



Prediksi Model 2d Data Magnetotelurik Terbaik Berdasarkan Pendekatan Model Irisan Di Cekungan Tomori dan Sekitarnya *Prediction Of The Best 2d Model Magnetotelluric Data Based On Overlay Model Approach In Tomori Area*

G.M. Lucki Junursyah¹, Dimas Bagus Maulana², dan Randi Rusdiana².

¹Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro No 57 Bandung 40122. email: junursyah@gmail.com

²Program Studi Geofisika, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Jatinangor Km. 21 Sumedang 45363.
 email: dimasbagusmaulana@gmail.com; randirusdiana18@gmail.com

Naskah diterima : 30 September 2018, Revisi terakhir : 17 November 2019 Disetujui : 18 November 2019, Online : 18 November 2019
 DOI: 10.33332/jgsm.2019.v20.4.225-236p

Abstrak - Pemodelan 2D data MT (magnetotelurik) menghasilkan berbagai variasi model yang dipengaruhi oleh noise dan perbedaan sistem koordinat pengukuran dengan arah strike, sehingga hasilnya menjadi tidak akurat. Salah satu teknik yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat akurasi data tersebut adalah dengan analisis rotasi berdasarkan pendekatan model irisan. Jenis rotasi yang digunakan adalah *strike angle* dan *fix angle*. Rotasi *strike angle* dilakukan dengan memaksimalkan nilai impedansi anti-diagonalnya, sedangkan rotasi *fix angle* mengacu pada model bumi homogen isotropis dengan menghilangkan efek statik di permukaan. Pendekatan model irisan dilakukan berdasarkan asumsi bahwa penyebaran variasi nilai resistivitas batuan di bawah permukaan memiliki nilai yang sama pada bermacam-macam model. Pemodelan 2D yang digunakan dalam analisis ini terdiri dari tiga lintasan hasil korelasi 30 titik pengukuran MT di daerah Tomori dan sekitarnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa model rotasi *strike angle* merupakan model terbaik yang dapat digunakan di daerah penelitian dengan pendekatan nilai determinasi mencapai 0.7735, sehingga dapat mengurangi kesalahan penafsiran geologi bawah permukaan berdasarkan penggunaan bermacam-macam model 2D.

Katakunci : Magnetotelurik, rotasi impedansi, rotasi *strike angle*, rotasi *fix angle*.

Abstract - 2D modeling of magnetotelluric data produce various models that are influenced by noise and differences in coordinate measurement systems with strike directions, so the results are inaccurate. A technique that can be done to identify the accuracy of the data is the rotation analysis based on the overlay model approach. The type of rotation used are *strike angle* and *fix angle*. The *strike angle* rotation is done by maximizing the anti-diagonal impedance value, while the rotation *fix angle* refers to the isotropic homogeneous earth model by eliminating the static effect on the surface. The overlay model approach is based on the assumption that the distribution of resistivity variations of the rock in the subsurface has same value in various models. 2D modeling used in this analysis consists of three trajectories of correlation results from 30 magnetotelluric measurement points in the Tomori and surrounding areas. The results of the analysis show that the *strike angle* rotation model is the best model that can be used in the study area with the approach of determination value reaches 0.7735, therefore it can reduce subsurface geological interpretation deviation based on various 2D models.

Keywords: Magnetotelluric, impedance rotation, *strike angle* rotation, *fix angle* rotation.

PENDAHULUAN

Pemodelan 2D data MT (magnetotelurik) merupakan salah satu bagian penting dalam tahapan eksplorasi, sehingga hasilnya dapat menentukan kualitas penafsiran geologi bawah permukaan. Hasil pemodelan 2D tersebut terdiri dari berbagai macam model yang dipengaruhi oleh distorsi sistem koordinat dan noise, sehingga diperlukan analisis secara lebih lanjut untuk dapat memprediksi suatu model terbaik yang akan digunakan. Analisis rotasi tensor impedansi adalah salah satu cara untuk mereduksi efek distorsi yang disebabkan oleh perbedaan strike dengan sistem koordinat pengukuran dan ketidakhomogenan pada permukaan dangkal (efek statik). Menurut Jones dan Groom (1993), arah strike dapat diperkirakan melalui rotasi tensor impedansi, dengan besaran sudut rotasi sesuai dengan skema analitik yang dikembangkan (Swift, 1967 dalam Khyzhnyak, 2014), sehingga menghasilkan persamaan (1.1) yang merupakan prinsip rotasi *strike angle*. Kurva variasi tahanan jenis *transverse electric* (TE) dan kurva variasi tahanan jenis *transverse magnetic* (TM) bergeser sejauh θ derajat yang telah ditetapkan. Rotasi *strike angle* dilakukan dengan meminimumkan nilai impedansi Z_{xx} dan Z_{yy} serta memaksimumkan nilai Z_{xy} dan Z_{yx} , seperti pada asumsi bumi 2 dimensi. Impedansi itu sendiri adalah perbandingan antara medan listrik dan medan magnet (Vozoff, 1991).

$$\theta_0 = \frac{1}{2} \arctan \frac{(Z_{xx} - Z_{yy})(Z_{xy} + Z_{yx}) + (Z_{xx} - Z_{yy})(Z_{xy} - Z_{yx})}{|Z_{xx} - Z_{yy}|^2 - |Z_{xy} - Z_{yx}|^2} \quad (1.1)$$

Weaver *et al.* (2002), menerapkan rotasi invariant dengan memperhitungkan noise dalam data dan fakta bahwa struktur resistivitas di bumi tidak benar-benar sesuai dengan model sederhana 1D, 2D, atau 3D. Ranganayaki (1984) merumuskan persamaan (1.2) untuk menghitung nilai invariant berdasarkan prinsip determinan, sedangkan Berdichevsky dan Dmitriev (2008) menyatakan besaran invariant sebagai hasil perataan komponen utama (anti-diagonal) tensor impedansi yang dapat ditulis dalam persamaan (1.3).

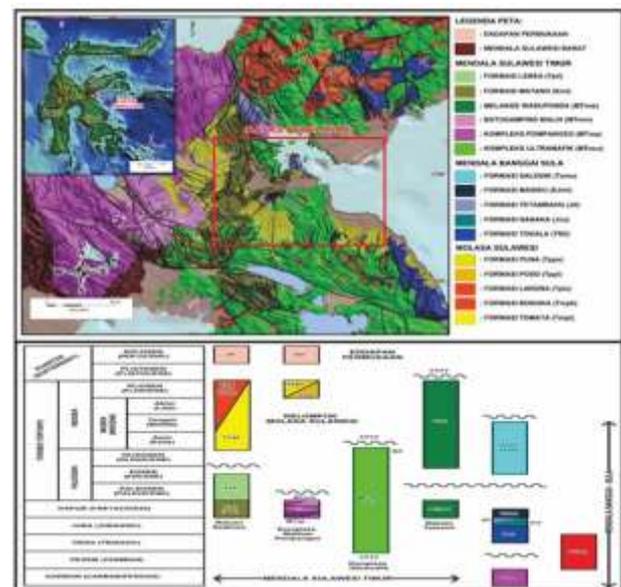
$$Z_{inv} = \sqrt{(Z_{xx} Z_{yy} - Z_{xy} Z_{yx})} \quad (1.2)$$

$$Z_{inv} = \frac{1}{2} (Z_{xx} - Z_{yy}) \quad (1.3)$$

Besaran *invariant* dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menentukan arah jurus struktur secara kasar jika medium tidak terlalu jauh menyimpang dari kondisi 1D (Mardiana, 2007). Selain itu, Marti dkk. (2004), menyatakan bahwa rotasi *invariant* dari tensor impedansi dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tentang geometri struktur geologi dasar. Hal tersebut didukung oleh Szarka dan Menvielle (1997), yang menyatakan bahwa hasil inversi dari rotasi tensor impedansi dapat dijadikan sebagai parameter interpretasi karena tidak bergantung pada arah medan induksi.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Berdasarkan Peta Geologi skala 1:250.000 Lembar Malili (Simandjuntak dkk., 1991a), Lembar Poso (Simandjuntak dkk., 1991b), Lembar Bungku (Simandjuntak dkk., 1994), dan Lembar Batui (Suroño dkk., 1994), diketahui urutan stratigrafi batuan dari tua ke muda di daerah Tomori dan sekitarnya terbagi atas tiga mendala geologi yang dominan pada Mendala Sulawesi Timur dan Mendala Banggai-Sula yang tertutupi oleh Kelompok Molasa Sulawesi (Gambar 1). Keseluruhan batuan tersebut tertutupi oleh endapan permukaan berupa Endapan Danau (Q1) dan Alluvium (Qal).



Sumber: modifikasi dari Simandjuntak dkk., 1991a; Simandjuntak dkk., 1991b; Simandjuntak dkk., 1994; dan Suroño dkk., (1994).

Gambar 1. Peta geologi di wilayah penelitian.

Wilayah penelitian termasuk ke dalam bagian dari tektonik Lengan Timur Sulawesi yang dapat dibagi menjadi Sulawesi Timur bagian utara (Banggai-Sula) dan bagian selatan (Kendari, Muna, dan Buton). Struktur geologi utama adalah sesar naik Poso, sesar naik Batui, dan sesar Matano (Surono dan Hartono, 2013). Sesar naik Poso merupakan kontak antara Kompleks Batuan Malih Sulawesi Tengah (*hanging wall*) dan Busur Gunungapi Sulawesi Barat (*foot wall*), terjadi pada Miosen Akhir - Pliosen Awal. Sesar naik Batui merupakan kenampakan permukaan zona tumbukan antara Kepingan Benua Banggai-Sula (*foot wall*) dan Ofiolit Sulawesi Timur (*hanging wall*) pada Neogen. Ke arah utara, sesar ini bersambung dengan sesar Balantak, sedangkan ke selatan dipotong oleh sesar Kabuabua. Sesar Matano dicirikan oleh kelurusan lembah yang membentang dari pantai Lengan Tenggara Sulawesi dan memotong sesar naik Poso, kemudian bergabung dengan sesar Palu-Koro. Sesar ini termasuk ke dalam sesar mendatar mengiri yang membentuk cekungan *pull apart* berupa Danau Matano.

METODE PENELITIAN

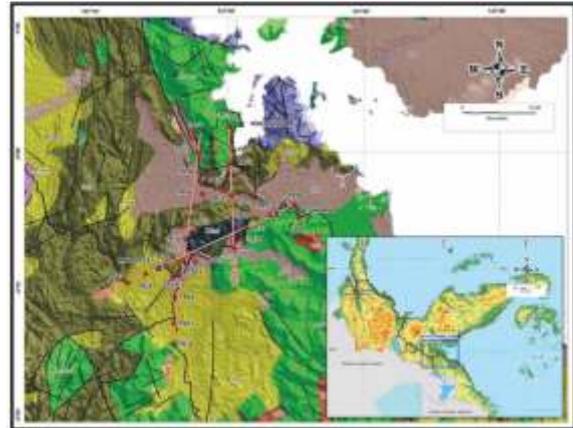
Data MT yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 lintasan (Gambar 2), yaitu lintasan LINE-01 (terdiri dari 11 titik), LINE-02 (terdiri dari 7 titik), dan LINE-03 (terdiri dari 14 titik), telah dikerjakan oleh Pusat Survei Geologi pada tahun 2014 (Junursyah, 2014).

Alur penelitian secara umum terbagi menjadi dua tahapan, yaitu tahapan pemodelan rotasi dan analisis penyebaran variasi resistivitas pada tiap model untuk dilakukan *overlay* (Gambar 3). Pada penelitian ini digunakan tiga jenis rotasi, yaitu tanpa rotasi, rotasi *strike angle*, dan rotasi *fix angle*. Prinsip rotasi *strike angle* mengacu pada persamaan matematis (1.1), sedangkan rotasi *fix angle* dilatarbelakangi oleh adanya gejala struktur bawah permukaan yang tidak sesuai dengan asumsi bumi homogen isotropis. Perhitungan penyebaran variasi nilai resistivitas pada ketiga hasil pemodelan rotasi dirumuskan pada persamaan (1.4), dengan a = presentase kualitas data, b = luas daerah yang sama pada ketiga model (luas irisan), dan c = luas penyebaran data tanpa rotasi, rotasi *fix angle*, atau rotasi *strike angle*.

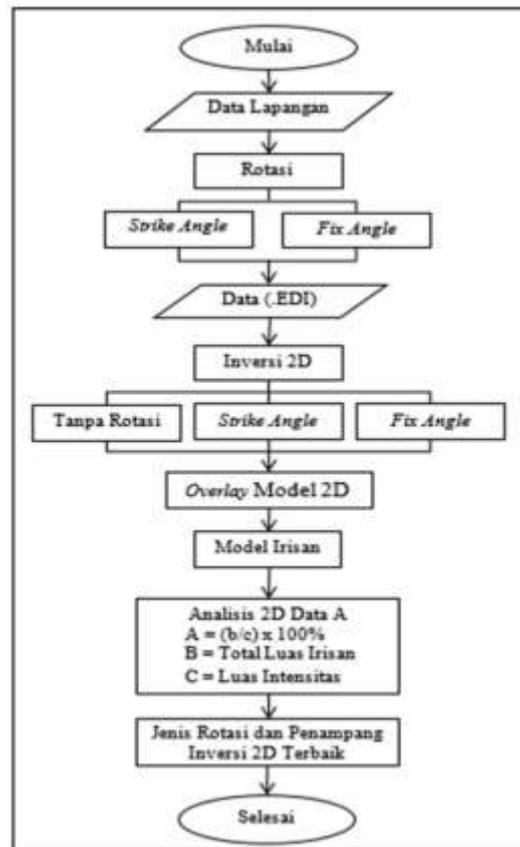
$$a = \left(\frac{b}{c}\right) * 100 \quad (1.4)$$

Model irisan dilakukan dengan menggabungkan variasi nilai resistivitas yang sama dari ketiga model (*overlay*), kemudian dipilih suatu bagian yang terdapat pada

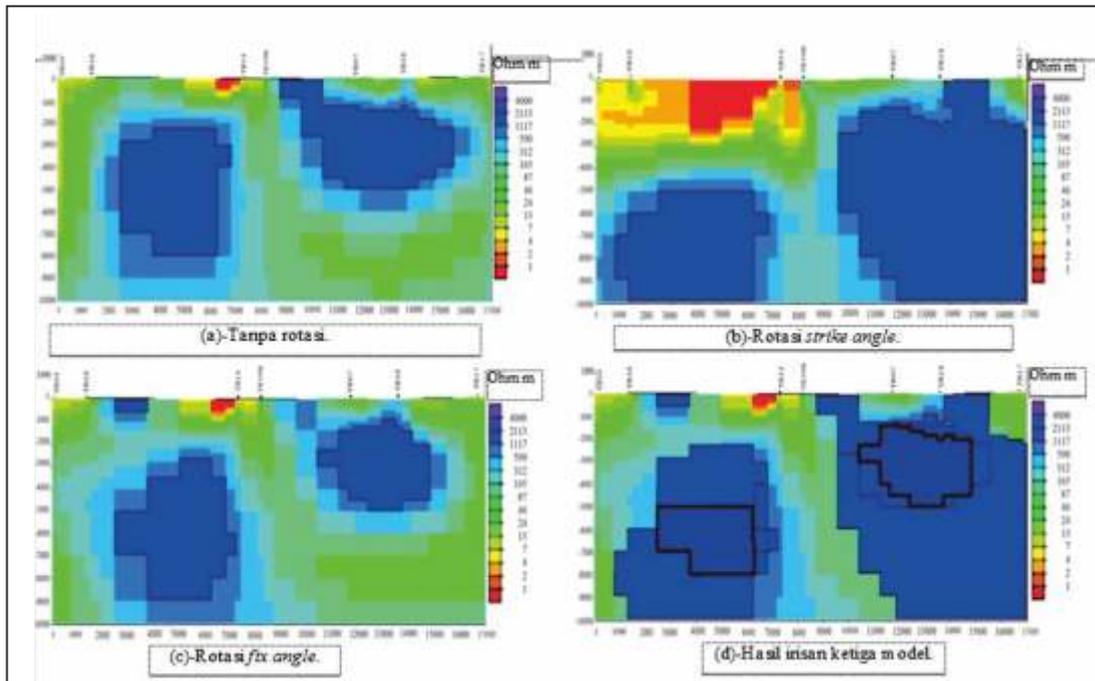
ketiga model tersebut (sebagai contoh hasil irisan pada penyebaran nilai resistivitas di antara 1117 ? m hingga 2113 ? m ditandai oleh garis arsiran pada Gambar 4.d). Penentuan luas arsiran dilakukan dari variasi nilai resistif menuju ke variasi nilai konduktif, kemudian digabungkan untuk menghasilkan model variasi nilai resistivitas baru (model irisan). Model irisan tersebut kemudian dijadikan sebagai acuan dalam pendekatan model yang digunakan.



Gambar 2. Lokasi titik pengukuran MT di daerah penelitian yang terdiri dari 3 lintasan, dikorelasikan dengan modifikasi peta geologi regional (Junursyah, 2014).



Gambar 3. Bagan alir penelitian.



Gambar 4. Contoh model irisan pada penyebaran variasi nilai resistivitas di antara 1117 Ω m hingga 2113 Ω m (warna biru) pada lintasan LINE03. Model tanpa rotasi memiliki luas area 3318.07 Ha, model rotasi *strike angle* 7715.89 Ha, dan model rotasi *fix angle* 2703.03 Ha. Luas area irisan dari ketiga model tersebut adalah 1493.33 Ha (bagian yang di arsir).

HASIL DAN PEMBAHASAN

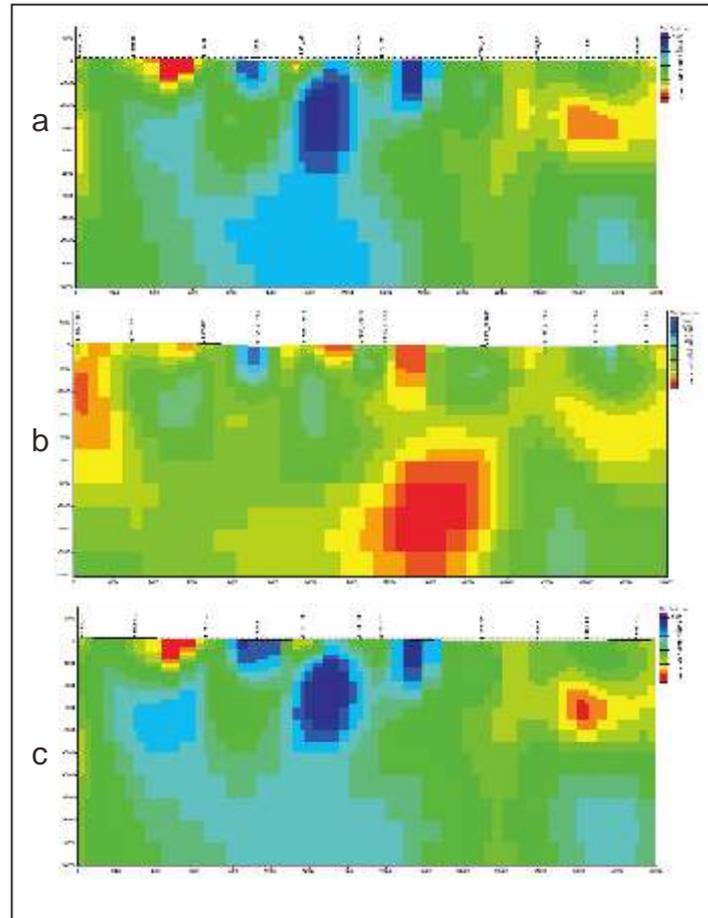
Lintasan LINE-01

Penampang model 2D pada lintasan LINE-01 mengandung informasi perubahan resistivitas terhadap kedalaman pada setiap titik pengukuran, bervariasi dari 1 Ω m hingga 2.500 Ω m. Model tanpa rotasi (Gambar 5.a) menunjukkan bahwa lapisan konduktif di antara titik TR01 dan TR02 berada di bawah permukaan yang dangkal, sedangkan penyebaran lapisan resistif terdapat pada titik TR29, titik TR27-TR08, serta titik TR31-TR36, dengan kedalaman mencapai ± 5000 m. Model rotasi *strike angle* (Gambar 5.b) menunjukkan penyebaran lapisan resistif di sekitar titik TR29 berada di bawah permukaan yang dangkal, sedangkan di antara titik TR27-TR08 didominasi oleh lapisan konduktif yang berada pada kedalaman dangkal hingga mencapai 10.000 m. Model rotasi *fix angle* (Gambar 5.c) menunjukkan lapisan konduktif berada pada kedalaman dangkal di antara titik TR01-TR02, sedangkan lapisan resistif terdapat di titik TR29, di antara titik TR27-TR08, dan di antara titik TR31-TR36, hingga kedalaman mencapai ± 5.000 m.

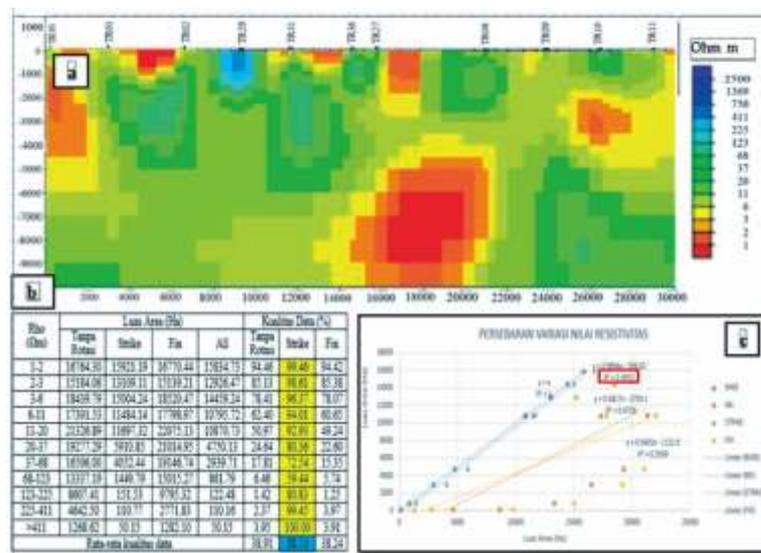
Berdasarkan analisis kualitatif, model penampang 2D tanpa rotasi (Gambar 5.a) menyerupai model rotasi *fix*

angle (Gambar 5.c) dengan lapisan resistif lebih dominan dibandingkan dengan lapisan konduktif, sedangkan model rotasi *strike angle* (Gambar 5.b) memperlihatkan lapisan konduktif lebih dominan dibandingkan dengan lapisan resistif. Hasil irisan ketiga model memperlihatkan model 2D baru (Gambar 6.a) yang terlihat lebih mendekati model rotasi *strike angle* (Gambar 5.b) dengan lapisan didominasi oleh sebaran variasi nilai resistivitas rendah.

Berdasarkan analisis kuantitatif, yaitu melalui perhitungan kualitas data berdasarkan luas penyebaran variasi nilai resistivitas yang berkisar antara 1 Ω m hingga 750 Ω m, memperlihatkan model data tanpa rotasi mendekati model irisan mencapai 38.91% dan model rotasi *fix angle* mencapai 38.24%. Kualitas data terbaik ditunjukkan oleh model rotasi *strike angle* dengan nilai rata-rata yang mendekati model irisan pada setiap perubahan variasi nilai resistivitasnya mencapai 88.54% (Gambar 6.b). Berdasarkan analisis kurva regresi linear (Gambar 6.c) menunjukkan pendekatan model rotasi *strike angle* mencapai nilai determinasi (R^2) 0.9952 dan lebih tinggi dibandingkan dengan model lainnya, sehingga dapat ditentukan ini jenis rotasi terbaik pada lintasan LINE-01 adalah menggunakan model rotasi *strike angle*.



Gambar 5. Hasil pemodelan 2D pada lintasan LINE-01 dengan panjang lintasan ±30000 m dan interval jarak antar titik dari ±1200 m hingga ±5200 m. Tingkat RMS error pada model data (a) tanpa rotasi mencapai 4.0653%; (b) rotasi *Strike Angle* mencapai 3.578%; dan (c) rotasi *Fix Angle* mencapai 4.2206%.



Gambar 6. (a) Penampang model Irisan resistivitas 2D di lintasan LINE-01; (b) Tabel luas penyebaran variasi nilai resistivitas yang memperlihatkan kualitas data model rotasi *strike angle* mencapai 88.54%; (c) Kurva regresi linier yang memperlihatkan pendekatan model rotasi *strike angle* dengan model irisan mencapai 0.9952.

Lintasan LINE-02

Lintasan LINE-02 didominasi oleh variasi nilai resistivitas tinggi hingga mencapai 4.000 Ω m. Pada penampang 2D model tanpa rotasi (Gambar 7.a) dapat dilihat penyebaran lapisan konduktif berada di bawah permukaan dangkal pada titik TR14, sedangkan lapisan resistif terdapat di antara titik TR16-TR17 dengan kedalaman antara 2.000 m hingga 8.000 m. Pada model rotasi *strike angle* didominasi oleh penyebaran lapisan resistif pada kedalaman 5.000 m hingga 10.000 m, dan tertutupi oleh lapisan konduktif hingga kedalaman 3.000 m di antara titik TR04-TR39B (Gambar 7.b). Model rotasi *fix angle* menunjukkan penyebaran lapisan konduktif terdapat di bawah permukaan yang dangkal di sekitar titik TR14, sedangkan lapisan resistif terdapat pada titik TR16 hingga TR14 dengan kedalaman bervariasi dari ± 800 m hingga 9.000 m (Gambar 7.c).

Berdasarkan analisis kualitatif dapat dilihat model irisan dari ketiga model (Gambar 8.a) pada lapisan dangkal menyerupai model rotasi *strike angle* (Gambar 7.b) dengan variasi nilai resistivitas didominasi oleh lapisan konduktif, sedangkan pada lapisan yang lebih dalam menyerupai model tanpa rotasi (Gambar 7.a) dan model rotasi *fix angle* (Gambar 7.c) dengan variasi nilai resistivitas didominasi oleh lapisan resistif.

Berdasarkan analisis kuantitatif memperlihatkan model terbaik pada variasi nilai resistivitas rendah (1 Ω m hingga 87 Ω m) berada pada model rotasi *strike angle*, sedangkan pada variasi nilai resistivitas tinggi (165 Ω m hingga 4.000 Ω m) berada pada model rotasi *fix angle* (Gambar 8.b). Berdasarkan perhitungan rata-rata kualitas data menunjukkan variasi nilai resistivitas pada model tanpa rotasi mencapai 64.85%, model rotasi *strike angle* mencapai 63.41%, dan model rotasi *fix angle* mencapai 68.41%. Dilihat dari analisis kurva regresi linier menunjukkan model rotasi *fix angle* merupakan model terbaik pada lintasan LINE-02 ini, dengan pendekatan model mencapai nilai determinasi (R^2) 0.91 dan hasil analisis kualitas data mencapai 68.41%.

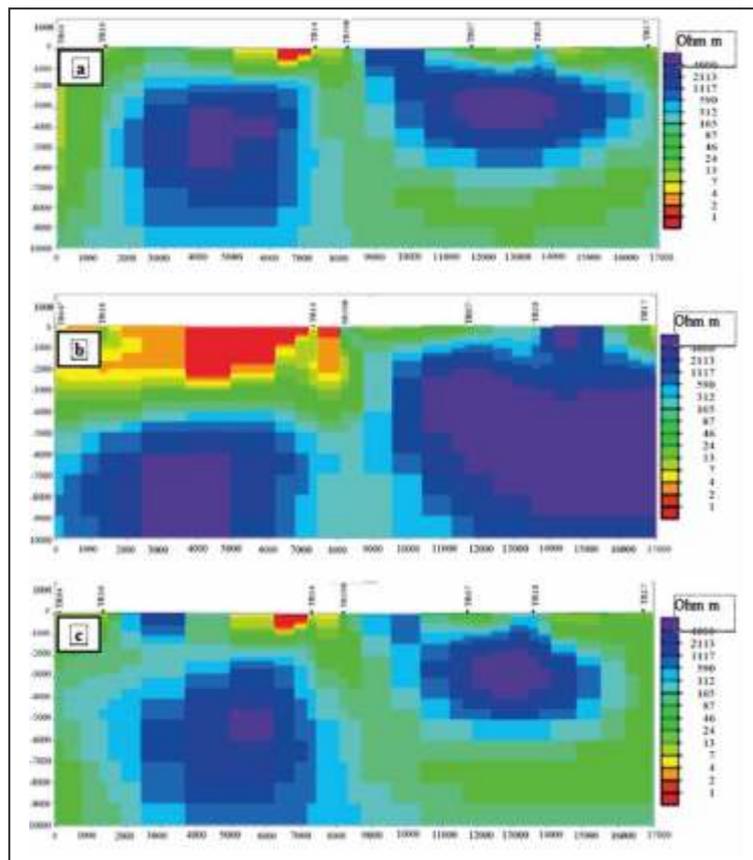
Lintasan LINE-03

Pada penampang model resistivitas 2D di lintasan LINE-03 memperlihatkan variasi nilai resistivitas yang berkisar antara 1 Ω m hingga 5.000 Ω m. Hasil

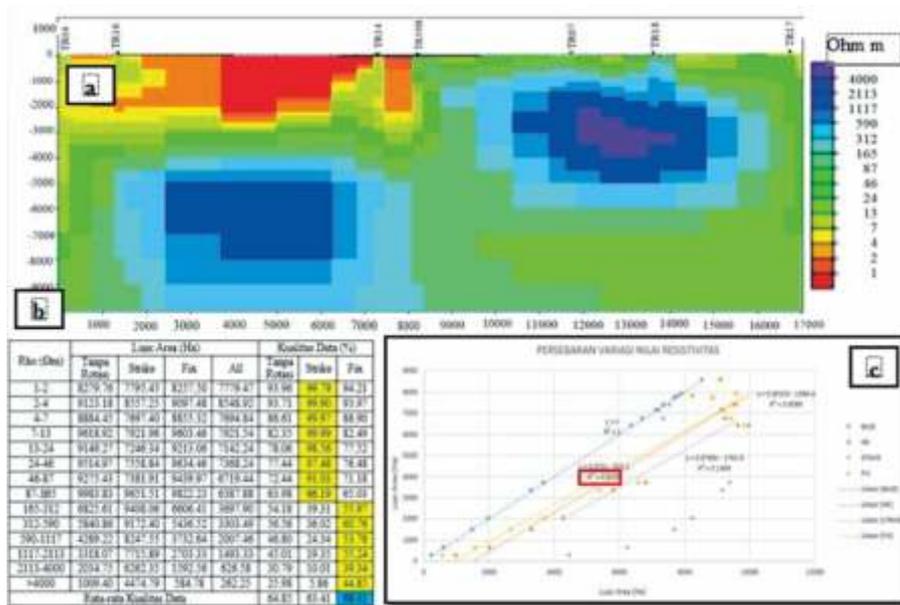
penampang 2D pada model tanpa rotasi (Gambar 9.a) memperlihatkan penyebaran lapisan resistif berada di titik TR26-TR32 dengan kedalaman mencapai 5.000 m. Pada model rotasi *strike angle* (Gambar 9.b) berada di titik TR29 hingga TR32 dengan kedalaman mencapai 4.000 m, dan di titik TR40-TR06 dengan kedalaman mencapai 8.000 m. Model rotasi *fix angle* (Gambar 9.c) berada di titik TR26 hingga TR05 dengan kedalaman mencapai 10.000 m. Penyebaran lapisan konduktif pada model tanpa rotasi berada di sekitar titik TR31-TR03 dan TR32-TR-06 dengan kedalaman dangkal hingga mencapai 7.000 m, pada model rotasi *strike angle* berada di titik TR25-TR26, TR31, dan TR04-TR06 dengan kedalaman dangkal hingga mencapai 7.000 m, sedangkan pada model rotasi *fix angle* berada di titik TR31-TR03, TR04, dan TR35 hingga TR06, dengan kedalaman dangkal hingga mencapai 4.500 m.

Berdasarkan analisis kualitatif dapat dilihat model irisan dari ketiga model (Gambar 10.a), penyebaran lapisan konduktif menyerupai model tanpa rotasi (Gambar 9.a) pada titik TR04 - TR16, model rotasi *strike angle* (Gambar 9.b) pada titik TR16 hingga TR35, dan menyerupai model rotasi *fix angle* (Gambar 9.c) pada titik TR35-TR06, sedangkan penyebaran lapisan resistif menyerupai model rotasi *strike angle*. Pemilihan model terbaik berdasarkan analisis kualitatif ini tidak dapat dilakukan, oleh sebab itu dibutuhkan analisis kuantitatif untuk mendapatkan model terbaik.

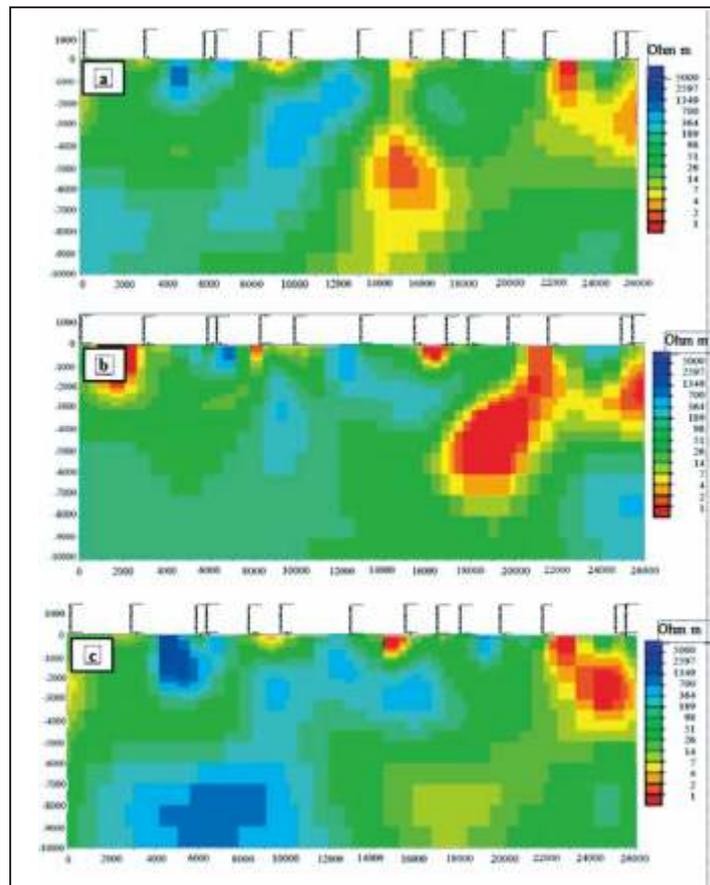
Berdasarkan analisis kuantitatif memperlihatkan model terbaik pada variasi nilai resistivitas rendah (1 Ω m hingga 14 Ω m) berada pada model rotasi *strike angle*, pada variasi nilai resistivitas rendah-sedang (14 Ω m hingga 189 Ω m) berada pada model tanpa rotasi, sedangkan pada variasi nilai resistivitas tinggi (189 Ω m hingga >364 Ω m) berada pada model rotasi *strike angle* (Gambar 10.b). Berdasarkan perhitungan rata-rata kualitas data menunjukkan variasi nilai resistivitas pada model tanpa rotasi mencapai 65.09%, model rotasi *strike angle* 67.31%, dan model rotasi *fix angle* 55.68%. Dilihat dari analisis kurva regresi linier menunjukkan model rotasi *strike angle* merupakan model terbaik pada lintasan LINE-03 ini, dengan pendekatan model mencapai nilai determinasi (R^2) 0.972 dan hasil analisis kualitas data mencapai 67.31%.



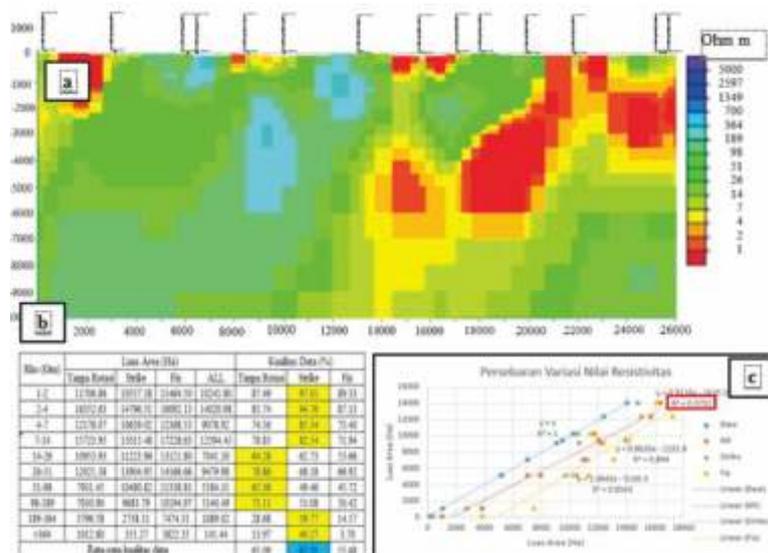
Gambar 7. Penampang model resistivitas 2D di lintasan LINE-02 dengan panjang lintasan ± 17.000 m dan interval jarak antar titik berkisar antara ± 1.400 m hingga ± 3.800 m. Tingkat RMS error pada model data (a) tanpa dirotasi mencapai 4.71%; (b) rotasi *strike angle* mencapai 7.2205%; (c) rotasi *fix angle* mencapai 5.1307%.



Gambar 8. (a) Penampang model irisan resistivitas 2D di Lintasan LINE-02; (b) Tabel luas penyebaran variasi nilai resistivitas; (c) kurva regresi linier. Kualitas data terbaik ditunjukkan oleh jenis rotasi *fix angle* mencapai 68.41% dengan pendekatan model mencapai 0.91.



Gambar 9. Penampang model resistivitas 2D di lintasan LINE-03 dengan panjang lintasan ± 26.000 m dan interval jarak antar titik berkisar antara ± 500 m hingga ± 2.000 m. Tingkat RMS error pada model data (a) tanpa dirotasi mencapai 4.3%; (b) rotasi *strike angle* mencapai 4.1%; (c) rotasi *fix angle* mencapai 4.7%.



Gambar 10. (a) Penampang model irisan resistivitas 2D di Lintasan LINE-03; (b) Tabel luas penyebaran variasi nilai resistivitas; (c) kurva regresi linier. Kualitas data terbaik ditunjukkan oleh jenis rotasi *strike angle* mencapai 67.31% dengan pendekatan model mencapai 0.972.

DISKUSI

Analisis kualitatif dilakukan berdasarkan kemiripan model irisan dengan model tanpa rotasi, model rotasi *strike angle*, dan model rotasi *fix angle*, yang memperlihatkan kemiripan yang berbeda-beda pada setiap lintasan. Pada lintasan LINE-01 kemiripan model irisan memperlihatkan mendekati model rotasi *strike angle* dengan didominasi oleh lapisan konduktif, sedangkan pada lintasan LINE-02 memperlihatkan kemiripan model irisan mendekati model rotasi *strike angle* pada lapisan konduktif tetapi mendekati model tanpa rotasi dan model rotasi *fix angle* pada lapisan resistif. Pada lintasan LINE-03 kemiripan model irisan lebih bervariasi terhadap ketiga model rotasi. Penggunaan analisis kualitatif ini tidak dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan model terbaik, dikarenakan memiliki hasil yang berbeda-beda.

Analisis kuantitatif untuk menentukan kualitas data berdasarkan perbandingan luas penyebaran variasi nilai resistivitas pada model irisan dengan model tanpa rotasi, rotasi *strike angle*, dan rotasi *fix angle*, memperlihatkan adanya perbedaan hasil pemilihan model terbaik. Model rotasi *strike angle* memperlihatkan kualitas data rata-rata terbaik pada lintasan LINE-01 mencapai 88.54% dan LINE-03 mencapai 67.31%, sedangkan pada lintasan LINE-02 terlihat kualitas data rata-rata terbaik berada pada model rotasi *fix angle* yang mencapai 68.41%. Hasil kualitas data terbaik tersebut dapat diperkuat dengan analisis kuantitatif berdasarkan perbandingan kurva regresi linier yang memperlihatkan pendekatan nilai determinasi terbaik berada pada model rotasi *strike angle* di lintasan LINE-01 sebesar 0.9952 dan LINE-03 sebesar 0.972, sedangkan pada LINE-02 terlihat nilai determinasi tertinggi terletak pada model rotasi *fix angle* sebesar 0.91. Analisis kuantitatif ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan model 2D data MT terbaik, sehingga mengurangi kesalahan dalam penafsiran bawah permukaan berdasarkan penyebaran variasi nilai resistivitas.

Untuk pemodelan 3D MT yang membutuhkan kesamaan model rotasi 2D pada setiap data, maka dapat dilakukan dengan analisis kuantitatif dengan pendekatan regresi linier. Berdasarkan analisis kuantitatif dengan kurva regresi pada ketiga lintasan (Gambar 11) memperlihatkan model rotasi *fix angle* menunjukkan pendekatan yang paling rendah yaitu nilai determinasinya (R^2) mencapai 0.47, pada model tanpa rotasi menunjukkan nilai determinasi (R^2)

mencapai 0.5636, sedangkan pada model rotasi *strike angle* menunjukkan nilai determinasi (R^2) tertinggi yaitu mencapai 0.7735. Dari hasil analisis kuantitatif ini dapat ditentukan bahwa di daerah penelitian model terbaik yang dapat digunakan adalah model rotasi *strike angle*. Berdasarkan hal tersebut, Penafsiran kedalaman lapisan bawah permukaan mengacu pada model rotasi *strike angle*.

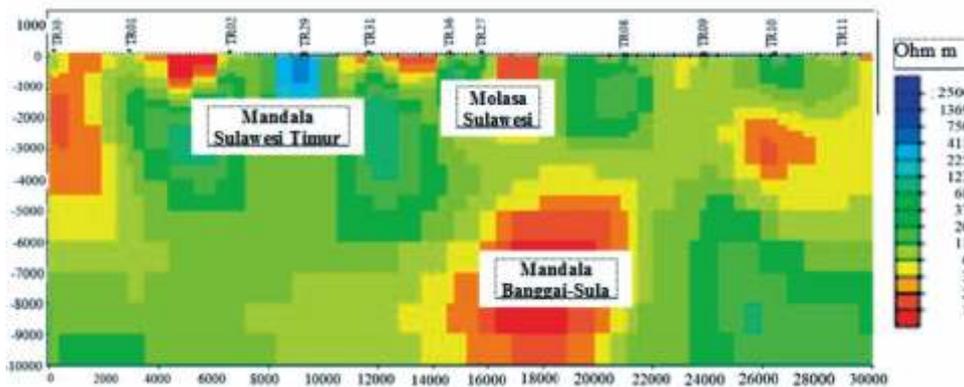
Pada penampang 2D lintasan LINE-01 yang berarah relatif utara-selatan, sebaran variasi nilai tahanan jenis dapat dibagi secara regional menjadi zona rendah (<1 ? m - 123 ? m) dan zona tinggi (123 ? m - >750 ? m). Berdasarkan geologi regional dapat ditafsirkan bahwa sebaran zona rendah pada kedalaman >2.000 m terdiri dari batuan sedimen yang memiliki nilai tahanan jenis rendah dibandingkan dengan batuan beku atau batuan ubahan (Lowrie, 2007), serta merupakan bagian dari Mandala Banggai-Sula. Zona tinggi yang menutupi zona rendah secara takselaras di bagian selatan (TR02-TR27), ditafsirkan sebagai batuan terubah dari bagian Mandala Sulawesi Timur. Zona rendah yang terdapat dipermukaan ditafsirkan sebagai bagian dari Molasa Sulawesi dan endapan permukaan yang menutupi kedua mandala secara takselaras (Gambar 12).

Pada penampang 2D lintasan LINE-02 yang berarah relatif utara-selatan, sebaran variasi nilai tahanan jenis dapat dibagi secara regional menjadi zona rendah (<1 ? m - 165 ? m) dan zona tinggi (165 ? m - >4000 ? m). Berdasarkan geologi regional dapat ditafsirkan bahwa sebaran zona rendah hingga kedalaman >3000 m terdiri dari batuan sedimen yang merupakan bagian dari Molasa Sulawesi dan endapan permukaan. Zona rendah ini menipis ke arah utara penampang dan menutupi zona tinggi yang ditafsirkan sebagai batuan dari bagian Mandala Sulawesi Timur (Gambar 13).

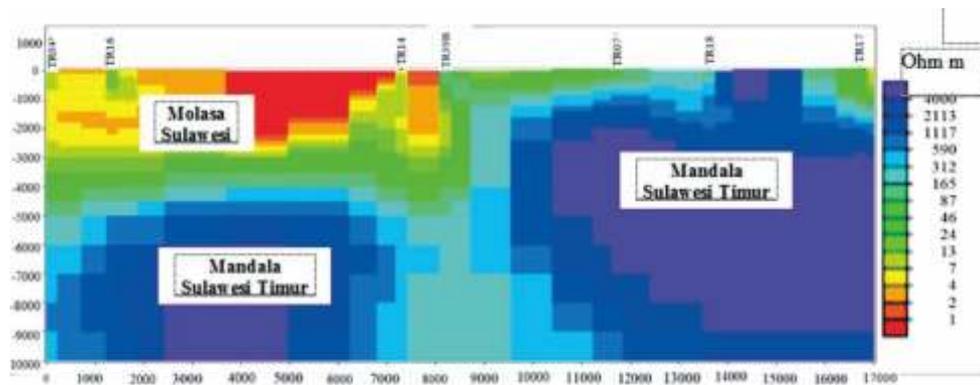
Pada penampang 2D lintasan LINE-03 yang berarah relatif baratdaya-timurlaut, sebaran variasi nilai tahanan jenis dapat dibagi secara regional menjadi zona rendah (<1 ? m - 189 ? m) dan zona tinggi (189 ? m - >700 ? m). Berdasarkan geologi regional dapat ditafsirkan bahwa sebaran zona tinggi yang merupakan bagian dari Mandala Sulawesi Timur diapit oleh sebaran zona rendah dengan kemiringan relatif ke arah timurlaut. Sebaran zona rendah di bagian timurlaut penampang ditafsirkan sebagai bagian dari Mandala Banggai-Sula. Di bagian permukaan hingga mencapai kedalaman >2.000 m, ditafsirkan kedua Mandala ditutupi secara takselaras oleh Molasa Sulawesi dan endapan permukaan yang memiliki sebaran nilai tahanan jenis rendah hingga tinggi (Gambar 14).



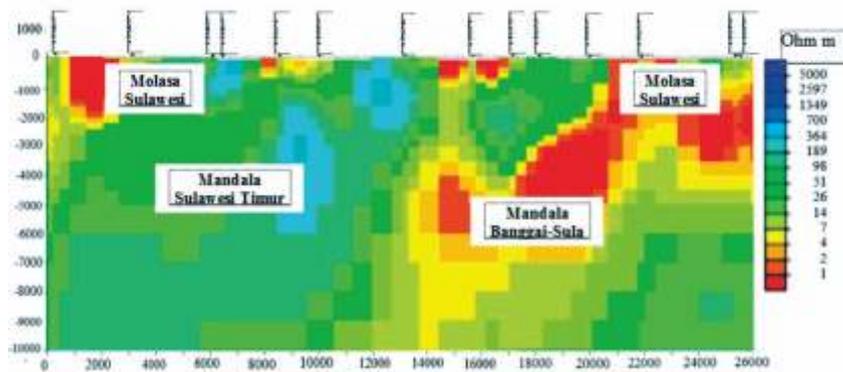
Gambar 11. Kurva penyebaran variasi nilai resistivitas pada 30 titik pengukuran berdasarkan model tanpa rotasi, model rotasi *strike angle*, dan model rotasi *fix angle*. Hasil terbaik ditunjukkan oleh jenis rotasi *strike angle* dengan nilai determinasi (R^2) mencapai 0.7735



Gambar 12. Penafsiran geologi bawah permukaan berdasarkan variasi nilai tahanan jenis batuan pada penampang 2D lintasan LINE-01 berdasarkan model *strike angle*.



Gambar 13. Penafsiran geologi bawah permukaan berdasarkan variasi nilai tahanan jenis batuan pada penampang 2D lintasan LINE-02 berdasarkan model *strike angle*.



Gambar 14. Penafsiran geologi bawah permukaan berdasarkan variasi nilai tahanan jenis batuan pada penampang 2D lintasan LINE-03 berdasarkan model *strike angle*.

KESIMPULAN

Analisis kuantitatif berdasarkan perbandingan luas penyebaran variasi nilai resistivitas pada model irisan dengan beberapa model rotasi, digunakan untuk mengetahui kualitas data terbaik pada suatu model rotasi, sehingga dapat mengurangi kesalahan dalam penafsiran geologi bawah permukaan akibat penggunaan bermacam-macam model rotasi. Hasil analisis ini memperlihatkan model rotasi 2D terbaik adalah model rotasi *strike angle* untuk lintasan LINE-01 dan LINE-03 dengan kualitas data dari 67.31% hingga 88.54%, sedangkan untuk LINE-02 memperlihatkan model rotasi *fix angle* yang terbaik dengan kualitas data mencapai 68.41%.

Analisis kuantitatif berdasarkan perbandingan kurva regresi linier digunakan untuk memperkuat hasil analisis berdasarkan perbandingan luas penyebaran variasi nilai resistivitas dan dapat digunakan untuk menentukan satu model rotasi terbaik yang dapat digunakan dalam pemodelan 3D yang membutuhkan kesamaan model rotasi 2D di setiap lintasan. Hasil analisis ini memperlihatkan model rotasi 2D terbaik adalah model rotasi *strike angle* untuk keseluruhan lintasan, dengan pendekatan nilai determinasi (R^2) mencapai 0.7735.

Penafsiran geologi bawah permukaan berdasarkan model *strike angle* dapat memberikan gambaran variasi

nilai tahanan jenis batuan yang terbagi menjadi zona rendah ($<1 \text{ ? m} - 189 \text{ ? m}$) dan zona tinggi ($123 \text{ ? m} - >4.000 \text{ ? m}$). Sebaran zona rendah di bawah kedalaman $>2.000 \text{ m}$ ditafsirkan sebagai batuan bagian dari Mandala Banggai-Sula yang dominan batuan sedimen, sedangkan sebaran zona tinggi ditafsirkan sebagai batuan bagian dari Mandala Sulawesi timur yang dominan terdiri dari batuan terubah. Kedua Mandala tersebut di bagian permukaan ditutupi oleh zona tahanan jenis yang bervariasi dari rendah hingga tinggi yang ditafsirkan sebagai batuan dari bagian Molasa Sulawesi dan endapan permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya khususnya kepada teman-teman geofisika di Pusat Survei Geologi, para dosen di lingkungan Jurusan Fisika dan Geofisika, Universitas Padjadjaran, teman-teman *workhard-playhard*, serta seluruh staf Redaksi Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral.

KONTRIBUTOR TULISAN

G.M. Lucki Junursyah adalah kontributor utama karya tulis ilmiah ini, sedangkan Dimas Bagus Maulana dan Randi Rusdiana sebagai kontributor anggota.

ACUAN

- Berdichevsky, M.N. and Dmitriev, V.I., 2008. *Models and Methods of Magnetotellurics*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg: 559.
- Jones, A.G. and Groom, R.W., 1993. Strike-Angle Determination from the Magnetotelluric Impedance Tensor in the Presence of Noise and Local Distortion: Rotate at Your Peril!. *Geophysical Journal International*, 113: 524-534.

-
- Junursyah, G.M.L., 2014. Laporan Akhir Kegiatan Survei Magnetotelurik di Daerah Cekungan Tomori dan Sekitarnya Provinsi Sulawesi Tengah. Laporan internal Pusat Survei Geologi, Bandung (tidak terbit).
- Khyzhnyak, M., 2014. *Geoelectric Strike and Its Application in Magnetotellurics*. Faculty of Earth Science, University of Iceland, Reykjavik: 31.
- Lowrie, W., 2007. *Fundamental of Geophysics*. Cambridge University Press, New York, 362p.
- Mardiana, U., 2007. Laporan Penelitian Manifestasi Panasbumi Berdasarkan Tahanan Jenis Batuan, Studi Kasus Gunung Papandayan Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat. Laporan internal Universitas Padjadjaran, Bandung (tidak terbit).
- Marti, A., Queralt, P. and Roca, E., 2004. Geoelectric Dimensionality in Complex Geological Areas: Application to the Spanish Betic Chain. *Geophysical Journal International*, 157: 961-974.
- Ranganayaki, R.P., 1984. An Interpretive Analysis of Magnetotelluric Data. *Geophysics*, 49: 1730-1748.
- Simandjuntak, T.O., Rusmana, E., Surono dan Supandjono J.B., 1991(a). *Geologi Lembar Malili, Sulawesi, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Simandjuntak, T.O., Surono dan Supandjono, J.B., 1991(b). *Geologi Lembar Poso, Sulawesi, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Simandjuntak, T.O., Rusmana, E. dan Supandjono, J.B., 1994. *Geologi Lembar Bungku, Sulawesi, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Surono, Simandjuntak, T.O., Situmorang, R.L., dan Sukido. 1994. *Geologi Lembar Batui, Sulawesi, Skala 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Szarka, L. and Menvielle, M., 1997. Analysis of Rotational Invariants of the Magnetotelluric Impedance Tensor. *Geophysical Journal International*, 129: 133-142.
- Surono dan Hartono, U. (eds.), 2013. *Geologi Sulawesi*. LIPI Press, Bandung: 279-280h.
- Vozoff, K., 1991. The Magnetotelluric Method. In: Nabighian M.N. (eds.), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa: 641-711.
- Weaver, J.T., Agarwal, A.K. and Lilley F.E.M., 2002. Characterization of the Magnetotelluric Tensor in Terms of Its Invariants. *Geophysical Journal International*, 141: 321-336.
-