

INVERSI DATA *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* (VES) KONFIGURASI SCHLUMBERGER DI KAMPUNG NAMBON KABUPATEN JAYAPURA MENGGUKAN METODE *FIXED-WIDTH THICKNESS* DAN *METROPOLIS SIMULATED ANNEALING*

Anike Nelce Bowaire, Zakaria Victor Kareth

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Cenderawasih, Kampus FMIPA Uncen, Waena,
Kec. Heram, Kota Jayapura, Papua 99224
Email: anike_kala@yahoo.com

ABSTRACT

A Research of inversion of Vertical Electrical Sounding (VES) data of Schlumberger configuration using combination of Simulated Annealing (SA) dan Fixed-Width Thickness methods has been carried out. The fixed-width thickness method was used to objectively determine the number of subsurface layers. The SA method was used because it is stable and the initial model does not have to be at proximity of the actual solution. The inversion results on synthetic data of 3 and 4 layers show a good fit between the synthetic data and inverted model. In addition to the number of layers, the fixed-width thickness method also provides information on the range of depth and resistivity values for each layer with can be used as input for inversion. The inversion results on synthetic data containing 20% noise indicating that the model and data have a good fit. The level of fit of the method depends on the number of model parameters and the error tolerance. The inversion results on field data in Nambon village, Jayapura district, show that there are 5 subsurface layers. The geological interpretation of these five layers is that the first layer is the top soil layer which is weathered limestone, clay and sand. The second, fourth and fifth layers are limestone of the Jayapura formation (Qpj) with a resistivity range between 923 – 5881 Ω m. The third layer is karst, which may contain groundwater, formed in the limestone of the Jayapura formation.

Keywords: Metropolis Simulated Annealing (SA), Vertical Electrical Sounding (VES), Schlumberger, Inversi.

PENDAHULUAN

Pemodelan inversi merupakan bagian penting dalam pengolahan data Vertical Electrical Sounding (VES). Pada inversi data VES, parameter model berupa ketebalan lapisan dan resistivitasnya diperoleh secara langsung dari data. Parameter model yang optimum bersesuaian dengan kecocokan antara data lapangan dengan model teoritis yang merepresentasikan karakteristik bawah permukaan.

Inversi data VES umumnya menggunakan pendekatan linear yang melibatkan perhitungan turunan

persamaan matematis yang mendasari prinsip fisika VES. Namun, pendekatan linear memiliki kekurangan yaitu sifatnya yang tak stabil karena model awal input inversi harus mendekati model sesungguhnya.

Pendekatan nonlinear pada inversi data VES dapat mengatasi keterbatasan pendekatan linear karena tidak melibatkan perhitungan turunan persamaan matematis VES dan model awal yang tidak harus selalu mendekati model sesungguhnya. Pada pendekatan nonlinear, perhitungan fungsi forward modelling dilakukan secara langsung

dengan menjelajahi seluruh ruang model secara acak-terarah. Simulated Annealing (SA) adalah salah satu pendekatan nonlinear dalam inversi data VES yang mengadopsi prinsip fisis pembentukan kristal suatu substansi (Grandis, 2009).

Selain metode inversi, jumlah lapisan bawah permukaan juga merupakan salah satu aspek penting dalam inversi data VES. Pada umumnya, penentuan jumlah lapisan bawah permukaan ditentukan secara subjektif sehingga bergantung pada pengalaman dari pengolah data.

Penentuan jumlah lapisan bawah permukaan dapat ditentukan secara objektif yaitu langsung dari data (*data-driven*). Alali dan Morgan (2017) mengusulkan penggunaan metode *fixed-width thickness* dimana inversi data dilakukan dengan bawah permukaan yang dibagi menjadi lapisan-lapisan dengan ketebalan tetap 1 meter. bidang batas lapisan ditentukan berdasarkan nilai kemiringan hasil inversi yang telah diintegrasikan.

Data VES kampung Nambon menunjukkan bawah permukaan yang heterogen dan diduga terdapat karst terkait dengan batu Gamping formasi Jayapura (Qpj) (Kareth dan Anou, 2022). Agar dapat merekomendasikan titik pemboran dan deskripsi bawah permukaan yang komprehensif, maka diperlukan metode inversi data VES yang stabil.

Penelitian ini bertujuan untuk Mengestimasi parameter jumlah lapisan dan resistivitas bawah permukaan di Kampung Nambon secara lebih objektif menggunakan metode *fixed-width thickness and Simulated Annealing (SA)*.

METODE PENELITIAN

Forward modeling

Nilai resistivitas semu pada lapisan-lapisan bawah permukaan menggunakan konfigurasi Schlumberger ρ_{as} dapat dihitung melalui persamaan berikut (Bhattacharya et al., 2003)

$$\rho_{as} = r^2 \int_0^\infty T(\lambda) J_1(\lambda r) \lambda d\lambda \quad (1)$$

dimana r, λ, J_1 , dan $T(\lambda)$ masing-masing adalah spasi elektroda $AB/2$, faktor integrasi, fungsi Bessel orde satu, fungsi transformasi resistivitas. Fungsi transformasi resistivitas $T(\lambda)$ dapat dihitung menggunakan persamaan rekursi Pekeris (Sen et al., 1993) sebagai berikut

$$T_i = \frac{T_{i+1} + \rho_i \tanh(\lambda h_i)}{1 + \frac{T_{i+1} \tanh(\lambda h_i)}{\rho_i}} \quad (2)$$

dimana ρ_i dan h_i masing-masing adalah resistivitas dan tebal lapisan ke- i .

Perhitungan forward modeling dilakukan menggunakan metode filter linear (Ghosh, 1971) sebagai berikut

$$\rho_{as} = \sum_j f_j T_j(\lambda) \quad (3)$$

dimana j dan f_j masing-masing adalah jumlah filter dan koefisien filter. Penelitian ini menggunakan koefisien filter yang diusulkan Ghosh (1971).

Fungsi eror yang digunakan dalam penelitian ini adalah root mean square error E_{RMS} sebagai berikut

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\rho_{a,i}^{cal} - \rho_{a,i}^{obs})^2}$$

dimana N, ρ_a^{cal} dan ρ_a^{obs} masing-masing adalah jumlah data observasi, resistivitas semu hasil kalkulasi forward modeling dan resistivitas semu data observasi.

Simulated Annealing

Metode simulated annealing merupakan salah satu metode inversi global yang diilhami oleh proses *annealing*

suatu zat. Zat padat awalnya dipanaskan dengan menaikkan temperaturnya kemudian didinginkan secara perlahan hingga terjadi proses kristalisasi dimana partikel-partikel mengatur diri mereka dalam keadaan energi-rendah dasar (*low-energy ground state*) (Bhattacharya et al, 2003). Pseudo-code metode Simulated Annealing Metropolis diberikan pada Gambar 1

- * Mulai pada model awal m_0 dengan Fungsi eror E_0 .
- * Loop terhadap temperature T
 - * Loop terhadap gerak random per temperature
 - * Hitung E_1 untuk model baru m_1
 - * Hitung $\Delta E = E_1 - E_0$
 - * Hitung $P = \exp\left(-\frac{\Delta E}{T}\right)$
 - * Jika $\Delta E < 0$, maka:
 - * $m_0 = m_1$
 - * $E_0 = E_1$
 - * Jika $\Delta E > 0$, maka:
 - * Pilih suatu bilangan radom $r = U [0,1]$
 - * Jika $P > r$, maka
 - * $m_0 = m_1$
 - * $E_0 = E_1$

Gambar 1. Pseudo-code metode Simulated Annealing Metropolis.

Metode *fixed-width thickness*

Metode *fixed-width thickness* diadopsi dari (A. M. Alali, 2018; A. Alali & Morgan, 2017) untuk menentukan jumlah lapisan bawah permukaan dari data observasi (*data driven*).

Tahapan-tahapan pada metode ini adalah sebagai berikut membagi lapisan-lapisan bawah permukaan dengan ketebalan constant 1 meter sebanyak $AB/2$, menghitung nilai resistivitas semu dengan mengubah nilai resistivitas lapisan secara iteratif hingga diperoleh kecocokan dengan data observasi, menghitung gradient, menghitung resistivitas kumulatif. Perbatasan antar

lapisan diidentifikasi berupa perubahan gradient pada kurva gradient dan resistivitas kumulatif.

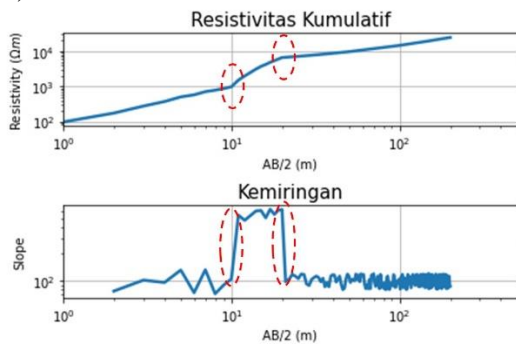
Tahapan Penelitian ini adalah sebagai berikut. Pertama, menentukan jumlah lapisan bawah permukaan menggunakan metode *fixed-width thickness*. Kedua, mengestimasi tebal dan resistivitas tiap lapisan berdasarkan output tahap pertama. Metode Metropolis Simulated Annealing digunakan pada tahap pertama dan kedua.

HASIL DAN PEMBAHASAN

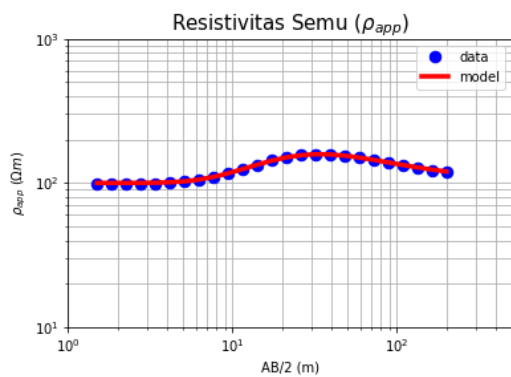
Kombinasi metode *fixed-width thickness* dan *simulated annealing* (SA) diterapkan pada tiga data model sentetik dan data observasi. Data model sintetik pertama terdiri atas model tiga lapisan dengan resistivitas masing-masing adalah $100 \Omega m$, $500 \Omega m$ dan $100 \Omega m$ dari lapisan paling atas hingga lapisan terbawah (Tabel 1). Ketebalan lapisan pertama dan kedua masing-masing adalah 10 m. Data model sintetik kedua adalah model tiga lapisan yang sama dengan data sintetik pertama namun diberi noise berdistribusi normal sebesar 20%. Data sintetik ketiga merupakan model empat lapisan dengan resistivitas lapisan paling atas hingga lapisan terbawah masing-masing adalah $100 \Omega m$, $2000 \Omega m$, $50 \Omega m$, dan $2000 \Omega m$ (Tabel 2). Ketebalan lapisan lapisan dari yang paling atas hingga yang terbawah secara berurutan adalah 8m, 10m dan 50m.

Kombinasi metode *fixed-width thickness* dan *simulated annealing* cukup baik untuk data sintetik 3 lapisan tanpa noise (Gambar 3, Gambar 3 dan Tabel 1). Kurva laju perubahan resistivitas kumulatif menunjukkan kedalaman bidang batas tiap lapisan serta nilai resistivitasnya (garis merah putus-putus

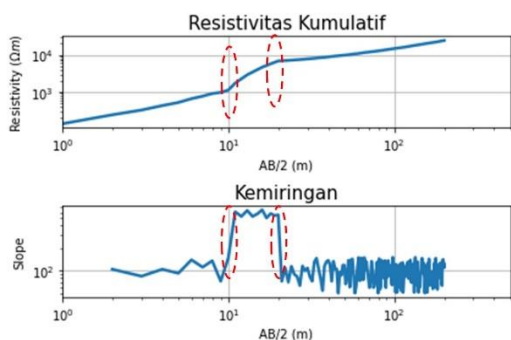
di Gambar 2). Kedua informasi ini kemudian digunakan dalam tahap inversi untuk mengestimasi nilai ketebalan dan resistivitas tiap lapisan. Kombinasi kedua metode ini juga cukup baik untuk diterapkan pada data sintetik yang memiliki noise (Gambar 5 dan Gambar 5).



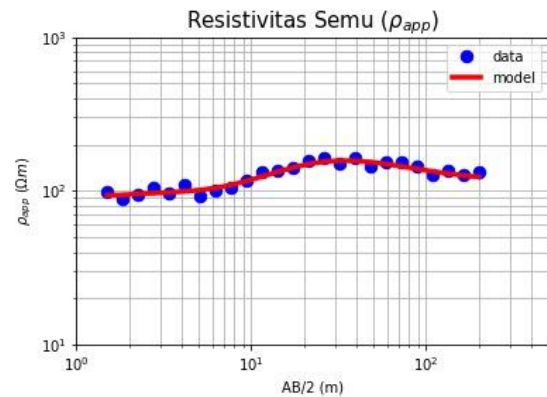
Gambar 2. Resistivitas kumulatif dan kemiringan resistivitas kumulatif yang diperoleh dari metode fixed-width thickness untuk data sintetik 3 lapisan tanpa noise.



Gambar 3. Hasil inversi menggunakan metode SA untuk data sintetik 3 lapisan tanpa noise.



Gambar 4. Resistivitas kumulatif dan kemiringan resistivitas kumulatif yang diperoleh dari metode fixed-width thickness untuk data sintetik 3 lapisan dengan noise berdistribusi normal sebesar 20%.



Gambar 5. Hasil inversi menggunakan metode SA untuk data sintetik dengan noise berdistribusi normal sebesar 20%.

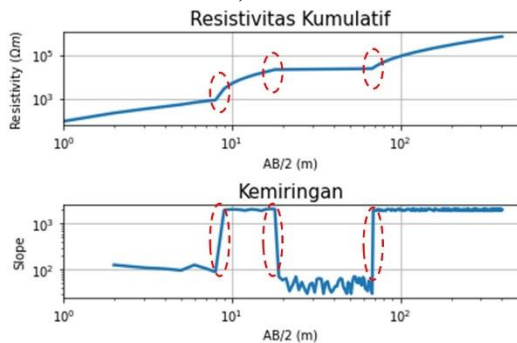
Tabel 1. Parameter model data sintetik, hasil inversi tanpa noise dan hasil inversi dengan noise.

Parameter model (satuan)	Sintetik	Inversi (tanpa noise)	Inversi (noise 20%)
$\rho_1 (\Omega m)$	100	101	102
$t_1 (m)$	10	10	10
$\rho_2 (\Omega m)$	500	497	549
$t_2 (m)$	10	10	10
$\rho_3 (\Omega m)$	100	100	98

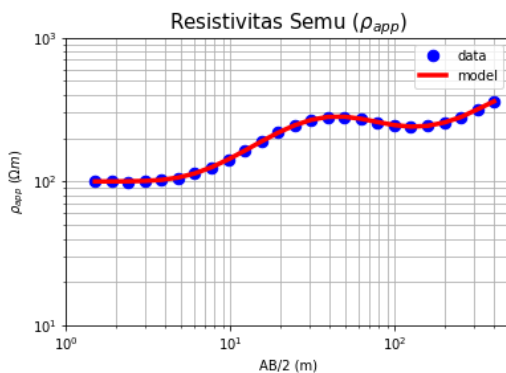
Metode fixed-width thickness cukup baik dalam mengestimasi jumlah serta kedalaman tiap lapisan pada data sintetik empat lapisan tanpa noise. Hal ini mengindikasikan performa yang baik meskipun parameter model yang digunakan dalam inversi semakin banyak. Selain informasi jumlah lapisan, estimasi kedalaman dan nilai resistivitas tiap lapisan dapat diperoleh dari metode fixed-width thickness. Kecocokan data sintetik dan hasil inversi bergantung pada kompromi antara nilai toleransi eror yang digunakan dan waktu komputasi. Semakin kecil toleransi eror maka semakin lama waktu komputasi. Waktu komputasi sendiri bergantung pada banyaknya model diskrit yang digunakan. Semakin banyak model

distrik yang digunakan, maka semakin besar ruang model yang akan dijelajahi dalam mencari model optimum.

Kombinasi metode fixed-width thickness dan simulated annealing cukup baik untuk data dengan jumlah parameter yang banyak seperti pada model empat lapisan (**Error! Reference source not found.**, Gambar 7 dan **Error! Reference source not found.**).



Gambar 6. Resistivitas kumulatif dan kemiringan resistivitas kumulatif yang diperoleh dari metode fixed-with thickness untuk data sintetik 4 lapisan tanpa noise.



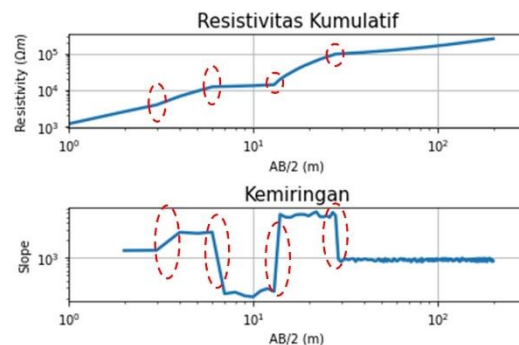
Gambar 7. Hasil inversi menggunakan metode SA untuk data sintetik 4 lapisan tanpa noise.

Tabel 2. Parameter model data sintetik 4 lapisan, hasil inversi tanpa noise dan hasil inversi dengan noise.

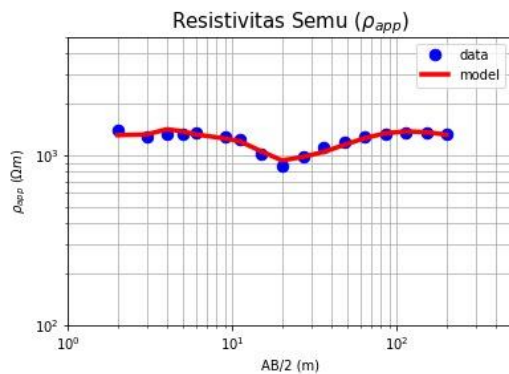
Parameter model (satuan)	Sintetik	Inversi
$\rho_1(\Omega m)$	100	100
$t_1(m)$	8	8
$\rho_2(\Omega m)$	2000	2003
$t_2(m)$	10	10
$\rho_3(\Omega m)$	50	49

$t_3(m)$	50	51
$\rho_4(\Omega m)$	2000	2000

Implementasi metode fixed-width thickness pada data observasi menunjukkan bahwa lapisan bawah permukaan di kampung Nambon terdiri atas lima lapisan berdasarkan kurva resistivitas kumulatif dan kurva kemiringan resistivitas kumulatif (Gambar 8, Gambar 9 dan **Error! Reference source not found.**). Hasil inversi menggunakan metode simulated annealing menunjukkan kecocokan yang baik antara data observasi dan model bawah permukaan. Interpretasi geologi hasil inversi adalah lapisan pertama merupakan lapisan tanah atas (top soil) yang merupakan lapukan Batugamping, Lempung dan Pasir. Lapisan kedua, keempat dan kelima merupakan Batugamping formasi Jayapura (Qpj) dengan rentang resistivitas antara 923 – 5881 Ωm . Lapisan ketiga merupakan karst yang terbentuk pada Batugamping formasi Jayapura. Anomali konduktif pada lapisan ketiga diduga akibat aliran air tanah pada formasi karst (Kareth dan Anou, 2022).



Gambar 8. Resistivitas kumulatif dan kemiringan resistivitas kumulatif yang diperoleh dari metode fixed-with thickness untuk data lapangan



Gambar 9. Hasil inversi menggunakan metode SA untuk data lapangan.

Tabel 3. Parameter model hasil inversi data lapangan.

Lapisan	$\rho(\Omega m)$	Tebal (m)
1	1272	3
2	2679	3
3	250	7
4	5881	15
5	923	Half-space

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bawah terdapat lima lapisan bawah permukaan di kampung Nambon berdasarkan inversi menggunakan metode *fixed-width* method dan SA. Nilai resistivitas kelima lapisan tersebut dari lapisan pertama hingga kelima masing-masing adalah 1272 Ωm , 2679 Ωm , 250 Ωm , 5881 Ωm dan 923 Ωm . Nilai ketebalan tiap lapisan dari atas ke bawah masing-masing adalah 3 m, 3 m, 7 m, dan 15 m.

DAFTAR PUSTAKA

Alali, A. M. 2018. Novel approach towards 1D resistivity inversion using the systematically-determined optimum number of layers (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/117908>

Alali, A., and Morgan, F., 2017. Novel approach for 1D resistivity inversion using the systematically determined optimum number of layers. In *2017 SEG International Exposition and Annual Meeting*. OnePetro.

Bhattacharya, B. B., and Sen, M. K., 2003. Use of VFSA for resolution, sensitivity and uncertainty analysis in 1D DC resistivity and IP inversion. *Geophysical prospecting*, Vol 51. No 5: 393-408. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2478.2003.00379.x>

Ghosh, D. P., 1971. The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements. *Geophysical prospecting* Vol. 19, No.2 :192-217. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1971.tb00593.x>

Grandis, H., 2009. Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika.

Kareth, Z. V., dan Anou, K. N., 2022. Studi Potensi Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger dan Wenner di Kampung Nambon Kabupaten Jayapura. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya* Vol 9. No. 1:45-54. DOI: <https://doi.org/10.24252/jft.v9i1.27289>

Sen, M. K., Bhattacharya, B. B., and Stoffa, P. L., 1993. Nonlinear inversion of resistivity sounding data. *Geophysics*, Vol 58, No. 4:

496-507.

<https://doi.org/10.1190/1.1443432>