



*Skripsi Geofisika*

**ANALISIS SEBARAN ENDAPAN NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN  
METODE XRF (*X-RAY FLUORESCENCE*) PADA BLOK X PALANGGA  
SELATAN, SULAWESI TENGGARA**

**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**SELFIANA  
H061 20 1052**



**DEPARTEMEN GEOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**



**HALAMAN JUDUL**

**ANALISIS SEBARAN ENDAPAN NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN  
METODE XRF (*X-RAY FLUORESCENCE*) PADA BLOK X PALANGGA  
SELATAN, SULAWESI TENGGARA**

**SKRIPSI**

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

**OLEH:**

**SELFIANA**

**H061 20 1052**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS SEBARAN ENDAPAN NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN  
METODE XRF (*X-RAY FLUORESCENCE*) PADA BLOK X PALANGGA  
SELATAN, SULAWESI TENGGARA

Disusun dan Diajukan Oleh:

SELFIANA

H061 20 1052

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

Pada 15 November 2023

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama

Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT. Surv., IPM  
NIP. 196406161989031006

Makhrani, S.Si. M.Si  
NIP. 197202271998012002

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 : Selfiana  
NIM : H061201052  
Departemen : Geofisika  
Judul Skripsi : Analisis Sebaran Endapan Nikel Laterit Menggunakan Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) pada Blok X Palangga Selatan, Sulawesi Tenggara

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, 15 November 2023

Yang membuat pernyataan,

  
  
Selfiana





## SARI BACAAN

Identifikasi sebaran nikel sangat penting untuk diketahui agar mempermudah proses eksplorasi lanjut secara komersial. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sebaran endapan nikel laterit pada blok X Palangga Selatan. Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) digunakan sebagai analisis utama dalam menentukan presentase kandungan unsur nikel yang tersebar pada 15 titik bor dengan luas mencapai  $200 m^2$ . Penyebaran kadar nikel pada lapisan saprolit disajikan dalam bentuk blok model dan peta untuk menentukan arah sebarannya. Berdasarkan peta sebaran nikel pada lapisan saprolit daerah penelitian memiliki penyebaran nikel dari arah utara menuju selatan. Kadar nikel tertinggi yang ditemukan pada daerah ini mencapai 2,98% terdapat pada titik bor 128. Penyusun lapisan bawah permukaan blok X lokasi penelitian didominasi oleh sedimen berupa batu gamping dengan ketebalan mencapai 21 meter. Selain itu terdapat sisipan *clay* pada zonasi laterit yang membantu proses pelapukan nikel pada daerah tersebut.

**Kata kunci:** Nikel, XRF, Blok model, Peta, *Clay*



## ***ABSTRACT***

Identification of nickel distribution is very important to know in order to facilitate the process of further commercial exploration. This research was conducted to analyse the distribution of nickel laterite deposits in block X of South Palangga. The XRF (*X-Ray Fluorescence*) method was used as the main analysis in determining the percentage of nickel content spread over 15 drill points with an area of 200 m<sup>2</sup>. The distribution of nickel content in the saprolite layer is presented in the form of block models and maps to determine the direction of distribution. Based on the nickel distribution map in the saprolite layer, the study area has a nickel distribution from north to south. The highest nickel content found in this area reached 2.98% at drill point 128. The constituent of the subsurface layer of block X research location is dominated by sediments in the form of limestone with a thickness of up to 21 metres. In addition, there are *clay* inserts in the laterite zonation that help the nickel weathering process in the area.

**Keywords: Nickel, XRF, Block model, Map, Clay**



## KATA PENGANTAR

### “Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh”

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “**Analisis Sebaran Endapan Nikel Laterit Menggunakan Metode XRF (-Ray Fluorescence) Pada Blok X Palangga Selatan, Sulawesi Tenggara**” 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. Penulis banyak mengalami kesulitan dan masalah baik dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan skripsi yang tentunya sangat menguras tenaga dan waktu penulis. Oleh sebab itu, penulis mempersembahkan karya sederhana ini untuk kedua orang tua tercinta Ayahanda **Musliming** dan Ibunda **Herlina** beserta adik tersayang **Yusrang** yang selalu menjadi motivator penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Hidup dalam perantauan tentunya tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik itu waktu, tenaga, maupun material. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT. Surv., IPM** selaku pembimbing pertama yang telah berkenan memberikan waktu dan juga tambahan ilmu serta memberikan motivasi penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.



2. Ibu **Maharani, S. Si, M. Si** selaku dosen pembimbing pendamping yang telah bersedia memberikan bimbingan, nasehat dan masukan-masukan selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Syamsuddin S. Si, MT** dan Ibu **Dra. Maria M. Si** selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan dan saran yang membangun untuk perbaikan skripsi ini.
4. **PT. Generasi Agung Perkasa** telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan penelitian selama kurang lebih 1 bulan.
5. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku 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. Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si**, selaku sekretaris Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh dosen dan staff Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas semua ilmu yang telah diajarkan, pelayanan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
9. Spesial pemilik **NIM 015311031** yang telah bersedia menemani penulis selama mengerjakan skripsi, berkontribusi banyak dan senantiasa memberikan semangat. Terima kasih telah menjadi rumah yang tidak hanya berupa tanah dan bangunan.
10. Sahabat terbaik **Umi Kalsum. S** telah menjadi teman seperjuangan melakukan



penelitian dan mengerjakan tugas akhir, yang telah kebersamai dari mahasiswa baru hingga menjadi alumni. Terima kasih telah menjadi saudara tanpa ikatan darah, semoga persahabatan ini bisa abadi hingga tua nanti.

11. Teman seperjuangan **Muh. Alif Fasya** dan **Faqihah Fajriani** yang selalu menjadi garda terdepan membantu penulis menyelesaikan skripsi. Terima kasih telah menjadi saudara sekaligus kakak bagi penulis.
12. Teruntuk **fourtries Resty, Icha,** dan **Emi** yang telah kebersamai dan selalu mendengarkan keluh kesah penulis selama mengerjakan skripsi.
13. Teman seperjuangan selama **Kerja Praktik Arpah** dan **Tiwi** telah menjadi teman diskusi dan berbagi ilmu selama 40 hari di **PT. Citra Lampia Mandiri** yang banyak memberikan pengalaman baru.
14. Teman-teman **Geofisika 2020** yang telah memberikan pengalaman baru kepada penulis selama mengikuti perkuliahan kurang lebih 3 tahun.
15. Teruntuk **Ciwi Bacoters Nada, Tami, Ika, Aura, Zam, Fate, Chintia, Isma** dan **Fatira** yang telah memberikan dukungan kepada penulis semenjak mahasiswa baru hingga mendapat gelar sarjana, meskipun jarang bertemu.
16. Kakak tingkat **Suleha Ismail** yang telah meluangkan waktu membimbing penulis terutama dalam administrasi kampus sekaligus menjadi motivator penulis dalam menyelesaikan skripsi.
17. Teman-teman **KKNT Perhutanan sosial Soppeng Unhas Gel. 109** yang telah memberikan motivasi kepada penulis.
18. **Selfiana, last but now least!** Apresiasi untuk diri sendiri yang telah bertanggung jawab menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih sudah kuat dan bertahan hingga sejauh ini melewati proses demi proses yang tidak mudah.

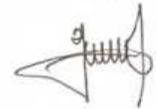
Hanya kepada Allah SWT penulis memohon balasan. Semoga semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini mendapatkan pahala yang setimpal.

*Aamiin Ya Rabbal Alamin*

**"Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh"**

Makassar, 15 November 2023

Penulis



SELFIANA





## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>SARI BACAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	3
I.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
I.4 Tujuan Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
II.1 Geologi Regional .....	4
II.2 Batuan .....	5
II. 3 Batuan Beku Ultramafik .....	7
II.4 Endapan Nikel Laterit.....	9
II.4.1 Profil Endapan Nikel Laterit .....	10
II.4.2 Genesa Endapan Nikel Laterit .....	12
II.4.3 Faktor-Faktor Pembentukan Endapan Nikel Laterit .....	13
II.5 Metode XRF (X-Ray Fluorescence).....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
III.1 Lokasi Penelitian .....	20
III.2 Alat dan Bahan .....	21
III.2.1 Alat.....	21
III.2.1 Bahan .....	21
III.3 Tahapan Penelitiaan.....	21



III.3.1	Tahap Persiapan .....	21
III.3.2	Tahap Pengambilan Sampel .....	21
III.3.3	Tahap Preparasi Sampel .....	21
III.3.4	Tahap Uji Niton XL2 XRF <i>Analyzer</i> .....	22
III.3.5	Tahap Interpretasi Data .....	22
III.4	Bagan alir .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>24</b>
IV.1	Hasil Sampel Pengeboran .....	26
IV.2	Hasil Analisis XRF .....	29
IV.3	Blok Model Sebaran Nikel .....	32
IV.4	Peta Sebaran Nikel Laterit .....	34
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>37</b>
V.1	Kesimpulan .....	37
V.2	Saran .....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>39</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>43</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Peta Geologi Konawe Selatan .....	4
<b>Gambar 2.2</b> Siklus Batuan .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Batuan serpentin .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Ilustrasi profil endapan nikel laterit.....	10
<b>Gambar 2.5</b> Niton XL2 XRF <i>Analyzer</i> .....	16
<b>Gambar 2.6</b> Prinsip Kerja XRF .....	17
<b>Gambar 2.7</b> Ilustrasi Difraksi Sinar-X.....	18
<b>Gambar 3.1</b> Peta Lokasi Penelitian.....	20
<b>Gambar 4.1</b> Peta Titik Bor Lokasi Penelitian.....	24
<b>Gambar 4.2</b> <i>Core box Top soil</i> .....	26
<b>Gambar 4.3</b> <i>Core box Limonit</i> .....	27
<b>Gambar 4.4</b> <i>Core box Saprolit</i> .....	27
<b>Gambar 4.5</b> <i>Core box Clay</i> .....	28
<b>Gambar 4. 6</b> <i>Core box Bedrock</i> .....	29
<b>Gambar 4.7</b> Blok Model Sebaran Nikel pada Lapisan Saprolit .....	33
<b>Gambar 4.8</b> Interpretasi interval unsur nikel (%) tiap warna .....	34
<b>Gambar 4.9</b> Peta Sebaran Kadar Ni pada Lapisan Saprolit.....	35



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kelebihan dan Kekurangan X-Rays Fluorosence (XRF).....	19
<b>Tabel 4.1</b> Titik Koordinat, Elevasi dan Kedalaman dari 15 Titik Bor .....	25
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Analisis Kandungan Nikel dan Besi (%) pada TB134.....	30
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Analisis Kandungan Nikel dan Besi (%) pada TB128.....	31



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1. Sampel Pengeboran .....</b>	<b>44</b>
Sampel 1 (Titik Bor 122) .....	44
Sampel 2 (Titik Bor 123) .....	44
Sampel 3 (Titik Bor 124) .....	44
Sampel 4 (Titik Bor 125) .....	45
Sampel 5 (Titik Bor 126) .....	45
Sampel 6 (Titik Bor 127) .....	45
Sampel 7 (Titik Bor 128) .....	46
Sampel 8 (Titik Bor 129) .....	46
Sampel 9 (Titik Bor 130) .....	46
Sampel 10 (Titik Bor 131) .....	47
Sampel 11 (Titik Bor 132) .....	47
Sampel 12 (Titik Bor 133) .....	47
Sampel 13 (Titik Bor 134) .....	48
Sampel 14 (Titik Bor 135) .....	48
Sampel 15 (Titik Bor 136) .....	48
<b>Lampiran 2. Tabel Hasil Analisis XRF .....</b>	<b>49</b>
Titik Bor 122 .....	49
Titik Bor 123 .....	50
Titik Bor 124 .....	51
Titik Bor 125 .....	52
Titik Bor 126 .....	53
Titik Bor 127 .....	54
Titik Bor 128 .....	55
Titik Bor 129 .....	56
Titik Bor 130 .....	57
Titik Bor 131 .....	58
Titik Bor 132 .....	59
Titik Bor 133 .....	60



Titik Bor 134.....	60
Titik Bor 135.....	61
Titik Bor 136.....	62
<b>Lampiran 3. Dokumentasi lapangan.....</b>	<b>63</b>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berada pada posisi strategis di daerah khatulistiwa karena menghubungkan benua Australia dan Asia serta samudra Pasifik dan samudra Hindia. Dengan kekayaan alam yang beragam serta jumlah penduduk mencapai 275.773,8 jiwa (BPS, 2022), menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan potensi sumberdaya manusia (SDM), sumberdaya alam (SDA) serta sumberdaya mineral yang besar untuk berkembang menjadi negara kuat di kawasan Asia-Pasifik (Fritz dkk., 1980).

Potensi sumberdaya mineral Indonesia tersebar hampir di seluruh nusantara dan merupakan salah satu modal untuk kegiatan pembangunan. Berdasarkan karakteristik geologi dan tatanan tektoniknya, terbentuk beberapa lokasi endapan nikel laterit yang berpotensi untuk ditambang. Nikel adalah logam *non-ferrous* yang memiliki ketahanan terhadap korosi, kekuatan, keuletan, serta konduktivitas termal dan listrik yang tinggi (Puspita dkk., 2022).

Menurut Boldt (1996) nikel terbentuk melalui proses pelapukan yang intensif pada batuan induk. Batuan induk (ultramafik) merupakan batuan yang mengandung olivin magnesian tinggi, batuan ini dapat dijumpai sebagai batuan beku plutonik yang ditemukan di kerak bumi (Hutabarat dan Ismawan, 2015). Mineral yang tersusun dalam batuan ultramafik ialah mineral primer olivin, piroksen, dan hornblende yang mempunyai warna gelap dalam keadaan segar (Hasria dkk., 2021).



Batuan ultramafik tersingkap dengan baik di permukaan dan tersebar luas dari barat ke timur menciptakan proses laterisasi yang meningkatkan kemungkinan deposit nikel. Karena jumlah kebutuhan konsumen semakin meningkat terutama dibidang perindustrian menjadikan nikel salah satu bahan galian yang sangat ekonomis jika dijumpai dalam cadangan besar dengan kadar yang tinggi atau *high grade*. Oleh sebab itu, identifikasi sebaran endapan nikel laterit sangat penting untuk diketahui agar mempermudah proses eksplorasi lanjut secara komersial.

Pada studi sebelumnya oleh Jafar (2017), tentang “Identifikasi sebaran nikel laterit berdasarkan sampel *Test Pit* Kecamatan Kabaena Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara” menyatakan sebaran nikel pada daerah tersebut mencapai 2,35%. Penelitian lain seperti “Profil endapan nikel laterit didaerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara” oleh Lintjewas (2019). Dari hasil penelitian tersebut dijumpai batu gamping sebagai batuan penutup endapan nikel dengan komposisi mineral karbonat yaitu mineral kalsit.

Pengambilan sampel secara *test pit* kurang efisien jika dilakukan pada kedalaman lebih dari 3 meter, selain itu secara teknis pembuatan *test pit* akan memakan waktu cukup lama dan biaya yang semakin mahal. Berdasarkan gambaran penelitian diatas, alternatif yang dapat digunakan dalam pengambilan sampel pada kedalaman lebih dari 3 meter serta mampu mengefisienkan waktu yaitu dengan cara pengeboran. Untuk memperoleh keakuratan dalam penentuan sebaran nikel laterit diperlukan parameter lapangan seperti hasil observasi sampel pengeboran serta analisis kandungan unsur nikel yang dilakukan di laboratorium. Metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kandungan unsur pada suatu mineral yaitu metode



XRF (*X-Ray Fluorescence*), hal tersebut melatarbelakangi penelitian ini untuk menganalisis sebaran endapan nikel laterit menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) pada blok X Palangga Selatan, Sulawesi Tenggara.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi kondisi lapisan bawah permukaan berdasarkan sampel pengeboran?
2. Bagaimana cara menentukan sebaran endapan nikel laterit berdasarkan analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*)?

## **I.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada blok X berupa sampel pengeboran dan data hasil analisis menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk menganalisis sebaran endapan nikel laterit. Penelitian ini dilakukan di Palangga Selatan, Sulawesi Tenggara.

## **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi lapisan bawah permukaan berdasarkan sampel pengeboran
2. Menentukan sebaran endapan nikel laterit berdasarkan analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*)

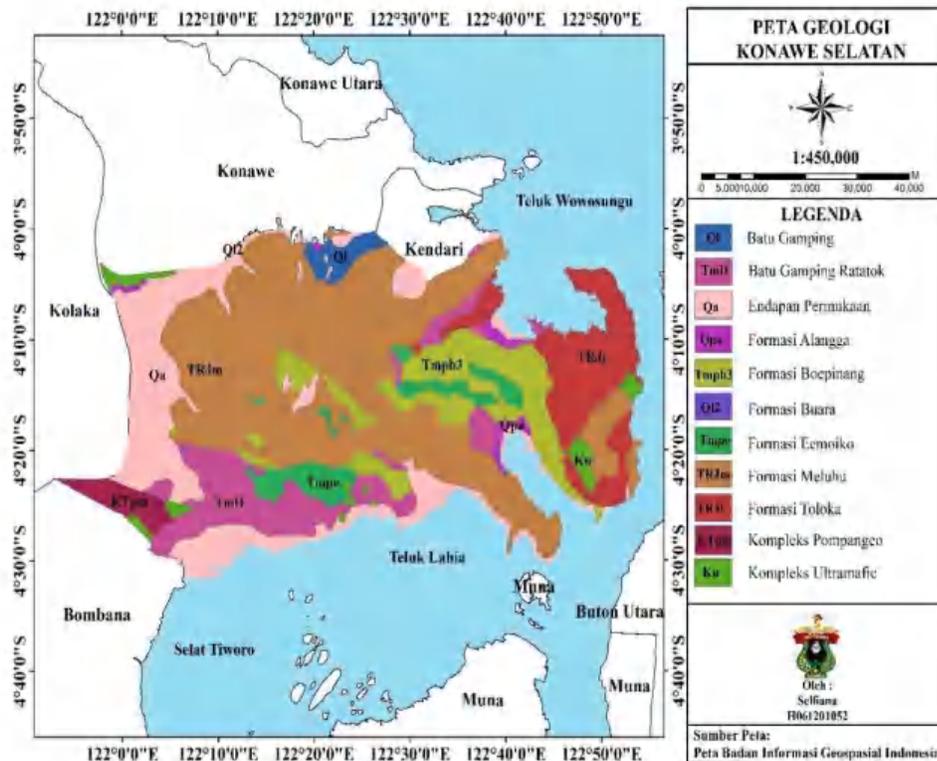


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Geologi Regional

Berdasarkan asosiasi litologi dan struktur regional, Sukamto (1981) membagi Pulau Sulawesi dan pulau-pulau sekitarnya ke dalam tiga mandala geologi. Ketiga mandala tersebut adalah mandala geologi Sulawesi Barat, mandala geologi Sulawesi Timur, dan mandala geologi Banggai Sula. Daerah penelitian termasuk dalam mandala Sulawesi Timur, dimana batuan tertua pada mandala geologi Sulawesi Timur adalah batuan ultramafik yang terdiri dari harzburgit, serpentin, dunit, wherlit, gabro, diorit, basal, mafik malihan dan magnetit (Simanjuntak, 1994).



Gambar 2.1 Peta Geologi Konawe Selatan (Simanjuntak, 1994)



Gambar 2.1 menunjukkan morfologi daerah konawe selatan yang tersusun oleh satuan bentang alam perbukitan denudasi bergelombang lemah, dicirikan dengan bentukan morfologi berupa huruf V tingkat erosi yang tinggi dengan pola aliran sungai yang dendritik. Pada bentang alam ini banyak dijumpai litologi berupa batuan ultramafik (peridotit), batu gamping, dan formasi Eimoko, serta formasi Maluhu (Lintjewa dkk., 2019).

Menurut Rusmana dan Sukarna (1993) formasi Maluhu merupakan satuan batuan terdiri batu pasir, kuarsa, batu lanau dan batu lumpur yang terdapat pada bagian bawah batuan. Sedangkan pada bagian atas terdapat batu pasir dan batu gamping. Formasi Maluhu menindih tak selaras batuan malihan dan ditindih tak selaras oleh batu gamping formasi Tampakura. Formasi Maluhu mempunyai penyebaran yang sangat luas di lengan Tenggara Sulawesi, salah satunya di Kabupaten Konawe Selatan. Surono (1997) membagi formasi Maluhu menjadi tiga anggota (dari bawah ke atas):

1. Anggota Toronipa yang didominasi oleh batu pasir dan konglomerat.
2. Anggota Watutaluboto didominasi oleh batu lempung, batu lanau, dan serpih.
3. Anggota Tuetue dicirikan oleh batu gamping.

## II.2 Batuan

Pengetahuan ilmu geologi didasarkan pada studi terhadap batuan. Batuan dalam istilah geologi merupakan kumpulan satu atau lebih mineral sebagai pembentuk kerak bumi. Berdasarkan proses terbentuknya batuan terbagi menjadi 3 jenis, yaitu batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf. Perubahan satu kelompok batuan menjadi kelompok batuan lainnya disebut siklus batuan (Sari dkk., 2018).



Siklus batuan dimulai dari magma yang bergerak menuju suhu yang lebih rendah mengalami kristalisasi dan sebagian membeku menjadi batuan beku. Batuan beku yang mengalami proses pengkristalan seiring waktu akan mengalami proses pelapukan. Endapan dari hasil pelapukan batuan beku akan mengeras dan mengendap membentuk batuan sedimen. Batuan sedimen yang berasal dari pengendapan sisa-sisa pelapukan batuan beku pada umumnya berada di bawah permukaan bumi. Batuan sedimen akan terus bergerak semakin dalam karena di permukaan bumi terus terbentuk lapisan sedimen baru. Lapisan batuan sedimen baru ini akan menghimpit lapisan sedimen sebelumnya, sehingga akan bergerak turun mendekati dapur magma. Akibatnya, batuan sedimen akan menerima tekanan dan suhu yang tinggi lalu berubah menjadi batuan metamorf. Siklus batuan dapat digambarkan secara sederhana seperti pada gambar berikut (Sari dkk., 2018).



Gambar 2.2 Siklus Batuan (Fitri dkk., 2017)



Batuan metamorf juga mengalami pelapukan serupa dan berubah kembali menjadi batuan sedimen. Namun, batuan metamorf yang memiliki struktur kimia yang berbeda akan meleleh dan kembali menjadi magma (Sari dkk., 2018).

### II. 3 Batuan Beku Ultramafik

Batuan beku (*igneus*) (bahasa latin:*ignis* yang berarti api) merupakan batuan yang terbentuk dari kristalisasi magma yang mendingin (Kristanto dkk., 2020). Batuan ultrabasa hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak samudera. Menurut Mc Donough dan Rudnick (1998), batuan ultrabasa umumnya mengandung mineral seperti olivin, ortopiroksen dan klinopiroksen tergantung kesetimbangan suhu dan tekanannya. Batuan ultrabasa terdiri dari batuan mafik dan batuan ultramafik. Batuan ultramafik menjadi batuan sumber bagi endapan nikel laterit dan nikel sulfida. Menurut Gill (2010) batuan ultrabasa dan ultramafik cenderung akan mengalami alterasi hidrotermal. Olivin dan ortopiroksen akan bereaksi dengan larutan fluida panas yang kemudian membentuk mineral serpentin (Kurniadi dkk., 2017).

Menurut John Paul Golightly (1979), bahwa batuan ultramafik di Sorowako memiliki kesamaan komposisi kimia dengan sebaran batuan ultramafik pada daerah Provinsi Sulawesi Tenggara (daerah Pomalaa), Provinsi Kalimantan, Provinsi Papua, Negara Kaledonia Baru (*New Caledonia*) dan Negara Filipina. Letak batuan ultramafik dalam susunan vertikal pada lapisan bumi terdapat di lapisan kerak samudera (*oceanic crust*). Jenis batuan induk yang ditemukan umumnya termasuk kelompok peridotit dan serpentin yang merupakan penyusun utama dari kelompok batuan formasi Ultramafik, batuan serpentin dicirikan dengan warna hijau kekuning-kuningan seperti pada gambar berikut:



**Gambar 2.3** Batuan serpentinit (Ardiansyah dkk., 2019)

Menurut Trescases (1973), intensitas erosi umumnya terjadi pada Mio-Pliosen dimana pelapukan menyebabkan topografi cenderung membentuk endapan lereng, punggung bukit atau rawa. Meskipun endapan material relatif tebal, namun hasil analisis laboratorium pada sampel batuan ultramafik menunjukkan *range* nilai kadar nikel relatif tinggi antara 0,3% sampai 2,2%. Akibat proses geologi, menyebabkan batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi dan cenderung mengalami perubahan *hydrothermal* (Puspita dkk., 2022).

Jenis-jenis batuan ultramafik, antara lain (Williams dkk., 1954):

#### 1. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya terdiri dari hazburgit, lertzolit, wehrlit, dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral-mineral holokristalin dengan ukuran medium-kasar dan berbentuk *anhedral*.

#### 2. Dunit

Menurut Williams (1954), bahwa dunit merupakan batuan yang hampir murni olivin (90-100%). Ahmad (2002) menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesian



olivin). Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma, kemudian batuan tersebut membentuk massa olivin *anhedral* yang saling mengikat.

### 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, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit.

## II.4 Endapan Nikel Laterit

Nikel adalah mineral yang berasal dari pelapukan batuan beku ultrabasa yang berada di permukaan bumi. Menurut Santos-Ynigo and Esguerra (1961) endapan nikel laterit dengan jumlah banyak ditemukan pada endapan hasil erosi batuan beku peridotit, dunit, dan serpentin. Istilah laterit berasal dari bahasa latin yaitu *later*, yang berarti bata (membentuk bongkah-bongkah yang tersusun seperti bata yang berwarna merah bata) (Guilbert, 1986). Laterit merupakan hasil proses pelapukan dan pengkayaan batuan mafik atau ultramafik di daerah tropis. Oleh karena itu komposisi kimia dan mineraloginya berbeda antara satu endapan dengan endapan lainnya (Subagja dkk., 2016).

Logam nikel banyak dimanfaatkan untuk pembuatan baja tahan karat (*stainless steel*). Nikel merupakan logam dengan sifat fisik antara lain:

1. Kekuatan dan kekerasan nikel menyerupai kekuatan dan kekerasan besi
2. Mempunyai sifat daya tahan terhadap karat dan korosi
3. Pada udara terbuka memiliki sifat yang lebih stabil daripada besi



Endapan Ni laterit dibagi menjadi mineral silikat terhidrasi, lempung silikat dan oksida. Dimana setiap jenis memiliki karakteristik dan faktor pembentuk yang berbeda seperti iklim, tektonik, struktur primer dan batuan dasar. Identifikasi karakteristik endapan nikel laterit membantu untuk menentukan jenis endapan nikel laterit (Golightly, 1979).

#### II.4.1 Profil Endapan Nikel Laterit

Nikel dalam bijih nikel laterit berasosiasi dengan besi oksida dan mineral silikat sebagai hasil substitusi *isomorphous* unsur besi dan magnesium dalam struktur kristalnya, sehingga secara kimiawi dan fisika bijih nikel laterit dapat di golongan menjadi dua jenis, yaitu bijih jenis saprolit dan jenis limonit (Subagja dkk., 2016).

Menurut Kyle (2010), secara umum deposit nikel laterit dapat dibagi menjadi empat zona utama, yaitu zona *ferrierite overburden*, zona limonit, zona saprolit dan *bedrock*. Keempat zona ini memiliki kandungan nikel, besi, dan magnesium yang berbeda-beda. Unsur nikel terbanyak terletak pada zona saprolit yang mencapai 1,8 hingga 3%. Adapun ilustrasi dari profil nikel laterit sebagai berikut:

SCHEMATIC LATERIT PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4	0.02 to 0.1	25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE	1.8 to 3	0.1	10 to 25	15 to 35
	FRESH BEDROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 2.4 Ilustrasi profil endapan nikel laterit (Ahmad, 2008)



Profil Nikel laterit pada umumnya terdiri dari 4 zona gradasi sebagai berikut:

1. Zona *ferricrete* atau *Top soil*

Tanah penutup (*iron capping*) berupa tanah residu berwarna merah tua yang merupakan hasil oksidasi terdiri dari hematit, goetit serta limonit. Kadar besi yang terkandung sangat tinggi dengan kelimpahan unsur Ni yang sangat rendah.

2. Zona *Limonit*

Setelah unsur Si dan Mg tercuci oleh proses pelapukan dan mekanisme air tanah, Fe-oksida mendominasi bagian atas zona saprolit yang disebut dengan zona limonit. Berwarna merah coklat atau kuning, berukuran butir halus hingga lempung. Kerak besi (*ferruginous duricrust*) terbentuk pada bagian atas zona ini dan melindungi dari erosi fisik oleh air permukaan dan lainnya. Kandungan nikel pada zona ini berkisar 0,8-1,5%.

3. Zona Saprolit

Hasil awal dari pelapukan adalah zona saprolit, yang memiliki sisa-sisa batuan dasar yang belum terlapukkan, meskipun pada batuan dasar sisa-sisa mineral telah mengalami alterasi. Mineral utama saprolit adalah serpentin, dimana nikel menggantikan Mg membentuk senyawa garnierit. Kandungan nikel pada zona ini berkisar 1,8-3%.

4. Batuan dasar (*Bedrock*)

Tersusun atas bongkahan atau blok dari batuan induk yang secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis (kadarnya sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Bagian ini merupakan bagian terbawah dari profil laterit (Ahmad, 2008).



#### II.4.2 Genesa Endapan Nikel Laterit

Proses terbentuknya nikel laterit dimulai adanya pelapukan yang intensif pada batuan peridotit/batuan induk. Batuan induk akan mengalami perubahan menjadi serpentin akibat adanya larutan *hydrothermal* pada waktu pembekuan magma. Kemudian terjadi pelapukan (kimia dan fisika) menyebabkan dekomposisi pada batuan induk. Adapun menurut Golightly (1981) sebagian unsur Ca, Mg, dan Si akan mengalami dekomposisi dan beberapa terkayakan dengan cara supergen (Ni, Mn, Co, Zn Cu).

Air hujan yang mengandung  $CO_2$  akan meresap hingga ke permukaan tanah membawa mineral primer seperti olivin, serpentin, dan piroksen. Air meresap secara perlahan sampai batas antara zona limonit dan zona saprolit, kemudian mengalir secara lateral (Kurniadi dkk., 2017). Sebelum proses pelindihan berlangsung, unsur Ni berada dalam ikatan serpentin group. Rumus kimia dari kelompok serpentin adalah  $X_{2-3}, SiO_2O_5 (OH_4)$  dengan X tersebut tergantikan unsur-unsur seperti Cr, Mg, Fe, Ni, Al, Zn dan Mn atau dapat juga merupakan kombinasinya. Adanya suplai air dan saluran untuk turunnya air berupa kekar, maka Ni yang terbawa oleh air turun ke bawah dan akan terkumpul di zona saprolit karena air sudah tidak dapat menembus batuan dasar (*bedrock*).

Apabila proses ini berlangsung terus menerus, maka yang akan terjadi adalah proses pengkayaan supergen (*supergen enrichment*). Zona pengkayaan supergen ini terbentuk di zona saprolit. Dibawah zona pengkayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindihan, yang sering disebut sebagai zona batuan dasar (*bedrock*). Biasanya berupa batuan ultramafik seperti peridotit dan dunit (Fitrian dkk., 2014).



### II.4.3 Faktor-Faktor Pembentukan Endapan Nikel Laterit

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan bijih nikel laterit adalah sebagai berikut (Ahmad, 2008):

a. Batuan asal

Batuan asal dalam pembentukan nikel laterit adalah batuan ultramafik. Dalam hal ini pada batuan ultramafik terdapat elemen Ni yang paling banyak diantara batuan lainnya, kandungan mineralnya yang mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin serta mempunyai komponen-komponen yang memungkinkan terbentuknya endapan nikel.

b. Iklim

Adanya pergantian musim kemarau dan musim hujan serta terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

c. Reagen-reagen kimia dan vegetasi

Yang dimaksud dengan reagen-reagen kimia yaitu unsur dan senyawa yang membantu proses pelapukan. Air tanah yang mengandung  $CO_2$  memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat merubah pH larutan. Asam ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah karena mengakibatkan:

- a. Penetrasi air lebih mudah dengan mengikuti jalur akar pohon
- b. Akumulasi air hujan akan lebih banyak
- c. Humus akan lebih tebal



Berdasarkan hal tersebut hutan lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan nikel yang lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi.

#### d. Struktur

Struktur geologi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses pembentukan endapan nikel laterit. Struktur geologi akan mempermudah rembesan fluida ke dalam tanah juga berpengaruh terhadap proses percepatan pelapukan batuan induk dan pengayaan proses laterisasi unsur Ni, Al, Fe, Cr dan Co yang dapat menyusun profil nikel laterit. Daerah yang memiliki rekahan-rekahan akan lebih dominan terakumulasi endapan nikel laterit. Struktur geologi menjadi faktor pengontrol suatu endapan nikel laterit terhadap proses pengkayaan nikel (Ahmad, 2008).

#### e. Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal tersebut menunjukkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Secara teoritis pada daerah yang curam jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak dibandingkan air yang meresap sehingga dapat menyebabkan pelapukan menjadi kurang intensif (Isjudarto, 2013).

#### f. Waktu

Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi (Isjudarto, 2013).



Menurut Gleeson (2003), faktor pembentukan nikel laterit sebagai berikut:

#### 1. Komposisi Batuan Dasar

Batuan dasar untuk endapan nikel laterit adalah batuan ultrabasa yang mengandung banyak olivin jenis forsterit (Ni 0,2-0,4%). Untuk nikel laterit pada umumnya berasal dari peridotit (khususnya *harzburgite*) yang secara keseluruhan telah mengalami serpentinisasi. Jenis litologi batuan dasar hanya mempengaruhi sebagian dari endapan nikel laterit. Pada batuan dasar berupa dunit kandungan besi akan lebih dominan dibandingkan dengan nikel.

#### 2. Tataan tektonik

Nikel laterit dapat terbentuk pada kompleks ofiolit *fanerozoikum*, yang mengalami akresi dengan endapan kapur hingga miosen. Komplek ini mengalami sesar dan kekar yang intensi. Semakin banyak jumlah kekar (baik kecil maupun besar), sebaran kadar dan ketebalan endapan semakin besar (Syafrizal dkk., 2009).

### II.5 Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Analisis laboratorium merupakan tahapan penting untuk mengetahui sifat fisik dan kimia batuan yang tidak dapat dilakukan langsung di lapangan. Analisis ini menggunakan berbagai metode seperti metode XRF dan XRD untuk menghasilkan komposisi dan presentase unsur dalam mineral serta jenis mineral batuan (Massinai dkk., 2021).

Metode *X-Ray Fluorescence* digunakan untuk analisis unsur penyusun suatu bahan menggunakan radiasi sinar-X yang diserap dan dipantulkan oleh target atau sampel (Jamaludin dkk., 2018). Namun, XRF tidak bekerja dalam orde yang kecil atau



mikro dan biasanya digunakan untuk analisis bahan dengan fraksi yang lebih besar seperti bahan-bahan geologi. Metode ini paling banyak digunakan untuk analisis unsur dari bahan batuan, mineral dan sedimen (Sari, 2016).

Teknik *fluorescence* sinar-X merupakan suatu teknik analisis yang dapat menganalisis elemen kimia dengan menggunakan karakteristik sinar-X. Teknik ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan panjang gelombang dan jumlah sinar-X yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembak menggunakan sinar-X yang berenergi tinggi.



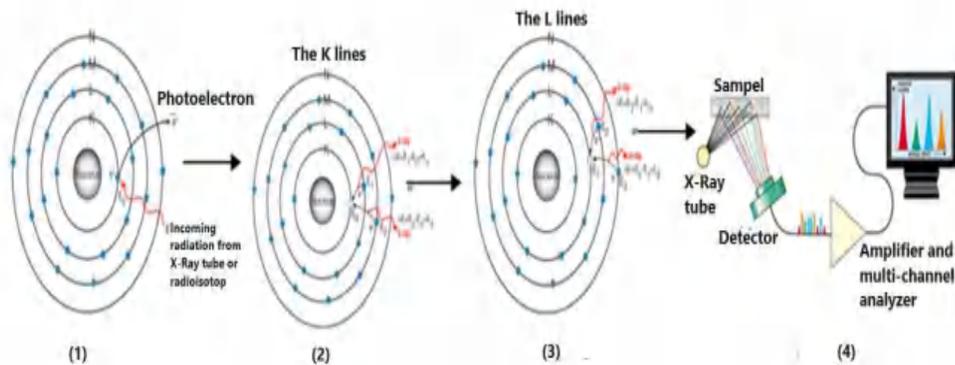
**Gambar 2.5** Niton XL2 XRF Analyzer (Panalytical, 2009)

*X-Ray Fluorescence* sangat cocok untuk penyelidikan yang melibatkan analisis kimia elemen utama (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) dan unsur jejak (dalam kelimpahan  $>1$  ppm; Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, U, V, Y, Zr, Zn) dalam batuan maupun sedimen (Angela, 2005).

Radiasi emisi dari sampel yang terkena sinar-X akan langsung ditangkap oleh detektor. Detektor menangkap foton-foton tersebut dan dikonversikan menjadi impuls elektrik. Impuls kemudian menuju sebuah perangkat yaitu MCA (*Multi-Channel Analyzer*) yang akan memproses impuls. Sehingga akan terbaca dalam memori komputer sebagai *channel*. *Channel* tersebut akan memberikan nilai spesifik terhadap sampel yang telah dianalisis (Gosseau, 2009).



Analisis menggunakan *X Ray Fluorescence* dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan *X-Ray* yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (*X-Ray*). Berikut merupakan penjelasan mengenai prinsip kerja XRF berdasarkan efek fotolistrik (Jamaludin dkk., 2012).



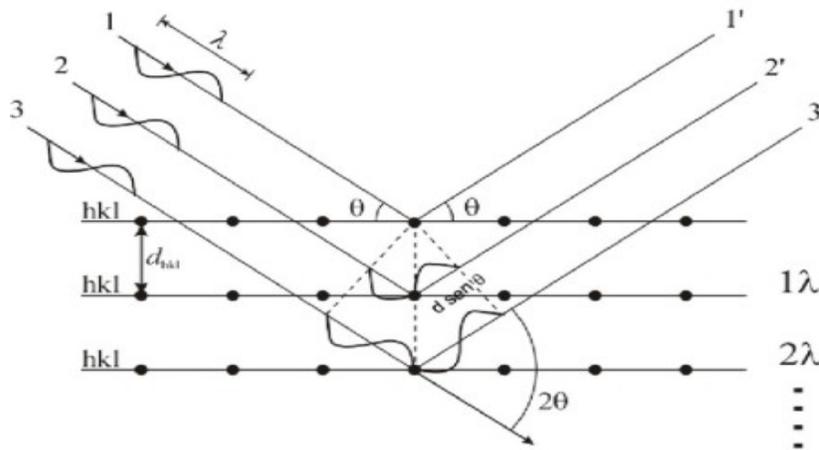
**Gambar 2.6** Prinsip Kerja XRF (Sumantry, 2002)

1. X-Ray ditembakkan pada sampel, jika selama proses penembakan X-Ray mempunyai energi yang cukup maka elektron akan terlempar (terekstisasi) dari kulit yang lebih dalam yaitu kulit K dan mengakibatkan kekosongan pada kulitnya, ditunjukkan pada Gambar 2.6 nomor 1.
2. Kekosongan tersebut mengakibatkan kondisi yang tidak stabil pada atom. Untuk menstabilkan kondisi maka elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi misalnya dari kulit L dan M akan berpindah menempati kekosongan tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 nomor 2.
3. Setelah elektron dalam atom naik ke tingkat energi yang lebih tinggi, elektron tersebut akan kembali ke tingkat energi yang lebih rendah dan melepaskan energi dalam bentuk sinar-X fluoresensi. Energi sinar-X fluoresensi yang



- dilepaskan oleh atom dalam sampel memiliki karakteristik khusus yang tergantung pada unsur kimia yang terdapat pada sampel (Gambar 2.6 nomor 3).
4. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan selanjutnya ditangkap oleh detektor untuk menganalisis kandungan unsur dalam bahan.

Berdasarkan karakteristik sinar-X yang dipancarkan, sampel yang memiliki susunan atom seperti kristal dapat diidentifikasi menggunakan WD-XRF (*wavelength dispersive XRF*). Dispersi sinar-X pada WD-XRF berasal dari difraksi dengan menggunakan *analyzer* berupa kristal yang berperan sebagai grid. Kisi kristal yang spesifik memiliki panjang gelombang yang sesuai dengan hukum Bragg, dapat dilihat pada gambar berikut (Hammond, 2009):



**Gambar 2.7** Ilustrasi Difraksi Sinar-X (Hammond, 2009)

Gambar 2.7 menunjukkan kristal sebagai suatu kumpulan bidang-bidang yang sejajar, dimana sinar-X yang datang dipantulkan oleh masing-masing bidang kemudian terkumpul secara serentak. Berdasarkan ilustrasi tersebut Bragg mengemukakan persamaan sebagai berikut:

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



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

Berikut kelebihan dan kekurangan dari XRF (Kurniawati dkk., 2014).

**Tabel 2.1** Kelebihan dan Kekurangan *X-Rays Fluorescence* (XRF)

No.	Kelebihan	Kekurangan
1.	Cukup mudah, murah, dan analisisnya cepat	Tidak cocok untuk analisis elemen yang ringan seperti H dan He
2.	Jangkauan elemen hasil analisis yang akurat	Analisis sampel cair membutuhkan volume gas helium yang besar
3.	Membutuhkan sedikit sampel pada tahap preparasi	Preparasi sampel membutuhkan waktu yang cukup lama
4.	Dapat digunakan untuk analisis elemen mayor maupun elemen >1 ppm	Tidak dapat mengetahui senyawa apa yang dibentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam sampel
5.	Mudah digunakan dan sampel dapat berupa padat, bubuk (butiran), dan cairan	Tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material
6.	Tidak merusak sampel ( <i>nondestructive test</i> )	Membutuhkan perlakuan yang banyak
7.	Banyaknya unsur yang dapat dianalisis sekaligus (Na-U)	
8.	Konsentrasi dari ppm hingga 100%	
9.	Hasil keluar dalam beberapa menit tergantung aplikasi	
10.	Menjadi metode analisis unsur standar dengan banyaknya metoda analisis seperti ISO dan ASTM	