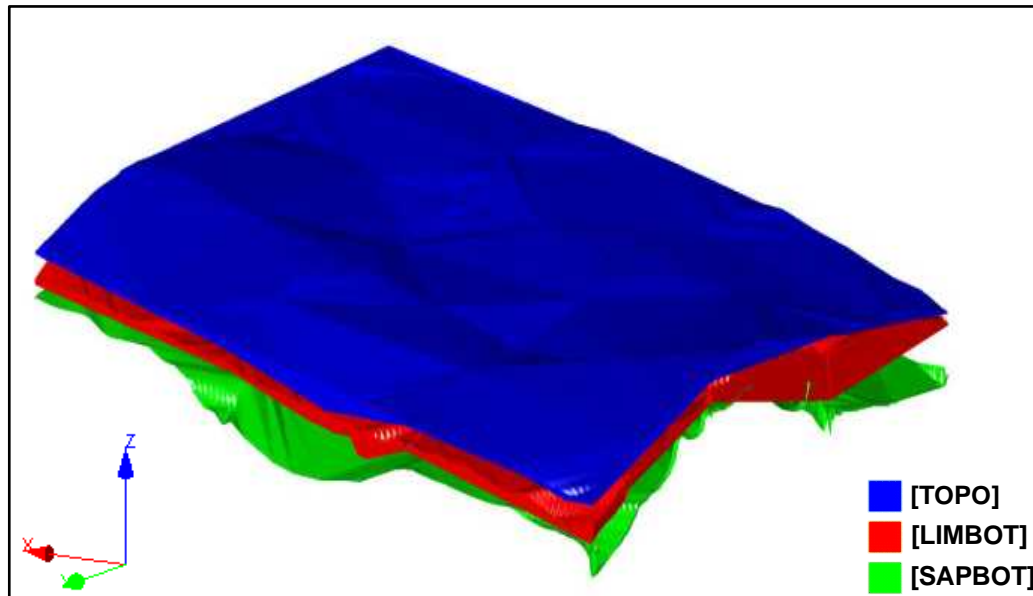
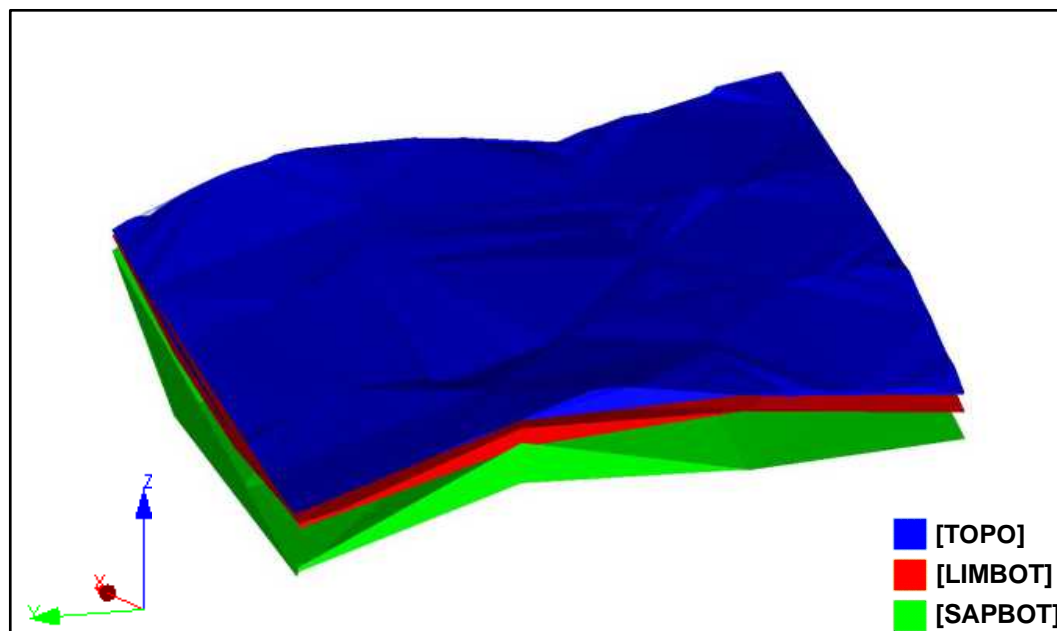


interpretasi limonit *bottom*, saprolite *bottom*, dan topografi masing-masing dibuatkan *wireframe* untuk menghitung ketebalan profil nikel laterit.



Gambar 4.31 Wireframe interpretasi ERT



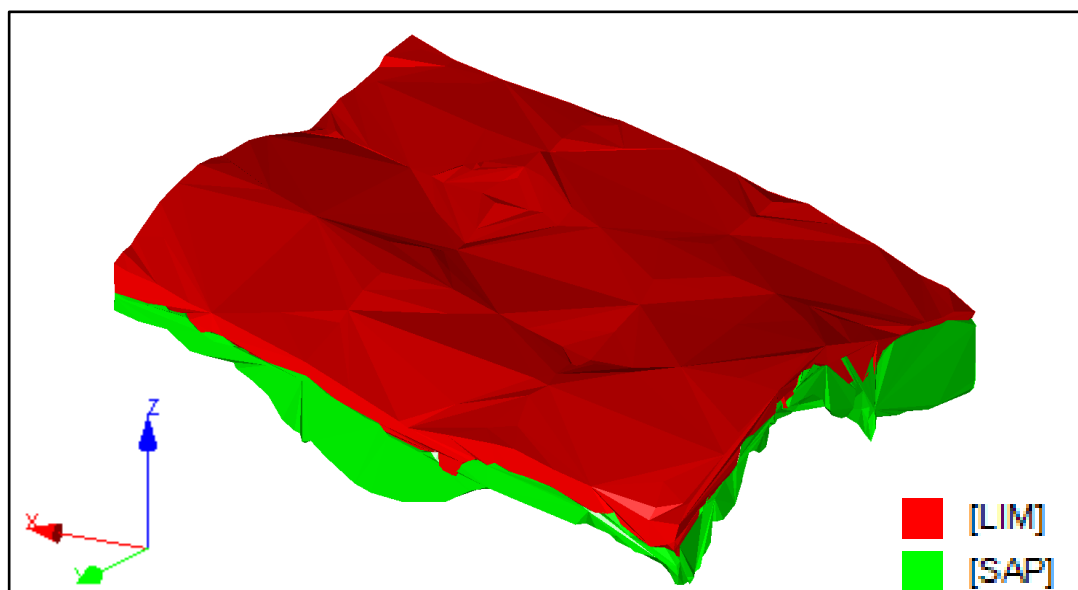
Gambar 4.32 Wireframe interpretasi data bor



4.31 merupakan *wireframe* topografi, limonit *bottom*, dan saprolit bottom an interpretasi ERT. Sedangkan gambar 4.32 merupakan *wireframe*, limonit *bottom*, dan saprolit bottom berdasarkan interpretasi data bor.

Berdasarkan gambar tersebut, warna biru merupakan *wireframe* topografi, warna merah merupakan *wireframe* limonit *bottom*, dan warna hijau merupakan *wireframe* saprolit *bottom*.

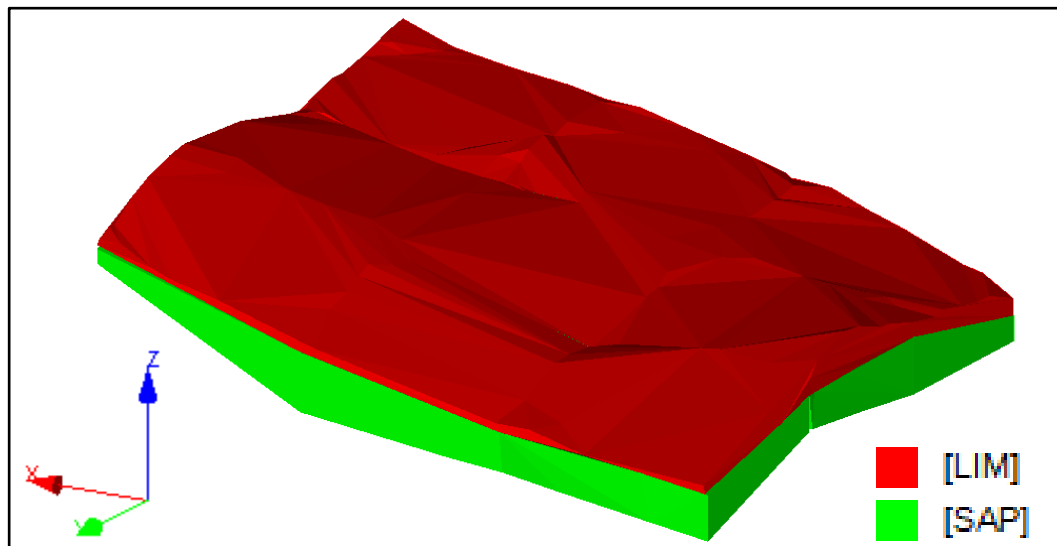
Dari *wireframe* ini kemudian dilakukan *cut and fill* pada software datamine untuk memperoleh volume limonit dan saprolit. Volume limonit diperoleh dari *cut and fill* antara *wireframe* topografi dan *wireframe* limonit *bottom*. Sedangkan volume saprolit diperoleh dari *cut and fill* antara *wireframe* limonit *bottom* dan *wireframe* saprolit *bottom*.



Gambar 4.33 Hasil *Cut and Fill* interpretasi ERT

Gambar 4.33 merupakan hasil *cut and fill* dari interpretasi ERT. Berdasarkan gambar tersebut, warna merah menunjukkan zona limonit dengan ketebalan rata-rata 5,6 meter dan volume sebesar 127.152 m^3 . Sedangkan warna hijau menunjukkan zona saprolit dengan ketebalan rata-rata 10,6 meter dan volume 40.406 m^2 .





Gambar 4.34 Hasil Cut and Fill Interpretasi Data Bor

Hasil *cut and fill* dari interpretasi data bor ditampilkan pada gambar 4.34. Zona limonit yang dilambangkan oleh warna merah memiliki ketebalan rata-rata 4,7 meter dan volume sebesar 106.742 m^3 . Sedangkan zona saprolit yang dilambangkan oleh warna hijau memiliki ketebalan rata-rata 10,4 meter dan volume sebesar 238.775 m^3 .

Dari hasil perhitungan volume diperoleh bahwa volume profil nikel laterit berdasarkan interpretasi ERT lebih besar dibandingkan interpretasi data bor. Zona limonit interpretasi ERT memiliki volume 20.410 m^3 lebih besar dibandingkan interpretasi data bor. Kondisi yang sama terjadi pada zona saprolit, dimana volume saprolit berdasarkan interpretasi ERT memiliki volume 1.631 m^3 yang lebih besar dibandingkan interpretasi data bor.



BAB V

PENUTUP

V. 1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Profil nikel laterit terdiri dari zona limonit, saprolit dan *bedrock*. Zona limonit daerah penelitian memiliki rentan nilai resistivitas 250 Ωm -750 Ωm . Adapun zona saprolit memiliki nilai resistivitas 30 Ωm -270 Ωm , sedangkan zona *bedrock* memiliki nilai resistivitas 150 Ωm -800 Ωm .
2. Data ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) dapat digunakan *guidance* dalam proses pengeboran untuk menghindari terjadinya *over drill* dan *under drill* agar pengeboran lebih optimal, terutama dalam hal biaya. Biaya ERT pada daerah penelitian yang terdiri dari 12 lintasan dengan total panjang 4953meter adalah 9.906 USD. Biaya pengeboran 29 titik bor berdasarkan rekomendasi interpretasi resistivitas sebesar 23.600 USD, sedangkan biaya pengeboran aktual sebesar 19.720 USD. Sehingga biaya yang bisa direduce ketika data ERT dijadikan *guidance* dalam pengeboran sebesar 3.380 USD untuk 29 titik bor.
3. Zona limonit interpretasi ERT memiliki volume sebesar 127.152 m^3 , sedangkan berdasarkan interpretasi data bor memiliki volume sebesar 106.742 m^3 . Adapun zona saprolit interpretasi ERT memiliki volume sebesar 240.406 m^2 sedangkan berdasarkan interpretasi data bor memiliki volume 238.775 m^3 .



V. 2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah:

1. Untuk meningkatkan kepercayaan dalam melakukan interpretasi, diperlukan pemahaman terkait kondisi geologi daerah penelitian, dan memahami karakteristik *geoelectrical* profil nikel laterit.
2. Salah satu yang mempengaruhi pembacaan resistivitas adalah struktur, sehingga diperlukan interpretasi struktur dan menentukan arah kelurusan struktur untuk membantu dalam proses interpretasi profil nikel laterit.



DAFTAR PUSTAKA

- Afriandi, D. (2015). Pemodelan Dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Daerah “X” Menggunakan Software Datamine Studio 3 Pada PT. Vale Indonesia Luwu Timur Sulawesi Selatan. *Jurnal Geomine*, 2(1).
- Ahmad, W. (2009). *Fundamentals of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, Formation and Exploration*. PT.Vale Inco: Sorowako.
- Aizebeokhai, A. P., & Oyeyemi, K. D. (2014). The use of the multiple-gradient array for geoelectrical resistivity and induced polarization imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 111, 364-376.
- Attanayake, J., Chen, Y., Henderson, R. & Zhao, Z. (2013). Imaging Drumlin Architecture With Electrical Resistivity. *Journal Of Geography And Geology*, 5(4), Pp.1-8.
- Broto, S. & Afifah, R.S. (2008). Pengolahan Data Geolistrik Dengan Metode Schlumberger. *Teknik*, 29(2), Pp.120-128.
- Cai, J. T., Ruan, B. Y., Zhao, G. Z., & Zhu, G. P. (2007). Two-Dimensional Modeling of Complex Resistivity Using Finite Element Method. *Chinese Journal of Geophysics*, 50(6), 1615-1624.
- Cowan, E. J., Spragg, K. J., & Everitt, M. R. (2011, August). Wireframe-free geological modelling—An oxymoron or a value proposition. In *Eighth International Mining Geology Conference* (pp. 247-260). QueenstownMelbourne: Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Dahlin, T., & Zhou, B. (2006). Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging. *Near Surface Geophysics*, 4(2), 113-123.
- Fitrianto, T. N., Supriyadi, S., Mukromin, T. M., & Taufiq, U. A. (2017). Pencitraan 3D Data Geolistrik Resistivitas dengan Rockworks Berdasarkan Hasil Inversi *Res2DInv* untuk Mengetahui Persebaran Batuan Andesit di Desa Bapangsari Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo. *Jurnal Fisika*, 7(2).
- Guellala, R., Inoubli, M.H. & Amri, F. (2011). New Elements On The Hairech Metamorphic Massif Structure (Northwest Tunisia). Geoelectrical Prospecting Contribution. *Journal Of Geography And Geology*, 3(1), Pp.160-170.
- A. & Tanjung, H.K. (2022). Survey Zona Lapuk Menggunakan Metode eolistrik Resistivitas Pada Kilometer 37 Medan Berastagi. *Jurnal Sains an Teknologi Istp*, 17(2), Pp.118-129.



- Harimei, B., Arif, S. & Lantu. (2019). Analisis Bawah Permukaan Pada Daerah Perencanaan Pelabuhan Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Di Kecamatan Sanga-Sanga Kalimantan Timur. *Jurnal Geoelebes*, 3(1), Pp.1-12.
- Hernandi, D., Ardiyanto, P., Hakim, M., Hidayat, I., & Noor, M. E. S. (2017). Ni Laterite Electrical Resistivity Tomography (ERT) Geological Model.
- Loke, M.H. (2004). Tutorial: 2-D And 3-D Electrical Imaging Surveys.
- Pain, C. C., Herwanger, J. V., Worthington, M. H., & Oliveira, C. R. D. (2002). Effective multidimensional resistivity inversion using finite-element techniques. *Geophysical Journal International*, 151(3), 710-728.
- Pangestu, Y.P. & Zulfian, Z. (2020). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Sekitar Daerah Jembatan Kuning di Desa Korek Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger. *Prisma Fisika*, 8(1), Pp.79-84.
- Plaza, A., & Rivara, M. C. (2002). On the adjacencies of triangular meshes based on skeleton-regular partitions. *Journal of computational and applied mathematics*, 140(1-2), 673-693.
- Prameswari, F.W., Bahri, A.S. & Parnadi, W. (2012). Analisa Resistivitas Batuan Dengan Menggunakan Parameter Dar Zarrouk Dan Konsep Anisotropi. *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 1(1), Pp.B15-B20.
- Pratama, I.E., Muhtar, I.J., Syamsuddin, S. & Aswad, S. (2019). Identifikasi Batuan Dasar Daerah Pantai Lumpue Kota Parepare Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner. *Jurnal Geoelebes*, 3(1), Pp.47-50.
- Reynolds, J.M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons.
- Santoso, B., Wijatmoko, B. & Supriyana, E. (2017). Kajian Nikel Laterit Dengan Metode Electrical Resistivity Tomography di Daerah Batu Putih, Kolaka Utara Sulawesi Tenggara. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 7(01), Pp.25-31.
- Setyanta, B. & Setiadi, I. (2006). Kompleks Batuan Ultramafik Meratus Sebagai Bagian Dari Ofiolit Kerak Samudera Ditinjau Dari Aspek Geomagnetik Dan aya Berat. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 16(6), Pp.335-348.



P. P., & Ferrari, R. L. (1996). *Finite elements for electrical engineers*. Cambridge university press.

- Siregar, M. (2014). *Manual Book Main Geology*. PT.Vale Indonesia: Sorowako.
- Susilo, A., Juwono, A.M., Fitriah, F., Puspita, M.B., Hasan, M.F.R., Hisyam, F. & Suryo, E.A. (2022). *Teori Dan Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas*. Universitas Brawijaya Press.
- Syamsuddin & Lantu. (2009). *Buku Ajar Laporan Modul Pembelajaran Berbasis Scl Metode Geolistrik Dan Geoelektromagnetik*. Universitas Hasanuddin
- Syamsuddin. (2007). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Bumi Dangkal Dengan Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis 2d (Studi Kasus Potensi Tanah Longsor Di Panawangan, Ciamis). Tesis, Institut Teknologi Bandung.
- Syukri, M. (2020). *Dasar-Dasar Metode Geolistrik*. Syiah Kuala University Press.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. & Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Tsourlos, P. (1995). *Modelling, interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data* (Doctoral dissertation, University of York).
- United States Geology Survey (USGS). (2022). *Nickel Statistics and Information* [Data set]. Diakses dari <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/nickel-statistics-and-information>.
- Vachirastienchai, C., Boonchaisuk, S., & Siripunvaraporn, W. (2010). A hybrid finite difference–finite element method to incorporate topography for 2D direct current (DC) resistivity modeling. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 183(3-4), 426-434.
- Vebrianto, S. (2016). *Eksplorasi Metode Geolistrik*. Universitas Brawijaya Press.
- Xiong, B., & Ruan, B. Y. (2002). A numerical simulation of 2-D geoelectric section with biquadratic change of potential for resistivity sounding by the finite element method. *Chinese Journal of Geophysics*, 45(2), 288-300.
- Yasu, R.M. & Hadi, C.F. (2021). Pengaruh Tegangan Terhadap Besar Kuat Arus Listrik Pada Persamaan Hukum Ohm. *Journal Zetroem*, 3(1), Pp.34-36.



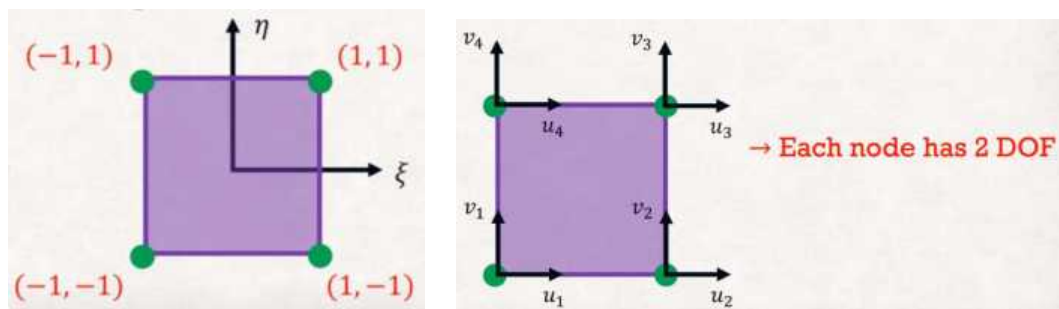
LAMPIRAN



Lampiran 1. Penjabaran Persamaan

Persamaan Forward Modelling Menggunakan Finite Element 4 Node

Dalam finite element bilinear domain akan dibagi menjadi element segi empat yang memiliki 4 node di setiap element, node tersebut berda di masing-masing sudut element. Untuk penomoran node biasanya dimulai dari sudut kiri bawah kemudian berlawanan arah jarum jam, seperti pada gambar 1.



Gambar 1(a) menunjukkan element dengan 4 node dalam system koordinat alami, dimana titik asal berada dipusat elemen $(0,0)$, arah koordinat horizontal diwakili oleh ξ (X_i) dan arah koordinat vertikal diwakili oleh η (eta). ξ positif ke kanan dan negative ke kiri, η positif ke atas dan negative ke bawah. Sehingga diperoleh koordinat alami pada setiap node seperti pada gambar 1(a).

Setiap node memiliki 2 dof (arah perpindahan/derajat kebebasan) yaitu arah vertikal (v) dan arah horizontal (u) seperti pada gambar 1(b), sehingga dalam pendekatan linear 2D untuk perpindahan nodal (u dan v) dan shape function (N) dinyatakan sebagai berikut:

$$u_{2D} = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 N_1 & u_2 N_2 & u_3 N_3 & u_4 N_4 \\ v_1 N_1 & v_2 N_2 & v_3 N_3 & v_4 N_4 \end{bmatrix}$$

Shape Function (Fungsi Bentuk)

Setiap node memiliki shape function yang berbeda-beda, sehingga pada elemen dengan 4 node akan diperoleh 4 shape function juga. Untuk menghitung menghitung shape function setiap node dapat digunakan persamaan Polinomial

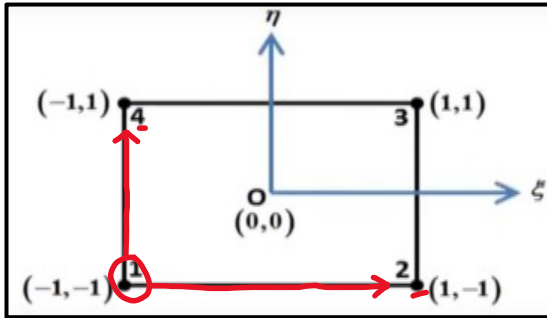
2D berikut:

$$N_k = \frac{\xi - \xi_m}{\xi_k - \xi_m} \times \frac{\eta - \eta_m}{\eta_k - \eta_m}$$



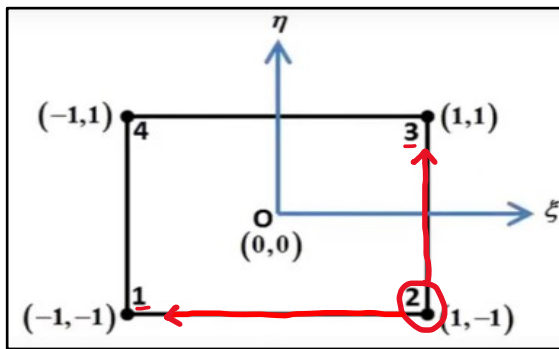
Dengan k adalah titik node, dan m adalah titik node yang terhubung dengan node yang dicari.

- Shape function node 1



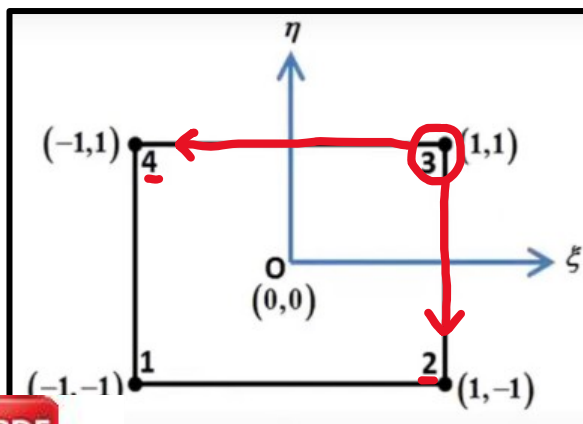
$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{\xi - \xi_2}{\xi_1 - \xi_2} \times \frac{\eta - \eta_4}{\eta_1 - \eta_4} \\
 &= \frac{\xi - 1}{-1 - 1} \times \frac{\eta - 1}{-1 - 1} \\
 &= \frac{-(1 - \xi)}{-2} \times \frac{-(1 - \eta)}{-2} \\
 N_1 &= \frac{(1 - \xi)(1 - \eta)}{4}
 \end{aligned}$$

- Shape function node 2



$$\begin{aligned}
 N_2 &= \frac{\xi - \xi_1}{\xi_2 - \xi_1} \times \frac{\eta - \eta_3}{\eta_2 - \eta_3} \\
 &= \frac{\xi - (-1)}{1 - (-1)} \times \frac{\eta - 1}{-1 - 1} \\
 &= \frac{\xi + 1}{1 + 1} \times \frac{\eta - 1}{-1 - 1} \\
 &= \frac{(1 + \xi)}{2} \times \frac{-(1 - \eta)}{-2} \\
 N_2 &= \frac{(1 + \xi)(1 - \eta)}{4}
 \end{aligned}$$

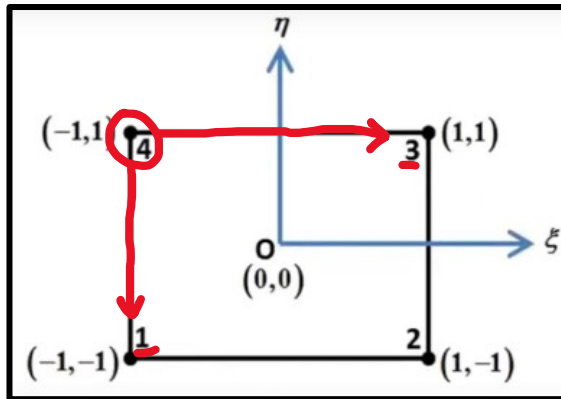
- Shape function node 3



$$\begin{aligned}
 N_3 &= \frac{\xi - \xi_4}{\xi_3 - \xi_4} \times \frac{\eta - \eta_2}{\eta_3 - \eta_2} \\
 &= \frac{\xi - (-1)}{1 - (-1)} \times \frac{\eta - (-1)}{1 - (-1)} \\
 &= \frac{\xi + 1}{1 + 1} \times \frac{\eta + 1}{1 + 1} \\
 &= \frac{(1 + \xi)}{2} \times \frac{(1 + \eta)}{2} \\
 N_3 &= \frac{(1 + \xi)(1 + \eta)}{4}
 \end{aligned}$$



- Shape function node 4



$$\begin{aligned}
 N_4 &= \frac{\xi - \xi_3}{\xi_4 - \xi_3} \times \frac{\eta - \eta_1}{\eta_4 - \eta_1} \\
 &= \frac{\xi - 1}{-1 - 1} \times \frac{\eta - (-1)}{1 - (-1)} \\
 &= \frac{\xi - 1}{-2} \times \frac{\eta + 1}{2} \\
 &= \frac{-(1 - \xi)}{-2} \times \frac{(1 + \eta)}{2} \\
 N_4 &= \frac{(1 - \xi)(1 + \eta)}{4}
 \end{aligned}$$

Shape function matrix

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix}$$

Dari shape function dapat dihitung matrix [B]:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial \xi} & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial \xi} & 0 & \frac{\partial N_3}{\partial \xi} & 0 & \frac{\partial N_4}{\partial \xi} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial \eta} & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial \eta} & 0 & \frac{\partial N_3}{\partial \eta} & 0 & \frac{\partial N_4}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} & \frac{\partial N_1}{\partial \xi} & \frac{\partial N_2}{\partial \eta} & \frac{\partial N_2}{\partial \xi} & \frac{\partial N_3}{\partial \eta} & \frac{\partial N_3}{\partial \xi} & \frac{\partial N_4}{\partial \eta} & \frac{\partial N_4}{\partial \xi} \end{bmatrix}$$

Selesaikan setiap turunan pada matriks [B] dengan mensubstitusikan Shape function setiap node.

- Untuk $\frac{\partial N_1}{\partial \xi}$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial N_1}{\partial \xi} &= \frac{\frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta)}{\partial \xi} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}(1 - \eta - \xi + \xi\eta)}{\partial \xi} \\
 &= \frac{1}{4}(0 - 0 - 1 + \eta) \\
 &= \frac{1}{4}(-1 + \eta)
 \end{aligned}$$



- Untuk $\frac{\partial N_1}{\partial \eta}$

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_1}{\partial \eta} &= \frac{\frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)}{\partial \eta} \\ &= \frac{\frac{1}{4}(1-\eta-\xi+\xi\eta)}{\partial \eta} \\ &= \frac{1}{4}(0-1-0+\xi) \\ &= \frac{1}{4}(-1+\xi)\end{aligned}$$

- Untuk $\frac{\partial N_2}{\partial \xi}$

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_2}{\partial \xi} &= \frac{\frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta)}{\partial \xi} \\ &= \frac{\frac{1}{4}(1-\eta+\xi-\xi\eta)}{\partial \xi} \\ &= \frac{1}{4}(0-0+1-\eta) \\ &= \frac{1}{4}(1-\eta)\end{aligned}$$

- Untuk $\frac{\partial N_2}{\partial \eta}$

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_2}{\partial \eta} &= \frac{\frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta)}{\partial \eta} \\ &= \frac{\frac{1}{4}(1-\eta+\xi-\xi\eta)}{\partial \eta} \\ &= \frac{1}{4}(0-1+0-\xi) \\ &= \frac{1}{4}(-1-\xi)\end{aligned}$$

- Untuk $\frac{\partial N_3}{\partial \xi}$

$$\frac{\partial N_3}{\partial \xi} = \frac{\frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta)}{\partial \xi}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{\frac{1}{4}(1 + \eta + \xi + \xi\eta)}{\partial \xi} \\
&= \frac{1}{4}(0 + 0 + 1 + \eta) \\
&= \frac{1}{4}(1 + \eta)
\end{aligned}$$

- Untuk $\frac{\partial N_3}{\partial \eta}$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial N_3}{\partial \eta} &= \frac{\frac{1}{4}(1 + \xi)(1 + \eta)}{\partial \eta} \\
&= \frac{\frac{1}{4}(1 + \eta + \xi + \xi\eta)}{\partial \eta} \\
&= \frac{1}{4}(0 + 1 + 0 + \xi) \\
&= \frac{1}{4}(1 + \xi)
\end{aligned}$$

- Untuk $\frac{\partial N_4}{\partial \xi}$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial N_4}{\partial \xi} &= \frac{\frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)}{\partial \xi} \\
&= \frac{\frac{1}{4}(1 + \eta - \xi - \xi\eta)}{\partial \xi} \\
&= \frac{1}{4}(0 + 0 - 1 - \eta) \\
&= \frac{1}{4}(-1 - \eta)
\end{aligned}$$

- Untuk $\frac{\partial N_4}{\partial \eta}$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial N_4}{\partial \eta} &= \frac{\frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)}{\partial \eta} \\
&= \frac{\frac{1}{4}(1 + \eta - \xi - \xi\eta)}{\partial \eta} \\
&= \frac{1}{4}(1 - \xi)
\end{aligned}$$



Masukkan ke dalam matriks [B], sehingga diperoleh matriks [B] sebagai berikut:

$$[B] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (-1+\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & (-1-\eta) & 0 \\ 0 & (-1+\xi) & 0 & (-1-\xi) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) \\ (-1+\xi) & (-1+\eta) & (-1-\xi) & (1-\eta) & (1+\xi) & (1+\eta) & (1-\xi) & (-1-\eta) \end{bmatrix}$$

$$[B] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (-1+\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & (-1-\eta) & 0 \\ 0 & (-1+\xi) & 0 & (-1-\xi) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) \end{bmatrix}$$

$$[C] = \frac{1}{4} [(-1+\xi) \quad (-1+\eta) \quad (-1-\xi) \quad (1-\eta) \quad (1+\xi) \quad (1+\eta) \quad (1-\xi) \quad (-1-\eta)]$$

Dan transpose matriks $[B]^T$ diperoleh:

$$[B]^T = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (-1+\eta) & 0 & (-1+\xi) \\ 0 & (-1+\xi) & (-1+\eta) \\ (1-\eta) & 0 & (-1-\xi) \\ 0 & (-1-\xi) & (1-\eta) \\ (1+\eta) & 0 & (1+\xi) \\ 0 & (1+\xi) & (1+\eta) \\ (-1-\eta) & 0 & (1-\xi) \\ 0 & (1-\xi) & (-1-\eta) \end{bmatrix}$$

$$[C]^T = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (-1+\xi) \\ (-1+\eta) \\ (-1-\xi) \\ (1-\eta) \\ (1+\xi) \\ (1+\eta) \\ (1-\xi) \\ (-1-\eta) \end{bmatrix}$$

Matriks B menghubungkan regangan dengan perpindahan node, dimana setiap baris matriks mewakili komponen string. Baris pertama mewakili regangan pada arah horizontal, baris kedua mewakili regangan dalam arah vertikal, dan baris ketiga merupakan regangan geser.

Penerapan Finite Element Dalam Potensial Arus Pada Metode Geolistrik

Persamaan potensial dengan adanya sumber arus diberikan oleh:

$$\nabla(\sigma \cdot \nabla U) = \nabla J$$



1 sumber arus

yataannya, arus dialirkan melalui probe yang terbatas, namun untuk tujuan

pemodelan, arus dianggap berasal dari sumber titik. Oleh karena itu, sumber arus ∇J dapat dijelaskan oleh fungsi delta Dirac dan arus titik I (Coggon, 1971). Jika A titik sumber arus, maka suku sumber adalah:

$$\nabla J = I\delta(A)$$

Maka

$$\nabla(\sigma \cdot \nabla U) = I\delta(A)$$

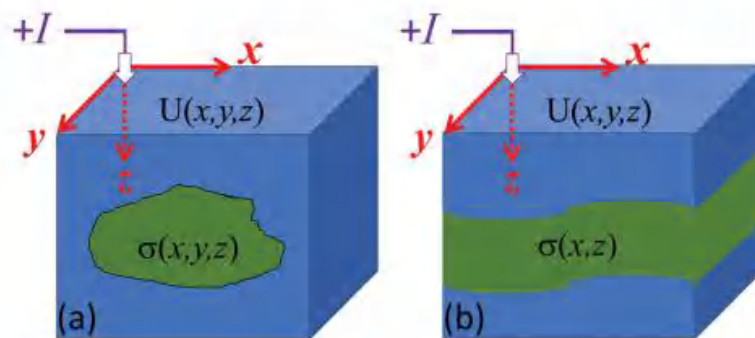


Figure 2. Sketch of (a) a 2D and (b) a 3D geological model defined by conductivity $\sigma(x, z)$ and $\sigma(x, y, z)$, respectively.

Secara umum, konduktivitas $\sigma(x) = \sigma(x, y, z)$ berubah dengan tiga koordinat sehingga mendefinisikan model geologi 3D, dan potensial listrik $U = U(x, y, z)$ menjadifungsi 3D dari injeksi arus yang diberikan $I\delta(A)$ dan konduktivitas $\sigma(x, y, z)$, seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 2a.

$$\nabla(\sigma_{(x,y,z)} \cdot \nabla U_{(x,y,z)}) = I\delta(A)$$

Jika konduktivitas adalah konstan pada koordinat z , yaitu $\sigma(x) = \sigma(x, y)$, ini mendefinisikan model geologi 2D (Gambar 2b), tetapi potensial listrik $U(x, y, z)$ masih merupakan fungsi 3D dari koordinat akibat injeksi arus titik $I\delta(A)$. Dengan menerapkan transformasi Fourier cosinus $Fc\{\}$ pada koordinat z dari Persamaan (5)

$$U_{(x,y,k)} = \int_0^\infty U_{(x,y,z)} \cos(kz) dz$$

Sehingga potensialnya menjadi

$$\sigma_{(x,y)} \nabla^2 U + \sigma_{(x,y)} k^2 U = I\delta(A)$$

menggunakan fungsi Bessel dan dengan pendekatan batas tak hingga, potensial listrik pada penampang geolistrik 2D diberikan oleh:

$$F(U) = \int_\Omega \left[\frac{1}{2} \sigma (\nabla U)^2 + \frac{1}{2} \sigma k^2 U^2 - I\delta(A)U \right] d\Omega$$



Daerah domain Ω didiskritisasi dengan elemen segi empat seperti gambar. Jumlah node total adalah n , maka integral domain Ω didekomposisi menjadi integral untuk setiap elemen e .

$$F(U) = \sum_{\Omega} \int_e \frac{1}{2} \sigma (\nabla U)^2 d\Omega + \sum_{\Omega} \int_e \frac{1}{2} \sigma k^2 U^2 d\Omega - \sum_{\Omega} \int_e I \delta(A) U d\Omega$$

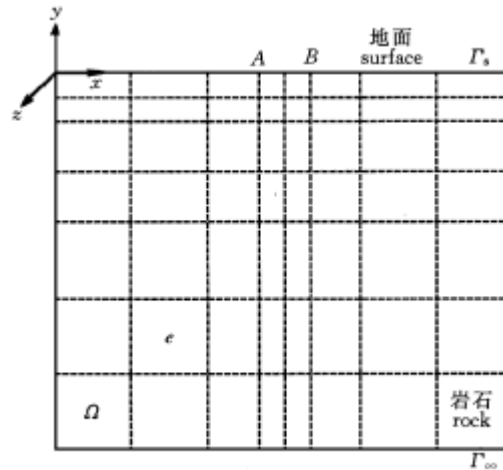


Fig. 1 Division of region Ω

Selesaikan persamaan $F(U)$ setiap suku masing-masing.

$$F(U) = \sum_{\Omega} \int_e \frac{1}{2} \sigma (\nabla U)^2 d\Omega + \sum_{\Omega} \int_e \frac{1}{2} \sigma k^2 U^2 d\Omega - \sum_{\Omega} \int_e I \delta(A) U d\Omega$$

1. Suku pertama

$$\int_e \frac{1}{2} \sigma (\nabla U)^2 d\Omega = \int_e \frac{1}{2} \sigma \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy$$

Turunan partial V terhadap x

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \sum_{i=1}^4 \frac{\partial N_i}{\partial x} U_i = \left(\frac{\partial N}{\partial x} \right)^T U_e = U_e^T \left(\frac{\partial N}{\partial x} \right)$$

Dengan

$$U_e = (U_1, \dots, U_4)^T$$

Dan

$$\frac{\partial N}{\partial x} = \left(\frac{\partial N_1}{\partial x}, \dots, \frac{\partial N_4}{\partial x} \right)^T$$

sehingga



$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 = U_e^T \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)^T U_e$$

Dengan cara yang sama untuk turunan terhadap sumbu z, diperoleh

$$\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 = U_e^T \left(\frac{\partial N}{\partial y}\right) \left(\frac{\partial N}{\partial y}\right)^T U_e$$

Substitusi ke persamaan

$$\begin{aligned} \int_e \frac{1}{2} \sigma (\nabla U)^2 d\Omega &= \int_e \frac{1}{2} \sigma \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 \right] dx dy \\ &= \int_e \frac{1}{2} \sigma \left[U_e^T \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right) \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)^T U_e + U_e^T \left(\frac{\partial N}{\partial y}\right) \left(\frac{\partial N}{\partial y}\right)^T U_e \right] dx dy \\ &= \frac{1}{2} U_e^T K_{1e} U_e \end{aligned}$$

Dimana

$$K_{1e} = (k_{1ij}), \quad k_{ij}(i, j) = 1, \dots, 4$$

Dan

$$\begin{aligned} K_{e1} &= \int_e \sum_{i=1}^4 \sigma \left(\left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)^T \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right) + \left(\frac{\partial N}{\partial y}\right)^T \left(\frac{\partial N}{\partial y}\right) \right) dx dy \\ &= \sum_{i=1}^4 \left\{ \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \sigma \left(\left(\frac{\partial N}{\partial \xi}\right)^T \left(\frac{\partial N}{\partial \xi}\right) + \left(\frac{\partial N}{\partial \eta}\right)^T \left(\frac{\partial N}{\partial \eta}\right) \right) d\xi d\eta \right\} \\ &= \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \sigma \left(\left(\frac{\partial N}{\partial \xi}\right)^T \left(\frac{\partial N}{\partial \xi}\right) + \left(\frac{\partial N}{\partial \eta}\right)^T \left(\frac{\partial N}{\partial \eta}\right) \right) d\xi d\eta \\ &= \sigma \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [B] d\xi d\eta \end{aligned}$$



$$\left[\begin{array}{cc} (-1+\eta) & 0 \\ 0 & (-1+\xi) \\ (1-\eta) & 0 \\ 0 & (-1-\xi) \\ (1+\eta) & 0 \\ 0 & (1+\xi) \\ (-1-\eta) & 0 \\ 0 & (1-\xi) \end{array} \right]^2 \left[\begin{array}{cccccccc} (-1+\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & (-1-\eta) & 0 \\ 0 & (-1+\xi) & 0 & (-1-\xi) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) \end{array} \right] d\xi d\eta$$

Perkalian matriks ini akan menghasilkan matriks 8x8 yang mewakili luasan area element.

$$\underline{k} = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccccccc} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} & k_{17} & k_{18} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} & k_{27} & k_{28} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} & k_{37} & k_{38} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} & k_{47} & k_{48} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} & k_{57} & k_{58} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} & k_{67} & k_{68} \\ k_{71} & k_{72} & k_{73} & k_{74} & k_{75} & k_{76} & k_{77} & k_{78} \\ k_{81} & k_{82} & k_{83} & k_{84} & k_{85} & k_{86} & k_{87} & k_{88} \end{array} \right] \begin{array}{l} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{array} \end{array}$$

Seperti yg telah dibahas pada shape function element segiempat, dimana diperoleh matrix shape function sebagai berikut.

Shape function matrix

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix}$$

Dari matriks ini dapat dihitung regangan (turunan matriks) pada arah horizontal dan vertikal, baris pertama mewakili arah horizontal dan baris kedua mewakili arah vertikal yang dimisalkan dengan matriks B

[B]

$$= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (-1 + \eta) & 0 & (1 - \eta) & 0 & (1 + \eta) & 0 & (-1 - \eta) & 0 \\ 0 & (-1 + \xi) & 0 & (-1 - \xi) & 0 & (1 + \xi) & 0 & (1 - \xi) \end{bmatrix}$$

Untuk transpose matriks diperoleh:

$$[B]^T = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (-1 + \eta) & 0 \\ 0 & (-1 + \xi) \\ (1 - \eta) & 0 \\ 0 & (-1 - \xi) \\ (1 + \eta) & 0 \\ 0 & (1 + \xi) \\ (-1 - \eta) & 0 \\ 0 & (1 - \xi) \end{bmatrix}$$



2. Suku Kedua

$$\int_e \frac{1}{2} \sigma k^2 U^2 d\Omega = \frac{1}{2} U_e^T \left\{ \int_e \sum_{l=1}^4 N_l \sigma_l (k^2 N^T N) dx dy \right\} U_e = \frac{1}{2} U_e^T K_{e2} U_e$$

$$K_{e2} = \int_e \sum_{l=1}^4 N_l \sigma_l (k^2 N^T N) dx dy$$

$$K_{e2} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [C]^T [C] d\xi d\eta$$

K_{e2}

$$= \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 k^2 \left(\frac{1}{4}\right)^2 \begin{bmatrix} (-1+\xi) \\ (-1+\eta) \\ (-1-\xi) \\ (1-\eta) \\ (1+\xi) \\ (1+\eta) \\ (1-\xi) \\ (-1-\eta) \end{bmatrix} [(-1+\xi) \quad (-1+\eta) \quad (-1-\xi) \quad (1-\eta) \quad (1+\xi) \quad (1+\eta) \quad (1-\xi) \quad (-1-\eta)] d\xi d\eta$$

	u_1	v_1	u_2	v_2	u_3	v_3	u_4	v_4	
$\underline{k} =$	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	u_1
	k_{21}	k_{22}	k_{23}	k_{24}	k_{25}	k_{26}	k_{27}	k_{28}	v_1
	k_{31}	k_{32}	k_{33}	k_{34}	k_{35}	k_{36}	k_{37}	k_{38}	u_2
	k_{41}	k_{42}	k_{43}	k_{44}	k_{45}	k_{46}	k_{47}	k_{48}	v_2
	k_{51}	k_{52}	k_{53}	k_{54}	k_{55}	k_{56}	k_{57}	k_{58}	u_3
	k_{61}	k_{62}	k_{63}	k_{64}	k_{65}	k_{66}	k_{67}	k_{68}	v_3
	k_{71}	k_{72}	k_{73}	k_{74}	k_{75}	k_{76}	k_{77}	k_{78}	u_4
	k_{81}	k_{82}	k_{83}	k_{84}	k_{85}	k_{86}	k_{87}	k_{88}	v_4

3. Suku ketiga

$$\int_e I \delta(A) U d\Omega = \frac{1}{2} I U_A = U^T P$$

Dengan $P = \left(0 \dots \frac{1}{2} U_A \dots 0 \right)^T$

P adalah vektor kolom yang bernilai 0 kecuali pada titik catu daya yaitu 1/2



$$J) = \sum_{\Omega} \int_e \frac{1}{2} \sigma (\nabla U)^2 d\Omega + \sum_{\Omega} \int_e \frac{1}{2} \sigma k^2 U^2 d\Omega - \sum_{\Omega} \int_e I \delta(A) U d\Omega$$

$$\begin{aligned}
 F(U) &= \frac{1}{2} U_e^T K_{1e} U_e + \frac{1}{2} V_e^T K_{e2} U_e - U^T P \\
 &= U^T K U - U^T P \\
 &= K U - P
 \end{aligned}$$

dimana $K = k_{e1} + k_{e2}$

Dengan $F(U) = 0$, maka

$$K U - P = 0$$

$$K U = P$$

Dengan K adalah matriks orde 8×8 yang merupakan penjumlahan dari $(k_{e1} + k_{e2})$, U adalah vektor kolom yang merupakan potensial listrik dari semua titik element dalam domain wave-number.

Persamaan linear ($K U = P$) diselesaikan untuk memperoleh potensial listrik (U) dari setiap elemen dalam domain. Kemudian dengan menggunakan transformasi invers Fourier diperoleh potensial listrik kompleks dalam ruang 3D. Persamaan Transformasi Inverse Fourier:

$$u(M) = \sum_{i=1}^5 g_i U(M, k_i)$$

Dimana M adalah posisi titik observasi, k_i adalah bilangan gelombang, dan g_i adalah koefisien pembobotan, yang ditunjukkan oleh tabel berikut.

Table 1 k_i and g_i parameters of Fourier inverse transform

i	1	2	3	4	5
k_i	0.00268	0.02419	0.09621	0.33991	1.26051
g_i	0.00565	0.02406	0.07849	0.27409	1.09590

Untuk posisi elektroda arus tertentu resistivitas semu dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho_a = G \frac{u(M) - u(N)}{I}$$

Dengan ρ_a adalah tesistivitas semu, G adalah faktor konfigurasi, $u(M)$ dan $u(N)$ adalah potensial listrik pada node yang diukur oleh elektroda M dan N .



Lampiran 2. Data Bor

a) Data Collar

BHID	FROM	TO	NITOT	LYR	LYRCHMIS	MATERIAL
C146272Z	0	1	0.986	LIM	LIM	LIM
C146272Z	1	2	1.068	LIM	LIM	LIM
C146272Z	2	3	1.244	LIM	LIM	LIM
C146272Z	3	4	1.269	LIM	LIM	LIM
C146272Z	4	4.3	0.425	SAP	SAP	BLD
C146272Z	4.3	5	1.717	SAP	SAP	SAP
C146272Z	5	6	1.746	SAP	SAP	SAP
C146272Z	6	6.35	1.782	SAP	SAP	SAP
C146272Z	6.35	7	0.34	SAP	FRK	BLD
C146272Z	7	8	0.434	SAP	FRK	BLD
C146272Z	8	8.45	2.333	SAP	SAP	SAP
C146272Z	8.45	8.8	0.795	SAP	FRK	BLD
C146272Z	8.8	9	1.143	SAP	SIL	SAP
C146272Z	9	9.82	0.398358	SAP	FRK	BLD
C146272Z	9.82	10	2.15	SAP	SAP	SAP
C146272Z	10	11	0.728488	BRK	FRK	BRK
C146272Z	11	12	0.333553	BRK	FRK	BRK
C146272Z	12	13	0.28	BRK	FRK	BRK
C146272Z	13	14	0.347452	BRK	FRK	BRK
C146272Z	14	15	0.278432	BRK	FRK	BRK
C146273Z	0	1	1.046	LIM	LIM	LIM
C146273Z	1	2	1.168	LIM	LIM	LIM
C146273Z	2	2.52	1.118	LIM	LIM	LIM
C146273Z	2.52	3	0.545	LIM	SIL	SAP
C146273Z	3	4	0.578	LIM	SIL	SAP
C146273Z	4	4.55	0.484	LIM	SIL	SAP
C146273Z	4.55	5	0.427	BRK	FRK	BRK
C146273Z	5	6	0.345	BRK	FRK	BRK
C146273Z	6	7	0.312	BRK	FRK	BRK
C146273Z	7	8	0.417	BRK	FRK	BRK
C146273Z	8	9	0.356021	BRK	FRK	BRK
C146273Z	9	10	0.440109	BRK	FRK	BRK
C146274Z	0	1	0.858	SAP	SAP	LIM
Z	1	2	1.119	SAP	SIL	LIM
Z	2	3	0.868	SAP	SIL	SAP
Z	3	3.72	0.936	SAP	SIL	SAP
Z	3.72	4	0.267	SAP	FRK	BLD



BHID	FROM	TO	NITOT	LYR	LYRCHMIS	MATERIAL
C146274Z	4	5	1.054	SAP	SIL	SAP
C146274Z	5	5.6	1.992	SAP	SIL	SAP
C146274Z	5.6	6	0.708521	SAP	FRK	BRK
C146274Z	6	7	0.751444	SAP	FRK	BRK
C146274Z	7	8	0.772734	SAP	FRK	BRK
C146274Z	8	9	1.382283	SAP	SAP	BRK
C146274Z	9	10	1.767437	SAP	SAP	BRK
C146274Z	10	11	0.813308	BRK	SAP	BRK
C146274Z	11	12	0.898149	BRK	SAP	BRK
C146274Z	12	13	0.312	BRK	FRK	BRK
C146487Z	0	1	0.848	LIM	LIM	LIM
C146487Z	1	2	0.81	LIM	LIM	LIM
C146487Z	2	3	0.805	LIM	LIM	LIM
C146487Z	3	3.26	0.275	SAP	FRK	BLD
C146487Z	3.26	3.66	0.842	SAP	SAP	LIM
C146487Z	3.66	4	0.273	SAP	FRK	BLD
C146487Z	4	4.47	0.298	SAP	FRK	BLD
C146487Z	4.47	5	0.769	SAP	SIL	SAP
C146487Z	5	6	1.266	SAP	SAP	SAP
C146487Z	6	7	1.458	SAP	SAP	SAP
C146487Z	7	8	1.509	SAP	SAP	SAP
C146487Z	8	9	0.272	SAP	FRK	BLD
C146487Z	9	9.45	1.674	SAP	SAP	SAP
C146487Z	9.45	10	0.271	BRK	FRK	BRK
C146487Z	10	11	0.271	BRK	FRK	BRK
C146487Z	11	12	0.276	BRK	FRK	BRK
C146487Z	12	13	0.284	BRK	FRK	BRK
C146487Z	13	14	0.286	BRK	FRK	BRK
C146487Z	14	15	0.275	BRK	FRK	BRK
C146570Z	0	1	1.162	LIM	LIM	LIM
C146570Z	1	2		LIM	SAP	LIM
C146570Z	2	3	1.923	LIM	LIM	LIM
C146570Z	3	3.71	2.053	LIM	LIM	LIM
C146570Z	3.71	4	0.247	SAP	FRK	BLD
C146570Z	4	4.83	0.249	SAP	FRK	BLD
C146570Z	4.83	5	2.011	SAP	SAP	SAP
Z	5	6	2.521	SAP	SIL	SAP
Z	6	7	2.382	SAP	SIL	SAP
Z	7	7.32	0.458	SAP	SIL	BLD
Z	7.32	8	0.741	SAP	SIL	SAP



BHID	FROM	TO	NITOT	LYR	LYRCHMIS	MATERIAL
C146570Z	8	8.5	0.598	SAP	SIL	SAP
C146570Z	8.5	9	0.369	BRK	SIL	BRK
C146570Z	9	10	0.295944	BRK	FRK	BRK
C146570Z	10	11	0.282	BRK	FRK	BRK
C146570Z	11	12	0.248	BRK	FRK	BRK
C146570Z	12	13	0.302	BRK	FRK	BRK
C146570Z	13	14	0.242	BRK	FRK	BRK
C146570Z	14	15	0.251	BRK	FRK	BRK
C146570Z	15	16	0.265	BRK	FRK	BRK
C146571Z	0	1	1.117	LIM	LIM	LIM
C146571Z	1	2	1.153	LIM	LIM	LIM
C146571Z	2	2.75	1.169	LIM	LIM	LIM
C146571Z	2.75	3	0.276	SAP	FRK	BLD
C146571Z	3	4	0.268699	SAP	FRK	BLD
C146571Z	4	5	0.272	SAP	FRK	BLD
C146571Z	5	6	0.266	SAP	FRK	BLD
C146571Z	6	6.17	0.305	SAP	FRK	BLD
C146571Z	6.17	7	1.493	SAP	SAP	SAP
C146571Z	7	8	1.573784	SAP	SAP	SAP
C146571Z	8	8.78	1.74	SAP	SAP	SAP
C146571Z	8.78	9	0.351	SAP	FRK	BLD
C146571Z	9	9.8	0.326	SAP	FRK	BLD
C146571Z	9.8	10	1.301	SAP	SAP	SAP
C146571Z	10	11	1.002	SAP	SIL	SAP
C146571Z	11	12	2.571	SAP	SIL	SAP
C146571Z	12	12.44	1.073696	SAP	SIL	SAP
C146571Z	12.44	13	0.288	BRK	FRK	BRK
C146571Z	13	14	0.28	BRK	FRK	BRK
C146571Z	14	15	0.277	BRK	FRK	BRK
C146571Z	15	16	0.261	BRK	FRK	BRK
C146571Z	16	17	0.261	BRK	FRK	BRK
C146571Z	17	18	0.711	BRK	FRK	BRK
C146571Z	18	19	0.37	BRK	FRK	BRK
C146572Z	0	0.83	1.153	LIM	LIM	LIM
C146572Z	0.83	1	0.315	SAP	FRK	BLD
C146572Z	1	1.52	0.268404	SAP	FRK	BLD
Z	1.52	1.8	0.694	SAP	SAP	SAP
Z	1.8	2	0.327	SAP	FRK	BLD
Z	2	2.77	0.27	SAP	FRK	BLD
Z	2.77	3	2.222	SAP	SAP	SAP



BHID	FROM	TO	NITOT	LYR	LYRCHMIS	MATERIAL
C146572Z	3	3.15	1.68	SAP	SAP	SAP
C146572Z	3.15	3.47	0.563	SAP	FRK	BLD
C146572Z	3.47	4	1.239	SAP	SAP	SAP
C146572Z	4	5	1.082	SAP	SIL	SAP
C146572Z	5	5.61	0.367	SAP	FRK	BLD
C146572Z	5.61	6	1.049	SAP	SIL	SAP
C146572Z	6	6.31	1.396	SAP	SAP	SAP
C146572Z	6.31	7	0.535736	SAP	FRK	BLD
C146572Z	7	7.65	0.544832	SAP	FRK	BLD
C146572Z	7.65	8	1.737	SAP	SAP	SAP
C146572Z	8	8.18	1.391	SAP	SIL	SAP
C146572Z	8.18	8.74	0.6946	SAP	SIL	SAP
C146572Z	8.74	9	1.536	SAP	SAP	SAP
C146572Z	9	9.78	1.581	SAP	SAP	SAP
C146572Z	9.78	10	0.466	SAP	FRK	BLD
C146572Z	10	10.34	0.402	SAP	FRK	BLD
C146572Z	10.34	11	1.446	SAP	SIL	SAP
C146572Z	11	11.6	0.87426	SAP	SIL	SAP
C146572Z	11.6	12	0.424477	BRK	FRK	BRK
C146572Z	12	13	0.362991	BRK	FRK	BRK
C146572Z	13	14	0.360452	BRK	FRK	BRK
C146572Z	14	15	0.367509	BRK	FRK	BRK
C146572Z	15	16	0.36543	BRK	FRK	BRK
C146572Z	16	17	0.355115	BRK	FRK	BRK
C146669Z	0	1	0.81	LIM	LIM	LIM
C146669Z	1	2	1.218	LIM	LIM	LIM
C146669Z	2	3	1.176	LIM	LIM	LIM
C146669Z	3	4	1.109	LIM	SIL	LIM
C146669Z	4	5	0.955	SAP	SAP	SAP
C146669Z	5	6	0.318	BRK	FRK	BLD
C146669Z	6	7	0.389	BRK	FRK	BLD
C146669Z	7	7.5	0.699	BRK	SIL	SAP
C146669Z	7.5	8	0.52	BRK	SIL	BLD
C146669Z	8	9	0.325	BRK	FRK	BLD
C146669Z	9	9.75	0.523	BRK	FRK	BLD
C146669Z	9.75	10	0.616	BRK	SIL	SAP
Z	10	10.3	0.374	BRK	SIL	BLD
Z	10.3	11	1.184244	BRK	SIL	SAP
Z	11	12	0.711541	BRK	SIL	BRK
Z	12	12.47	0.621404	BRK	SIL	BRK



BHID	FROM	TO	NITOT	LYR	LYRCHMIS	MATERIAL
C146669Z	12.47	13	0.453	BRK	FRK	BRK
C146669Z	13	14	0.53244	BRK	FRK	BRK
C146669Z	14	15	0.432243	BRK	FRK	BRK
C146669Z	15	16	0.839	BRK	SIL	BRK
C146669Z	16	17	0.305	BRK	FRK	BRK
C146774Z	0	1	1.167	LIM	LIM	LIM
C146774Z	1	2	1.269	LIM	LIM	LIM
C146774Z	2	3	1.325	LIM	LIM	LIM
C146774Z	3	4	1.265	LIM	LIM	LIM
C146774Z	4	5	1.421	LIM	LIM	LIM
C146774Z	5	6	1.426	LIM	LIM	LIM
C146774Z	6	7	1.11	LIM	LIM	LIM
C146774Z	7	8	1.38	LIM	LIM	LIM
C146774Z	8	9	1.325	LIM	SIL	SAP
C146774Z	9	10	1.681	SAP	SAP	SAP
C146774Z	10	11	1.251	SAP	SIL	SAP
C146774Z	11	12	0.783049	SAP	SIL	SAP
C146774Z	12	13	1.811	SAP	SIL	SAP
C146774Z	13	13.36	1.549	SAP	SIL	SAP
C146774Z	13.36	14	1.333907	SAP	SIL	BLD
C146774Z	14	14.4	1.331	SAP	SIL	SAP
C146774Z	14.4	15	1.803166	SAP	SIL	BLD
C146774Z	15	15.62	1.882	SAP	SAP	SAP
C146774Z	15.62	16	1.298554	SAP	SAP	BLD
C146774Z	16	17	0.71	BRK	FRK	BLD
C146774Z	17	18	0.284	BRK	FRK	BLD
C146774Z	18	19	0.417	BRK	FRK	BLD
C146774Z	19	20	0.766	BRK	FRK	BLD
C146774Z	20	20.48	1.005056	BRK	SAP	SAP
C146774Z	20.48	21	0.311	BRK	FRK	BRK
C146774Z	21	22	0.287173	BRK	FRK	BRK
C146774Z	22	23	0.359752	BRK	FRK	BRK
C146774Z	23	24	0.679925	BRK	FRK	BRK
C146774Z	24	25	0.285852	BRK	FRK	BRK



b) Data Assay

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR	DEPTH
C146272Z	5587.184	13012.57	737.5454	15
C146273Z	5538.049	13061.63	726.1844	10
C146274Z	5638.766	13214.05	710.3632	13
C146487Z	5275.418	12975.37	652.0641	15
C146570Z	5375.782	13076.56	671.3317	16
C146571Z	5375.593	13173.55	644.5791	19
C146572Z	5474.494	13274.1	666.3276	17
C146669Z	5477.77	12878.23	721.3428	17
C146774Z	5474.827	13075.12	695.0123	25
C146778Z	5272.822	13072.79	637.5264	20
C146971Z	5376.603	12977.25	675.4505	20
C146973Z	5474.901	13173.44	679.5405	13
C146974Z	5277.244	13175.73	618.7766	15
C147057Z	5587.736	13113.26	727.5659	20
C147058Z	5537.565	13112.77	719.3813	17
C147637Z	5687.124	13212.56	712.5399	37
C147943Z	5537.121	12862.7	740.8911	16
C147944ZB	5535.274	12961.79	724.3851	36
C147945Z	5588.572	13208.97	706.3107	18
C147946Z	5539.244	13161.62	698.2079	11
C148213Z	5587.82	13062.35	743.1836	32
C148214ZB	5536.496	13013.09	729.6551	28
C148601Z	5537.186	12912.7	744.3964	25
C148603Z	5588.397	13162.24	718.0483	38
C148607Z	5634.915	13237.07	700.3938	19
C151257Z	5374.333	13025.71	678.3755	19
C151258Z	5425.428	13124.91	676.0983	25
C151259Z	5425.157	13024.61	694.1263	34
C151260Z	5474.567	13124.8	695.7452	15
C151361Z	5426.687	12977.64	687.2636	18
C151362Z	5424.858	13225.1	659.1723	25
C151363Z	5274.064	13128.3	633.9598	11
C151364Z	5330.918	13124.06	654.0371	12
C151458Z	5375.314	13224.22	644.6483	17
Z	5425.661	13274.4	659.3582	15
Z	5324.259	13024.78	654.951	16
Z	5324.582	13073.47	656.6475	22
Z	5371.927	13127.39	655.2101	19

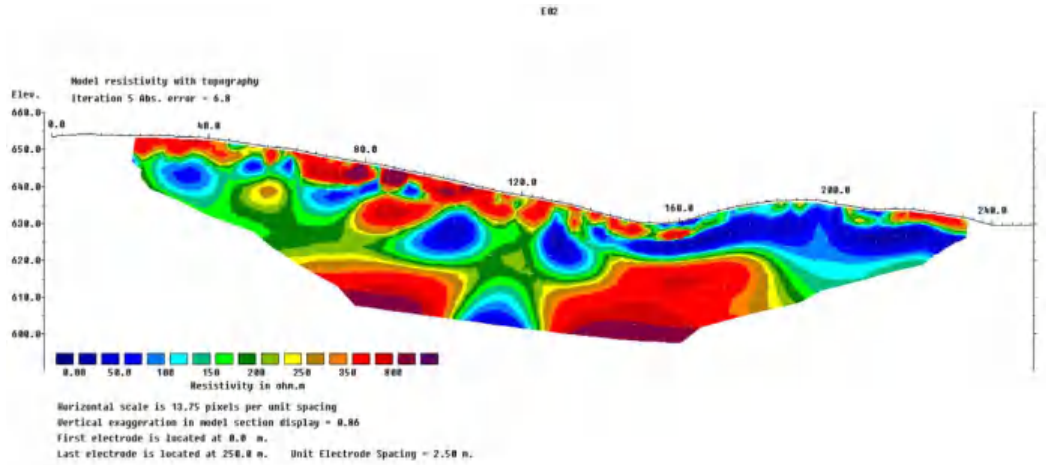


BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR	DEPTH
C151661Z	5275.045	13024.77	651.2063	16
C151662Z	5228.556	13025.53	642.8531	28
C151737Z	5375.687	12926.64	691.5417	20
C151916Z	5324.394	12974.13	665.9146	11
C151917Z	5474.873	13224.8	670.3762	27
C151918Z	5323.986	13223.36	623.4567	19
C152103Z	5422.159	12882.51	696.7902	27
C152104Z	5425.319	12925.54	709.4743	30
C152202Z	5425.19	13074.78	681.7341	32
C152203Z	5329.997	13168.97	632.2109	24
C357174Z	5475.27	13024.89	709.254	21
C357175Z	5475.515	12922.71	725.1442	30
C368088	5424.734	13174.73	659.4573	25
C368089	5475.324	12975.05	700.3823	27

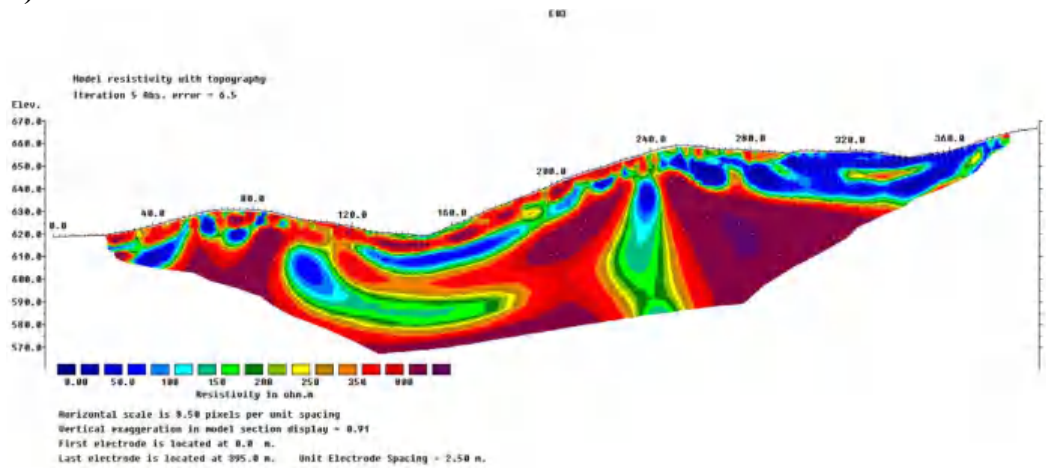


Lampiran 3. Hasil Inversi Data ERT

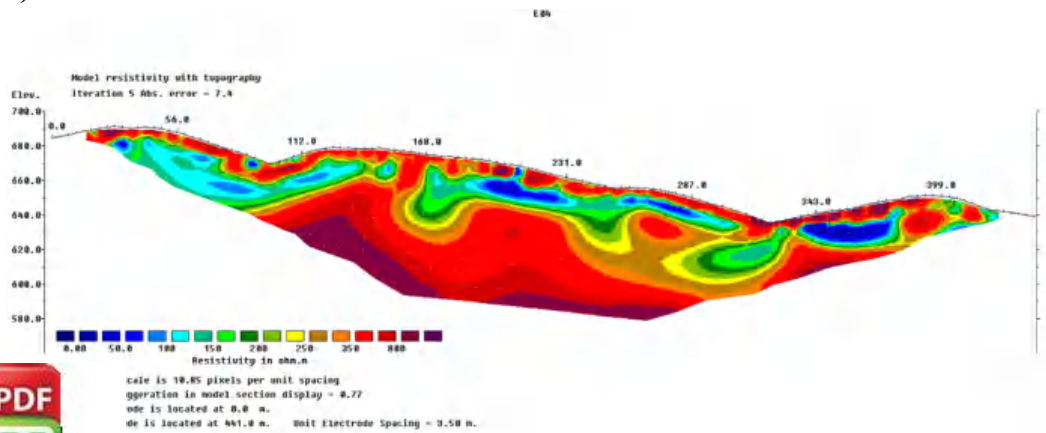
a) Lintasan E02



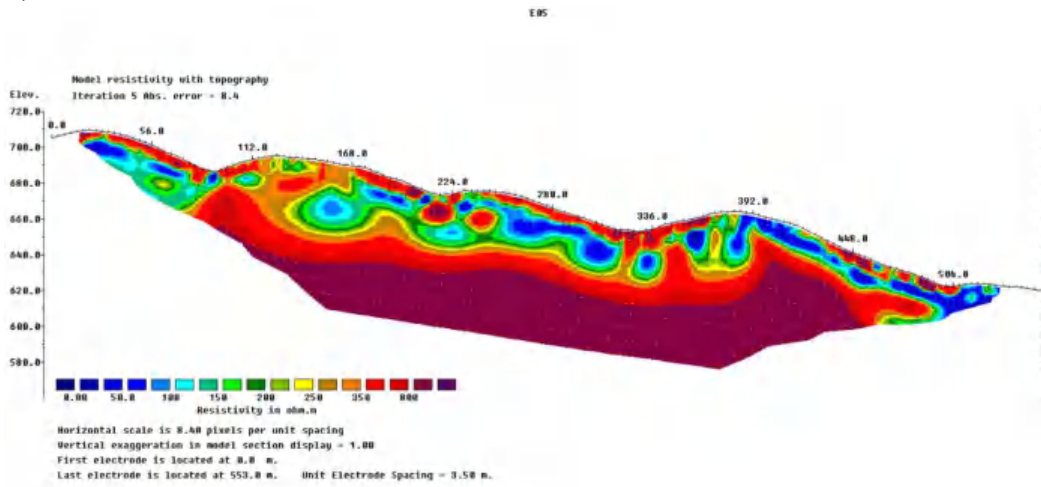
b) Lintasan E03



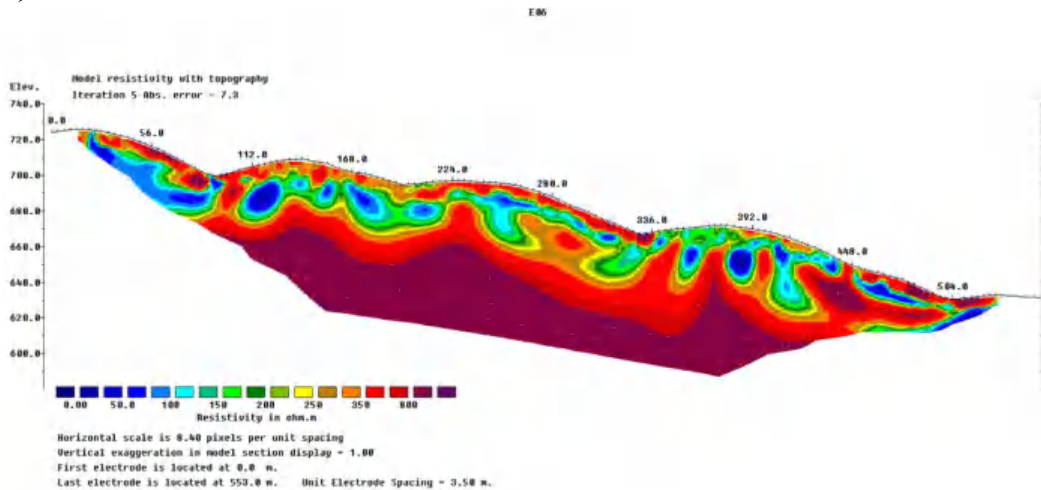
c) Lintasan E04



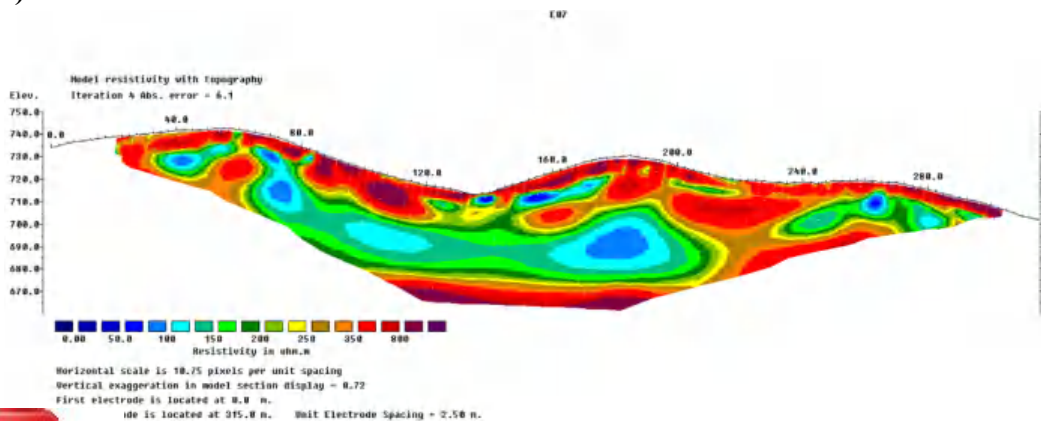
d) Lintasan E05



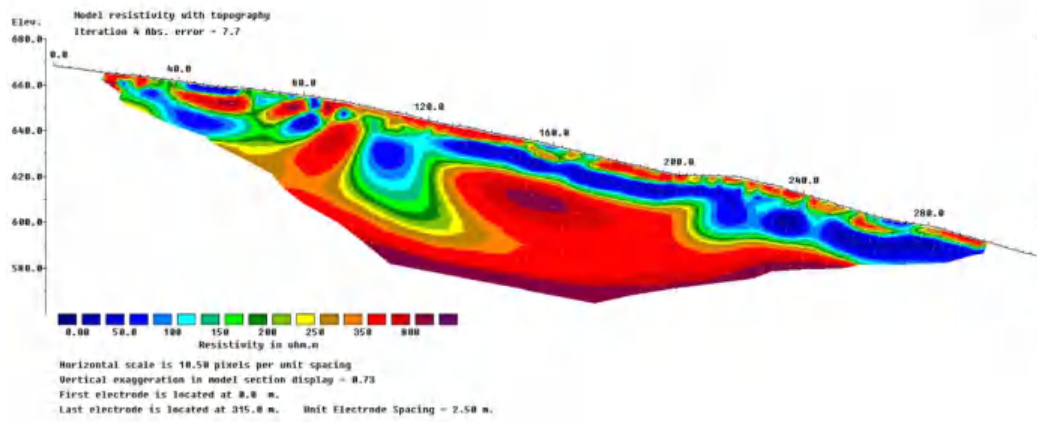
e) Lintasan E06



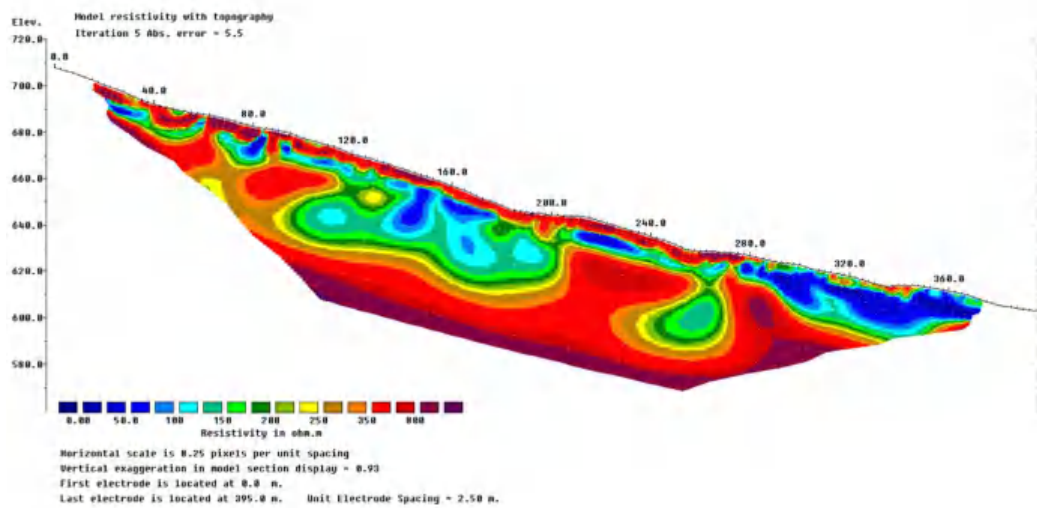
f) Lintasan E07



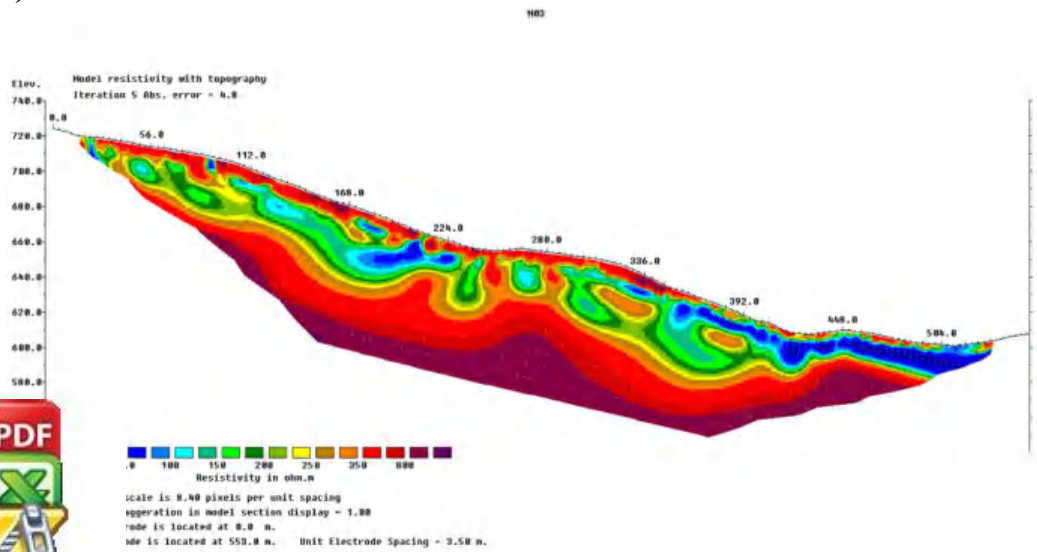
g) Lintasan N01



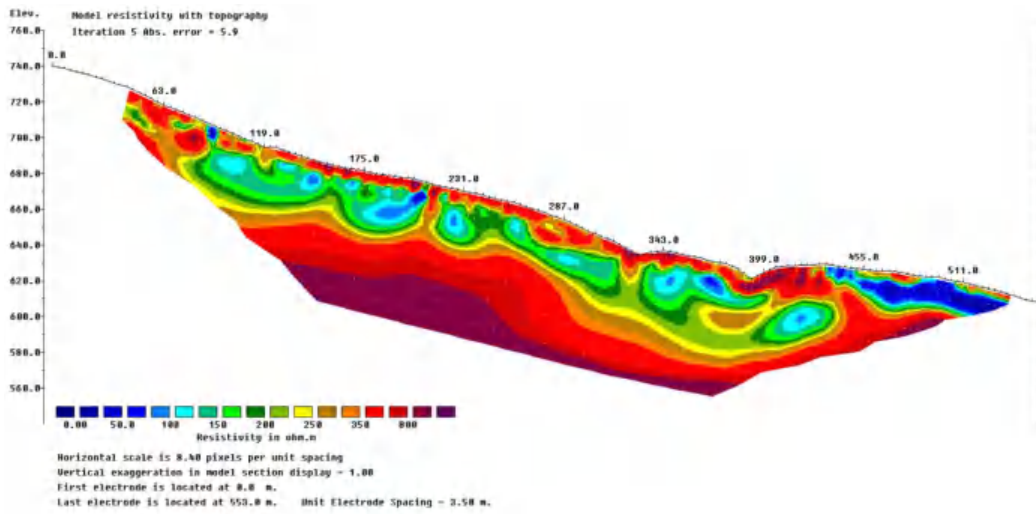
h) Lintasan N02



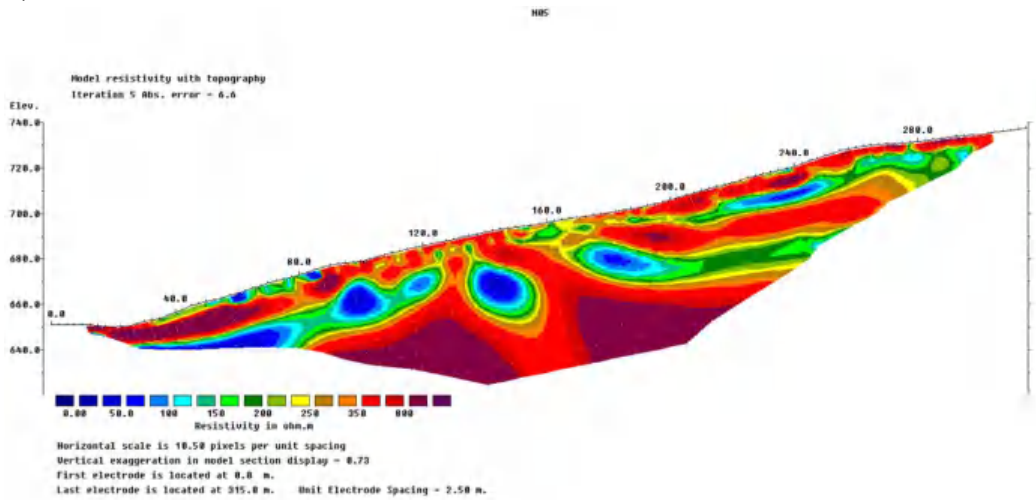
i) Lintasan N03



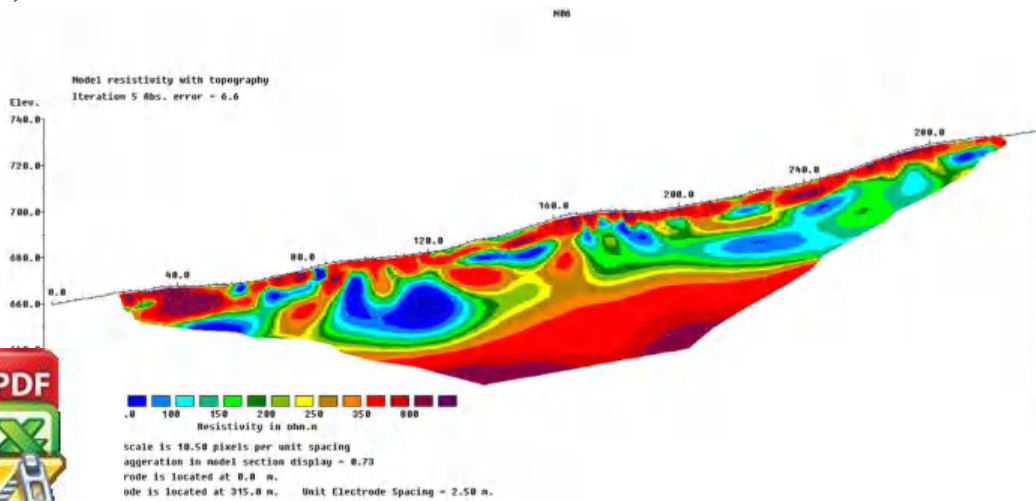
j) Lintasan N04



k) Lintasan N05



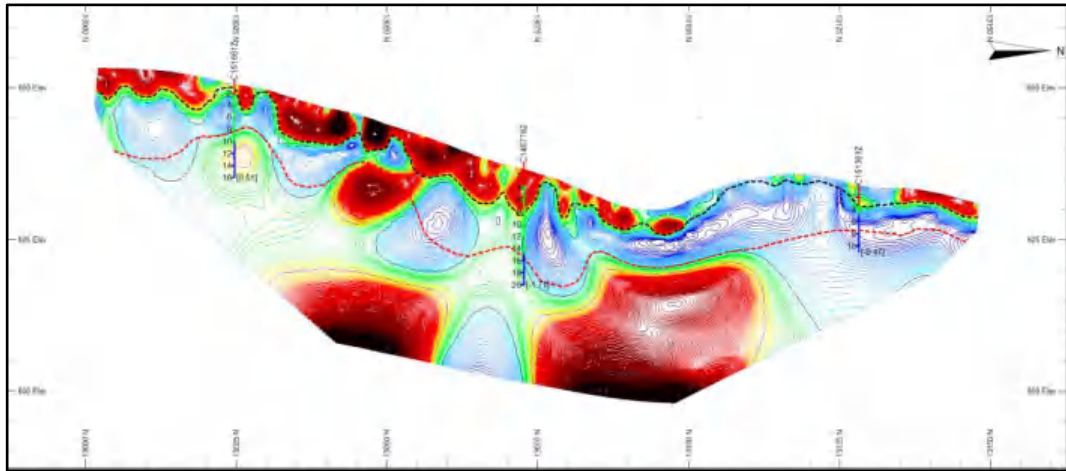
l) Lintasan N06



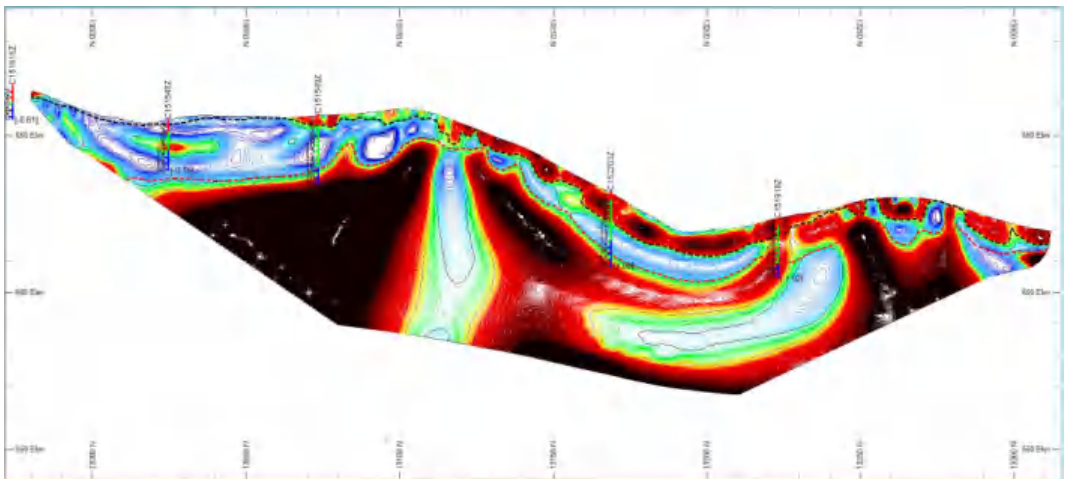
Optimized using
trial version
www.balesio.com

Lampiran 4. *Overlay* Interpretasi ERT dan Data Bor

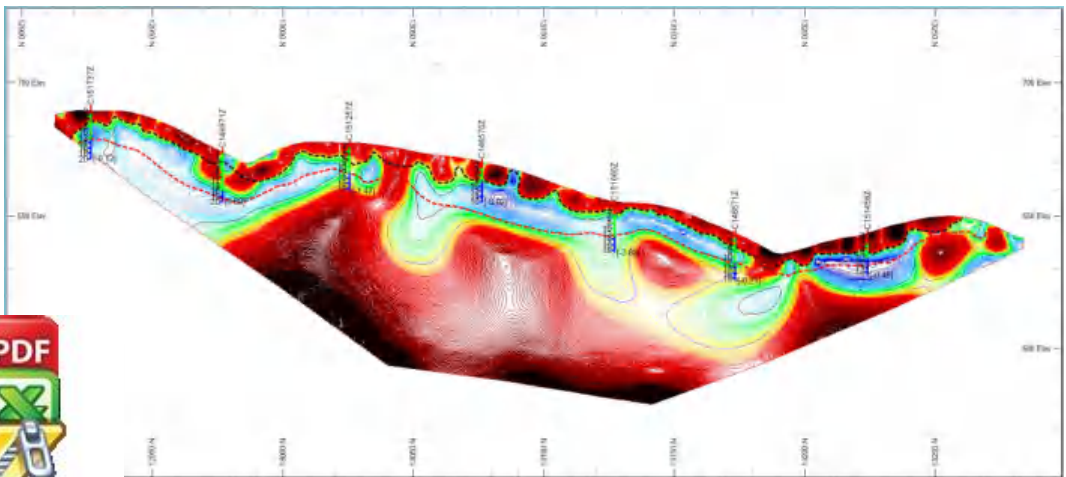
a) Lintasan E02



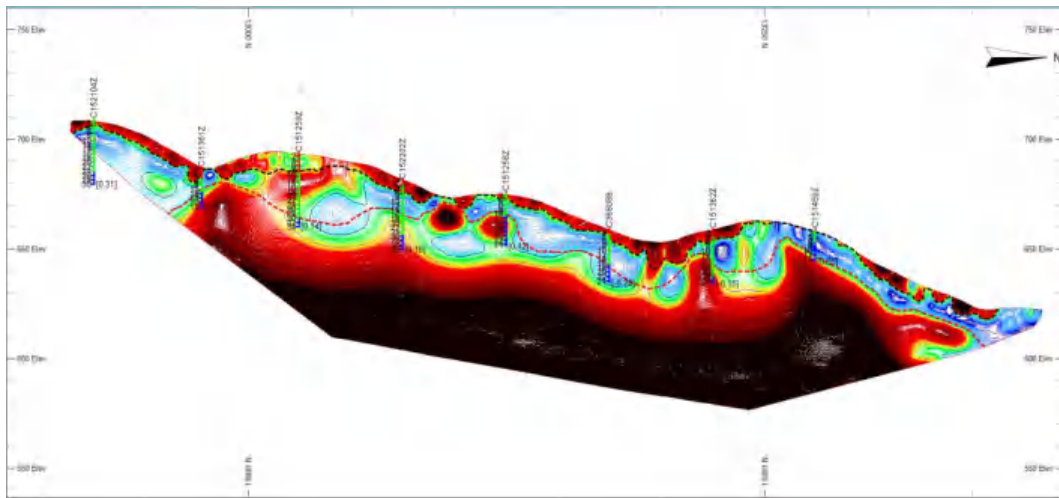
b) Lintasan E03



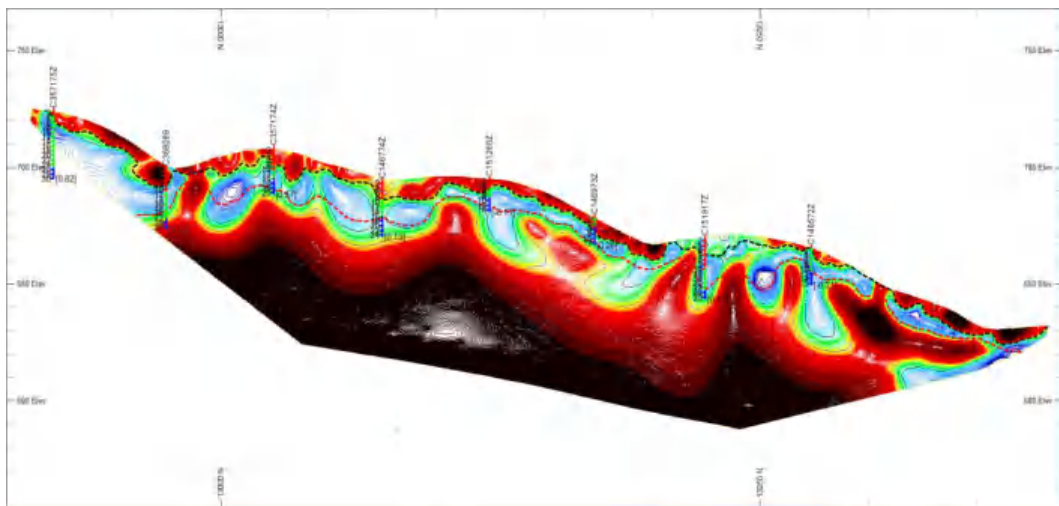
c) Lintasan E04



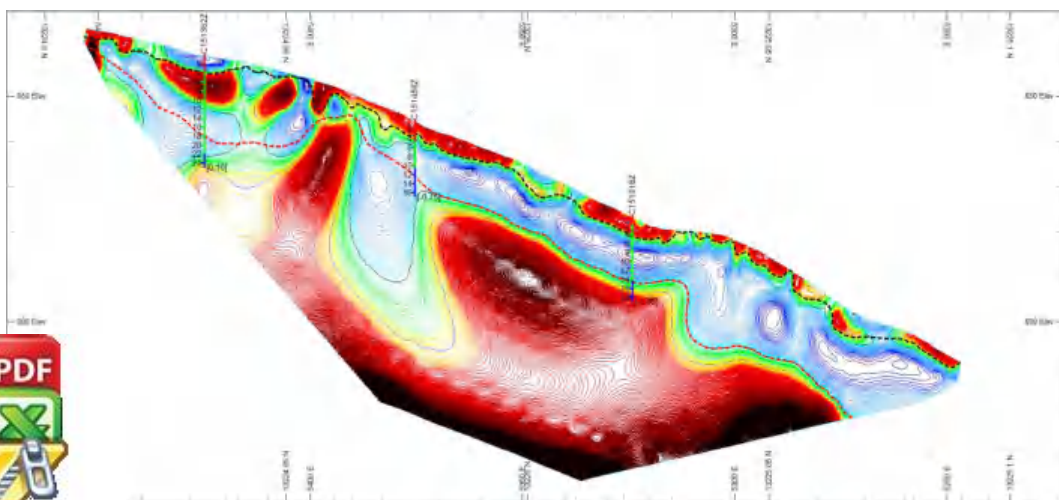
d) Lintasan E05



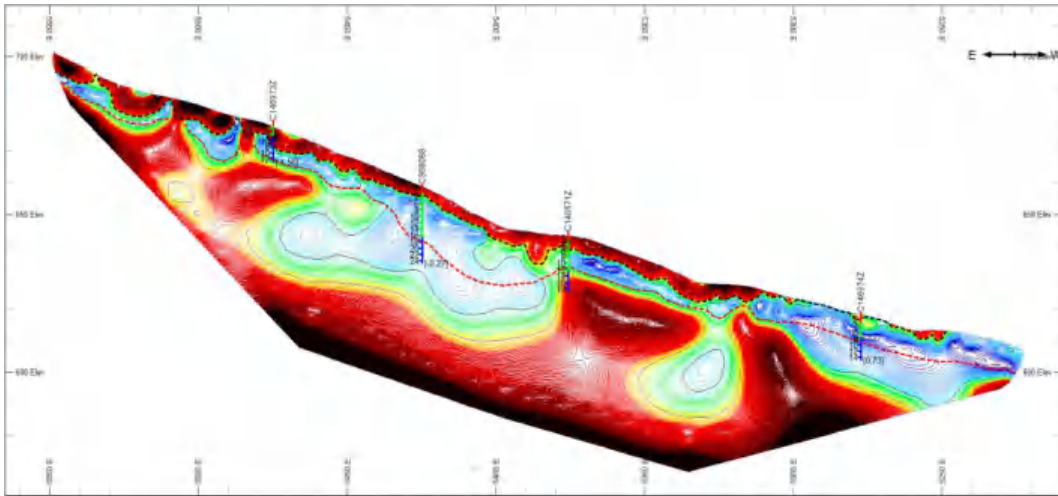
e) Lintasan E06



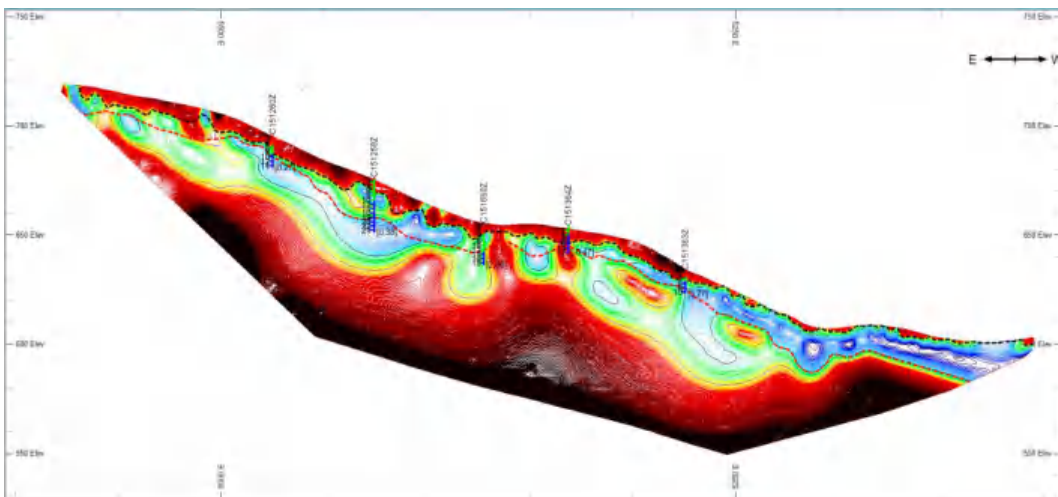
f) Lintasan N01



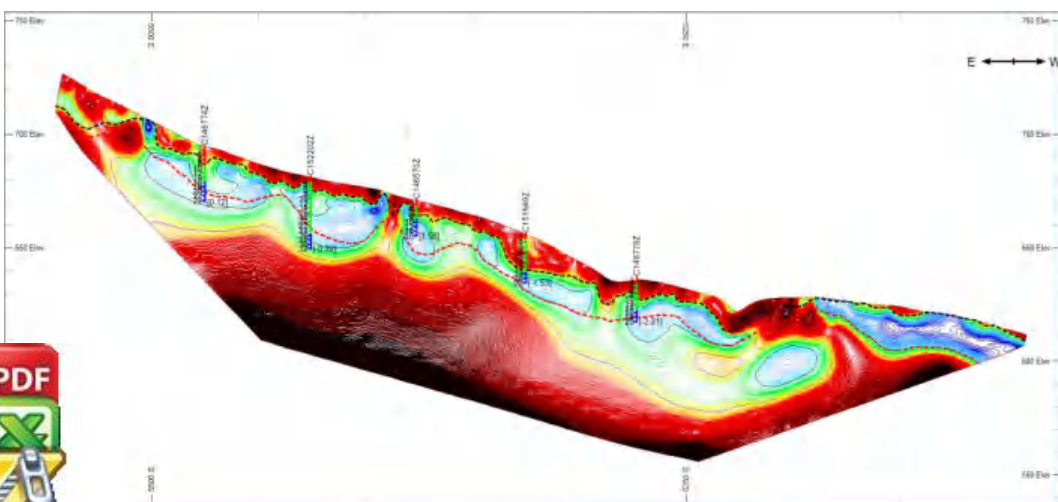
g) Lintasan N02



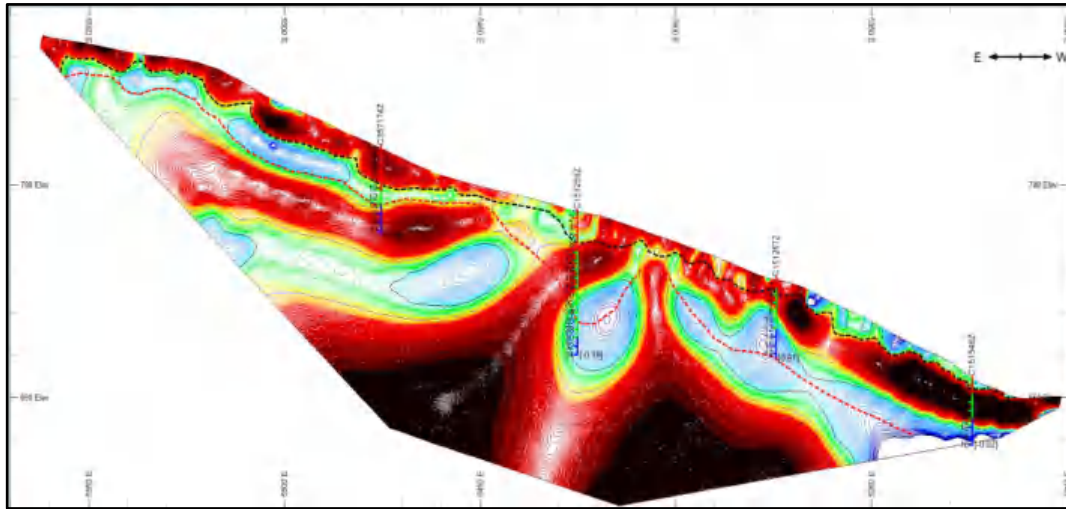
h) Lintasan N03



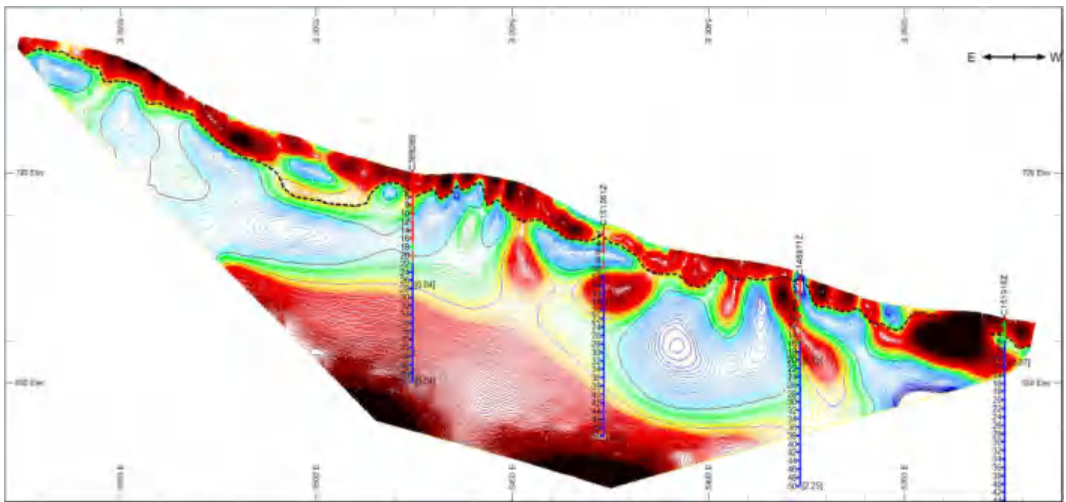
i) Lintasan N04



j) Lintasan N05



k) Lintasan N06



Lampiran 5. Dokumentasi Kegiatan





Optimized using
trial version
www.balesio.com