

**PERILAKU GEOKIMIA LOGAM JEJAK BERBASIS ANALISIS  
PENGINDERAAN JAUH DI SUNGAI KAWASAN DANAU MATANO**

*GEOCHEMICAL BEHAVIOR OF TRACE METALS BASED ON REMOTE  
SENSING ANALYSIS IN RIVERS LAKE MATANO AREA*

**ADNAN ISWANDI**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**PERILAKU GEOKIMIA LOGAM JEJAK BERBASIS ANALISIS  
PENGINDERAAN JAUH DI SUNGAI KAWASAN DANAU MATANO**

*GEOCHEMICAL BEHAVIOR OF TRACE METALS BASED ON REMOTE  
SENSING ANALYSIS IN RIVERS LAKE MATANO AREA*

**ADNAN ISWANDI**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**PERILAKU GEOKIMIA LOGAM JEJAK BERBASIS ANALISIS  
PENGINDERAAN JAUH DI SUNGAI KAWASAN DANAU MATANO**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Teknik Geologi

Disusun dan diajukan oleh

ADNAN ISWANDI

D062181004

kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS**

**PERILAKU GEOKIMIA LOGAM JEJAK BERBASIS ANALISIS  
PENGINDERAAN JAUH DI SUNGAI KAWASAN  
DANAU MATANO**

Disusun dan diajukan oleh

**ADNAN ISWANDI**

Nomor Pokok : D062181004

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Studi Magister Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 11 Februari 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T  
NIP : 19700606 199412 2 001

Ilham Alimuddin, S.T., M.GIS., Ph.D  
NIP : 19690825 199903 1 001

Ketua Program Studi  
Magister Teknik Geologi

Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L., M.T  
NIP : 19590202 198601 2 001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad, M.T  
NIP : 19601231 198609 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adnan Iswandi  
NIM : D062181004  
Program Studi : Teknik Geologi  
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul **“Perilaku Geokimia Logam Jejak Berbasis Analisis Penginderaan Jauh di Sungai Kawasan Danau Matano”** adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 11 Februari 2022

Yang menyatakan;



Adnan Iswandi

## UCAPAN TERIMA KASIH

Saya bersyukur bahwa tesis ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan dari Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T sebagai Pembimbing Utama dan Bapak Ilham Alimuddin, S.T., M.GIS., Ph.D sebagai Pembimbing Pendamping. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka. Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Bapak Kepala Desa Sorowako dan Para Pimpinan Pemerintahan Kab. Luwu Timur, Sulawesi Selatan yang telah mengizinkan kami untuk melaksanakan penelitian di lapangan.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin dan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan rekan-rekan mahasiswa dalam tim penelitian.

Akhirnya, kepada kedua orang tua tercinta, saya mengucapkan limpah terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada isteri tercinta dan seluruh keluarga atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis

Adnan Iswandi

## PRAKATA

Segala Puji kehadiran Allah Subhanahu Wataala atas Rahmat, Nikmat dan Taufiknya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Perilaku Geokimia Logam Jejak Berbasis Analisis Penginderaan Jauh di Sungai Kawasan Danau Matano”**. Tesis ini diajukan sebagai bagian dari tugas akhir dalam rangka menyelesaikan studi di Program Magister Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyelesaian tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, ST. MT selaku dosen pembimbing satu, yang telah banyak membantu penulis dalam memberikan ide, saran dan kritiknya.
2. Bapak Ilham Alimuddin, ST. M.GIS. Ph.D selaku dosen pembimbing dua, yang telah banyak membantu penulis dalam memberikan ide, saran dan kritiknya.
3. Bapak Prof. Dr. rer.nat. Ir. A.M. Imran selaku dosen penguji, yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis atas penyusunan tesis ini.
4. Bapak Dr. Ir. M. Fauzi Arifin., MT selaku dosen penguji, yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis atas penyusunan tesis ini.

5. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri., ST., MT selaku dosen penguji, yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis atas penyusunan tesis ini.
6. Bapak Dr. Adi Tonggiroh, ST. MT selaku dosen penasehat akademik penulis.
7. Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L. MT selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.
8. Bapak Dr, Eng. Asri Jaya HS, ST, MT Selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu bermanfaat yang telah diberikan.
10. Bapak dan Ibu Staff Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu penulis.
11. Kedua orangtua, adik-adik dan istri penulis serta semua keluarga yang selalu memberikan semangat dan dukungan baik moril maupun materil dalam penyelesaian tesis ini.
12. Teman – teman angkatan 2018 Magister Teknik Geologi yang telah banyak membantu penulis dalam penulisan tesis ini.
13. Segenap Mahasiswa Magister Teknik Geologi, serta semua pihak yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan yang tak sempat penulis sebutkan satu persatu.

Sebagai manusia biasa, penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan tesis ini tidak terlepas dari kesalahan, kekurangan, dan



keterbatasan. Karenanya penulis mengharapkan adanya masukan dan kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan tesis ini.

Makassar, Februari 2022

Penulis

## ABSTRAK

ADNAN ISWANDI. **Perilaku Geokimia Logam Jejak Berbasis Analisis Penginderaan Jauh Di Sungai Kawasan Danau Matano** (dibimbing oleh Dr. Ulva Ria Irfan, ST, MT dan Ilham Alimuddin, ST, M.GIS, Ph.D)

Secara geologis, kawasan Danau Matano merupakan kawasan endapan laterit, dimana pada endapan tersebut terdapat unsur-unsur geokimia logam berat yang dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Penelitian ini dilakukan di tiga sungai yang berada di sekitar kawasan dan bermuara di Danau Matano, bertujuan untuk melakukan analisis perilaku geokimia logam berat di air dan soil, serta melakukan analisis logam berat besi (Fe) dengan interpretasi penginderaan jauh. Metode yang dilakukan meliputi studi pustaka dan mencermati hasil dari penelitian sebelumnya, serta melakukan interpretasi data citra dan melakukan pengujian kandungan logam berat dengan alat AAS. Hasil penelitian menunjukkan pola distribusi logam berat dan perilaku geokimia di sungai yaitu Sungai Salonsa dengan unsur logam tertinggi adalah Fe, pada bagian hulu dengan nilai 1,14 ppm dan terendah adalah unsur Co memiliki nilai 0,00 ppm untuk seluruh sampel air. Sedangkan di Sungai Lawewu dengan unsur logam tertinggi adalah Fe, pada bagian tengah dengan nilai 1,05 ppm, sedangkan Sungai Incoiro dengan unsur logam tertinggi adalah Fe, pada bagian hilir di stasiun S3.C memiliki nilai 1,19 ppm. Perilaku logam berat pada soil sekitar Danau Matano pada ketiga sungai dimana logam yang melebihi batas angka kritis adalah logam Fe, Mn, Cu, Co, Ni. Sedangkan logam Cr berada pada batas angka kritis. Hal ini disebabkan oleh hasil pembuangan limbah kegiatan pertambangan dan kegiatan antropogenik dimana logam berat yang terkandung pada limbah buangan akan terabsorpsi masuk ke dalam tanah dan mendegradasi senyawa organik dan akhir pembuangannya bermuara langsung pada tanah. Dari kedua intepretasi yang dilakukan baik menggunakan data GIS dan data Citra menunjukkan Sungai Incoiro lebih mendominasi dibanding Sungai Salonsa dan Lawewu. Hal ini juga sejalan dengan hasil analisis laboratorium menggunakan metode AAS yang menunjukkan nilai Fe tertinggi untuk sampel air dan soil didapatkan pada area hilir Sungai Incoiro.

**Kata Kunci :** Logam Berat, Geokimia, Penginderaan Jauh, Nikel Laterit, Danau Matano

## ABSTRACT

ADNAN ISWANDI. **Geochemical Behavior of Trace Metals Based on Remote Sensing Analysis in Rivers Lake Matano Lake Area** (supervised by Dr.Ulva Ria Irfan, ST, MT and Ilham Alimuddin, ST, M.GIS, Ph.D)

Geologically, the Lake Matano area is an area of laterite deposits, wherein these deposits there are heavy metal geochemical elements that can harm the environment. This research was conducted in three rivers that are located around the area and empty into Lake Matano, aiming to analyze the geochemical behavior of heavy metals in water and soil, as well as analyze heavy metal iron (Fe) with remote sensing interpretation. The methods used include literature study and observing the results of previous studies, as well as interpreting image data and testing heavy metal content with the AAS tool. The results showed the distribution pattern of heavy metals and geochemical behavior in the Salonsa River with the highest metal element being Fe, upstream with a value of 1.14 ppm, and the lowest being Co element having a value of 0.00 ppm for all water samples. While in the Lawewu River the highest metal element is Fe, in the middle it is 1.05 ppm, while the Incoiro River has the highest metal element is Fe, in the downstream part at S3.C station has a value of 1.19 ppm. The behavior of heavy metals in the soil around Lake Matano in the three rivers where metals exceeding the critical limit are Fe, Mn, Cu, Co, Ni. Meanwhile, Cr metal is at the critical number limit. This is caused by the results of the disposal of waste from mining activities and anthropogenic activities where the heavy metals contained in the waste disposal will be absorbed into the soil and degrade organic compounds and the final disposal leads directly to the soil. The image shows the Incoiro River is more dominant than the Salonsa and Lawewu rivers. This is also in line with the results of laboratory analysis using the AAS method which shows that the highest Fe values for water and soil samples were obtained in the downstream area of the Incoiro River.

**Keywords:** Heavy Metals, Geochemical, Remote Sensing, Nickel Laterite, Lake Matano

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN</b> .....	iv
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....	v
<b>PRAKATA</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	xvii
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	7
C. Tujuan Penelitian .....	7
D. Manfaat Penelitian .....	8
E. Ruang Lingkup Penelitian .....	8
F. Peneliti Terdahulu .....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	13
A. Kondisi Geologi .....	13
A.1 Geologi Regional .....	13
A.2. Geomorfologi Regional .....	15
A.3 Stratigrafi Regional .....	16
A.4 Struktur Geologi .....	18
B. Landasan Teori .....	19
B.1 Nikel Laterit .....	19
B.2 Pencemaran Lingkungan .....	22
B.3 Logam Berat .....	25
B.3.1 Jenis Logam Berat .....	26
B.3.2 Geokimia Logam Berat .....	35
B.3.3 Pencemaran Logam Berat .....	38

B.3.4	Efek Toksik Logam Berat .....	39
C.	Penginderaan Jauh .....	41
D.	AAS (Atomic Absorption Spectroscopy) .....	47
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>50</b>
A.	Jenis Penelitian .....	50
B.	Lokasi, Waktu dan Kesampaian Daerah .....	50
C.	Alat dan Bahan Penelitian .....	51
D.	Tahapan Penelitian .....	52
E.	Definisi Operasional .....	57
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>60</b>
A.	Geologi Daerah Penelitian .....	60
A.1	Geomorfologi Daerah Penelitian .....	60
A.2	Kondisi Litologi Daerah Penelitian .....	61
A.3	Kondisi Soil Daerah Penelitian .....	63
B.	Lokasi Pengambilan Sampel .....	64
C.	Logam Berat Pada Air Sungai .....	66
D.	Analisis Perilaku Logam Berat Pada Air Sungai .....	81
E.	Logam Berat Pada Soil .....	82
F.	Analisis Perilaku Logam Berat Pada Soil .....	115
G.	Analisis Penginderaan Jauh .....	116
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>120</b>
A.	Kesimpulan .....	120
B.	Saran .....	121
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>122</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Peta Geologi Regional Lembar Malili (Simandjuntak dkk, 1991)	14
2.2. Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian (Simandjuntak dkk, 1991)	15
2.3. Kenampakan Geomorfologi Regional	16
2.4. Sumber Logam Berat di Lingkungan (Sidhu, 2016)	38
3.1. Peta Tunjuk Lokasi Penelitian	51
3.2. Bagan Alir Penelitian	59
4.1. Lokasi Titik Pengambilan Sampel	65
4.2. Grafik Penyebaran Kandungan Logam Fe Setiap Stasiun	68
4.3. Grafik Penyebaran Kandungan Logam Mn Setiap Stasiun	71
4.4. Grafik Penyebaran Kandungan Logam Cu Setiap Stasiun	73
4.5. Grafik Penyebaran Kandungan Logam Cr Setiap Stasiun	75
4.6. Grafik Penyebaran Kandungan Logam Co Setiap Stasiun	78
4.7. Grafik Penyebaran Kandungan Logam Ni Setiap Stasiun	79
4.8. Grafik Nilai Perbandingan Konsentrasi Rata-rata Fe	106
4.9. Grafik Nilai Perbandingan Konsentrasi Rata-rata Mn	108
4.10. Grafik Nilai Perbandingan Konsentrasi Rata-rata Cu	109
4.11. Grafik Nilai Perbandingan Konsentrasi Rata-rata Cr	111
4.12. Grafik Nilai Perbandingan Konsentrasi Rata-rata Co	112
4.13. Grafik Nilai Perbandingan Konsentrasi Rata-rata Ni	114
4.14. Peta Catchment Area dan Peta Interpretasi Logam Fe	117
4.15. Grafik luas sebaran interpretasi logam berat Fe	118

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1.1. Peneliti Terdahulu	9
2.1. Jenis Unsur Kimia Yang Terkandung Di Dalam Air Tanah	37
2.2. Daftar 9 Band Pada Sensor OLI	44
2.3. Daftar 9 Band Pada Sensor OLI	45
4.1. Deskripsi Area Lokasi	65
4.2. Hasil Analisis Kadar Logam di Air Sungai dan Sumur Bor	67
4.3. Baku Mutu Unsur Logam Berat Pada Air	67
4.4. Konsentrasi Logam Fe di Air Sungai	68
4.5. Konsentrasi Logam Mn di Sungai	71
4.6. Konsentrasi Logam Cu di Sungai	73
4.7. Konsentrasi Logam Cr di Sungai dan Sumur Bor	75
4.8. Konsentrasi Logam Co di Sungai dan Sumur Bor	78
4.9. Konsentrasi Logam Ni di Sungai dan Sumur Bor	79
4.10. Hasil Analisis Logam Berat Dalam Soil	84
4.11. Konsentrasi Logam Berat Area Hulu Sungai Salonsa	85
4.12. Konsentrasi Logam Berat Area Tengah Sungai Salonsa	88
4.13. Konsentrasi Logam Berat Area Hilir Sungai Salonsa	90
4.14. Konsentrasi Logam Berat Area Hulu Sungai Lawewu	92
4.15. Konsentrasi Logam Berat Area Tengah Sungai Lawewu	94
4.16. Konsentrasi Logam Berat Area Hilir Sungai Lawewu	97
4.17. Konsentrasi Logam Berat Area Hulu Sungai Incoiro	99
4.18. Konsentrasi Logam Berat Area Tengah Sungai Incoiro	101
4.19. Konsentrasi Logam Berat Area Hulu Sungai Incoiro	103
4.20. Nilai Rata-rata Konsentrasi Fe Pada Soil	106
4.21. Nilai Rata-rata Konsentrasi Mn Pada Soil	107

4.22. Nilai Rata-rata Konsentrasi Cu Pada Soil	109
4.23. Nilai Rata-rata Konsentrasi Cr Pada Soil	110
4.24. Nilai Rata-rata Konsentrasi Co Pada Soil	112
4.25. Nilai Rata-rata Konsentrasi Ni Pada Soil	113
4.26. Data luasan catchment area potensi kandungan Fe	117
4.27. Data Luas Sebaran Interpretasi Unsur Logam Berat Fe (Ha)	118



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Peta Stasiun	126
Peta Citra Satelit Landsat 8	127
Peta Geologi Lokasi Penelitian	128
Peta Catchment Area	129
Peta Interpretasi Logam Fe	130
Peta Konsentrasi Logam Besi Dalam Air	131
Peta Konsentrasi Logam Mangan Dalam Air	132
Peta Konsentrasi Logam Tembaga Dalam Air	133
Peta Konsentrasi Logam Kromium Dalam Air	134
Peta Konsentrasi Logam Nikel Dalam Air	135
Peta Konsentrasi Logam Besi Dalam Soil	136
Peta Konsentrasi Logam Mangan Dalam Soil	137
Peta Konsentrasi Logam Tembaga Dalam Soil	138
Peta Konsentrasi Logam Kromium Dalam Soil	139
Peta Konsentrasi Logam Kobalt Dalam Soil	140
Peta Konsentrasi Logam Nikel Dalam Soil	141
Hasil Laboratorium Pengujian Sampel Air dan Soil	142

## DAFTAR ISTILAH

Istilah	Arti dan Penjelasan
Antropogenik	sumber pencemaran yang tidak alami timbul karena ada pengaruh atau campur tangan manusia atau aktifitas manusia
Defoliant	teknik penajaman yang dilakukan dengan menggabungkan dua rasio saluran
Geokimia	sains yang menggunakan prinsip dan teknologi bidang kimia untuk menganalisis dan menjelaskan mekanisme di balik sistem geologi seperti kerak bumi dan lautan yang berada di atasnya
Hipersensitivitas	reaksi-reaksi dari sistem kekebalan yang terjadi ketika jaringan tubuh yang normal mengalami cedera/terluka
Laterit	mineral logam hasil dari proses pelapukan dan pengkayaan mineral pada batuan ultramafik
Melange	batuan yang terbentuk dengan cara tercampur seluruhnya akibat adanya aktivitas pergerakan dua kerak bumi
Multispectral	suatu sistem scanning yang digunakan untuk ekstraksi data dengan range panjang gelombang yang berbeda
Ofiolit	penggalan kerak samudera dan lapisan mantel atas di bawahnya yang telah terangkat atau terpindahkan dan tersingkap di bagian tepi kerak benua
Serpentinisasi	proses metamorfik geologi suhu rendah yang melibatkan panas dan air di mana batuan ultramafik dan mafik dengan kandungan silika yang rendah teroksidasi (oksidasi anaerobik dari $Fe^{2+}$ oleh proton-proton air yang mengarah ke pembentukan $H_2$ ) dan dihidrolisis dengan air menjadi serpentin
Sesar	sebagai bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (displacement) satu blok terhadap blok batuan lainnya
Toksisitas	sifat relatif dari suatu zat kimia, dalam kemampuannya menimbulkan efek berbahaya atau penyimpangan mekanisme biologi pada suatu organisme

## DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti dan Penjelasan
AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
Cr	Unsur Kromium
Co	Unsur Kobalt
Cu	Unsur Tembaga
DPC	Directed Principal Component
Fe	Unsur Besi
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System
mg/l	Milligram Per Liter
Mn	Unsur Mangan
Ni	Unsur Nikel
OLI	Operational Land Imager
PLTA	Pembangkit Listrik Tenaga Air
ppm	Part Per Million
SAR	Synthetic Aperture Radar
TIRS	Thermal Infrared Sensor
WHO	World Health Organization

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Danau Matano terletak di Kabupaten Luwu Timur, Kota Sorowako, Sulawesi Selatan, dimana danau ini memiliki manfaat yang cukup besar bagi keberadaan masyarakat sekitarnya seperti penggunaan untuk air minum bahan baku, tata air dan dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Adanya kegiatan penambangan nikel di Kota Sorowako membuat pencemaran yang terbawa oleh aliran air ke danau menyebabkan penurunan kualitas air di perairan danau. (Maliwa, S.P, dkk, 2007).

Secara geologis, kawasan Danau Matano merupakan kawasan endapan laterit, yang dimana pada endapan tersebut terdapat unsur-unsur geokimia logam berat yang dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Umumnya tanah laterit berwarna coklat sampai gelap coklat kemerahan yang tersusun atas besi, aluminium, dan kandungan magnesium. Tanah ini kaya akan elemen jejak yang berasal dari pelapukan batuan ultramafik. Struktur atom elemen jejak dalam mineral sangat berbeda dengan tanah. Sebagai contoh, dalam kondisi pelapukan, kromit ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) menyerap Fe, Mn, Cr, Co, yang juga berasal dari piroksen, amfibol, mika. Korelasi unsur Fe, Ni, Cr, dan Co dalam tanah, perairan, dan vegetasi dalam profil laterit mencerminkan asosiasi dengan batuan ultrabasa dan dengan mineralisasi Fe dan Ni. (Mustafa *et al.*, 2022)

Studi terkait analisis logam berat pada area Danau Matano menunjukkan hasil pengukuran kadar logam air mengandung konsentrasi logam berat besi (Fe)  $<0,03$  mg/L dan nikel (Ni)  $<0,07$  mg/L. Adapun hasil pengukuran kadar logam pada sedimen Danau Matano mengandung logam berat besi (Fe) 3,08% dan nikel (Ni) 0,15%, hasil pengukuran tersebut rata-rata di atas ambang batas. (Sari and Si, 2018)

Kehadiran logam berat di perairan dapat muncul dari berbagai sumber, termasuk pertambangan, limbah rumah tangga, limbah pedesaan, dan limbah modern. Dari keempat jenis limbah tersebut, limbah yang pada umumnya mengandung logam berat paling banyak adalah limbah modern dan limbah pertambangan. Hal ini dikarenakan campuran logam berat sering digunakan dalam industri dan proses ekstraksi atau pertambangan, baik sebagai bahan alam, bahan tambahan maupun pendorong. Sementara itu, dalam sistem penambangan, selama metode pengupasan lapisan penutup dan pengambilan mineral. (Endang Rochyatun dkk, 2006)

Kegiatan penambangan sangat erat kaitannya dengan lingkungan dan hingga saat ini isu penambangan sebagai kegiatan yang merusak lingkungan merupakan topik yang hangat termasuk di Indonesia. Salah satu bagian yang menjadi perhatian adalah pencemaran air yang disebabkan oleh kegiatan penambangan. Proses penambangan mengakibatkan perubahan lapisan batuan khususnya di daerah timbunan. Pengambilan dan penimbunan lapisan batuan tertentu dapat mengakibatkan air menjadi asam akibat interaksinya dengan batuan

tersebut. Logam berat merupakan pencemar lingkungan yang utama dan sebagian besar bersifat toksik meskipun dalam konsentrasi yang rendah. Secara umum kegiatan penambangan akan berdampak pada kepadatan tanah, erosi, dan mobilitas unsur-unsur. Diketahui bahwa mobilisasi dan redistribusi unsur-unsur dalam profil tanah terjadi di daerah nikel laterit yang disebabkan oleh reaksi kimia. Perubahan pemadatan tanah akan mempengaruhi distribusi jejak di daerah pascatambang dan karenanya akan mengontrol geokimia lingkungan daerah tersebut. (Mustafa *et al.*, 2022)

Air limbah industri dan banyak aktivitas manusia lainnya menghasilkan residu dan zat beracun, terutama logam berat, yang akhirnya dibuang ke sungai dan muara. Dengan demikian, logam-logam ini hadir dalam berbagai komponen sistem perairan, yaitu badan air, bahan tersuspensi, sedimen dasar, dan biota. Di sungai dan aliran air lainnya, logam berat sebagian besar terjadi di bawah dua fase : baik teradsorpsi pada padatan tersuspensi (fase partikulat) atau terlarut dalam badan air (fase terlarut), dalam pertukaran terus menerus selama proses transportasi. Kemudian, untuk memahami dan memprediksi pergerakan dan pengendapan akhir logam berat di perairan dangkal (Gallo *et al.*, 2006).

Keberadaan logam berat di perairan dapat diperoleh dari pertambangan, limbah rumah tangga, limbah pertanian dan limbah modern. Beberapa logam berat berbahaya, misalnya As, Co, Se, Al, Cr, Cu, Fe, Zn dan Hg dan terkumpul dalam air dan ampas laut. Kondisi ini

mempengaruhi keberadaan individu yang menggunakan air sungai untuk air minum, mencuci, mencuci pakaian, tata air untuk agribisnis dan perikanan. Khususnya pada musim kemarau dimana pelepasan air saluran air berkurang, terjadi konvergensi fokus toksin di dalam air. Kehadiran logam berat di perairan, baik secara langsung maupun tidak langsung, membahayakan keberadaan makhluk hidup dan kesejahteraan manusia. Hal ini terkait dengan sifat-sifat logam berat yang sulit untuk didegradasi, sehingga tidak sulit untuk beragregasi di iklim laut dan keberadaan normalnya sulit untuk terurai. Agregat dalam makhluk hidup termasuk kerang dan ikan, dengan cara ini membahayakan kesejahteraan pembeli. Dikumpulkan dalam residu, sehingga fokusnya lebih tinggi 100% dari waktu ke waktu daripada pemusatan logam dalam air (Th, Alfian and Sutisna, 2012). Masalah kesehatan masyarakat dapat terjadi karena ketidakseimbangan distribusi unsur-unsur kimia di lingkungan yang dihasilkan dari kegiatan antropogenik. Toksisitas yang signifikan dari aktivitas antropogenik berasal dari aktivitas penambangan yang merupakan kontaminan geogenic (RU *et al.*, 2019).

Dalam kondisi tereduksi, zat besi dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman padi. Kerusakan besi di sawah menyebabkan produksi rendah atau bahkan tanaman tidak menghasilkan. Tanaman padi akan mengalami kerusakan zat besi dengan asumsi zat besi dalam tanaman melebihi 300 ppm. Komponen kerusakan besi pada persawahan adalah dengan menahan pengambilan suplemen yang ditimbulkan dengan tidak

membentuk akar, karena akarnya tertutup oleh oksida besi. Besi yang merugikan di sawah dapat mengurangi hasil padi sebesar 52-75%. Untuk menentukan kadar zat besi yang terkandung dalam tanah sawah memerlukan strategi yang benar-benar panjang dan berwawasan luas. Untuk bekerja dengan interaksi penyelidikan perbedaan kadar oksida besi di tanah sawah, dapat digunakan strategi pendeteksian jarak jauh, khususnya memanfaatkan informasi dari simbolisme satelit, salah satunya adalah informasi satelit Landsat 8 OLI/TIRS (*Functional Land Imager and Warm Infrared Sensor*). Salah satu pemanfaatan yang diberikan melalui Landsat 8 adalah penyelidikan topografi (mineral, pertambangan, minyak dan gas), sehingga dapat dimanfaatkan untuk pendeteksian logam berat besi. (Nanda, Budi and Dian, 2019)

Dewasa ini, penggunaan metode penginderaan jauh dalam eksplorasi mineral dan sumberdaya sudah cukup umum digunakan. Citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) adalah salah satu produk penginderaan jauh dengan menggunakan saluran frekuensi tunggal pada gelombang mikro dengan sistem perekaman miring yang juga dapat digunakan dalam mengidentifikasi potensi sumberdaya air, bahan galian dan potensi bencana dan indikator adanya beberapa mineral ekonomis. (Sastramihardja, T.P,dkk, 1994)

Penginderaan jauh didefinisikan sebagai keahlian memperoleh data tentang suatu objek, daerah, atau sesuatu yang khas melalui pemeriksaan informasi yang didapat dengan perangkat yang tidak berhubungan



langsung dengan suatu objek yang diteliti. Penginderaan jauh didasarkan pada analisis interaksi antara fluks radiasi elektromagnetik dan objek atau fenomena yang diselidiki. Sensor jarak jauh dibawa ke platform udara atau satelit yang menawarkan kemampuan pemantauan cepat dan sinoptik pada area yang luas. Sensor jarak jauh dapat digunakan untuk sering mengunjungi kembali area studi yang menyediakan data untuk memantau fenomena atau proses. Secara khusus, penginderaan jauh berguna untuk mensurvei sumber daya alam dan memantau lingkungan (misalnya pertumbuhan perkotaan, deforestasi hutan hujan, pemetaan banjir, dan lain-lain), terutama ketika pengamatan cepat dan berulang diperlukan.

Proses perolehan informasi tanah dengan penginderaan jauh sangat kompleks dan membutuhkan pengetahuan besar tentang interaksi antara radiasi dan tanah. Dalam pengertian ini, peneliti menyimpulkan sifat tiga dimensi tanah dengan konvergensi dua kemungkinan bentuk bukti 1) bukti langsung sifat tanah melalui karakteristik spektral dan pola distribusinya, dan 2) bukti tidak langsung yang berasal dari pengamatan geomorfologi, jenis vegetasi dan status fisiologis, dan tutupan lahan yang disebabkan oleh manusia (Melendez-Pastor *et al.*, 2011). Berdasarkan penjelasan tersebut, sangat memungkinkan untuk menyelidiki distribusi logam jejak di suatu daerah dengan luasan yang lebih detail dengan pendekatan metode penginderaan jauh. Probabilitas untuk melakukan penelitian ini relatif cukup tinggi karena data penginderaan jauh berupa data SAR dan ditunjang oleh

data citra lainnya dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis logam dari laterit.

## **B. Rumusan Masalah**

Penelitian ini difokuskan pada identifikasi unsur logam berat pada air sungai dan soil di sekitar Danau Matano menggunakan interpretasi data citra satelit dan survey lahan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perilaku logam berat dalam air sungai yang bermuara di Danau Matano?
2. Bagaimana perilaku logam berat dalam soil sekitar sungai yang bermuara di Danau Matano?
3. Bagaimana ketersediaan logam berat besi (Fe) di sungai yang bermuara di Danau Matano berdasarkan interpretasi GIS dan penginderaan jauh?

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian yang akan dicapai dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Menganalisis perilaku logam berat dalam air sungai yang bermuara di Danau Matano.
2. Menganalisis perilaku logam berat dalam soil sekitar sungai yang bermuara di Danau Matano.

3. Menganalisis keterdapatannya logam berat besi (Fe) di sungai yang bermuara di Danau Matano berdasarkan interpretasi GIS dan penginderaan jauh.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa perkembangan ilmu GIS dan penginderaan jauh, serta geokimia lingkungan khususnya Departemen Teknik Geologi dalam mengembangkan ilmu geokimia lingkungan sungai dan danau.
2. Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pemerintah setempat tentang penyebaran distribusi logam berat lingkungan.

#### **E. Ruang Lingkup**

Adapun ruang lingkup atau batasan dari penelitian ini adalah :

1. Sungai yang menjadi objek penelitian adalah sungai yang berada di sisi tenggara dan bermuara di Danau Matano yaitu Sungai Salonsa, Lawewu dan Incoiro.
2. Jumlah logam berat yang di analisis adalah enam jenis logam (Fe, Mn, Co, Cr, Cu, Ni)
3. Sampel yang dianalisis adalah air dan soil disekitar sungai di sisi tenggara yang bermuara di Danau Matano.
4. Logam berat yang dianalisis dengan metode GIS dan penginderaan jauh hanya logam besi (Fe).

## F. Peneliti Terdahulu

Tabel 1.1. Peneliti Terdahulu

No	Judul	Nama dan Tahun	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
1	Menentukan Pola Penyebaran Logam Berat (Cu, Fe, Zn) Di Sungai Siak Dengan Menggunakan Spektrofotometer (Aas)	Abdul Haris Salam, Sugianto, Tengku Emrinaldi (2019)	Menjelaskan bagaimana prinsip kerja spektrofotometer (AAS) untuk menentukan konsentrasi logam berat yang terkandung dalam air sungai, pola penyebaran dan menentukan apa saja faktor yang mempengaruhi penyebarannya	Konsentrasi logam Fe telah melebihi batas ambang untuk baku mutu air kelas I yaitu 1,9787 ppm dari 0,3 ppm yang diperbolehkan, namun hanya dapat dimanfaatkan jika air yang diambil berjarak lebih dari 24,5-meter dari sumber logam tersebut karena konsentrasi logamnya telah turun menjadi 0,3 ppm, untuk air kelas II, III dan IV air Sungai Siak masih layak digunakan, berdasarkan baku mutu air yang dikeluarkan UPT Pengujian dinas PU Provinsi Riau. Tumbuhan air sangat berperan penting dalam penyerapan logam Cu dan Zn yang ada di Sungai Siak, seperti eceng gondok yang dapat menyerap logam Cu dan Zn lebih cepat dibandingkan dengan Fe. Laju penyerapan logam tersebut dapat dilihat pada perbandingan grafik sebaran logam Cu, Fe dan Zn
2	Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Identifikasi Besi (Fe)	Nanda Dwi Putra, Teguh Budi Prasetyo, Dian Fiantis (2019)	Untuk mengetahui citra Aster dan Landsat TM dapat digunakan dalam	Besi di tanah dapat di prediksi dengan menggunakan citra satelit Landsat 8 pada gelombang pantulannya.  Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kadar besi (Fe) yang terdapat pada sawah vulkanis Gunung

	Pada Sawah Vulkanis Gunung Talang		pengukuran besi oksida.	Talang menggunakan citra Landsat 8. Pengolahan citra Landsat 8 menggunakan metoda kanal rasio dengan algoritma $(4+6)/5$ (kanal merah + kanal inframerah gelombang pendek / inframerah dekat). Nilai piksel yang dihasilkan, dilakukan analisis regresi sederhana dengan kadar besi (Fe) tanah dengan metoda ekstraksi asam oksalat. Hasil analisis kadar besi didapatkan sebesar 0,53% - 3,36% dengan rata – rata 1,25%. Hasil analisis regresi menunjukkan nilai postif dengan korelasi $r = 0,72$ .
3	Kandungan Logam Berat Besi (Fe), Timbal (Pb) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sungai Santan Heavy	Kiamah Fathirizki A. Kamarati, Marlon Ivanhoe A. dan M. Sumaryono Universitas (2018)	Mengetahui konsentrasi logam berat Fe, Mn dan Pb pada Sungai Santan dan untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat Fe, Mn dan Pb yang dibandingkan dengan Peraturan Daerah Kalimantan Timur No 02 Tahun 2011 tentang Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.	Hasil penelitian ini menunjukkan kandungan logam berat pada Sungai Santan masuk kedalam kelas I dan II yaitu dapat digunakan sebagai air minum atau untuk keperluan konsumsi lainnya dan dapat digunakan untuk prasarana atau sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan mengairi tanaman
4	Adsorption of Heavy Metals (Cu, Mn, Fe and Ni) from Surface Water	Kwaansa–Ansah, E. E., Nkrumah, D.,	Tujuan penelitian ini adalah adsorpsi Logam Berat (Cu, Mn, Fe dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Cu, Mn, Fe yang teradsorpsi dari sungai Owabi berturut-turut adalah $685,70 \pm 16,51$ , $247,06 \pm 50,46$ dan $892,90 \pm$

	using <i>Oreochromis Niloticus</i> Scales	Nti, S. O. and Opoku, F. (2019)	Ni) dari Air Permukaan Menggunakan Timbangan <i>Oreochromis Niloticus</i>	96,29 mg/kg. Sedangkan kadar Cu, Mn dan Fe yang teradsorpsi dari sungai Wewe adalah $501,60 \pm 77,78$ , $300,89 \pm 54,61$ dan $413,04 \pm 9,92$ mg/kg, masing-masing. Di bawah adsorpsi optimal terbaik kondisi tersebut, Cu adalah ion logam berat yang paling baik dihilangkan di kedua reservoir air permukaan.
5	Kandungan Logam Berat Pada Sedimen Sungai Martapura Kalimantan Selatan	Sudarningsih, Andi Zainuddin, Simon Sadok Siregar (2014)	Mengetahui keberadaan zat pencemar pada sedimen Sungai Martapura sangat penting untuk dilakukan.	Hasil uji AAS menunjukkan kandungan logam berat yang terkandung dalam sedimen meliputi Cu, Zn, Fe, Mn, Al, Na, Ti dan Hg. Adapun kandungan logam berat pada sedimen yang telah melebihi ambang batas ketercemaran di sepanjang Sungai Martapura adalah Fe dan Mn.
6	Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Dalam Air, Sedimen Dan Kerang Hijau ( <i>Perna viridis</i> ) Di Perairan Trimulyo, Semarang	Murraya, Nur Taufiq-Spj, Endang Supriyantini (2018)	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kandungan logam berat besi (Fe) pada air, sedimen dan kerang hijau ( <i>P. viridis</i> ) dan mengetahui tingkat pencemaran logam besi (Fe) di Perairan Trimulyo, Semarang. Penelitian	Konsentrasi logam berat Fe di perairan Trimulyo memiliki nilai yang tidak terdeteksi di setiap stasiun yaitu $<0,001$ mg/L. Kandungan logam berat Fe pada sedimen berkisar antara 1,96-3,30 mg/kg dan kandungan logam berat Fe pada kerang hijau ( <i>P. viridis</i> ) berkisar antara 150,93-153,64 mg/kg. Kandungan logam Fe di perairan belum melewati ambang batas baku mutu menurut Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001, sedangkan sedimen belum melebihi batas baku mutu menurut Wisconsin Department of Natural Resources tahun 2003 dan pada kerang hijau ( <i>P. viridis</i> ) telah melebihi baku mutu menurut Badan Standarisasi Nasional (BSN) tahun 2009: Standar Nasional

				Indonesia (SNI) No. 7387 tentang maksimal cemaran logam berat dalam pangan.  Kata
7	Profil Pencemaran Air Sungai di Muara Batang Arau Kota Padang dari Tinjauan Fisis dan Kimia	Fara Diba Nasution, Afdal (2016)	Menentukan profil pencemaran air sungai di muara Batang Arau kota Padang dari tinjauan fisis dan kimia berdasarkan nilai total padatan terlarut (TDS), konduktivitas listrik (EC), pH, dan kandungan logam berat Pb dan Fe yang telah dilakukan.	Nilai rata-rata TDS di daerah muara adalah 782,5 mg/l. Nilai ini sudah melebihi kadar kontaminasi untuk air minum yaitu 500 mg/l. Nilai rata-rata konduktivitas listrik di daerah muara adalah 172,5 $\mu$ S/cm. Nilai ini jauh lebih tinggi dari pada nilai konduktivitas listrik air di perairan murni. Nilai rata-rata pH di daerah muara 6,7, yang tergolong sebagai air netral. Konsentrasi logam berat Fe 0,105 mg/l dan Pb 0,005 mg/l. Kedua nilai ini masih berada di bawah ambang baku mutu air. Dari hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa kualitas air di muara Batang Arau masih dalam kondisi normal.
8	Heavy metals risk assessment in water and bottom sediments of the eastern part of Lake Manzala, Egypt, based on remote sensing and GIS	Mohamed O. Arnous & Mohamed A. A. Hassan (2015)	Konsentrasi Zn, Cd, Cu, Mn dan Pb dalam air dan sedimen dasar Danau Manzala Timur (ELM) dikumpulkan dan dianalisis.	Badan air ELM yang terkontaminasi dengan logam berat sangat mempengaruhi makanan danau, organisme, dan, karenanya, manusia. Konsentrasi logam berat di ELM ditemukan pada tingkat yang lebih berisiko daripada batas yang diizinkan dunia, yang menimbulkan masalah lingkungan yang serius. Hasilnya mengungkapkan kesepakatan dengan limbah konsentrasi logam berat yang ditinggalkan dari aktivitas manusia seperti limbah industri, pertanian dan domestik di samping air limbah dan aktivitas komersial.





## **BAB II**

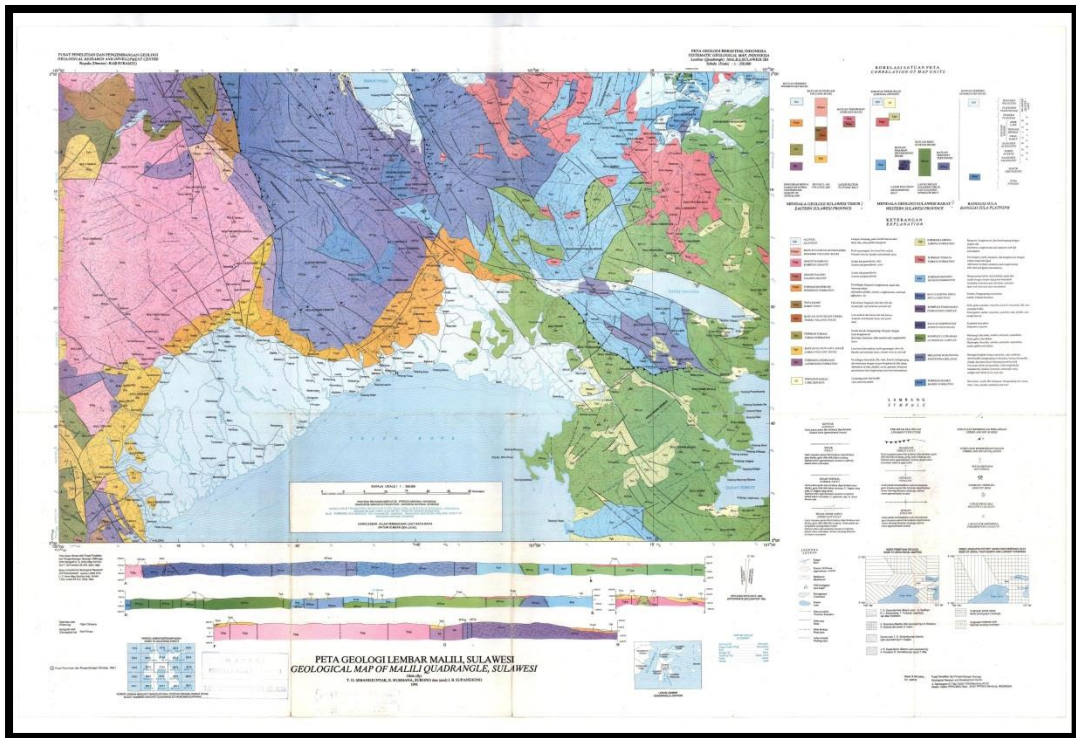
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Kondisi Geologi**

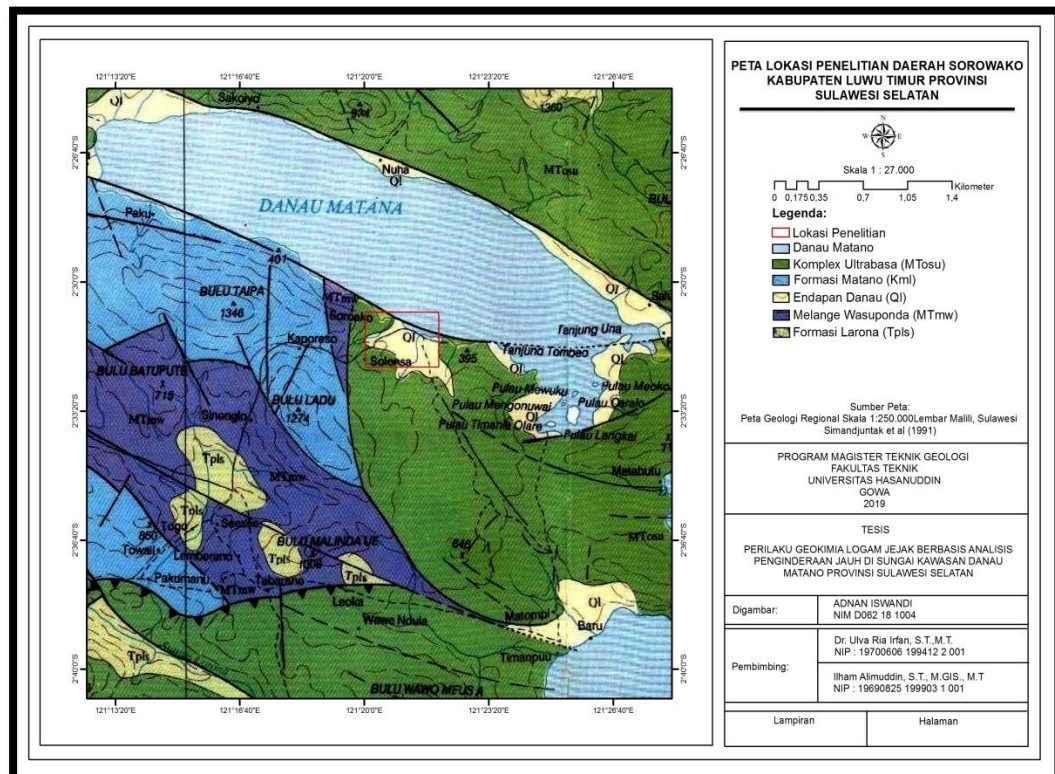
##### **A.1 Geologi Regional**

Peta Geologi Regional Lembar Malili, merupakan bagian Mandala Geologi Sulawesi Timur. Dengan kondisi morfologi yaitu pegunungan yang berada dibagian tenggara lembar peta yaitu Pegunungan Verbeek dengan ketinggian 800 - 1.346 meter di atas permukaan laut. Tersusun oleh batuan ofiolit, batuan bancuh (melange) dan batugamping. Statigrafi batuan tertua pada daerah penelitian tersusun oleh batuan ofiolit. Komplek ofiolit tersebut memanjang dari utara Pegunungan Balantak ke arah tenggara Pegunungan Verbeek merupakan Batuan Ultramafik (MTosu), tersusun oleh harzburgit, lherzolit, wherlit, websterit, serpentinit, dunit, gabbro dan diabas. Umur formasi ini belum dapat dipastikan, tetapi diperkirakan sama dengan ofiolit di lengan timur Sulawesi yang berumur Kapur-Awal Tersier. Selanjutnya tersusun oleh batuan bancuh (Mélange) Wasuponda (Mtmw), terbentuk dalam lajur penunjaman Zaman Kapur. Hubungan statigrafi dengan Batuan Berdasarkan identifikasi bahwa litologi penyusun Perbukitan Zahwah merupakan batuan ultramafic yaitu batuan Harzburgit dan dunit. Dengan tingkat serpentinisasi rendah hingga tak terserpentinisasi. Pengayaan bijih Nikel pada endapan laterite hanya

terdapat pada material fraksi <math>-1</math> inci. Ultramafik dan Formasi Matano berupa persentuhan tektonik atau tidak selaras. Kemudian secara tidak selaras terendapkan Formasi Matano (Kml). Berdasarkan kandungan fosil batugamping, yaitu *Globotruncana sp* dan *Heterohelix sp*, serta radiolaria dalam rijang. Formasi Matano diduga berumur Kapur Atas dan diendapkan dalam lingkungan laut dalam. Sedangkan pada bagian atas merupakan endapan alluvium (Ql). (Hernandi, Rosana and Haryanto, 2017)



Gambar 2.1. Peta Geologi Regional Lembar Malili (Simandjuntak dkk, 1991)

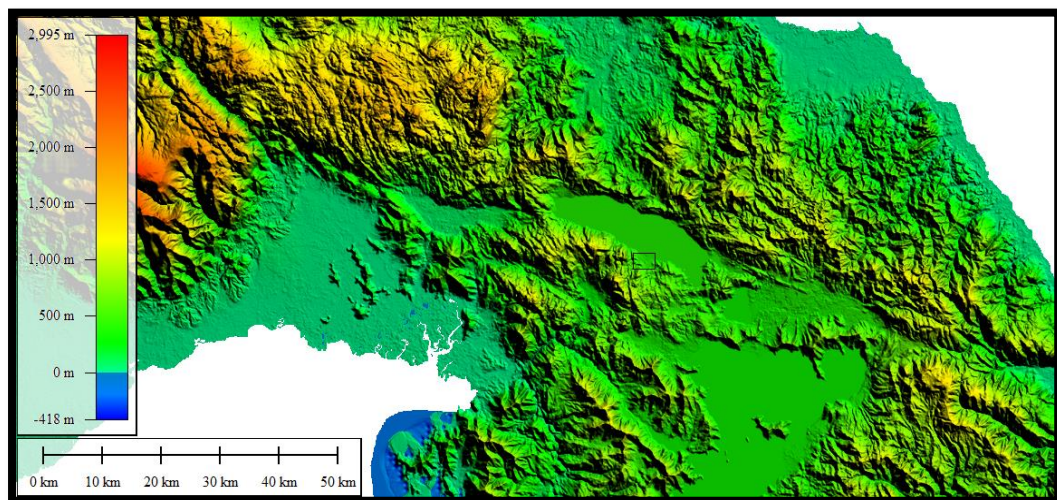


Gambar 2.2. Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian (Simandjuntak dkk, 1991)

## A.2 Geomorfologi Regional

Secara morfologi daerah dalam lembar Malili dapat dibagi atas 4 satuan : Daerah Pegunungan, Daerah Perbukitan, Daerah Karst dan Daerah Pedataran. Daerah Pegunungan menempati bagian barat dan tenggara lembar Malili. Di bagian barat terdapat 2 rangkaian pegunungan: Pegunungan Tineba dan Pegunungan Koro-Ue yang memanjang dan baratlaut - tenggara, dengan ketinggian antara 700-3016 m di atas permukaan laut dan dibentuk oleh batuan granit dan malihan. Sedangkan di bagian tenggara lembar peta terdapat Pegunungan Verbeek dengan ketinggian antara 800 - 1346 m di atas permukaan laut, dibentuk oleh

batuan ultramafik dan batugamping. Puncak-puncaknya antara lain G. Baliase (3016 m), G. Tambake (1838 m), Bulu Nowinokel (1700 m), G. Kaungabu (1760 m), Buhi Taipa (1346 m), Bulu Ladu (1274 m), BuLu Burangga (1032 m) dan Bulu Lingke (1209 m). Sungai-sungai yang mengalir di daerah ini yaitu S. Kataena, S. Pincara, S. Rongkong. S. Larona dan S. Malili merupakan sungai utama. Pola aliran sungai umumnya dendrit.



Gambar 2.3. Kenampakan Morfologi Regional (Citra SRTM, 2019 Hasil Modifikasi A. Iswandi, 2021)

### A.3 Stratigrafi Regional

Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan biostratigrafi, secara regional Lembar Malili termasuk Mandala Geologi Sulawesi Timur dan Mandala Geologi Sulawesi Barat, dengan batas Sesar Palu Koro yang membujur hampir utara-selatan. Mandala Geologi Sulawesi Timur dapat dibagi menjadi dua lajur (Telt): lajur batuan malihan dan lajur ofiolit

Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultramafik dan batuan sedimen petagos Mesozoikum.

Mandala Geologi Sulawesi Barat dicirikan oleh lajur gunungapi Paleogen dan Neogen, intrusi Neogen dan sedimen flysch Mesozoikum yang diendapkan di pinggiran benua (Paparan Sunda).

Di Mandala Geologi Sulawesi Timur, batuan tertua adalah batuan ofiolit yang terdiri dari ultramafik termasuk harzburgit, dunit, piroksenit, wehrlit dan serpentinit, setempat batuan mafik termasuk gabro dan basal. Umurnya belum dapat dipastikan, tetapi diperkirakan sama dengan ofiolit di lengan timur Sulawesi yang berumur Kapur – Awal Tersier (Simandjuntak, 1991).

Batuan tektonik ini tersingkap baik di daerah Wasuponda serta di daerah Ensa, Koro Mudi dan Petumbea, diduga terbentuk sebelum Tersier (Simandjuntak, 1980). Pada Kala Miosen Akhir batuan sedimen pasca orogenesis Neogen (Kelompok Molasa Sulawesi) diendapkan tak selaras di atas batuan yang lebih tua. Kelompok ini termasuk Formasi Tomata yang terdiri dari klastika halus sampai kasar, dan Formasi Larona yang umumnya terdiri dari klastika kasar yang diendapkan dalam lingkungan laut dangkal sampai darat. Pengendapan ini terus berlangsung sampai Kala Pliosen.

#### **A.4 Struktur Geologi**

Struktur geologi Lembar Malili memperlihatkan ciri Komplek tubrukan dan pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi 2 domain yang sangat berbeda, yakni : 1) alohton: ofiolit dan malihan, dan 2) autohton: batuan gunungapi dan pluton Tersier dan pinggiran benua Sundaland, serta kelompok molasa Sulawesi. Lembar Malili, sebagaimana halnya daerah Sulawesi bagian timur, memperlihatkan struktur yang sangat rumit. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pergerakan tektonik yang telah berulang kali terjadi di daerah ini.

Struktur penting di daerah ini adalah sesar lipatan, selain itu terdapat kekar dan perdaunan. Secara umum kelurusan sesar berarah baratlaut-tenggara. Yang terdapat di daerah ini berupa sesar naik, sesar sungkup, sesar geser dan sesar turun, yang diperkirakan sudah mulai terbentuk sejak Mesozoikum. Beberapa sesar utama tampaknya aktif kembali. Sesar Matano dan sesar Palu-Koro merupakan sesar utama berarah baratlaut-tenggara, dan menunjukkan gerak mengiri. Diduga kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang (Tjia 1973; Ahmad, 1975), keduanya bersatu di bagian baratlaut Lembar. Diduga pula kedua sesar tersebut terbentuk sejak Oligosen, dan bersambungan dengan sesar Sorong sehingga merupakan satu sistem sesar "transform". Sesar lain yang lebih kecil berupa tingkat pertama dan/atau kedua yang terbentuk

bersamaan atau setelah sesar utama tersebut. Dengan demikian sesar-sesar ini dapat dinamakan Sistem Sesar Matano-Palu-Koro.

## **B. Landasan Teori**

### **B.1 Nikel Laterit**

Pulau Sulawesi terletak di bagian tengah Kepulauan Indonesia, dimana terdiri dari empat sabuk litotektonik, yaitu Busur pluto-vulkanik dari selatan hingga utara lengan Pulau Sulawesi, Sabuk metamorfik di bagian tengah, memanjang dari tengah ke tenggara, Sabuk ofiolit di bagian timur-tenggara, dan Banggai-Sula dan Tukang Besi microcontinent. Pada daerah Sorowako batas antara zona lateritisasi terlihat sangat jelas. Pada bagian atas dijumpai adanya top soil yang terdiri dari humus dan pepohonan. Bagian bawah top soil dijumpai adanya lapisan overburden dengan komposisi utama berupa Fe, Cr, Mn, dan Co. Bagian bawah overburden dijumpai adanya Zona Limonit dan Zona Saprolit dijumpai pada bagian bawah Zona Limonit sedangkan zona paling bawah berupa bedrock yang merupakan batuan segar yang belum mengalami proses pelapukan. (Faiz, Sufriadin and Widodo, 2020)

Pada dasarnya sumber bahan galian nikel di alam dapat dijumpai dalam dua bentuk yaitu nikel primer yang berasal dari pembekuan magma yang bersifat ultra basis dan nikel sekunder yang dihasilkan oleh proses pengkayaan sekunder di bawah zona water table. Di Indonesia sumber nikel hanya dijumpai dalam bentuk nikel sekunder atau yang disebut juga



sebagai nikel laterit. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Istilah "*laterite*" bisa diartikan sebagai endapan yang kaya oksida besi, miskin unsur silika dan secara intensif ditemukan pada endapan lapukan pada iklim tropis. Ada juga yang mengartikan nikel laterit sebagai endapan lapukan yang mengandung nikel dan secara ekonomis dapat ditambang. Batuan induk endapan Nikel laterit adalah batuan ultrabasa; umumnya dari jenis harzburgit (peridotit yang kaya unsur ortopiroksen), dunite dan jenis peridotite yang lain. Endapan nikel laterit ini ditemukan di daerah Indonesia bagian timur seperti Pulau Sulawesi, pulau-pulau di Maluku Utara maupun di daerah Papua. Di daerah Maba, Pulau Halmahera, Maluku Utara dijumpai deposit nikel laterit dengan sebaran yang cukup luas. (Isjudarto, 2013)

Endapan nikel di daerah ini terbentuk bersama mineral silikat kaya unsur Mg (mis; olivin). Olivin adalah jenis mineral yang tidak stabil selama pelapukan berlangsung. Saprolite adalah produk pelapukan pertama, meninggalkan sedikitnya 20% fabric dari batuan aslinya (parent rock). Batas antara batuan dasar, saprolite dan indikasi awal pelapukan (weathering front) tidak jelas dan bahkan perubahannya gradasional. Endapan nikel laterit dicirikan dengan adanya pelapukan mengulit bawang (spheroidal weathering) dan umumnya tersebar di daerah sepanjang struktur kekar dan rekahan (boulder saprolite). Selama pelapukan berlangsung, Mg dan Silika larut bersama air tanah. Ini menyebabkan fabric dari batuan induknya berubah secara total. Hasilnya, oksida besi



mendominasi dengan membentuk lapisan horizontal di atas saprolite yang sekarang kita kenal sebagai mineral oksida besi jenis Limonite. Nikel berasosiasi juga dengan mineral jenis oksida besi yang lain terutama dari jenis Goethite. Rata-rata nikel yang berasosiasi dengan oksida besi diatas berkadar 1,2%. (Isjudarto, 2013)

Bijih nikel laterit merupakan salah satu sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia. Cadangan bijih nikel laterit di Indonesia mencapai 12% cadangan nikel dunia, yang tersebar di Pulau Sulawesi, Maluku, dan pulau kecil-kecil disekitarnya. Bijih nikel laterit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu saprolit yang berkadar nikel tinggi dan limonit yang berkadar nikel rendah. Perbedaan menonjol dari dua jenis bijih ini adalah kandungan Fe (besi) dan Mg (magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit kandungan Fe tinggi dan Mg rendah. Nikel laterit dicirikan oleh adanya material yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe. Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal, dan tingkat pelapukan. Keberadaan endapan nikel laterit umumnya banyak tersebar pada daerah-daerah seperti di Provinsi Sulawesi Selatan dijumpai pada daerah Sorowako Kabupaten Luwu Timur. Selain itu, endapan nikel laterit juga dijumpai di daerah Sulawesi Tengah yaitu Kabupaten Morowali, Kabupaten Luwuk Banggai, Sulawesi Tengah serta daerah Palangga, Sulawesi Tenggara. (Faiz, Sufriadin and Widodo, 2020)

PT. Vale Indonesia, Tbk. Merupakan perusahaan tambang dan pengolahan bijih nikel terintegrasi yang beroperasi di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Operasi bisnis PT Vale Indonesia Tbk terdiri dari penambangan dan pengolahan bijih. PT. Vale menambang dan mengolah nikel laterit untuk menghasilkan produk akhir berupa nikel dalam matte. Volume produksi nikel PT. Vale rata-rata mencapai 75.000 metrik ton per tahun. Produksi PT. Vale memasok 4% kebutuhan nikel dunia. (Faiz, Sufriadin and Widodo, 2020).

## **B.2 Pencemaran Lingkungan**

Pencemaran, menurut SK Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1988, adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air/udara, dan/atau berubahnya tatanan (komposisi) air/udara oleh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas air/udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Pencemaran adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan, atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Definisi ini sesuai dengan pengertian pencemaran pada (Undang-undang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 1982).

Untuk mencegah terjadinya pencemaran terhadap lingkungan oleh berbagai aktivitas industri dan aktivitas manusia, maka diperlukan pengendalian terhadap pencemaran lingkungan dengan menetapkan baku mutu lingkungan. Baku mutu lingkungan adalah batas kadar yang diperkenankan bagi zat atau bahan pencemar terdapat di lingkungan dengan tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup, tumbuhan atau benda lainnya.

Sedangkan bahan pencemar disebut dengan polutan. Syarat-syarat suatu zat disebut polutan bila keberadaannya dapat menyebabkan kerugian terhadap makhluk hidup, hal ini dapat terjadi jika terdapat pada kondisi :

Suatu zat dapat disebut polutan apabila :

1. Jumlahnya melebihi jumlah normal.
2. Berada pada waktu yang tidak tepat
3. Berada pada tempat yang tidak tepat

Sifat polutan adalah :

1. Merusak untuk sementara, tetapi bila telah bereaksi dengan zat lingkungan tidak merusak lagi
2. Merusak dalam jangka waktu lama. Contohnya Pb tidak merusak bila konsentrasinya rendah. Akan tetapi dalam jangka waktu yang lama, Pb dapat terakumulasi dalam tubuh sampai tingkat yang merusak.

Menurut World Health Organization (WHO) tingkat pencemaran didasarkan pada kadar zat pencemar dan waktu (lamanya) kontak. Tingkat pencemaran dibedakan menjadi tiga, yaitu sebagai berikut :

1. Pencemaran yang mulai mengakibatkan iritasi (gangguan) ringan pada panca indra dan tubuh serta telah menimbulkan kerusakan pada ekosistem lain. Misalnya gas buangan kendaraan bermotor yang menyebabkan mata pedih.
2. Pencemaran yang sudah mengakibatkan reaksi pada faal tubuh dan menyebabkan sakit yang kronis. Misalnya pencemaran Hg (air raksa) di Minamata Jepang yang menyebabkan kanker dan lahirnya bayi cacat.
3. Pencemaran yang kadar zat-zat pencemarnya demikian besarnya sehingga menimbulkan gangguan dan sakit atau kematian dalam lingkungan. Misalnya pencemaran nuklir.

Penyebab terjadinya pencemaran lingkungan sebagian besar disebabkan oleh tangan manusia atau adanya aktivitas antropogenik di suatu lingkungan. Pencemaran air dan tanah adalah pencemaran yang terjadi di perairan seperti sungai, kali, danau, laut, air tanah, dan sebagainya. Sedangkan pencemaran tanah adalah pencemaran yang terjadi di darat baik di kota maupun di desa. Alam memiliki kemampuan untuk mengembalikan kondisi air yang telah tercemar dengan proses pemurnian atau purifikasi alami dengan jalan pemurnian tanah, pasir,

bebatuan dan mikro organisme yang ada di alam sekitar kita. Jumlah pencemaran yang sangat masal dari pihak manusia membuat alam tidak mampu mengembalikan kondisi ke seperti semula.

### **B.3 Logam Berat**

Logam adalah zat dengan konduktivitas tinggi listrik, kelenturan, dan kilau, yang secara sukarela kehilangan trans elektron mereka untuk membentuk kation. Distribusi logam di atmosfer dipantau oleh sifat dari logam yang diberikan dan oleh berbagai faktor lingkungan. Logam berat tergolong kriteria yang sama dengan logam lainnya. Hal yang membedakan adalah pengaruh yang dihasilkan saat logam berat berikatan dan atau masuk ke dalam organisme hidup. Contoh ketika unsurlogam besi atau Fe masuk ke dalam tubuh, walaupun dengan kadar berlebihan, seringkali tidak menimbulkan dampak negatif bagitubuh.Karena sejatinyaunsur besi (Fe) diperlukan dalam darah untuk mengikat oksigen. Lain hal dengan unsur logam berat, baik itulogamberat beracun yang dipentingkan seperti tembaga atau Cu, bila masuk kedalam tubuh dengan kadar yang berlebih akan menimbulkan dampak negatif terhadap fungsi fisiologitubuh. Ketika unsur logam berat beracun seperti hidrargyrum(Hg) atau disebut air raksa, masuk kedalam tubuh organisme hidup maka dapat dipastikan organisme tersebut akan langsung keracunan(Rosihan and Husaini, 2017).

Logam berat dan logam ringan. Logam berat adalah logam dengan berat lebih dari sama dengan  $5 \text{ g/cm}^3$ . Logam berat dinamakan sebagai

logam non esensial dan pada tingkat tertentu dapat menjadi beracun bagi makhluk hidup. Sedangkan logam ringan adalah logam dengan berat kurang dari 5 g/cm<sup>3</sup>. Logam berat merupakan komponen alami di tanah. Komponen ini tidak dapat didegradasi (non degradable) maupun dihancurkan. Senyawa ini dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan, air minum, dan udara. Pada kadar rendah, logam berat diperlukan oleh makhluk hidup untuk pengaturan berbagai fungsi kimia dan fisiologi tubuh. Hal ini biasa dikenal dalam istilah trace element, yaitu elemen kimia yang dibutuhkan oleh organisme hidup dalam jumlah sangat kecil (kurang dari 0,1% dari volume). Sebagai trace element, beberapa logam berat seperti tembaga (Cu), selenium (Se), Besi (Fe) dan zink (Zn) sangat penting untuk tubuh. Logam berat dapat menjadi berbahaya atau beracun ketika berada dalam kadar berlebihan di dalam tubuh (Irianti *et al.*, 2017).

### **B.3.1 Jenis Logam Berat**

Ada 35 logam yang menjadi perhatian bagi kita karena paparan perumahan atau pekerjaan, dari yang 23 adalah logam berat: antimon, arsenik, bismuth, kadmium, cerium, kromium, kobalt, tembaga, gallium, emas, besi, timah, mangan, merkuri, nikel, platinum, perak, telurium, thallium, timah, uranium, vanadium, dan seng. Logam berat biasanya ditemukan di lingkungan. Dalam jumlah kecil mereka diwajibkan untuk menjaga kesehatan yang baik tetapi dalam jumlah yang lebih besar mereka dapat menjadi beracun atau berbahaya. "Toksistas logam berat

dapat menurunkan tingkat energi dan merusak fungsi otak, paru-paru, ginjal, liver, komposisi darah dan organ penting lainnya. Paparan jangka panjang dapat menyebabkan secara bertahap maju proses degeneratif fisik, otot, dan saraf yang meniru penyakit seperti multiple sclerosis, penyakit Parkinson, penyakit Alzheimer dan distrofi otot. Diulang paparan jangka panjang dari beberapa logam dan senyawa mereka bahkan dapat menyebabkan kanker". Tingkat toksisitas dari beberapa logam berat dapat tepat di atas konsentrasi latar belakang yang hadir secara alami di lingkungan. Pengetahuan maka menyeluruh logam berat agak penting karena mengizinkan untuk memberikan langkah-langkah defensif yang tepat terhadap kontak yang berlebihan (Rosihan and Husaini, 2017).

**a) Chromium (Cr)**

"Chromium hadir dalam batuan, tanah, hewan dan tumbuhan. Senyawa chromium sangat banyak terdapat dalam sedimen air. Chromium dapat terjadi di banyak negara yang berbeda seperti divalen, empat valent, lima valent dan negara heksavalent. Cr (VI) dan Cr (III) adalah bentuk paling stabil dan paparannya ke manusia lebih tinggi" (Zhitkovich, 2005). Senyawa chromium (VI), seperti kalsium kromat, kromat seng, strontium kromat dan kromat memimpin, sangat beracun dan karsinogenik di alam. Kromium (III), di sisi lain, adalah suplemen gizi yang penting bagi hewan dan manusia dan memiliki peran penting dalam metabolisme glukosa. Penyerapan senyawa chromium heksavalen melalui saluran udara

dan saluran pencernaan lebih cepat daripada senyawa chromium trivalen. Sumber pekerjaan kromium termasuk pelapis logam pelindung, paduan logam, pita magnetik, pigmen cat, karet, semen, kertas, pengawet kayu, penyamakan kulit dan logam plating. Pencemaran kromium berasal dari buangan industri-industri pelapisan krom, pabrik tekstil, pabrik cat, penyamakan kulit, pabrik tinta dan pengilangan minyak. Hal tersebut berasal dari natrium kromat dan natrium dikromat yang merupakan spesies krom (VI) bersifat toksik sebagai bahan pokok untuk memproduksi bahan kimia krom, seperti bahan pewarna krom, garam-garam krom yang dipergunakan penyamakan kulit, pengawetan kayu, bahan anti korosif pada peralatan otomotif, ketel dan pengeboran minyak. Keterangan ini menunjukkan perlu adanya upaya mengurangi sifat toksisitas krom (VI) tersebut dengan cara mengadsorpsi atau mendegradasinya. Beberapa literatur hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat toksik logam berat krom (VI) jauh lebih toksik dibandingkan krom (III). Dalam SK Menteri Negara LH yang bernomor Kep 03/MENKLH/11/1991 disebutkan bahwa kadar maksimum krom total yang diperbolehkan dalam perairan adalah 0,1 ppm sedang kadar krom (VI) 0,05 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa dalam jumlah yang lebih sedikit keberadaan krom (VI) telah dapat menyebabkan masalah bagi lingkungan.



**b) Besi (Fe)**

Besi atau ferrum (Fe) adalah logam transisi paling melimpah di kerak bumi. Aspek biologisnya adalah nutrisi paling penting bagi makhluk hidup karena merupakan kofaktor bagi banyak protein penting dan enzim. Reaksi yang dimediasi besi mendukung sebagian besar organisme aerobik dalam proses respirasi mereka. Jika tidak terlindung dengan baik, ia dapat mengkatalisis reaksi yang melibatkan pembentukan radikal yang dapat merusak biomolekul, sel, jaringan dan seluruh organisme. Keracunan besi selalu menjadi topik yang menarik terutama untuk dokter spesialis anak. Anak-anak sangat rentan terhadap keracunan besi karena mereka terkena maksimal produk iron containing. Iron toksikosis terjadi dalam empat tahap. Tahap pertama yang terjadi setelah 6 jam dari overdosis besi ditandai dengan efek gastrointestinal seperti gastro intestinal perdarahan, muntah dan diare. Tahap kedua berlangsung dalam waktu 6 sampai 24 jam dari overdosis dan dianggap sebagai periode laten, periode pemulihan medis jelas. Tahap ketiga terjadi antara 12-96 jam setelah timbulnya gejala klinis tertentu.

**c) Tembaga (Cu)**

Tembaga memiliki nomor atom 29, berat atom 63,546 g/mol, titik leleh 1083o C, titik didih 2595o C, jari-jari atom 1,173 Ao dan jari-jari ion  $\text{Cu}^{2+}$  0,96 Ao. Tembaga merupakan logam transisi (golongan I B) berwarna kemerahan, mudah regang, dan mudah ditempa.

Logam ini memantulkan cahaya merah dan oranye serta menyerap cahaya frekuensi lain pada spektrum tampak. Akibat struktur pitanya yang khas, tembaga terlihat berwarna kemerahan. Tembaga mudah ditempa. Logam ini merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Selain itu, tembaga memiliki reaktifitas kimia rendah. Logam ini akan membentuk permukaan film kehijauan secara perlahan pada udara lembab. Permukaan film tersebut disebut patina. Permukaan tersebut berfungsi sebagai lapisan pelindung logam dari kerusakan lebih lanjut. Logam Cu termasuk logam berat esensial, meskipun beracun tetapi tetap dibutuhkan tubuh manusia dalam jumlah kecil. Dalam konsentrasi rendah, Cu dapat merangsang pertumbuhan organisme, sebaliknya jika dalam konsentrasi tinggi Cu malah menjadi penghambat. Tembaga merupakan komponen umum yang terbentuk secara alami di lingkungan. Logam ini menyebar ke semua strata lingkungan, yakni perairan, tanah, dan udara, melalui fenomena alami. Manusia menggunakan tembaga secara luas, misalnya industri dan pertanian. Sumber-sumber masukan logam Cu ke lingkungan diduga paling banyak berasal dari kegiatan- kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga, dan dari pembakaran serta mobilitas bahan-bahan bakar Tembaga dapat dilepaskan ke lingkungan melalui sumber alami maupun aktivitas manusia. Sumber alami contohnya adalah debu tertiuip angin, pembusukkan tumbuhan, dan kebakaran hutan.

Sementara itu, contoh aktivitas manusia yang menghasilkan tembaga adalah pertambangan, produksi logam, produksi kayu dan produksi pupuk fosfat. Logam ini tersebar secara luas di lingkungan akibat kedua sumber tersebut. Oleh karena itu, tembaga sering ditemukan di dekat tambang, pengaturan industri tempat pembuangan sampah dan limbah. Kebanyakan komponen tembaga ditemukan sebagai endapan di endapan air atau partikel tanah. Bentuk komponen tembaga terlarut menjadi ancaman terbesar bagi kesehatan manusia. Tembaga larut air biasanya terbentuk di lingkungan dari penggunaan di sektor pertanian. Secara alamiah, Cu masuk ke dalam perairan dari peristiwa erosi, pengikisan batuan ataupun dari atmosfer dan air hujan (Irianti *et al.*, 2017).

**d) Kobalt (Co)**

Kobalt (Co) merupakan salah satu unsur logam. Kobalt banyak digunakan dalam industri logam, pigmen, plastik, farmasi, cat, tinta dan radionuclide untuk perawatan medis. Meskipun termasuk unsur logam, namun kobalt diperlukan untuk kehidupan seperti ganggang hijau biru, bakteri dan tanaman leguminosa. Kobalt juga diperlukan oleh manusia dan hewan sebagai koenzim pembentuk vitamin B12, pembentuk folat dan metabolisme asam lemak. Konsentrasi rendah dari logam Co meningkatkan pertumbuhan alga dan tanaman tingkat tinggi. Namun pada konsentrasi tinggi kobalt dapat menjadi racun. Keracunan Co pada manusia menyebabkan kardiomyopathy dan

membahayakan otot jantung. Kobalt juga terlibat dalam respirasi mitokondria. Sumber pencemar logam Co dari limbah industri, kegiatan penambangan, limbah rumah tangga dan juga kegiatan pertanian. Air limbah yang mengandung Co dan digunakan untuk mengairi lahan pertanian berpotensi menyebabkan akumulasi logam kobalt pada tanaman yang akan berbahaya apabila masuk ke rantai makanan (Purbalisa and Dewi, 2019).

**e) Nikel (Ni)**

Nikel adalah unsur kimia metalik yang termasuk kelompok VIII B dari tabel periodik. Nikel memiliki kepadatan spesifik 8,90 g/cm<sup>3</sup>, titik leleh 1555 °C, dan titik didih 2837 °C. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Bentuk umum adalah ion nikel (II). Nikel karbonat, sulfida nikel, dan nikel oksida tidak larut dalam air, sedangkan nikel klorida dan nikel nitrat yang larut dalam air. Dalam sistem biologi, nikel terlarut dapat membentuk komponen yang kompleks dengan berbagai ligan dan berikatan dengan bahan organik. Sebagian besar dari nikel yang digunakan untuk produksi stainless steel dan paduan nikel lainnya dengan korosi tinggi dan tahan suhu. Nikel paduan dan platings nikel digunakan di kendaraan, mesin pengolahan, persenjataan, peralatan, peralatan listrik, peralatan rumah tangga, dan mata uang. Senyawa nikel juga

digunakan sebagai katalis, pigmen, dan dalam baterai. Nikel dapat diserap pada manusia dan hewan melalui jalur inhalasi dan ingesti. Penyerapan melalui inhalasi dan penyerapan nikel melalui pencernaan adalah rute utama masuk selama pemaparan dalam pekerjaan. Nikel juga dapat masuk melalui kulit. Paparan nikel melalui kulit akan mengakibatkan hipersensitivitas (Lidya, 2012).

**f) Mangan (Mn)**

Mangan (Mn) adalah kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa dengan besi, mangan berada dalam bentuk manganous ( $Mn^{2+}$ ) dan manganik ( $Mn^{4+}$ ). Di dalam tanah, Mn berada dalam bentuk senyawa mangan dioksida. Kadar mangan pada perairan alami sekitar 0,2 liter atau kurang, kadar yang lebih besar dapat terjadi pada air tanah dalam dan pada danau yang dalam. Perairan asam dapat mengandung mangan sekitar 10 – 150 liter. Mangan merupakan nutrient renik yang esensial bagi tumbuhan dan hewan. Logam ini berperan dalam pertumbuhan dan merupakan salah satu komponen penting pada sistem enzim, defisiensi mangan dapat mengakibatkan pertumbuhan terhambat serta sistem saraf dan proses reproduksi terganggu. Pada tumbuhan, mangan merupakan unsur esensial dalam proses metabolisme. (Misno, A. Nirmala, 2016). Pencemaran logam mangan (Mn) berasal dari bahan zat aktif di dalam batu baterai yang telah habis digunakan dan dibuang ke sungai maupun pesisir. Selain itu sumber pencemaran logam

mangan juga berasal dari pertambangan, saluran tambang atom, kerja mikroba terhadap mineral mangan pada pH rendah. Dengan tingginya aktivitas antropogenik di pesisir Teluk Staring maka perlu dilakukan penelitian tentang distribusi logam berat Mn pada air laut di permukaan Teluk Staring Sulawesi Tenggara. Teluk Staring merupakan kawasan padat dengan berbagai aktivitas sehingga menjadi tempat berkumpulnya bahan pencemaran dari daratan yang dialirkan secara langsung maupun tidak langsung melalui muara sungai laonti dan sungai moramo yang mengalir di wilayah Teluk Staring. Sumber bahan pencemar tersebut berasal dari aktivitas antropogenik yang tinggi seperti limbah kegiatan industri, pelabuhan, perikanan dan sampah. Limbah tersebut mengandung materi yang bersifat racun dan berbahaya. Salah satu materi tersebut adalah logam berat. Logam berat merupakan elemen kimia dengan berat massa atom sebesar  $5 \text{ gr/cm}^3$ . Pada dasarnya logam berat termasuk ke dalam golongan logam dengan kriteria yang sama dengan logam lainnya. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan, logam berat mampu membentuk ikatan kompleks saat masuk ke dalam tubuh organisme (Indra, Alrum and Amadhan, 2020). Mangan (Mn) adalah metal kelabu-kemerahan. Keracunan seringkali bersifat kronis sebagai akibat inhalasi debu dan uap logam. Gejala yang timbul berupa gejala susunan urat syaraf: insomnia, kemudian lemah pada kaki dan otot muka sehingga ekspresi muka menjadi beku dan muka

tampak seperti topeng (mask). Bila pemaparan berlanjut maka, bicaranya melambat dan monoton, terjadi hyperrefleksi, clonus pada patella dan tumit, dan berjalan seperti penderita parkinsonism. Selanjutnya akan terjadi paralysis bulbar, post encephalitic parkinsonism, multiple sclerosis, amyotrophic lateral sclerosis, dan degenerasi lentik yang progresif. Tidak ada gejala GI, saluran urogenital (UG), kelainan ada liquor cerebro spinalis. Keracunan Mn ini adalah salah satu contoh, dimana kasus keracunan tidak menimbulkan gejala muntah berak, sebagaimana orang awam selalu memperkirakannya. Didalam penyediaan air, seperti halnya Fe, Mn juga menimbulkan masalah warna, hanya warnanya ungu/hitam (Satmoko, 2018).

### **B.3.2 Geokimia Logam Berat**

Dalam geologi dikenal istilah unsur mayor, unsur minor, dan unsur jejak. (Sukandarrumidi dkk, 2017) Masing-masing unsur mempunyai sifat toksik yang tidak sama. Pembahasan geokimia, khususnya hidrokimia, pada umumnya ditekankan pada unsur-unsur terlarut di dalam air. Secara garis besar berdasarkan konsentrasinya, unsur dapat dikelompokkan menjadi empat golongan, yaitu sebagai berikut :

- Unsur – unsur mayor (*major elements*). Suatu unsur termasuk mayor apabila konsentrasinya di dalam air lebih dari 5mg per liter.
- Unsur – unsur minor (*minor elements*). Suatu unsur dikatakan minor bila konsentrasinya 0,01 – 5 mg per liter.

- Unsur – unsur jejak (*trace elements*). Disebut unsur jejak jika konsentrasinya lebih kecil dari 0,01 mg per liter.
- Gas atau unsur-unsur volatile.

Unsur-unsur kimia yang umum terdapat sebagai elemen dominan. Yang selanjutnya berperan sebagai unsur mayor adalah kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan natrium (Na), bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ), sulfat ( $\text{SO}_4$ ), serta khlorin (Cl). Di daerah dengan lithologi tertentu, misalnya pada batulempung dan batugamping, kalsium (Ca) dan karbonat ( $\text{CO}_3$ ), dapat menjadi unsur mayor pula (Sukandarrumidi dkk, 2017).

Air murni disusun oleh  $\text{H}_2\text{O}$ . Begitu air kontak dengan udara, tanah dan batuan, air segera melarutkan zat-zat dan unsur – unsur, sehingga komposisinya berubah. Dengan demikian, di alam sangat sulit dijumpai air murni dan hanya dapat dijumpai dan dibuat di laboratorium. Sebagai zat pelarut terbesar di dunia, air akan menguraikan dan membawa serta unsur-unsur yang berasal dari media yang berkontak dengannya. Keberadaan zat padat (*solid*) di dalam air dapat berupa larutan, misalnya ion-ion dan suspensi dalam bentuk butiran-butiran yang lebih besar atau koloid (Sukandarrumidi dkk, 2017)

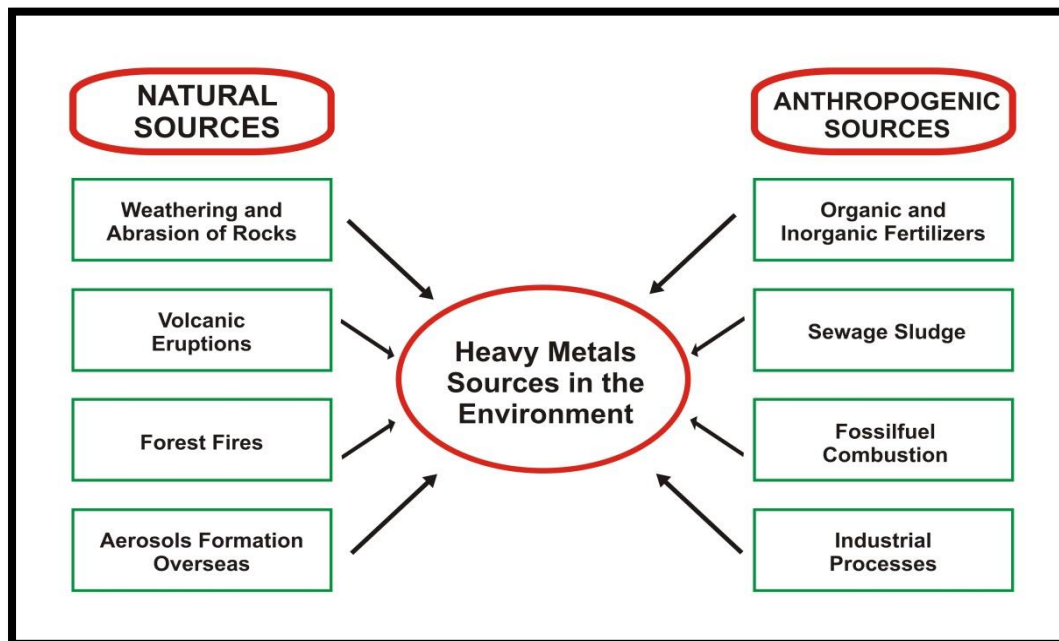
Kandungan unsur-unsur kimia di dalam air tanah dinyatakan dalam satuan mg/l (milligram per liter) atau ppm (*part per million*). Unsur-unsur tersebut dapat dikelompokkan menjadi empat golongan yang diuraikan pada tabel berikut :



Tabel 2.1. Jenis Unsur Kimia Yang Terkandung Di Dalam Air Tanah  
(Sukandarrumidi dkk, 2017)

Jenis Unsur	Keterangan	Contoh Unsur
Unsur mayor ( <i>major elements</i> )	Unsur-unsur di dalam air tanah yang konsentrasinya lebih dari 5 mg/l	Ca <sup>2+</sup>
		Mg <sup>2+</sup>
		Na <sup>+</sup> (kation)
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		Cl <sup>-</sup>
		NO <sub>3</sub> <sup>+</sup>
Unsur minor ( <i>minor elements</i> )	Unsur-unsur yang konsentrasinya 0,01-5 mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
		K <sup>+</sup>
		Al <sup>2+</sup>
		Mn <sup>2+</sup>
		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Unsur jejak ( <i>trace elements</i> )	Unsur-unsur yang konsentrasinya kurang dari 0,01 mg/l. Unsur ini pada umumnya merupakan logam berat. Meskipun konsentrasinya sangat kecil, tetapi kehadirannya mempunyai arti penting dan dapat membahayakan.	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
		F <sup>-</sup>
		Hg
		Pb
		Cu
		Zn
		Ni
J		
As		

Logam berat biasanya ditemukan sangat sedikit sekali dalam air secara alamiah, yaitu kurang dari 1 mg/l. Bila terjadi erosi alamiah, konsentrasi logam tersebut dapat meningkat. Banyak logam berat baik yang bersifat toksik maupun esensial terlarut dalam air dan mencemari air tawar maupun air laut. Sumber pencemaran ini banyak berasal dari pertambangan, peleburan logam, dan jenis industri lainnya, dan dapat juga berasal dari lahan pertanian yang menggunakan pupuk atau anti hama yang mengandung logam (Darmono, 2001).



Gambar 2.4. Sumber Logam Berat di Lingkungan (Sidhu, 2016)

### B.3.3 Pencemaran Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai densitas  $> 5 \text{ g/cm}^3$  dalam air laut, logam berat terdapat dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Dalam kondisi alami ini, logam berat dibutuhkan oleh organisme untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya. Peningkatan kadar logam berat dalam air sungai umumnya disebabkan oleh masuknya limbah industri, pertambangan, pertanian dan domestik yang banyak mengandung logam berat. Peningkatan kadar logam berat dalam air akan mengakibatkan logam berat yang semula dibutuhkan untuk berbagai proses metabolisme akan berubah menjadi racun bagi organisme akuatik. Logam berat jika sudah terserap ke dalam tubuh maka tidak dapat

dihancurkan tetapi akan tetap tinggal di dalamnya hingga nantinya dibuang melalui proses ekskresi (Satmoko, 2018).

Hal serupa juga terjadi apabila suatu lingkungan terutama di perairan telah terkontaminasi (tercemar) logam berat maka proses pembersihannya akan sulit sekali dilakukan. Kontaminasi logam berat ini dapat berasal dari faktor alam seperti kegiatan gunung berapi dan kebakaran hutan atau faktor manusia seperti pembakaran minyak bumi, pertambangan, peleburan, proses industri, kegiatan pertanian, peternakan dan kehutanan, serta limbah buangan termasuk sampah rumah tangga. Selain bersifat racun, logam berat juga terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi oleh biota laut. Logam-logam berat yang masuk ke dalam tubuh hewan umumnya tidak dikeluarkan lagi dari tubuh mereka. Karena itu logam-logam cenderung untuk menumpuk dalam tubuh mereka. Sebagai akibatnya, logam-logam ini akan terus ada di sepanjang rantai makanan. Hal ini disebabkan karena predator pada satu trofik level makan mangsa mereka dari trofik level yang lebih rendah yang telah tercemar (Satmoko, 2018).

#### **B.3.4 Efek Toksik Logam Berat**

Banyak logam yang menjadi perhatian toksikologi saat ini yang relatif baru ditemukan. Misalnya, kadmium pertama kali dikenali pada awal tahun 1800-an, dan itu jauh kemudian sebelum logam digunakan secara luas. Pentingnya toksikologis dari beberapa logam bekas yang jarang atau

jarang telah meningkat dengan aplikasi baru, seperti kemoterapi dan mikroelektronika, atau teknologi baru lainnya. Secara historis, toksikologi logam biasanya berkaitan dengan efek dosis tinggi yang akut atau terang-terangan, seperti kolik perut akibat timbal atau diare berdarah dan uropenia setelah paparan merkuri. Karena kemajuan dalam pemahaman kita tentang potensi racun logam, dan peningkatan yang menyertai dalam kebersihan industri dan standar lingkungan yang lebih ketat, efek logam dosis tinggi yang akut sekarang sangat jarang terjadi di dunia Barat. Toksikologi logam telah mengalihkan fokus ke efek dosis rendah yang lebih halus, kronis, di mana hubungan sebab-akibat mungkin tidak segera jelas. Ini mungkin termasuk tingkat efek yang menyebabkan perubahan dalam indeks penting, tetapi sangat kompleks dari kinerja individu yang terpengaruh, seperti IQ yang lebih rendah dari yang diharapkan karena paparan timbal pada masa kanak-kanak. Efek toksik kronis penting lainnya termasuk karsinogenesis, dan beberapa logam telah muncul sebagai karsinogen bagi manusia. Pada manusia, menentukan agen yang bertanggung jawab untuk efek toksikologi seperti itu seringkali sulit, terutama bila penyakit titik akhir mungkin memiliki etiologi kompleks yang disebabkan oleh sejumlah bahan kimia berbeda atau bahkan kombinasi bahan kimia. Selain itu, manusia tidak pernah terpapar hanya pada satu logam, melainkan pada campuran yang kompleks (Widowati, Wahyu, 2008).

Mekanisme toksisitas logam berat di dalam tubuh organisme dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu: logam berat dapat memblokir dan menghalangi kerja gugus biomolekul yang esensial untuk proses-proses metabolisme, logam berat dapat menggantikan ion-ion logam esensial yang terdapat dalam molekul terkait, logam berat dapat mengadakan modifikasi atau perubahan bentuk dari gugus-gugus aktif yang dimiliki biomolekul. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi toksisitas logam berat adalah: tingkat dan lamanya Pemaparan. Telah diketahui bahwa logam berat mempunyai sifat bioakumulatif dan biomagnifikasi. Dengan demikian, semakin tinggi dan lama tingkat pemaparan logam berat maka akan semakin tinggi pula konsentrasi logam berat di dalam tubuh organisme termasuk manusia dan efek toksiknya pun akan semakin besar. Bentuk Kimia Bentuk kimia logam berat dapat mempengaruhi toksisitas logam berat tersebut (Subardi, 2017).

### **C. Penginderaan Jauh**

Kegiatan survey, pemetaan dan pemodelan untuk pengelolaan lingkungan, sumber daya dan wilayah, dewasa ini sudah tidak dapat dilepaskan dari dua macam teknologi, yaitu penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. Penginderaan jauh merupakan suatu ilmu dan seni dalam memperoleh informasi mengenai suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan alat tanpa suatu kontak langsung (Lillesand *et al.*, 2008).

Sistem Informasi Geografis yang selanjutnya disingkat dengan SIG merupakan suatu sistem berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, menganalisis, dan mengaktifkan atau memanggil kembali data yang mempunyai referensi keruangan, untuk berbagai tujuan yang berkaitan dengan pemetaan dan perencanaan. Kedua macam teknologi tersebut sangat bermanfaat dalam pengelolaan informasi keruangan mengenai kondisi permukaan bumi. Oleh karena itu, pada perkembangan selanjutnya, teknologi tersebut cenderung diintegrasikan demi peningkatan efisiensi perolehan serta akurasi hasil pemetaannya, sebagai masukan dalam proses perencanaan dan pengelolaan wilayah.

Identifikasi sebaran nikel laterit melalui teknologi penginderaan jauh dalam dilakukan dengan pendekatan alterasi, yaitu dengan memetakan mineral permukaan hasil lapukan batuan ultramafik pada lapisan limonite, antara lain mineral goethite, hematite dan chlorite. Metode yang digunakan untuk mendeteksi mineral tersebut yaitu *Defoliant Technique* atau *Directed Principal Component (DPC)*. Pemilihan metode tersebut didasarkan pada karakteristik wilayah tropis yang bervegetasi rapat, sehingga menjadi hambatan tersendiri dalam mendeteksi deposit mineral. Untuk itu metode yang mampu meminimalisir pengaruh vegetasi, seperti *Defoliant Technique* sangat cocok untuk digunakan (Carranza, 2003; Rojas, 2003).

*Defoliant Technique* pada dasarnya adalah teknik penajaman yang dilakukan dengan menggabungkan dua rasio saluran (Carranza, 2002;

Fraser dan Green, 1987 dalam Rojas, 2003), adapun hasil dari proses ini adalah sebaran mineral permukaan yang digambarkan dalam citra skala keabuan (grayscale). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *Defoliant Technique* mampu mengidentifikasi keberadaan alterasi hidrothermal di daerah bervegetasi, seperti yang dilakukan oleh Carranza dan Hale pada tahun 2001 di wilayah Baugio, Filipina. Kemudian untuk menguji tingkat akurasi, hasil pencitraan akan diverifikasi dengan data titik bor.

Satelit landsat merupakan salah satu satelit sumber daya yang menghasilkan citra multispectral. Satelit ini milik Amerika Serikat yang diluncurkan pada tahun 1972 dan paling akhir landsat 8, diluncurkan pada 13 Februari 2013. Citra Landsat OLI/TIRS merupakan salah satu jenis citra satelit penginderaan jauh yang dihasilkan dari sistem penginderaan jauh pasif. Pada Landsat 8, terdapat 11 saluran dimana tiap saluran menggunakan panjang gelombang tertentu. Satelit landsat merupakan satelit dengan jenis orbit sunsynchron. Mengorbit bumi dengan hampir melewati kutub, memotong arah rotasi bumi dengan sudut inklinasi 98,2 derajat dan ketinggian orbitnya 705 km dari permukaan bumi. Seperti dipublikasikan oleh USGS, satelit landsat 8 terbang dengan ketinggian 705 km dan memiliki area 185 km x 185 km dengan resolusi spasial 30x30 meter. Satelit landsat 8 memiliki sensor Onboard Operational Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS) dengan jumlah kanal sebanyak 11 buah. Diantara kanal-kanal tersebut, 9 kanal (band 1-9) berada pada OLI dan 2 lainnya (band 10 dan 11) pada TIRS. Untuk sensor OLI yang

dibuat oleh Ball Aerospace, terdapat 2 band yang baru terdapat pada satelit Program Landsat yaitu Deep Blue Coastal/Aerosol Band (0.433–0.453 mikrometer) untuk deteksi wilayah pesisir serta Shortwave- InfraRed Cirrus Band (1.360–1.390 mikrometer) untuk deteksi awan cirrus. Sedangkan sisa 7 band lainnya merupakan band yang sebelumnya juga telah terdapat pada sensor satelit Landsat generasi sebelumnya. Dan untuk lebih detailnya, berikut ini daftar 9 band yang terdapat pada Sensor OLI :

Tabel 2.2. Daftar 9 Band Pada Sensor OLI

<b>Band Spektral</b>	<b>Panjang Gelombang</b>	<b>Resolusi Spasial</b>
Band 1 – Coastal / Aerosol	0.433 – 0.453 mikrometer	30 meter
Band 2 – Blue	0.450 – 0.515 mikrometer	30 meter
Band 3 – Green	0.525 – 0.600 mikrometer	30 meter
Band 4 – Red	0.630 – 0.680 mikrometer	30 meter
Band 5 – Near Infrared	0.845 – 0.885 mikrometer	30 meter
Band 6 – Short Wavelength Infrared	1.560 – 1.660 mikrometer	30 meter
Band 7 – Short Wavelength Infrared	2.100 – 2.300 mikrometer	30 meter
Band 8 – Panchromatic	0.500 – 0.680 mikrometer	15 meter
Band 9 – Cirrus	1.360 – 1.390 mikrometer	30 meter

Sedangkan untuk sensor TIRS yang dibuat oleh NASA Goddard Space Flight Center, akan terdapat dua band pada region thermal yang mempunyai resolusi spasial 100 meter.



Tabel 2.3. Daftar 9 Band Pada Sensor OLI

<b>Band Spektral</b>	<b>Panjang Gelombang</b>	<b>Resolusi Spasial</b>
Band 10 – Short Wavelength Infrared	10.30 – 11.30 mikrometer	100 meter
Band 11 – Short Wavelength Infrared	11.50 – 12.50 mikrometer	100 meter

Dibandingkan versi-versi sebelumnya, landsat 8 memiliki beberapa keunggulan khususnya terkait spesifikasi band-band yang dimiliki maupun panjang rentang spektrum gelombang elektromagnetik yang ditangkap. Sebagaimana telah diketahui, warna objek pada citra tersusun atas 3 warna dasar, yaitu Red, Green dan Blue (RGB). Dengan makin banyaknya band sebagai penyusun RGB komposit, maka warna-warna obyek menjadi lebih bervariasi. Ada beberapa spesifikasi baru yang terpasang pada band landsat ini khususnya pada band 1, 9, 10, dan 11. Band 1 (ultra blue) dapat menangkap panjang gelombang elektromagnetik lebih rendah dari pada band yang sama pada landsat 7, sehingga lebih sensitif terhadap perbedaan reflektan air laut atau aerosol. Band ini unggul dalam membedakan konsentrasi aerosol di atmosfer dan mengidentifikasi karakteristik tampilan air laut pada kedalaman berbeda.

Deteksi terhadap awan cirrus juga lebih baik dengan dipasangnya kanal 9 pada sensor OLI, sedangkan band thermal (kanal 10 dan 11) sangat bermanfaat untuk mendeteksi perbedaan suhu permukaan bumi dengan resolusi spasial 100 m. Pemanfaatan sensor ini dapat membedakan bagian permukaan bumi yang memiliki suhu lebih panas

dibandingkan area sekitarnya. Pengujian telah dilakukan untuk melihat tampilan kawah puncak gunung berapi, dimana kawah yang suhunya lebih panas, pada citra landsat 8 terlihat lebih terang dari pada area-area sekitarnya.

Sebelumnya kita mengenal tingkat keabuan (Digital Number-DN) pada citra landsat berkisar antara 0-256. Dengan hadirnya landsat 8, nilai DN memiliki interval yang lebih panjang, yaitu 0-4096. Kelebihan ini merupakan akibat dari peningkatan sensitifitas landsat dari yang semula tiap piksel memiliki kuantifikasi 8 bit, sekarang telah ditingkatkan menjadi 12 bit. Tentu saja peningkatan ini akan lebih membedakan tampilan obyek-obyek di permukaan bumi sehingga mengurangi terjadinya kesalahan interpretasi. Tampilan citra pun menjadi lebih halus, baik pada band multispektral maupun pankromatik.

Terkait resolusi spasial, landsat 8 memiliki kanal-kanal dengan resolusi tingkat menengah, setara dengan kanal-kanal pada landsat 5 dan 7. Umumnya kanal pada OLI memiliki resolusi 30 m, kecuali untuk pankromatik 15 m. Dengan demikian produk-produk citra yang dihasilkan oleh landsat 5 dan 7 pada beberapa dekade masih relevan bagi studi data time series terhadap landsat 8.

Kelebihan lainnya tentu saja adalah akses data yang terbuka dan gratis. Meskipun resolusi yang dimiliki tidak setinggi citra berbayar seperti Ikonos, Geo Eye atau Quick Bird, namun resolusi 30 m dan piksel 12 bit akan memberikan begitu banyak informasi berharga bagi para pengguna.

Terlebih lagi, produk citra ini bersifat time series tanpa striping (kelemahan landsat 7 setelah tahun 2003). Dengan memanfaatkan citra-citra keluaran versi sebelumnya, tentunya akan lebih banyak lagi informasi yang dapat tergali. (Jundri, 2016)

#### **D. AAS (Atomic Absorption Spectroscopy)**

Spektrometri serapan atom (AAS) adalah teknik analisis yang mengukur konsentrasi unsur. Penyerapan atom sangat sensitif sehingga dapat mengukur hingga bagian per miliar gram ( $\mu\text{g dm}^{-3}$ ) dalam sebuah sampel. Tekniknya memanfaatkan panjang gelombang cahaya yang secara khusus diserap oleh suatu unsur. Mereka sesuai dengan energi yang dibutuhkan untuk mempromosikan elektron dari satu tingkat energi ke tingkat energi lain yang lebih tinggi. (Siemer, 2018)

Spektrometri serapan atom memiliki banyak kegunaan di berbagai bidang kimia. Analisis klinis. Menganalisis logam dalam cairan biologis seperti darah dan urin. Analisa lingkungan misalnya mengetahui kadar berbagai unsur di sungai, air laut, air minum, udara, bensin, dan minuman seperti anggur, bir, dan minuman buah. Dalam beberapa proses manufaktur farmasi, sejumlah kecil katalis yang digunakan dalam proses (biasanya logam) terkadang ada dalam produk akhir. Dengan menggunakan AAS jumlah katalis yang ada dapat ditentukan. Industri. Banyak bahan mentah diperiksa dan AAS digunakan secara luas untuk memeriksa bahwa unsur-unsur utama ada dan bahwa pengotor beracun

lebih rendah dari yang ditentukan – misalnya dalam beton, di mana kalsium merupakan konstituen utama, kadar timbal harus rendah karena beracun. Dalam bidang pertambangan, dengan menggunakan AAS jumlah logam seperti emas dalam batuan dapat ditentukan untuk melihat apakah batuan tersebut layak ditambang untuk mengekstrak emas. (Siemer, 2018)

Spektrofotometri adalah metode untuk mengukur seberapa banyak zat kimia menyerap cahaya dengan mengukur intensitas cahaya ketika seberkas cahaya melewati larutan sampel. Prinsip dasarnya adalah bahwa setiap senyawa menyerap atau mentransmisikan cahaya pada rentang panjang gelombang tertentu. Pengukuran ini juga dapat digunakan untuk mengukur jumlah zat kimia yang dikenal. Spektrofotometri adalah salah satu metode analisis kuantitatif dan kualitatif yang paling berguna di berbagai bidang seperti kimia, fisika, biokimia, teknik material dan kimia serta aplikasi klinis.

Setiap senyawa kimia menyerap, mentransmisikan, atau memantulkan cahaya (radiasi elektromagnetik) pada rentang panjang gelombang tertentu. Spectrophotometry adalah pengukuran seberapa banyak zat kimia menyerap atau mentransmisikan. Spektrofotometri banyak digunakan untuk analisis kuantitatif di berbagai bidang Kimia, fisika, biologi, biokimia, teknik bahan dan kimia, aplikasi klinis, aplikasi industry. Aplikasi apa pun yang berhubungan dengan bahan atau bahan kimia dapat menggunakan teknik ini. Dalam biokimia, misalnya, digunakan

untuk menentukan reaksi yang dikatalisis oleh enzim. Dalam aplikasi klinis, digunakan untuk memeriksa darah atau jaringan untuk diagnosis klinis. Ada juga beberapa variasi spektrofotometri seperti spektrofotometri serapan atom dan spektrofotometri emisi atom. Dalam spektrofotometri yang terlihat, penyerapan (absorbansi) atau transmisi zat tertentu dapat ditentukan oleh warna yang diamati. Misalnya, sampel larutan yang menyerap cahaya pada semua rentang yang terlihat tidak mentransmisikan panjang gelombang yang terlihat tampak hitam dalam teori. Di sisi lain, jika semua panjang gelombang yang terlihat ditransmisikan sampel larutan tampak berwarna putih. Jika sampel larutan menyerap lampu merah (~ 700 nm), itu tampak hijau karena hijau adalah warna komplementer dari merah. (Rizky, 2019)