



Karakteristik Zona Laterit Berdasarkan Data Sumur Uji di Kecamatan Bungku Pesisir, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah¹

Characteristics of Laterite Zone Based on Test Pit Data in Bungku Pesisir District, Morowali Regency, Central Sulawesi

Arif^{a,2}, Lama^b, Nurfasih^c

^{a,b,c} Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Jl. Pemuda 339 Kolaka

ABSTRAK

Daerah penelitian terletak di Kecamatan Bungku Pesisir, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Pengambilan data penelitian dilakukan pada lubang sumur uji. Jarak antara titik sumur uji yaitu 25 m, dengan 5 titik sumur uji yang memanjang seluas 100 x 25 m. Dinding sumur uji kemudian di deskripsi secara langsung tiap lapisan. Informasi yang diperoleh dari pengamatan dinding sumur uji adalah warna lapisan tanah, jenis mineralisasi, tingkat pelapukan serta ukuran butir. Zona overburden didasarkan pada kenampakan fisik dari dinding sumur uji dilapangan yang umumnya banyak di jumpai bahan organik seperti akar tanaman. Secara umum dijumpai mineral seperti besi oksida, kromit, Goetit. Ketebalan zona overburden berkisar 4 - 11 m. Zona limonit umumnya sangat lunak, tersusun oleh mineral lempung. Mineral yang umum dijumpai yaitu oksida besi, seperti goetit, hematit, limonit, mangan dan talk. Kadar nikel berkisar 0,30% - 1,42% dengan ketebalan berkisar 2 - 3 m. Zona saprolit merupakan zona yang kaya akan unsur Ni dan Mg serta minim akan unsur Fe. Banyak dijumpai proses pengayaan, yang ditandai dengan munculnya mineral serpentin dan garnierit magnesit. Kadar nikel kisaran 1,7% - 3,4%. Ketebalan lapisan antara 3 - 8 m. Zona bedrock memperlihatkan rekahan dengan intensitas yang cukup tinggi dengan tingkat pelapukan dan serpentinisasi rendah, masif dan kompak. Umumnya rekahan-rekahan yang berbentuk tidak beraturan diisi oleh mineral silika membentuk *silica boxwork* dan mineral garnierit.

Kata kunci: Sumur uji, laterit, pelapukan

ABSTRACT

The research area is located in Bungku Pesisir District, Morowali Regency, Central Sulawesi Province. The research data was collected at the test pit. The distance between the test pit points is 25 m, with 5 test pit points extending 100 x 25 m. The wall of the test pit is then directly described for each layer. The information obtained from the observation of the walls of the test well is the color of the soil layer, the type of mineralization, the level of weathering, and the grain size. The overburden zone is based on the physical appearance of the wall of the test pit in the field, which generally contains a lot of organic material such as plant roots. In general, found minerals such as iron oxide, chromite, and goethite. The overburden zone thickness ranges from 4 - 11 m. Limonite zones are generally very soft and composed of clay minerals. Commonly found minerals are iron oxides, such as goethite, hematite, limonite, manganese, and talc. Nickel content ranges from 0.30% - 1.42% with a thickness ranging from 2 - 3 m. The saprolite zone is a zone rich in Ni and Mg and low in Fe. There are many enrichment processes, which are characterized by the appearance of serpentine minerals and magnesite garnierite. Nickel content ranges from 1.7% - 3.4%. Layer thickness between 3 - 8 m. The bedrock zone shows fractures with fairly high intensity with low weathering and serpentinization, massive and compact. Generally, irregularly shaped fractures are filled with silica minerals to form silica box work and garnierite minerals.

¹ Info Artikel: Received: 13 Oktober 2022, Revised: 2 Desember 2022, Accepted: 6 Desember 2022, Published: 22 Desember 2022

² Email: arif.jgm@gmail.com

Keywords: Test pit, laterite, weathering

PENDAHULUAN

Saat ini, Indonesia menempati urutan pertama sebagai negara produsen bijih nikel laterit di dunia. Produksi bijih nikel Indonesia pada tahun 2021 mencapai 1 juta metrik ton, atau sekitar 37,04% produksi bijih nikel dunia dihasilkan di Indonesia (Anonim, 2022). Berdasarkan laporan USGS dan Badan Geologi, jumlah cadangan nikel Indonesia tahun 2020 lalu mencapai angka 72 juta ton dari total cadangan dunia sebesar 139 juta ton atau sekitar 52% dari cadangan nikel dunia (Anonim, 2021). Sebagian besar cadangan nikel Indonesia tersebar di kawasan timur Indonesia seperti Pulau Sulawesi, salah satunya di daerah Morowali.

Nikel laterit merupakan endapan yang terbentuk akibat proses konsentrasi mineral-mineral berharga, mengandung nikel yang berasal dari pelapukan batuan dasar (*bedrock*) berupa batuan ultramafik (Arif, 2018). Hasil dari proses pelapukan lanjut pada batuan ultramafik pembawa nikel silikat. Umumnya endapan nikel laterit ditemukan pada daerah dengan iklim tropis hingga subtropis (Syafrizal et al., 2009) (Wakila et al., 2019). Pelapukan pada batuan ultramafik mengakibatkan unsur-unsur dengan mobilitas rendah sampai *immobile* seperti silika, besi dan kobal (Indra Kusuma et al., 2019) mengalami pengayaan secara residual dan sekunder (Burger, 1996) (Haya et al., 2019).

Karakteristik endapan nikel laterit sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti keadaan topografi, iklim, serta kondisi geologi yang ada. Berbagai faktor tersebut turut membentuk karakteristik fisik dan mineralogi pada tiap zona nikel laterit (Syafrizal et al., 2012). Proses laterisasi endapan nikel laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona dengan kadar dan ketebalan yang berbeda. Daerah dengan intensitas struktur rekahan yang cukup intensif memungkinkan untuk memiliki profil lapisan endapan lebih tebal jika dibandingkan dengan daerah yang struktur rekahannya kurang intensif. Perbedaan intensitas rekahan tersebut yang mengakibatkan distribusi pengayaan unsur-unsur mineral pada endapan nikel laterit tidak merata.

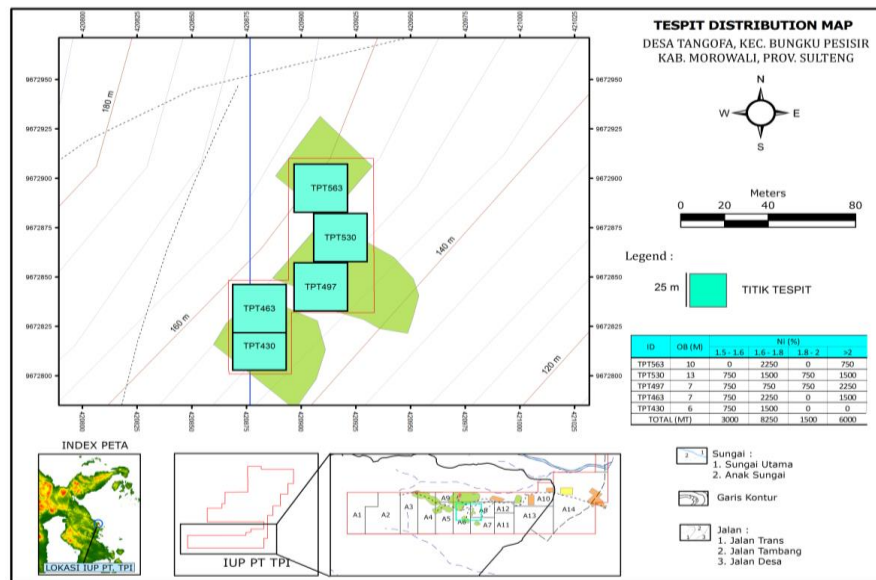
Salah satu cara yang sering digunakan dalam mencari endapan dan memastikan kemenerusan lapisan secara vertical adalah dengan cara membuat sumur uji (*test pit*). Sumur uji ini dibuat apabila diperlukan kedalaman yang lebih (> 2,5 m). Secara umum dilapangan, ukuran lubang bukaan sumur uji berkisar 2–3 m. Dengan kedalaman bervariasi, disesuaikan dengan lapisan dari batuan dasar (*bedrock*), kemampuan pekerja atau alat gali serta tujuan dari pembuatan sumur uji tersebut. Maksud pembuatan sumur uji pada endapan nikel laterit yaitu untuk mengambil sampel, mendeskripsikan mineral-mineral yang ada, mendapatkan batas-batas zona lapisan, ketebalan masing-masing zona serta variasi vertikal masing-masing zona.

Sumur uji banyak diterapkan dilapangan dalam kegiatan eksplorasi nikel laterit. Sebab, sumur uji relatif cepat dan mudah dalam pembuatannya dilapangan serta biaya relatif lebih murah jika dibandingkan dengan metode pemboran. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik zona lapisan laterit daerah penelitian berdasarkan hasil pengamatan pada sumur uji.

METODE PENELITIAN

Pengambilan data penelitian dilakukan pada lubang sumur uji (*test pit*). Jarak antara titik sumur uji yaitu 25 meter, dengan 5 titik sumur uji yang memanjang seluas 100 x 25 m atau seperempat hektar. Kedalaman sumur uji disesuaikan dengan kemampuan alat gali (*excavator*) dan data yang dibutuhkan dengan memperhitungkan biaya yang digunakan. Dinding sumur uji kemudian di deskripsi secara langsung tiap lapisan. Informasi yang diperoleh dari pengamatan dinding sumur uji adalah warna lapisan tanah, jenis mineralisasi, tingkat pelapukan serta ukuran butir.

Setelah dilakukan deskripsi pada sumur uji, kemudian dilakukan pengambilan sampel tiap interval satu (1) meter. Sampel tanah tersebut kemudian dikirim ke laboratorium untuk dilakukan analisis geokimia menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) guna mengetahui kualitas kadar (*assay*) unsur tiap lapisan tanah. Lokasi pembuatan sumur uji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta distribusi sumur uji pada lokasi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geomorfologi

Geomorfologi daerah penelitian terbagi menjadi tiga (3) bagian, yaitu (a) Daerah Perbukitan Tinggi; (b) Daerah Perbukitan Denudasional, serta (c) Endapan Aluvial.

Satuan geomorfologi Perbukitan ini, mencangkup luas 54% dari total luasan daerah penelitian. Terletak pada bagian utara sampai kearah selatan dengan kemiringan 20° - 45° dominan tersusun oleh batu gamping dengan pelembaran mengikuti kawasan perbukitan di utara daerah penelitian hingga perbukitan bagian tengah dan barat.

Satuan geomorfologi Bergelombang Denudasional ini, memiliki kemiringan lereng antara 5° - 20°. Menyebar dibagian Selatan dan Barat dan sedikit pada bagian Tengah mencangkup luas 22% areal penelitian. Tersusun oleh batuan ultrabasa berupa peridotit, serpentinit, dan

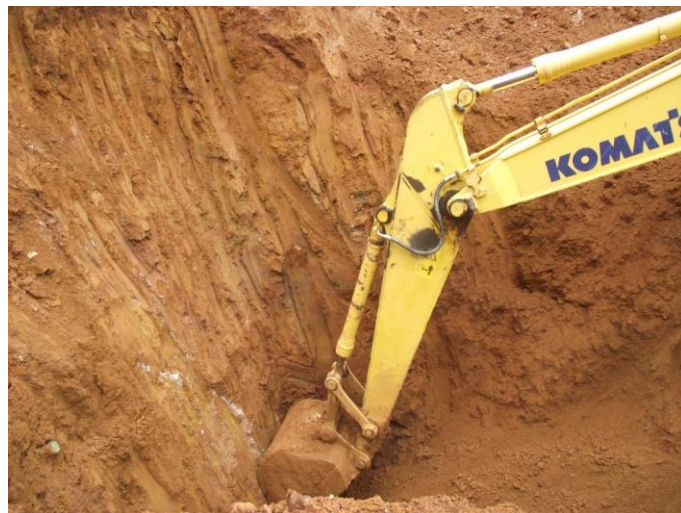
dunit. Satuan geomorfologi ini banyak dimanfaatkan sebagai area perkebunan oleh penduduk setempat.

Endapan Aluvial ini, terdapat pada bagian Timur dan Barat daerah penelitian memanjang sepanjang sungai dan tepi pantai, banyak dimanfaatkan sebagai area pertanian oleh masyarakat dan juga area pemukiman yang padat penduduk, mencakup luas 24% area penelitian. Dengan kemiringan lereng 0° sampai 10° . tersusun dari material lepas berukuran kerakal, pasir dan lempung yang merupakan endapan dari hasil erosi.

Sumur Uji (*Test Pit*)

Untuk dapat mengetahui warna lapisan tanah, jenis mineralisasi, tingkat pelapukan serta ukuran butir, maka dilakukan penggalian sumur uji di beberapa titik. Pengambilan data dan deskripsi pada dinding sumur uji mempunyai kelebihan tersendiri, yaitu *geologist* dapat mengamati secara langsung pada dinding sumur uji tersebut. Sumur uji dibuat dengan menggunakan bantuan alat mekanis (*excavator*) dengan model mengerucut kebawah (seperti ditunjukkan pada gambar 2) guna untuk menghindari terjadinya longsor pada dinding sumur uji.

Sumur uji yang diamati dan dideskripsi berjumlah lima (5) lubang, dengan kedalaman yang bervariasi. Kedalaman yang bervariasi ini, disebabkan oleh beberapa faktor seperti geomorfologi, struktur geologi dan laju pelapukan daerah telitian. Deskripsi dari masing-masing sumur uji, diuraikan pada penjelasan berikut:



Gambar 2. Pembuatan sumur uji dengan bantuan alat gali

TPT 430

Sumur uji ini mempunyai kedalaman hingga 14 m. Kenampakan fisik di lapangan zona *overburden/topsoil* mempunyai kedalaman yaitu 4 m, dengan kenampakan berwarna merah tua – kehitaman. Pada kedalaman 4 – 6 m merupakan zona limonit, dengan kenampakan warna coklat tua - warna kuning dan terdapat mineral-mineral seperti goetit, hematit, mangan dan silika. Ukuran butir yang teridentifikasi yaitu halus (ukuran butir 2 cm), dengan sedikit serpentinisasi, dan untuk tingkat pelapukan cukup tinggi.

Zona saprolit ditemukan pada kedalaman 6 - 14 m, dengan kenampakan berwarna coklat tua, kuning, merah, dan hijau. Pada zona tersebut terdapat mineral-mineral seperti serpentin,

garnierit, olivin, besi oksida dan silika, dengan ukuran butir masih halus-sedang, tingkat serpentinisasi rendah - tinggi dan tingkat pelapukan rendah - sedang.

TPT 463

Kedalaman sumur uji ini mencapai 15 m. Berdasarkan kenampakan di lapangan zona *overburden/topsoil* mempunyai kedalaman hingga 4 m, dengan kenampakan warna merah tua – kehitaman. Zona limonit ditemukan pada kedalaman 4-7 m dengan kenampakan warna coklat tua - warna kuning, terdapat mineral-mineral seperti goetit, hematit, dan silika. Sedangkan pada ukuran butir halus (ukuran butir 2 cm), tidak terdapat terdapat serpentinisasi, dengan tingkat pelapukan relatif tinggi.

Zona saprolit mulai terdapat pada kedalaman 7-15 m dengan kenampakan warna coklat tua, kuning, merah, dan hijau. Mineral - mineral yang teridentifikasi pada zona saprolite yaitu serpentin, garnierit, olivin, mangan dan silika. Ukuran butir masih halus-sedang, tingkat serpentinisasi rendah - sedang dan tingkat pelapukan rendah – tinggi.

TPT 497

Sumur uji ini mempunyai kedalaman 17 m, berdasarkan kenampakan di lapangan zona *overburden/topsoil* berada sampai kedalaman 7 m dengan kenampakan fisik warna merah tua – kehitaman. Kedalaman 7 - 9 m sudah termasuk zona limonit, dengan kenampakan warna bervariasi dari warna coklat, kuning, hijau, dan warna hita. Pada zona limonit, terdapat mineral-mineral seperti goetit, hematit, mangan dan silika. Ukuran butir halus (ukuran butir 2 cm), tidak terdapat serpentinisasi, dengan tingkat pelapukan masih tinggi.

Zona saprolit terdapat pada kedalaman 9 - 17 m dengan kenampakan warna coklat, kuning, merah dan hijau. Pada zona saprolite, teridentifikasi mineral-mineral seperti serpentin, magnesit, besi oksida, olivin lapuk, dan silika, dengan ukuran butir masih halus-sedang, tingkat serpentinisasi rendah - tinggi dan laju pelapukan rendah – sedang.

TPT 530

Sumur uji ini mempunyai kedalaman hingga 22 m. Berdasarkan kenampakan di lapangan zona *overburden/topsoil* cukup tebal dengan kedalaman yaitu 11 m. Kenampakan fisik berwarna merah tua - kehitaman. Zona limonit berada pada kedalaman 11 - 13 m termasuk zona yang tipis sebab hanya berkisar 2 m dengan kenampakan warna coklat tua - merah, terdapat mineral-mineral seperti goetit, mangan, hematit, mangan dan silika. Ukuran butir halus (ukuran butir 2 cm), tidak terdapat serpentinisasi, dengan laju pelapukan masih tinggi.

Zona saprolit terdapat pada kedalaman 13-22 m, untuk kenampakan warna coklat muda - coklat tua, merah, dan kehijauan. Hasil pengamatan memperlihatkan mineral-mineral seperti serpentin, garnierit, olivin lapuk, dan silika, dengan ukuran butir sedang, tingkat serpentinisasi sedang - tinggi dan tingkat pelapukan termasuk rendah – sedang. Lapisan paling bawah ditemukan *bedrock*.

TPT 563

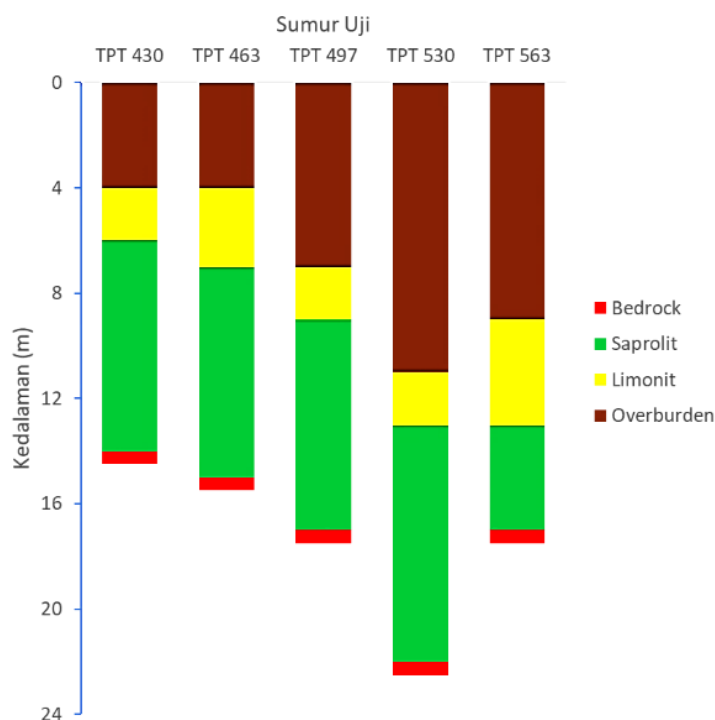
Sumur uji ini mempunyai kedalaman hingga 16 m. Berdasarkan kenampakan fisiknya di lapangan, zona *overburden/topsoil* mempunyai kedalaman 9 m dicirikan dengan kenampakan warna merah tua – kehitaman. Pada kedalaman 9 - 13 m sudah termasuk zona limonit dengan kenampakan fisik berwarna coklat muda - coklat tua dengan sedikit warna merah, terdapat mineral-mineral seperti goetit, mangan, hematit, mangan dan silika. Ukuran

butir halus - sedang (ukuran butir 2 - 6 cm), dengan tingkat serpentinisasi rendah, dan tingkat pelapukan cukup tinggi.



Gambar 3. Kenampakan Mineral Garnerit Pada Dinding Sumur Uji

Zona saprolit berada pada kedalaman 13 - 16 m untuk kenampakan warnanya coklat muda - coklat tua dan hijau. Pada zona tersebut terdapat mineral-mineral seperti serpentin, olivin, silika, dan mineral besi oksida. Ukuran butir masih halus-sedang, dengan tingkat serpentinisasi sedang (*medium*) dan tingkat pelapukan termasuk sedang. Dilapisan paling bawah ditemukan *bedrock*.



Gambar 4. Penampang umum nikel laterit pada lokasi penelitian

Karakteristik Zona Laterit Pada Daerah Penelitian

Dalam penentuan karakteristik mineralogi, dari endapan bijih nikel yang sesuai dengan deskripsi dinding sumur uji ini dicirikan oleh kenampakan fisik berupa warna yang nampak pada setiap perlapisan, ukuran butir, tingkat pelapukan, proses mineralisasi serta kandungan mineral-mineral yang terdapat pada tiap lapisan zona laterisasi.

Zona Overburden/Top Soil

Klasifikasi zona overburden/top soil didasarkan pada kenampakan fisik dari dinding sumur uji dilapangan yang umumnya dicirikan warna coklat tua - kehitaman, ukuran butir halus kurang dari 2 mm, tingkat pelapukan tinggi, dan banyak di jumpai bahan organik seperti akar tanaman. Secara megaskopis dilapangan dijumpai mineral seperti Besi Oksida, Kromit, Goetit. Pada zona ini tidak dilakukan pengambilan sampel, sebab dianggap tidak ekonomis, dan pada zona ini mengandung unsur hara yang tinggi, jadi akan digunakan pada saat reklamasi, ketebalan zona *overburden* pada lokasi penelitian antara 4 meter sampai dengan 11 meter. Ketebalan endapan laterit Daerah Bungku relatif dikendalikan oleh bentuk geomorfologi area penelitian dengan kemiringan lereng relatif landai, sehingga perkembangan lapisan laterit cukup baik.

Zona Limonit

Zona ini merupakan lapisan yang kaya akan oksida besi akibat dari proses pengayaan residual. Lapisan ini umumnya sangat lunak sebab tersusun oleh mineral lempung. Hasil deskripsi dilapangan, kenampakan fisik memperlihatkan ciri berwarna kuning kecoklatan – kemerahan, ukuran butir halus kurang dari 2 mm, tingkat pelapukan tinggi, serta masih banyak di jumpai akar tanaman, secara megaskopis dilapangan pada zona limonit banyak dijumpai mineral-mineral oksida besi, seperti goetit, hematit, limonit dan kadang dijumpai mangan serta talk. Hasil analisis XRF memperlihatkan kadar unsur nikel berkisar 0,30% sampai dengan 1,42% Ni. Ketebalan zona lapisan ini yaitu berkisar 2 - 3 meter.

Zona Saprolit

Zona saprolit pada lokasi penelitian merupakan zona yang kaya akan unsur Ni dan Mg serta minim akan unsur Fe. Hal ini sejalan dengan hasil yang ditunjukkan oleh beberapa penelitian sebelumnya seperti (Hernandi et al., 2017) (Kamaruddin et al., 2018).

Hasil pengamatan secara fisik memperlihatkan kenampakan warna kuning kemerahan dan kuning kehijauan dengan ukuran butir halus kurang dari 2 mm, tingkat pelapukan tinggi, akar tanaman sudah jarang ditemui. Pada zona saprolit banyak dijumpai proses pengayaan, yang ditandai dengan munculnya mineral serpentin dan garnierit magnesit. Secara megaskopis, pada zona saprolit banyak dijumpai mineral-mineral seperti goetit, hematit, limonit dan kadang dijumpai mangan dan talk. Kadar nikel pada zona ini menunjukkan hasil pada kisaran 1,7% hingga 3,4% Ni. Ketebalan lapisan zona saprolit pada lokasi penelitian berkisar antara 3 - 8 meter.

Zona Bedrock

Secara umum lapisan ini memperlihatkan rekahan dengan intensitas yang cukup tinggi dengan kenampakan warna abu-abu kecoklatan agak kusam, tekstur sedang hingga kasar dengan tingkat pelapukan dan serpentinisasi rendah, masif dan kompak. Umumnya rekahan-rekahan yang terbentuk tidak beraturan serta diisi oleh mineral silika membentuk *silica boxwork* dan mineral garnierit.

Tabel 1. Hasil analisis XRF kadar unsur di lokasi penelitian

Zona	Kadar Unsur (%)				Mineral
	Ni	Fe	SiO ₂	MgO	
Limonit	0,3	15,48	1,50	1,29	goetit, silika, talk, kromit mangan, hematit
	to	to	to	to	
	1,42	39,26	10,13	11,02	
Saprolit	1,70	9,12	0,65	1,34	serpentin, olivin, silika, goetit, mangan, garnierit
	to	to	to	to	
	3,40	16,03	7,6	20,94	
Bedrock	0,27	7,35	10	20	Serpentin, garnierit, silika
	to	to	to	to	
	0,40	9,50	15	30	

Proses pelapukan pada batuan, umumnya terjadi secara kimiawi pada daerah penelitian. Hal ini dapat dilihat secara langsung pada batuan yang telah mengalami perubahan warna pada permukaannya akibat oksidasi, disintegrasi batuan, tekstur batuan, kekerasannya rendah dan tanah sebagai hasil pelapukan. Warna tanah pada daerah penelitian umumnya berwarna merah sebagai penanda tingginya kadar unsur besi.

KESIMPULAN

Ketebalan zona *overburden* berkisar 4 - 11 m, sementara ketebalan zona limonit berkisar 2 - 3 m, dan zona lapisan saprolit berkisar antara 3 - 8 m. Kadar unsur pada zona limonit untuk Ni: 0,3 - 1,42%, Fe: 15,48 - 39,26%, SiO₂ 1,5 - 10,13% dan MgO: 1,29 - 11,02%. Zona saprolit Ni: 1,7 - 3,4%, Fe: 9,12 - 16,03%, SiO₂ 0,65 - 7,6% dan MgO: 1,34 - 20,94%. Serta zona *bedrock* memiliki kadar Ni: 0,27 - 0,4%, Fe: 7,35 - 9,5%, SiO₂ 10 - 15% dan MgO 20 - 30%. Mineral yang umum ditemukan pada lokasi penelitian diantaranya adalah mineral goetit, silika, talk, mangan, hematit, serpentin, olivin dan garnierit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan terima kasih kepada pihak PT. TPI yang telah memberikan kami izin dan kesempatan, sehingga penelitian tersebut dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2021). *Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2020*.
- Anonim. (2022). *Mineral commodity summaries 2022*. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>
- Arif, I. (2018). *Nikel Indonesia*. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Burger, P. A. (1996). Origins and Characteristic of Lateritic Deposits. *Proceeding Nickel 96*, 179-183.
- Haya, A., Conoras, Wawan. A., & Firman. (2019). Penyebaran Endapan Nikel Laterit Pulau Obi Kabupaten Halmahera Selatan Provinsi Maluku Utara. *Journal of Scinece and Engineering*, 5(1), 25-33. <http://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/josae>
- Hernandi, D., Rosana, M. F., & Haryanto, A. D. (2017). Domain Geologi Sebagai Dasar Pemodelan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Perbukitan Zahwah, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. *Bulletin of Scientific Contribution*, 15(2), 111-122. <https://doi.org/10.24198/bscgeology.v15i2.13379>

- Indra Kusuma, R. A., Kamaruddin, H., Rosana, M. F., & Tintin Yuningsih, E. (2019). Geokimia Endapan Nikel Laterit di Tambang Utara, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 20(2), 85. <https://doi.org/10.33332/jgsm.v20i2.418>
- Kamaruddin, H., Ardiansyah, R., Rosana, M. F., Sulaksana, N., & Tintin, E. (2018). Profil Endapan Laterit Nikel di Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 13(2), 84–105.
- Syafrizal, Heriawan, M. N., Notosiswoyo, S., Anggayana, K., & Samosir, Jogi. F. (2009). Hubungan Kemiringan Lereng dan Morfologi dalam Distribusi Ketebalan Horizon Laterit pada Endapan Nikel Laterit: Studi Kasus Endapan Nikel Laterit di Pulau Gee dan Pulau Pakal, Halmahera. *Jurnal Teknologi Mineral*, 16(3), 149–160.
- Syafrizal, Oetomo, A. B., & Guntoro, D. (2012). Studi korelasi ukuran butir, warna, kadar, dan mineralogi terhadap zona nikel laterit. *Prosiding TPT XXI PERHAPI*, 1–10.
- Wakila, M. H., Heriansyah, A. F., F, F., & Nurhawaisyah, S. R. (2019). Pengaruh Tingkat Pelapukan Terhadap Kadar Nikel Laterit Pada Daerah Ussu, Kec. Malili, Kab. Luwu Timur, Prov. Sulawesi Selatan. *Jurnal Geomine*, 7(1), 30–35.