

*Skripsi Geofisika*

**IDENTIFIKASI ZONA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA  
FRONT EVR MENGGUNAKAN INSTRUMEN XRF DI PT ANTAM Tbk.  
UBPN KOLAKA**

**ARPAH**

**H061201006**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



**HALAMAN JUDUL**

**IDENTIFIKASI ZONA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA  
FRONT EVR MENGGUNAKAN INSTRUMEN XRF DI PT ANTAM Tbk.  
UBPN KOLAKA**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada Departemen Geofisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**OLEH:**

**ARPAH**

**H061201006**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**IDENTIFIKASI ZONA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA  
FRONT EVR MENGGUNAKAN INSTRUMEN XRF DI PT ANTAM Tbk.  
UBPN KOLAKA**

**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**ARPAH**

**H061201006**

Tidak dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 27 Maret 2024

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama**

**Makhrani, S.Si. M.Si**  
NIP. 197202271998022002

**Pembimbing Pertama**

**Dra. Maria, M.Si**  
NIP. 196307281991032002

**Ketua Departemen Geofisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin Makassar**

**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**  
NIP. 196709291993031003



## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Arpah  
NIM : H061201006  
Departemen : Geofisika  
Judul Skripsi : Identifikasi Zona Profil Endapan Nikel Laterit Pada *Front*  
EVR Menggunakan Instrumen XRF Di PT Antam Tbk. UBPN  
Kolaka

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin atau Lembaga Penelitian lain kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, karya tulis ini merupakan murni dari gagasan penelitian saya sendiri, kecuali arahan dari Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 27 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



Arpah



## SARI BACAAN

Studi karakteristik profil nikel laterit merupakan tahap awal yang krusial dalam menentukan kadar dan kualitas bijih untuk keperluan produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi zona laterit pada lima titik lokasi pengambilan sampel tes pit di Front Everest Tambang Utara PT Antam Tbk. UBPN Kolaka dengan menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF). Analisis terhadap profil tersebut mengungkapkan adanya 5 zona, yaitu tanah penutup, limonit, transisi, saprolit, dan bedrock, yang memiliki karakteristik fisik dan geokimia yang berbeda-beda. Karakteristik fisik dianalisis meliputi ketebalan, warna, tekstur, dan mineral penyusun tiap zona. Sedangkan karakteristik geokimia menunjukkan pergerakan unsur dalam profil laterit pada titik pengambilan sampel menunjukkan perilaku yang relatif serupa, dengan unsur nikel yang melimpah pada lapisan transisi ke saprolit dengan kadar mencapai 2.79%.

**Kata Kunci:** Nikel, XRF, Identifikasi, Karakteristik, Zona



## ABSTRACT

The study of laterite nickel profile characteristics is a crucial initial stage in determining ore grade and quality for production purposes. This study aims to identify laterite zones at five pit test sampling locations at Front Everest North Mine PT Antam Tbk. UBPN Kolaka using X-Ray Fluorescence (XRF) instruments. Analysis of the profile revealed the presence of 5 zones, namely overburden, limonite, transition, saprolite, and bedrock, which have different physical and geochemical characteristics. Physical characteristics analyzed include thickness, color, texture, and minerals that make up each zone. While geochemical characteristics showing movement of elements in laterite profiles at the sampling point showed relatively similar behavior, with abundant nickel elements in the transition layer to saprolite with levels reaching 2.79%.

**Keywords:** *Nickel, XRF, Identification, Characteristics, Zone*



## KATA PENGANTAR

**Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

*Alhamdulillah Rabbil 'alamin.* Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkah, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Identifikasi Zona Profil Endapan Nikel Laterit Pada Front EVR Menggunakan Instrumen XRF Di PT Antam Tbk. UBPN Kolaka”** sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW. kepada keluarganya, para sahabat, dan kepada umatnya hingga akhir zaman, Aamiin.

Penulis banyak mengalami kesulitan dan masalah baik dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan skripsi yang tentunya sangat menguras tenaga dan waktu penulis. Oleh karenanya, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya dari berbagai pihak atas bantuan, nasihat, didikan, bimbingan serta semangat yang diberikan kepada penulis selama ini. Untuk itu, dengan gembira dan penuh haru penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Ibu **Makhrani, S.Si, M.Si**, selaku Pembimbing Utama yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, waktu, ilmu, serta kepercayaan yang sangat berarti dan motivasi penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Ibu **Dra. Maria, M. Si** selaku dosen pembimbing pertama yang telah bersedia berikan bimbingan, nasehat, dan semangat selama penyusunan skripsi ini.



3. Bapak **Drs. Erfan, M.Si** dan **Syamsuddin S. Si, MT** selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan dan saran yang membangun untuk perbaikan skripsi ini.
4. **PT. Antam Tbk. UBPN Kolaka** beserta **Tim QC** yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan penelitian selama kurang lebih 1 bulan.
5. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku Dosen Penasihat Akademik dan Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
6. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamza, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh dosen dan staff Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas ilmu yang telah diajarkan, pelayanan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
8. Ibu **Basiah** selaku ibu penulis yang tercinta, yang tak pernah lupa menanyakan kabar penulis setiap malam, senantiasa melangitkan doanya untuk penulis. Terimakasih sudah menjadi alasan bagi penulis untuk bertahan hingga dititik ini. *Mom is a light in the dark, and I am so lucky to be a part of your life.*
9. Bapak **Abdur Rahim** selaku ayah penulis yang telah memberikan kasih sayang dan banyak memberi pelajaran lewat tutur kata dan perbuatan. *I still love u dad.*
10. Saudara/i **Ana Mariana, Agus Tina, Arbaiyah, Abdul Azis, Amirullah,** dan



**ruddin.** Kakak-kakak penulis yang selalu memenuhi kebutuhan finansial nya dan menjadi tempat berkeluh kesah penulis.

11. Sahabat penulis, **Aviva Anwar** dan **Helda Elvina** yang telah kebersamaan masa SMP dan SMA Penulis hingga sekarang. Skripsi ini penulis persembahkan pula untuk kalian.
12. Teman masa kecil penulis hingga sekarang, **Fahrina Maulida** dan **Nasliah** yang selalu memberikan perhatiannya terhadap penulis. Terimakasih sudah menganggap penulis sebagai adik kalian.
13. Teruntuk **Aliya, Afni, Juma, Mumun, Cece,** dan **Pito**. Tanpa kalian perjalanan penulis tidak akan seberarti ini.
14. Teman dekat penulis di bangku kuliah **Amelia Putri, Aurelia,** dan **Defina Damayanti**. Terimakasih sudah mengingatkan penulis definisi dari sosok teman yang saling peduli satu sama lain. *I always pray that "May we be brought together by a couple who are able to give equal love"*
15. Teruntuk cegil, **Selfiana** dan **Umi Kalsum S.** yang menemani masa-masa sulit di penghujung semester sehingga penulis berani untuk memulai bimbingan dan bisa seminar.
16. Teman-teman **KKNT Perhutanan Sosial Gelombang 109 Kecamatan Gantarang Bulukumba** terkhusus kepada **Posko Bukit Tinggi** yang telah memberikan pengalaman baru kepada penulis.
17. Teman-teman **Geofisika 2020** atas kebersamaannya selama mengikuti perkuliahan.
18. Grup "**CSM**" yang sudah mewarnai masa maba penulis dan teman diskusi



ar.

19. Jodoh penulis, kamu adalah rahasia tuhan yang di nanti-nantikan, namun penulis tak berharap banyak. Ketahuilah kamu merupakan salah satu alasan penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, meskipun penulis tidak mengetahui keberadaanmu. Namun penulis yakin bahwa sesuatu yang ditakdirkan menjadi milik kita akan menuju kepada kita bagaimanapun caranya.
20. *Last but not least*, sang penulis **Arpah**. Terimakasih telah berjuang sejauh ini dan memilih untuk tidak menyerah dalam kondisi apapun, penulis sangat bangga karena mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan penuh lika-liku kehidupan yang dijalani.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, sehingga dengan segala kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun untuk memperbaiki kekurangan yang ada. Penulis pun tetap berharap agar tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya. *Aamiin Ya Rabbal Alamin*.

**Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

Makassar, 27 Maret 2024

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>SARI BACAAN</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Ruang Lingkup .....	2
I.4 Tujuan Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
II.1 Geologi Regional .....	3
II.2 Batuan Ultramafik dan Komposisinya .....	5
II.3 Endapan Nikel Laterit .....	8
II.4 Genesis Nikel Laterit .....	11
tor-faktor Pembentuk Nikel Laterit .....	12
fil Laterit Nikel Di Pomalaa .....	14



II.7 Metode XRF (X-Ray Fluorescence) .....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
III.1 Lokasi Penelitian .....	22
III.2 Alat dan Bahan .....	23
III.3 Pengambilan Sampel.....	23
III.4 Preparasi Sampel .....	23
III.5 Interpretasi Data .....	25
III.6 Diagram Alir Rencana Penelitian .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
IV.1 Karakteristik Fisik Profil Nikel Laterit Front EVR.....	27
IV.2 Karakteristik Geokimia Profil Nikel Laterit Front EVR.....	32
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>38</b>
V.1 Kesimpulan .....	38
V.2 Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>40</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>42</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Peta Geologi Regional lengan Tenggara Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993). .....	3
<b>Gambar 2.2</b> Klasifikasi model batuan ultramafik (Ahmad, 2008). .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Profil Zonasi Laterit Tambang Utara daerah Pomalaa (Kamaruddin dkk., 2018) .....	16
<b>Gambar 2.4</b> Alat X-Ray Fluorescence MagiX Fast (Dokumentasi Penulis).....	17
<b>Gambar 2.5</b> Prinsip kerja XRF (Gosseau, 2009) .....	18
<b>Gambar 3.1</b> Peta Lokasi Penelitian.....	22
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Rencana Penelitian .....	26
<b>Gambar 4.1</b> Profil Laterit Front EVR.....	27
<b>Gambar 4.2</b> Kenampakan Lapisan Tanah Penutup.....	29
<b>Gambar 4.3</b> Kenampakan Lapisan Limonit.....	30
<b>Gambar 4.4</b> Kenampakan Lapisan Transisi .....	31
<b>Gambar 4.5</b> Kenampakan Lapisan Saprolit.....	31
<b>Gambar 4.6</b> Kenampakan Bedrock.....	32
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Unsur Pada Titik Pengambilan Sampel (Titik 03).....	36



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Perbedaan batuan Ultramafik dan Ultrabasa (Ahmad, 2006).....	6
<b>Tabel 2.2</b> Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009).....	9
<b>Tabel 2.3</b> Kelebihan dan Kekurangan XRF (Kurniawati dkk., 2014).....	20
<b>Tabel 4.1</b> Ketebalan 5 Titik Pengambilan Sampel.....	28
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Analisis Uji X-Ray Pada 5 Titik Lokasi Pengambilan Sampel ...	33



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Lokasi Penelitian (Front EVR) .....	42
<b>Lampiran 2.</b> Titik Lokasi Pengambilan Sampel .....	43
<b>Lampiran 3.</b> Foto Alat dan Bahan .....	45
<b>Lampiran 4.</b> Proses Pengambilan Sampel .....	49
<b>Lampiran 5.</b> Proses Preparasi Sampel .....	50
<b>Lampiran 6.</b> Proses Analisis Pada Lab Instrumen dengan XRF .....	51
<b>Lampiran 7.</b> Peta Lokasi Titik Pengambilan Sampel .....	52
<b>Lampiran 8.</b> Grafik Kadar Unsur Titik Lokasi .....	53



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara melimpah dengan sumber daya alam mineral terutama bahan tambang yang bersifat tidak dapat diperbaharui seperti batu bara, tembaga, belerang, nikel, dan lain-lain. Nikel memiliki ketahanan korosi, kekuatan, keuletan, dan konduktivitas termal serta listrik yang tinggi sehingga digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan baja tahan karat, logam dasar pada paduan berbasis nikel, *superalloy*, dan baterai (Puspita dkk., 2022).

Endapan nikel laterit pada Provinsi Sulawesi Tenggara tersebar di Kabupaten Konawe Utara, Konawe Selatan, Bombana dan Pomalaa (Simanjuntak, 1993). Secara geografis, Pomalaa terletak di sepanjang  $4^{\circ}11'30''$  -  $4^{\circ}17'30''$  Lintang Selatan dan  $121^{\circ}31'30''$  -  $121^{\circ}37''$  Bujur Timur. Daerah tersebut merupakan bagian dari kompleks ofiolit di lengan Tenggara Sulawesi yang banyak di jumpai batuan ultramafik sebagai batuan induk pembawa nikel (Kamaruddin dkk., 2018).

Pelapukan pada batuan ultramafik mempengaruhi karakteristik dan profil endapan nikel laterit yang terdapat pada suatu daerah (Kurniadi dkk., 2017). Perbedaan karakteristik dapat diketahui berdasarkan sifat fisik, sifat kimia, serta pengamatan sifat optik pada batuan dasar untuk menentukan jenis batuan dasar pembentuk endapan nikel laterit pada daerah tersebut (Arifin dkk., 2015). Perbedaan sifat fisik



ihat dari kenampakan permukaan laterit, sedangkan sifat kimia dapat n berdasarkan analisis geokimia berupa kandungan unsur yang terdapat u sampel (Rinawan dkk., 2018).

Aldhy Wahyudin Yusuf pada Juli 2023 telah melakukan studi mengenai karakteristik endapan nikel laterit dengan data kimia di *Front WRG (Wrangler)*. Berdasarkan penelitian tersebut ditemukan sisipan lempung (*clay*) pada lapisan limonit, transisi, dan saprolit dengan kandungan nikel tertinggi mencapai 2.20%. Wilayah IUP (Izin Usaha Pertambangan) Tambang Utara terdiri dari dua *front* penambangan yaitu *Front WRG (Wrangler)* dan *Front EVR (Everest)*. Setiap daerah memiliki karakteristik profil endapan nikel laterit yang berbeda-beda. Oleh sebab itu, penelitian ini difokuskan pada *Front EVR* untuk mengidentifikasi zona profil endapan nikel laterit menggunakan instrumen XRF (*X-Ray Fluorescence*) di PT Antam Persero Tbk. UBPN, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik fisik profil nikel laterit pada *Front EVR*?
2. Bagaimana karakteristik geokimia profil nikel laterit *Front EVR*?

## **I.3 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada *Front EVR* Tambang Utara PT Antam Tbk. UBPN Kolaka berupa Sampel *Tes Pit* menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengidentifikasi zona profil endapan nikel laterit.

## **I.4 Tujuan Penelitian**



•tahui karakteristik fisik profil nikel laterit pada *Front EVR*

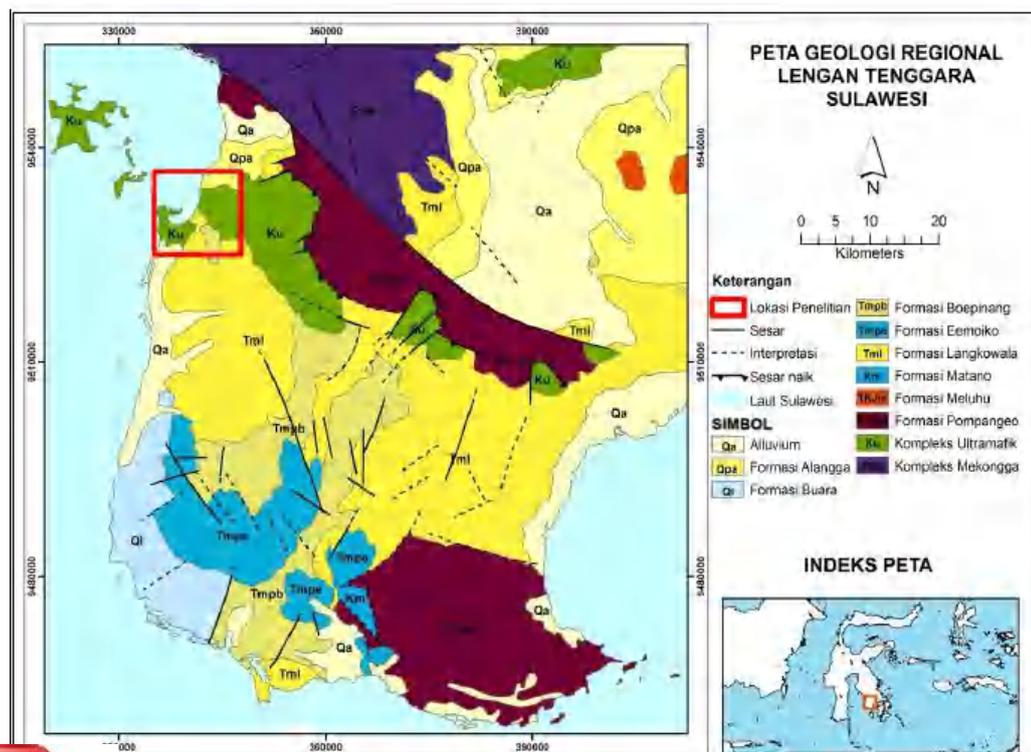
•tahui karakteristik geokimia profil nikel laterit *Front EVR*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Geologi Regional

Berdasarkan struktur litotektonik Sulawesi dibagi menjadi empat bagian, yaitu Mandala Barat sebagai jalur magmatik yang merupakan bagian ujung timur Paparan Sunda, Mandala tengah yang merupakan batuan malihan yang di tumpangi batuan banchu sebagai bagian dari blok Australia, Mandala timur berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias-Miosen, dan Fragmen Benua Banggai Sula yang terletak di kepulauan paling timur dan tenggara Sulawesi (Somptan, 2012).



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional lengan Tenggara Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1993).



Gambar 2.1 memberikan informasi mengenai formasi batuan penyusun lokasi penelitian di uraikan dari umur tertua hingga termuda (Fajriasa'Adah, 2019):

1. **Kompleks Mekongga (Pzm)** terdiri atas sekis, *gneiss*, dan kuarsit. Jenis batuan ini terdiri atas *gneiss* kuarsa biotit dan *gneiss* muskovit, bersifat kurang padat sampai padat. Batuan ini berumur Karbon-Permian yaitu sekitar 250-345 juta tahun.
2. **Kompleks Ultramafik (Ku)** terdiri atas *hazburgit*, *dunit*, *wherlit*, *serpentinit*, *gabro*, *basalt*, *diorit*, *amfibolit*. Satuan ini diperkirakan berumur Kapur. Umur batuan ini adalah Jura Bagian Atas-Kapur Bagian Bawah yaitu sekitar 100-160 juta tahun.
3. **Kompleks Pompongeo (MTpm)** terdiri atas sekis mika, sekis *glaukofan*, sekis *amfibolit*, sekis *klorit*, *rijang*, dan batu *gamping meta*. Berdasarkan penarikan umur oleh P3G (1993) Kompleks Pompongeo mempunyai umur Kapur Akhir-Paleosen Bagian Bawah sekitar 65-100 juta tahun.
4. **Formasi Langkowala (Tml)** terdiri atas *konglomerat*, *batupasir*, *serpih* dan *kalkarenit*. Berdasarkan penarikan umur oleh P3G (1993) hasil penggalan umur menunjukkan bahwa batuan ini terbentuk pada Miosen Tengah (15 juta tahun).
5. **Formasi Alangga (Qpa)** terdiri atas *konglomerat* dan *batupasir*. Umur dari formasi ini adalah Plistosen dan lingkungan pengendapannya pada daerah darat-payau. Formasi ini berumur Plistosen sekitar 3-5 juta tahun.
6. **Aluvium (Qa)** adalah endapan termuda dan hingga kini masih berlanjut terdiri



mpur, lempung, pasir keirkil dan kerakal. Satuan ini merupakan endapan , rawa dan endapan pantai berumur Holosen.

## II.2 Batuan Ultramafik dan Komposisinya

Batuan merupakan agregat padat yang terbentuk akibat dari proses ilmiah yang mengandung mineral. Pada dasarnya batuan yang berada dipermukaan bumi terbagi atas tiga jenis, yaitu batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf (Sultoni dkk., 2019). Batuan beku adalah jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, dengan atau tanpa proses kristalisasi, baik di bawah permukaan sebagai batuan intrusif (plutonik) maupun di atas permukaan sebagai batuan ekstrusif (vulkanik) (Carlson dkk., 2009). Salah satu contoh batuan intrusif ialah batuan beku ultrabasa yang kaya mineral basa (mineral *ferromagnesia*) dengan komposisi utama batumannya adalah mineral olivin, piroksen, hornblende, mika dan biotit (Ahmad, 2002).

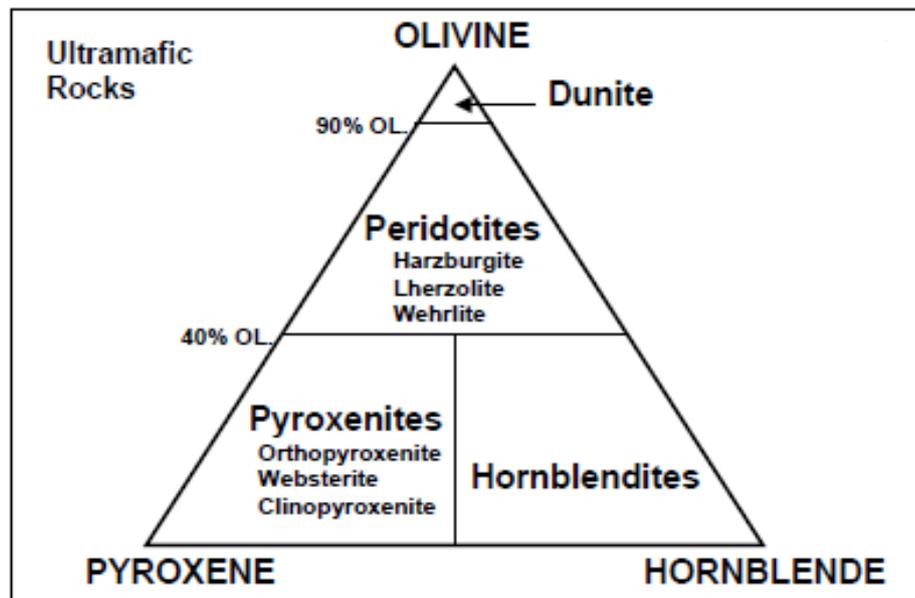
Batuan ultrabasa dan ultramafik masing-masing berhubungan secara klasifikasi mineralogi dan kimia batuan. Batuan ultrabasa hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak samudera. Secara sederhana batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO<sub>2</sub> dari komposisinya, seperti pada Tabel 2.1. Kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe dan Mg (Ahmad, 2006). Batuan ultramafik merupakan batuan yang menjadi sumber bagi endapan nikel laterit dan nikel sulfida. Selain sebagai sumber nikel, batuan ultramafik juga dapat menjadi induk dari kromit, logam dasar, kelompok logam platinum (PGM), intan, dan bijih besi laterit (man, 2009).



**Tabel 2.1** Perbedaan batuan Ultramafik dan Ultrabasa (Ahmad, 2006)

	<i>Ultramafic rock (Mafics &gt; 70%)</i>	<i>Ultrabasic rock (Silica &lt; 45%)</i>
<i>Dunite</i>	<i>Mafics 100%</i>	<i>Silica = 43%</i>
<i>Serpentinite</i>	<i>Mafics 100%</i>	<i>Silica = 43%</i>
<i>Hazburgite (50% olivine, 50% enstatite)</i>	<i>Mafics 100%</i>	<i>Silica = 51%</i>
<i>Orthopyroxenite (enstatite)</i>	<i>Mafics 100%</i>	<i>Silica = 60%</i>
<i>Anorthosite</i>	<i>Mafics &lt; 10%</i>	<i>Silica = 43%</i>

Batuan ultramafik diklasifikasikan menurut kandungan mineral mafik yang pada dasarnya terdiri dari olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, hornblende, dengan biotit, garnet, dan spinel dalam jumlah kecil (Le Maitre dkk., 2002). Klasifikasi khusus untuk batuan ultramafik di tunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Klasifikasi model batuan ultramafik (Ahmad, 2008).

Jenis-jenis batuan ultramafik, antara lain:

1. Peridotit



biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut numnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri atas hazburgit, lertzolit, n dunit. Peridotit tersusun atas mineral-mineral holokristalin dengan

ukuran medium-kasar dan berbentuk anhedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksen. Mineral aksesorinya berupa plagioklas, hornblende, biotite, dan garnet (Williams dkk., 1954).

## 2. Dunit

Menurut Williams dkk. (1954) bahwa dunit merupakan batuan yang hampir murni olivin (90-100%). Sedangkan Ahmad (2002) menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesia olivin), mineral aksesorinya meliputi kromit, magnetit, ilmenit, dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma, dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan ini bersatu membentuk massa olivin anhedral yang saling mengikat (Williams., dkk 1954).

## 3. Serpentin

Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultrabasa, dimana mineral-mineral olivin dan piroksen jika teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, yang terbentuk dari serpentinisasi dunit dan peridotit (Ahmad, 2002). Menurut Ringwood (1975), kerak serpentin dapat dihasilkan dari mantel ultrabasa (mantel peridotit dan dunit) di bawah punggung tengah samudera (*Mid Ocean Ridge*) pada temperatur  $< 500^{\circ} C$ . Serpentin kemudian terbawa keluar melalui migrasi litosfer.

## 4. Piroksenit



Ahmad (2002), piroksenit merupakan kelompok batuan ultramafik mineralik dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah

piroksin. Piroksenit adalah batuan beku plutonik berkomposisi mineral-mineral dari keluarga piroksin, seperti augit, bronzit, diallag, diopsid, enstatit, dan hipersten. Ukuran butir mineral-mineralnya sangat kasar bahkan individu mineralnya dapat mencapai ukuran inci. Piroksin juga merupakan suatu kelompok mineral silikat penyusun batuan yang banyak dijumpai dalam batuan beku dan metamorf (Morimoto dkk., 1989).

### 5. Hornblendit

Hornblendit merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya hornblende. Istilah hornblende berasal dari bahasa Jerman, Horn (tanduk) dan Blender (bersinar) dan mengacu pada kecerahan mineral. Mineral ini termasuk dalam mineral silikat dan mineral ferromagnesium. Mineral ini berbentuk prismatic atau kristal yang menyerupai jarum dan tampak berwarna hijau tua kehitaman. Mineral ini banyak dijumpai pada berbagai jenis batuan beku dan metamorf (Dana, E. S. 1892).

## II.3 Endapan Nikel Laterit

Laterit deposit atau endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah *humid*, *warm* maupun *tropic* dan kaya akan mineral lempung yang bersifat *kaolinitic* serta Fe dan Al *oxide* atau *hydroxide*. Endapan laterit pada umumnya menampilkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembaban tanah yang naik ke atas permukaan. Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya



an nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group* PGE). Lapisan saprolit merupakan bagian dari profil laterit dimana zona alami pelapukan tinggi, tekstur primer, dan *fabric* dari batuan asalnya

masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxided* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya *sulfide* dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam *chalcopirite* dan unsur-unsur alkalin. Bagian tersebut dicirikan dengan terurainya mineral-mineral *feldspar* dan ferromagnesian, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (Maulana, 2017).

Perilaku berbagai unsur selama proses lateralisasi pada dasarnya dikendalikan oleh sifat kimia dari unsur itu sendiri, seperti pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009)

<i>Element</i>	<i>Exist in the ultramafic as</i>	<i>Role during lateritic weathering</i>
Ca	Clinopyroxenes > Orthopyroxenes > Olivines	<i>Highly mobile. Leached away</i>
Mg	Olivines > Orthopyroxenes > Clinopyroxenes	<i>Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals</i>
Si	Orthopyroxenes > Clinopyroxenes > Olivines	<i>Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals and silica boxwork</i>
Co	Olivines > Orthopyroxenes > Clinopyroxenes	<i>Semi-mobile. Follow manganese</i>
Ni	Olivines > Orthopyroxenes > Clinopyroxenes	<i>Semi-mobile forms nickel serpentine, nickel talc, nickel chlorite and nickel clays</i>
Al	Clinopyroxenes > Orthopyroxenes > Olivines	<i>Non-mobile. Stays behind as boehmite, bauxite, gibbsite</i>
Cr	Clinopyroxenes > Orthopyroxenes > Olivines	<i>Non-mobile. Stays behind as chromite</i>
Fe	Olivines > Orthopyroxenes > Clinopyroxenes	<i>Non-mobile. Stays behind as oxides (hematite and maghemite) and hydroxides (turgite, goethite, hydrogoethite, limonite, ferrihydrite, xanthosiderite, esmeraldaite)</i>



memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis.

b. Mg

Magnesium sangat larut dalam air tanah. Dalam kondisi tropis basah, magnesium dapat dengan cepat keluar dari profil laterit. Namun, di bawah kondisi iklim basah-kering, beberapa magnesium dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat.

c. Si

Silika memiliki kelarutannya lebih rendah dari magnesium, silika dapat diendapkan dalam zona saprolit dari profil laterit di mana magnesium secara aktif masuk ke dalam larutan.

d. Fe

Kelarutan zat besi sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi ( $\text{Fe}^{++}$ ) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi ( $\text{Fe}^{+++}$ ) sangat tidak larut.

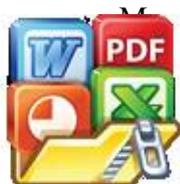
e. Al

Alumina adalah salah satu unsur yang tidak bergerak yang ada dalam profil laterit selama air tanah berada pada kisaran pH 4,5 hingga 9,5 (sebagian besar air tanah memang termasuk dalam kisaran ini).

f. Cr

Kromium dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil, bertahan sebagai kromit di zona Limonit laterit.

g. Mn dan Co



Mobilitas agak rendah di perairan asam dan cenderung bergerak ke bawah laterit. Namun, mereka mencapai tingkat ketidaksuburan mereka lebih cepat (awal dari nikel) dan diendapkan baik di bagian transisi.

## II.4 Genesis Nikel Laterit

Proses pelapukan dimulai pada batuan ultramafik (peridotit, dunit, serpentinit) yang banyak mengandung mineral olivin, piroksin, magnesium silikat, dan besi silikat dengan kandungan nikel sebesar 0,30%. Air permukaan yang mengandung CO<sub>2</sub> dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindian (*leaching zone*), tempat terjadinya fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya CO<sub>2</sub> akan mengalami kontak dengan zona saprolit yang masih mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti olivin/serpentin dan piroksin. Unsur Mg, Si, dan Ni akan larut dan terbawa sesuai dengan aliran air tanah dan akan membentuk mineral-mineral baru pada proses pengendapan. Endapan besi yang bersenyawa dengan oksida akan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel, dan silika akan tetap tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung.

Pada proses pelapukan lebih lanjut magnesium (Mg), Silika (Si), dan Nikel (Ni) akan tertinggal di dalam larutan selama air masih bersifat asam. Tetapi jika dinetralisasi karena adanya reaksi dengan batuan dan tanah, maka zat-zat tersebut akan mengendap sebagai mineral hidrosilikat atau mineral pembawa Ni. Ikatan dari Ni yang berasosiasi dengan Mg, SiO<sub>2</sub>, dan H akan membentuk mineral garnierit [(Ni.Mg)<sub>6</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>]. Apabila proses ini berlangsung terus-menerus maka yang



jadi adalah proses pengayaan supergen atau supergen *enrichment* atau zona *saprolite zone*). Adanya suplai air dan saluran untuk turunnya air, dalam

hal ini berupa kekar atau rekahan pada batuan, maka Ni yang terbawa oleh air akan turun ke bawah, lambat laun akan terkumpul di zona ketika air sudah tidak dapat turun lagi dan tidak dapat menembus batuan dasar (*bedrock*).

Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat juga terbentuk zona pengayaan yang lebih dari satu, hal tersebut dapat terjadi karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah terutama bergantung dari perubahan musim. Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindihan, yang sering disebut sebagai zona batuan dasar (*bedrock*) (Maulana, 2017).

## II.5 Faktor-faktor Pembentuk Nikel Laterit

Ketebalan profil laterit ditentukan oleh keseimbangan kadar pelapukan kimia di dasar profil dan pemindahan fisik ujung profil karena erosi. Jenis batuan asal, intensitas pelapukan, dan struktur batuan sangat mempengaruhi potensi endapan nikel laterit, sehingga perilaku mobilitas unsur selama pelapukan membantu dalam menentukan zonasi bijih di suatu daerah (Totok Darijanto, 1986).

Faktor-faktor yang memengaruhi pembentukan nikel laterit adalah (Ahmad, 2005):

### 1. Batuan Asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asal dari nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini pada batuan ultrabasa terdapat unsur nikel (Ni) yang paling banyak di antara batuan lainnya.



ultrabasa mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan  
dan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel serta mempunyai

mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksen.

## 2. Iklim

Pergantian musim kemarau dan musim penghujan akan menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan permukaan air tanah sehingga terjadi proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, di mana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

## 3. Reagen-reagen kimia

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu dalam mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung  $\text{CO}_2$  memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam pada humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam pada humus berkaitan erat dengan vegetasi yang ada di daerah tersebut. Vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah mengalir.

## 4. Topografi

Keadaan topografi setempat sangat memengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan



lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk

topografi. Pada daerah yang curam, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

#### 5. Waktu

Waktu merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pelapukan, transportasi, dan konsentrasi endapan pada suatu tempat. Terbentuknya endapan nikel laterit membutuhkan waktu yang lama (ribuan hingga jutaan tahun). Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

#### 6. Struktur

Struktur geologi yang penting dalam pembentukan endapan laterit adalah rekahan (*joint*) dan patahan (*fault*). Adanya rekahan dan patahan ini akan mempermudah rembesan air ke dalam tanah dan mempercepat proses pelapukan terhadap batuan induk. Selain itu rekahan dan patahan dapat pula berfungsi sebagai tempat pengendapan larutan-larutan yang mengandung nikel (Ni) sebagai vein-vein. Batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan memudahkan masuknya air dan proses pelapukan yang terjadi akan lebih intensif.

### II.6 Profil Laterit Nikel Di Pomalaa

Menurut Kamaruddin dkk. (2018) lapisan nikel laterit di daerah Pomalaa terbagi menjadi beberapa zona seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Penutup (*Top Soil*)

tanah yang paling atas dengan ketebalan 1-2 meter. Lapisan ini disusun dari material lepas berwarna coklat berukuran pasir-lempung (partikel pasir

ukurannya  $> 2$  mm, sedangkan lempung 0.002 mm) dengan kandungan organik yang tinggi. Kandungan oksida besi juga dijumpai pada lapisan ini.

#### b. Lapisan Limonit

Limonit merupakan zona yang disusun oleh oksida besi terhidrasi dengan ciri-ciri bersifat lunak, dan porositasnya tinggi. Zona ini memiliki kadar nikel pada kisaran 0.6-1.5% dengan ketebalan 3-7 meter, kadar Co kisaran 0.06-1.8%, kadar Fe kisaran 10-25% dan MgO kisaran 10-35%. Kadar air pada lapisan ini relatif sedang.

#### c. Lapisan Transisi

Zona ini memiliki batas atas yaitu zona limonit dan batas bawah yaitu zona saprolit. Didominasi oleh limonit yang mengandung mineral smektit, hematit, dan silika. Zona ini memiliki ketebalan 1-2 meter dengan nikel sebesar 1.5-2%.

#### d. Lapisan Saprolit

Didominasi oleh mineral serpentin, kuarsa sekunder dan garnierit. Pada zona ini mineral magnesium akan digantikan oleh nikel sehingga kadar nikel dalam batuan serpentin akan bertambah. Pada zona Saprolit kandungan air tanah relatif tinggi dengan porositas yang rendah. Kadar nikel di zona ini berkisar 1.5-3%, Co kisaran 0.02-0.06%, Fe kisaran 10-25% dan MgO kisaran 10-35%.

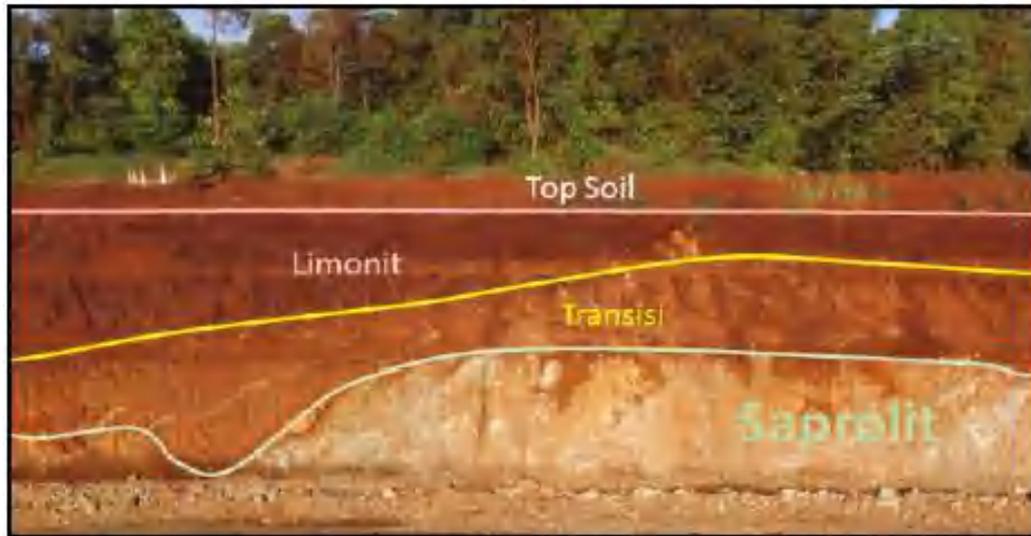
#### e. *Bedrock*

Zona ini dicirikan dengan tekstur yang kasar, berwarna abu-abu, dan disusun oleh olivin piroksen dan serpentin. Bagian atas terdapat *boulder* peridotit yang telah

ni pelapukan pada bagian tepi. Rekahan-rekahan berbentuk tidak teratur terisi berupa urat oleh silika dan garnierit. Kandungan air pada zona



ini relatif lebih rendah dari pada zona saprolit. Kadar nikel di zona ini kisaran 0.3-0.5%, Co kisaran 0.01%, Fe kisaran 5-7% dan MgO kisaran 35-40%.



**Gambar 2.3** Profil Zonasi Laterit Tambang Utara daerah Pomalaa (Kamaruddin dkk., 2018)

## II.7 Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Analisis tentang geokimia merupakan suatu kegiatan penelitian untuk mengetahui sifat maupun unsur kimia yang terkandung pada suatu sampel. Analisis geokimia terdiri dari dua jenis yaitu metode analisis mineral XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui komposisi mineral batuan dan XRF (*X-Ray Fluorescence Spectrometry*) untuk mengetahui kandungan unsur kimia pada lapisan *soil laterite*. XRF merupakan teknik analisa *non-destruktif* yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sampel cair. XRF mampu mengukur elemen dari berilium hingga uranium pada *level trace element*, bahkan dibawah level *parts per million* (ppm) (Panalytical, 2009).



XRF digunakan untuk analisa unsur penyusun suatu bahan menggunakan sinar-X yang diserap dan dipantulkan oleh target atau sampel. Namun, XRF

tidak bekerja dalam orde yang kecil atau mikro dan biasanya digunakan untuk analisa bahan dengan fraksi yang lebih besar seperti bahan-bahan geologi. Metode ini paling banyak digunakan untuk analisis unsur dari bahan batuan, mineral dan sedimen (Fitton, G., 1997).

Pada Gambar 2.4 adalah alat uji *X-Ray Fluorescence* yang digunakan untuk menganalisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-X karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jenkins, 1999).

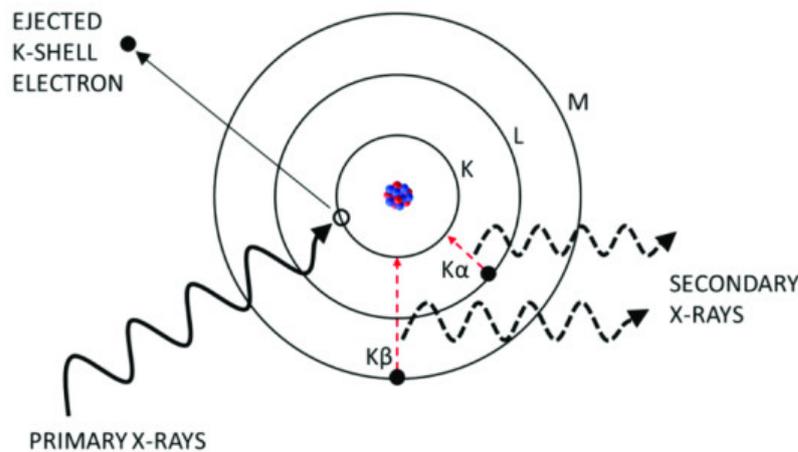


**Gambar 2.4** Alat *X-Ray Fluorescence* MagiX Fast (Dokumentasi Penulis)

Gambar 2.5 memperlihatkan skema metode XRF. Apabila terjadi eksitasi sinar-X yang berasal dari tabung *X-Ray* atau sumber radioaktif mengenai sampel, dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Proses dimana sinar-X diserap oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat



pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Selama proses ini, bila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X yang tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses yang disebut *X-Ray Fluorescence* (XRF). Pada umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Sehingga terdapat istilah  $K\alpha$  dan  $K\beta$  serta  $L\alpha$  dan  $L\beta$  pada XRF. Jenis spektrum *X-Ray* dari sampel yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda (Viklund, 2008).

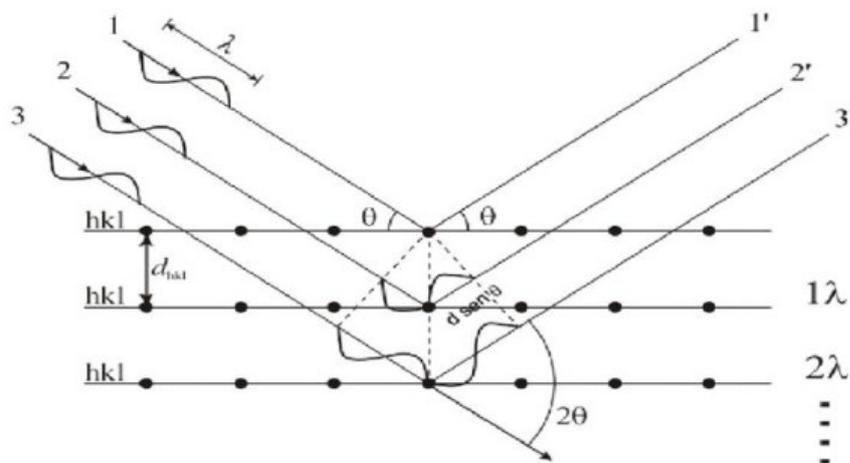


**Gambar 2.5** Prinsip kerja XRF (Gosseau, 2009)

Sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar  $1 \text{ \AA}$ , berada di antara panjang gelombang sinar gamma ( $\gamma$ ) dan sinar ultraviolet. Sinar-X dihasilkan jika elektron berkecepatan tinggi menumbuk suatu get. Sinar-X yang diperoleh memberikan intensitas puncak tertentu yang bergantung pada kebolehjadian transisi elektron yang terjadi. Transisi  $K\alpha$  lebih sering terjadi dan memiliki intensitas yang lebih tinggi daripada transisi  $K\beta$ ,



sehingga radiasi  $K\alpha$  yang digunakan untuk keperluan difraksi sinar-X. Sinar-X juga dapat dihasilkan oleh proses perlambatan elektron pada saat menembus logam sasaran. Proses perlambatan ini menghasilkan sinar-X yang biasa disebut sebagai radiasi putih. Terdapat bentuk dasar yang terbentuk oleh radiasi putih dan puncak khas tajam yang bergantung pada kuantisasi transisi elektron.



**Gambar 2.6** Ilustrasi Difraksi Sinar-X (Hammond, 2009)

Difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal suatu padatan dengan membandingkan nilai jarak  $d$  (bidang kristal) dan intensitas puncak difraksi dengan data standar. Difraksi sinar X oleh sebuah material terjadi akibat dua fenomena yaitu hamburan oleh tiap atom. Interferensi gelombang-gelombang oleh tiap atom-atom tersebut terjadi karena gelombang yang dihamburkan oleh atom memiliki koherensi dengan gelombang datang seperti pada Gambar 2.6. Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan dan

ghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang an tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan yang saling menguatkan karena fasenya sama (Zeffry, 2015).



Berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi. Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi dikenal sebagai Hukum Bragg. Menurut Bragg berkas yang terdifraksi oleh kristal terjadi jika pemantulan oleh bidang sejajar atom menghasilkan interfensi konstruktif. Pemantulan sinar-X oleh sekelompok bidang paralel dalam kristal pada hakekatnya merupakan gambaran dari difraksi atom-atom kristal. Interfensi konstruktif terjadi jika selisih lintasan antara dua sinar yang berurutan merupakan kelipatan panjang gelombangnya ( $\lambda$ ) sehingga dapat dinyatakan pada persamaan matematis hukum Bragg sebagai berikut:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.1)$$

$n$  adalah bilangan bulat,  $d$  merupakan jarak antar bidang,  $\theta$  adalah sudut antara sinar datang dengan bidang kristal dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar X (Omar, 1975).

Beberapa kelebihan dan kekurangan dari XRF yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Kelebihan dan Kekurangan XRF (Kurniawati dkk., 2014)

No.	Kelebihan	Kekurangan
1.	Mudah digunakan dan sampel dapat berupa padat, bubuk, butiran dan cairan	Tidak cocok untuk analisis unsur ringan seperti H dan He
2.	Tidak merusak sampel ( <i>Non Destructive Test</i> ) sampel utuh dan analisa dapat dilakukan berulang-ulang	Preparasi sampel membutuhkan waktu yang lama dan membutuhkan perlakuan yang banyak
3.	Banyak unsur yang dapat dianalisa sekaligus (Na-U). Konsentrasi dari ppm hingga kadar dalam persen (%)	Analisa sampel cair membutuhkan volume gas helium yang cukup besar Tidak dapat mengetahui senyawa apa yang dibentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam sampel



5. Hasil keluar dalam beberapa detik (hingga beberapa menit tergantung aplikasi) Tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material itu
6. Jangkauan elemen hasil analisis yang akurat
7. Menjadi metode analisis unsur standar dengan banyaknya metoda analisis seperti ISO (*International Organization for Standardization*) dan ASTM (*American Society for Testing Materials*).

