



Pemodelan Nikel Laterit Berdasarkan Data Resistivitas Di Daerah Kabaena Selatan Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara *The Laterite Nickel Modelling Based On Resistivity Data, In South Kabaena, Bombana District, Southeast Sulawesi Province*

Budy Santoso¹ dan Subagio²

¹Departemen Geofisika FMIPA Unpad, Jalan Raya Bandung Sumedang Km.21, Jatinangor, Sumedang

²Pusat Survei Geologi, Jalan Diponegoro No.57 Bandung 40122

e-mail : budi@geophys.unpad.ac.id

Naskah diterima : 4 Juli 2018, Revisi terakhir : 20 Agustus 2018, Disetujui : 24 Agustus 2018, Online : 27 Agustus 2018

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.19.3.148-158>

Abstrak- Endapan nikel laterit di daerah Kabaena Selatan terdapat pada batuan ultramafik. Model endapan nikel laterit di daerah penelitian secara vertikal terdiri atas : *overburden*, zona limonit, zona saprolit, zona *saprock* dan *bedrock*. Zona limonit dan zona saprolit termasuk ke dalam *lateritic soil* dan memiliki kadar nikel yang berbeda-beda. *Lateritic soil* memiliki kontras resistivitas terhadap *bedrock*, maka data resistivitas dapat digunakan untuk memodelkan endapan nikel laterit. Akuisisi data resistivitas menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. Metode ERT adalah metode pengukuran resistivitas dipermukaan tanah dengan menggunakan banyak elektroda, agar diperoleh variasi distribusi resistivitas bawah permukaan secara lateral dan vertikal, sehingga didapatkan citra bawah permukaan. Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam akuisisi data yaitu Konfigurasi *Dipole-Dipole*. Model endapan nikel laterit diperoleh dengan melakukan pemodelan inversi berdasarkan data resistivitas. Pemodelan inversi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Res2DInv*. Berdasarkan hasil pemodelan resistivitas maka diperoleh nilai resistivitas laterit, sebagai berikut : resistivitas *limonite overburden* < 40 Ohm.m, resistivitas limonit : (40 – 200) Ohm.m, resistivitas saprolit : (201 – 444) Ohm.m, resistivitas *saprock* : (246 – 645) Ohm.m dan resistivitas *bedrock* : (645 – 3300) Ohm.m.

Kata kunci : *bedrock*, konfigurasi *Dipole-Dipole*, limonit, resistivitas, saprolit

Abstract- *The lateritic nickel precipitate in the South Kabaena region is found in ultramafic rocks. The lateritic nickel model in the research area is vertically comprised of overburden, limonite zone, saprolite zone, saprock zone and bedrock. The limonite zone and the saprolite zone are included in the lateritic soil and have different nickel levels. Lateritic soil has resistivity contrast to bedrock, then resistivity data can be used to model lateritic nickel precipitate.*

The acquisition of resistivity data using Electrical Resistivity Tomography (ERT) Method. The ERT method is a method of measuring resistivity on the ground surface by using many electrodes, in order to obtain sub-lateral and vertical resistivity distribution variations, to obtain sub-surface imagery. The electrode configuration used in data acquisition is configuration of Dipole-Dipole. The lateritic nickel precipitate is obtained by inversion modeling based on the resistivity data. Inversion modeling is done by using Res2DInv software. Based on resistivity modeling results obtained lateritic resistivity values, as follows: limonite overburden resistivity < 40 Ohm.m, limonite resistivity: (40 – 200) Ohm.m, saprolite resistivity : (201 – 444) Ohm.m, saprock resistivity : (246 – 645) Ohm.m and bedrock resistivity : (645 – 3300) Ohm.m

Keywords: *bedrock, configuration of Dipole-Dipole, limonite, resistivity, saprolite*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Nikel laterit merupakan bahan galian yang melimpah di daerah Sulawesi seperti di daerah Kabaena Selatan, Bombana, Sulawesi Tenggara. Nikel mempunyai nilai ekonomis tinggi karena banyak digunakan dalam industri berat, kendaraan bermotor, sebagai bahan campuran untuk pembuatan baja tahan karat (*stainless steel*), peralatan laboratorium, dan lain-lain. Sehubungan dengan hal tersebut maka penelitian mengenai keberadaan endapan nikel sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan industri.

Nikel diperoleh dari endapan yang terbentuk akibat proses oksidasi dan pelapukan batuan ultramafik yang mengandung nikel 0,2 – 0,4 %. Jenis-jenis mineral tersebut antara lain olivin, piroksin, dan amfibol yang ditemukan di daerah tropis yang memiliki curah hujan tinggi, sehingga mendukung terjadinya pelapukan, selain faktor topografi, drainase, tektonik dan struktur geologi. Pembentukan endapan nikel laterit ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu : topografi yang relatif landai ($< 20^\circ$), intensitas struktur rekahan yang tinggi yang terjadi pada daerah yang luas, curah hujan yang tinggi, serta adanya sumber nikel dari batuan induk itu sendiri (Elias, 2001).

Berdasarkan penelitian terdahulu (Jafar, 2017) di daerah Kabaena terdapat sebaran nikel laterit pada zona limonit dengan kadar Ni : (1,38 – 1,79) % dan sebaran nikel laterit pada zona saprolit diperoleh kadar Ni : (1,8 – 2,35) %, sedangkan ketebalan rata-rata pada zona limonit yaitu 2,67 m dan ketebalan pada zona saprolit sebesar 3,04 m. Penelitian terdahulu ini menggunakan data *test pit* dan analisa laboratorium. Oleh karena itu ada keterbatasan dalam penentuan ketebalan rata-rata limonit dan saprolit yang diduga masih bisa lebih tebal lagi jika dilakukan penelitian dengan metode lainnya.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan Metode Geolistrik. Metode Geolistrik telah terbukti berhasil dalam kegiatan penelitian dangkal, seperti pendugaan air tanah dan pencairan mineral logam (Reynolds, 1998). Metode Geolistrik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Metode Geolistrik Resistivitas. Lateritic soil memiliki kontras resistivitas terhadap bedrock (batuan peridotit), sehingga pendugaan dan ketebalan *lateritic soil* serta bedrock dengan menggunakan Metode Resistivitas ini akan memperoleh hasil yang lebih baik.

Permasalahan

Endapan nikel laterit terdapat pada zona limonit, zona saprolit dan zona *saprock*. Masing-masing zona laterit tersebut mempunyai kandungan mineral dan kadar nikel yang berbeda-beda. Endapan nikel laterit pada *lateritic soil* terdapat di atas *bedrock*, oleh karena itu di bawah *bedrock* tidak akan ditemukan lagi endapan nikel laterit.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan zona limonit, zona saprolit, *saprock* dan *bedrock* berdasarkan resistivitas batuan ?
2. Ketika melakukan pemboran kemudian mengenai batuan yang keras, ada yang menduga bahwa bor telah mengenai *bedrock*, padahal bisa juga mengenai boulder. Berdasarkan uraian tersebut, bagaimana menentukan indikasi *bedrock* serta membedakannya dengan *boulder* yang dekat permukaan ?.

Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian ini adalah melakukan pengukuran geolistrik resistivitas dan analisis data untuk pendugaan endapan nikel laterit yang terdapat pada batuan ultramafik (batuan peridotit).

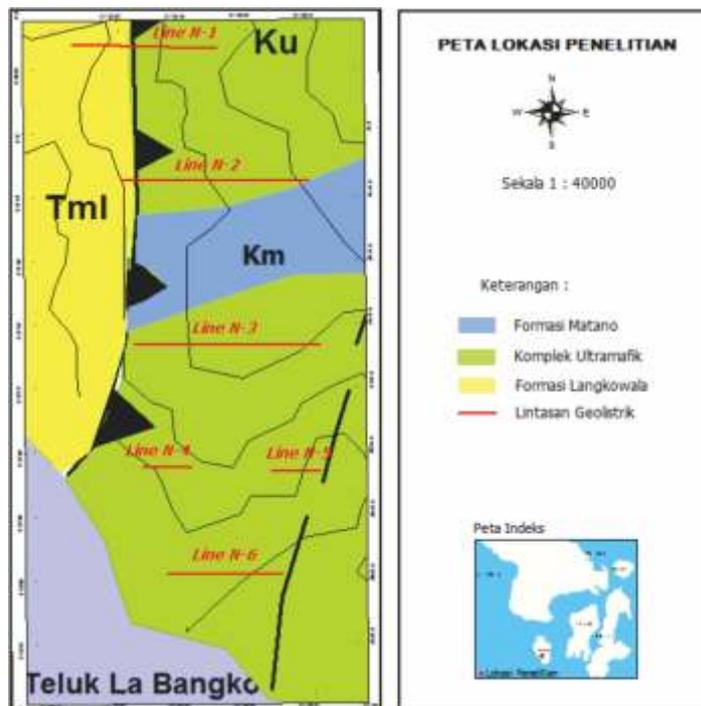
Tujuannya adalah menghasilkan model endapan nikel laterit yang terdiri atas zona limonit, zona saprolit dan zona *saprock* serta untuk mendeliniasi endapan nikel laterit dengan *bedrock* berdasarkan resistivitas batuan.

Lokasi Penelitian

Secara administratif daerah penelitian berada dalam wilayah Kecamatan Kabaena Selatan, Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Metodologi

Metode Geofisika yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Geolistrik Resistivitas. Dalam Metode Geolistrik arus listrik yang diinjeksikan ke dalam tanah melalui dua buah elektroda arus (C_1 dan C_2), kemudian beda potensial yang terjadi diukur melalui dua buah elektroda potensial (P_1 dan P_2) yang ditancapkan dipermukaan tanah (Telford *et.al*, 2004), skema pengukuran resistivitas ditunjukkan pada Gambar 2.



Sumber : Simandjuntak, dr.,(1993)

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Nikel Laterit di daerah Kabaena Selatan, Bombana, Sulawesi Tenggara, disederhanakan dari Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi.

Berdasarkan nilai arus listrik (I) yang diinjeksikan dan beda potensial (ΔV) yang ditimbulkan, besarnya resistivitas (ρ) dapat dihitung dengan persamaan rumus di bawah ini:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Parameter K disebut faktor geometri. Faktor geometri merupakan besaran koreksi terhadap posisi / letak susunan elektroda (arus dan potensial).

Peralatan yang digunakan dalam akuisisi data geolistrik resistivitas yaitu Resistivitas Meter Naniura NRD 300Hf yang dilengkapi dengan *switch box* untuk mengatur perpindahan 51 elektroda. Teknik akuisisi data menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. Metode *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* adalah Metode pengukuran resistivitas dipermukaan tanah / batuan dengan menggunakan banyak elektroda, agar diperoleh variasi distribusi resistivitas bawah permukaan secara lateral dan vertikal, sehingga didapatkan citra (Santoso,dkk. 2016). Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam akuisisi data ERT yaitu konfigurasi *Dipole-Dipole* (Gambar 3).

E_1 dan E_2 pada gambar tersebut adalah pasangan elektroda potensial, C_1 dan C_2 adalah pasangan elektroda arus dengan jarak (a) tertentu. Faktor geometri konfigurasi *dipole-dipole* ditentukan oleh persamaan:

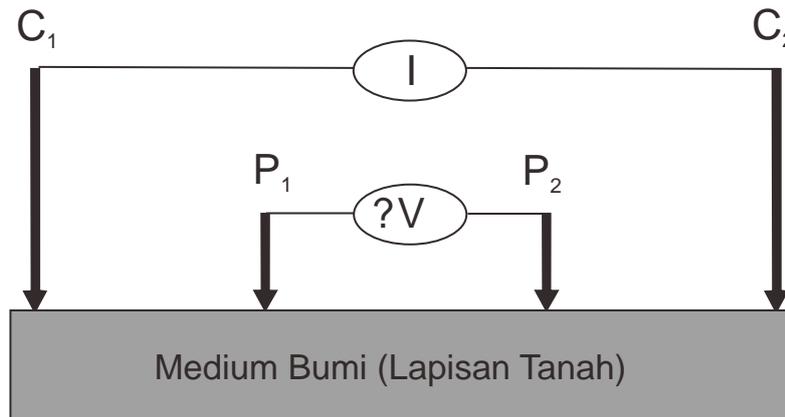
$$K = n(n + 1)(n + 2)\pi a \quad (1)$$

Nilai resistivitasnya dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

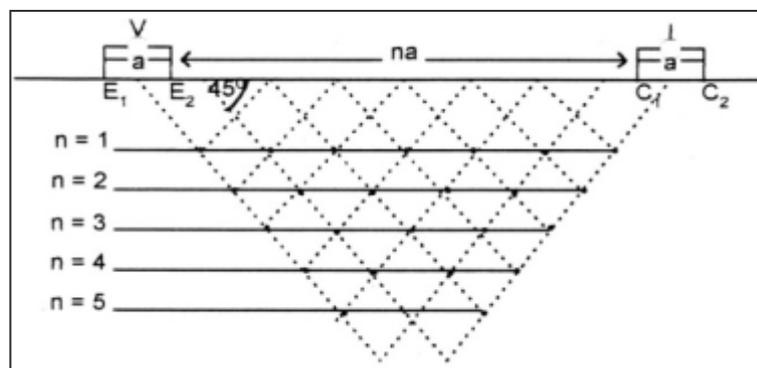
$$\rho_s = n(n + 1)(n + 2)\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

dengan ρ_s : resistivitas semu (Ohm.m), ΔV : beda potensial (V), I : arus yang diinjeksikan (A), dan a : spasi antara pasangan elektroda arus dan elektroda potensial (m).

Data yang diperoleh dari pengukuran geolistrik resistivitas masih merupakan nilai resistivitas semu, untuk memperoleh nilai resistivitas sebenarnya maka dilakukan pemodelan resistivitas. Pemodelan resistivitas menggunakan metode inversi dengan bantuan perangkat lunak inversi *Res2DInv* (Loke, 2004).



Gambar 2. Skema Susunan Elektroda Arus dan Potensial



Sumber : Madden (1976)

Gambar 3. Konfigurasi Elektroda *Dipole-Dipole* (Madden,1976)

Penampang resistivitas hasil pemodelan *Res2DInv* selanjutnya dianalisis dan diinterpretasi berdasarkan nilai resistivitas batuan yang telah dikorelasikan dengan data bor serta data geologi daerah penelitian.

GEOLOGI UMUM

Stratigrafi

Menurut Simandjuntak dkk. (1993), stratigrafi regional daerah penelitian mulai batuan termuda hingga tertua, terdiri atas :

- Aluvium (Qa), merupakan endapan paling muda berumur Holosen terdiri atas lumpur, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal.
- Formasi Langkowala (Tml), berumur Miosen terdiri atas konglomerat, batupasir, serpih, dan setempat kalkarenit.
- Komplek Pompangeo (Mtpm), berumur Kapur – Paleosen terdiri atas sekis mika, sekis glokofan, sekis amfibolit, sekis klorit, rijang

berlapis sekis genesan, pualam, dan batugamping malih.

- Formasi Matano (Km), berumur Kapur terdiri dari batugamping terhablur ulang dan terdaunkan, rijang radiolaria, dan batusabak.
- Komplek Ultramafik (Ku), merupakan batuan tertua berumur Kapur terdiri atas harsburgit, dunit, wherlit, serpentinit, gabro, basal, dolerit, diorit, mafik malih, amfibolit magnesit, dan setempat rodingit.

Struktur Geologi

Struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian berupa sesar geser dan sesar naik dengan arah sesar yang tidak beraturan (Simandjuntak dkk.,1993). Di daerah penelitian terdapat Sesar Sungkup yang berarah hampir Barat-Timur mensesar sungkupkan Komplek Ultramafik ke atas Komplek Pompangeo dan sedimen malih Kabaena, diduga terjadi pada Mesozoikum (Moe'tamar, 2005).

Tatanan Tektonik Regional

Daerah penelitian secara tektonik regional termasuk dalam lajur malihan Sulawesi Tengah. Lajur ini terdiri atas batuan malihan bertekanan tinggi berderajat rendah, seperti : filit, sekis, sabak, serpentinit, kuarsit, batugamping malih (Surono, 2010). Batuan ultramafik merupakan batuan alas berumur kapur. Batuan malihan dari Kompleks Pompangeo terdiri atas berbagai jenis sekis dan sedimen malihan. Batuan ini terbentuk dalam lajur penunjaman pada Kapur Awal hingga Paleosen (Simanjuntak (1986), dalam Moe'tamar (2005)). Batuan ultramafik dan sedimen pelagik (rijang radiolaria) menunjukkan kompleks ofiolit. Kompleks ofiolit ini telah tersesar-naikkan ke atas keping benua, menyebar luasnya molase Sulawesi berupa batuan sedimen klastik dan karbonat, contohnya konglomerat, batupasir, batulanau dari Formasi Langkowala yang berumur Miosen. Batuan Kuartar menindih tak selaras molase Sulawesi, seperti Formasi Buara yang terdiri atas batugamping terumbu koral (Surono, 2010).

Genesa Endapan Nikel Laterit

Nikel laterit adalah material dari *regolit* (lapisan hasil pelapukan batuan yang menyelimuti batuan dasar) yang berasal dari batuan ultra basa yang mengandung unsur Ni dan Co. Laterit berasal dari bahasa latin yaitu *later* (Guilbert dan Park, 1986) artinya bata atau membentuk bongkah-bongkah yang tersusun seperti bata. Tanah laterit tersusun oleh fragmen-fragmen batuan yang mengambang diantara matriks, seperti bata diantara semen. Nikel laterit terbentuk pada daerah yang terletak pada zona perubahan muka air tanah. Terjadinya perubahan dari musim kemarau ke musim hujan akan mempengaruhi pergerakan muka air tanah sehingga sesuai untuk terjadinya pembentukan laterit. Air hujan yang mengandung CO₂ dari udara meresap sampai ke permukaan air tanah sambil melindi mineral primer yang tidak stabil seperti olivin dan piroksen. Air tanah meresap secara perlahan sampai batas antara zona limonit dan saprolit, kemudian mengalir secara lateral dan selanjutnya didominasi transportasi larutan secara horizontal.

Endapan laterit terbentuk dari pelapukan batuan ultramafik seperti peridotit yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (iklim). Cuaca merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur Ni, Co, dan Fe. Air hujan yang mengandung CO₂ dari udara meresap kebawah sampai ke permukaan air tanah

sambil melindi mineral primer yang tidak stabil seperti serpentin dan piroksin. Air tanah meresap secara perlahan dari atas ke bawah sampai batas antara zona limonit dan zona saprolit kemudian mengalir secara lateral dan selanjutnya didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal. Unsur-unsur yang terbawa bersama larutan seperti magnesium dan silika akan mengalami pengendapan yang memungkinkan terbentuknya mineral baru. Larutan yang mengandung nikel hasil dari pengendapan unsur-unsur yang mudah larut akan masuk ke zona saprolit. Pada zona ini batuan ultramafik akan berakumulasi dengan unsur-unsur yang mengandung nikel dan akan mengendap kembali pada rekahan melalui transportasi air tanah yang memasuki rekahan-rekahan tersebut sehingga zona saprolit ini akan menjadi jenuh dengan unsur nikel. Unsur-unsur yang tertinggal di zona limonit seperti Fe, Mg, Co dan Ni akan mengalami pelapukan lebih lambat yang disebabkan oleh kurangnya konsentrasi air tanah pada zona ini sehingga kandungan nikel pada zona limonit akan lebih sedikit dibandingkan kandungan nikel pada zona saprolit.

Penampang Laterit

Apabila dilihat secara vertikal, horizon-horizon utama dari endapan nikel laterit (Sianturi, 2008) adalah sebagai berikut :

- a. Zona Tanah Penutup, merupakan zona top soil hasil pelapukan zona-zona di bawahnya yang memiliki kandungan Ni sangat rendah. Pada zona ini didominasi oleh humus yang bersifat gembur dan kadang-kadang terdapat lempeng silika. Kadar Fe pada zona ini sangat tinggi dan sering dijumpai konkresi-konkresi besi.
- b. Zona limonit, merupakan zona di bawah tanah penutup yang kaya akan oksida besi. Limonit memiliki kandungan unsur Ni yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona tanah penutup tetapi kandungan unsur Fe semakin berkurang. Zona ini didominasi oleh mineral goethit [FeO(OH)] dan mineral lain seperti magnetit [Fe₃O₄], hematit [Fe₂O₃], kromit [Cr₂O₄] serta kuarsa sekunder.
- c. Zona pelindian, merupakan zona transisi dari zona saprolit ke zona limonit. Pada zona ini akan terjadi perubahan geokimia unsur dimana kadar Fe₂O₃ dan Al₂O₃ akan naik, sedangkan kadar SiO₂ dan MgO akan turun.

- d. Zona saprolit, merupakan zona yang terbentuk pada tahap awal proses pelapukan. Batuan asal (ultramafik) pada zona ini akan berubah menjadi saprolit akibat pengaruh air tanah. Mineral-mineral utamanya adalah serpentin, kuarsa sekunder dan garnierit. Mineral garnierit tidak dijumpai sebagai mineral murni tetapi bercampur dengan serpentin kadar rendah lainnya sehingga kadar nikel dalam bijih menjadi menurun. Pada zona ini pergantian magnesium oleh nikel mengakibatkan kadar nikel dalam serpentin akan bertambah.
- e. Batuan dasar (*Bedrock*), merupakan batuan asal berupa batuan ultramafik, seperti harzburgite (peridotit yang kaya akan orthopiroksen), peridotit atau dunit.

Penampang resistivitas yang telah dikorelasi dengan data bor, yaitu :

- Lintasan N-1 (*drill log* : BH-01, BH-02),
- Lintasan N-3 (*drill log* : BH-03).

Drill log BH-01 ditunjukkan pada Gambar 4, zona limonit terdapat pada kedalaman : (0 – 1,8) m dan zona saprolit terdapat pada kedalaman : (1,8 – 5) m. *Drill log* BH-02 (Gambar 5), zona limonit berada pada kedalaman : (0 – 4,5) m sedangkan pada kedalaman : (4,5 – 5) m terdapat zona saprolit. *Drill log* BH-03 (Gambar 6), pada kedalaman : (0 – 3,4) m terdapat zona limonit dan kedalaman : (3,4 – 5) m terdapat zona saprolit.

Nilai resistivitas batuan / *lateritic soil* secara *insitu* (hasil korelasi data bor dengan penampang resistivitas) ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai resistivitas tersebut akan digunakan sebagai referensi ketika melakukan interpretasi nikel laterit (saprolit, limonit) dan batuan dasar (*bedrock*).

HASIL PENELITIAN

Hasil yang diperoleh dalam akuisisi data resistivitas sebanyak 6 (enam) buah lintasan. Panjang lintasan bervariasi mulai dari 400 m s.d. 1600 m. Daftar lintasan geolistrik ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Lintasan Resistivitas

No	Lintasan	Arah Lintasan	Panjang Lintasan
1	N-1	Barat-Timur	1200 m
2	N-2	Barat-Timur	1600 m
3	N-3	Barat-Timur	1600 m
4	N-4	Barat-Timur	400 m
5	N-5	Barat-Timur	400 m
6	N-6	Barat-Timur	1000 m

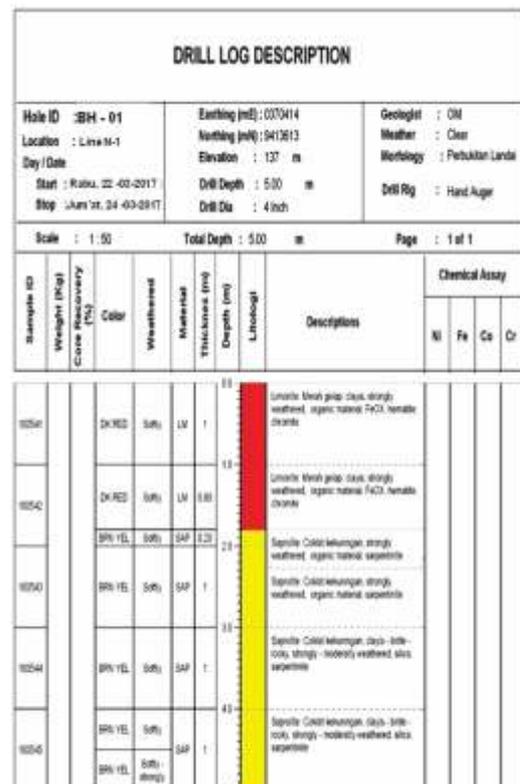
Pada lokasi penelitian dilakukan juga pemboran sebanyak 3 titik, yaitu BH-01, BH-02 dan BH-03. Pemboran menggunakan bor tangan (*hand auger*) dengan kedalaman sampai dengan 5 m. Posisi titik bor berada di atas lintasan geolistrik sehingga data bornya bisa dikorelasikan dengan penampang resistivitas.

Dalam melakukan analisis dan interpretasi, diperlukan nilai resistivitas tanah laterit. Lapisan limonit dan saprolit dapat diklasifikasikan dengan *lateritic soil*. Nilai resistivitas *lateritic soil* berkisar antara : (120 – 750) Ohm.m (Reynold, 1997), sedangkan nilai resistivitas peridotit berkisar antara 3000 Ohm.m (kondisi basah) sampai dengan 6500 Ohm.m untuk kondisi kering (Telford *et. al*, 2004).

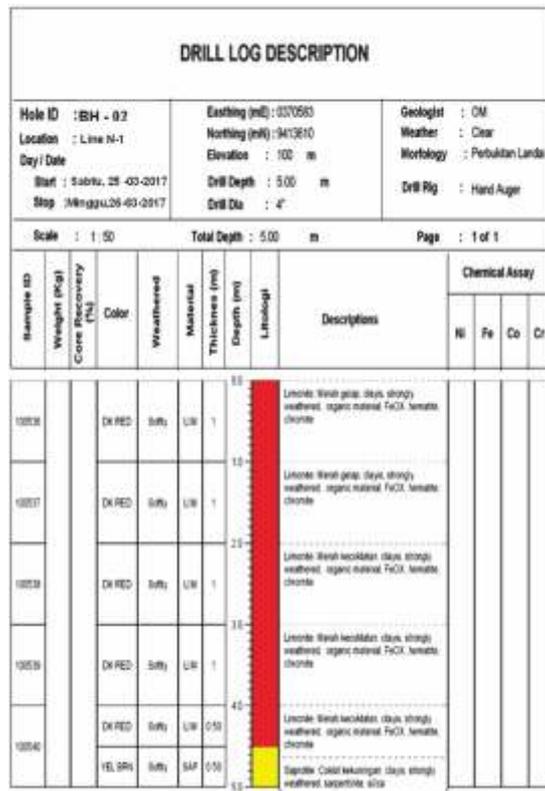
Estimasi nilai resistivitas batuan / *lateritic soil* daerah penelitian dilakukan juga secara *insitu* dari data bor yang dikorelasi dengan penampang resistivitas.

Tabel 2. Nilai Resistivitas *Lateritic Soil* Daerah Penelitian

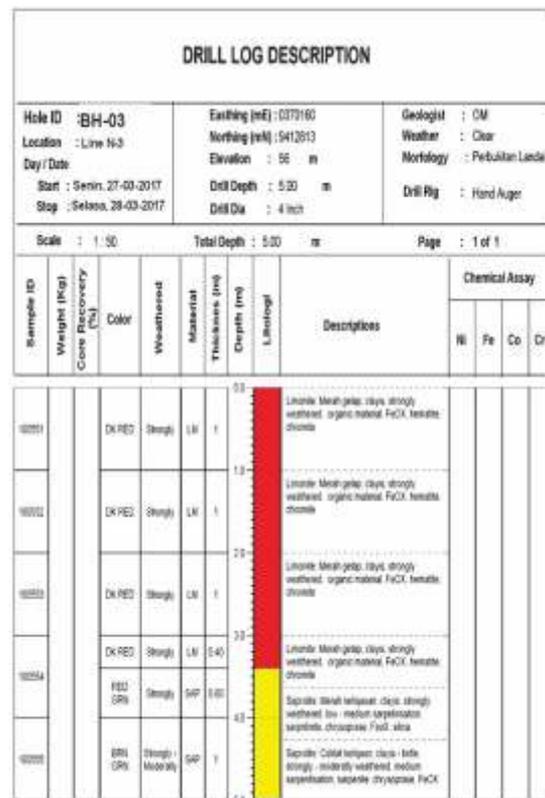
No	Litologi	Nilai Resistivitas (Ohm.m)
1	Limonite overburden/ water-saturated zone	≤ 35
2	Zona Limonit	40-200
3	Zona Saprolit	201-444
4	Saprock	246-645
5	Boulder/ Bedrock	645-3300



Gambar 4. Drill Log BH-01



Gambar 5. Drill Log BH-02



Gambar 6. Drill Log BH-03

DISKUSI

1. Interpretasi Penampang Resistivitas Lintasan N-1

Pada penampang resistivitas Lintasan 1 (Gambar 7) terdapat resistivitas tinggi dengan nilai : (900 – 3300) Ohm.m yang diduga *bedrock*, pada jarak : (860 – 1080) m, dengan kedalaman : (25 – 47) m dari permukaan tanah. Resistivitas tinggi dekat permukaan yang diduga *boulder* dijumpai pula pada jarak : (50 – 610) m. Resistivitas sedang dengan nilai 484 Ohm.m yang terdapat di atas *bedrock* diduga sebagai *saprolite-rock* (*saprock*). *Saprock* merupakan hasil pelapukan dengan tingkat pelapukan yang semakin rendah, sehingga masih menyisakan komponen batuan asal yang keras. Pada batas antar fragmen / rekahan fragmen terdapat mineral garnierit sebagai pengisi ruang kekar. Adanya mineral garnierit akan menambah kandungan nikel karena garnierit mengandung nikel lebih banyak dibandingkan saprolitnya sendiri.

Pada jarak 130 m dan 370 m terdapat rekahan dekat permukaan dengan nilai resistivitas 123 Ohm.m, rekahan tersebut berfungsi sebagai jalan masuk air hujan. Air hujan yang mengandung CO₂ akan meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah sambil melindih mineral primer yang tidak stabil seperti olivin/serpentin, dan piroksin. Air tanah tersebut meresap secara perlahan dari atas ke bawah sampai ke batas antara zona limonit dan zona saprolit, setelah itu mengalir secara lateral dan selanjutnya lebih banyak didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal. Pada jarak : (640 – 1180) m terdapat resistivitas rendah kurang dari 35 Ohm.m yang diduga air permukaan yang merembes ke bawah serta mengalir menuruni lereng, sedangkan pada zona di bawahnya dengan nilai resistivitas : (46 – 200) Ohm.m diduga zona limonit terdapat pada kedalaman < 30 m, dan pada kedalaman : (31 – 50) m terdapat indikasi zona saprolit dengan nilai resistivitas : (201 – 484) Ohm.m. Zona pelindian (*leached zone*) terdapat pada kedalaman 31 m pada zona transisi antara zona limonit dan zona saprolit. Pada zona transisi / zona pelindian terjadi perubahan geokimia unsur, diantaranya : kadar Fe₂O₃ dan Al₂O₃ naik sedangkan kadar SiO₂ dan MgO turun. Zona saprolit dengan nilai resistivitas: (201 – 510) Ohm.m ditemukan juga pada jarak 370 m dengan kedalaman 1,8 m, dan jarak 510 m dengan kedalaman 4,5 m.

2. Interpretasi Penampang Resistivitas Lintasan N-2

Pada penampang resistivitas Lintasan N-2 (Gambar 8) terdapat struktur rekahan (*joint*) dengan nilai resistivitas : 60 Ohm.m pada jarak : 80 m, 230 m, 380 m, 720 m,

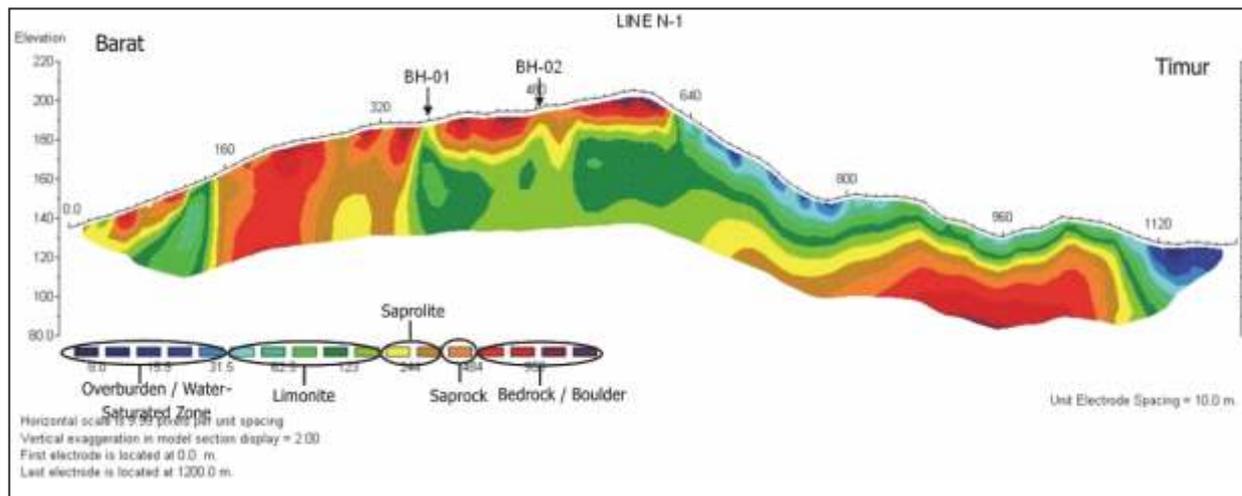
dan 1300 m. Adanya struktur rekahan (*joint*) ini mempermudah air hujan masuk ke dalam celah rekahan dan mempercepat terjadinya proses pelapukan pada batuan ultrabasa yang tersusun atas mineral olivin, piroksen, amfibol, dan mika. Batuan ultrabasa yang mengandung nikel akan mengalami proses serpentinisasi, yaitu proses terisinya retakan atau kekar oleh mineral serpentin yang kemudian mengalami proses kimiawi yang disebabkan karena adanya pengaruh dari tanah. Proses pelapukan fisika dan kimiawi pada batuan ultrabasa mengakibatkan terbentuknya endapan nikel laterit (Prasetiawati, 2004).

Resistivitas tinggi dengan nilai : (450 – 2000) Ohm.m yang diduga sebagai *bedrock* terdapat pada zona paling bawah dengan kedalaman : (20 – 50) m, sedangkan resistivitas tinggi pada jarak : (50 – 740) m dengan pola melensa yang terdapat dekat permukaan diduga *boulder*. Di atas *bedrock* terdapat indikasi *saprock* dengan nilai resistivitas 296 Ohm.m, pada *saprock* dapat dijumpai rekahan fragmen yang mengandung mineral garnierit yang dapat menambah kandungan nikel.

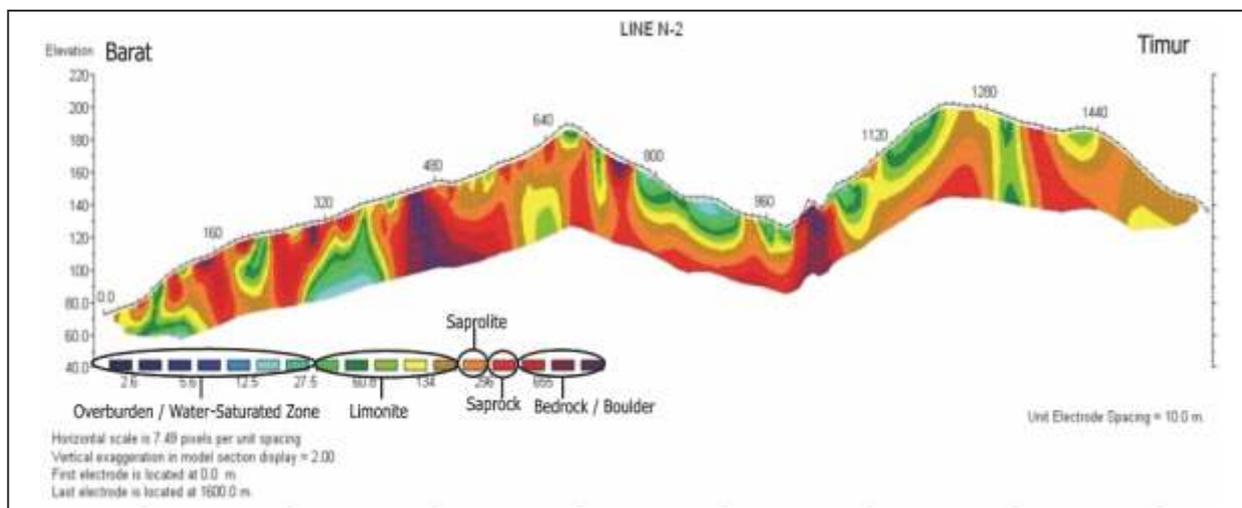
Zona saprolit dengan nilai resistivitas : (200 – 296) Ohm.m terdapat pada kedalaman : (10 – 20) m, sedangkan di atasnya terdapat zona limonit dengan nilai resistivitas : (30 – 199) Ohm.m. Zona saprolit dan limonit yang sangat tebal terdapat pada jarak : (800 – 1070) m, posisi tersebut berada di tengah lembah sehingga terdapat akumulasi air permukaan yang banyak yang mempercepat terjadinya proses pelapukan. Pada jarak : (0 – 670) m zona limonit dan zona saprolit memiliki ketebalan yang tipis karena morfologi lereng turun, air hujan yang masuk ke tanah / batuan akan dialirkan searah kemiringan lereng (pelapukannya sangat lambat), sehingga *bedrock* yang terdapat dekat permukaan (dangkal) banyak ditemukan disepanjang lereng ini pada jarak : (0 – 670) m.

3. Interpretasi Penampang Resistivitas Lintasan N-3

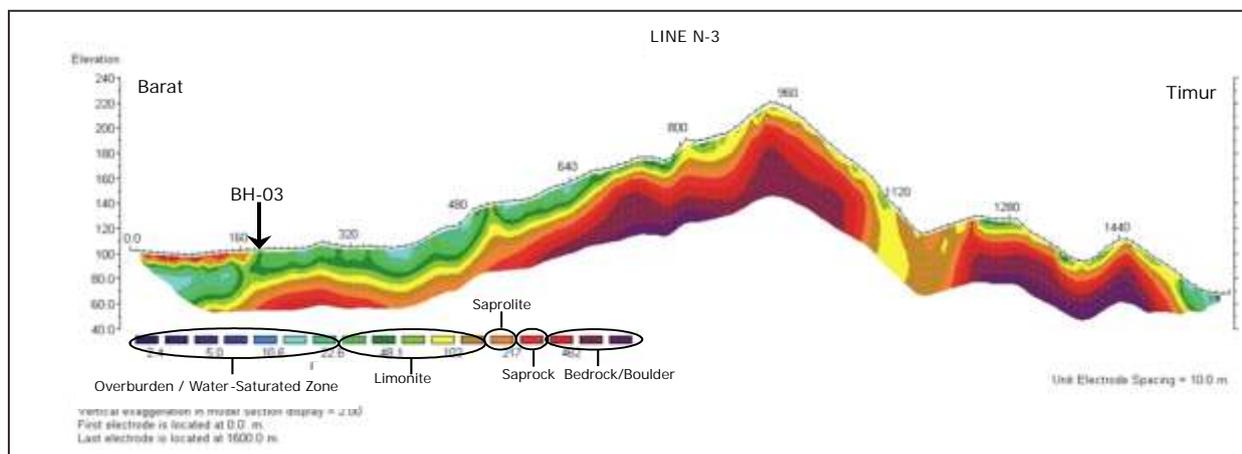
Penampang resistivitas lintasan N-3 ditunjukkan pada Gambar 9. Pada zona paling bawah terdapat resistivitas tinggi dengan nilai diatas 462 Ohm.m yang diduga sebagai *bedrock*. Ketebalan *bedrock* semakin menebal ke bagian tengah penampang (jarak 960 m), merupakan bagian puncak yang memiliki ketinggian paling tinggi, sehingga ketika air hujan turun maka akan segera dialirkan ke bawah lereng, akibatnya sebagian air hujan dibagian puncak lereng tidak sempat meresap secara vertikal ke bawah sehingga proses pelapukan berjalan sangat lambat atau tidak ada sama sekali.



Gambar 7. Penampang Resistivitas Lintasan N-1



Gambar 8. Penampang Resistivitas Lintasan N-2



Gambar 9. Penampang Resistivitas Lintasan N-3

Indikasi saprock dengan nilai resistivitas 345 Ohm.m terdapat disepanjang lintasan di atas *bedrock*. *Saprolite-rock (Saprock)* adalah tanah yang telah mengalami pelapukan dengan tingkat pelapukan yang rendah (masih menyisakan komponen batuan asal). Pada rekahan fragmen dapat dijumpai kehadiran mineral garnierit sebagai pengisi ruang kekar. Adanya garnierit yang mengisi rekahan (kekar) akan menambah kandungan nikel karena garnierit mengandung nikel lebih banyak daripada saprolitnya sendiri (5-20% Nikel).

Zona laterit berikutnya yang terdapat di atas *bedrock* yaitu zona saprolit dengan nilai resistivitas 217 Ohm.m dan di atasnya terdapat zona limonit dengan nilai resistivitas : (40 – 200) Ohm.m. Pada jarak : (640 – 930) m dan (930 – 1180) m topografinya berundulasi dengan kemiringan lereng : 30° – 50° , sehingga air hujan yang jatuh dilokasi tersebut akan segera mengalir menuruni lereng ke arah barat dan timur dan tidak bisa tersimpan terlalu lama, akibatnya ketebalan zona limonit dan zona saprolitnya tipis karena waktu proses pelapukan pada *bedrock* berlangsung singkat. Hal ini berbeda dengan zona limonit dan zona saprolit disebelah barat pada jarak : (0 – 490) m, (1170 – 1290) m dan (1560 – 1600) m pada lokasi ini topografinya relatif landai sehingga ketika mendapatkan kiriman air hujan dari atas lereng, air tersebut akan mengalir secara lateral dengan pergerakan yang sangat lambat dan akan meresap secara vertikal ke bawah permukaan dengan cepat sampai *bedrock*, sehingga akan mempercepat proses pelapukan sebagai salah satu faktor terbentuknya zona limonit dan zona saprolit.

4. Interpretasi Penampang Resistivitas Lintasan N-4

Pada (Gambar 10) menampilkan penampang resistivitas lintasan N-4. Indikasi *bedrock* dengan nilai resistivitas diatas 474 Ohm.m terdapat pada jarak : (70 – 250) m dengan kedalaman : (25 – 40) m, sedangkan di atasnya terdapat *saprock* dengan nilai resistivitas 345 Ohm.m, dan zona saprolit dengan nilai resistivitas : (190 – 235) Ohm.m serta zona limonit dengan nilai resistivitas : (40 – 200) Ohm.m. Zona limonit dan zona saprolit pada jarak : (70 – 250) m lebih tipis kedalamannya dibandingkan yang disebelah timur, hal ini terjadi karena berada di atas lereng dengan kemiringan sekitar 30° sehingga air tidak sempat meresap secara vertikal ke dalam *bedrock* akibatnya hampir tidak ada proses pelapukan. Zona limonit dan zona saprolit pada jarak (270 – 320) m memiliki ketebalan yang lebih tebal dibandingkan disebelah

barat, hal ini terjadi karena pada jarak tersebut sudah relatif landai sehingga memudahkan air untuk masuk ke dalam tanah sampai ke *bedrock*. Oleh karena itu proses pelapukan bisa berlangsung. Pada penampang lintasan N-4 tidak ditemukan adanya *boulder* yang dekat permukaan, hal ini bisa dilihat dari tidak adanya pola melensa yang memiliki resistivitas tinggi > 474 Ohm.m.

5. Interpretasi Penampang Resistivitas Lintasan N-5

Pada (Gambar 11) menampilkan penampang resistivitas lintasan N-5. *Limonite Overburden* dengan nilai resistivitas sangat rendah kurang dari 50 Ohm.m terdapat disepanjang lintasan. Pada *limonite overburden* diduga terdapat zona jenuh air, hal ini bisa dilihat dari nilai resistivitasnya yang sangat rendah sampai 15,7 Ohm.m. Pada zona di bawahnya terdapat indikasi limonit dengan nilai resistivitas : (51 – 200) Ohm.m pada jarak : (0 – 400) m, dengan ketebalan : (12 – 50) m. Limonit yang sangat tebal terdapat pada jarak : (220 – 270) m ke arah Timur. Zona di bawah limonit terdapat zona saprolit dengan nilai resistivitas 205 Ohm.m dengan ketebalan sekitar 4 m serta *saprock* dengan nilai resistivitas 246 Ohm.m. Pada zona paling bawah terdapat resistivitas tinggi dengan nilai di atas 470 Ohm.m yang diduga batuan dasar (*bedrock*) dengan kedalaman : (15 – 50) m.

Proses pelapukan batuan terdapat pada jarak: (220 – 260) m. Secara morfologi lokasi tersebut relatif landai sehingga air hujan dapat meresap masuk ke dalam tanah / batuan yang mempercepat proses pelapukan serta menguraikan mineral – mineral yang tidak stabil seperti olivin dan piroksen pada batuan ultrabasa, setelah itu menghasilkan Mg, Fe, Ni yang larut dalam Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel – partikel silika sangat halus. Larutan yang mengandung Mg, Ni, dan Si akan terus menerus mengalir ke bawah tanah, sampai pada suatu kondisi netral akibat adanya kontak dengan tanah dan batuan, sehingga akan terbentuk endapan hidrosilikat yang mengandung nikel yang mengendap pada rekahan batuan (urat garnierit)

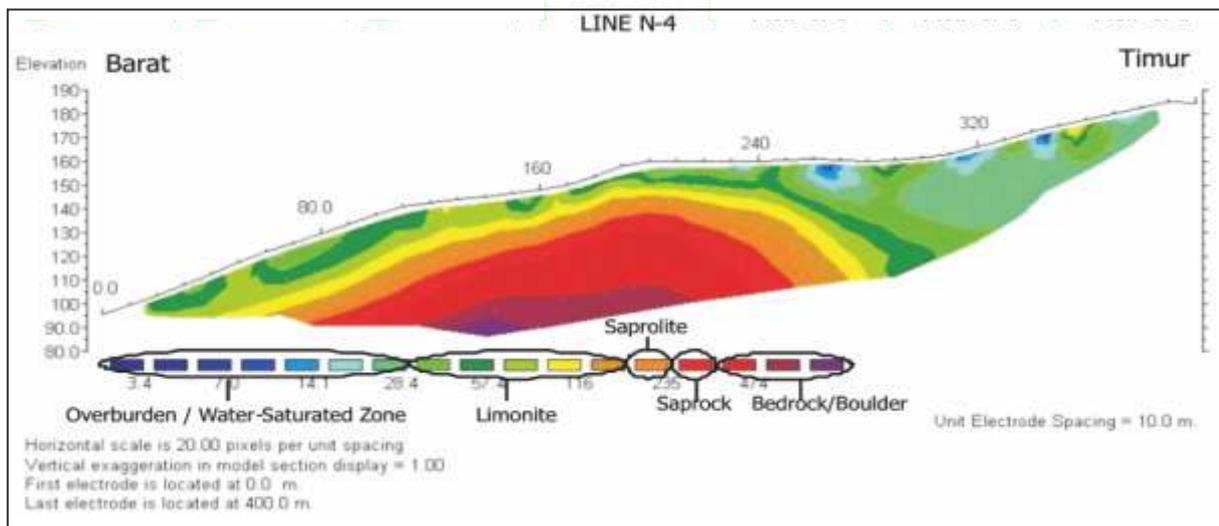
6. Interpretasi Penampang Resistivitas Lintasan N-6

Pada penampang resistivitas lintasan N-6 (Gambar 12) terdapat pola melensa dengan nilai resistivitas sangat rendah : (4 – 12) Ohm.m pada jarak : (80 – 500) m yang diduga zona jenuh air (*water-saturated zone*).

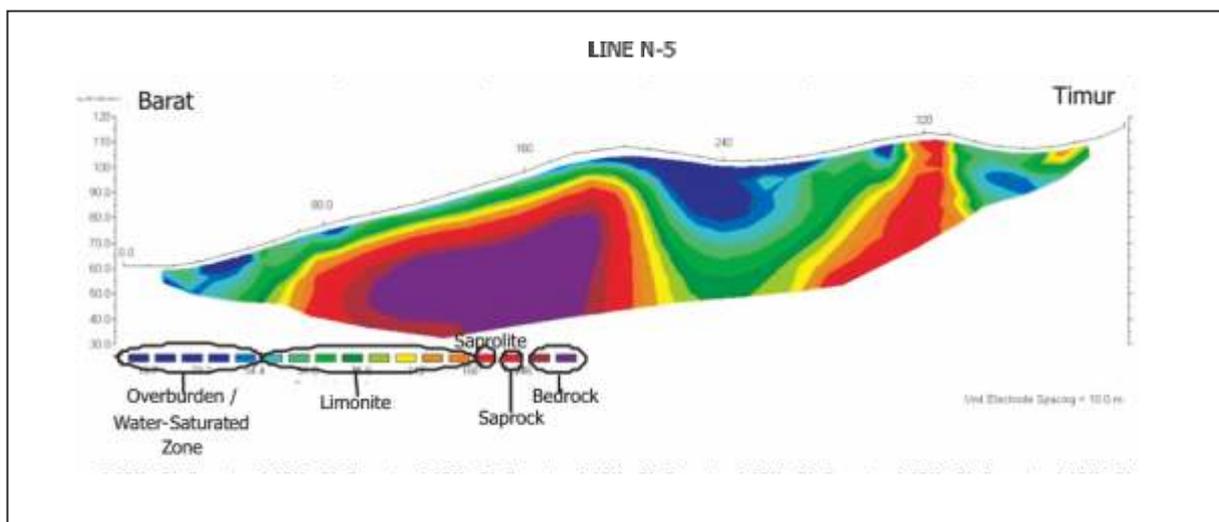
Resistivitas rendah dengan nilai : (60 – 200) Ohm.m diduga zona limonit terdapat pada bagian atas zona laterit dengan ketebalan : (9 – 43) m, sedangkan di bawahnya terdapat indikasi zona saprolit dengan nilai resistivitas 404 Ohm.m yang terdapat disepanjang penampang dengan ketebalan rata-rata 7 m, serta *saprock* dengan nilai resistivitas 645 Ohm.m. Pada zona antara limonit dan saprolit terdapat zona transisi yang dinamakan zona pelindian. Pada zona pelindian terjadi perubahan geokimia unsur yang terbesar dalam

penampang, yaitu kadar Fe_2O_3 dan Al_2O_3 naik sedangkan kadar SiO_2 dan MgO turun.

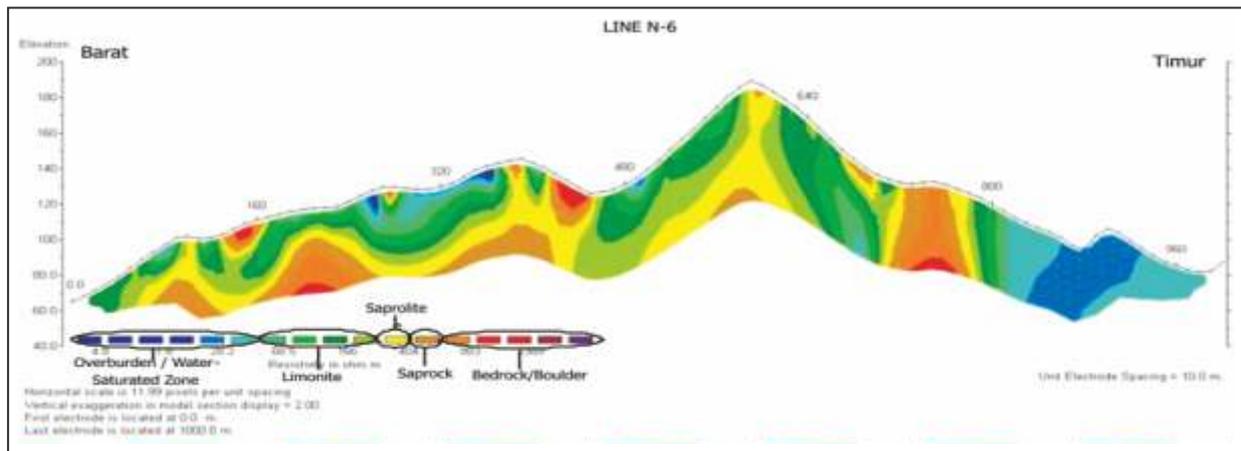
Pada zona paling bawah terdapat resistivitas tinggi dengan nilai : (983 – 4000) Ohm.m diduga sebagai batuan dasar (*bedrock*) terdapat pada jarak : (0 – 800) m dengan kedalaman : (27 – 50) m, sedangkan resistivitas tinggi dengan pola melensa terdapat pada zona dekat permukaan yang diduga *bedrock* pada jarak : 150 m, 270 m, 390 m, 430 m dan 700 m.



Gambar 10. Penampang Resistivitas Lintasan N-4



Gambar 11. Penampang Resistivitas Lintasan N-5



Gambar 12. Penampang Resistivitas Lintasan N-6

KESIMPULAN

Model endapan nikel laterit di daerah penelitian secara vertikal dari atas ke bawah terdiri atas : *lateritic soil* yang memiliki nilai resistivitas rendah dan *bedrock* yang memiliki nilai resistivitas tinggi. *Lateritic soil* terdiri atas zona limonit yang memiliki nilai resistivitas : (40 – 200) Ohm.m dengan ketebalan antara : (9 – 43) m, zona saprolit yang memiliki nilai resistivitas : (201 – 444) Ohm.m dengan ketebalan antara : (3 – 20) m dan *saprock* dengan nilai resistivitas : (246 – 645) Ohm.m, sedangkan *bedrock* berupa batuan peridotit memiliki nilai resistivitas tinggi : (645 – 3300) Ohm.m dan kedalaman : (15 – 47) m. Pada topografi yang relatif landai akan diperoleh zona saprolit dan zona limonit yang lebih tebal dibandingkan lokasi yang terjal atau berada disekitar kemiringan lereng.

Zona pelindian yang terletak pada zona transisi antara zona limonit dan zona saprolit memiliki nilai resistivitas sekitar : (200 – 220) Ohm.m. Pada zona pelindian ini

terjadi penambahan dan pengurangan larutan pembawa Ni, Mg, dan Si secara kontinu yang akan mengakibatkan terurainya silikat yang mengandung nikel dan larutnya unsur-unsur seperti Ni, Mg, dan Si.

Struktur rekahan (*joint*) dengan nilai resistivitas : (60 – 123) Ohm.m banyak ditemukan di dekat permukaan. Rekahan batuan membantu terjadinya proses pelapukan karena dapat berfungsi sebagai jalan masuknya air hujan (mengandung CO₂), selain itu berfungsi untuk mengendapkan nikel yang terdapat pada silikat dan rekahan tersebut dikenal pula dengan urat – urat garnierit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi, yang telah mengizinkan Dewan Redaksi Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral menerima makalah ini untuk diterbitkan.

ACUAN

- Elias M, 2001. Global Lateritic Nickel Resources. CSA Australia Pty Ltd., New Caledonia Nickel Conference, June 25th, 2001.
- Guilbert, J.M. dan Park, C.F. Jr., 1986. *The Geology of Ore Deposits*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Jafar, N., 2017. Identifikasi Sebaran Nikel Laterit Berdasarkan Hasil *Test Pit* Kecamatan Kabaena, Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geomine.*, v. 5, no. 2 : 94-99
- Loke, M.H., 2004. Res2Dinv ver. 3.54, *Rapid 2D Resistivitas and IP Inversion Using the Least-Squares method*, Geotomo Software, Malaysia : 11-36.

-
- Moe'tamar., 2005. Inventarisasi dan Evaluasi Mineral Logam di Daerah Kabupaten Bombana dan Kabupaten Muna Provinsi Sulawesi Tenggara, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung (Tidak terbit).
- Madden, T.R. 1976, *In Mining Geophysics*, Tulsa : Society of Exploration Geophysicists
- Prasetyawati, Lukei, 2004. Aplikasi metode resistivitas dalam eksplorasi Endapan laterit nikel serta studi perbedaan Ketebalan endapannya berdasarkan morfologi Lapangan, Universitas Indonesia, Jakarta (tidak terbit).
- Reynolds, J.M., 1998. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons, New York, 418p.
- Simandjuntak, T.O., Surono., dan Sukido., 1993. *Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi, Sekala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Santoso, B., Wijatmoko, B., Supriyana, E., dan Harja, A., 2016, *Penentuan Resistivitas Batubara Menggunakan Metode Electrical Resistivitas Tomography dan Vertical Electrical Sounding*. Jurnal Material dan Energi Indonesia., v. 6., no. 1 : 8 – 14.
- Sianturi, Henry K, 2008. Deteksi Keberadaan Endapan Nikel Laterit dengan Pemanfaatan Gelombang Radar . Universitas Indonesia, Jakarta (tidak terbit).
- Surono, 2010. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*, Badan Geologi, Bandung.
- Telford, W.M., L.P Geldart, and R.E. Sheriff, 2004. *Applied Geophysics 2nd Edition*, Cambridge University Press, Cambridge : 579-581.
-