



## Karakteristik Unsur Nikel berdasarkan Litologi, Mineralogi, dan Analisis Fraksi Butir pada Zona Saprolit di Lapangan “K”, Pulau Gebe, Kabupaten Halmahera Tengah, Provinsi Maluku Utara, Indonesia

Nabila Putri Imalianda<sup>1</sup>, Septyo Uji Pratomo<sup>1\*</sup>, Sutarto<sup>1</sup>, Petrus P. Abimanyu Darmawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Geologi UPN Veteran Yogyakarta

<sup>2</sup>PT.Fajar Bhakti Lintas Nusantara

### Abstrak

Pulau Gebe, yang terletak di Kabupaten Halmahera Tengah, Provinsi Maluku Utara, merupakan salah satu wilayah dengan potensi endapan nikel laterit yang signifikan akibat proses pelapukan ultramafik yang intensif. Zona saprolit dalam endapan laterit ini menjadi fokus utama eksplorasi karena kandungan nikel yang bernilai ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan distribusi nikel serta unsur-unsur lainnya berdasarkan analisis litologi, mineralogi, dan analisis fraksi butir pada zona saprolit di lapangan “K”, Pulau Gebe, Kabupaten Halmahera Tengah, Indonesia. Metode penelitian yang dilakukan antara lain pemetaan geologi permukaan berskala 1:4.000 dan pengambilan sampel batuan, analisis deskriptif secara megaskopis, serta analisis kuantitatif dengan menggunakan *X-ray Fluorescence (XRF)*. Berdasarkan pemetaan geologi, stratigrafi daerah penelitian terbagi menjadi dua satuan litodem, yaitu satuan litodem Peridotit Gebe dan satuan litodem Serpentininit Gebe dengan interpretasi struktur geologi berupa sesar mendatar manganan berarah baratlaut-tenggara. Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa kadar nikel, besi, silikon, dan magnesium pada zona saprolit bervariasi tergantung pada ukuran fraksi butir, mineralogi, dan litologi dari *bedrock*. Pada ukuran butir yang lebih halus, terjadi pengayaan nikel yang signifikan, terutama di lokasi yang mengalami proses laterisasi lebih intensif. Hasil penelitian menunjukkan korelasi langsung antara litologi serta mineralogi *bedrock* dengan kadar nikel pada zona saprolit, dengan keberadaan garnierit yang meningkatkan kelayakan ekonomis di titik-titik tertentu. Litologi yang dominan di setiap lokasi, seperti peridotit dan serpentininit, serta variabilitas mineralogi, terutama mineral pembawa nikel, secara substansial mempengaruhi distribusi dan konsentrasi nikel.

**Kata kunci:** nikel laterit, zona saprolit, Pulau Gebe, analisis fraksi butir

### Abstract

*Gebe Island, located in Central Halmahera Regency, North Maluku Province, is recognized as a region with significant lateritic nickel deposits resulting from intense ultramafic weathering. The saprolite zone within these lateritic deposits serves as the primary focus of exploration due to its economically valuable nickel content. This study aims to identify the characteristics and distribution of nickel and other elements based on lithological and mineralogical analysis, and grain size analysis in the saprolite zone at "K" field, Gebe Island, Central Halmahera District, Indonesia. The research methods include surface geological mapping at a 1:4,000 scale and rock sampling, followed by descriptive megascopic analysis and quantitative analysis using X-ray fluorescence (XRF). Geological mapping revealed that the stratigraphy of the research area is divided into two lithodemic units: the Gebe Peridotite unit and the Gebe Serpentinite unit, with the geological structure interpreted as northwest-southeast trending dextral strike-slip faults. Laboratory analysis indicates that the levels of nickel, iron, silicon, and magnesium in the*

---

\* Korespondensi: septyo.uji@upnyk.ac.id

Diajukan : 26 April 2024

Diterima : 15 Oktober 2024

Diterbitkan : 24 Oktober 2024

*saprolite zone vary depending on the bedrock's grain size, mineralogy, and lithology. Significant nickel enrichment occurs in finer grain sizes, especially in locations undergoing more intensive lateralization processes. The results demonstrate a direct correlation between the bedrock lithology and mineralogy with nickel content in the saprolite zone, where the presence of garnierite enhances economic viability at specific points. The dominant lithology at each site, such as peridotite and serpentinite, along with mineralogical variability, particularly nickel-bearing minerals, substantially influences the distribution and concentration of nickel.*

**Keywords:** laterite nickel, saprolite zone, Gebe Island, grain size analysis

## PENDAHULUAN

Deposit nikel laterit di Indonesia memiliki kepentingan yang signifikan karena melimpahnya sumber daya mineral nikel yang terdapat pada bijih laterit di negara ini (Zunaidi dkk., 2022). Pengembangan deposit nikel sebagai salah satu komoditas strategis, didukung dengan meningkatnya permintaan global telah mendorong peningkatan eksplorasi dan eksploitasi bijih nikel, salah satunya di Pulau Gebe, Provinsi Maluku Utara.

Pulau Gebe (Gambar 1), yang terletak strategis di antara pulau Halmahera dan Papua. Kondisi Pulau Gebe menawarkan keunikan geologi secara regional yang didominasi oleh formasi laterit dengan potensi ekonomis yang tinggi. Deposit ini

umumnya terbentuk dari pelapukan batuan induk ultramafik, yang mengarah pada pembentukan deposit nikel laterit (Mustafa dkk., 2023). Zona saprolit, sebagai bagian integral dari suatu profil laterit, memegang kunci penting dalam pengembangan sumber daya nikel karena karakteristiknya yang unik dan kadar nikel yang relatif lebih tinggi dibandingkan lapisan atas.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki karakteristik nikel berdasarkan kondisi litologi dan mineralogi, serta analisis fraksi butir pada zona saprolit di Lapangan "K" di Pulau Gebe, Kabupaten Halmahera Tengah, dengan tujuan lebih lanjut untuk mengoptimalkan ekstraksi nikel serta mendukung pengembangan teknologi



**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian

pengolahan bijih yang lebih efisien dan berkelanjutan. Dengan melakukan analisis fraksi butir, suatu perusahaan pertambangan dapat mengidentifikasi ukuran butir optimal untuk pemulihan logam (*metal recovery*) dari batuan limbah (*waste rock*), sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan proses ekstraksi (Komba, 2021).

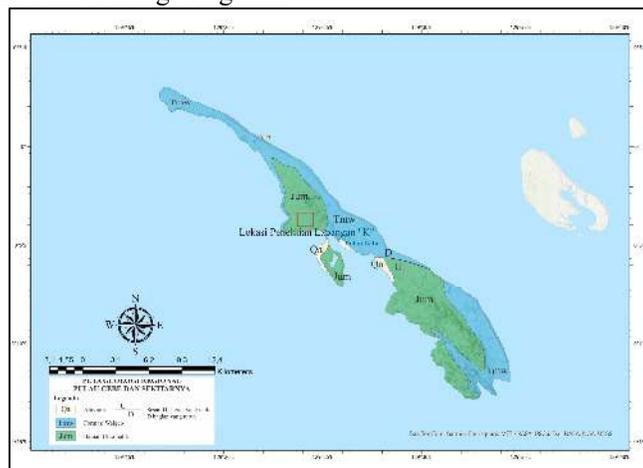
Selain itu, ukuran butir nikel dalam bijih dapat berpengaruh secara signifikan terhadap tahap pengolahan selanjutnya. Heterogenitas dalam ukuran butir memiliki dampak negatif terhadap proses pembentukan, perilaku mekanis, dan inspektabilitas produk akhir dalam tahap pengolahan (Pérez dkk., 2018). Lebih lanjut, distribusi butir mineral pembawa logam dalam bijih sangat penting untuk proses pelindian (*leaching*). Heterogenitas spasial butir mineral mempengaruhi efisiensi ekstraksi secara keseluruhan, khususnya dalam konteks penargetan kadar bijih yang terus menurun dan tubuh bijih yang kompleks (Dobson dkk., 2017). Melalui penelitian ini, diharapkan analisis dan pemahaman mengenai litologi, mineralogi, dan fraksi butir nikel dapat membantu mengoptimalkan proses pelindian dan memaksimalkan pemulihan logam yang mengarah pada peningkatan kualitas produk dan efisiensi pengolahan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Geologi Regional

Secara regional, daerah Pulau Gebe termasuk ke dalam Peta Geologi Regional

Lembar Waigeo (Supriatna dkk., 1995) yang tersusun oleh Batuan Ultramafik dan Formasi Waigeo (lihat Gambar 2). Batuan ultramafik terdiri dari batuan ultrabasa yang terdeformasi dan terserpentinisasi secara ekstensif (dunit, harzburgit, piroksenit, dan serpentin) dengan sejumlah kecil gabro, diabas, dan basalt. Supriatna (1995) dan Hall (2000) menjelaskan bahwa sebagian besar batuan ultramafik memiliki tekstur akumulasi, dan mewakili sekuen ofiolit bagian bawah dari urutan berlapis. Lalu dijelaskan bahwa kompleks ofiolit Halmahera Timur berkomposisi basal toleitik kerak samudera, memiliki karakteristik geokimia dari zona suprasubduksi ofiolit, dan dianggap mewakili ofiolit yang terbentuk di busur depan nonakresi dari intra-oceanic busur kepulauan (tipe Mariana). Supriana (1995) menyebutkan bahwa umur Kompleks Ofiolit ini adalah  $148 \pm 8$  juta tahun lalu (Jura Atas) berdasarkan *radiometric dating* K/Ar dari xenolit harzburgite pada intrusi *dyke* di pulau Gag. Sementara itu, formasi Waigeo terdiri dari litologi batugamping dengan sisipan batugamping pasir dan napal berumur Miosen Tengah yang terdiri dari fosil foraminifera besar *Lepidocyclina sp.*, *Cycloclypeus sp.*, dan *Miogypsina sp.* dan foraminifera kecil *Globigerinoides immaturus* LE ROY (Supriatna dkk., 1995).



**Gambar 2.** Peta Geologi Regional Pulau Gebe, dimodifikasi dari Supriatna dkk. (1995). Keterangan: *Jum* (warna hijau pada peta): Kompleks Ofiolit; *Tmw* (warna biru pada peta): Formasi Waigeo; lokasi penelitian ditandai oleh kotak berwarna merah.

### **Karakteristik Nikel Pulau Gebe**

Abidin dkk. (2022) menjelaskan bahwa karakteristik nikel yang mengacu pada profil laterit di Pulau Gebe secara umum terbagi menjadi tiga zona utama: *red limonite*, *yellow limonite*, dan *saprolite*. Karakteristik tiap zona menunjukkan perbedaan yang signifikan. Zona *red limonite* memiliki ciri khas warna merah kecokelatan dengan konsentrasi  $Fe_2O_3$  yang relatif lebih tinggi. Sementara itu, zona *yellow limonite* menampilkan warna dari kuning kemerahan hingga kuning kecokelatan, dengan konsentrasi  $Al_2O_3$  yang lebih tinggi. Untuk zona *saprolite*, warnanya berkisar antara hijau kekuningan hingga hijau muda, menandakan konsentrasi  $MgO$  dan  $SiO_2$  yang lebih tinggi. Adapun kandungan Ni, wilayah dengan dominasi batuan dunit memiliki kandungan Ni yang lebih tinggi dibandingkan wilayah yang lebih banyak mengandung batuan olivin gabronorit.

### **METODOLOGI**

Penelitian ini terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu akuisisi data primer dan analisis laboratorium.

#### **Akuisisi Data Primer**

Akuisisi data primer dilakukan melalui pemetaan geologi permukaan di lapangan berskala 1:4.000, bertujuan untuk mendapatkan data langsung yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut. Dalam kegiatan pemetaan ini, terdapat beberapa tahapan utama yang dilaksanakan:

##### *Pengamatan Singkapan Batuan*

Pengamatan ini berfokus pada daerah penelitian melalui pengamatan litologi dan gejala struktur geologi, serta pembuatan profil dan deskripsi singkapan pada dinding pit. Deskripsi singkapan melibatkan singkapan laterit dan batuan dasar dengan tujuan memahami karakteristik geologi dan lateritisasi secara lebih detail.

##### *Pengambilan Sampel Batuan*

Sampel batuan diambil berfungsi untuk analisis deskriptif dan kualitatif secara megaskopis serta analisis kuantitatif dari unsur nikel dan unsur lainnya melalui pengujian di laboratorium. Sampel batuan yang diambil untuk diujikan di laboratorium

diambil secara komposit pada zona saprolit di beberapa dinding pit.

### **Analisis Laboratorium**

Setelah tahap akuisisi data primer melalui pemetaan geologi permukaan dan pengambilan sampel batuan selesai, tahap penelitian dilanjutkan dengan kegiatan analisis laboratorium yang mencakup tiga metode utama:

#### *Analisis Fraksi Butir dengan Point Sampling*

Proses fraksi butir berfokus pada pemisahan material berdasarkan ukuran partikel. Metode ini mengambil sampel yang tersusun atas berbagai ukuran butir yang kemudian dipisahkan melalui ayakan (*screen*) dengan ukuran fraksi butir 5 cm, 2,5 cm, dan <1 cm. Tahapan analisis meliputi pemisahan ukuran butir dalam fraksi butir yang telah disebutkan, penyusunan interval kelas kadar nikel, dan analisis persentase kadar nikel serta unsur lainnya pada setiap fraksi butir. Pengambilan sampel dilakukan secara sistematis di 3 (tiga) dinding pit pada zona saprolit dengan *metode point sampling*, menghasilkan data untuk analisis geokimia lebih lanjut menggunakan alat *X-ray Fluorescence (XRF)*.

#### *Analisis X-ray Fluorescence (XRF)*

Analisis ini menggunakan alat *X-ray Fluorescence* tipe Panalytical Epsilon 4 milik PT.Fajar Bhakti Lintas Nusantara untuk menguji kandungan unsur Ni, Si, Fe, dan Mg dalam sampel. Sampel melewati proses preparasi standar sebelum dibaca oleh alat.

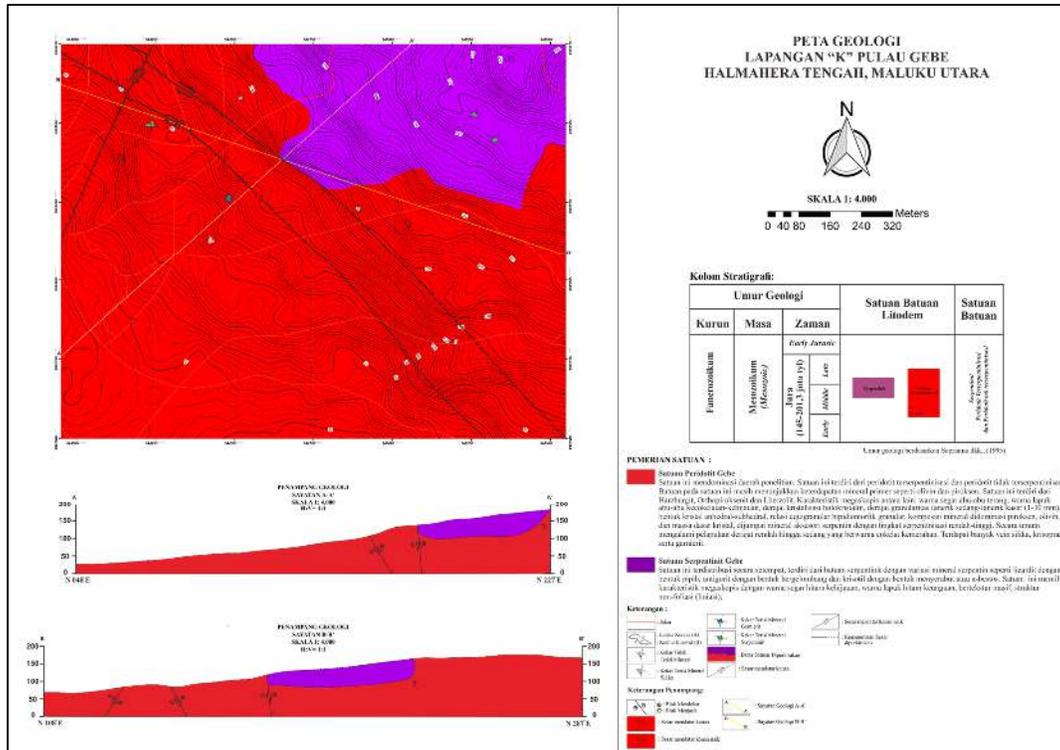
#### *Analisis Sayatan Tipis (Petrografi)*

Analisis ini dilakukan di Laboratorium Mineralogi Optik dan Petrografi UPN "Veteran" Yogyakarta, digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik mineralogi dan tekstur batuan dalam skala mikroskopis. Dalam penelitian ini, analisis ini memiliki peran penting dalam menentukan jenis batuan dasar (*bedrock*) yang mengalami laterisasi, karena komposisi litologi sangat berpengaruh terhadap proses pelapukan dan konsentrasi nikel. Batuan dasar yang umum ditemukan dalam sistem endapan nikel

laterit berasal dari batuan ultramafik, seperti peridotit, harzburgit, lherzolite, dan serpentin. Melalui analisis sayatan tipis, mineralogi utama seperti olivin, piroksen, dan kelompok mineral serpentin seperti krisotil dan lizardit dapat diketahui. Olivin, sebagai mineral utama dalam peridotit, sering mengalami alterasi menjadi serpentin melalui proses serpentinisasi, yang

kemudian memengaruhi distribusi unsur nikel dalam sistem laterit.

Melalui kedua metode yaitu akuisisi data primer dan analisis laboratorium, diharapkan pemahaman yang mendalam tentang karakteristik geologi dan mineralogi dari area studi, khususnya dalam konteks kandungan dan distribusi nikel di zona saprolit akan diperoleh.



Gambar 3. Peta Geologi Daerah Penelitian

## HASIL PENELITIAN

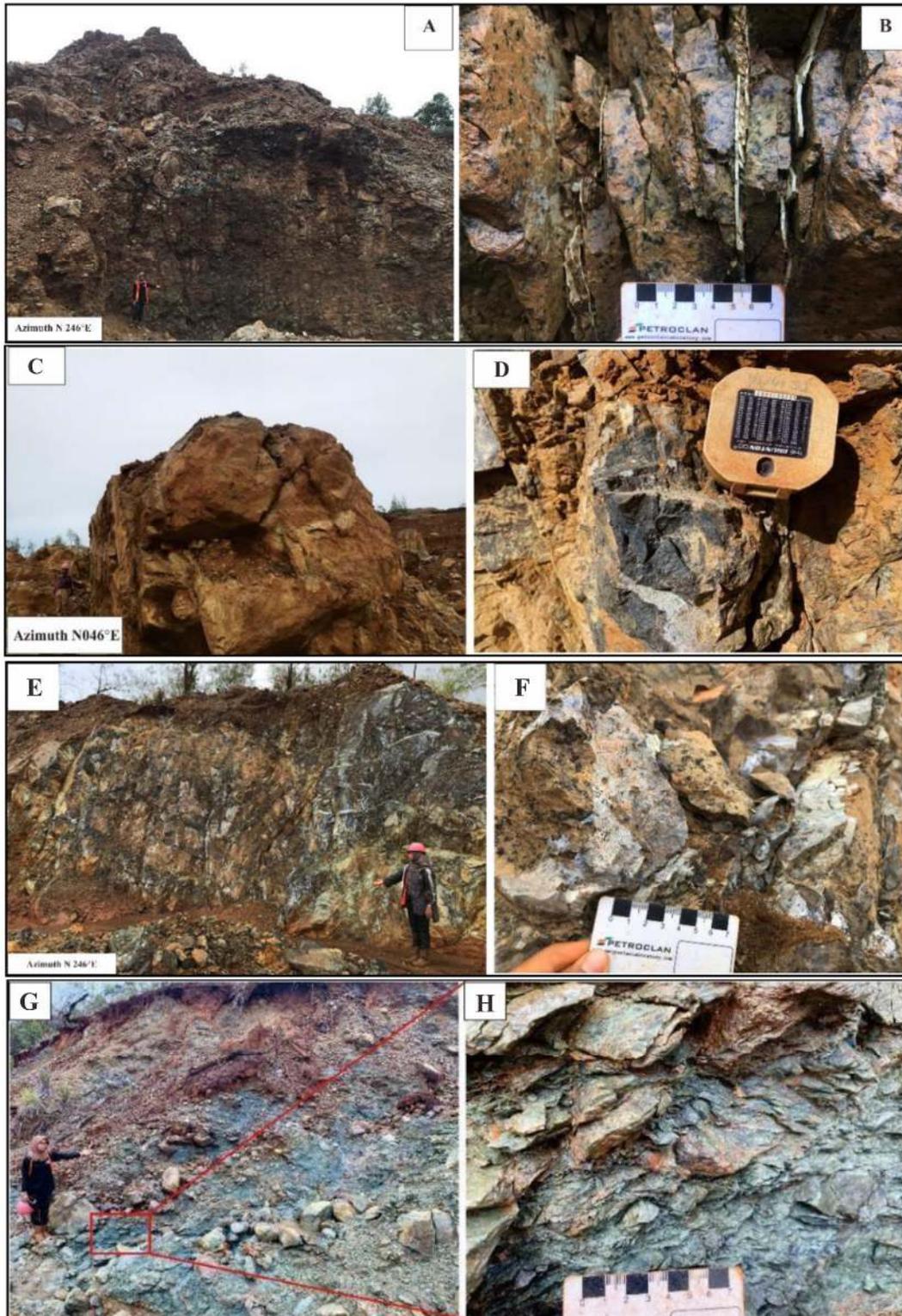
### Geologi Daerah Penelitian

Stratigrafi daerah penelitian terbagi menjadi dua satuan litodem, yaitu satuan litodem Peridotit Gebe dan satuan litodem Serpentin Gebe, disajikan dalam peta geologi pada Gambar 3.

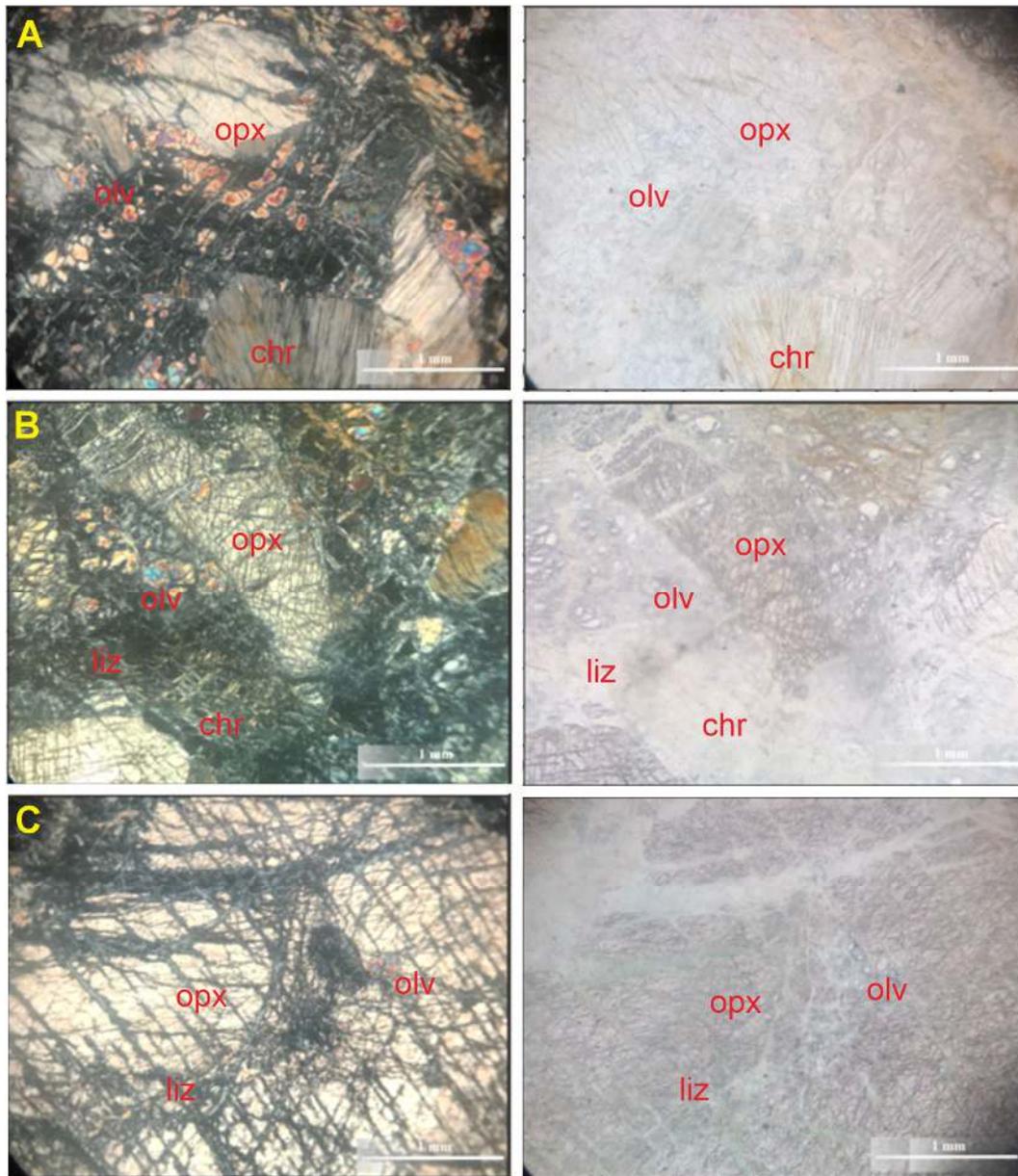
#### Satuan Peridotit Gebe

Satuan ini terdiri dari batuan kelompok peridotit, termasuk harzburgite, lherzolite,

dan piroksenit. Sebagian besar batuan ini telah mengalami proses serpentinisasi, ditandai dengan keberadaan mineral serpentin yang mengisi rekahan-rekahan pada peridotit. Proses ini menghasilkan warna lapukan yang khas, yaitu coklat kekuningan hingga kehijauan.



**Gambar 4.** Kenampakan litologi di daerah penelitian. **A.** Singkapan batuan peridotit. **B.** Singkapan peridotit (*fresh*) dengan kehadiran mineral serpentin yang mengisi rekahan. **C.** Singkapan batuan lherzolite dengan bagian luar yang lapuk dan rekahan yang terisi serpentin. **D.** Singkapan lherzolite (*fresh*). **E.** Singkapan batuan piroksenit dengan rekahan yang terisi serpentin dan silika. **F.** Singkapan piroksenit (*fresh*). **G.** Singkapan batuan serpentin, secara keseluruhan tidak memperlihatkan relik batuan asalnya. **H.** Singkapan serpentin dengan lebih detail.



**Gambar 5.** Sayatan tipis batuan di daerah penelitian (kiri: polarisasi bersilang, kanan: polarisasi sejajar; olv = olivin, opx = ortopiroksen, chr = krisotil, liz = l). **A.** Harzburgite terserpentinisasi, memperlihatkan olivin, ortopiroksen, dan krisotil yang hadir sebagai mineral sekunder. **B.** Lherzolite terserpentinisasi, memperlihatkan olivin, ortopiroksen, serta krisotil dan lizardit yang hadir sebagai mineral sekunder. **C.** Ortopiroksenit terserpentinisasi, dengan persentase ortopiroksen >90% dengan lizardit sebagai mineral sekunder.

Harzburgite (Gambar 4A-B, Gambar 5A): Menunjukkan karakteristik serpentinisasi dengan warna abu-kehitaman dan coklat kekuningan. Berstruktur masif dengan kristal berukuran 1-5 mm, terdiri

dari olivin (60%) dan piroksen (30%), serta mineral serpentin sebagai mineral sekunder (10%).

Lherzolite (Gambar 4C-D, Gambar 5B): Terserpentinisasi dengan warna abu-abu

kehitaman hingga kuning. Memiliki granularitas sedang hingga kasar (1-30 mm), berstruktur masif dengan komposisi: komposisi olivin (57%), piroksen (10%), dan serpentin (33%).

Piroksenit (Gambar 4E-F, Gambar 5C): Dicitrakan oleh warna segar abu-abu terang, warna lapuk abu-abu kecokelatan hingga kehijauan. Granularitas bervariasi dari halus (<1 mm) hingga sedang (1-5 mm), dengan komposisi dominan piroksen dan olivin, serta serpentin dan magnetit sebagai mineral aksesori. Pelapukan pada batuan ini berkisar dari rendah hingga sedang, dengan adanya vein silika, krisopras, dan garnierit.

#### *Satuan Serpentin Gebe*

Deskripsi megaskopis batuan serpentin menunjukkan warna hijau tua dengan ukuran mineral antara 0,1 mm hingga 1,5 mm (lihat Gambar 4G-H). Batuan ini memiliki struktur non-foliasi dengan tekstur xenoblastik. Komposisi mineral utama terdiri dari antigorit (40%), krisotil (30%), piroksen (10%), dan silika (20%).

Pulau Gebe terletak pada setting tektonik yang kompleks, berkontribusi pada pembentukan struktur geologi yang beragam. Namun, proses laterisasi intensif di wilayah ini seringkali menyulitkan pengenalan struktur geologi secara langsung di lapangan. Dalam konteks ini, struktur geologi memiliki peran signifikan, khususnya melalui keberadaan rekahan yang memfasilitasi proses laterisasi di area penelitian.

Dari pengamatan yang dilakukan, teridentifikasi secara interpretatif beberapa jenis struktur geologi di daerah penelitian, termasuk kekar berpasangan yang terisi mineral, kekar berpasangan tanpa mineral, serta sesar mendatar mengangan naik dan sesar mendatar mengangan yang memanjang dengan arah relatif barat-laut-tenggara (NW-SE).

#### **Analisis Fraksi Butir pada Dinding Pit**

Dalam penelitian ini, tiga lokasi dinding pit dipilih berdasarkan kondisi dan karakteristik geologinya yang memadai untuk analisis fraksinasi. Kriteria seleksi titik-titik ini didasarkan pada variasi litologi dan komposisi mineral yang diharapkan dapat

memberikan pemahaman yang lebih luas mengenai karakteristik laterit yang dihasilkan dari bedrock yang berbeda.

Titik 1: Pemilihan lokasi ini didasarkan pada keberadaan batuan dasar berupa serpentin. Hal ini memungkinkan penelitian untuk mendalami karakteristik laterit yang terbentuk dari batuan dasar dengan komposisi khusus ini, memberikan informasi mengenai pengaruh litologi dasar terhadap pembentukan dan karakteristik laterit.

Titik 2: Lokasi ini dipilih karena singkapan cukup kaya akan silika, dengan ketiadaan garnierit namun kehadiran krisopras. Pemilihan titik kedua ini bertujuan untuk memahami pengaruh dominasi silika dalam batuan terhadap formasi laterit, khususnya dalam konteks ketersediaan mineral penting lainnya.

Titik 3: Lokasi ini dipilih karena adanya dua zona laterit yang berbeda, yaitu *earthy saprolite* dan *rocky saprolite* yang cukup menarik untuk dilakukan pengambilan sampel. Selain itu, titik ini juga ditandai dengan sedikit kandungan silika namun kaya akan mineral garnierite, memberikan kontras yang signifikan dengan titik kedua.

Peta lokasi dari 3 (tiga) dinding pit beserta profil dinding pit secara detail disajikan pada Gambar 5. Hasil analisis unsur Ni, Si, Fe, dan Mg per lokasi dinding pit dan per ukuran fraksi butir (5 cm, 2,5 cm, dan <1 cm) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan variasi dalam kandungan elemen Ni, Fe, Si, dan Mg pada tiga titik pengamatan dengan ukuran fraksi butir yang berbeda. Berikut adalah penjabaran perbandingan hasil analisis XRF dari masing-masing unsur pada masing-masing titik:

#### *Unsur Nikel (Ni)*

Pada ukuran fraksi butir 5 cm, kandungan nikel (Ni) bervariasi, dimulai dari 0,674% di Titik 1, meningkat menjadi 1,721% di Titik 2, dan mencapai nilai tertinggi di Titik 3 dengan 2,049%. Seiring pengecilan fraksi butir menjadi 2,5 cm, terdapat peningkatan kandungan Ni pada semua titik, dengan Titik 3 masih memperlihatkan konsentrasi tertinggi (3,188%). Pada fraksi butir <1 cm, peningkatan Ni terus berlanjut dengan Titik

**Tabel 1.** Hasil analisis unsur Ni, Fe, Si, dan Mg dari 3 dinding pit per ukuran fraksi butir

Unsur	5 cm			2,5 cm			<1 cm		
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
Ni	0.674	1.721	2.049	0.78	1.735	3.188	0.86	1.907	4.263
Fe	6.67	5.902	3.026	6.8	7.293	3.04	7.64	9.096	3.517
Si	21.3	18.67	18.25	20.46	18.2	18.17	18.56	17.9	18.2
Mg	20.17	18.31	16	20.76	18.45	17.2	21.1	18.9	18.4

Angka yang tertera di dalam tabel dalam satuan %

3 yang mencatat nilai sangat tinggi sebesar 4,263%, menunjukkan bahwa ukuran fraksi butir yang lebih kecil mengandung konsentrasi Ni yang lebih tinggi, khususnya di Titik 3.

#### Unsur Besi (Fe)

Kandungan besi (Fe) juga memperlihatkan variasi yang mencolok. Pada ukuran 5 cm, kandungan Fe tertinggi terdapat di Titik 2 (5,902%), sementara pada ukuran 2,5 cm, nilai tertinggi terdapat di Titik 1 (7,293%). Menariknya, peningkatan dramatis Fe terjadi pada fraksi butir <1 cm di Titik 2, melonjak menjadi 9,096%, yang menandakan adanya pengkayaan Fe pada partikel yang lebih halus di Titik tersebut.

#### Unsur Silikon (Si)

Untuk Silikon (Si), di ukuran 5 cm, Titik 1 menunjukkan kandungan Si tertinggi (21,3%), namun menariknya, seiring mengecilnya fraksi butir, terjadi penurunan nilai pada semua titik, dengan kandungan terendah di fraksi <1 cm di Titik 3 (18,2%). Tren penurunan kandungan Si dengan pengecilan ukuran fraksi butir menunjukkan potensi segregasi ukuran butir terhadap Si, dengan butir yang lebih besar cenderung lebih kaya Si.

#### Unsur Magnesium (Mg)

Magnesium (Mg), di sisi lain, memperlihatkan pola yang lebih kompleks. Pada fraksi 5 cm, kandungan Mg tertinggi ada di Titik 1 (20,17%), namun pada fraksi 2,5 cm, Titik 3 menunjukkan nilai tertinggi (20,76%). Selanjutnya, pada fraksi <1 cm, Titik 1 kembali menunjukkan nilai tertinggi (21,1%). Ini menunjukkan bahwa Mg mungkin lebih dipengaruhi oleh faktor lokal daripada sekadar ukuran fraksi butir.

## PEMBAHASAN

Pembahasan ditekankan pada persebaran unsur berdasarkan litologi, mineralogi, dan

ukuran butir yang menggambarkan kompleksitas interaksi geokimia yang terjadi dalam sistem lateritik. Kandungan unsur-unsur Ni, Fe, Si, dan Mg terpapar pada kondisi litologi dan mineralogi yang berbeda di masing-masing titik pengamatan, serta dipengaruhi oleh ukuran fraksi butir.

#### Pengaruh Litologi

Pada Titik 1, yang terdiri dari *rocky saprolit* dengan komposisi mineral utama serpentin dan adanya lizardit dan antigorit, terjadi serpentinisasi batuan ultramafik menjadi serpentin. Proses ini menyebabkan Pelepasan Fe dan Mg yang menyebabkan penurunan konsentrasi Ni, yang sesuai dengan data tabel menunjukkan kandungan Ni paling rendah di antara titik-titik yang lain, dan tidak mencapai *cut off grade* (<1,5%). Pada Titik 2, peridotit yang terserpentinisasi mengalami dominasi silika pada fraksi butir yang besar dan peningkatan Ni pada ukuran butir yang lebih halus, yang konsisten dengan data pada Tabel 1, menunjukkan kandungan Ni tertinggi pada fraksi <1 cm. Serpentinisasi peridotit dapat mengubah karakteristik laterit menjadi lebih cenderung ke warna kuning kehijauan hingga hijau kekuningan. Proses ini terjadi karena pelepasan unsur Fe dari peridotit dan transformasi mineral olivin menjadi goethit dan limonit, yang mengakibatkan penampakan warna kuning kemerahan. Laterit yang berasal dari peridotit yang telah mengalami serpentinisasi menunjukkan tingkat resistensi yang lebih tinggi terhadap pelapukan karena keberadaan mineral serpentin yang lebih tahan bila dibandingkan dengan olivin (Pelletier, 1996). Sedangkan Titik 3 yang memiliki *bedrock* serupa dengan Titik 2, menunjukkan kondisi yang berbeda, dimana konsentrasi garnierit yang tinggi pada fraksi butir halus memberikan kadar Ni yang lebih ekonomis, seperti yang ditunjukkan pada nilai tertinggi pada Tabel 1.

### **Pengaruh Mineralogi**

Komposisi mineralogi yang berbeda di setiap titik pengamatan memiliki dampak langsung terhadap kandungan unsur. Di Titik 1, serpentin dengan kandungan lizardit yang tinggi tidak cukup untuk menyimpan Ni dalam jumlah ekonomis. Berbeda dengan Titik 3, di mana komposisi mineral garnierit yang tinggi pada ukuran butir halus memungkinkan konsentrasi Ni yang lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa jenis mineral pembawa unsur memiliki peran yang signifikan dalam menentukan kadar unsur di setiap titik. Garnierit yang terdapat di daerah penelitian (lihat Gambar 5), diinterpretasikan sebagai akibat dari perubahan pH air tanah. Air tanah yang cenderung lebih asam ( $\text{pH} < 7$ ) berubah menjadi lebih basa ( $\text{pH} > 7$ ) karena interaksi antara air dan batuan. Hal ini mendorong pembentukan endapan hidrosilikat, khususnya hidrosilikat Ni-magnesium. Nikel yang terkandung dalam rantai silikat atau hidrosilikat ini akan mengendap di dalam rekahan, membentuk urat-urat garnierit  $[(\text{Ni},\text{Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$  (Taylor & Eggleton, 2001).

### **Pengaruh Ukuran Butir**

Ukuran butir memiliki hubungan yang jelas dengan konsentrasi unsur di setiap titik pengamatan. Dari hasil pengamatan dan analisis data pada Tabel 1, terlihat bahwa Ni, Fe, dan Mg umumnya meningkat pada fraksi butir yang lebih halus. Hal ini diindikasikan oleh proses laterisasi yang lebih intensif pada ukuran butir halus yang menyebabkan pengayaan Ni, seperti yang terlihat pada Titik 3. Sebaliknya, unsur Si menunjukkan penurunan konsentrasi pada ukuran butir yang lebih halus. Ukuran butir yang lebih besar menunjukkan resistensi terhadap pelapukan, yang menjelaskan konsentrasi Si yang lebih tinggi pada fraksi butir yang lebih besar.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, berikut adalah beberapa poin kesimpulan yang dapat diambil:

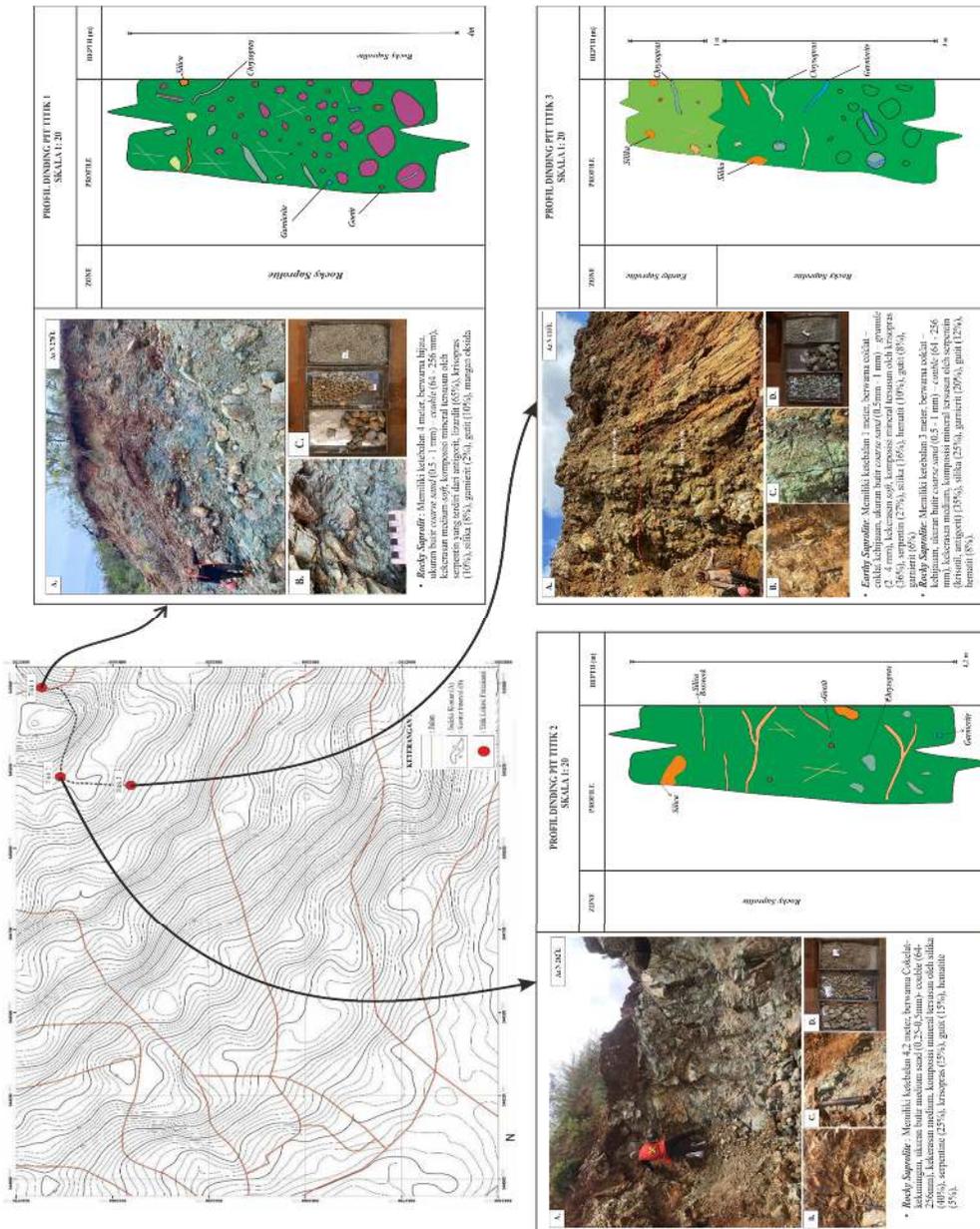
Litologi memiliki keterkaitan dengan kadar nikel. Litologi yang dominan di daerah penelitian, seperti peridotit dan serpentin, mempengaruhi kadar nikel dalam laterit. Proses serpentinisasi yang terjadi dalam batuan ultramafik seperti peridotit di Titik 1

berkontribusi pada rendahnya kadar nikel yang tidak memenuhi *cut off grade*, sedangkan di Titik 3, bedrock yang serupa menghasilkan kadar nikel yang lebih tinggi pada fraksi butir yang lebih halus karena konsentrasi garnierit. Mineralogi memengaruhi sebaran unsur. Mineralogi spesifik, khususnya keberadaan mineral pembawa nikel seperti garnierit, memainkan peran penting dalam menentukan konsentrasi nikel. Hal ini dibuktikan dengan nilai ekonomis nikel pada Titik 3 yang memiliki kandungan garnierit yang tinggi, berbanding terbalik dengan Titik 1 dan Titik 2 yang memiliki kandungan mineral pembawa nikel yang lebih rendah.

Analisis fraksi butir memengaruhi konsentrasi unsur. Analisis fraksi butir menunjukkan bahwa butir yang lebih halus cenderung mengandung konsentrasi nikel yang lebih tinggi, yang diindikasikan oleh pengayaan Ni pada Titik 3 pada fraksi  $< 1$  cm. Proses laterisasi intensif pada ukuran butir halus memperkaya kandungan nikel dan mempengaruhi distribusi unsur lainnya seperti Fe dan Mg yang juga meningkat pada fraksi yang lebih halus.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih didedikasikan kepada PT.Fajar Bhakti Lintas Nusantara yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan kegiatan penelitian di lapangan, memberikan dukungan maksimal terhadap seluruh kegiatan analisis, serta berperan penting dalam penerbitan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada reviewer dari Jurnal Geosains dan Teknologi Universitas Diponegoro yang telah berkenan memberikan ulasan dan saran kepada artikel ini.



Gambar 5. Peta Lokasi Pengambilan Sampel dan Profil Dinding Pit

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, R.R., Susanto, V., Sulaeman, & Wicaksono, H.M.H. (2022). Karakteristik Endapan Laterit Nikel dan Unsur Tanah Jarang di Daerah Pulau Gebe, Halmahera Tengah, Maluku Utara. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 17(2).
- Dobson, K. J., Harrison, S. T., Lin, Q., Bhreasail, A. N., Fagan-Endres, M. A., Neethling, S., ... & Cilliers, J. (2017). Insights into ferric leaching of low grade metal sulfide-containing ores in an unsaturated ore bed using X-ray computed tomography. *Minerals*, 7(5), 85. <https://doi.org/10.3390/min7050085>
- Hall, R., & Wilson, M.E.J. (2000). Neogene sutures in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 781-808.
- Komba, T. (2021). Evaluation of mine waste characterization to identify opportunities for optimizing project economics using fragmentation analysis. *Mining Technology*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/25726668.2021.1927587>
- Mustafa, H., Maulana, A., Irfan, U., & Tonggiroh, A. (2023). The geoelectric approach to analyzing the profile of post-mining nickel laterite deposits in the motui district, north konawe regency, indonesia. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1134(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1134/1/012035>
- Pelletier, B. G. (1996). Serpentine in nickel silicate ore from New Caledonia. In E. J. Grimsey & I. Neuss (Eds.), *Nickel '96 (Publication Series 6/96, pp. 197-205)*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Pérez, M., Dumont, C., Nodin, O., & Nouveau, S. (2018). Impact of forging direction on the recrystallization behaviour of nickel base superalloy ad730 billet material at subsolvus temperatures. *Materials Characterization*, 146, 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.10.003>
- Supriatna, S., Hakim, A.S., dan Apandi, T. (1995). *Peta Geologi Lembar Waigeo, Irian Jaya*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Taylor, G., Eggleton, R. A. (2001). *Regolith Geology and Geomorphology*. Chichester: Wiley.
- Zunaidi, M., Setiawan, I., Oediyani, S., Irawan, J., Rhamdani, A., & Syahid, A. (2022). Iron removal process from nickel pregnant leach solution using sodium hydroxide. *Metalurgi*, 37(3). <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v37i3.665>