

**SKRIPSI**

**PROSPEKSI ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA WILAYAH IUP  
PT KAHURIPAN SAKTI MINERAL (KSM) DAN PT KAHURIPAN  
ASIA MINERAL (KAM) KECAMATAN WASILE, KABUPATEN  
HALMAHERA TIMUR, PROVINSI MALUKU UTARA**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**RITA ANJELI DAMAT  
D111 20 1061**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PROSPEKSI ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA WILAYAH IUP PT KAHURIPAN SAKTI MINERAL (KSM) DAN PT KAHURIPAN ASIA MINERAL (KAM) KECAMATAN WASILE, KABUPATEN HALMAHERA TIMUR, PROVINSI MALUKU UTARA

Disusun dan diajukan oleh:

**Rita Anjeli Damat**  
**D111201061**

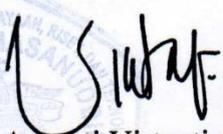
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 27 September 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,  
Pembimbing,



Dr. Ir. Irzal Nur, MT.  
NIP. 19660409 199703 1 002

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.  
NIP. 19701005 200801 2 026

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rita Anjeli Damat  
NIM : D111 20 1061  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Prospeksi Endapan Nikel Laterit Pada Wilayah IUP PT Kahuripan Sakti Mineral (KSM) dan PT Kahuripan Asia Mineral (KAM) Kecamatan Wasile, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 27 September 2024

Yang Menyatakan



Rita Anjeli Damat

## ABSTRAK

**RITA ANJELI DAMAT.** *Prospeksi Endapan Nikel Laterit Pada Wilayah IUP PT Kahuripan Sakti Mineral (KSM) dan PT Kahuripan Asia Mineral (KAM) Kecamatan Wasile, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara (dibimbing oleh Irzal Nur)*

Pada industri pertambangan, tahapan paling awal yang dilakukan adalah eksplorasi. Eksplorasi merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mencari endapan bahan galian yang meliputi kondisi geologi, bentuk tubuh, penyebaran dan juga jenis dari endapan bahan galian sehingga dengan adanya kegiatan ini dapat menentukan daerah yang berpotensi. Eksplorasi secara umum terbagi menjadi dua tahapan, yaitu eksplorasi pendahuluan (prospeksi) dan eksplorasi detail (pengeboran). Tujuan penelitian ini adalah melakukan kegiatan prospeksi untuk mengetahui daerah-daerah prospek endapan nikel laterit pada WIUP PT Kahuripan Sakti Mineral (PT KSM) dan PT Kahuripan Asia Mineral (PT KAM). Adapun metode yang digunakan yaitu pemetaan geologi permukaan, pembuatan sumur uji (*testpit*), serta pengeboran dangkal (*hand auger*). Analisis laboratorium yang digunakan adalah analisis kimia dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*), untuk mengetahui kadar Ni, Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, dan MgO dari setiap sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebaran kadar Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, dan MgO relatif tersebar pada bagian selatan pada blok WIUP PT KSM dan bagian utara pada blok WIUP PT KAM. Adapun rasio S/M yang memenuhi untuk pengolahan nikel laterit yaitu sebesar 1,92 yang akan menghasilkan produk nikel *matte*. Sedangkan daerah prospek endapan nikel laterit berada di bagian selatan mengarah ke bagian timur pada WIUP PT KSM dengan luas sekitar 51 ha, serta di bagian utara dan selatan pada WIUP PT KAM, dengan luas masing-masing yaitu sekitar 40 ha dan 153 ha. Berdasarkan hasil penelitian ini, direkomendasikan untuk melakukan kegiatan eksplorasi lanjutan berupa pengeboran inti pada lokasi-lokasi prospek tersebut.

Kata Kunci: Pemetaan, Eksplorasi, Endapan Nikel Laterit, Prospek

## **ABSTRACT**

**RITA ANJELI DAMAT.** *Prospecting for Laterite Nickel Deposits in the IUP Area of PT Kahuripan Sakti Mineral (KSM) and PT Kahuripan Asia Mineral (KAM), Wasile District, East Halmahera Regency, North Maluku Province (supervised by Irzal Nur)*

In the mining industry, the earliest stage carried out is exploration. Exploration is an activity carried out to find mineral deposits which include geological conditions, body shape, distribution and also the type of mineral deposits so that with this activity it can determine potential areas. Exploration is generally divided into two stages, namely preliminary exploration (prospecting) and detailed exploration (drilling). The purpose of this study was to conduct prospecting activities to determine the prospective areas of laterite nickel deposits in the WIUP of PT Kahuripan Sakti Mineral (PT KSM) and PT Kahuripan Asia Mineral (PT KAM). The methods used were surface geological mapping, making test pits, and shallow drilling (hand auger). The laboratory analysis used was chemical analysis with the XRF (X-Ray Fluorescence) method, to determine the levels of Ni, Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, and MgO from each sample. The results showed that the distribution of Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, and MgO levels was relatively widespread in the southern part of the PT KSM WIUP block and the northern part of the PT KAM WIUP block. The S/M ratio that meets the requirements for laterite nickel processing is 1.92 which will produce nickel matte products. Meanwhile, the prospective area of laterite nickel deposits is in the southern part towards the eastern part of the PT KSM WIUP with an area of approximately 51 ha, and in the northern and southern parts of the PT KAM WIUP, with an area of approximately 40 ha and 153 ha respectively. Based on the results of this study, it is recommended to carry out further exploration activities in the form of core drilling at these prospective locations.

**Keywords:** Mapping, Exploration, Laterite Nickel Deposits, Prospects

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional.....	4
2.2 Endapan Nikel Laterit.....	10
2.3 Pemanfaatan Kobalt (Co).....	14
2.4 Pengaruh Rasio S/M Pada Pengolahan Nikel Laterit.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Lokasi Penelitian.....	17
3.2 Pengambilan Data.....	18
3.3 Analisis Kimia.....	24
3.4 Pengolahan Data.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Geologi Lokal.....	26
4.2 Hasil Analisis Kimia.....	35
4.3 Endapan Nikel Laterit pada Daerah Penelitian.....	40
4.4 Analisis Sebaran Kadar Fe, Co, SiO <sub>2</sub> , dan MgO.....	41
4.5 Rasio SiO <sub>2</sub> dan MgO (S/M).....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta fisiografi Pulau Halmahera (dimodifikasi dari Apandi dan Sudana, 1980).....	4
Gambar 2 Peta geologi regional Lembar Morotai dan Lembar Ternate .....	7
Gambar 3 Stratigrafi Lembar Morotai dan Ternate (Supriatna, 1980) .....	9
Gambar 4 Profil endapan nikel laterit (Hasria & Septiana, 2024) .....	13
Gambar 5 Lokasi penelitian dan kesampaian daerah .....	17
Gambar 6 Peta lintasan pengamatan dan pengambilan sampel .....	18
Gambar 7 (a) Kegiatan pengeplotan koordinat dengan GPS, (b) Kegiatan pengambilan sampel permukaan .....	19
Gambar 8 Pembuatan testpit pada stasiun TS KSM 01 .....	20
Gambar 9 (a) Pengambilan sampel testpit dengan metode channel sampling pada stasiun TS KSM 02, (b) Pengukuran perlapisan sampel testpit pada stasiun TS KSM 02 .....	21
Gambar 10 Pemberian label sampel testpit pada stasiun TS KSM 01 .....	21
Gambar 11 Kegiatan pengeboran dangkal (hand auger) pada stasiun BA KSM 01 .....	22
Gambar 12 Pengambilan sampel auger pada stasiun BA KSM 01 .....	23
Gambar 13 Mengeluarkan sampel dari <i>auger</i> pada stasiun BA KSM 01 .....	23
Gambar 14 Menyusun sampel berdasarkan kedalaman dan pemberian label pada stasiun BA KSM 01 .....	24
Gambar 15 Bagan alir penelitian.....	25
Gambar 16 Peta kemiringan lereng.....	26
Gambar 17 Kenampakan morfologi pegunungan curam pada Wilayah IUP PT KSM .....	28
Gambar 18 Kenampakan morfologi pegunungan curam pada Wilayah IUP PT KAM .....	28
Gambar 19 Kenampakan morfologi perbukitan bergelombang pada Wilayah IUP PT KSM .....	29
Gambar 20 Kenampakan morfologi perbukitan bergelombang pada Wilayah IUP PT KAM .....	30
Gambar 21 Peta geomorfologi daerah penelitian.....	31
Gambar 22 Kolom stratigrafi pada WIUP PT KSM dan WIUP PT KAM .....	32
Gambar 23 (a) Singkapan batuan Gabro pada stasiun ST-30 WIUP PT KSM, (b) Singkapan batuan Gabro pada stasiun ST-58 WIUP PT KAM, (c) Singkapan batuan Serpentininit pada stasiun ST-29 WIUP PT KSM, (d) Singkapan batuan Serpentininit pada stasiun ST-56 WIUP PT KAM.....	33
Gambar 24 Singkapan batuap pasir pada stasiun ST-03 WIUP PT KAM.....	34
Gambar 25 Singkapan batugamping pada stasiun ST-03 WIUP PT KSM.....	34
Gambar 26 Peta geologi lokal pada WIUP PT KSM dan WIUP PT KAM.....	35
Gambar 27 Pengambilan sampel permukaan endapan nikel laterit pada stasiun ST KAM 43, dan hasil analisis kimia sampelnya .....	36
Gambar 28 Pengambilan sampel endapan nikel laterit dengan metode channel sampling pada testpit stasiun TS KAM 01, dan hasil analisis kimia sampelnya.....	36

Gambar 29 Peta sebaran potensi endapan Nikel Laterit pada daerah penelitian ..	39
Gambar 30 Peta prospek endapan nikel laterit pada daerah penelitian.....	40
Gambar 31 Peta sebaran unsur Fe pada daerah penelitian .....	42
Gambar 32 Peta sebaran unsur Co pada daerah penelitian .....	42
Gambar 33 Peta sebaran unsur MgO pada daerah penelitian .....	43
Gambar 34 Peta sebaran unsur SiO <sub>2</sub> pada daerah penelitian .....	44

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1 Klasifikasi lereng .....	7
Tabel 2 Pembagian satuan morfologi WIUP PT KSM dan WIUP PT KAM .....	27
Tabel 3 Sebaran luasan satuan batuan pada WIUP PT KSM dan WIUP PT KAM .....	31
Tabel 4 Hasil analisis XRF .....	37

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil analisis XRF .....	51
Lampiran 2 <i>Database</i> stasiun <i>sampling</i> permukaan .....	54
Lampiran 3 <i>Database</i> stasiun sampel <i>testpit</i> .....	60
Lampiran 4 <i>Database</i> stasiun sampel <i>hand auger</i> .....	64
Lampiran 5 Kartu konsultasi tugas akhir .....	66

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberi petunjuk serta melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul Prospeksi Endapan Nikel Laterit Pada Wilayah IUP PT Kahuripan Sakti Mineral (KSM) dan PT Kahuripan Asia Mineral (KAM) Kecamatan Wasile, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara. Penulisan tugas akhir ini ditujukan sebagai syarat kelulusan matakuliah Skripsi Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulisan tugas akhir ini dapat selesai dengan baik tentunya tidak lepas dari doa, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak serta masukan maupun saran, kepada penulis. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T., selaku koordinator LBE Eksplorasi Mineral, dosen penanggung jawab akademik juga sekaligus sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, masukan serta saran selama masa perkuliahan khususnya pada saat penulisan dan penyusunan tugas akhir. Bapak Dr. Phil.nat Ir. Sri Widodo, S.T., M.T dan Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T selaku dosen penguji yang banyak memberikan masukan dan saran saat penulisan dan penyusunan tugas akhir. Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang juga banyak memberikan dukungan dan arahan baik selama masa perkuliahan. Seluruh dosen Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dalam bidang teknik pertambangan.

Kepada teman-teman anggota LBE Eksplorasi Mineral 2020, yang banyak membantu baik selama masa perkuliahan, pada saat menjadi asisten praktikum hingga pada saat penyusunan tugas akhir. Terima kasih sudah menjadi tempat mengeluh, tempat bertukar pikiran dan teman produktif hampir setiap malam. Teman-teman DRILLING 2020 (Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2020) yang telah membantu dan memberikan masukan serta saran selama perkuliahan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan motivasi dan dukungan serta doa selama masa perkuliahan berlangsung hingga penyusunan laporan tugas akhir. Serta, kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih banyak atas bantuan selama penulisan dan penyusunan tugas akhir.

Penulis tentunya menyadari masih terdapat kekurangan dan keterbatasan pada tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sebagai penyempurnaan laporan. Semoga skripsi ini dapat dipergunakan sebagai salah satu acuan, petunjuk, maupun rujukan bagi para pembaca berkaitan dengan prospeksi endapan nikel laterit.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Nikel laterit merupakan produk residual pelapukan kimia pada batuan ultrabasa. Proses tersebut berlangsung selama berjuta-juta tahun yang lalu dimulai ketika batuan ultrabasa tersingkap di permukaan bumi. Pelapukan pada peridotit menyebabkan unsur-unsur dengan mobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe, dan Co mengalami pengayaan secara residual dan sekunder (Burger, 1996). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe. Beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah iklim dalam hal ini curah hujan yang mendukung terjadinya pelapukan, topografi, struktur geologi, morfologi dan batuan asal. Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi (Elias, 2002).

Berdasarkan morfologi daerah Halmahera, diketahui bahwa daerah tersebut mempunyai satuan perbukitan bergelombang lemah dan satuan perbukitan bergelombang terjal. Daerah dengan tingkat kelerengan landai sampai sedang merupakan tempat pengkayaan nikel, sedangkan pada daerah dengan tingkat kelerengan curam, terjadi erosi mekanik dan akan membawa unsur-unsur nikel sebelum unsur-unsur tersebut membentuk endapan nikel laterit (Haya dkk., 2019). Selain itu, berdasarkan kondisi geologi regional, daerah Halmahera berada pada satuan batuan ultramafik, satuan batupasir dan satuan batugamping. Batuan ultramafik adalah batuan yang kaya akan mineral mafik (ferromagnesian) dan minim bahkan absen kuarsa, feldspars dan feldspathoid. Batuan ini pada dasarnya terdiri atas olivin, piroksen, hornblenda dan mika. Endapan nikel laterit merupakan hasil dari pelapukan batuan ultramafik yang mengalami proses pelindian dan terakumulasi di zona pemerayaan supergen (Ahmad, 2008).

Dalam industri pertambangan, sebelum melakukan kegiatan eksploitasi perlu dilakukan kegiatan penyelidikan terlebih dahulu untuk mengetahui kuantitas dan kualitas suatu endapan. Eksplorasi merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mencari endapan bahan galian yang meliputi kondisi geologi, bentuk tubuh,

penyebaran dan juga jenis dari endapan bahan galian sehingga dengan adanya kegiatan ini dapat menentukan daerah yang berpotensi akan adanya mineral (Dhadar, 1980). Eksplorasi penyelidikan geologi dilakukan untuk mengidentifikasi, menentukan lokasi, ukuran, bentuk, letak, sebaran, kuantitas dan kualitas suatu endapan bahan galian yang akan dilakukan analisis atau kajian untuk mengetahui potensi suatu daerah sebelum dilakukan kegiatan penambangan. Jadi, eksplorasi mineral bertujuan untuk mendapatkan dan mengetahui kualitas dan kuantitas cebakan mineral sampai tingkat kepastian yang paling tinggi (Indarto dkk., 1999). Tingkat keyakinan geologi ditentukan oleh tahapan eksplorasi yang telah dilakukan, penerapan metode, sumberdaya manusia dan peralatan yang digunakan. Eksplorasi terbagi menjadi dua tahapan, yaitu eksplorasi pendahuluan atau prospeksi dan eksplorasi detail atau pengeboran. Prospeksi atau eksplorasi awal yaitu kegiatan pengumpulan data mengenai kondisi daerah yang diteliti, jenis batuan, struktur, stratigrafi dan pengumpulan sampel lapangan yang dilakukan secara sistematis. Kegiatan ini dilakukan untuk mengidentifikasi suatu cebakan mineral yang akan menjadi target eksplorasi selanjutnya (SNI, 2011).

Berdasarkan penjelasan diatas, maka penting untuk melakukan kegiatan prospeksi dalam hal ini pemetaan geologi untuk mengetahui kondisi geologi lokal yang mencakup geomorfologi, sebaran batuan (litologi), struktur geologi serta melakukan pengambilan sampel dengan membuat sumur uji (*testpit*) serta pengeboran dangkal (*hand auger*) pada daerah penelitian. Data atau informasi dari kegiatan penyelidikan ini akan dijadikan sebagai dasar untuk menentukan daerah yang prospek sebelum dilakukan tahapan eksplorasi lanjutan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dari studi ini yaitu:

1. Bagaimana kondisi geologi permukaan pada daerah penelitian?
2. Bagaimana kandungan Ni, Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, dan MgO pada sampel-sampel yang terdapat pada daerah penelitian?
3. Bagaimana daerah prospek dan arah penyebaran endapan nikel laterit pada daerah penelitian?

4. Bagaimana sebaran unsur-unsur Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, MgO, serta rasio silika magnesianya?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan uraian yang dijabarkan pada rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis geologi pada daerah penelitian.
2. Menganalisis kimia dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui kadar Ni, Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, dan MgO pada sampel-sampel endapan nikel laterit.
3. Menentukan daerah prospek dan arah penyebaran endapan nikel laterit pada daerah penelitian.
4. Menganalisis sebaran unsur-unsur Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, MgO, serta rasio silika magnesianya.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan berguna untuk menambah wawasan dan referensi mengenai prospeksi endapan nikel laterit pada blok Wilayah IUP PT Kahuripan Sakti Mineral (KSM) dan Wilayah IUP PT Kahuripan Asia Mineral (KAM) Kecamatan Wasile, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara.

### **1.5 Ruang Lingkup**

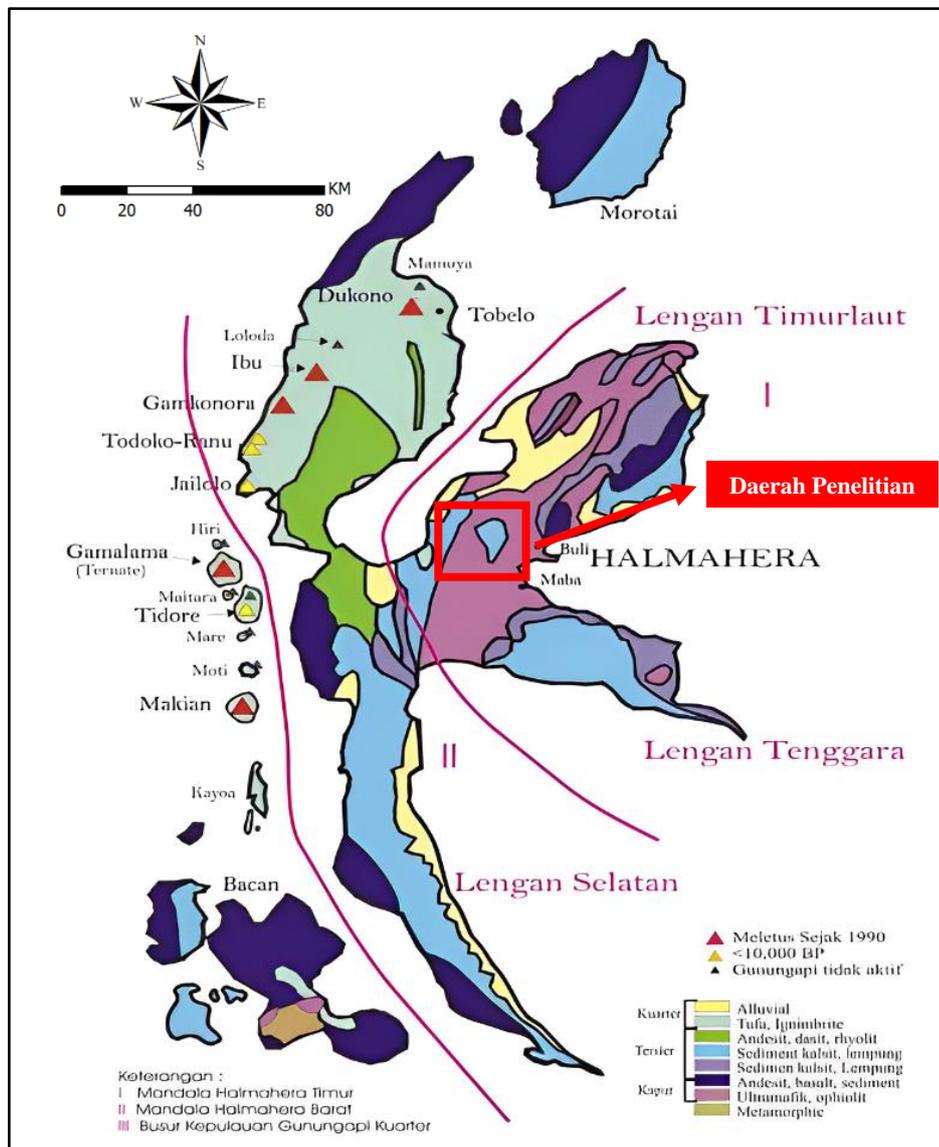
Penelitian ini dibatasi hanya pada analisis prospek unsur nikel (Ni) dan unsur-unsur asosiasinya seperti Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, dan MgO pada endapan nikel laterit di lokasi penelitian (WIUP PT KSM dan WIUP PT KAM). Secara umum ruang lingkup penelitian ini mencakup pemetaan geologi untuk mengetahui kondisi geologi lokal yang mencakup geomorfologi, sebaran batuan (litologi), struktur geologi serta melakukan pengambilan sampel dari daerah penelitian. Lokasi penelitian berada pada Wilayah IUP PT KSM dan PT KAM yang terletak di Kecamatan Wasile, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

#### 2.1.1 Fisiografi Pulau Halmahera

Fisiografi Pulau Halmahera terbagi 3 (tiga) bagian yaitu Mandala Halmahera Timur, Mandala Halmahera Barat dan Busur Kepulauan Gunungapi Kuarter (Apandi & Sudana, 1980). Adapun lokasi penelitian berada pada Mandala Halmahera Timur. Peta fisiografi daerah Pulau Halmahera dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta fisiografi Pulau Halmahera (dimodifikasi dari Apandi dan Sudana, 1980)

Berdasarkan Gambar 1, berikut merupakan penjelasan mengenai pembagian fisiografi Pulau Halmahera (Apandi & Sudana, 1980).

1. Mandala Halmahera Timur

Mandala Halmahera Timur meliputi lengan timur laut, lengan tenggara dan beberapa pulau kecil di sebelah timur Pulau Halmahera. Morfologi mandala ini terdiri dari pegunungan berlereng terjal dan torehan sungai yang dalam, serta sebagian bermorfologi karst. Area ini terdapat pegunungan curam dengan titik tertinggi di Bukit Saolat yang mencapai 1508 mdpl. Area dataran hanya ditemui pada muara sungai seperti muara Sungai Sangaji dan dataran di sekitar pantai. Batuan dasar area ini berupa kompleks ofiolit dan sedimen laut dalam berumur Mesozoik, terimbrikasi dengan sedimen berumur Paleogen dan di bagian atasnya diendapkan sedimen klastik marin dan karbonat berumur Neogen. Batuan dasar dari lengan timur laut terdiri dari *dismembered ultrabasic-basic rocks complex* dengan *variable low grade metamorphic overprint* dan terinterkalasi dengan sedimen Mesozoik dan Eosen (Sukamto *et al.*, 1981).

2. Mandala Halmahera Barat

Mandala Halmahera Barat meliputi bagian utara dan lengan selatan Halmahera. Morfologi mandala ini meliputi perbukitan batuan sedimen, pada daerah batugamping berumur Neogen dengan morfologi karst dan di beberapa tempat terdapat morfologi kasar merupakan cerminan batuan gunungapi berumur Oligo-Miosen.

3. Busur Kepulauan Gunungapi Kuarter

Mandala ini meliputi pulau-pulau kecil di sebelah Barat Pulau Halmahera. Deretan pulau-pulau ini membentuk suatu busur kepulauan gunung api. Sebagian besar pulaunya berbentuk kerucut gunung api yang masih aktif.

Pulau Halmahera pada umumnya memiliki morfologi berupa perbukitan dan beberapa tempat ditemukan berupa dataran alluvial. Perbukitan yang memanjang dengan dari utara ke timur hingga selatan ke barat memiliki relief yang bervariasi dari 500-1000 meter. Pada lengan barat laut Halmahera, morfologi tertinggi merupakan Gunung Gonkornora dengan tinggi 1700 meter. Lengan tenggara Halmahera tersusun atas topografi yang lebih rendah. Sebagian besar morfologi

tinggian di Pulau Halmahera tersusun atas batuan resisten berupa batuan vulkanik yang terletak di bagian barat dan baratdaya, namun morfologi tinggian di bagian baratdaya pulau tersusun atas batu konglomerat yang memiliki tinggi 800 meter (Darman & Sidi, 2000).

Sungai yang terdapat di Pulau Halmahera pada umumnya telah mengerosi vertikal secara intensif morfologi di Pulau Halmahera. Bentang alam hasil erosi sungai Pulau Halmahera membentuk morfologi huruf-V yang curam, pada bagian tengah dan hilir sungai aliran sungai berbentuk sinus. Morfologi Pulau Halmahera pada bagian lengan tenggara berupa perbukitan kompleks, perbukitan denudasional, dan dataran alluvial. Morfologi di lengan tenggara Halmahera memiliki rentang ketinggian 15-400 meter (Darman & Sidi, 2000).

Pulau Halmahera didominasi oleh kontrol litologi berupa batuan dasar yang terekspose. Punggungan utama di timurlaut Halmahera terdiri dari batuan dasar berupa batuan beku ultrabasa basa yang berumur Mesozoik Paleogen. Lengan tenggara Pulau Halmahera yang terdiri dari topografi rendahan ditutupi oleh litologi berupa batuan karbonatan halus. Provinsi Barat Pulau Halmahera yang berupa sabuk vulkanik terdiri dari batuan dasar berupa batuan sedimen dan vulkanik berumur Neogen-Resen. Provinsi Timur Pulau Halmahera terdiri dari kompleks ofiolit dan batuan sedimen berumur Mesozoik yang terimbrikasi oleh batuan sedimen dan karbonat berumur Neogen (Darman & Sidi, 2000)..

Batuan dasar di lengan tenggara Halmahera terdiri dari batuan basa-ultrabasa yang mengalami metamorfisme derajat rendah, berselingan dengan batuan sedimen berumur Mesozoik-Eosen. Morfologi karst terdapat pada daerah batugamping dengan perbukitan relatif rendah dan lereng yang landai. Halmahera bagian timur juga meliputi batuan ultramafik terdiri peridotit terserpentinisasi, gabro, basalt, dan diabas (Sukanto *et al.*, 1981). Satuan morfologi pada suatu daerah dapat dianalisis dengan klasifikasi lereng dan topografi. Adapun klasifikasi lereng dapat dilihat pada Tabel 1.

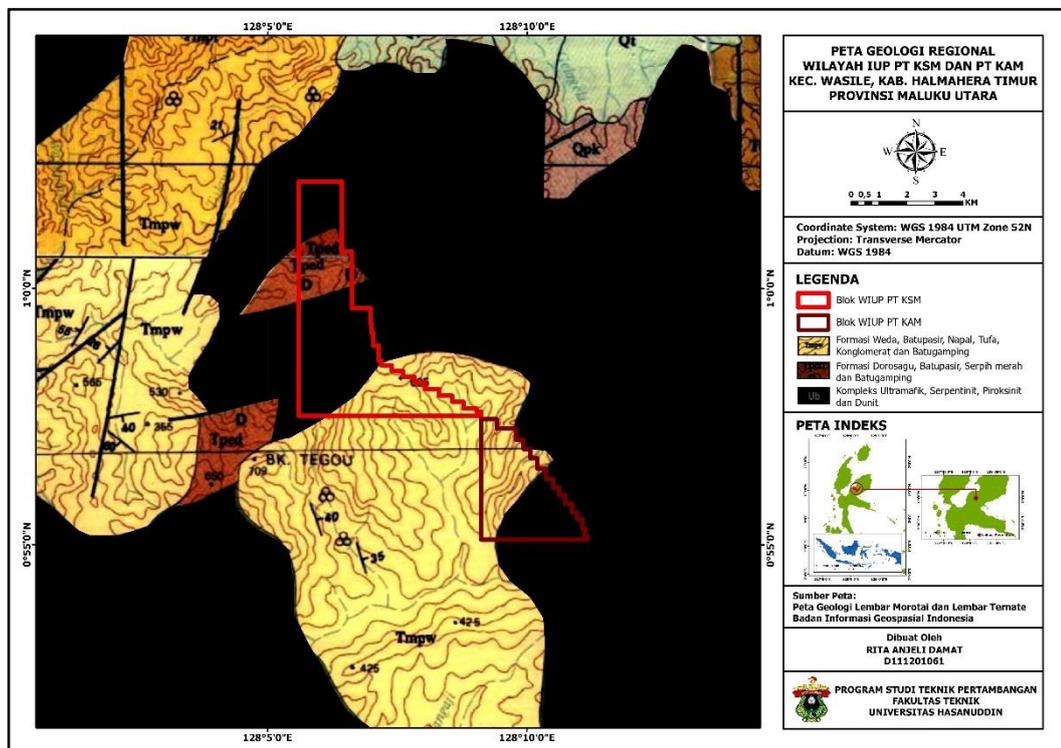
Tabel 1 Klasifikasi lereng

No	Kemiringan (%)	Satuan Morfologi	Ketinggian (m)
1	0-3	Datar	<5
2	3-8	Bergelombang/miring landai	5-50
3	8-14	Bergelombang/miring	50-75
4	14-21	Berbukit bergelombang/miring	75-200
5	21-55	Berbukit tersayat tajam/terjal	200-500
6	55-140	Pegunungan tersayat tajam	500-1.000
7	>140	Pegunungan curam	>1.000

Sumber: Van Zuidam (1985)

### 2.1.3 Tatanan Stratigrafi

Halmahera Timur berada pada Lembar Ternate dan Morotai. Adapun lokasi penelitian berada pada Formasi Weda, Formasi Dorosagu dan Kompleks Ultramafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Peta geologi regional Lembar Morotai dan Lembar Ternate

Tatanan stratigrafi untuk Lembar Geologi tersebut dari tua hingga muda adalah sebagai berikut (Apandi & Sudana, 1980):

1. Kompleks Batuan Ultrabasa Fasies Beku (Ub)

Formasi batuan ini berupa serpentinit, piroksinit, dan dunit, berwarna hitam, getas, kebanyakan pecah, terbreksikan, setempat mengandung asbes dan garnierit.

2. Formasi Dorosagu Fasies Sedimen (Tepd)

Formasi batuan ini terdiri dari batupasir, serpih merah dan batugamping. Batupasir berselingan dengan serpih merah dan batugamping. Batupasir berwarna kelabu, kuning, kompak dan berbutir halus, batugamping berwarna kelabu kompak berkomponen batuan ultrabasa serpih berwarna merah berlapis baik. Batugamping mengandung fosil Nummulites sp. Tebal formasi ini diperkirakan sekitar 250 meter yang berumur Paleosen-Eosen.

3. Formasi Bacan Fasies Gunungapi (Tomb)

Formasi batuan ini merupakan gunungapi berupa lava, breksi, dan tufa dengan sisipan konglomerat dan batupasir. Breksi gunungapi, kelabu kehijauan dan coklat, umumnya terpecah, mengandung barik kuarsa yang sebagian berpirit. Lava bersusunan andesit hornblende dan andesit piroksen, berwarna kelabu kehijauan dan coklat. Tufa, kuning kecoklatan dan hijau, getas. Batupasir, kuning kecoklatan, kompak, sebagian gampingan. Konglomerat, kelabu kehijauan dan coklat, kompak, mengandung barik kuarsa, komponennya basal, batugamping, rijang, batupasir. Tebal formasi diperkirakan sekitar 220 meter dan berumur Oligosen-Miosen Bawah.

4. Formasi Weda Fasies Sedimen (Tmptw)

Formasi batuan ini terdiri dari batupasir berselingan dengan napal, tufa, konglomerat dan batugamping. Batupasir kelabu sampai coklat muda, kompak, berbutir halus sampai kasar. Napal putih, kelabu kehijauan dan coklat, getas. Tufa, putih dan kuning, getas, berbutir halus sampai kasar, dan berlapis bagus. Konglomerat, kelabu dan coklat, kompak, berkomponen andesit piroksen. Tebal Formasi ini diperkirakan sekitar 300 meter yang berumur Miosen Tengah-Awal Pliosen. Diendapkan dalam lingkungan neritik-batial.

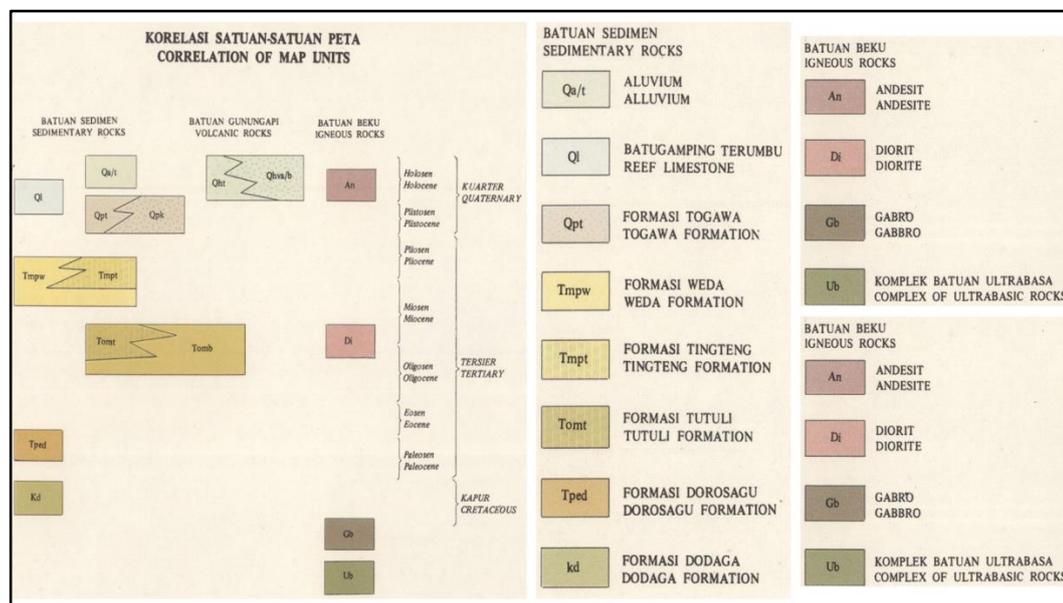
### 5. Formasi Kayasa Fasies Gunungapi (Qpk)

Formasi ini berumur Pliosen berupa batuan gunung api terdiri dari breksi, lava dan tufa. Breksi, kelabu tua, kompak, bersusunan basal dengan masadasar pasir banyak mengandung piroksen. Lava bersifat basal, kelabu tua, setempat berkekar melapis. Tufa, putih kekuningan, kompak, berbutir sedang sampai kasar, setempat mengandung batuapung.

### 6. Formasi Aluvium dan Endapan Pantai Fasies Sedimen (Qa/Qt)

Formasi ini terdiri dari lempung, lanau, pasir dan krikil. Terdapat di lembah sungai yang besar dan di beberapa daerah di sepanjang pantai.

Terdapat cekungan yang cukup luas berkembang sejak Miosen Atas-Pliosen, di dalam cekungan tersebut terdapat batupasir berselingan dengan napal, tufa, konglomerat yang membentuk Formasi Weda dan batuan karbonat. Batuan tertua terdapat di Mandala Halmahera Barat berupa gunungapi berumur Oligo-Miosen, di daerah ini terdapat batuan sedimen dan karbonat berumur Miosen-Pliosen sebarannya cukup luas (Hall, 2000). Penjelasan mengenai stratigrafi diatas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Stratigrafi Lembar Morotai dan Ternate (Supriatna, 1980)

## **2.2 Endapan Nikel Laterit**

Nikel laterit merupakan bahan galian yang mempunyai nilai ekonomis tinggi, karena pada masa sekarang dan masa yang akan datang kebutuhan nikel semakin meningkat. Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Syafriзал, 2011). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe. Beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah iklim dalam hal ini curah hujan yang mendukung terjadinya pelapukan, topografi, struktur geologi, morfologi dan batuan asal (Elias, 2002). Pelapukan terjadi di iklim sub-tropis dan memicu pencucian ion nikel dan resirkulasi pada pH yang tinggi. Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi (Farrokhpay *et al.*, 2019).

### **2.2.1 Genesis Endapan Nikel Laterit**

Laterit berasal dari bahasa latin yaitu "*later*" yang berarti batu bata. Kata laterit pertama kali diperkenalkan oleh Buchanan Hamilton pada tahun 1807 yang diperuntukkan untuk kerak dari tanah yang memiliki warna mirip besi yang dibuat menjadi batu bata untuk keperluan bangunan oleh masyarakat India Tengah-Selatan. Laterit biasanya digunakan untuk tanah yang kaya akan seskuioksida (senyawa oksida dan hidroksida dari Fe dan Al) yang terbentuk akibat dari pelapukan kimia yang dipengaruhi oleh kondisi air tanah tertentu (Ahmad, 2001).

Laterit merupakan jenis tanah yang umum dijumpai pada daerah tropis dan subtropis. Umumnya tanah laterit memiliki kandungan silika yang rendah, bersifat asam dan membentuk profil yang terdiri atas beberapa lapisan atau zona. Tanah ini kurang subur sehingga tidak diperuntukkan sebagai lahan pertanian. Namun, tanah laterit umumnya kaya akan berbagai logam ekonomis antara lain Al, Fe, Ni, Co, dan Cr (Hasria & Septiana, 2024).

Proses pembentukan endapan nikel laterit disebut proses laterisasi. Proses ini melibatkan pemecahan mineral primer dan pelepasan beberapa komponen kimianya di dalam air tanah dan konsentrasi residu dari komponen tidak bergerak atau larut serta pembentukan mineral baru yang lebih stabil pada lingkungan pelapukan (Elias, 2002). Endapan nikel laterit sebagai produk dari laterisasi yang

terjadi pada batuan kaya magnesium (*Mg-rich*) atau batuan ultramafik yang memiliki kandungan nikel primer 0,2-0,4% (Golightly, 1981). Nikel laterit terbentuk oleh pelapukan tropis yang intens pada batuan ultrabasa, seperti peridotit dan serpentinit, yang umumnya mengandung sekitar 0,3% Ni dalam mineral olivin (Fan & Gerson, 2013). Nikel umumnya berasal dari batuan dasar peridotit dan serpentinit, yang sebagian besar terdiri dari mineral silikat ferromagnesian (Orberger & Van der Ent, 2019). Proses pelapukan dimulai pada batuan ultramafik (peridotit, dunit, serpentinit), dimana batuan ini banyak mengandung mineral olivin, piroksen, magnesium silikat dan besi silikat. Batuan tersebut sangat mudah dipengaruhi oleh pelapukan lateritik (Boldt, 1967).

### **2.2.2 Profil Endapan Nikel Laterit**

Profil endapan nikel laterit merupakan gambaran dari proses laterisasi yang telah berlangsung, dimana paling bawah merupakan tahap awal dari pelapukan batuan dan semakin ke atas menunjukkan proses laterisasi yang terus berkembang, proporsi mineral primer yang semakin menurun dan zona rekahan yang semakin kuat (Hasria & Septiana, 2024). Profil nikel laterit dapat sangat bervariasi, terlepas dari keragaman profil laterit, beberapa ciri umum dapat ditemukan yang memungkinkan jenis laterit diklasifikasikan sebagai oksida, tanah liat atau silikat laterit (Brand *et al.*, 1998). Endapan nikel laterit umumnya terdiri atas 5 (lima) zona yaitu zona topsoil, zona limonit, zona transisi, zona saprolit dan zona *bedrock* yang dijabarkan sebagai berikut (Ahmad, 2001):

1. *Top Soil*

*Top soil* merupakan lapisan teratas dalam profil endapan nikel laterit dan berfungsi untuk melindungi lapisan di bawahnya dari erosi. Lapisan ini mengandung material organik (humus), memiliki konsentrasi besi yang tinggi, dan berwarna coklat kemerahan hingga kehitaman.

2. Zona Limonit

Bagian ini terbagi menjadi dua lapisan karena terdapat perbedaan kandungan konsentrasi besi. Lapisan bagian atas disebut limonistik karena walaupun relatif kaya akan oksida besi, lapisan ini tercampur dengan tanah penutup (*top soil*). Sementara lapisan bawah sangat kaya dengan oksida besi. Zona limonit merupakan hasil pelapukan lebih lanjut dari batuan beku ultramafik yang

didominasi oleh oksida besi, geotit dan magnetit. Ketebalan lapisan limonit berkisar antara 8-15 meter sehingga sering disebut *overburden*. Zona ini menjadi zona terakumulasinya unsur-unsur yang kurang *mobile*, seperti Fe dan Al. Besi dan alumina laterit tidak dapat di pisahkan dari proses pembentukan nikel laterit, salah satu produk laterit adalah besi dan aluminium. Mineral ini tingkat mobilitas unsurnya pada kondisi asam sangat rendah, oleh karena itu pada profil laterit banyak terkonsentrasi pada zona limonit.

### 3. Zona Transisi

Lapisan ini merupakan zona peralihan antara limonit bagian bawah dan saprolit bagian atas. Mengandung mineral *smectite* (*nontronite*). Tekstur batuan induk (*protolith*) masih terlihat. Ukuran butir cenderung lempung dan *impermeable*.

### 4. Zona Saprolit

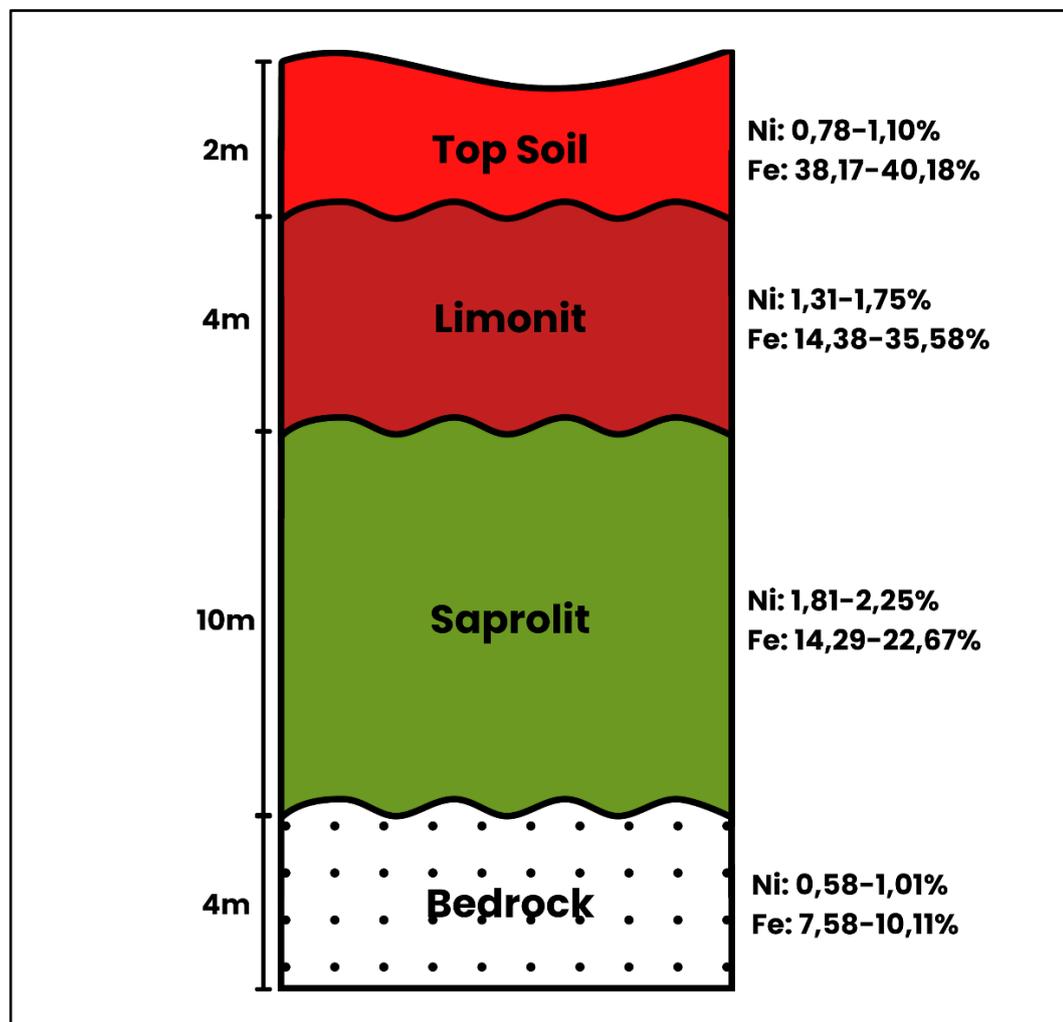
Zona saprolit merupakan zona yang kaya akan nikel sebagai hasil pelapukan dari batuan asal masih terlihat, dari ukuran kerikil hingga bongkah. Komposisi utama antara lain besi oksida, serpentin <0,4%, magnetit dan kuarsa. Zona saprolit memiliki ketebalan rata-rata antara 5-18 meter.

### 5. *Bedrock*

*Bedrock* berada pada bagian bawah profil merupakan batuan batuan ultramafik yang belum mengalami proses pelapukan. Komposisi kimia batuan memiliki kemiripan terhadap komposisi kimia *bedrock* yang tidak teralterasikan. Terdapat struktur *joint* dan *fracture* terjadi seiring terjadinya tekanan *hydrostatic* pada batuan. Sementara sirkulasi air permukaan meresep melalui *joint* dan *fracture*.

Ketebalan endapan laterit umumnya berkisar dari 10-40 meter dalam berbagai kasus. Adapun karakteristik endapan nikel laterit dapat juga diklasifikasikan berdasarkan kandungan persentase unsur yang ada didalamnya (Elias, 2002). Kadar nikel pada endapan laterit umumnya berkisar 1-16%. Mineral pembawa nikel yang utama pada endapan laterit yaitu garnierit  $((Ni,Mg)_6Si_4O_{10}(OH)_8)$  dan *nickelferous limonite*  $(FeO(OH) \cdot nH_2O)$  (Bide *et al.*, 2008). Endapan nikel laterit didefinisikan sebagai sisa tanah atau residu dari hasil proses pelapukan panjang, melalui proses pelapukan kimiawi dan pengayaan supergen (Kamaruddin dkk., 2018). Batuan

ultramafik adalah batuan yang kaya akan mineral mafik (ferromagnesian) dan minim bahkan absen kuarsa, feldspars dan feldspathoid. Endapan nikel laterit merupakan hasil dari pelapukan batuan ultramafik yang mengalami proses pelindian dan terakumulasi di zona pemerayaan supergen (Ahmad, 2008). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Taupan dkk (2002) dalam Hasria & Septiana (2024) pada daerah Boenaga, Kecamatan Lasolo Kepulauan menggambarkan bahwa profil endapan nikel laterit daerah tersebut terdapat 4 (empat) lapisan yaitu *top soil*, limonit, saprolit, dan *bedrock* yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Profil endapan nikel laterit (Hasria & Septiana, 2024)

### 2.3 Pemanfaatan Kobalt (Co)

Keterdapatn kobalt berhubungan dengan keberadaan batuan ultramafik yang kaya akan mineral ferromagenisan. Kobalt juga ditemukan berasosiasi dengan cebakan nikel laterit tetapi umumnya dengan kadar yang lebih rendah (Anbiyak dan Cahyaningrum, 2021). Laterisasi pada batuan ultramafik dapat menghasilkan sumberdaya ekonomis yaitu salah satunya berupa kobalt (Co) (Kadariusman, 2009). Berdasarkan penelitian yang diadakan oleh Diana (2021) yang membandingkan kadar unsur kobalt pada salah satu perusahaan pertambangan besi laterit di Pulau Sebuku, menunjukkan bahwa unsur kobalt yang paling tinggi terdapat pada zona limonit baik itu *yellow* limonit dan *red* limonit (Anbiyak dan Cahyaningrum, 2021). Kobalt memiliki peran yang penting dalam berbagai bahan baku serta perkembangan dan pembangunan teknologi. Sumberdaya kobalt dapat dimanfaatkan dalam industri teknologi, kontruksi, infrastruktur, transportasi, alat elektronik, bahan baku semen, dan sebagai katalisator. Logam utama kobalt sangatlah jarang digunakan, tetapi banyak digunakan sebagai logam paduan (Anbiyak dan Cahyaningrum, 2021). Hal tersebut diakibatkan karena kemampuannya untuk menghasilkan *superalloy* yang sangat keras dengan sifat magnetik yang berguna dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Baterai isi ulang merupakan konsumen kobalt terbesar di sektor ini. Kobalt juga digunakan sebagai pigmen dalam kaca, enamel, tembikar dan porselen. Kobalt digunakan dalam pembuatan senyawa kimia untuk berbagai keperluan industri termasuk perawatan kesehatan, paduan suhu tinggi untuk mesin pembakaran, energi terbarukan seperti tenaga surya dan listrik, serta penyimpanan data. Hal ini disebabkan oleh berbagai karakteristik uniknya, seperti sifat magnetik dan ketahanan terhadap suhu tinggi, keausan, dan korosi (Ziwa *et al.*, 2021). Ketika kobalt dipadukan dengan nikel maka struktur molekul paduan akan berubah dan dengan demikian meningkatkan kekuatan suhu tinggi dan ketahanannya terhadap korosi kimia. Sifat-sifat ini membuat kobalt *superalloy* ideal untuk digunakan dalam mesin jet dan turbin lain dimana suhu tinggi ditemui (Okto dkk., 2023).

Seiring dengan tren dunia yang mengarah ke industri yang lebih ramah lingkungan, kebutuhan kobalt secara global juga meningkat secara signifikan dengan tingkat pertumbuhan sebesar 7-13% per tahun hingga mencapai 390 ribu

ton pada tahun 2030 (Alves *et al.*, 2018). Kobalt berguna dalam berbagai aplikasi metalurgi dan kimia. Sebelum 2006 penggunaan utamanya adalah di *superalloy* di mesin jet dan turbin gas, meskipun aplikasi terbesar sekarang dalam bahan katoda untuk baterai lithium-ion isi ulang (Anbiyak dan Cahyaningrum, 2021).

Pengolahan kobalt umumnya dimulai hanya setelah logam utama (biasanya tembaga atau nikel) dipisahkan dan diekstraksi. Prosesnya seringkali unik untuk mineralogi bijih yang dieksploitasi. Ada tiga proses dasar yang digunakan untuk ekstraksi kobalt, yaitu hidrometalurgi (termasuk ekstraksi pelarut, elektrolisis, dan *electrowinning*), pirometalurgi dan vapometalurgi. Kobalt pertama kali dipisahkan dari nikel menggunakan amonia sebagai sebuah reagen, dan kemudian menghasilkan larutan lalu dimasukkan ke dalam sebuah autoklaf dimana kobalt direduksi oleh hidrogen di bawah tekanan tinggi. Bubuk kobalt padat kemudian dipisahkan, disaring, dan dikeringkan (Okto dkk., 2023).

#### **2.4 Pengaruh Rasio S/M Pada Pengolahan Nikel Laterit**

Dalam pengolahan nikel lateritik, metode serta proses yang memungkinkan untuk menghasilkan persentase (*recovery*) nikel yang paling tinggi dengan biaya yang paling ekonomis menjadi perhatian khusus. Proses pengolahan nikel dalam kondisi atmosfer reduksi dan temperatur yang meningkat akan mempengaruhi proses reduksi nikel laterit. Selain itu, diketahui pula bahwa sejumlah aditif dengan penambahan tertentu dapat mempengaruhi reduksi selektif nikel, karena beberapa aditif tersebut mencegah terbentuknya metalik nikel pada proses ekstraksi tahap lanjut, misalnya sulfur, sehingga memungkinkan *recovery* Ni yang meningkat (Siemens *et al.*, 1975). Umumnya laterit diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu kelompok bijih dengan kadar magnesia yang tinggi, seperti saprolit dan kelompok dengan kadar magnesia rendah tapi memiliki kadar besi (Fe) yang tinggi. Kelompok dengan kadar magnesia yang tinggi umumnya diproses dengan cara *smelting/roasting* (Bergman, 2003). Rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  (S/M) memiliki peran yang sangat penting dalam mengontrol titik leleh dan kekentalan *slag*, serta merupakan faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan *electrical furnace* karena apabila rasio nya terlalu rendah dapat mengakibatkan penggunaan energi yang lebih banyak (Faiz dkk., 2020).

*Smelting* dilakukan pada kelompok bijih ini karena nikel menggantikan magnesium pada kisi magnesium-silikat dan untuk mendapatkan nikel, diperlukan cara untuk menghancurkan kisi tersebut, dan hal inilah yang terjadi bila dilakukan *smelting* (dalam kondisi reduksi) (Kotaro & Shibata, 1975). Dalam pengolahan nikel laterit dengan kadar magnesia yang tinggi seperti saprolit dan garnierit salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$ , untuk bijih nikel laterit yang memiliki *slag* bertemperatur lebur rendah (bijih yang memiliki rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  dengan *range* 1,8-2,2), menghasilkan produk yang memiliki fasa-nikel dengan temperatur lebur yang rendah, oleh karenanya cocok untuk menghasilkan nikel *matte*. Bijih nikel laterit yang memiliki *slag* bertemperatur lebur tinggi (bijih yang memiliki rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO} < 2$  atau  $< 2,5$ ) cocok untuk menghasilkan *ferronickel*, sedangkan bijih yang memiliki rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  dengan *range* 2,3-2,5 bersifat sangat korosif pada *furnace lining*, untuk itu perlu dilakukan perubahan pada komposisi kimia umpan atau bijih yang akan diproses dengan pencampuran atau *fluxing*, sebelum bijih tersebut dapat dilakukan proses *smelting* (Ashok *et al.*, 2004).