

Nikel Laterit Pulau Gag: Menelusuri Proses Terbentuknya dan Implikasinya dalam Industri Pertambangan

Jarot Pujiono¹, T. Listyani R. A¹, Adjat Sudradjat²

^{1,2}Program Studi Magister Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Regional Exploration Bureau PT Antam Tbk, Geomin Unit

Koresponding: jarotpujiono23@gmail.com, lis@itny.ac.id, asudradjat@yahoo.com

ABSTRAK

Nikel laterit di Pulau Gag berdampak signifikan pada industri pertambangan, dengan keuntungan ekonomi besar dan dampak sosial dan lingkungan yang perlu diperhatikan. Penelitian ini bertujuan memahami pembentukan, karakteristik, dampak, dan pengelolaan nikel laterit di Pulau Gag melalui studi pustaka, survei lapangan, dan analisis laboratorium. Pulau Gag memiliki batuan ophiolite yang mengandung nikel, dan nikel limonit digunakan dalam industri baterai HPAL, sementara nikel saprolite digunakan dalam produksi Ferro-Nikel (FeNi) dengan teknologi RKEF. Tambang nikel laterit Pulau Gag memiliki dampak lingkungan yang berkaitan dengan pengolahan limbah dan penggunaan air dalam ekstraksi nikel, memerlukan investasi besar dalam infrastruktur, teknologi pengolahan, kepatuhan regulasi, dan sumber daya manusia. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami karakteristik nikel laterit Pulau Gag dan menjawab tantangan dalam menghadapi permintaan nikel global yang terus meningkat.

Kata kunci: Nikel laterit, Pulau Gag, Industri pertambangan

ABSTRACT

The nickel laterite on Gag Island has had a significant impact on the mining industry, with major economic benefits and noteworthy social and environmental impacts. This research aims to understand the formation, characteristics, impacts, and management of nickel laterite on Gag Island through literature studies, field surveys, and laboratory analysis. Gag Island has ophiolite rocks that contain nickel, and limonite nickel is used in the HPAL battery industry. In contrast, saprolite nickel is used in the production of Ferro-Nickel (FeNi) with RKEF technology. The Gag Island laterite nickel mine has environmental impacts related to waste processing and water use in nickel extraction, requiring large investments in infrastructure, processing technology, regulatory compliance, and human resources. Further research is needed to understand the characteristics of Gag Island nickel laterite and address the challenges of facing increasing global nickel demand.

Keywords: Nickel laterite, Gag Island, Mining industry

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya alam yang kaya, termasuk cadangan nikel laterit di Pulau Gag, Papua Barat, yang memiliki signifikansi dalam pembuatan logam penting bagi industri seperti baterai dan baja tahan karat [15]. Seiring pertumbuhan industri, permintaan global terhadap nikel meningkat [9], dengan Pulau Gag menjadi pusat perhatian para pemangku kepentingan di sektor pertambangan. Meskipun penambangan nikel laterit memiliki manfaat ekonomi, artikel ini akan mengeksplorasi dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat serta proses geologi yang memengaruhi pembentukan nikel laterit di Pulau Gag. Pemahaman yang lebih baik tentang sumber daya ini akan membantu pengambilan keputusan yang lebih tepat terkait keberlanjutan dan pelestarian lingkungan [13].

Nikel Laterit: Definisi dan Karakteristik

Deposit nikel yang disebut nikel laterit terbentuk ketika batuan ultrabasic dengan kandungan nikel tinggi mengalami pelapukan dan mengalami perubahan kimia [4]. Iklim tropis dan subtropis banyak dijumpai di lokasi endapan ini. Biasanya, nikel terikat dengan oksida dan hidroksida dalam nikel laterit, termasuk nikel

limonit dan nikel *saprolite* [5]. Endapan nikel laterit berbeda dengan bijih nikel sulfida, yang lebih banyak terdapat pada batuan beku, dalam hal sifat-sifatnya.

Karakteristik Fisik Nikel Laterit

Tekstur, warna, kekerasan, struktur lapisan, dan bentuk butiran mineral nikel laterit hanyalah beberapa contoh sifat fisiknya. Lapisan *saprolite* yang lebih dalam dan lapisan limonit bagian atas hanyalah dua contoh dari berbagai lapisan yang ditemukan di sebagian besar endapan nikel laterit [4]. Tekstur yang paling sering ditemukan disebut tekstur pitting, yang menggambarkan lubang-lubang kecil yang tercipta akibat pelapukan pada permukaan batuan. Nikel laterit memiliki warna yang bervariasi dari coklat kemerahan hingga coklat kekuningan. Meskipun kekerasan nikel laterit dapat bervariasi, biasanya kekerasannya lebih rendah dibandingkan bijih logam keras lainnya.

Karakteristik Kimia Nikel Laterit

Kandungan kimia yang termasuk dalam deposit mineral ini disebut sebagai sifat kimia nikel laterit [4]. Nikel, besi, magnesium, dan aluminium adalah komponen umum nikel laterit, serta sedikit kobalt, kromium, dan mangan [4]. Meskipun jumlah nikel dalam nikel laterit bisa sangat bervariasi, biasanya jumlahnya turun antara beberapa persen dan puluhan persen. Selain itu, jumlah zat besi dan magnesium bisa sangat signifikan. Komposisi ini mempengaruhi metode yang digunakan untuk mengekstraksi nikel dari komponen lainnya.

Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk memahami secara mendalam bagaimana deposit nikel laterit terbentuk di Pulau Gag, menganalisis secara mendalam karakteristik fisik dan kimia nikel laterit di Pulau Gag, mengevaluasi dampak dan implikasi aktivitas pertambangan nikel laterit, dan memberikan rekomendasi dan landasan untuk pengelolaan sumber daya nikel laterit yang berkelanjutan.

Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi penting bagi peneliti geologi, pertambangan, dan lingkungan. Metodologi yang digunakan dalam penelitian dapat digunakan sebagai contoh untuk penelitian serupa di wilayah lain. Informasi ini bermanfaat bagi perusahaan dalam perencanaan eksploitasi mineral yang lebih efisien dan berkelanjutan. Selain itu, penelitian memberikan pemahaman yang lebih jelas kepada pemangku kepentingan, termasuk masyarakat lokal dan kelompok lingkungan, tentang potensi dampak lingkungan dari aktivitas pertambangan nikel laterit, memungkinkan partisipasi yang lebih bermakna dalam pelestarian lingkungan. Indonesia memiliki sumber daya alam yang kaya, termasuk cadangan nikel laterit di Pulau Gag, Papua Barat, yang memiliki signifikansi dalam pembuatan logam penting bagi industri seperti baterai dan baja tahan karat [15]. Seiring pertumbuhan industri, permintaan global terhadap nikel meningkat [9], dengan Pulau Gag menjadi pusat perhatian para pemangku kepentingan di sektor pertambangan. Meskipun penambangan nikel laterit memiliki manfaat ekonomi, artikel ini akan mengeksplorasi dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat serta proses geologi yang memengaruhi pembentukan nikel laterit di Pulau Gag. Pemahaman yang lebih baik tentang sumber daya ini akan membantu pengambilan keputusan yang lebih tepat terkait keberlanjutan dan pelestarian lingkungan [13].

Nikel Laterit: Definisi dan Karakteristik

Deposit nikel yang disebut nikel laterit terbentuk ketika batuan ultrabasic dengan kandungan nikel tinggi mengalami pelapukan dan mengalami perubahan kimia [4]. Iklim tropis dan subtropis banyak dijumpai di lokasi endapan ini. Biasanya, nikel terikat dengan oksida dan hidroksida dalam nikel laterit, termasuk nikel limonit dan nikel *saprolite* [5]. Endapan nikel laterit berbeda dengan bijih nikel sulfida, yang lebih banyak terdapat pada batuan beku, dalam hal sifat-sifatnya.

Karakteristik Fisik Nikel Laterit

Tekstur, warna, kekerasan, struktur lapisan, dan bentuk butiran mineral nikel laterit hanyalah beberapa contoh sifat fisiknya. Lapisan *saprolite* yang lebih dalam dan lapisan limonit bagian atas hanyalah dua contoh dari berbagai lapisan yang ditemukan di sebagian besar endapan nikel laterit [4]. Tekstur yang paling sering ditemukan disebut tekstur pitting, yang menggambarkan lubang-lubang kecil yang tercipta akibat pelapukan pada permukaan batuan. Nikel laterit memiliki warna yang bervariasi dari coklat kemerahan hingga coklat kekuningan. Meskipun kekerasan nikel laterit dapat bervariasi, biasanya kekerasannya lebih rendah dibandingkan bijih logam keras lainnya.

Karakteristik Kimia Nikel Laterit

Kandungan kimia yang termasuk dalam deposit mineral ini disebut sebagai sifat kimia nikel laterit [4]. Nikel, besi, magnesium, dan aluminium adalah komponen umum nikel laterit, serta sedikit kobalt, kromium, dan

mangan [4]. Meskipun jumlah nikel dalam nikel laterit bisa sangat bervariasi, biasanya jumlahnya turun antara beberapa persen dan puluhan persen. Selain itu, jumlah zat besi dan magnesium bisa sangat signifikan. Komposisi ini mempengaruhi metode yang digunakan untuk mengekstraksi nikel dari komponen lainnya.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk memahami secara mendalam bagaimana deposit nikel laterit terbentuk di Pulau Gag, menganalisis secara mendalam karakteristik fisik dan kimia nikel laterit di Pulau Gag, mengevaluasi dampak dan implikasi aktivitas pertambangan nikel laterit, dan memberikan rekomendasi dan landasan untuk pengelolaan sumber daya nikel laterit yang berkelanjutan.

Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi penting bagi peneliti geologi, pertambangan, dan lingkungan. Metodologi yang digunakan dalam penelitian dapat digunakan sebagai contoh untuk penelitian serupa di wilayah lain. Informasi ini bermanfaat bagi perusahaan dalam perencanaan eksploitasi mineral yang lebih efisien dan berkelanjutan. Selain itu, penelitian memberikan pemahaman yang lebih jelas kepada pemangku kepentingan, termasuk masyarakat lokal dan kelompok lingkungan, tentang potensi dampak lingkungan dari aktivitas pertambangan nikel laterit, memungkinkan partisipasi yang lebih bermakna dalam pelestarian lingkungan.

METODE PENELITIAN

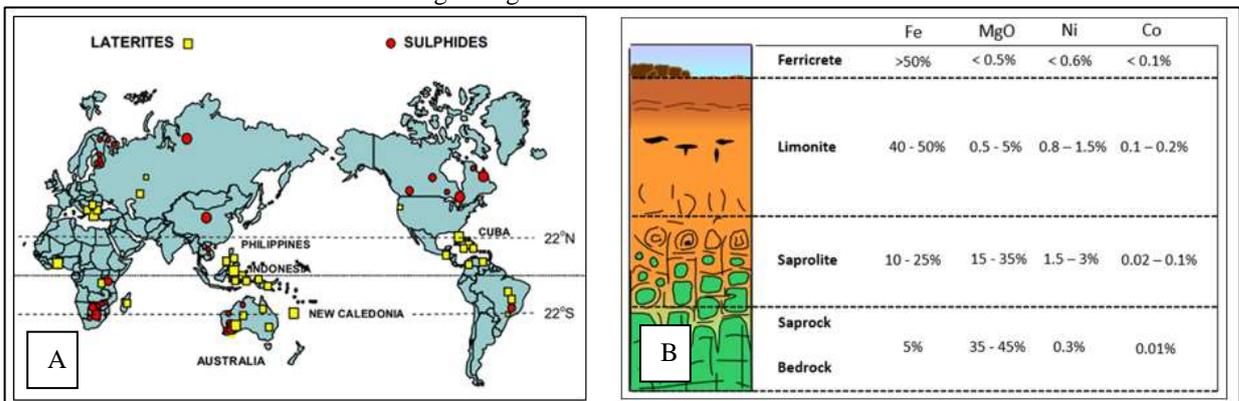
Penelitian ini menggunakan pendekatan gabungan yang melibatkan studi pustaka, survei lapangan, dan analisis laboratorium. Studi pustaka mengumpulkan informasi tentang proses terbentuknya nikel laterit dan kasus serupa dalam pertambangan. Survei lapangan di Pulau Gag, Papua Barat, mengumpulkan data geologi, sampel batuan, dan informasi lingkungan. Analisis laboratorium melibatkan pengujian sampel nikel laterit. Data geologi melibatkan pemetaan lapangan dan identifikasi jenis batuan dasar serta topografi. Sampel nikel laterit dikoleksi dari berbagai lokasi. Data lingkungan mengidentifikasi dampak pertambangan pada ekosistem lokal. Data sekunder digunakan untuk perbandingan. Analisis data geologi dan lingkungan menggunakan teknik pemetaan geografis dan perangkat lunak GIS. Data mineralogis dan kimia dianalisis dengan difraksi sinar-X dan *spectrometry* serapan atom. Hasilnya dibandingkan dengan literatur dan standar industri. Validasi dilakukan dengan ahli geologi dan pakar industri pertambangan. Kesimpulan diambil berdasarkan analisis data dan implikasinya terhadap industri pertambangan dan lingkungan dievaluasi secara holistik.

HASIL DAN ANALISIS

Proses Terbentuknya Nikel Laterit

Mayoritas sumber daya nikel laterit ditemukan pada garis lintang sekitar 22 derajat di kedua sisi khatulistiwa [4]. Endapan laterit yang besar, kandungan tertinggi, terkonsentrasi di zona tumbukan lempeng tektonik yang aktif (seperti Indonesia, Filipina, dan Kaledonia Baru), di mana lapisan *ophiolite* yang luas terkena pelapukan kimia yang agresif dalam kondisi tropis dengan curah hujan yang tinggi dan suhu yang hangat, serta terdapat peluang terbesar untuk penemuan (Gambar 1A). Sumber daya di lingkungan kratonik bisa melimpah namun biasanya kualitasnya lebih rendah (seperti Murrin Murrin di Australia Barat).

Berbeda dengan yang ditemukan di Balkan (Yunani, Albania, dan bekas Yugoslavia) [25] dan kraton Yilgarn di Australia Barat, endapan perisai kratonik ditemukan di Afrika Barat [12] dan Brazil [17] di lintang yang lebih tinggi. Dua contoh terakhir adalah endapan "fosil" yang tercipta di lingkungan hangat dan lembab namun kini ditemukan di daerah beriklim sedang atau gurun.



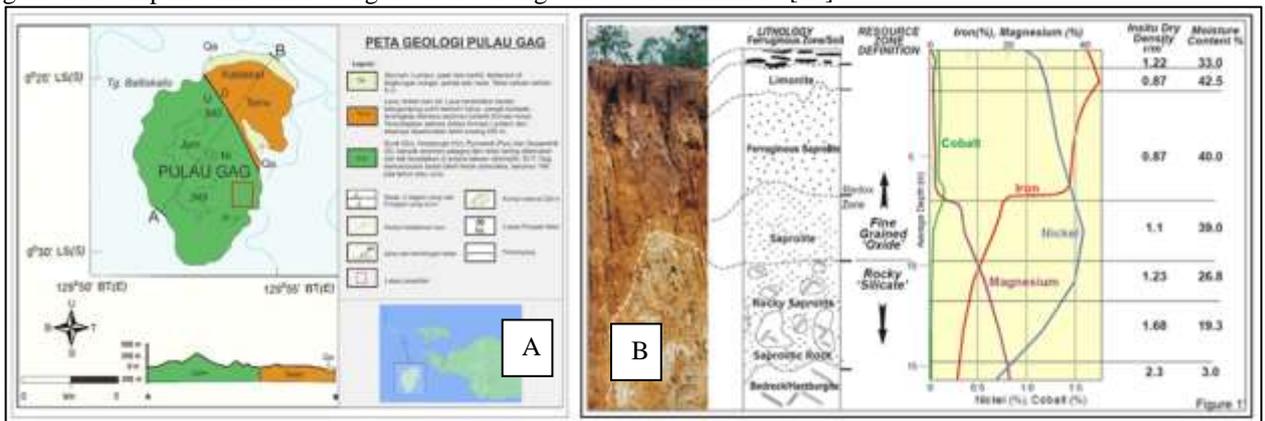
Gambar 1A. Distribusi global deposit nikel sulfida dan laterit (Elias, 2002), **1B.** Profil skematis laterit yang dikembangkan pada batuan ultrabasa di iklim tropis (zona limonit dominan oksida Fe), menunjukkan komposisi kimia indikatif dalam% berat. Lihat Gambar 4 untuk indikatif ketebalan satuan (Elias, 2002).

Menurut Trescases dalam Butt dan Zeegers [3], "lateritisasi" pada dasarnya adalah pelapukan kimia yang terjadi dalam jangka waktu lama dalam kondisi tektonik yang stabil, menghasilkan pembentukan regolit tebal dengan sifat berbeda. Penguraian mineral-mineral primer dan pelepasan beberapa unsur kimianya ke dalam air tanah, pencucian unsur-unsur yang bergerak, konsentrasi sisa unsur-unsur yang tidak bergerak atau tidak larut, dan pembentukan mineral-mineral baru yang stabil dalam lingkungan pelapukan merupakan semua komponen dari mineral-mineral tersebut. "Profil laterit" (Gambar 1B) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan mantel berlapis atau berlapis dari bahan lapuk yang terletak di atas batuan induk tempat ia terbentuk sebagai hasil transformasi mineral dan beragam mobilitas unsur-unsur yang terlibat [4].

Pelapukan sebagian besar terjadi di sepanjang retakan batuan dan di antara mineral-mineral di daerah terdalam yang disebut *saprock*. Di sini, sebagian besar batumannya masih muda; hanya sedikit yang mengalami perubahan. Proporsi mineral primer yang tidak terpengaruh mulai menurun di bagian atas profil, dan zona rekahan yang lebih kuat mengalami modifikasi yang signifikan. Terakhir, hanya terdapat beberapa fragmen lengkap batuan dasar yang diapit di antara bermacam-macam mineral primer dan mineral ubahan (*saprolite*). Lapisan yang lebih tinggi hanya terdiri dari mineral-mineral yang telah mengalami modifikasi, yang ditandai dengan hilangnya komponen primer [4].

Nikel Laterit Pulau Gag

Sejarah tektonik Pulau Gag mencakup 50 juta tahun yang lalu, dengan pergerakan lempeng India-Australia yang bertabrakan dengan Lempeng Eurasia dan pergerakan Lempeng Pasifik yang mendorong Lempeng Filipina [8]. Pulau Gag terdiri dari batuan ophiolite dan batuan vulkanik Oligosen-Pleistosen, di mana batuan ophiolite mengandung nikel. Penelitian PT Gag Nikel pada tahun 2011 menunjukkan bahwa pengayaan nikel terutama terjadi di zona oksida dan limonit, dengan goethite mengandung nikel yang terikat di zona oksida. Pulau Gag memiliki tiga satuan batuan: Aluvium, Anggota Batuan Gunung Api, dan Batuan Ultramafik. Pola garis lurus di pulau ini terkait dengan sesar Sorong dan Sesar Halmahera [20].



Gambar 2A. Peta geologi daerah penelitian dalam peta geologi regional Lembar Waigeo (modifikasi dari Supriatna, dkk 1995), 3B. Profil laterit nikel Pulau Gag sebagian besar terikat dengan nikel di zona oksida (Gag Nikel, 2011)

Batuan induk bijih nikel di Pulau Gag adalah batuan Peridotit jenis *harzburgite* (Gambar 2A). Batuan ultrabasa rata-rata mempunyai kandungan nikel sebesar 0,2 %. Unsur nikel tersebut terdapat dalam kisi-kisi kristal mineral olivin dan piroksen, sebagai hasil substitusi terhadap atom Fe dan Mg [6]. Proses terjadinya substitusi antara Ni, Fe dan Mg dapat diterangkan karena radius ion dan muatan ion yang hampir bersamaan di antara unsur-unsur tersebut. Proses Serpentinisasi yang terjadi pada batuan Peridotit akibat pengaruh larutan *hydrothermal*, akan merubah batuan Peridotit menjadi batuan *serpentinite* atau batuan *serpentinite* Peridotit. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk. Pada pelapukan kimia khususnya, air tanah yang kaya akan CO₂ berasal dari udara dan pembusukan tumbuh-tumbuhan menguraikan mineral-mineral yang tidak stabil (olivin dan piroksen) pada batuan ultrabasa, menghasilkan Mg, Fe, Ni yang larut, Si cenderung membentuk koloid dari partikel-partikel silika yang sangat halus [7] (Gambar 2.B).

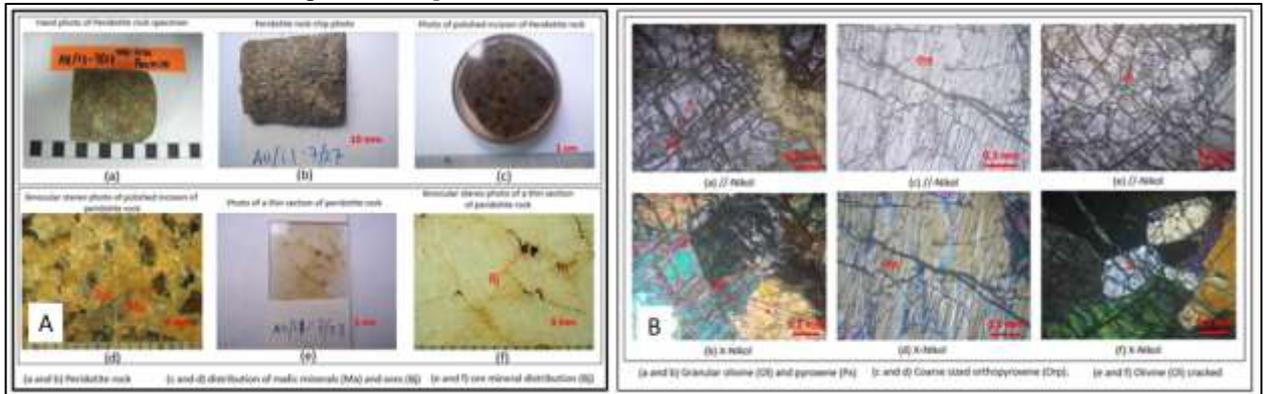
Petrografi Dan Mineragrafi

Kode Sampel: AII/i1-7/27; Lokasi: Pulau Gag; Nama Batuan: **Peridotit**

Komposisi Mineral: Olivin (85%), Ortopiroksen (10%), serpentine (3%), Klinopiroksen (1%), kromit (1%)

Deskripsi Megaskopis (Laboratorium): Peridotit, berwarna coklat, berukuran butir halus-kasar (0,05-2 mm), tekstur faneritik, terubah lemah?

Deskripsi Sayatan Poles: Peridotit, berkomposisi kromit, berwarna abu-abu terang, berukuran halus-kasar, bentuk butir anhedral, isotrop, tersebar *spotted*.



Gambar 3A. Foto sayatan batuan Peridotit dan distribusi mineral bijih, **3B.** Foto mikrograf sayatan tipis AII/i1-7/27

Deskripsi Sayatan Tipis:

Peridotit, berukuran butir halus-kasar, bertekstur faneritik, bentuk butir anhedral, berkomposisi olivin, tidak berwarna, berukuran kasar (1-3 mm), Ortopyroksen tidak berwarna, anhedral, berukuran butir halus-kasar (1-2 mm), Klinopyroksen, hijau pucat, berukuran halus-kasar (0,5-1 mm), terdapat *veinlet serpentine*.

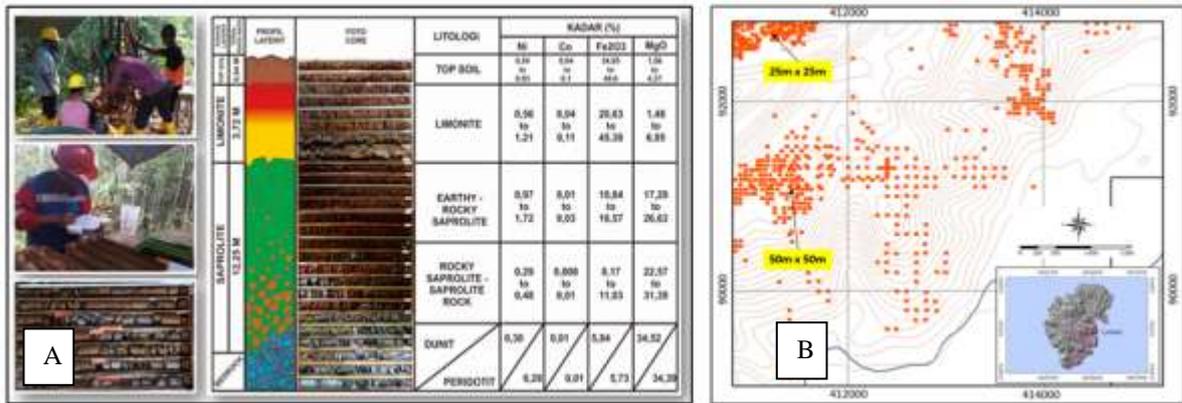
Alterasi/Mineralisasi: Serpentinisasi yang lemah; **Interpretasi Paragenesa: (I)** Plutonik: dicirikan mineral olivin dan piroksen bertekstur faneritik; **(II)** Metamorfik I: dicirikan retakan yang diisi *serpentine*.

Tabel 1. Interpretasi Paragenesa batuan

Komposisi	Plutonik	Metamorfik
Olivin	■	
Ortopiroksen	■	
Klinopyroksen	■	
Serpentine		■
Kromit	■	

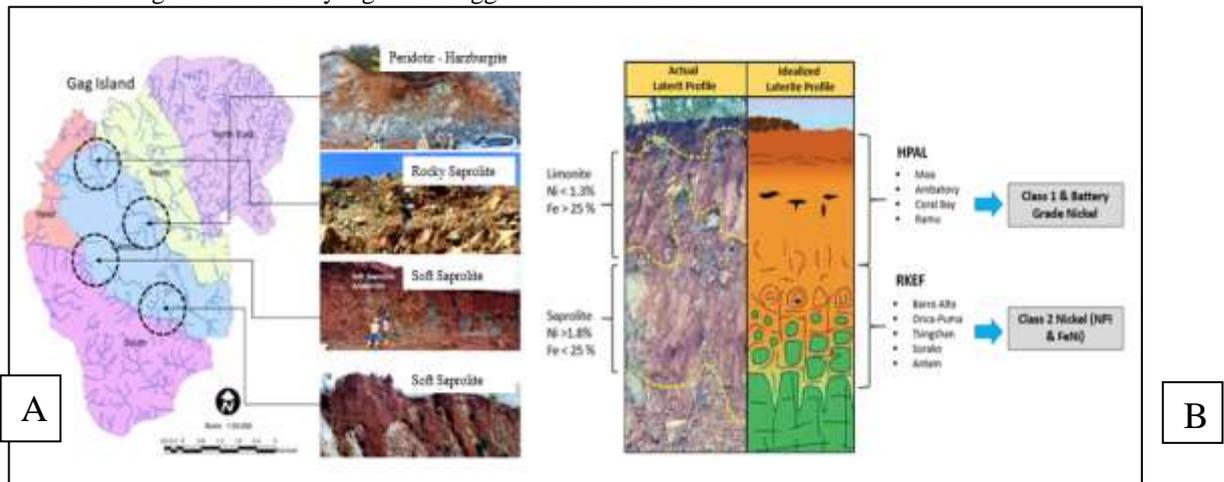
Pengeboran

Pengeboran nikel laterit di Pulau Gag dengan metode *single tube* spasi 50x50m dan 25m x 25m merupakan salah satu langkah kunci dalam eksplorasi dan eksploitasi sumber daya nikel (Gambar 4AB). Pengeboran digunakan untuk mengambil sampel inti batuan nikel laterit. Sampel ini kemudian dianalisis untuk menentukan kandungan nikelnya. Informasi ini penting untuk menilai kualitas dan potensi ekonomi dari deposit tersebut. Pengeboran dapat membantu dalam mengevaluasi sebaran deposit nikel laterit di sekitar Pulau Gag. Informasi tentang kedalaman, luas, dan karakteristik deposit dapat membantu dalam perencanaan eksploitasi yang efisien [21]. Data yang diperoleh dari pengeboran membantu dalam perencanaan pertambangan nikel laterit. Ini termasuk penentuan lokasi pengeboran tambahan, desain tambang, dan strategi eksploitasi. Data geologi dan hidrogeologi yang diperoleh dapat digunakan untuk merencanakan tindakan pengelolaan lingkungan yang tepat [23].



Gambar 4A. Aktivitas pengeboran dan sampel hasil pengeboran single tube di Pulau Gag, **4B.** Peta distribusi titik bor *single tube* interval 25x5m dan 50x50m

Keberadaan nikel kadar rendah atau yang sering disebut sebagai nikel limonit di Pulau Gag (Gambar 5A) sangat melimpah dan memiliki peran penting dalam industri baterai HPAL (*High-Pressure Acid Leaching*) atau pengolahan nikel dalam bentuk sulfat. Berdasar data laporan sumberdaya tahun 2021, total sumberdaya limonit dengan rata-rata kadar Ni 1,48%, Co 0,14% berjumlah 157,60 juta ton dalam material basah [1]. Dalam industri baterai HPAL, nikel kadar rendah diekstraksi melalui proses HPAL, di mana nikel dalam limonit dilarutkan dengan asam sulfat di bawah tekanan tinggi dan suhu tinggi. Proses ini memungkinkan pemisahan nikel dari kontaminan lainnya seperti besi dan magnesium. Penggunaan nikel kadar rendah sebagai sumber tambahan dapat membantu menjaga stabilitas pasokan nikel untuk industri baterai, terutama ketika pasokan nikel laterit dengan kadar nikel yang lebih tinggi terbatas atau mahal.



Gambar 5A. Karakteristik Nikel Laterit Pulau Gag – Papua Barat; **5B.** Profil nikel laterit Pulau Gag dibandingkan dengan profil nikel laterit yang ideal berdasarkan konsep M Elias beserta kegunaan dalam industri.

Nikel kadar tinggi di Pulau Gag seperti yang terdapat dalam *saprolite*, memiliki peran penting dalam industri produksi Ferro-Nikel (FeNi) dengan menggunakan teknologi RKEF (*Rotary Kiln Electric Furnace*). Jumlah sumberdaya nikel *saprolite* Pulau Gag berdasar laporan tahun 2021 sebesar 162,43 juta ton material basah dengan kadar Ni 1,91% [1]. Nikel kadar tinggi dalam *saprolite* adalah bahan baku utama dalam produksi FeNi dengan teknologi RKEF. *Saprolite* mengandung konsentrasi nikel yang signifikan, sehingga sangat diinginkan untuk memproduksi ferro-nikel yang memiliki kandungan nikel yang tinggi. Dalam teknologi RKEF, *saprolite* dicampur dengan kokas dan bahan tambahan lainnya, kemudian dimasukkan ke dalam tungku putar (*rotary kiln*). Pada suhu tinggi, *saprolite* direduksi dan diperoleh FeNi cair yang mengandung nikel dalam jumlah yang signifikan. Kandungan nikel yang tinggi dalam FeNi yang dihasilkan dari *saprolite* sangat dihargai dalam industri nikel. Ferro-nikel ini biasanya memiliki lebih dari 20% nikel, yang cocok untuk berbagai aplikasi, termasuk dalam produksi baja tahan karat dan bahan baku untuk baterai [11].

Terdapat beberapa karakter nikel laterit di Pulau Gag yang merupakan ciri khas nikel laterit wilayah Papua Barat. Nikel laterit di Pulau Gag terbentuk melalui proses pelapukan tropis yang berlangsung selama

ribuan tahun. Cuaca panas dan lembap di wilayah ini memainkan peran penting dalam mengubah batuan dasar menjadi laterit. Salah satu karakteristik utama nikel laterit adalah tingginya kandungan nikel dalam mineral tersebut seperti pada lokasi Pit 1 (Gambar 5B). Deposit di Pulau Gag biasanya mengandung kadar nikel yang cukup variasi, dengan sifat yang keras (*saprock* dan lunak) yang membuatnya menjadi sumber daya yang berharga [16].

Implikasi dalam Industri Pertambangan Pasokan Nikel

Nikel laterit Pulau Gag merupakan sumber yang signifikan dalam pasokan nikel global. Kandungan nikel yang tinggi membuatnya penting dalam industri baja dan juga dalam produksi baterai untuk kendaraan listrik [15]. Penggunaan lain dari nikel adalah dalam produksi baja tahan karat (*stainless steel*). Baja tahan karat mengandung nikel dalam proporsi yang signifikan, yang memberikan ketahanan terhadap korosi dan oksidasi. Oleh karena itu, nikel yang berasal dari Pulau Gag sangat penting dalam industri baja untuk memenuhi permintaan baja tahan karat yang terus meningkat. Kebutuhan nikel dari Pulau Gag juga meningkat karena pertumbuhan industri baterai. Nikel digunakan dalam baterai lithium-ion, yang digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kendaraan listrik, peralatan elektronik, dan penyimpanan energi. Kandungan nikel yang tinggi dalam baterai adalah kunci untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja baterai, yang merupakan elemen penting dalam peralihan ke mobil listrik dan sumber energi terbarukan [26].

Tantangan Teknologi

Meskipun nikel laterit Pulau Gag memiliki kandungan nikel yang tinggi, ekstraksi nikel dari laterit sering kali lebih sulit dan mahal dibandingkan dengan sumber nikel lainnya seperti sulfida nikel. Oleh karena itu, industri pertambangan harus mengembangkan teknologi yang efisien dan ramah lingkungan untuk mengolah laterit ini. Beberapa teknologi yang relevan untuk mengolah laterit nikel dengan lebih efisien dan ramah lingkungan antara lain Teknologi HPAL (*High-Pressure Acid Leaching*) [14]. Teknologi ini melibatkan penggunaan asam sulfat di bawah tekanan tinggi dan suhu tinggi untuk melarutkan nikel dari laterit. Proses ini memungkinkan pemisahan yang lebih efisien antara nikel dan kontaminan lainnya seperti besi dan magnesium.

Dampak Ekonomi

Usaha pertambangan nikel dapat menghasilkan pendapatan yang cukup besar bagi negara dan masyarakat setempat. Pendapatan dari pajak dan royalti serta belanja infrastruktur juga disertakan [19]. Meski demikian, terlalu mengandalkan sektor pertambangan bisa berbahaya karena perubahan harga nikel di pasar internasional dapat berdampak pada perekonomian lokal dan Nasional.

Dampak Lingkungan

Pertambangan nikel laterit berpotensi berdampak lingkungan signifikan melalui pengolahan limbah dan penggunaan air dalam ekstraksi nikel. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengelolaan lingkungan yang ketat, terutama dalam menangani limbah padat atau tailing. Limbah padat tersebut dapat mengandung unsur berbahaya seperti nikel, besi, dan magnesium yang, jika tidak dikelola dengan baik, dapat mencemari tanah, air, dan lingkungan sekitar tambang. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah Pondasi Penyimpanan Tailing Berbasis Geoteknik [2] yang melibatkan penempatan limbah padat dalam waduk yang diubah secara geoteknik untuk mencegah kebocoran dan kerusakan struktural, termasuk penggunaan dinding pengaman dalam beberapa kasus.

Kebutuhan Investasi

Untuk mengembangkan dan mengoperasikan tambang nikel laterit Pulau Gag, dibutuhkan investasi yang besar dalam infrastruktur dan teknologi tambang. Ini melibatkan komitmen jangka panjang dari perusahaan pertambangan. Investasi yang besar dalam infrastruktur dan teknologi tambang yang umum antara lain:

▪ **Infrastruktur Pertambangan**

Infrastruktur tersebut meliputi pembangunan jalan akses ke lokasi tambang, pembangunan fasilitas pemrosesan nikel, instalasi tenaga listrik dan sumber daya energi lainnya, serta pembangunan fasilitas pemantauan dan pengelolaan limbah. Semua ini memerlukan investasi signifikan yang akan bertahan selama bertahun-tahun [24].

▪ **teknologi Pengolahan**

Untuk mengolah nikel laterit dengan efisien, diperlukan teknologi yang canggih. Ini mencakup pengadaan dan instalasi peralatan pemrosesan seperti *rotary kilns*, *autoclaves*, dan fasilitas *solvent extraction-electrowinning*

(SX-EW) [10]. Perusahaan pertambangan juga harus mengalokasikan dana untuk riset dan pengembangan teknologi tambang yang lebih efisien.

▪ **Pengelolaan Lingkungan**

Investasi jangka panjang juga diperlukan dalam upaya untuk menjaga keseimbangan lingkungan [22]. Ini mencakup biaya pemantauan lingkungan jangka panjang, langkah-langkah rehabilitasi lahan bekas tambang, dan pemeliharaan infrastruktur perlindungan lingkungan [18].

▪ **Kepatuhan Regulasi**

Perusahaan pertambangan juga harus berinvestasi dalam mematuhi berbagai regulasi lingkungan, keselamatan kerja, dan pajak yang berlaku. Ini mencakup biaya untuk memenuhi persyaratan hukum dan mendapatkan izin operasional yang diperlukan [23].

▪ **Sumber Daya Manusia**

Investasi dalam pelatihan dan pengembangan sumber daya manusia juga merupakan bagian penting dari komitmen jangka panjang. Perusahaan perlu memastikan bahwa mereka memiliki tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman untuk mengoperasikan fasilitas tambang dengan aman dan efisien.

Semua investasi ini merupakan bagian dari strategi jangka panjang perusahaan pertambangan nikel yang bertujuan untuk memastikan bahwa operasi mereka berkelanjutan dan dapat menghasilkan nikel dengan efisien. Selain itu, investasi jangka panjang ini juga dapat memberikan manfaat ekonomi dan sosial bagi masyarakat setempat khususnya di Pulau Gag, seperti penciptaan lapangan kerja dan pembangunan infrastruktur yang mendukung pertumbuhan ekonomi lokal.

KESIMPULAN

Mayoritas nikel laterit ditemukan di wilayah sekitar garis lintang 22 derajat di dekat khatulistiwa, khususnya di zona tumbukan lempeng tektonik aktif seperti Indonesia, Filipina, dan Kaledonia Baru. Pulau Gag adalah salah satu lokasi penting dengan nikel laterit yang memiliki beragam karakteristik kimia, dimanfaatkan untuk produksi Ferro-Nikel (FeNi) dan melalui proses HPAL. Meskipun memiliki potensi sebagai penyedia nikel global, ekstraksi nikel dari laterit seperti di Pulau Gag memerlukan teknologi canggih dan berpotensi berdampak lingkungan. Investasi besar diperlukan dalam infrastruktur, teknologi, pengelolaan lingkungan, kepatuhan regulasi, dan pengembangan sumber daya manusia untuk menjaga operasi yang berkelanjutan dan memberikan manfaat ekonomi serta sosial bagi masyarakat setempat. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami karakteristik nikel laterit Pulau Gag dan menyesuaikannya dengan perkembangan teknologi ekstraksi bijih nikel dan meningkatnya permintaan nikel global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT Antam Unit Geomin, PT Gag Nickel yang telah memfasilitasi pendataan lapangan baik sampel permukaan maupun bawah permukaan, Tim Eksplorasi Gag Nickel yang telah berperan dalam penyediaan peralatan mesin bor satu tabung, serta rekan-rekan Geolog, Prospector, operator dan tim pengeboran, tim pengukuran yang telah berpartisipasi dalam pengumpulan data lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antam, 2021. Mineral Resources and Mineral Reserves Statement End of 2021 (*unpublished*).
- [2] Bambang Hambar Eko Prasetyo, 2022. Studi Kasus: Karakteristik Batuan Area Break Through Terowongan Pengelak, Bendungan Ladongi. Geological Engineering Master's Study Program, Yogyakarta National Institute of Technology. National Proceedings of Industrial and Information Technology Engineering XVII 2022 (ReTII) November 2022, pp. 418~423.
- [3] Butt, C.R.M. and Zeegers, H., 1992, Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains. Handbook of Exploration Geochemistry, Volume 4, (G.J.S Govett, Editor). Elsevier, Amsterdam, 605pp.
- [4] Elias M (2002) Nickel laterite deposits – a geological overview, resources, and exploitation. Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, Hobart, Special Publication 4, pp 205-220.
- [5] Freyssinet P, Butt CRM, Morris RC, Piantone P (2005) Ore-forming processes related to lateritic weathering. In: Hedenquist JW, Thomson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds), Economic Geology

- 100th Anniversary Volume. Economic Geology Publishing Company, New Haven, Connecticut, pp 681-722.
- [6] Gag Nikel, 2011, *Laporan Eksplorasi Nikel Laterit daerah Pulau Gag* (tidak dipublikasikan).
- [7] Golightly, J.P., 1981. Nickeliferous laterite deposits. *Economic Geology, 75th Anniversary Volume: pp. 710-735.*
- [8] Hall, R., 1998. The plate tectonics of Cenozoic SE Asia and the distribution of land and sea. SE Asia Research Group, Department of Geology, Royal Holloway University of London, Egham, Surrey.
- [9] Harun Amanda Adelina, Fenty Pulu Hulawa, Nurul Fajri Elfikri, Mohamad, Rivaldi Moha, 2023. Indonesian Mining Regulations Shift as A Potential Sector in Developing the Economy. Vol. 16, No. 2, 2023, p. 419-434.
- [10] Jingcheng Dong, Yonggang Wei, Shiwei Zhou, Bo Li, Yindong Yang, And Alexander Mclean, 2018. The Effect of Additives on Extraction of Ni, Fe, and Co from Nickel Laterite Ores. *JOM*, Vol. 70, No. 10, 2018.
- [11] Keskinilic E, 2019. Nickel Laterite Smelting Processes and Some Examples of Recent Possible Modifications to the Conventional Route. Department of Metallurgical and Materials Engineering, Atilim University, 06830 Ankara, Turkey.
- [12] Nahon, D., Paquet, H. and Delvigne, J., 1982, Lateritic weathering of ultramafic rocks and the concentration of nickel in the western Ivory Coast. *Economic Geology*, 77: pp.1159-1175.
- [13] Novi Ratna Cahyani, 2023. Kebijakan Pemberhentian Ekspor Biji Nikel Indonesia Tahun 2020: Tinjauan Neomerkantilisme. Volume 6 Nomor 2 (2023).
- [14] Norgate T, S. Jahanshahi, 2010. Assessing The Energy and Greenhouse Gas Footprints of Nickel Laterite Processing. *Minerals Engineering Volume 24, Issue 7, June 2011, Pages 698-707.* <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.10.002>,
- [15] Pandyaswargo Andante Hadi, Alan Dwi Wibowo, Meilinda Fitriani Nur Maghfiroh, Arlavinda Rezqita 4 and Hiroshi Onoda, 2021. The Emerging Electric Vehicle and Battery Industry in Indonesia: Actions around the Nickel Ore Export Ban and a SWOT Analysis.
- [16] Pujiono J, T. Listyani R.A, Wayan Suparta, 2023. The Cobalt Enrichment Zone of Gag Island, West Papua, As A Valuable Mineral Resource. Geological Engineering Master's Study Program, Yogyakarta National Institute of Technology. The 2nd National Seminar and Proceedings of Scitech 2023.
- [17] Schobbenhaus, C., 1986. Geologia do niquel. Principais depositos minerals do Brasil, DNPM-CVRD vol II, pp. 251-255.
- [18] Setiawan H.M, R. Andy Erwin Wijaya, 2022. Pelaksanaan Reklamasi Lahan Bekas Tambang di Wilayah Izin Usaha Pertambangan Tanah Urug Tjong Lie Ko, Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat. Geological Engineering Master's Study Program, Yogyakarta National Institute of Technology. National Proceedings of Industrial and Information Technology Engineering XVII 2022 (ReTII) November 2022, pp. 381~385.
- [19] Setiawan H.M, R. Andy Erwin Wijaya, 2022. Evaluasi Kelayakan Ekonomi Pertambangan Bauksit PT. Kapuas Bara Mineral di Kecamatan Tayan Hilir dan Balai, Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat.
- [20] Supriatna, S., Hakim A.S. dan Apandi, T. (1995), Peta Geologi Lembar Waigeo, Irian Jaya, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [21] Sugiarto W, Andy Erwin Wijaya, 2022. Karakteristik Batubara Formasi Sinjin di Daerah Siduung Kecamatan Segah, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Geological Engineering Master's Study Program, Yogyakarta National Institute of Technology. National Proceedings of Industrial and Information Technology Engineering XVII 2022 (ReTII) November 2022, pp. 386~393.
- [22] Sugiarto W, T. Listyani R.A. Winarti, 2023. The Effect of Ash Content On Coal Quality in The Labanan Formation in Berau District, East Kalimantan Province. *KURVATEK* Vol. 8, No. 1, April 2023, pp. 1 – 6. Geological Engineering Masters Study Program, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [23] Sugiarto W, T. Listyani R.A, 2023. Pemanfaatan Air Sungai Punan Untuk Masyarakat Sekitar Tambang, Kecamatan Gunung Tabur, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII Tahun 2023 (ReTII) November 2023, pp. xx~xx.
- [24] Tifany Hurlatu Bernadetha, Frits Kayadoe, 2022. Strategi Penjadwalan Truck Berdasarkan Match Factor Untuk Pengangkutan Wet Muck Di Truck Haulage Level Tambang Bawah Tanah Deep Ore Zone PT. Freeport Indonesia. Program Studi Magister Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta. Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII) November 2022, pp. 433~445.



ISSN: 1907-5995

- [25] Valeton, I, Biermann, M., Reche, R. And Rosenberg, F. 1987 Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks. *Ore Geology Reviews*. 2, pp.359-404.
- [26] Zhou Kai, Qiang Xie, Baohua Li, Arumugam Manthiram, 2021. An in-depth understanding of the effect of aluminum doping in high-nickel cathodes for lithium-ion batteries. Volume 34, January 2021, Pages 229-240.