



Analisis Perbandingan Kadar Bijih Laterit Antara *East Block* Dan *West Block* PT Vale Indonesia Tbk

Comparative Analysis of Laterite Ore Grade Between East Block and West Block PT Vale Indonesia Tbk

ANANDA NUR LESTARI¹, SUFRIADIN^{1*}

¹Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km 6, Bontomarannu, Gowa 92171, Sulawesi Selatan

*e-mail: sufri.as@unhas.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pada dua blok penambangan PT Vale Indonesia Tbk dengan kadar bijih laterit yang berbeda. Perbedaan kadar pada kedua blok penambangan tersebut menyebabkan sejumlah tantangan pada proses pengolahan bijih nikel sehingga perlu dilakukan proses *blending* untuk mencapai spesifikasi pabrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kadar bijih laterit, hubungan unsur/senyawa pada bijih laterit, faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar bijih laterit serta implikasi kadar bijih laterit terhadap pengolahan bijih. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar rata-rata Ni, Fe, SiO₂ dan rasio S/M lebih tinggi pada *West Block*. Sebaliknya MgO memiliki kadar rata-rata yang lebih tinggi pada *East Block*. Hubungan unsur Ni dengan Fe dan hubungan Ni dengan rasio S/M pada *West Block* menunjukkan nilai *r* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *East Block*. Perbedaan tersebut diakibatkan karena garnierit banyak ditemukan pada *West Block* sehingga mengakibatkan tingginya kadar nikel. Kadar besi lebih tinggi pada *West Block* disebabkan jenis bijih pada blok ini kaya akan *goethite*. Pada *West Block* terdapat banyak mineral talk yang menyebabkan kadar SiO₂ pada bijih menjadi tinggi. Sedangkan pada *East Block* menunjukkan kadar MgO yang lebih tinggi karena blok ini didominasi oleh mineral serpentin. Kadar Fe dan rasio S/M pada *East Block* dan *West Block* tidak sesuai dengan spesifikasi pabrik peleburan karena kadar bijih pada *East Block* terlalu rendah sedangkan kadar bijih pada *West Block* terlalu tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses *blending* untuk menghasilkan kadar yang sesuai dengan spesifikasi pabrik peleburan.

Kata Kunci: Nikel Laterit, Kadar, Korelasi, *East Block*, *West Block*

ABSTRACT

This study was conducted on two mining blocks of PT Vale Indonesia Tbk with different grades of laterite ore. The different grades in the two mining blocks cause a number of challenges in the nickel ore processing process so that it is necessary to carry out a blending process to achieve factory specifications. This study aims to analyze the comparison of laterite ore grades, element/compound relationships in laterite ore, factors that cause differences in laterite ore grades and the implications of laterite ore grades for ore processing. The results show that the average levels of Ni, Fe, SiO₂ and S/M ratio are higher in West Block. In contrast, MgO has a higher average content in the East Block.

How to Cite:

Lestari, A.N., Sufriadin, S. 2023. Analisis Perbandingan Kadar Bijih Laterit Antara *East Block* Dan *West Block* Pt Vale Indonesia Tbk. *Mining Science and Technology Journal*, 2(3): 147-155.

Lestari, A.N., Sufriadin, S. 2023. *Comparative Analysis of Laterite Ore Grade Between East Block and West Block PT Vale Indonesia Tbk. Mining Science and Technology Journal*, 2(3): 147-155.

Published By:

Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

Address:

Jl. Kapt. Piere Tendean, No. 109, Baruga, Kota
Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara

Article History:

Submite 6 Oktober 2023
Received in from 18 Desember 2023
Accepted 18 Desember 2023



The relationship of Ni with Fe and Ni with S/M ratio in West Block showed a higher r value compared to East Block. The difference is due to the fact that garnierite is found in West Block, resulting in high nickel content. The higher iron content in the West Block is due to the type of ore in this block rich in goethite. In West Block there are many talc minerals that cause the SiO₂ content in the ore to be high. Meanwhile, the East Block shows higher MgO levels because this block is dominated by serpentine minerals. The Fe content and S/M ratio of East Block and West Block are not in accordance with the smelting plant specifications because the ore content in East Block is too low while the ore content in West Block is too high. Therefore, it is necessary to carry out a blending process to produce levels that are in accordance with the specifications of the smelter.

Keywords: Laterite Nickel, Grade, Correlation, East Block, West Block.

PENDAHULUAN

Nikel laterit merupakan salah satu bahan galian yang sangat ekonomis jika dijumpai dalam cadangan yang besar dengan kadar yang tinggi atau high grade (Amir, 2022). Endapan ini memiliki banyak kegunaan diantaranya sebagai bahan produksi stainless steel atau baja tahan karat yang diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok dan peralatan memasak), ornamen-ornamen rumah dan gedung, serta komponen industri (Sukandarrumidi, 2007). Bijih nikel laterit berasosiasi dengan banyak logam, terutama serangkaian logam Fe, Ni, Mn, Co, dan Mg (Gao et al., 2021). Endapan nikel laterit terbentuk dari proses pelapukan yang sangat intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti, dunit (olivin), peridotit (olivine+piroksen), dan serpentinite (Golightly, 1987).

Proses pelapukan (laterisasi) yang terjadi pada batuan ultramafik seperti peridotit mengakibatkan unsur-unsur yang larut dan terendapkan pada zona bagian bawah laterit, sedangkan untuk unsur dengan mobilitas rendah atau *immobile* mengalami pengayaan secara residual dan sekunder. Proses pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh proses pelapukan nikel laterit yang akan menghasilkan laterit dengan berbagai karakteristik kadar, kimia, dan mineralogi serta ketebalan endapan yang berbeda. Pengaruh lainnya termasuk batuan dasar dengan mineral yang beragam, struktur (*joint*), iklim, proses pelarutan kimia dan vegetasi, waktu, dan topografi (Hasria, dkk, 2021).

Nikel di Indonesia menjadi salah satu komoditas masa depan di tengah upaya dunia menekan emisi karbon dari bahan bakar fosil. Permintaan nikel dunia mengalami peningkatan seiring dengan mulai gencarnya pengembangan kendaraan listrik. PT Vale Indonesia Tbk merupakan salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang pertambangan dengan produksi utamanya berupa nikel *matte* yang merupakan produk antara untuk digunakan dalam pembuatan nikel olahan dengan kandungan rata-rata 78% nikel, 1%-2% kobalt, serta 20%- 21% sulfur. Pengolahan bijih nikel dilakukan melalui proses produksi menggunakan teknologi pirometalurgi

Blok penambangan pada PT Vale Indonesia Tbk dibagi menjadi dua, yaitu *East Block* dan *West Block* dimana keberadaan endapan nikel laterit pada kedua blok tersebut memiliki perbedaan kadar nikel yang mengakibatkan perusahaan perlu melakukan proses *blending* antara bijih *East Block* dan *West Block* guna mencapai spesifikasi pabrik. Bijih dengan kadar yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh pabrik pengolahan saat dimasukkan ke dalam *furnace* atau alat pengolahan lainnya berpotensi mengancam kondisi *electric furnace* yang digunakan. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kadar bijih nikel laterit pada *East Block* dan *West Block*, menganalisis hubungan unsur/senyawa pada bijih nikel laterit *East Block* dan *West Block*, menganalisis faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar bijih nikel laterit pada *East Block* dan *West Block*, untuk menganalisis implikasi kadar bijih nikel laterit terhadap proses pengolahan bijih

METODE PENELITIAN



Penelitian ini dilakukan pada PT Vale Indonesia Tbk yang merupakan perusahaan pertambangan Indonesia yang bergerak di bidang produksi dan pengolahan bijih nikel dimana perusahaan ini merupakan bagian dari Vale salah satu perusahaan multi tambang terbesar di dunia yang berpusat di Brazil. PT Vale Indonesia Tbk terletak di Desa Sorowako, Kecamatan Magani, Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan yang memiliki lokasi penambangan yang terdiri dari *East Block* dan *West Block*.

Penelitian ini diawali dengan melakukan pengambilan data *assay* bijih *East Block* dan *West Block*, lalu dilakukan analisis perbandingan dan analisis korelasi kadar bijih nikel laterit pada *East Block* dan *West Block*, kemudian dilakukan analisis mengenai faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar bijih nikel laterit pada *East Block* dan *West Block* dan terakhir dilakukan prediksi dan implikasi kadar bijih nikel laterit terhadap peleburan bijih nikel laterit.

Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yaitu data yang telah ada sebelumnya yang berasal dari PT Vale Indonesia Tbk yaitu berupa data *assay* yang berjumlah masing-masing 32 dari *East Block* dan *West Block*. Data ini memuat informasi mengenai kadar bijih nikel laterit yaitu berupa persentase kadar Ni, Fe, SiO₂ dan MgO pada bijih *East Block* dan *West Block*

Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai dengan perhitungan kadar rata-rata bijih pada *East Block* dan *West Block*. Kadar rata-rata bijih *East Block* kemudian dibandingkan dengan kadar rata-rata bijih *West Block*. untuk mengetahui perbedaan kadar bijih antara *East Block* dan *West Block*. Selanjutnya dilakukan analisis korelasi pearson yang merupakan metode statistika yang digunakan dalam menentukan suatu besaran yang menyatakan adanya hubungan kuat pada suatu variabel dengan variabel yang lain (Uma & Roger, 2016). Apabila semakin tinggi nilai korelasi, semakin tinggi pula keeratan hubungan diantara kedua variabel. Apabila terdapat angka korelasi mendekati nilai satu, maka korelasi dari dua variabel akan semakin Kuat. Sebaliknya, jika angka korelasi mendekati nol maka korelasi dua variabel semakin lemah (Morris, 2020).

Metode pearson adalah metode perhitungan yang berdasarkan pada korelasi yang paling banyak diaplikasikan untuk perhitungan nilai similarity, yang ditunjukkan pada persamaan 1. (Prasetyo dkk, 2016) Analisis korelasi digunakan dalam mengetahui derajat keeratan hubungan dua variabel yang memiliki interval atau rasio, berdistribusi normal, serta menunjukkan nilai koefisien korelasi dengan rentang nilai antara -1, 0 dan 1 (Zhang et al., 2020). Nilai positif adalah nilai 1, nilai -1 merupakan nilai negatif dan nilai 0 merupakan nilai yang tidak terdapat korelasi (Fu et al., 2020), metode ini juga digunakan untuk mengetahui hubungan antara nilai kadar dari setiap unsur yang terdapat pada bahan galian nikel laterit. Analisis korelasi dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Sugiyono, 2018):

$$r_{x,y} = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

Keterangan:

$r_{x,y}$	= Koefisien korelasi pearson
n	= Jumlah sampel
$\sum XY$	= Jumlah dari hasil kali nilai x dan y
$\sum X$	= Jumlah nilai x
$\sum y$	= Jumlah nilai y
$\sum X^2$	= Jumlah dari kuadrat nilai x
$\sum Y^2$	= Jumlah dari kuadrat nilai y

HASIL DAN PEMBAHASAN

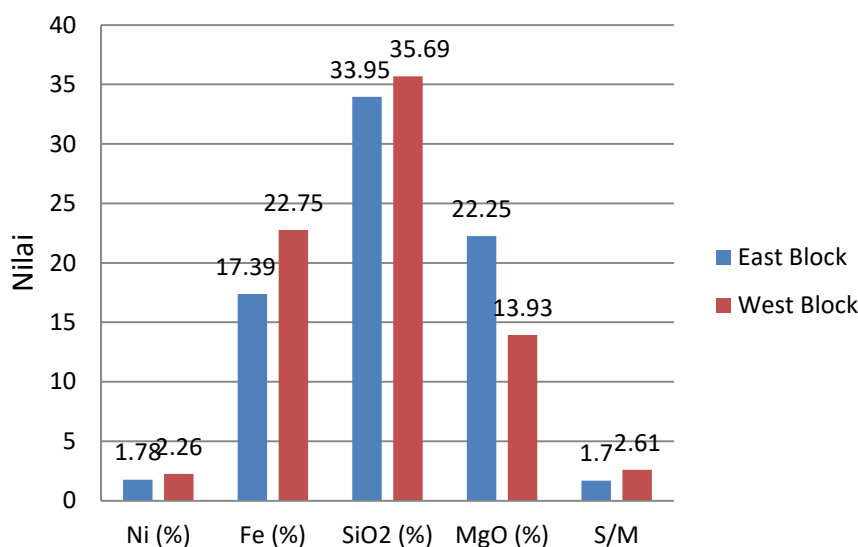
Perbandingan Kadar Bijih Nikel Laterit

Data *assay* bijih *East* dan *West Block* selanjutnya dibandingkan untuk mengidentifikasi perbedaan kadar antara kedua blok tersebut. Perbandingan kadar bijih nikel laterit yang meliputi unsur Ni, Fe, SiO₂, MgO dan rasio S/M pada bijih *East Block* dan *West Block* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan kadar *East Block* dan *West Block*

No.	Unsur/Senyawa	Kadar Data <i>East Block</i>	Kadar Data <i>West Block</i>
1.	Ni	1,78%	2,26%
2.	Fe	17,39%	22,75%
3.	SiO ₂	33,95%	35,69%
4.	MgO	22,25%	13,93%
5.	Rasio S/M	1,70	2,61

Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar Nikel (Ni), Besi (Fe), Silika (SiO₂) dan rasio S/M pada *West Block* lebih besar dibandingkan pada *East Block*, sedangkan pada *East Block* menunjukkan kadar MgO yang lebih besar dibandingkan pada *West Block*. Untuk visualisasi perbedaan kadar antara *East Block* dan *West Block* dapat dilihat pada Gambar 1.

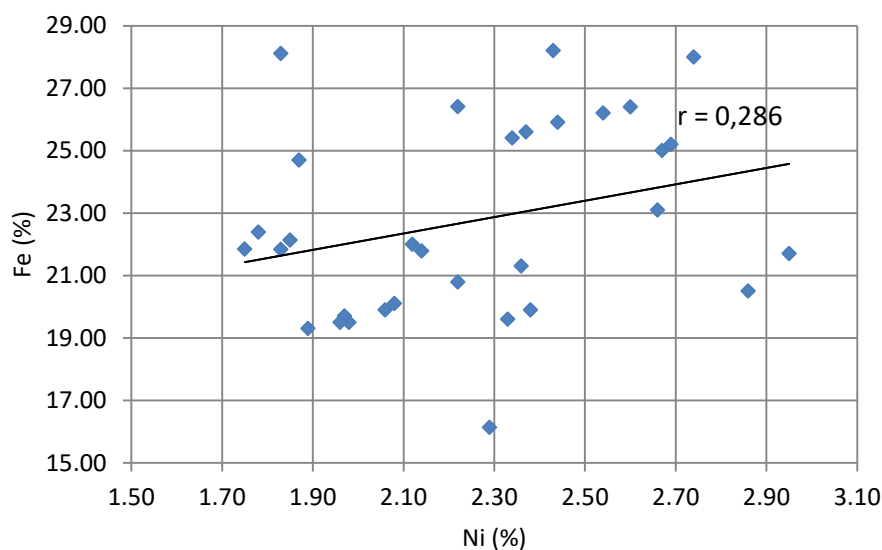


Gambar 1. Perbandingan kadar bijih nikel laterit

Hubungan Antara Kadar Ni dengan Fe dan rasio S/M

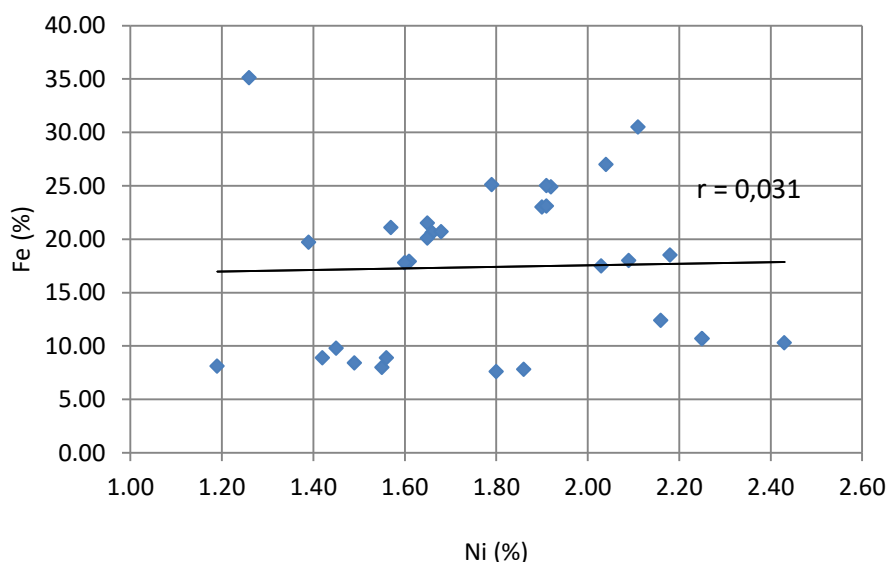
Analisis korelasi dilakukan terhadap kadar bijih nikel laterit pada *East Block* dan *West Block*. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui tingkat hubungan dan arah hubungan pada dua variabel. Persamaan yang digunakan menghitung nilai koefisien pearson adalah Persamaan 1

Perhitungan nilai korelasi pearson dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 dan diperoleh nilai *r* sebesar 0,286 dengan arah hubungan yaitu korelasi positif. Berdasarkan klasifikasi korelasi pearson, maka diperoleh tingkat hubungan antara Ni dan Fe pada *West Block* memiliki korelasi yang rendah. Distribusi data hubungan antara Ni dan Fe pada *West Block* ditunjukkan pada Gambar 2.



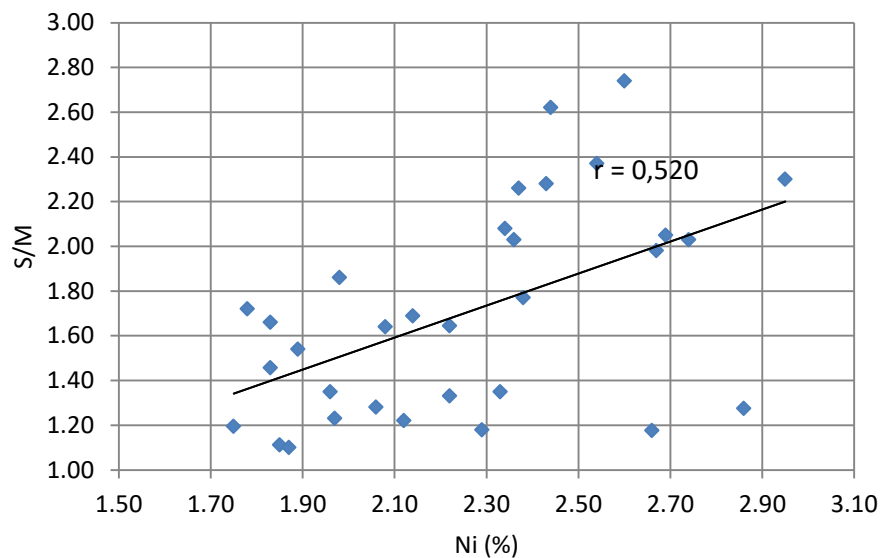
Gambar 2. Hubungan Antara Kadar Ni dan Fe *West Block*

Perhitungan nilai korelasi person dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 dan diperoleh nilai r sebesar 0,031 dengan arah hubungan yaitu korelasi positif. Berdasarkan klasifikasi korelasi pearson, maka diperoleh tingkat hubungan antara Ni dan Fe pada *East Block* memiliki korelasi yang sangat rendah. Distribusi data hubungan antara Ni dan Fe pada *East Block* ditunjukkan pada Gambar 3



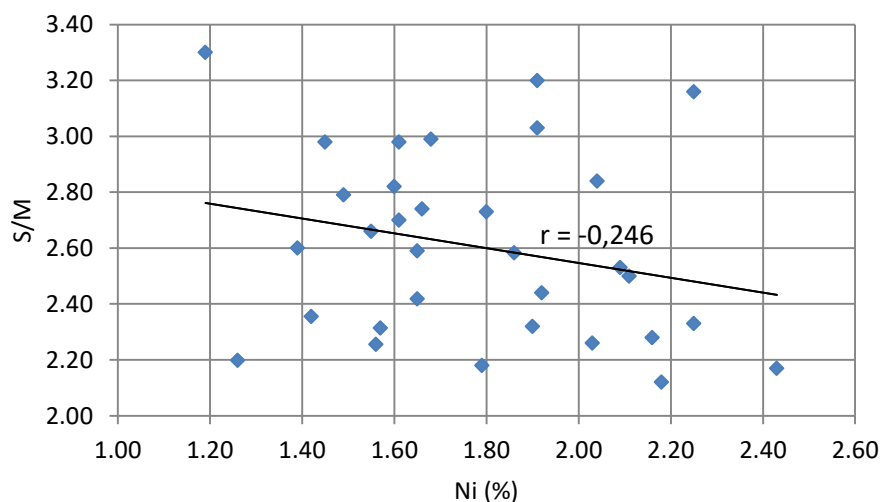
Gambar 3. Hubungan Antara Kadar Ni dan Fe *East Block*

Perhitungan nilai korelasi pearson dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 dan diperoleh nilai r sebesar 0,520 dengan arah hubungan yaitu korelasi positif. Berdasarkan klasifikasi korelasi pearson pada, maka diperoleh tingkat hubungan antara Ni dan rasio S/M pada *West Block* memiliki korelasi yang cukup kuat.. Distribusi data hubungan antara Ni dan rasio S/M pada *West Block* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Antara Kadar Ni dan S/M *West Block*

Perhitungan korelasi dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 dan diperoleh nilai r sebesar $-0,246$ dengan arah hubungan yaitu korelasi negatif. Berdasarkan klasifikasi korelasi Pearson pada, maka diperoleh tingkat hubungan antara Ni dan rasio S/M pada *East Block* memiliki korelasi yang rendah. Distribusi data hubungan antara Ni dan rasio S/M pada *East Block* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan Antara Kadar Ni dan S/M *East Block*

Faktor Penyebab Perbedaan Kadar Bijih Laterit

Berdasarkan kandungan mineral dominan yang mengandung nikel terdapat tiga jenis umum bijih Ni laterit yaitu oksida, silikat Mg hidrat dan lempung silikat (Brand dkk., 1998; Butt dan Cluzel, 2013). Dalam hal signifikansi ekonomi, bijih Mg-silikat hidrat merupakan jenis dengan kadar tertinggi (biasanya lebih dari 2 wt% dan bahkan terkadang > 5 wt% Ni) (Butt dan Cluzel, 2013). Endapan nikel laterit di *West Block* diklasifikasikan sebagai jenis silikat hidrat Ni-Mg di mana garnierit merupakan bahan pembawa Ni yang utama (Proenza, dkk., 2008).



Berdasarkan hasil perbandingan *East* dan *West Block* menunjukkan kadar nikel lebih tinggi di *West Block* karena secara umum, garnierit lebih banyak dijumpai di *West Block* daripada di *East Block* dimana garnierit di *East Block* dicirikan oleh urat-urat tipis dan terputus-putus yang sebagian besar terdiri dari sepiolit berwarna hijau pucat, berserat dan material yang lunak dan berasosiasi dengan silika. Kemunculannya jarang terjadi dan umumnya terdapat pada peridotit yang sedikit lapuk sedangkan garnierit di *West Block* umumnya menunjukkan warna hijau sedang dan muncul sebagai lapisan tipis atau urat-urat yang terisi rekahan yang berasosiasi dengan kuarsa (Sufriadin dkk, 2012).

Selain itu, pada *West Block* mengandung mineral olivin yang lebih tinggi dibandingkan dengan *East Block* dimana Prendergast (2013) menyatakan bahwa mineral jenis garnierit mungkin telah terbentuk karena tingginya proporsi olivin dalam batuan induk. Batuan induk tersebut mungkin memiliki konsentrasi latar belakang Ni yang tinggi (biasanya $\geq 0,3$ % berat Ni), menawarkan sumber logam yang baik untuk pembentukan mineral pembawa Ni sekunder melalui pelapukan. Sebaliknya, batuan induk pada *East Block* adalah serpentinit, yang merupakan jenis batuan yang tidak ideal untuk formasi garnierit karena konsentrasi Ni yang relatif lebih rendah (0,2 wt% Ni) (Wei Fu at all, 2018).

Berdasarkan hasil perbandingan *East* dan *West Block* menunjukkan kadar besi yang lebih tinggi di *West Block* karena jenis bijih pada blok ini terkonsentrasi pada saprolit yang kaya akan *goethite* (PT Vale Indonesia Tbk, 2022). *Goethite* adalah fase oksihidroksida yang dihasilkan dari pelapukan kimiawi mineral-mineral yang kaya akan besi dalam lingkungan laterit seperti olivin, piroksin, hornblende, dan biotit (Taylor & Eggleton, 2001).

Variasi kandungan SiO_2 bergantung pada komposisi mineralogi khususnya keberadaan kuarsa yang terkandung dalam garnierit yang dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kadar SiO_2 (Sufriadin dkk, 2012) hal ini yang menyebabkan kadar SiO_2 pada *West Block* dibandingkan dengan *East Block* dimana garnierite pada *West Block* umumnya muncul sebagai lapisan tipis atau urat-urat yang terisi rekahan yang berasosiasi dengan kuarsa. Selain itu, pada *West Block* terdapat banyak mineral talk sedangkan pada *East Block* didominasi oleh mineral serpentinit (Sufriadin dkk, 2012). Dimana mineral talk mengandung SiO_2 63% dan MgO 31% sedangkan mineral serpentinit mengandung SiO_2 23,3% dan MgO 43% sehingga kadar SiO_2 pada *West Block* lebih tinggi dan kadar MgO pada *East Block* lebih tinggi.

Implikasi Terhadap Pengolahan Bijih

Blok penambangan pada PT Vale Indonesia Tbk dibagi menjadi dua, yaitu *East Block* dan *West Block* dimana keberadaan endapan nikel laterit pada kedua blok tersebut memiliki perbedaan kadar nikel yaitu kadar Ni, Fe, SiO_2 dan rasio S/M lebih tinggi pada *West Block* sedangkan pada *East Block* memiliki kadar MgO yang lebih tinggi. Apabila disesuaikan dengan spesifikasi pabrik peleburan, maka kadar Fe dan rasio S/M pada *East Block* dan *West Block* tidak sesuai dengan spesifikasi pabrik peleburan karena kadar bijih pada *East Block* terlalu rendah sedangkan kadar bijih pada *West Block* terlalu tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses *blending* untuk menghasilkan kadar bijih yang sesuai dengan spesifikasi pabrik peleburan yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi SSP *West Block* dan *East Block* (PT Vale Indonesia Tbk, 2020)

Parameter	Spesifikasi SSP <i>East Block</i>	Spesifikasi SSP <i>West Block</i>	Spesifikasi Pabrik Peleburan
Ni (%)	> 1,50	> 1,60	> 1,5
Fe (%)	13,5-16,5	20,5-24,5	18,5%-22,5%
S/M	1,50-1,65	2,40-2,70	2,05-2,25



Perubahan rasio S/M memiliki peran yang sangat penting untuk mengontrol titik leleh dan kekentalan *slag*, serta merupakan faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan *electrical furnace* (Dalvi, et al., 2004). Untuk mendapatkan nilai S/M yang optimal maka perlu dilakukan *blending* antara bijih pada *West Block* yang memiliki rasio S/M yang tinggi dengan bijih pada *East Block* yang memiliki rasio S/M yang rendah. Kandungan besi yang sangat tinggi atau sangat rendah mengakibatkan *ore* susah melebur (Ahmad, 2005) oleh karena itu, perlu dilakukan *blending* antara bijih *West Block* yang memiliki kadar Fe yang tinggi dengan bijih yang memiliki kadar Fe rendah pada *East Block*.

KESIMPULAN

- 1 Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar rata-rata Ni, Fe, SiO₂ dan rasio S/M lebih tinggi pada *West Block* dibandingkan pada *east*. Sebaliknya pada *East Block* memiliki kadar rata-rata MgO yang lebih tinggi dibandingkan pada *West Block*.
- 2 Hubungan antara Ni dan Fe pada *East Block* menunjukkan tingkat hubungan yang sangat rendah dengan arah hubungan positif sedangkan pada *West Block* tingkat hubungannya rendah dengan arah hubungan positif. Hubungan antara Ni dan S/M pada *East Block* menunjukkan tingkat hubungan yang rendah dengan arah hubungan positif sedangkan pada *West Block* tingkat hubungannya cukup kuat dengan arah hubungan negatif.
- 3 Garnierit banyak ditemukan pada *West Block* sehingga mengakibatkan tingginya kadar nikel pada *West Block* dibandingkan pada *East Block*. Bijih pada *West Block* menunjukkan kadar besi yang lebih tinggi karena jenis bijih pada blok ini merupakan bijih saprolit yang kaya akan *goethite*. Pada *West Block* terdapat banyak mineral talk yang menyebabkan kadar SiO₂ pada bijih menjadi tinggi. Sedangkan pada *East Block* menunjukkan kadar MgO yang lebih tinggi karena blok ini didominasi oleh mineral serpentin.
- 4 Apabila disesuaikan dengan spesifikasi pabrik peleburan, maka kadar Fe dan rasio S/M pada *East Block* dan *West Block* tidak sesuai dengan spesifikasi pabrik peleburan karena kadar Fe dan rasio S/M pada *East Block* terlalu rendah sedangkan kadar Fe dan rasio S/M pada *West Block* terlalu tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses *blending* untuk menghasilkan kadar yang sesuai dengan spesifikasi pabrik peleburan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT Vale Indonesia Tbk yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan pengambilan data penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, M. K., Prianata, Y. L. O., & Kadar, M. I. (2022). Analisis Perbandingan Kadar MgO dan SiO₂ pada Nikel Kadar Rendah di Kabupaten Kolaka dan Kabupaten Kolaka Utara. *Jurnal Geomine*, 10(1), 43-50.
- Ahmad, W. 2005. *Mine Geology At P.T. INCO Mine geology, exploration methods, ore processing, resource estimation, and project development*.
- Brand, N.W., Butt, C.R.M., Elias, M., 1998. Nickle lateritics: *classifications and features*. *AGSO J. Aust. Geol. Geophys.* 17 (4), 81-88.
- Butt, C.R.M., Cluzel, D., 2013. Nickel lateritic ore deposits: *weathered serpentinites*. *Elements* 9, 123-128.
- Fu, T., Tang, X., Cai, Z., Zuo, Y., Tang, Y., & Zhao, X. 2020. Correlation research of phase angle variation and coating performance by means of Pearson's correlation coefficient. *Progress in Organic Coatings*, 139
- Gao, J. M., Du, Z., Ma, S., Cheng, F., & Li, P. 2021. High-efficiency leaching of valuable metals from saprolite laterite ore using pickling waste liquor for synthesis of spinel-



- type ferrites MFe₂O₄ with excellent magnetic properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 988–1001.
- Golightly, 1987. Nicheliferous Laterites General Description PT. International Nichel Indonesia. Sorowako (unpublished).
- Hasria, S. A. 2021. Pengaruh Geomorfologi Terhadap Pola Distribusi Unsur Nikel dan Besi pada Endapan Nikel Laterit di Kabupaten Buton Tengah-Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geosapta*, 7 (2), 103-114.
- Morris, A. 2020. A more scientific approach to applied economics: Reconstructing statistical, analytical significance, and correlation analysis. *Economic Analysis and Policy*, 66, 315-324.
- Prasetyo, P. 2016. Sumber Daya Mineral di Indonesia Khususnya Bijih Nikel Laterit dan Masalah Pengolahannya Sehubungan Dengan UU Minerba 2009, 1-10.
- Prendergast, M.D., 2013. Landscape evolution, regolith formation and nickel lateritic development in the northern part of the Great Dyke, Zimbabwe. *S. Afr. J. Geol.* 116 (2), 219–240.
- Proenza, J.A, Lewis, F.J, Gali, S., Tauler, E., Labrador, M., Melgarejo, J.C., Longo, F., and Bloise, G., 2008. Garnierite mineralization from Falcondo Ni-laterite deposits (Dominican Republic). *Macla*, 9.
- PT Vale Indonesia Tbk. 2022. *Laporan Tahunan 2022 "Greener Investment, Brighter Tomorrow"*. Jakarta.
- Sufriadin, Idrus, A., Pramumijoyo S., Warmada., I.W., Nur I., Imai, A., Imran, A.M., Kaharuddin. 2012. Thermal and Infrared Studies of Garnierite from the Soroako Nickeliferous Laterite Deposit, Sulawesi, Indonesia. *Indonesian Journal of Geology*, 7 (2), 77-85.
- Sugiyono, 2018. *Metode Penelitian Kuantitatif*, Alfabeta, Bandung, 546 hal.
- Sukandarrumidi. 2007. *Geologi Mineral Logam*. Yogyakarta: Penerbit Gadjah Mada University Press.
- Taylor, G. and Eggleton, R.A., 2001, *Regolith geology and geomorphology*, Wiley, New York, p. 375
- Uma, S., & Roger, B. 2016. Research Methods for Business: A Skill Building Approach. In *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research (7th ed.)*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5_102084
- Wei Fu, Y. Z. 2018. Garnierite mineralization from a serpentinite-derived lateritic regolith, Sulawesi Island, Indonesia: Mineralogy, geochemistry and link to hydrologic, flow regime. *Journal of Geochemical Exploration*, 240-256.
- Zhang, Y., Li, Y., Song, J., Chen, X., Lu, Y., & Wang, W. 2020. Pearson correlation coefficient of current derivative based pilot protection scheme for long-distance LCCHVDC transmission lines. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 116, 105526.