

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH UKURAN FRAKSI TERHADAP  
PENINGKATAN KADAR BIJIH SAPROLIT PADA AREA  
STOCKPILE PT CERIA NUGRAHA INDOTAMA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**CHAERIL SASTRIA**

**D111171006**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH UKURAN FRAKSI TERHADAP PENINGKATAN  
KADAR BIJIH SAPROLIT PADA AREA *STOCKPILE* PT CERIA  
NUGRAHA INDOTAMA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**CHAERIL SASTRIA**

**D111171006**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Sufriadin, S.T., M.T.

NIP.196608172000121001

Pembimbing Pendamping,



Rizki Amalia, S.T., M.T.

NIDK.8889211019

Wakil Dekan  
Bidang Akademik dan Kemahasiswaan



Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.T.

NIP.197310101998021001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Chaeril Sastria  
NIM : D111171006  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Pengaruh Ukuran Fraksi Terhadap Peningkatan Kadar Bijih Saprolit  
Pada Area *Stockpile* PT Ceria Nugraha Indotama

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.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Januari 2023

Yang menyatakan



Chaeril Sastria

## ABSTRAK

Cadangan bijih saprolit yang terdapat pada wilayah Izin Usaha Pertambangan PT Ceria Nugraha Indotama memiliki karakteristik bervariasi secara fisik dan kimia yang disebabkan perbedaan ukuran fraksi bijih. Perbedaan tersebut merupakan masalah dalam penambangan sehingga diperlukan kajian mengenai hubungan ukuran fraksi material terhadap komposisi kimia bijih saprolit agar dapat membedakan potensi fraksi bijih dan yang berpotensi dilusi di area penambangan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui komposisi mineralogi dan kimia bijih saprolit pada area *stockpile*, menganalisis perolehan, dan hubungannya dengan perubahan kadar bijih saprolit disetiap variasi ukuran fraksi. Penelitian ini menggunakan sampel bijih saprolit pada dua blok *stockpile* dengan ukuran fraksi ((-2"), (+2" -4"), (+4 -6"), (+6 -8"), dan (+8")). Penentuan komposisi mineral dan kimia dilakukan dengan menggunakan metode X-Ray Difraktogram (XRD) dan metode X-Ray Fluorescence (XRF). Hasil analisis XRD menunjukkan komposisi mineral dominan di Blok Babarina pada fraksi (-2"), (+4 -6"), dan (8") berturut-turut yaitu kuarsa, antigorit, dan enstatit. Sedangkan, di Blok Samaenre, berturut-turut yaitu enstatit, forsterit, dan enstatit. Komposisi kimia bijih saprolit menunjukkan kadar nikel dan besi mengalami penurunan persentase seiring bertambahnya ukuran fraksi dari (-2") ke (+8") yaitu pada Blok Babarina, Ni dari 1,65 % menjadi 0,88 %, Fe dari 14,06 % menjadi 6,38 %, pada Blok Samaenre, Ni dari 1,70 % menjadi 0,54 %, dan Fe dari 20,85 % menjadi 6,50 %. Sebaliknya, kadar magnesia dan silika mengalami peningkatan persentase seiring bertambahnya ukuran fraksi yaitu pada Blok Babarina, SiO<sub>2</sub> dari 43,49 % menjadi 48,26 % dan MgO dari 22,78 % menjadi 35,27 %, pada Blok Samaenre, SiO<sub>2</sub> dari 36,70 % menjadi 44,43 % dan MgO dari 14,75 % menjadi 38,76 %. Peningkatan kadar nikel bijih saprolit tertinggi terjadi pada fraksi (-2") sebesar 0,15% di Blok Babarina dan 0,20% di Blok Samaenre.

Kata kunci: Ukuran fraksi, *dome*; area *stockpile*; bijih saprolit, kadar.

## **ABSTRACT**

*The saprolite ore reserves in the PT Ceria Nugraha Indotama Mining License area have varied physical and chemical characteristics due to differences in the size of the ore fraction. This difference is a problem in mining, so it is necessary to study the relationship between the size of the material fraction and the chemical composition of the saprolite ore in order to distinguish the potential ore fraction and the potential for dilution in the mining area. The purpose of this study was to determine the mineralogical and chemical composition of saprolite ore in the stockpile area, analyze the yield, and its relationship to the increase in the grade of saprolite ore in each variation in the size of the fraction. This study used samples of saprolite ore in two stockpile blocks with fraction sizes ((-2"), (+2" -4"), (+4 -6"), (+6 -8"), and (+8")). The determination of mineral and chemical composition was carried out using the X-Ray Diffractogram (XRD) method and the X-Ray Fluorescence (XRF) method. The results of XRD analysis show that the dominant mineral composition in the Babarina Block in fractions (-2"), (+4 -6"), and (8") are quartz, antigorite, and enstatite, respectively. Meanwhile, in the Samaenre Block, they are enstatite, forsterite, and enstatite, respectively. The chemical grade of saprolite ore shows that nickel and iron content will decrease in percentage as the size of the fraction increases from (-2") to (+8"), namely in the Babarina Block, Ni from 1.65% to 0.88%, Fe from 14, 06% to 6.38%, in the Samaenre Block, Ni from 1.70% to 0.54%, and Fe from 20.85% to 6.50%. On the other hand, the composition of magnesia and silica will increase in percentage as the size of the fraction increases, namely in the Babarina Block, SiO<sub>2</sub> from 43.49% to 48.26% and MgO from 22.78% to 35.27%, in the Samaenre Block, SiO<sub>2</sub> from 36.70 % to 44.43% and MgO from 14.75% to 38.76 %. The highest increase in nickel content of saprolite ore occurred in the fraction (-2") of 0.15% in the Babarina Block and 0.20% in the Samaenre Block.*

*Keywords: Fraction size, dome; stockpile area; saprolite ore, grade.*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* penulis ucapkan sebagai bentuk rasa syukur kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala* karena atas berkah hidayah dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Pengaruh Ukuran Fraksi Terhadap Peningkatan Kadar Bijih Saproilit Pada Area Stockpile PT Ceria Nugraha Indotama".

Penulis mengucapkan banyak terima kasih dan memberikan doa terbaik, semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada semua pihak yang ikut andil dalam membantu dan memberikan dukungan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini. PT Ceria Nugraha Indotama adalah pihak yang memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian di wilayah IUP perusahaan. Saya mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Fachruddin Syam selaku *Superintendent* sekaligus sebagai pembimbing lapangan satu, Bapak Feryadi Sumadi selaku pembimbing lapangan dua, dan Kak Jenus Sara' Bahari yang telah membantu, membimbing dan membantu selama kegiatan di *site* dan dalam pengambilan dan pengolahan data skripsi.

Terima kasih penulis juga haturkan kepada Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T., selaku koordinator LBE Pengolahan Bahan Galian dan dosen pembimbing satu, serta Ibu yang telah mencurahkan waktu, tenaga dan ilmunya kepada penulis. Terima kasih juga kepada seluruh bapak/ibu dosen dan staff administrasi yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Lika-liku dan dinamika dunia perkuliahan telah dilewati bersama, mulai dari mahasiswa baru hingga sampai skripsi ini ditulis, teman-teman dari Continuity 2017 selalu memberikan bantuan, motivasi, serta semangat. Tak lupa pula juga saya mengucapkan super terima kasih kepada rekan seperjuangan saya yaitu Hardi Aditya. Terima kasih telah menjadi *roommate* yang saling mendukung dalam keadaan apapun, sebagai tempat bertukar pikiran dan teman diskusi dalam berbagai hal.

Skripsi ini saya persembahkan kepada dua orang luar biasa yaitu kedua orang tua saya Bapak Bobby dan Mama Samsiara, dengan doa dan ridho beliau penulis bisa berada sampai di titik ini untuk menyelesaikan studi strata satu. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada keluarga besar Sastria *Squad* dan Tante Vivi, yang telah memberikan bantuan doa, materil, serta moril selama penulis menjadi mahasiswa.

Manusia merupakan tempatnya salah, oleh karena itu penulis menyadari bahwa masih terdapat keterbasan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat dibutuhkan oleh penulis, sebagai bahan ajaran dan refleksi untuk menutupi kekurangan yang ada. Mengakhiri kata pengantar ini, semoga skripsi ini bisa menjadi berkah dan bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Gowa, Januari 2023

Chaeril Sastria

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
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 Tahapan Penelitian .....	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	5
BAB II Tinjauan Pustaka.....	6
2.1 Nikel Laterit .....	6
2.2 Genesis Nikel Laterit .....	7
2.3 Mineralogi dan Geokimia Bijih Nikel Laterit.....	11
2.4 <i>Loss of Ignition</i> .....	14
2.5 Metode Analisis Mineral.....	15
2.6 Analisis <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	17
BAB III Metode Penelitian .....	19
3.1 Pengambilan Sampel.....	19
3.2 Preparasi Sampel.....	19
3.3 <i>Lost Of Ignition</i> (LOI) .....	23
3.4 Analisis <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	24
3.5 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	26
3.6 Bagan Alir Penelitian .....	27
BAB IV Hasil dan Pembahasan .....	29
4.1 Karakteristik Mineralogi Bijih Saprolit .....	29
4.2 Karakteristik Kimia Bijih Saprolit.....	36
4.3 Tingkat Perolehan Bijih .....	42
4.4 Perubahan Kadar Nikel.....	44



BAB V Kesimpulan .....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran .....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	49
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta IUP PT Ceria Nugraha Indotama .....	5
Gambar 2.1 Profil endapan bijih nikel laterit .....	10
Gambar 2.2. Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik) .....	13
Gambar 2.3 Eksitasi karakteristik sinar-X dengan sinar-X energi tinggi .....	18
Gambar 3.1 Pengambilan sampel di lapangan .....	19
Gambar 3.2 <i>Screening</i> sampel .....	20
Gambar 3.3 Mereduksi sampel dengan palu .....	21
Gambar 3.4 Matriks sampel 5x4 .....	21
Gambar 3.5 Pengeringan sampel menggunakan oven .....	22
Gambar 3.6 Alat <i>pullverizer</i> .....	23
Gambar 3.7 Alat <i>muffle furnace</i> .....	24
Gambar 3.8 Analisis XRF .....	25
Gambar 3.9 Alat XRD untuk analisis mineral .....	27
Gambar 3.10 Bagan alir penelitian .....	28
Gambar 4.1 Difraktogram keterdapatan mineral sampel CBF0275 (Fraksi (-2")) .....	30
Gambar 4.2 Difraktogram keterdapatan mineral sampel CBF0278 (Fraksi (+4" -6")) ..	31
Gambar 4.3 Difraktogram keterdapatan mineral sampel CBF0274 (Fraksi (+8")) .....	32
Gambar 4.4 Difraktogram keterdapatan mineral sampel CBF0372 (Fraksi (-2")) .....	33
Gambar 4.5 Difraktogram keterdapatan mineral sampel CBF0373 (Fraksi (+4" -6")) ..	34
Gambar 4.6 Difraktogram keterdapatan mineral sampel CBF0376 (Fraksi (+8")) .....	35
Gambar 4.7 Grafik kadar air permukaan fraksi individu dan kumulatif Blok Babarina ..	37
Gambar 4.8 Grafik kadar air permukaan fraksi individu dan kumulatif Blok Samaenre	38
Gambar 4.9 Grafik kadar LOI fraksi individu dan kumulatif Blok Babarina .....	39
Gambar 4.10 Grafik kadar LOI fraksi individu dan kumulatif Blok Samaenre .....	40
Gambar 4.11 Grafik kadar rata-rata unsur fraksi individu Blok Babarina .....	41
Gambar 4.12 Grafik kadar rata-rata unsur fraksi individu Blok Samaenre .....	42
Gambar 4.13 Grafik <i>recovery</i> rata-rata fraksi individu dan kumulatif Blok Babarina ....	43
Gambar 4.14 Grafik <i>recovery</i> rata-rata fraksi individu dan kumulatif Blok Samaenre ..	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi <i>mobile element</i> pada bijih Ni laterit .....	13
Tabel 4.1 Komposisi mineral sampel CBF0275 (Fraksi (-2")).....	29
Tabel 4.2 Komposisi mineral sampel CBF0278 (Fraksi (+4" -6")) .....	30
Tabel 4.3 Komposisi mineral sampel CBF0274 (Fraksi (+8")) .....	31
Tabel 4.4 Komposisi mineral sampel CBF0372 (Fraksi (-2")).....	32
Tabel 4.5 Komposisi mineral sampel CBF0373 (Fraksi (+4" -6")) .....	33
Tabel 4.6 Komposisi mineral sampel CBF0376 (Fraksi (+8")) .....	34
Tabel 4.7 Kadar air permukaan fraksi individu dan kumulatif Blok Babarina .....	37
Tabel 4.8 Kadar air permukaan fraksi individu dan kumulatif Blok Samaenre .....	37
Tabel 4.9 Kadar LOI fraksi individu dan kumulatif Blok Babarina.....	39
Tabel 4.10 Kadar LOI fraksi individu dan kumulatif Blok Samaenre .....	39
Tabel 4.11 Kadar rata-rata unsur fraksi individu Blok Babarina .....	41
Tabel 4.12 Kadar rata-rata unsur fraksi individu Blok Samaenre.....	42
Tabel 4.13 <i>Recovery</i> rata-rata fraksi individu dan kumulatif Blok Babarina.....	43
Tabel 4.14 <i>Recovery</i> rata-rata fraksi individu dan kumulatif Blok Samaenre.....	44
Tabel 4.15 Data perubahan kadar Ni Blok Babarina.....	45
Tabel 4.16 Data perubahan kadar Ni Blok Samaenre.....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Data Analisis XRD.....	52
B Data <i>Recovery</i> .....	59
C Kadar Air Sampel.....	61
D Analisis XRF.....	63

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Laterit adalah produk sisa pelapukan kimiawi di batuan di permukaan bumi, dimana berbagai mineral asli atau primer yang tidak stabil diakibatkan adanya air, larut atau rusak dan mineral baru terbentuk yang lebih stabil. Nikel laterit merupakan produk lateritisasi batuan ultramafik dengan kandungan Ni primer 0,2-0,4% (Golightly, 1981). Salah satu karakteristik utama bijih nikel adalah kadar nikel yang terkandung tidak melebihi 4% Ni. Biasanya kadar nikel adalah antara 1% dan 3% Ni dan dalam beberapa kasus, tidak melebihi 4%. Hal ini disebabkan bijih nikel tersebut terkandung dalam berbagai inklusi, terutama peridotit dan mineral sulfida yang menyebabkan konsentrasi nikel memiliki kadar rendah (Bulatovic, 2007)

Keterdapatn bijih laterit nikel di Indonesia tersebar di wilayah khatulistiwa berkaitan dengan distribusi jalur global tektonik ofiolit berumur Mesozoikum-Kenozoikum Sirkum Pasifik (Kadarusman, 2001). Salah satu wilayah yang dijumpai sumberdaya nikel yaitu pada lokasi Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Ceria Nugraha Indotama, yang memiliki letak administrasi di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. PT Ceria Nugraha Indotama melakukan proyek identifikasi pengaruh kelompok ukuran fraksi terhadap perubahan kadar bijih saprolit yang dilakukan pada tiga tahapan penambangan yang dimulai dari pengambilan sampel di area pit, *stockpile* dan pengapalan. Dari ketiga lokasi pengambilan sampel, penelitian ini berfokus untuk mengkaji perubahan kadar bijih saprolit di area *stockpile* yang berasal dari hasil penambangan bijih saprolit di dua blok berbeda yaitu Blok Babarina dan Samaenre.

Identifikasi kadar bijih saprolit dilakukan karena cadangan bijih saprolit yang terdapat pada wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Ceria Nugraha Indotama, memiliki karakteristik bervariasi secara fisik dan kimia. Perbedaan ukuran fraksi dan bentuk dari material pada bijih saprolit menyebabkan sifat fisik dan kimia yang bervariasi. Perbedaan tersebut disebabkan laju pelapukan di setiap lokasi yang beragam, sehingga material memiliki komposisi mineralogi dan kimia yang berbeda. Perbedaan karakteristik mineralogi dan kimia dari bijih saprolit juga sangat dipengaruhi oleh genesa bijih laterit, baik dari litologi, iklim dan tektonik pada daerah tersebut. Perubahan ukuran fraksi material pada lokasi tambang akan mempengaruhi perolehan produksi dan mengakibatkan meningkatnya biaya operasional penambangan.

Perbedaan komposisi kimia pada berbagai ukuran fraksi bijih merupakan suatu masalah dalam proses penambangan sehingga diperlukan kajian yang lebih mendalam mengenai hubungan ukuran fraksi material terhadap komposisi kimia bijih saprolit agar dijadikan data awal untuk membandingkan potensi fraksi bijih dan fraksi yang berpotensi dilusi di area penambangan. Potensi fraksi bijih akan dimaksimalkan pada saat proses penambangan, sehingga kegiatan penambangan dapat berjalan dengan efisien.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Bijih nikel laterit merupakan material yang berasal dari proses pelapukan batuan ultramafik. Proses pelapukan yang tidak sama yang terjadi pada suatu tempat menyebabkan ukuran butir dari material yang beragam. Ukuran fraksi yang bervariasi tentunya dibarengi dengan perbedaan karakteristik yang berbeda-beda untuk setiap ukurannya, baik dari kandungan mineral, elemen-elemen kimia, dan tingkat perolehan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi mineralogi dan kimia bijih saprolit berdasarkan ukuran fraksi pada area *stockpile* di dua blok yang berbeda

dan menganalisis pengaruh perolehan (*recovery*) dan ukuran fraksi terhadap perubahan kadar nikel bijih saprolit pada setiap variasi ukuran fraksi.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui komposisi mineralogi bijih saprolit pada area *stockpile* di dua blok yang berbeda.
2. Mengetahui komposisi kimia bijih saprolit berdasarkan ukuran fraksi pada area *stockpile* di dua blok yang berbeda.
3. Menganalisis pengaruh perolehan (*recovery*) dan ukuran fraksi terhadap perubahan kadar nikel bijih saprolit pada setiap variasi ukuran fraksi.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah peneliti dapat mengamati kecenderungan perubahan unsur-unsur yang terdapat pada setiap ukuran fraksi bijih saprolit, sehingga bisa dijadikan informasi awal untuk menentukan ukuran fraksi yang berpotensi ekonomis dan fraksi yang berpotensi dilusi pada suatu area penambangan.

### **1.5 Tahapan Penelitian**

Tahapan yang akan dilakukan pada kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan untuk menentukan dan menjelaskan masalah yang akan diangkat sehingga dilakukan penelitian ini.

2. Studi literatur

Tahapan ini dilakukan untuk mengkaji dan mengumpulkan berbagai referensi untuk menunjang topik dari penelitian yang akan diangkat. Pengumpulan

referensi kepustakaan bersumber dari buku, jurnal, artikel ilmiah, prosiding, dan segala bentuk referensi lainnya yang berkaitan dengan topik yang akan diteliti.

3. Pengambilan data

Pengambilan data berupa pengambilan sampel bijih saprolit di area IUP PT Ceria Nugraha Indotama tepatnya pada area *dome stockpile* di dua blok yang berbeda.

4. Kegiatan laboratorium

Kegiatan yang dilakukan di laboratorium meliputi kegiatan *screening* sampel berdasarkan ukuran fraksinya, preparasi sampel, analisis XRD, dan analisis XRF.

5. Pengolahan data

Pengolahan data merupakan tahapan pengumpulan data-data hasil analisis yang kemudian diolah dengan menggunakan perangkat lunak komputer. Hasil analisis dengan menggunakan XRF diolah dengan menggunakan *software spectra plus*, sedangkan untuk hasil analisis XRD diolah dengan menggunakan *software Match! 3 Trial Version*.

6. Penyusunan laporan tugas akhir

Seluruh data-data penelitian yang telah didapatkan kemudian dikumpulkan dan disusun secara sistematis dan terstruktur dengan mengikuti format panduan penyusunan tugas akhir yang telah ditentukan.

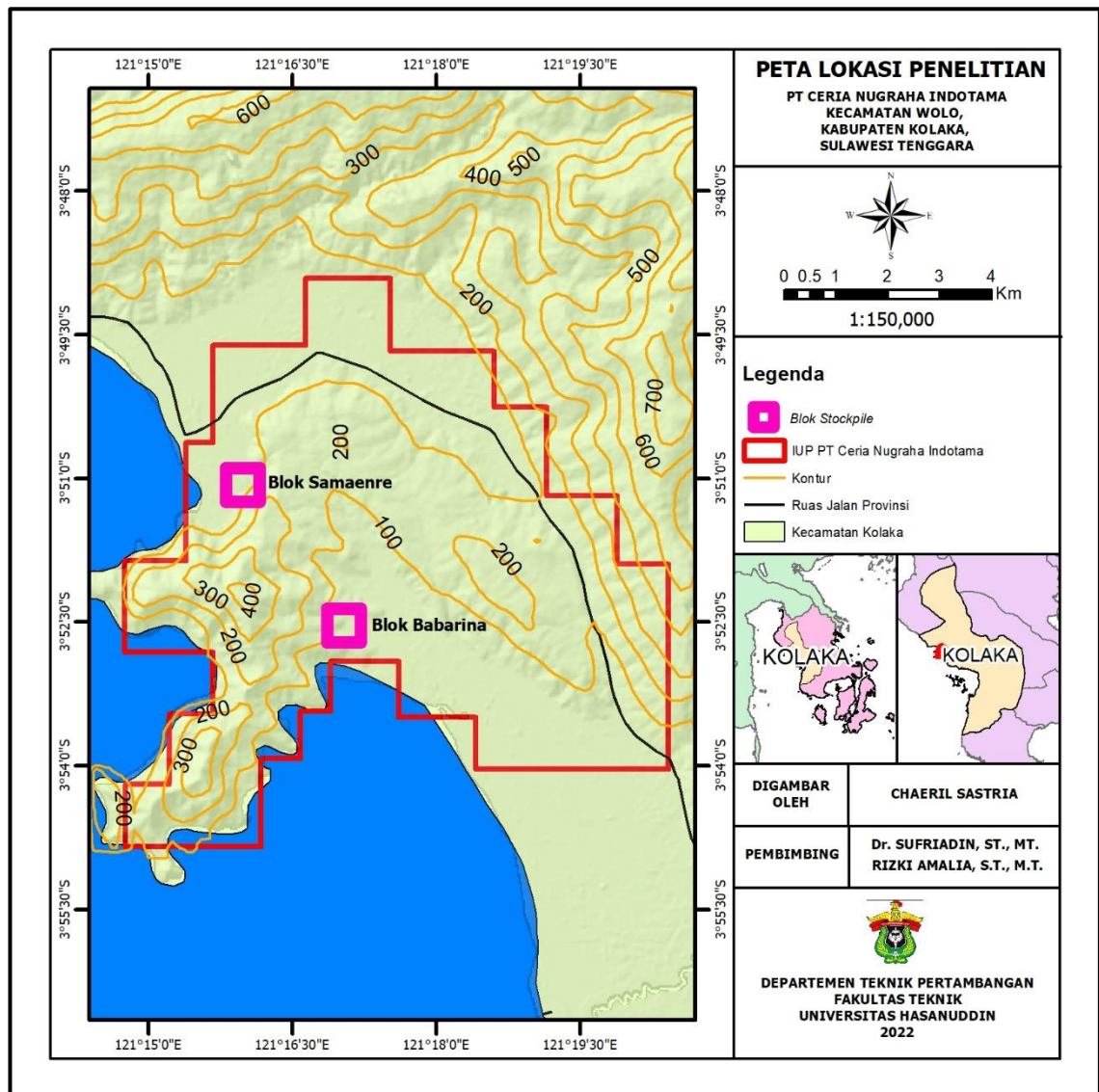
7. Seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

Laporan tugas akhir dipresentasikan pada seminar hasil, kemudian dikoreksi dan dikritik oleh tim pembimbing, tim penguji, serta peserta seminar untuk direvisi dan diperbaiki sebelum diserahkan kepada pihak Departemen Teknik Pertambangan.



## 1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT. Ceria Nugraha Indotama yang secara administratif terletak di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara, dapat ditempuh dengan menggunakan pesawat komersial dari Bandara Internasional Sultan Hasanuddin ke Bandara Sangia Nibandera selama 45 menit, kemudian dilanjutkan dengan perjalanan darat selama 2 jam ke *site* PT Ceria Nugraha Indotama. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta IUP PT Ceria Nugraha Indotama

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Nikel Laterit**

Nikel (Ni) merupakan logam yang keras dan tahan korosi, serta cukup reaktif terhadap asam dan lambat bereaksi terhadap udara pada suhu dan tekanan normal. Logam ini cukup stabil dan tidak dapat bereaksi terhadap oksida sehingga sering digunakan sebagai koin dan pelapis dan sifatnya paduan. Nikel sebagai salah satu sumber daya mineral ekonomis di bumi ini perlu ditemukan keberadaannya untuk dapat memenuhi kebutuhan dibidang perindustrian. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni nikel bersifat lunak, tetapi jika dipadukan (*alloy*) dengan besi, krom, dan logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Perpaduan nikel, krom dan besi menghasilkan baja tahan karat (*stainless steel*) yang banyak diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok, dan peralatan memasak), ornamen ornamen rumah dan gedung, serta komponen industri (Sukandarrumidi, 2007).

Deposit nikel di dunia diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu bijih nikel sulfida dan bijih laterit. Cadangan nikel dunia terdiri dari 72% nikel laterit dan hanya 42% yang telah diproduksi (Dalvi, dkk., 2004). Meskipun 72% tambang nikel berbasis nikel laterit, namun 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida (Superiadi, 2007). Bijih nikel laterit banyak ditemukan di belahan bumi yang memiliki iklim tropis dan subtropis yang terdiri atas hasil pelapukan batuan ultramafik yang mengandung zat besi dan magnesium kadar tinggi. Deposit nikel laterit berkadar antara 0,6–1,5% dengan tonase yang jauh lebih besar (Yildirim dkk., 2012).

Berdasarkan tipe mineral yang dominan, bijih nikel laterit di dunia dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe, yaitu (Mubarok, 2013):

1. Laterit oksida (*oxide laterites*) merupakan produk yang paling umum proses laterisasi. Sebagian besar terdiri atas Fe-hidroksida di bagian atas lapisan bijih;
2. Laterit lempung (*clay laterite*). Sebagian besar terdiri atas lempung semektit pada bagian atas lapisan bijih;
3. Laterit silikat, terbentuk pada bagian yang lebih dalam dan mungkin dilapisi oleh laterit oksida. Sebagian besar terdiri atas Mg-Ni silikat (serpentin, garnierit).

## 2.2 Genesis Nikel Laterit

Bijih nikel laterit terbentuk dari akibat proses pelapukan batuan ultramafik, yang merupakan campuran kompleks mineral-mineral *ferromagnesian* seperti olivin  $[(Fe,Mg)_2SiO_4]$ , piroksin  $[Fe,Mg]_2Si_2O_6$  dan ampibol  $[(Fe,Mg)_7Si_8O_{22}(OH)_2]$  (Solar, 2015). Proses konsentrasi nikel pada bijih nikel laterit dimulai dari air permukaan yang mengandung karbon dioksida dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindihan, dimana fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya akan karbon dioksida akan kontak dengan zona saprolit yang masih mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti olivin, serpentin dan piroksin. Magnesium, silika dan nikel akan larut dan terbawa sesuai dengan aliran air tanah dan akan memberikan mineral-mineral baru pada proses pengbijih kembali (Brand *et al.*, 1998).

Pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah (Sutisna, 2006):

1. Batuan asal. Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya bijih nikel laterit. Batuan asal yang berperan penting dalam pembentukan nikel laterit berupa batuan ultrabasa seperti harzburgit. Batuan ultrabasa mengandung mineral-mineral yang kurang stabil dan mudah melapuk seperti

olivin dan piroksin. Oleh karena itu, batuan ultrabasa mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengbijih yang baik untuk nikel.

2. Iklim. Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan permukaan air tanah, juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan mempercepat terjadinya pelapukan mekanis, menyebabkan rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.
3. Senyawa kimia dan vegetasi. Senyawa kimia merupakan faktor yang mempercepat proses pelapukan, seperti air tanah mengandung CO<sub>2</sub> yang bersifat asam berperan penting dalam proses pelapukan kimia. Terkait dengan faktor vegetasi terdapat asam humus yang menyebabkan dekomposisi batuan serta mengubah pH larutan. Jenis vegetasi suatu daerah erat hubungannya dengan terbentuknya asam humus di daerah tersebut. Dalam hal ini, vegetasi yang rapat dan bervariasi mempengaruhi penetrasi air lebih dalam sehingga air tanah yang terkumpul akan lebih banyak dan untuk terbentuknya lebih tebal. Kondisi ini merupakan lingkungan yang baik untuk terbentuknya bijih nikel berkadar tinggi.
4. Struktur geologi. Batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sehingga penetrasi air sangat sulit, dengan adanya rekahan batuan akan lebih memudahkan masuknya air sehingga proses pelapukan akan lebih intensif. Sebagai contoh, di daerah Pomalaa terdapat struktur kekar yang lebih dominan dibandingkan dengan struktur patahannya. Daerah ini disusun oleh batuan ultrabasa sebagai saluran tempat naiknya magma yang mengandung

unsur nikel, sehingga struktur ini menjadi salah satu factor dalam pembentukan cebakan bijih nikel.

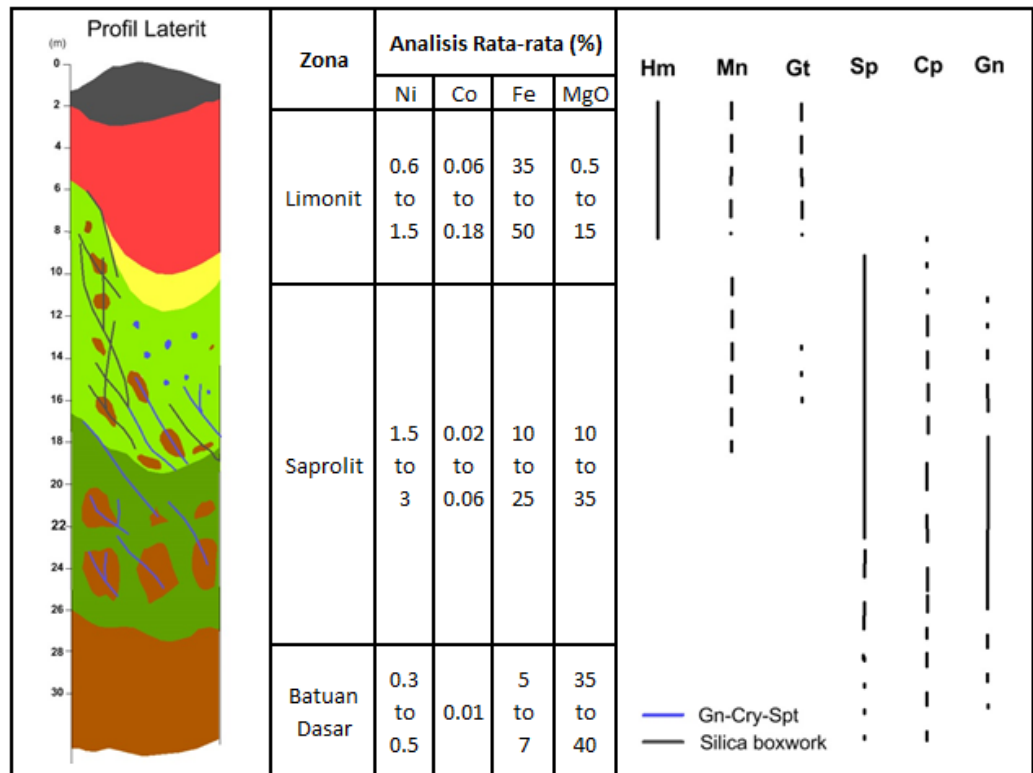
5. Topografi. Topografi setempat sangat berpengaruh terhadap sirkulasi air dan senyawa lain untuk daerah landai, air akan bergerak perlahan sehingga dapat menembus batuan lebih dalam melalui rekahan atau pori batuan. Bijih mengandung nikel akan terakumulasi pada daerah landai sampai kemiringan sedang. Hal ini menunjukkan ketebalan pelapukan tergantung kepada bentuk topografi. Pada daerah yang curam, air limpasan (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga pelapukannya kurang intensif.
6. Waktu. Semakin lama waktu pelapukan semakin besar bijih nikel yang terbentuk.

Pembentukan nikel laterit yang terdiri atas empat horizon yaitu (Elias, 2002):

1. Tudung besi (*iron cap*) yang merupakan campuran gutit dan limonit berwarna merah tua. Lapisan ini mempunyai kadar besi tinggi dan nikel rendah, yaitu sekitar 60% Fe. Kadang-kadang ditemukan hematit dan kromiferus yang merupakan lapisan paling atas dari bijih laterit dan menjadi overburden pada saat penambangan bijih nikel laterit.
2. Lapisan limonit, merupakan lapisan yang kaya besi sekitar 40-50% Fe, berukuran halus dan berwarna merah coklat atau kekuningan. Dalam limonit, sebagian besar nikel berada dalam gutit (sebagai larutan padat), sebagian lagi berada dalam oksida mangan dan lioforit. Dalam lapisan ini juga kadang-kadang ditemukan talk, tremolit, kromiferus, kuarsa, gipsit dan magemit.
3. Lapisan saprolit. Dalam lapisan ini, mineral utamanya adalah serpentin ( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ), nikel mensubstitusi Mg. Bijih saprolit memiliki kandungan nikel lebih tinggi daripada yang terdapat pada lapisan limonit, yaitu sekitar

1,5-3% Ni. Kandungan magnesia dan silikanya juga lebih tinggi, namun kadar besinya rendah.

4. Batuan dasar (*bedrock*). Bagian ini berbentuk bongkah berukuran >75 cm. Secara umum kadar nikelnya kecil, sekitar 0,3-0,5 % nikel. Zona ini mengalami perengkahan kuat dan kadang-kadang bersifat terbuka dan terisi oleh garnierit dan silika. Perengkahan ini diperkirakan menjadi *root zone* yaitu suatu zona dengan kandungan nikel tinggi berupa urat dalam batuan dasar.



Gambar 2.1 Profil endapan bijih nikel laterit (Kusuma dkk., 2019)

Zona pelapukan kimiawi yang kaya akan bijih nikel berada pada zona saprolit. Bijih nikel tidak hanya berasosiasi dengan garnierit, tapi Ni juga dapat mensubstitusi Fe dan Mg pada mineral silikat, khususnya serpentinit. Komposisi kimia dari mineral-mineral mafik (termasuk olivin) dalam iherzolit yang mengandung Ni dan Cr (Atmadja, 1974).

Perbedaan menonjol dari nikel saprolit dan limonit adalah kandungan Fe (besi) dan Mg (magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit kandungan Fe tinggi dan Mg rendah (Dalvi dan Robert 2004). Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindian, yang sering disebut sebagai zona hipogen.

## **2.3 Mineralogi dan Geokimia Bijih Nikel Laterit**

### **2.3.1 Mineralogi Bijih Ni Laterit**

Mineral-mineral primer pada batuan ultramafik adalah mineral olivin dan piroksin. Mineral olivin dapat terdekomposisi menjadi mineral sekunder seperti krisotil, magnetit, saponit, nontronit, silika amorf, dan goetit, sedangkan mineral piroksin berubah menjadi mineral talk, smektit, dan goetit. Rangkaian pembentukan mineral sekunder selama proses pembentukan laterit berbeda dengan mineral primer. Pelapukan yang terjadi pada olivin dan piroksin lebih kompleks daripada serpentin. Hal ini disebabkan tekstur serpentin yang lebih halus dan komposisi kimia yang lebih homogen dari pada olivin dan piroksin (Tardy, 1997).

Di bagian permukaan zona lateritisasi yaitu pada zona limonit, umumnya didominasi oleh oksida-hidroksida besi. Konsentrasi residual Fe melibatkan pula pelindian komponen silikat nikel - serpentin dan akan membentuk lebih banyak gutit. Proses hidrasi oksida besi tersebut dalam lingkungan reduksi akibat pelapukan umumnya akan menyebabkan pembentukan mineral gutit. Seiring proses pelapukan yang terjadi, maka beberapa mineral utama terutama olivin, serpentin dan juga piroksen mengalami ketidakstabilan ikatan kimiawi yang tinggi dan mengalami dekomposisi. Di zona saprolit, dekomposisi tersebut terutama ditunjukkan oleh pelarutan silikat magnesia dan menyebabkan presipitasi Ni maupun penggantian ion Mg oleh Ni pada serpentin. Hal ini dapat terjadi disebabkan sifat Mg yang cenderung

lebih stabil pada air soil (*soil water*) sedangkan Ni lebih stabil pada serpentin dan didukung perubahan pH ke arah dalam di zona laterit (Golightly, 1981).

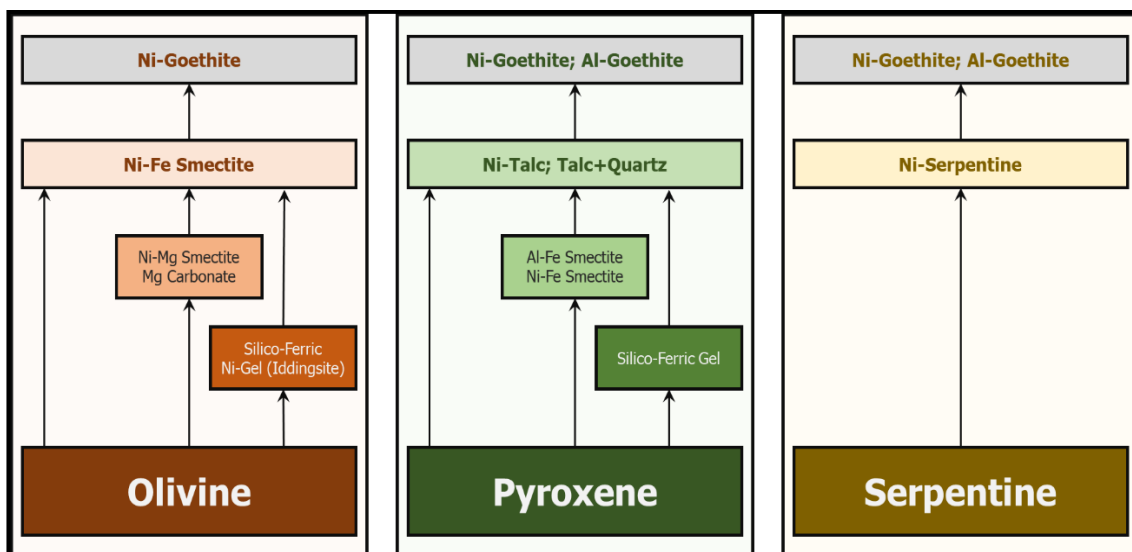
Mineral-mineral primer pada batuan ultramafik (*bedrock*) dapat menghasilkan mineral sekunder, sebagai berikut:

1. Olivin menjadi krisotil, magnetit, saponit, nontronit, silika, amorf dan goetit.
2. Piroksin menjadi talk, smektit dan goetit.
3. Serpentin menjadi smektit dan goetit.

Pembentukan mineral sekunder juga mempengaruhi pembentukan mineral oksida seperti kromit dan magnetit. Kromit memiliki bentuk euhedral dengan ukuran kristal 0,1-2 mm. Retakan yang terisi pada kristal kromit telah terisi oleh serpentin yang menunjukkan bahwa kromit terbentuk oleh kristalisasi magma sebelum serpentinisasi terbentuk. Itu juga berubah menjadi ferikromit di sepanjang beberapa tepi kristal dan retakan di kristal kromit. Pembentukan ferikromit dapat terjadi karena proses pelarutan-rekristalisasi Al-Spinel (Mellini *et al.*, 2005). Magnetit ditemukan dalam bentuk subhedral-unhedral serta urat yang berukuran mikro berasosiasi dengan urat serpentin. Pembentukan magnetit disebabkan oleh pelepasan ion  $Fe^{2+}$  dari struktur kristal olivin selama proses serpentinisasi. Ion  $Fe^{2+}$  dioksidasi menjadi  $Fe^{3+}$  melalui reaksi hidrasi dan redoks sebagai berikut (Evans, 2008).

Serpentin (lizardit dan nepouit) terutama merupakan fase mineral yang mengandung Ni, Fe terutama ada di karat hijau, dan lizardit dan goyerit juga mengandung sejumlah kecil Fe. Serpentin dan olivin adalah mineral nikel utama dengan rata-rata konsentrasi nikel masing-masing persen berat 3,65% dan 1,73 %. Fe dan Ni memiliki homogenitas dan simbiosis pada serpentin dan olivin, dan ketika nilai Fe meningkat, nilai Ni juga meningkat. Konsentrasi Fe dan Ni sering berkorelasi positif (Zhang *et al.*, 2020).





Gambar 2.2. Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik) (Nahon, *et al.*, 1992).

### 2.3.2 Geokimia Bijih Ni Laterit

Selama proses pelapukan berlangsung, beberapa elemen akan *leached* dan elemen lainnya akan terkonsentrasi melalui *secondarily enriched* atau *residually* (Brand, *et al.*, 1998). Sebuah pengukuran *mobile element* pada bijih Ni laterit melalui tingkat perpindahan elemen terhadap aliran air (Trescases, 1975; Golightly, 1981).

Tabel 2.1. Klasifikasi *mobile element* pada bijih Ni laterit (Trescases, 1975)

Elemen	<i>Mobility</i>	Kategori
Fe <sup>+3</sup>	-18,1	<i>Residual Enrichment</i>
Cr <sup>+3</sup>	-16,4	
Al <sup>+2</sup>	-15,3	
Cu <sup>+2</sup>	-5,7	
Ni <sup>+2</sup>	-3,2	<i>Supergenic Enrichment</i>
Co <sup>+2</sup>	-1,7	
Zn <sup>+2</sup>	-1,5	
Mn <sup>+2</sup>	1,3	<i>Leached</i>
Mg <sup>+2</sup>	3,1	

Elemen kimia mayor dari bijih nikel laterit berupa MgO, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serta elemen minor berupa Ni, Co, dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Secara khusus, kadar nikel dari serpentin

yang kaya Fe-(Ni) adalah sekitar 5 sampai 10%. Selain itu, ketika serpentin dan silikat (seperti Fe-Mg-(Ni) smektit) hidup berdampingan secara tepat, sulit untuk mencapai pemisahan mineral (Farrokhpay *et al.*, 2019). Dalam proses laterisasi, SiO dan MgO terkonsentrasi di dua zona saprolit kemudian mengalami penurunan secara signifikan pada zona transisi dan zona limonit, memperlihatkan perilaku yang sama sesuai dengan sifat kelarutannya, yang mudah larut selama proses pelapukan dan mengalami pencucian ke zona saprolit bagian bawah. Sebaliknya konsentrasi Fe dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mengalami perubahan pada zona limonit dan menurun secara signifikan pada zona transisi dan zona saprolit. Elemen minor antara lain Co dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menunjukkan pengkayaan terjadi pada zona limonit dan mengalami penurunan kadar pada zona saprolit. Unsur Ni mengalami pengkayaan pada zona saprolit dibanding zona limonit hingga lebih dari 2,5% Ni atau 2 hingga 3 kali daripada nilai Ni di zona limonit (Kusuma dkk., 2019).

## **2.4 Loss of Ignition**

*Loss of ignition* atau biasa juga disebut kadar hilang pijar sering digunakan sebagai perkiraan kandungan bahan organik yang tidak mudah menguap dalam sampel. Perlu dicatat bahwa zat anorganik atau produk dekomposisi (misalnya H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, dan SO<sub>2</sub>,) dilepaskan atau diserap dan beberapa zat anorganik mudah menguap di bawah kondisi reaksi (TC WI, 2003). Senyawa organik akan hilang dengan cara dipijarkan pada suhu 500°C dan pada suhu 1000°C senyawa yang hilang ialah senyawaan karbonat yang berubah menjadi CO<sub>2</sub> dan kisi hidroksi pada tanah lempung (Dean 1974).

Metode *loss of ignition* ini didasarkan pada analisis diferensiasi termal, dimana bahan organik mulai menyala pada suhu 200°C dan benar-benar terbakar habis pada suhu 550°C, dan sebagian besar mineral karbonat akan dipijarkan pada suhu yang lebih tinggi (kalsit antara 800 dan 850°C dan dolomit antara 700 dan 750°C).

Perhitungan karbon anorganik mengasumsikan bahwa pengapian mengikuti hubungan stoikiometri dan jumlah karbonat, hal ini menyatakan bahwa komponen non-karbon tertentu yang mudah menguap dari sedimen meningkatkan nilai LOI (Heiri dkk. 2001). Air kisi sangat berpengaruh terhadap kandungan LOI pada suatu material yang kandungannya dapat mencapai 5% dalam LOI (Ran *et al.* 2000). Gypsum, mineral sulfida, dan oksihidroksida logam dapat memodifikasi nilai LOI juga, melalui oksidasi atau dehidrasi (Brauer *et al.* 2000).

Hilang pijar juga digunakan untuk mencegah adanya mineral-mineral yang dapat diuraikan pada pemijaran. Kristal mineral tersebut umumnya bersifat dapat mengalami metamorfosa dalam waktu yang lama, sehingga pada proses tersebut dapat menimbulkan kerusakan. *Loss of ignition* (LOI) adalah persentase berat CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang hilang pada waktu dipijarkan dengan suhu dan waktu tertentu. Hilang pijar disebabkan karena terjadinya penguapan air kristal dari gipsum serta penguapan CO<sub>2</sub> dari MgCO<sub>3</sub> dan CaCO<sub>3</sub> saat terjadi reaksi kalsinasi. Nilai LOI berkisar antara 0,5-0,8% (Amin dkk., 2019).

Kadar hilang air berkaitan dengan keadaan air kristal yang dimiliki setiap material, Hilangnya air kristalisasi terjadi pada suhu antara 700 dan 850°C. Namun, dalam kaolinit, dilakukan uji coba pada suhu sekitar 500, 530 dan 550°C yang dipilih untuk pemanasan sebagai puncak suhu endotermik diperoleh penurunan berat kaolinit masing-masing sebesar 12,06%, 12,09% dan 12,42% setelah 6 jam pemanasan. Jika proses ini dilanjutkan, diperkirakan penurunan berat material setelah 24 jam pemanasan mungkin antara 13,4% dan 13,7% bukan pada nilai teoritis 13,9%. (Tomita *et al.*, 1992).

## **2.5 Metode Analisis Mineral**

Sinar-X merupakan salah satu bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai energi antara 200 eV sampai dengan 1 MeV dengan panjang gelombang

antara 0,5 sampai dengan 2,5 Å. Panjang gelombangnya hampir sama dengan jarak antara atom dalam kristal, menyebabkan sinar-X menjadi salah satu teknik dalam analisa mineral (Suryanarayana dan Norton, 1998). Karakterisasi menggunakan metode difraksi merupakan metode analisa yang penting untuk menganalisa suatu kristal. Karakterisasi XRD dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal menggunakan sinar-X. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan jenis struktur, ukuran butir, konstanta kisi, dan FWHM. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang diantara 400-800 nm (Smallman *and* Bishop, 1999).

XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut  $2\theta$ . Tiap pol yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu. (Widyawati, 2012). Hamburan sinar-X dihasilkan jika suatu elektroda logam ditembakkan dengan elektron-elektron dengan kecepatan tinggi dalam tabung vakum. Suatu kristal dapat digunakan untuk mendifraksi berkas sinar-X dikarenakan orde dari panjang gelombang sinar-X hampir sama atau lebih kecil dengan orde jarak antar atom dalam suatu kristal (Zulianingsih, 2012).

Hasil yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan instrument *X-Ray Diffraction* (XRD) adalah grafik difraktogram. Difraktogram adalah output yang merupakan grafik antara  $2\theta$  (*diffraction angle*) pada sumbu X versus intensitas pada sumbu Y. Sudut  $2\theta$  merupakan sudut antara sinar datang dengan sinar pantul. Sedangkan intensitas merupakan jumlah banyaknya X-Ray yang didifraksikan oleh kisi-kisi kristal yang mungkin. Kisi kristal ini juga tergantung dari kristal itu sendiri. Kisi-kisi ini dibentuk oleh atom-atom penyusun kristal. Jika tidak ada atom-atom yang menyusun suatu bidang kisi pada kristal, maka sinar X yang datang tidak dapat

didifraksikan atau dengan kata lain tidak ada kisi tersebut. Informasi yang dapat diperoleh dari analisa dengan menggunakan XRD tersebut yaitu sebagai berikut:

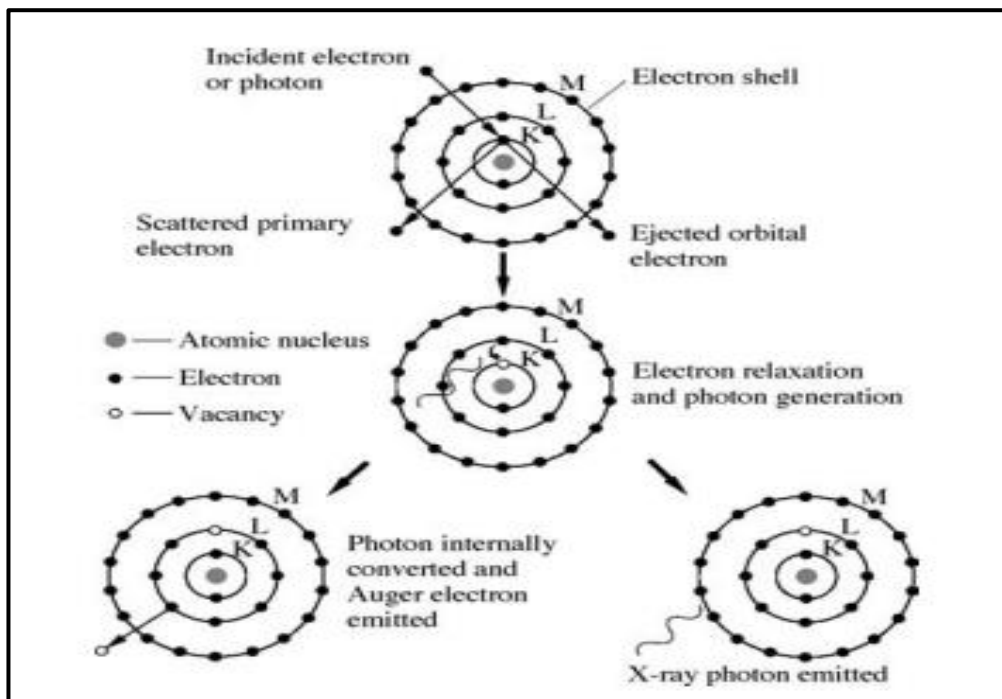
1. Pembangkit sinar-X menghasilkan radiasi elektromagnetik setelah dikendalikan oleh celah penyimpang (S).
2. Posisi puncak difraksi memberikan gambaran tentang parameter kisi ( $a$ ), jarak antar bidang ( $d_{hkl}$ ), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan ( $d_{hkl}$ ) struktur kristal dan orientasi dari sel satuan.
3. Intensitas relatif puncak difraksi memberikan gambaran tentang posisi atom dalam sel satuan.
4. Bentuk puncak difraksi memberikan gambaran tentang ukuran kristal dan ketidaksempurnaan kisi. ( $d_{hkl}$ ) dikelompokkan dalam beberapa grup, dengan intensitas relatif paling tinggi pertama disebut  $d_1$ , kedua  $d_2$ , ketiga  $d_3$  dan seterusnya.

Pola difraktogram yang dihasilkan pada XRD berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai  $2\theta$  tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda (Warren, 1969).

## **2.6 Analisis X-Ray Fluorescence (XRF)**

XRF adalah metode analisis yang cepat, non-destruktif dengan preparasi sampel sederhana yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari berbagai jenis material. Perangkat XRF menghasilkan sinar-X untuk meradiasi sampel, setelah disinari sinar-X, elemen dalam sampel akan memancarkan radiasi sinar-X neon

dengan energi diskrit khusus untuk jenis elemen. Prinsip XRF adalah pengukuran dari energi radiasi yang dipancarkan oleh sampel untuk mengidentifikasi elemen (analisis kualitatif) dan pengukuran intensitas energi yang dipancarkan untuk menentukan jumlah elemen yang ada dalam sampel (analisis kuantitatif) (Brouwer, 2003).



Gambar 2.3 Eksitasi karakteristik sinar-X dengan sinar-X energi tinggi (Leng, 2008)

Gambar 2.3 secara skematik mengilustrasikan pembangkitan karakteristik dari sinar-X ketika atom diradiasi oleh partikel energi tinggi. Ketika partikel energi tinggi, seperti foton sinar-X, elektron atau neutron, menyerang elektron dalam kulit bagian dalam atom, energi partikel dapat cukup tinggi untuk menumbuk elektron keluar dari posisi semula dalam atom, tersingkirnya elektron meninggalkan atom sebagai elektron bebas dan atom terionisasi, karena ionisasi adalah keadaan tereksitasi, atom akan cepat kembali ke keadaan normal setelah mengisi ulang bagian dalam elektron kulit terluar. Sementara itu, perbedaan energi antara elektron kulit terluar dan elektron kulit dalam akan menghasilkan foton X-Ray (karakteristik sinar-X) (Leng, 2008).