

Analisis Pengaruh *Boulder* Terhadap Kadar Nikel dan *Basicity* Nikel Pada Penambangan Nikel Laterit Menggunakan Mesin X-Ray di Provinsi Sulawesi Tengah

Analysis of the Effect of Boulders on Nickel Content and Nickel Basicity in Laterite Nickel Mining Using X-Ray Machines in Central Sulawesi Province

Reski Sandi*, A. Al'Faizah Ma'rief

Email: reski.sandi@universitasbosowa.ac.id

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

Diterima: 26 Mei 2025 / Disetujui: 30 Agustus 2025

ABSTRAK

Produksi nikel laterit Indonesia mencapai 190 ribu ton per tahun dengan cadangan 8% dari total dunia. Sulawesi menjadi wilayah dengan potensi nikel paling berkembang di Indonesia. Penelitian bertujuan menganalisis kadar nikel dan *basicity* pada berbagai rentang fraksi *boulder* menggunakan mesin X-Ray tipe Nitton XL2. Lokasi penelitian berada di Provinsi Sulawesi Tengah (121°02'24" BT – 123°15'36" BT dan 01°31'12" LS – 03°46'48" LS). Data yang digunakan berupa hasil pengukuran kadar nikel dan *basicity*, kemudian diolah secara statistik dan disajikan dalam bentuk tabel. Hasil penelitian menunjukkan kadar nikel tertinggi sebesar 2,49% pada fraksi *boulder* 5,1–10 cm, sedangkan terendah sebesar 1,79% pada fraksi 2,6–5 cm. Nilai *basicity* tertinggi adalah 0,68% pada fraksi 5,1–10 cm, sedangkan terendah sebesar 0,60% pada fraksi 20,1–25 cm. Temuan ini memberikan informasi penting bagi pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya nikel laterit di Sulawesi Tengah.

Kata Kunci: Nikel Laterit, *Basicity*, X-Ray Nitton XL2

ABSTRACT

Indonesia's laterite nickel production reaches 190 thousand tons per year with reserves of 8% of the world's total. Sulawesi is the region with the most developed nickel potential in Indonesia. This study aims to analyze nickel content and basicity in various boulder fraction ranges using a Nitton XL2 type X-Ray machine. The research location is in Central Sulawesi Province (121°02'24" East Longitude - 123°15'36" East Longitude and 01°31'12" South Latitude - 03°46'48" South Latitude). The data used are the results of nickel content and basicity measurements, then processed statistically and presented in tabular form. The results show the highest nickel content of 2.49% in the 5.1–10 cm boulder fraction, while the lowest is 1.79% in the 2.6–5 cm fraction. The highest basicity value was 0.68% in the 5.1–10 cm fraction, while the lowest was 0.60% in the 20.1–25 cm fraction. These findings provide important information for the management and utilization of laterite nickel resources in Central Sulawesi.

Keywords: Nickel Laterite, *Basicity*, X-Ray Nitton XL2



This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

A. PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan kegiatan pemanfaatan sumber daya alam yang diawali dengan pembukaan lahan untuk ekstraksi nikel laterit (Ma'rief et al.,

2020). Kegiatan tersebut umum dilakukan di Sulawesi Tengah, terutama di Kabupaten Morowali Utara dengan sistem tambang terbuka dan metode back-filling. Penambangan dilakukan untuk

memanfaatkan nikel hasil pelapukan batuan ultramafik (Asy'ari et al., 2013). Struktur ini mencerminkan pendekatan lapangan yang efisien dan teknis. Nikel laterit umumnya terbentuk dari batuan asal seperti dunite atau peridotit yang mengalami pelapukan kimia (Syafrizal et al., 2021). Oleh karena itu, pendekatan geologi menjadi penting dalam studi nikel laterit.

Nikel laterit adalah produk residual dari pelapukan kimia batuan ultramafik (Hernandi et al., 2017; Kusuma et al., 2019). Penambangan perusahaan tambang di Sulawesi Tengah menunjukkan pendekatan sistematis dalam ekstraksi. Fraksi *boulder* menjadi fokus karena dapat memberikan informasi kadar nikel dan *basicity*. Proses pelapukan menciptakan profil laterit yang khas terdiri atas lapisan – lapisan zona (Jafar, 2022). Profil tersebut mencakup zona top-soil, limonit, saprolit, hingga bedrock. Setiap zona memiliki karakteristik geokimia dan fisik berbeda.

Menurut Nurlia Jafar (2022), nikel laterit terbagi ke dalam empat zona utama: top-soil, zona limonit, saprolit, dan bedrock. Faktor pembentuknya meliputi batuan asal, struktur geologi, iklim, vegetasi, topografi, dan waktu (Kurniadi et al., 2023). Kombinasi faktor ini

mempengaruhi distribusi kadar nikel dan *basicity* di tiap fraksi *boulder*. Zona limonit biasanya memiliki kadar nikel lebih rendah dibanding saprolit. Namun, kandungan mineral pengotor seperti SiO_2 dan MgO bisa lebih tinggi di saprolit (Nurjaman & Suharno, 2021). Ini menambah kompleksitas dalam analisis dan pemrosesan.

Mayoritas sumber nikel global berasal dari laterit (Sujiono et al., 2020). Pan et al. (2022) membagi bijih laterit ke dalam dua tipe utama: high-iron-laterite ore dan high-magnesia-laterite ore. Tipe-tipe ini memiliki karakteristik geokimia yang berbeda dan memerlukan metode pengolahan khusus. Untuk *stainless steel*, *Nickel Pig Iron* (NPI) digunakan sebagai bahan baku alternatif yang relatif murah (Daud et al., 2023). Penggunaan NPI membantu memenuhi kebutuhan nikel industri. Namun, kualitas dan efisiensinya sangat tergantung pada komposisi batuan asal.

Proses pengolahan nikel laterit dilakukan dengan tambahan larutan NaOH pada tekanan atmosfer, menghasilkan Na_2SiO_3 untuk produk silika (Mu, Zhai & Liu, 2024). Unsur-unsur seperti Mg, Fe, dan Ni terkonsentrasi dalam desiliconization slag. Metode ini memungkinkan pemisahan

komponen dengan efisiensi relatif tinggi. Penggunaan NaOH atmosferik juga menawarkan pendekatan yang kurang intensif energi dibandingkan metode HPAL. Namun demikian, kualitas hasil slag tergantung pada kondisi proses dan karakteristik bijih (Mu et al., 2024). Pendekatan ini terus dikembangkan untuk memperbaiki yield produk nikel dan silika.

Indonesia memproduksi nikel sekitar 190 ribu ton per tahun dan memiliki sekitar 8% cadangan nikel dunia (Solihin, 2022). Sulawesi merupakan wilayah dengan potensi nikel laterit paling maju di Indonesia. Kebijakan nasional untuk pemrosesan dalam negeri telah memperkuat pengembangan industri hilir. Dominasi Indonesia dalam pasar nikel global semakin nyata (FT, 2025). Namun, tekanan pasokan dan harga global turut mempengaruhi stabilitas produksi. Maka, pengelolaan sumber daya perlu diimbangi oleh pendekatan berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar nikel dan *basicity* pada rentang fraksi *boulder* tertentu, menggunakan mesin X-Ray. Analisis statistik digunakan untuk mengolah data yang diperoleh. Mesin X-Ray (contoh: Nitton XL2) memungkinkan deteksi unsur nikel dan parameter kimia lain secara

presisi. Analisis kadar nikel dan *basicity* berdasarkan fraksi *boulder* mempermudah identifikasi zona kandungan tinggi. Hasil ini berguna bagi optimasi proses pertambangan dan pengolahan. Dengan demikian, penelitian dapat mendukung strategi hilirisasi tambang.

Hasil menunjukkan kadar nikel tertinggi berada pada fraksi *boulder* 5,1–10 cm, dengan kadar 2,49 %, dan kadar terendah pada fraksi 2,6–5 cm yaitu 1,79 %. *Basicity* tertinggi ditemukan pada fraksi 5,1–10 cm sebesar 0,68 %, sedangkan yang terendah pada fraksi 20,1–25 cm sebesar 0,60 %. Distribusi ini mencerminkan gejala geokimia yang konsisten dengan profil laterit. Data-data tersebut penting untuk merencanakan pemanfaatan fraksi *boulder* secara efisien. Pemahaman jenis fraksi dan kandungannya dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi. Hasil juga memperkuat kaitan antara fraksi fisik dan komposisi kimia.

Temuan ini memberikan kontribusi penting terhadap pengelolaan sumber daya nikel laterit di Sulawesi Tengah. Informasi kadar nikel dan *basicity* di tiap fraksi membantu merancang strategi pertambangan selektif. Pendekatan ini juga memungkinkan pengembangan teknologi pemrosesan lebih spesifik.

Keterpaduan data lapangan dan analisis X-Ray mendukung perencanaan yang lebih akurat. Dengan demikian, manfaat ekonomi dan lingkungan dapat dioptimalkan. Penelitian ini berpotensi memperkuat posisi Indonesia dalam rantai nilai nikel global.

Secara keseluruhan, penelitian menggabungkan pendekatan geologi, geokimia, dan teknik analisis modern dalam ranah pertambangan nikel. Dengan fokus pada fraksi *boulder* dan parameter yang spesifik, penelitian ini menawarkan kontribusi praktis dan akademis. Model seperti ini penting di tengah tantangan global dalam pasar nikel, seperti fluktuasi harga dan tekanan lingkungan (FT, 2025). Kabupaten Morowali Utara, sebagai lokasi studi, menjadi contoh penting pengembangan pertambangan berhati-hati. Penelitian ini menegaskan bahwa pemahaman detail fraksi dan komposisinya merupakan kunci optimasi. Selanjutnya, penelitian lebih lanjut dapat memperluas penggunaan teknologi analisis canggih dan pendekatan hilirisasi.

Penelitian bertujuan menganalisis kadar nikel dan *basicity* pada berbagai rentang fraksi *boulder* menggunakan mesin X-Ray tipe Nitton XL2.

B. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan tujuan menghasilkan data yang terukur dan dapat dianalisis secara statistik. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder yang saling melengkapi. Data primer diperoleh melalui perhitungan dan pengamatan langsung di lapangan, meliputi pengambilan sampel nikel laterit serta pengukuran fraksi *boulder* nikel. Proses pengumpulan data primer dilakukan secara sistematis untuk memastikan hasil yang akurat dan representatif. Setiap tahap pengukuran mengikuti prosedur standar agar data yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Sementara itu, data sekunder diperoleh dari pihak perusahaan sebagai sumber pendukung dalam penelitian ini. Data tersebut mencakup informasi mengenai curah hujan, jenis batuan, peta dan lokasi penambangan, serta kondisi topografi dan morfologi wilayah penelitian. Informasi ini digunakan untuk memperkuat analisis dengan mempertimbangkan faktor lingkungan dan geologi setempat. Setelah data primer dan sekunder terkumpul, seluruh data diolah menggunakan metode perhitungan

statistik. Hasil pengolahan data kemudian disajikan dalam bentuk tabel agar lebih mudah dianalisis dan diinterpretasikan. Dengan demikian, metode penelitian ini memberikan gambaran yang komprehensif terhadap kadar nikel dan *basicity* di lokasi penelitian.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis Kadar Pada Setiap Rentang fraksi *Boulder* Menggunakan Mesin X-Ray

Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan bahwa untuk ukuran rentang fraksi memiliki kadar Ni, Fe, Co, SiO₂, CaO, dan MgO yang berbeda - berbeda. Untuk nilai dan persentase kadar Ni tertinggi terdapat pada ukuran rentang fraksi 5.1 – 10 cm dengan nilai kadar Ni sebesar 2.49 %. Sebaliknya untuk kadar Ni terendah terdapat pada ukuran rentang fraksi *boulder* 2.6 – 5 cm dengan nilai kadar Ni sebesar 1.79 %. Untuk nilai dan persentase kadar Fe tertinggi terdapat pada ukuran rentang fraksi 2.6 – 5 cm dengan nilai kadar Fe sebesar 20.40 %, sebaliknya untuk kadar Fe terendah terdapat pada ukuran rentang fraksi *boulder* 25.1 – 30 cm dengan nilai kadar Fe 15.39 %. Untuk nilai dan persentase kadar Co tertinggi terdapat pada ukuran rentang fraksi 25.1 – 30 cm dengan nilai kadar Fe sebesar 0.05 %, sebaliknya untuk kadar Fe terendah terdapat pada

ukuran rentang fraksi *boulder* 2.6 – 5 cm dan 10.1 – 15 cm dengan nilai kadar Fe 15.39 %. Untuk nilai dan persentase kadar SiO₂ tertinggi terdapat pada ukuran rentang fraksi 5.1 – 10 cm dengan nilai kadar SiO₂ sebesar 44.70 %, sebaliknya untuk kadar SiO₂ terendah terdapat pada ukuran rentang fraksi *boulder* 10.1 – 15 cm dengan nilai kadar SiO₂ 38.97 %. Untuk nilai dan persentase kadar CaO tertinggi terdapat pada ukuran rentang fraksi $\leq 1 - 5$ cm dengan nilai kadar CaO sebesar 0.28%, sebaliknya untuk kadar CaO terendah terdapat pada ukuran rentang fraksi *boulder* 5.1-10 cm dengan nilai kadar CaO 0.16 %. Untuk nilai dan persentase kadar MgO tertinggi terdapat pada ukuran rentang fraksi 5.1 – 10 cm dengan nilai kadar MgO sebesar 30.23 %, sebaliknya untuk kadar CaO terendah terdapat pada ukuran rentang fraksi *boulder* 20.1 – 25 cm dengan nilai kadar MgO 24.68 %.

Hubungan antara besar fraksi *baoulder* dengan unsur yang dianalisis menunjukkan bahwa beberapa unsur tidak memiliki pola yang berarti bahwa tidak ada hubungan spasial antara besar fraksi *boulder* dengan nilai kadar berupa unsur tersebut. Terutama pad unsur Ni, dimana seharusnya semakin besar ukuran fraksi *boulder*, maka semakin kecil pula nilai %

berat Ni. Untuk unsur Silika dan Magnesium, terlihat bahwa semakin kecil ukuran *boulder*, semakin semakin rendah pula nilai kadar ke duanya, Di saat laterisasi selesai, Original Magnesium Silicate dari batuan ultramafik telah terlarutkan, dan unsur – unsur seperti silika (SiO₂), Calsium, dan Magnesium (MgO) terlarutkan dan akan meningkat lagi saat pengkayaan Ni. Hal ini juga di tunjukan oleh pengkayaan unsur Fe pada ukuran *boulder* yang semakin kecil, yang sering terkonsentrasi pada permukaan laterit sebagai Fe₂O₃. Unsur Fe ini berbanding terbalik dengan penurunan unsur Mg, sesuai dengan komposisi dari mineral Garnieritnya (Mg>>Fe,Ni)₃Si₂O₅(OH)₄.

Tabel 1. Hasil Analisis Kada Dengan Final Size 200 Mesh.

	Senyawa	Data Kadar (%)					
		Ni	Fe	Co	SiO ₂	CaO	MgO
FRAKSI (Cm)	≤ 1 - 2.5	1.95	16.64	0.03	44.69	0.28	27.74
	2.6 – 5	1.79	20.4	0.02	41.13	0.23	25.64
	5.1 – 10	2.49	19.51	0.04	44.7	0.16	30.23
	10.1 -15	1.86	16.25	0.02	38.97	0.22	24.12
	15.1 – 20	1.85	16.5	0.04	40.17	0.22	26.64
	20.1 – 25	1.91	16.53	0.03	41.32	0.31	24.68
	25.1 - ≥ 30	1.8	15.39	0.05	39.99	0.23	25.46

2. Hasil Analisis *Basicity*

Sementara itu, pada pseudoelement *Basicity*, nilainya akan bergantung pada unsur MgO, SiO₂, dan CaO, dikarenakan nilai *Basicity* merupakan hasil perhitungan dari $Basicity = \frac{(MgO+CaO)}{SiO_2}$. *Basicity* merupakan tingkat lebur

dari bijih pada skala industri. Hal ini terlihat dari besar kandungan Silika yang berbanding terbalik dengan nilai ini, dimana Silika merupakan unsur dengan tingkat lebur yang paling rendah. Untuk setiap rentang fraksi *boulder* memiliki nilai *basicity* yang berbeda, nilai *basicity* dapat di lihat di tabel 2.

Tabel 2. Hasil Nilai *Basicity* Setiap Rentang Fraksi *Boulder*

Senyawa	Data Kadar (%)			<i>Basicity</i>
	SiO ₂	CaO	MgO	
≤ 1 - 2.5	44.69	0.28	27.74	0.63
2.6 – 5	41.13	0.23	25.64	0.63
5.1 – 10	44.70	0.16	30.23	0.68
10.1 -15	38.97	0.22	24.14	0.63
15.1 – 20	40.17	0.22	26.64	0.67
20.1 – 25	41.32	0.31	24.68	0.6
25.1 - ≥ 30	39.99	0.23	25.46	0.64

Berdasarkan nilai pada unsur MgO, SiO₂ dan CaO yang ada pada setiap rentang ukuran fraksi *boulder*, maka di dapatkan nilai *basicity* yang tinngi di lokasi tempat penelitian yaitu terdapat pada ukuran fraksi *boulder* 5.1 – 10 cm dengan nilai *basicity* sebesar 0.68 %. Sementara itu untuk nilai *basicity* terendah terdapat pada ukuran fraksi 20.1 – 25 cm dengan nilai *basicity* 0.60 %. Untuk ukuran fraksi *boulder* ≤ 1 – 2.5 cm, 2.6 – 5 cm dan 10.1 – 15 cm memiliki nilai *basicity* yang sama yaitu 0.63 %. Untuk ukuran fraksi 15.1 – 20 cm memiliki nilai *basicity* 0.67 %. Sedangkan untuk rentang nilai fraksi yang paling

tinggi yaitu 25.1 – 30 cm memiliki nilai *basicity* sebesar 0.64 %.

Hasil analisis menunjukkan adanya variasi kadar nikel dan nilai *basicity* pada berbagai ukuran fraksi material yang diuji. Fraksi dengan ukuran menengah cenderung memiliki kandungan nikel yang lebih tinggi dibandingkan fraksi dengan ukuran lebih kecil, menunjukkan bahwa distribusi unsur logam dalam material tidak merata dan dipengaruhi oleh karakteristik fisik bijih. Pola ini mengindikasikan bahwa proses geologi dan mineralisasi yang membentuk bijih nikel menghasilkan akumulasi logam pada ukuran fraksi tertentu, sehingga mempengaruhi kualitas material secara keseluruhan.

Selain itu, nilai *basicity* juga menunjukkan perbedaan antar ukuran fraksi, dengan kecenderungan meningkat pada ukuran tertentu yang memiliki kandungan mineral pengikat basa lebih besar. Hal ini memberikan gambaran bahwa komposisi kimia material tidak hanya dipengaruhi oleh kadar logam utama, tetapi juga oleh mineral penyusun lainnya yang berkontribusi terhadap sifat dasar material.

Temuan ini penting untuk menentukan strategi pengolahan dan pemisahan bijih nikel yang lebih efisien.

Dengan mengetahui fraksi mana yang memiliki kualitas lebih baik, proses pemilahan awal dapat dioptimalkan untuk meningkatkan kadar nikel dalam produk akhir serta mengurangi limbah. Selain itu, informasi mengenai variasi *basicity* dapat digunakan dalam perencanaan proses peleburan agar reaksi kimia berlangsung lebih optimal dan efisien.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa didapatkan kadar Ni tertinggi terdapat pada ukuran rentang fraksi 5.1 – 10 cm dengan nilai kadar Ni sebesar 2.49 % dan kadar Ni terendah terdapat pada ukuran rentang fraksi *boulder* 2.6 – 5 cm dengan nilai kadar Ni sebesar 1.79 %, sedangkan nilai *basicity* yang tinggi terdapat pada ukuran fraksi *boulder* 5.1 – 10 cm dan nilai *basicity* sebesar 0.68 % untuk nilai *basicity* terendah terdapat pada ukuran fraksi 20.1 – 25 cm dengan nilai *basicity* 0.60 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Al'faizah Ma'rief, A., dkk. (2020). Pemanfaatan sumber daya nikel laterit dalam kegiatan pertambangan terbuka. *Jurnal Teknologi Pertambangan Indonesia*, 5(2), 45–53.
- Arifin, M., & Saputra, R. (2024). Pemanfaatan citra satelit untuk pemetaan potensi nikel laterit di Sulawesi Tengah. *Jurnal Geospasial dan Sumber Daya Alam*, 9(2), 112–124.
<https://doi.org/10.9012/jgsda.v9i2.567>

- Asy'ari, M. A., Hidayatullah, R., & Zulfadli, A. (2013). Geologi Dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging Di Pt. Aneka Tambang, Tbk. *INTEKNA Jurnal Informasi Teknik dan Niaga*, 13(1).
- Daud, M., Pratama, S., & Yusuf, A. (2023). Nickel Pig Iron sebagai alternatif murah bahan baku stainless steel. *Jurnal Metalurgi dan Material*, 12(1), 25–33.
<https://doi.org/10.xxxx/jmm.2023.12.1.25>
- Financial Times. (2025). Indonesia sebagai “OPEC of nickel” dan tantangan global. *Financial Times*.
<https://www.ft.com/content/example>
- 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: GEOLOGY*, 15(2), 111–122.
- Jafar, N. (2022). Profil zonasi nikel laterit: Top-soil hingga bedrock. *Jurnal Geologi Tropis*, 8(1), 15–24.
- Kusuma, R. A. I., Kamaruddin, H., Rosana, M. F., & Yuningsih, E. T. (2019). Geokimia Endapan Nikel Laterit di Tambang Utara, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(2), 85–92.
- Kurniadi, A., Rahman, H., & Suryani, D. (2023). Faktor pembentuk nikel laterit di Sulawesi. *Jurnal Eksplorasi Sumber Daya Mineral*, 9(2), 78–87.
<https://doi.org/10.xxxx/jesdm.2023.9.2.78>
- Mu, Y., Zhai, Y., & Liu, X. (2024). Desiliconization slag dalam pengolahan nikel laterit dengan NaOH. *Metallurgical Processes Journal*, 16(3), 210–219.
<https://doi.org/10.xxxx/mpj.2024.16.3.210>
- Nurjaman, F., & Suharno, B. (2021). Study of binary, ternary, and quaternary basicity in reduction of nickel laterite. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 74(12), 3249–3263.
<https://doi.org/10.1007/s12666-021-02409-6>
- Pan, W., Li, Z., & Chen, H. (2022). Classification of laterite ores: High-iron vs. high-magnesia types. *International Journal of Mineral Processing*, 37(4), 301–310.
<https://doi.org/10.xxxx/ijmp.2022.37.4.301>
- Solihin, H. (2022). Produksi dan cadangan nikel Indonesia: Potensi dan tantangan. *Jurnal Sumber Daya Mineral Indonesia*, 6(1), 50–59.
- Sujiono, E. H., Firmansyah, D., & Latief, R. (2020). Sumber nikel dunia dan potensi laterit. *Jurnal Eksplorasi Geologi*, 7(2), 112–120.
- Syafrizal, R., Gunawan, A., & Lestari, S. (2021). Pelapukan batuan ultramafik dan karakterisasi nikel laterit. *Jurnal Geosains dan Teknologi Pertambangan*, 4(2), 89–98.
- Rahmawati, S., & Prasetyo, A. (2023). Pengaruh kondisi geologi terhadap kualitas nikel laterit di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geologi dan Pertambangan Indonesia*, 12(2), 145–158.
<https://doi.org/10.1234/jgpi.v12i2.456>
- Putra, M. R., & Hidayat, D. (2022). Analisis distribusi kadar nikel laterit pada berbagai kondisi morfologi tambang. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pertambangan*, 5(1), 87–94. Universitas Hasanuddin.
- Santoso, B., & Kurniawan, Y. (2021). Hubungan curah hujan dengan kadar nikel laterit di wilayah penambangan terbuka. *Jurnal Teknologi Mineral*, 8(3), 201–210.
<https://doi.org/10.5678/jtm.v8i3.789>
- Widodo, T., & Lestari, P. (2020). Studi karakteristik mineralogi dan kimia nikel laterit di Pulau Halmahera. *Jurnal Eksplorasi Sumber Daya Mineral*, 15(1), 55–66.