity atau induksi dipol, melainkan langsung mengukur tegangan dengan 2 titik yang dihubungkan oleh elektroda dan diukur dengan voltmeter. Metode ini telah lama digunakan pada eksplorasi untuk mendeteksi keberadaan bijih mineral logam. Beberapa kelebihan dari metode SP adalah pengaturan pengukuran yang sederhana, bersifat responsif terhadap bijih mineral, dan biaya yang murah, jika dibandingkan dengan metode geofisika yang lainnya.

Sumber anomali SP ada 2 jenis, yaitu potensial dasar yang merupakan jenis potensial yang terbentuk dari aliran fluida, aktivitas bioelektrik, berbagai variasi konsentrasi elektrolit pada air tanah, dan aktivitas geokimia lainnya. Hal ini disebabkan oleh perubahan bertahap dari proses difusi elektrolit air tanah. [1]. Jenis yang kedua adalah potensial mineral, yang berkaitan dengan kandungan sulfida pada logam, grafit, dan magnetit. Anomali yang biasa didapati pada survey SP terdapat pada jenis batuan pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite, sphalerite, galena, dan grafit, dengan nilai 0 mV – 1 Volt. Potensial yang terdeteksi biasanya bernilai negatif dan cenderung konstan.

Untuk menganalisis sifat fisis anomali SP, diperlukan interpretasi kuantitatif dengan pendekatan geometri sederhana. Terdapat 2 jenis metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu metode gradien numerik dan inversi *least-square*.

Interpretasi Kuantitatif Anomali SP metode gradien numerik

Metode gradien numerik didasarkan pada modifikasi rumusan matematis dari persamaan umum anomali SP dengan bentuk geometri tertentu, dalam hal ini bentuk silinder dan pelat. Persamaan anomali SP dengan geometri silinder dan bola pertama kali dirumuskan oleh Yungul melalui struktur geologi yang terpolarisasi dengan rumusan [1]

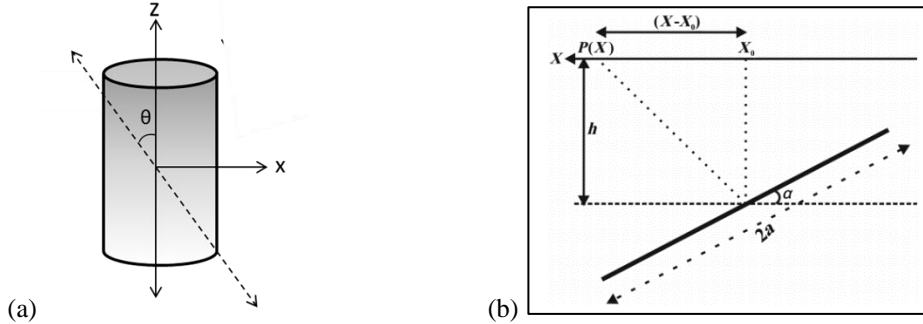
$$V(x, z, \theta, q) = k \frac{x \cos \theta + z \sin \theta}{(x^2 + z^2)^q} \tag{1}$$

Dengan z = unit kedalaman, θ = sudut polarisasi, k = besaran momen dipol, x = posisi arah horizontal, dan q merupakan faktor bentuk geometri atau *shape factor*. Nilai q berbeda untuk bentuk geometri yang berbeda, contohnya $q = 1.5$ untuk bentuk bola 3D, $q = 1$ untuk bentuk silinder horizontal, dan bernilai 1 untuk bentuk silinder vertikal [1].

Sedangkan untuk model pelat dua dimensi (2-D) umumnya digunakan untuk interpretasi data SP pada deposit bijih yang panjang. Metode interpretasi anomali SP ini dikembangkan oleh Roy dan Chowdhury (1959) dalam bentuk persamaan [2]:

$$V(x) = k \ln \frac{r_1^2}{r_2^2} = k \ln \left\{ \frac{[(x-x_0)-a \cos \alpha]^2 + (h-a \sin \alpha)^2}{[(x-x_0)+a \cos \alpha]^2 + (h+a \sin \alpha)^2} \right\} \tag{2}$$

Dengan k = nilai momen dipol, x = posisi arah horizontal, x_0 = posisi anomali, a = *half-width* atau setengah lebar pelat, α merupakan sudut inklinasi atau kemiringan pelat 2D, dan h merupakan kedalaman deposit yang memiliki anomali SP [2].



Gambar 1. (a) Ilustrasi geometri silinder vertikal untuk rumusan SP, (b) Geometri pelat miring rumusan SP
 Dari persamaan (4), nilai V akan dicari persamaan derivatif pertama terhadap x dengan komponen $(x_i - 2s, x_i - s, x_i, x_i + s, \text{ dan } x_i + 2s)$ dengan nilai $s = 1,2,3, \dots, M$, merupakan unit jarak atau *windowlength* sepanjang profil anomali SP.

$$V_x(x) = \frac{k}{2s} \left\{ \frac{(x_i-s) \cos \theta + z \sin \theta}{((x_i-s)^2 + z^2)^q} - \frac{(x_i+s) \cos \theta + z \sin \theta}{((x_i+s)^2 + z^2)^q} \right\} \tag{3}$$

Untuk semua jenis bentuk (fungsi q), persamaan (3.2) pada titik $x_i = 0$ bernilai:

$$V_x(0) = \frac{k}{2s} \left\{ \frac{(-s) \cos \theta + z \sin \theta}{((-s)^2 + z^2)^q} - \frac{(s) \cos \theta + z \sin \theta}{((s)^2 + z^2)^q} \right\} = - \frac{k \cos \theta}{(s^2 + z^2)^q} \tag{4}$$

Sehingga persamaan (4) dapat ditulis sebagai:

$$V_x(x) = \frac{-V_x(0)(s^2 + z^2)^q}{2s} \left\{ \frac{(x_i-s) \cos \theta + z \tan \theta}{((x_i-s)^2 + z^2)^q} - \frac{(x_i+s) \cos \theta + z \tan \theta}{((x_i+s)^2 + z^2)^q} \right\} \tag{5}$$

Pada posisi $x_i = \pm s$, persamaan (5) dapat ditulis:

$$\frac{V_x(s)}{V_x(0)} = \frac{(s^2 + z^2)^q}{2s} \left\{ \frac{z \tan \theta}{z^2 q} - \frac{2s + z \tan \theta}{(4s^2 + z^2)^q} \right\}, x_i = s \tag{6}$$

$$\frac{V_x(-s)}{V_x(0)} = \frac{(s^2 + z^2)^q}{2s} \left\{ \frac{-2s + z \tan \theta}{(4s^2 + z^2)^q} - \frac{z \tan \theta}{z^2 q} \right\}, x_i = -s \tag{7}$$

Penggabungan persamaan (5) dan (6) akan menghasilkan rumusan untuk z , yaitu kedalaman dari struktur logam bawah tanah pada metode anomali SP:

$$z = s \sqrt{\frac{4 \left(\frac{2V_x(0)}{V_x(-s) + V_x(s)} \right)^q - 1}{1 - \left(\frac{2V_x(0)}{V_x(-s) + V_x(s)} \right)^q}} = s \sqrt{\frac{4F^{1/q} - 1}{1 - F^{1/q}}}, F = \frac{V_x(s) + V_x(-s)}{2V_x(0)} \tag{8}$$

Dari variasi rentang nilai q ($0 < q < 1.5$) yang dimasukkan pada persamaan (7), maka akan didapat nilai kedalaman z terhadap q . Selanjutnya data ini akan ditampilkan pada kurva $z(q)$ untuk nilai s tertentu. Nilai z dan q yang mendekati keadaan aslinya akan didapat dengan mencari titik perpotongan kurva-kurva $z(q)$.

Inversi Metode *Least-square*

Metode lain yang dapat digunakan untuk menganalisis sifat fisis anomali SP adalah inversi non-linear dengan pendekatan linier atau metode *least square*. Hubungan antara data dengan parameter model anomali secara umum dinyatakan oleh persamaan:

$$\mathbf{Vobs} = \mathbf{Vcal}(\mathbf{m}) \tag{9}$$

$$Vcal = k \left(\frac{(x_1 - x_0) \cos \theta + z \sin \theta}{((x_1 - x_0)^2 + z^2)^q} \right) \tag{10}$$

Untuk model silinder, dan

$$Vcal = k \ln \frac{r_1^2}{r_2^2} = k \ln \left\{ \frac{[(x-x_0) - a \cos \alpha]^2 + (h-a \sin \alpha)^2}{[(x-x_0) + a \cos \alpha]^2 + (h+a \sin \alpha)^2} \right\} \tag{11}$$

Untuk model plat tipis 2D, dengan \mathbf{Vcal} = Fungsi pemodelan ke depan yang merupakan fungsi non-linear dari parameter model, \mathbf{Vobs} = Data observasi / data lapangan, dan \mathbf{m} = Parameter pemodelan yang ingin dicari. Jika solusi inversi dari persamaan (3.9) adalah model fungsi parameter $\mathbf{m}(k, x_0, q, z, \theta)$ untuk model silinder dan $\mathbf{m}(k, x_0, a, z, \theta)$ untuk model pelat, dari model awal \mathbf{m}_0 yang dipertubasi (menggunakan metode matematis untuk mendapatkan solusi permasalahan) dengan $\Delta \mathbf{m}$ agar diperoleh kecocokan yang lebih baik untuk mendapatkan respon model yang lebih baik, maka nilai \mathbf{m} perlu diperbarui sesuai persamaan:

$$\mathbf{m} = \mathbf{m}_0 + \Delta \mathbf{m} \tag{12}$$

$$Vobs = Vcal(\mathbf{m}_0 + \Delta \mathbf{m}) \tag{13}$$

Bentuk sederhana Ekspansi Taylor dalam inversi non-linear fungsi $\mathbf{g}(\mathbf{m})$ di sekitar suatu model awal \mathbf{m}_0 akan menghasilkan persamaan:

$$Vobs_i \left(\mathbf{m}_0^{(j)} + \delta m_j \right) \approx Vcal_i \left(\mathbf{m}_0^{(j)} \right) + \left. \frac{\partial Vcal_i}{\partial m_j} \right|_{\mathbf{m}_0} \delta m_j \tag{14}$$

Substitusi persamaan (13) ke dalam persamaan (12):

$$Vobs_i = Vcal_i \left(\mathbf{m}_0^{(j)} \right) + \left. \frac{\partial Vcal_i}{\partial m_j} \right|_{\mathbf{m}_0} \delta m_j \tag{15}$$

Dengan $\frac{\partial Vcal_i}{\partial m_j}$ merupakan komponen turunan parsial fungsi $\mathbf{Vcal}(\mathbf{m})$ terhadap elemen parameter model \mathbf{m} , dalam hal ini k, q, z, x_0 , dan θ yang membentuk matriks Jacobi:

$$J_{ij} = \frac{\partial Vcal_i}{\partial m_j} = \begin{bmatrix} \frac{\partial Vcal_1}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial Vcal_M}{\partial m_N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Vcal_i}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial Vcal_M}{\partial m_N} \end{bmatrix} \tag{16}$$

Substitusi dan pengaturan kembali persamaan (15) menghasilkan persamaan:

$$Vobs_i - Vcal_i \left(\mathbf{m}_0^{(j)} \right) = J_{ij} \delta m_j \tag{17}$$

Maka bentuk lengkap notasi matriks dari persamaan di atas adalah:

$$\mathbf{Vobs} - \mathbf{Vcal}(\mathbf{m}_0) = \mathbf{J}_0 \Delta \mathbf{m}_0 \text{ atau } \Delta \mathbf{V}_0 = \mathbf{J}_0 \Delta \mathbf{m}_0 \tag{18}$$

Dengan \mathbf{J}_0 adalah matriks Jacobi yang dievaluasi dan diperbarui pada $\mathbf{m} = \mathbf{m}_0$. Data selanjutnya akan digantikan oleh pertubasi data dan model yang baru dan terus dievaluasi hingga *error* minimum yang ditetapkan dapat dipenuhi. Matriks kernel digantikan oleh matriks Jacobi yang menyatakan seberapa besar data prediksi (\mathbf{Vcal}) dapat berubah sebagai akibat dari perubahan model. Solusi inversi dalam bentuk komponen parameter kurva anomali SP yang diinterpretasikan dalam bentuk $\Delta \mathbf{m}_0$ dapat dinyatakan oleh persamaan (3.18) sebagai berikut:

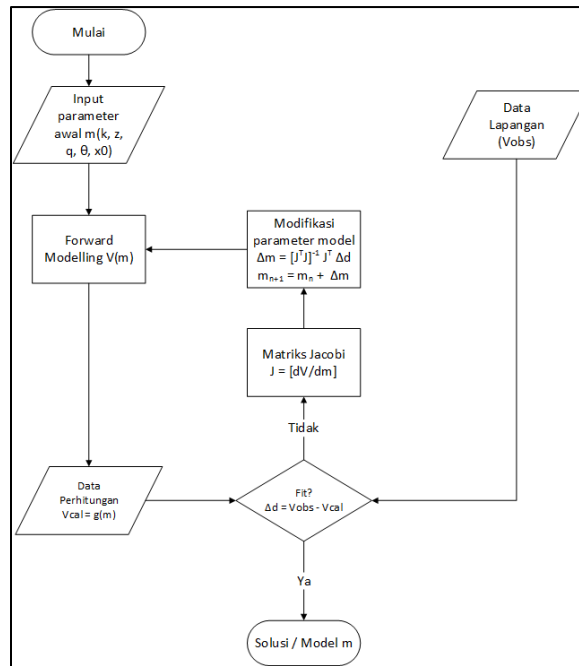
$$\Delta \mathbf{m}_0(k, x_0, z, q, \theta) = [\mathbf{J}_0^T \mathbf{J}_0]^{-1} \mathbf{J}_0^T (\mathbf{Vobs} - \mathbf{Vcal}(\mathbf{m}_0)) \tag{19}$$

Data yang bersifat non-linear dan fungsi penghubung data observasi dengan parameter model menyebabkan hasil data perhitungan (\mathbf{Vcal}) dari \mathbf{m}_0 perlu dievaluasi terus menerus, yaitu dalam persamaan $\mathbf{m} = \mathbf{m}_0 + \Delta \mathbf{m}_0$ yang diharapkan respon model \mathbf{m} akan lebih *fit* dengan data observasi [4].

Untuk mendapatkan solusi inversi dengan model optimum diperlukan pertubasi secara iteratif dari model awal \mathbf{m}_0 . Dengan demikian, iterasi selanjutnya, yaitu $(n+1)$, dilakukan pertubasi terhadap \mathbf{m} sebelumnya dengan menggunakan persamaan:

$$\mathbf{m}_{n+1} = \mathbf{m}_n + [\mathbf{J}_n^T \mathbf{J}_n]^{-1} \mathbf{J}_n^T (\mathbf{Vobs} - \mathbf{Vcal}(\mathbf{m}_n)) \tag{20}$$

Algoritma *flowchart* pemodelan inversi non-linear dengan pendekatan linear untuk pemodelan anomali SP ditampilkan pada gambar (2).



Gambar 2. Algoritma pemodelan inversi non-linear

Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE adalah besaran yang sering digunakan untuk menentukan perbedaan antara nilai data yang diprediksi oleh model dan nilai-nilai yang diamati (data observasi) dari lingkungan yang sedang dimodelkan. Nilai RMS dari prediksi model yang dinotasikan dengan V_{cal} didefinisikan dengan:

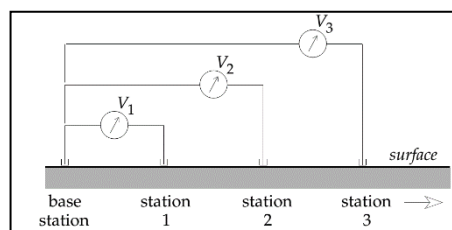
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{obs,i} - V_{cal,i})^2}{n}} \tag{21}$$

Dengan V_{obs_i} = data observasi ke-i, V_{cal_i} = Data pemodelan ke-i, dan n = jumlah data.

METODOLOGI

Pengukuran anomali SP digunakan dengan metode *leap frog*, yaitu menggunakan satu elektroda dengan posisi yang tidak berubah, dan elektroda lainnya berpindah sesuai dengan jarak lintasan dan stasiun. Kelebihan dari metode ini adalah potensial yang diukur berlanjut dengan mengacu pada titik base. Untuk waktu yang sebentar, error yang dihasilkan sangat sedikit dan tidak perlu diakumulasi. Kekurangan dari metode ini adalah kabel yang dibutuhkan panjang sehingga waktu yang diperlukan untuk pengukuran lebih lambat [3].

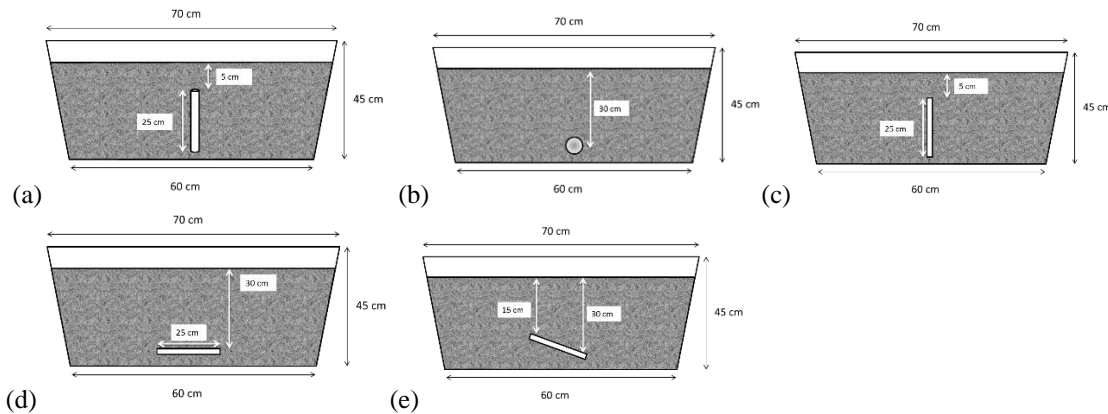
Penentuan titik elektroda base ditentukan oleh elektroda yang berpindah dari satu stasiun ke stasiun selanjutnya. Jika intervalnya kecil, hasil pengukuran berupa gradien potensial, dV/ds , dengan dV merupakan beda potensial antara 2 elektroda, dan ds adalah lebar antara 2 elektroda. Kelemahan pengukuran ini adalah adanya sedikit error pada proses pemindahan elektroda. Untuk mengurangi error ini, diperlukan pengecekan titik setiap panjang tertentu.



Gambar 3. Konfigurasi akuisisi metode *leap frog*

Sebelum melakukan pengukuran anomali, pengukuran potensial tanah sebelum dimasukkan logam anomali perlu dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat besaran SP tanah. Hal ini bertujuan untuk mengoreksi data observasi anomali SP terhadap SP tanah untuk mendapatkan hasil yang lebih presisi.

Eksperimen dalam menentukan parameter anomali SP dilakukan dengan menggunakan kotak dengan ukuran tutup 70 x 50 cm, alas 60 x 40 cm, dan ketinggian 45 cm yang diisi dengan tanah dan selanjutnya dimasukkan sampel logam yang ingin dianalisis. Sampel yang digunakan berupa silinder dengan posisi horizontal dengan kedalaman 30 cm, silinder vertikal dengan kedalaman 5 cm, pelat logam vertikal, plat logam horizontal, dan plat logam dengan posisi miring. Pengukuran potensial dilakukan dengan menggunakan multimeter dengan jarak elektroda setiap 5 cm. Nilai potensial dicatat langsung untuk kemudian didigitalisasi ke dalam bentuk tabel dan grafik untuk dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan interpretasi kuantitatif.

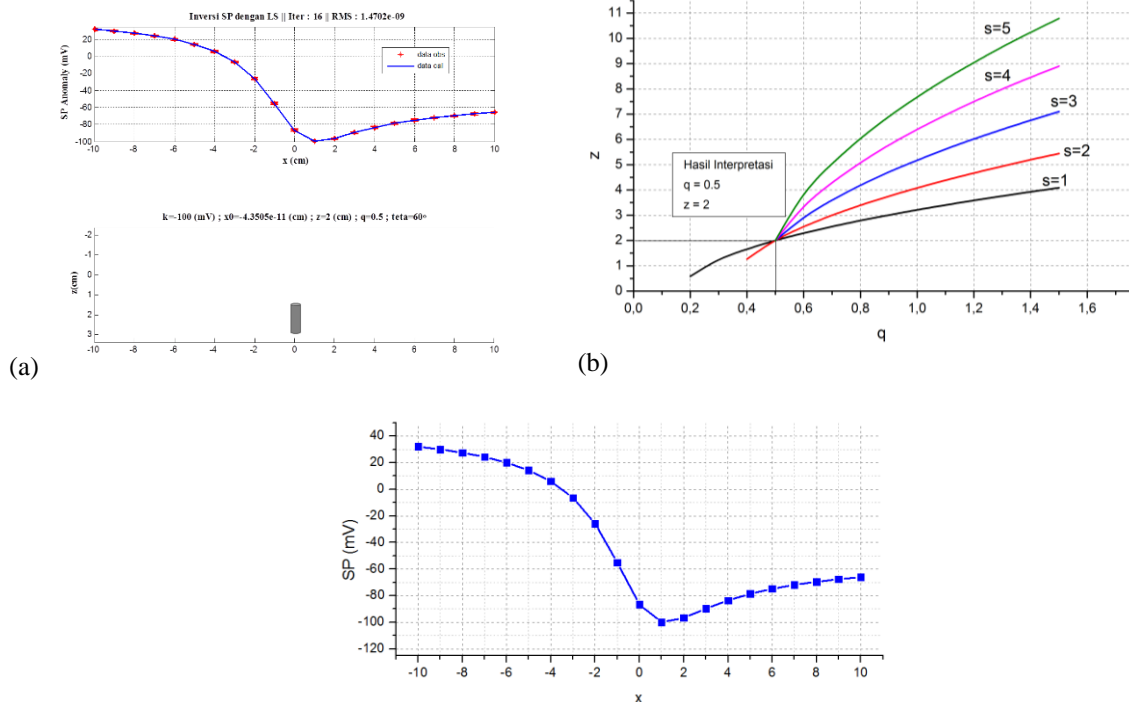


Gambar 4. Ilustrasi penempatan sampel untuk akuisisi data anomali SP (a) silinder vertikal, (b) silinder horizontal, (c) pelat vertikal, (d) pelat horizontal, dan (e) pelat miring

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan dengan Menggunakan Data Sintetik

Model semi-infinite silinder vertikal



Gambar 5. (a) Grafik kurva SP terhadap jarak x , (b) Interpretasi data anomali SP dalam penentuan z dan q , dan (c) Hasil pemodelan inversi dan parameter anomali SP metode least square

Hasil di atas didapat dari nilai $V(x_i)$ untuk nilai titik $-10 \leq x_i \leq 10$. Dari grafik hasil $V(x_i)$ di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan teknik pemisahan menggunakan metode derivatif numerik horizontal menggunakan persamaan (3.3). Untuk variasi nilai $s = 1, 2, 3, 4$, dan 5, didapat hasil yang dapat dilihat pada gambar (4.b). Penentuan nilai z dan q dapat dilihat dari gambar (4.5). Kurva $z(q)$ pada nilai s yang berbeda-beda akan berpotongan pada satu titik yang merupakan nilai z dan q yang sebenarnya, atau mendekati nilai aslinya. Didapat nilai $z = 2$ unit dan faktor bentuk $q = 0.5$, yang sesuai dengan masukan awal.

Data sintetik di atas juga digunakan untuk menentukan parameter anomali SP menggunakan metode *least-square* sekaligus membuat pemodelan dengan cara inversi. Hasilnya ditampilkan pada gambar (4.6). Dari parameter yang diperoleh dan grafik inversi, dapat dilihat bahwa metode ini dapat selanjutnya digunakan untuk menganalisis data lapangan dikarenakan metode secara efektif menghasilkan parameter dan pemodelan yang hampir sama dengan data sintesis awal.

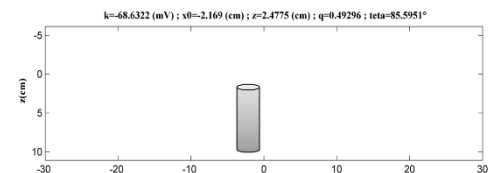
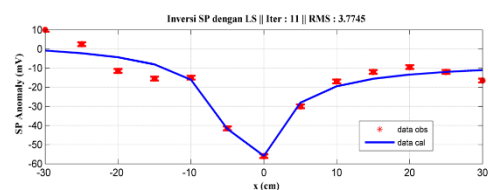
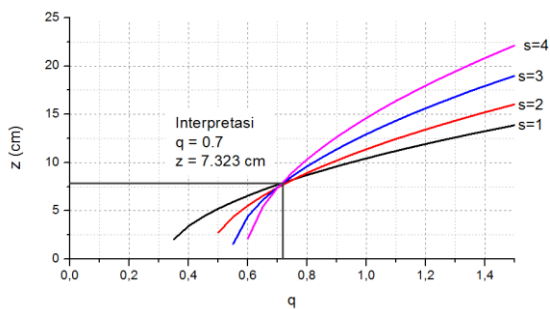
Tabel 1. Perbandingan hasil metode gradien numerik dan inversi LS

Parameter	Data Sintetik	Hasil Perhitungan	
		Gradien Numerik	Inversi <i>Least square</i>
x_0	0	-	-100
k	-100	-100	-4.30E-11
z	2	2	2
q	0.5	0.5	0.5
θ	60	60	60

Hasil Perhitungan dengan Data Eksperimen

Silinder Vertikal

Lokasi yang diperkirakan menjadi pusat anomali terdapat pada nilai SP minimum digunakan sebagai titik acuan x_0 agar nantinya dapat dilakukan perhitungan menggunakan metode derivatif. Persamaan (11) selanjutnya digunakan untuk membuat plot grafik $z(q)$ agar mendapatkan nilai estimasi kedalaman dan *shape factor* yang sesuai dengan metode derivatif, dan persamaan (7) dan (9) selanjutnya digunakan untuk mendapatkan nilai momen dipol (k) dan sudut polarisasi (θ). Hasil yang didapatkan adalah Sudut polarisasi (θ) = 83.76° dan momen dipol (k) = -44.6 mV



(a)

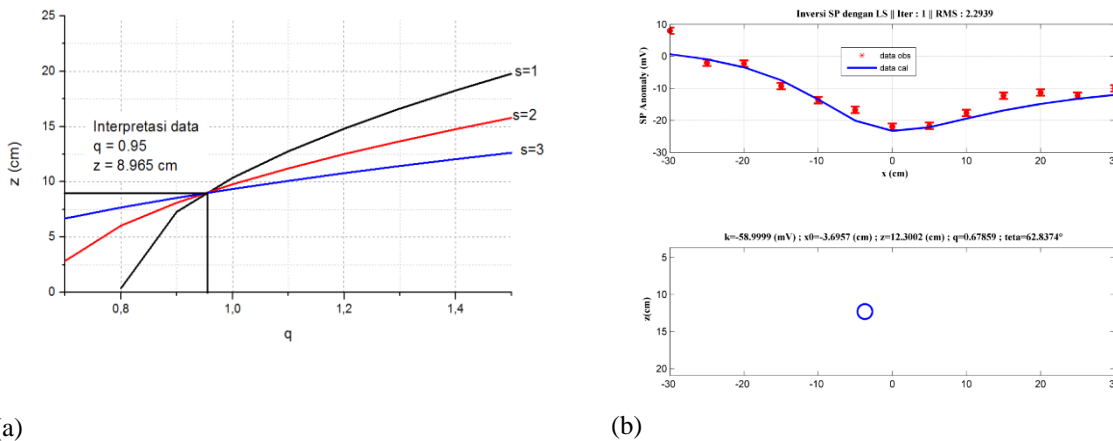
(b)

Gambar 8. (a) Interpretasi data anomali SP dalam penentuan z dan q , (b) Hasil pemodelan inversi dan parameter anomali SP metode least square model silinder vertikal

Data eksperimen yang sama juga digunakan untuk menganalisis anomali SP untuk menentukan parameter anomali SP sekaligus membuat pemodelan hasil inversi dengan menggunakan metode *least square*. Hasilnya dapat dilihat pada gambar (8.b).

Dari hasil observasi, dapat dilihat adanya anomali SP pada logam pada posisi $x_0 = 0$. Terdapat perbedaan nilai parameter yang dihasilkan untuk masing-masing metode. Parameter yang didapat dari metode gradien numerik menggunakan penurunan persamaan secara analitik dan tidak memerlukan iterasi untuk mencocokkan data observasi dan hasil. Perhitungan parameter z dan q didapatkan dari persamaan (11) dan parameter lainnya belum tentu dapat digunakan untuk membuat pemodelan forward dengan hasil data yang mendekati data lapangan, berbeda dengan metode inversi yang sebisa mungkin memodelkan data kalkulasi yang mendekati data observasi.

Silinder Horizontal



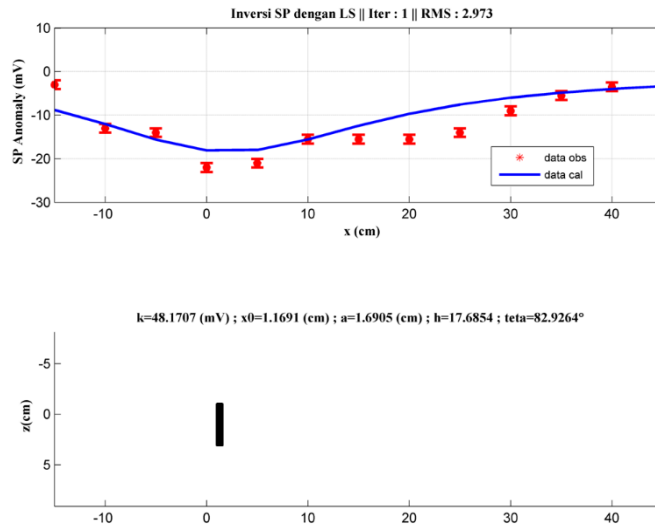
(a) Interpretasi data anomali SP dalam penentuan z dan q , (b) Hasil pemodelan inversi dan parameter anomali SP metode least square model silinder horizontal

Nilai sudut polarisasi $\theta = 78.4326^\circ$, dan momen dipol $k = -58.6821$ mV. Dari hasil data di atas, perbedaan juga ditemukan untuk kedua metode yang berbeda. Kualitas data kalkulasi dan parameter yang dihasilkan dari kedua metode sangat bergantung pada data observasi yang didapat. Salah satu kelebihan metode derivatif numerik adalah data observasi dari akuisisi tidak perlu dikoreksi atau diubah untuk diperhalus (*smoothing*) untuk mendapatkan data parameter, karena berapa pun nilai potensial yang tercatat dapat langsung diolah untuk mendapatkan hasil parameter yang dicari. Hal ini juga mengimplikasikan kelemahan dari metode ini, yaitu tidak dapat membedakan nilai anomali sebenarnya atau *noise* dari akuisisi data, sehingga diperlukan pemahaman dan kecermatan dalam pemilihan data observasi yang tepat untuk menginterpretasikan data anomali SP.

Pada hasil data observasi model silinder horizontal, penggunaan metode *least square* membutuhkan *smoothing data* agar dapat menghasilkan data kalkulasi yang lebih *fit* dengan data observasi dan menghasilkan *error* sekecil mungkin.

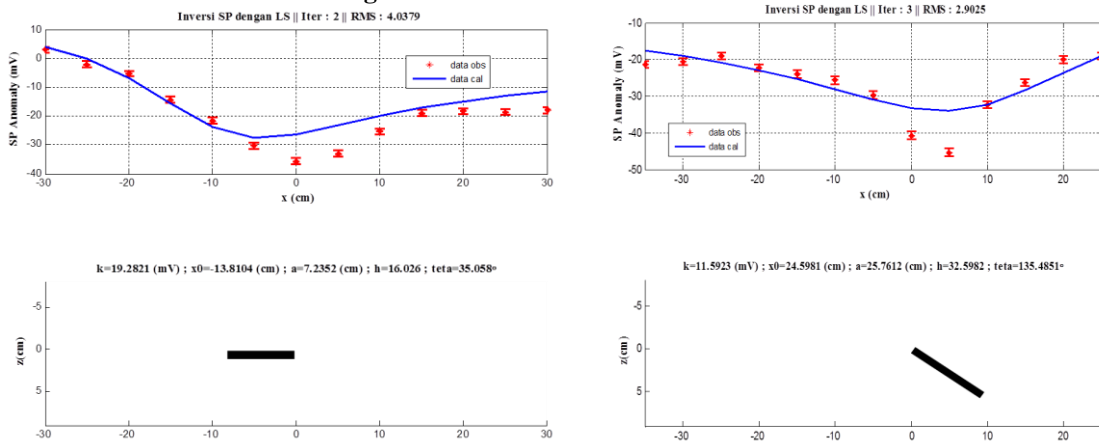
Pelat Vertikal

Khusus untuk model pelat tipis, penentuan parameter anomali dilakukan dengan menggunakan metode inversi *least square*. Parameter yang dihasilkan dari metode ini terdiri dari nilai momen dipol (k), posisi anomali (x_0), panjang pelat (a), kedalaman anomali (h), dan kemiringan pelat (θ). Terdapat beberapa parameter yang mendekati hasil asli, yaitu sudut kemiringan pelat dan posisi anomali yang mendekati posisi $x = 0$. Hasil ini tentunya disebabkan oleh data observasi yang tidak ideal dan kondisi pengukuran dan lingkungan, seperti keadaan tanah dan peralatan yang berpengaruh pada bacaan potensial. Adanya *noise* dan SP yang ditimbulkan dari tanah sendiri juga akan berdampak pada perubahan pada data observasi. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengukuran SP tanah sebelum dimasukkan anomali untuk nantinya dapat dilakukan koreksi data.



Gambar 10. Hasil pemodelan inversi dan parameter anomali SP metode least square model pelat vertikal

Pelat Horizontal dan Pelat Miring



Gambar 11. Hasil pemodelan inversi dan parameter anomali SP metode least square model pelat horizontal dan pelat miring

Pada hasil di atas, dapat dilihat bahwa parameter posisi anomali menyimpang dari posisi pelat sebenarnya. Kemungkinan penyebab adanya perbedaan ini bisa disebabkan oleh banyak hal, seperti data observasi yang berubah akibat lingkungan, atau masukan atau input nilai parameter awal yang keliru. Salah satu kelemahan dari inversi least square adalah tebakan awal yang dimasukkan pada iterasi tidak boleh menjauhi nilai yang sebenarnya, karena nilai perhitungan data kalkulasi akan semakin besar, terkait dengan matriks Jacobi yang semakin besar dan menyebabkan matriks kernel bersifat singular atau nilai komponen matriks yang sangat besar.

Pada metode derivatif numerik, parameter baik atau buruknya nilai kalkulasi yang didapat terletak pada kesimetrian bentuk grafik anomali SP. Adanya ketidaksimetrian pada data observasi disebabkan oleh noise dan faktor lainnya, sehingga terdapat satu atau beberapa grafik $z(q)$ untuk nilai s tertentu yang tidak berpotongan dengan grafik lainnya.

Secara umum, perbedaan yang diperoleh dari data kalkulasi dengan data lapangan disebabkan oleh beberapa faktor yang terkait dengan akuisisi data eksperimen, seperti adanya noise, perubahan akibat SP alami dari tanah, dan kondisi logam yang dijadikan sampel untuk pengambilan data. Kontak yang terjadi antara elektroda dan material pada tanah juga akan memungkinkan untuk terjadinya arus dan menimbulkan potensial tambahan. Kondisi ini akan berubah terhadap waktu, kandungan tanah, dan temperatur.

KESIMPULAN

Metode SP dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan logam dengan interpretasi kuantitatif untuk geometri sederhana, dalam hal ini silinder horizontal, silinder vertikal, dan pelat tipis. Interpretasi kuantitatif yang dilakukan adalah berupa penentuan parameter anomali SP, seperti besaran momen dipol, kedalaman, ukuran pelat, kemiringan pelat, dan lainnya.

Kedua metode yang digunakan yang terdiri dari gradien numerik dan inversi non-linear *least square* terbukti dapat digunakan untuk interpretasi kuantitatif dalam penentuan parameter anomali SP logam. Terdapat beberapa kelemahan dalam masing-masing metode, yaitu:

Tabel 4. Kelebihan dan kekurangan metode derivatif numerik dan *least square*

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Derivatif numerik	Tidak memerlukan modifikasi data dalam perhitungan	Perhitungan dilakukan secara analitik dan satu-persatu, sehingga waktu digunakan akan cukup lama.
<i>Least-square</i>	Perhitungan bersifat otomatis dan waktu yang diperlukan juga lebih cepat daripada metode derivatif numerik.	Beberapa data memerlukan modifikasi agar sesuai dengan perhitungan untuk mendapatkan data kalkulasi yang <i>fit</i> . Masukan tebakan harus sebisa mungkin mendekati nilai yang sesuai dengan data observasi, karena akan terjadi kemungkinan data kalkulasi tidak dapat dihasilkan dari metode ini.

Percobaan dan metode yang dilakukan hanya bisa digunakan untuk bentuk geometri yang terbatas pada bentuk tertentu, sehingga jika dilakukan akuisisi data lapangan dengan bentuk yang kompleks, metode ini belum dapat sepenuhnya merepresentasikan bentuk anomali bawah permukaan tanah.

REFERENSI

1. Yungul, S. (1950). Interpretation of Spontaneous Polarization Anomalies Caused by Spheroidal Orebodies. Society of Exploration Geophysicists, 237-246.
2. Rao, B. S., Murty, R., & Reddy, S. J. (1970). Interpretation of selfpotential anomalies of some simple geometrical bodies. Pure and Applied, 60-77.
3. Abdelrahman, E., Ammar, A., Shrafeldin, S., & Hassanein, H. (1997). Shape and depth solution from numerical horizontal self-potential gradients. Journal of Applied Geophysics, 31-43.
4. Grandis, H. (2009). Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Jakarta: HAGI.
5. William, L. (2007). Fundamental of Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press.