

**DISTRIBUSI KUANTITATIF LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN BESI (Fe)
DALAM AIR LAUT, SEDIMEN, MANGROVE *Avicennia marina* DAN
Rhizophora apiculata DI SEKITAR KAWASAN HUTAN MANGROVE
LANTEBUNG KECAMATAN TAMALANREA KOTA MAKASSAR**



SITI NUR ALYFAH LUTFI

H031201046



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**DISTRIBUSI KUANTITATIF LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN BESI (Fe)
DALAM AIR LAUT, SEDIMEN, MANGROVE *Avicennia marina* DAN
Rhizophora apiculata DI SEKITAR KAWASAN HUTAN MANGROVE
LANTEBUNG KECAMATAN TAMALANREA KOTA MAKASSAR**

**SITI NUR ALYFAH LUTFI
H031201046**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**DISTRIBUSI KUANTITATIF LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN BESI (Fe)
DALAM AIR LAUT, SEDIMEN, MANGROVE *Avicennia marina* DAN
Rhizophora apiculata DI SEKITAR KAWASAN HUTAN MANGROVE
LANTEBUNG KECAMATAN TAMALANREA KOTA MAKASSAR**

SITI NUR ALYFAH LUTFI

H031201046

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Kimia

pada

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

DISTRIBUSI KUANTITATIF LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN BESI (Fe) DALAM AIR LAUT, SEDIMEN, MANGROVE *Avicennia marina* DAN *Rhizophora apiculata* DI SEKITAR KAWASAN HUTAN MANGROVE LANTEBUNG KECAMATAN TAMALANREA KOTA MAKASSAR

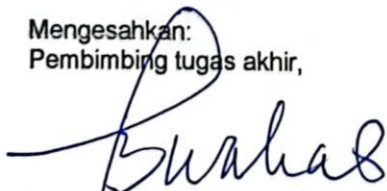
SITI NUR ALYFAH LUTFI
H031201046

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Kimia pada 05 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Kimia
Departemen Kimia
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,



Prof. Dr. Abdul Wahid Wahab, M.Sc
NIP. 19490827 197602 1 001

Mengetahui:
Ketua Program Studi,



Dr. St. Fauziah, M.Si
NIP. 19720202 199903 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Distribusi Kuantitatif Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) dalam Air Laut, Sedimen, Mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* di Sekitar Kawasan Hutan Mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 05 Agustus 2024



Siti Nur Alyfah Lutfi
H031201046

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkah, rahmat, dan karunia-Nya yang telah memberikan ilmu pengetahuan, kekuatan, kesabaran, dan kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Distribusi Kuantitatif Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) dalam Air Laut, Sedimen, Mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* di Sekitar Kawasan Hutan Mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea Kota Makassar**” sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta para sahabat yang telah memberikan jalan terang bagi ummatnya. Sesungguhnya, penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, penyelesaian skripsi ini tidak akan terwujud. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orangtua tercinta, Ayahanda **Muhammad Lutfi** dan Ibunda **Muniati** yang tidak henti-hentinya memberikan kasih sayang, merawat, mendidik, mendukung, dan mendoakan dalam setiap langkah, serta selalu berjuang mengupayakan yang terbaik untuk kehidupan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang pendidikan perguruan tinggi tanpa kekurangan sesuatu apapun dan juga segenap keluarga yang senantiasa melimpahkan doa dan dukungannya kepada penulis.
2. Ayahanda **Prof. Dr. Abdul Wahid Wahab, M.Sc** selaku pembimbing utama yang selalu meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, nasihat serta memotivasi penulis dalam penyusunan skripsi.
3. Ayahanda **Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si** dan Ibunda **Dr. Nur Umriani Permatasari, S.Si, M.Si** selaku dosen penguji atas segala diskusi dan saran yang telah diberikan demi perbaikan skripsi ini.
4. Ibunda **Dr. St. Fauziah, M.Si** selaku ketua departemen kimia dan seluruh dosen departemen kimia yang telah memberikan banyak ilmu, bantuan, dan dukungan kepada penulis selama menuntut ilmu di Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh kepala laboratorium dan seluruh analis di Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin atas segala fasilitas dan bantuan yang telah diberikan, terkhusus **Kak Fibiyantri, M.Si** selaku analis laboratorium kimia analitik atas segala bimbingan, bantuan dan motivasi kepada penulis selama penelitian.
6. Seluruh staf pegawai fakultas MIPA terkhusus departemen kimia yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman peneliti analitik **Mude, Yurni, Qalbi, Harwan, Jummi, Dea, Satrina, Niksi, Rachel, Titi, dan Awin**, terutama rekan penelitian yang sangat penulis banggakan **Nurtarisha A.** dan **Nur Insana** atas kerjasama, diskusi, bantuan, dan motivasi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

8. Saudara berbeda ibu, **Susi Safitri** yang selama ini menjadi teman berjuang bersama dari maba hingga sekarang dan menjadi tempat untuk berkeluh kesah.
9. **SIMERA**, Shafa, Ica, Muhik, Etta, dan Rema yang sudah menemani perjalanan penulis dari sekolah menengah pertama hingga sekarang.
10. Senior terbaik, **Kak Ahmad Biadi** yang senantiasa kebersamai, mendukung, dan membimbing penulis dari maba hingga penulis mendapatkan gelar sarjana.
11. MIPA 2020, HMK FMIPA, terkhusus teman-teman **ISOMER 2020** sekaligus menjadi keluarga kedua bagi penulis, yang telah memberikan banyak kenangan, pengalaman, pembelajaran, bantuan, dan dukungan selama masa perkuliahan.
12. Siti Nur Alyfah Lutfi, terima kasih sudah menepikan ego, melawan rasa takut, dan terus berusaha kuat. Kamu sangat berharga, teruslah berjuang tanpa ada rasa dendam untuk siapapun. Penulis berjanji, kamu akan baik-baik saja setelah ini.
13. Pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan secara langsung ataupun tidak langsung, yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu atas segala kebaikan yang telah diberikan, penulis ucapkan banyak terima kasih. Semoga menjadi amal baik dan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT.
14. Terakhir, kepada sosok yang belum diketahui namanya namun sudah tertulis di lauhul mahfudz. Terima kasih sudah menjadi sumber motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu upaya memantaskan diri.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaannya. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan para pembaca, aamiin.

Makassar, Juli 2024

Penulis

ABSTRAK

SITI NUR ALYFAH LUTFI. **Distribusi kuantitatif logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* di sekitar kawasan hutan mangrove lantebung kecamatan Tamalanrea kota Makassar** (dibimbing oleh Abdul Wahid Wahab).

Latar Belakang. Mangrove merupakan salah satu organisme perairan yang dapat mengakumulasi logam berat dalam perairan maupun sedimen melalui penyerapan pada bagian akar kemudian ditranslokasikan ke jaringan tumbuhan lain. **Tujuan.** Menentukan kadar dan distribusi logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) yang terkandung pada air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* di sekitar kawasan hutan mangrove lantebung. **Metode.** Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap, yakni: 1) pengambilan sampel; 2) destruksi sampel dengan penambahan asam; dan 3) analisis kadar logam Pb dan Fe menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. **Hasil.** Konsentrasi Pb pada air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* secara berturut-turut yaitu 0,177-0,205 mg/L, 18,529-24,123 mg/kg berat kering, 20,55-25,12 mg/kg berat kering, dan 16,29-28,89 mg/kg. Konsentrasi logam Fe pada air laut, sedimen, *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* berturut-turut yaitu 13,99-32,41 mg/L, 770,14-1.042,97 mg/kg berat kering, 728,79-1.226,58 mg/kg berat kering, dan 986,45-1.332,34 mg/kg berat kering. **Kesimpulan.** Distribusi logam berat Pb di sekitar kawasan hutan mangrove lantebung paling banyak terdapat pada *Avicennia marina*, kemudian sedimen, diikuti *Rhizophora apiculata*, dan paling sedikit terdapat pada air laut, sedangkan untuk logam Fe paling banyak terdapat pada *Rhizophora apiculata*, sedimen, kemudian *Avicennia marina*, dan paling sedikit pada air laut.

Kata kunci: bioakumulasi; mangrove lantebung; persebaran logam; SSA

ABSTRACT

SITI NUR ALYFAH LUTFI. **Quantitative distribution of heavy metals lead (Pb) and iron (Fe) in seawater, sediment, mangrove *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata* around the mangrove forest area of lantebung Tamalanrea district Makassar city** (supervised by Abdul Wahid Wahab).

Background. Mangroves are aquatic organisms capable of accumulating heavy metals from water and sediment through absorption in their roots and translocation to other plant tissues. **Objective.** To determine the concentration and distribution of heavy metals lead (Pb) and iron (Fe) in seawater, sediment, *Avicennia marina*, and *Rhizophora apiculata* mangroves around the Lantebung mangrove forest area. **Methods.** This study was conducted in three phases: 1) sampling; 2) sample digestion with acid addition; and 3) analysis of Pb and Fe metal concentrations using Atomic Absorption Spectrophotometry. **Results.** The study revealed that the concentrations of Pb in seawater, sediment, *Avicennia marina*, and *Rhizophora apiculata* mangroves were respectively 0.177-0.205 mg/L, 18.529-24.123 mg/kg dry weight, 20.55-25.12 mg/kg dry weight, and 16.29-28.89 mg/kg. The concentrations of Fe in seawater, sediment, *Avicennia marina*, and *Rhizophora apiculata* mangroves were respectively 13.99-32.41 mg/L, 770.14-1,042.97 mg/kg dry weight, 728.79-1,226.58 mg/kg dry weight, and 986.45-1,332.34 mg/kg dry weight. **Conclusion.** The distribution of Pb around the Lantebung mangrove forest area is highest in *Avicennia marina* mangroves, followed by sediment, *Rhizophora apiculata*, and least in seawater. For Fe, the highest concentrations were found in *Rhizophora apiculata* mangroves, sediment, *Avicennia marina*, and least in seawater.

Keywords: bioaccumulation; lantebung mangrove; metal distribution; SSA

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL/SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori	3
1.2.1 Logam Berat	3
1.2.2 Timbal (Pb)	4
1.2.3 Besi (Fe)	4
1.2.4 Bioakumulasi Logam Berat	5
1.2.5 Mangrove	5
1.2.6 Sedimen	8
1.3 Rumusan Masalah	8
1.4 Tujuan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II METODE PENELITIAN	10
2.1 Bahan Penelitian	10
2.2 Alat Penelitian	10
2.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	10
2.4 Penentuan Titik Pengambilan Sampel	10
2.5 Prosedur Penelitian	10
2.5.1 Pengambilan Sampel	10
2.5.2 Penentuan Kadar Air	11
2.5.3 Preparasi Sampel	11
2.5.4 Pembuatan Larutan Standar Pb	12
2.5.5 Pembuatan Larutan Standar Fe	12

2.5.6 Pembuatan Larutan Blanko	13
2.5.7 Analisis Pb dan Fe dengan SSA	13
2.5.8 Mekanisme Fitoakumulasi Logam Berat	13
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	14
3.1 Parameter Kualitas Perairan di Sekitar Kawasan Mangrove Lantebung	14
3.2 Kadar Air pada Sedimen dan Mangrove	15
3.3 Konsentrasi Logam Berat Pb dan Fe dalam Air Laut	16
3.4 Konsentrasi Logam Berat Pb dan Fe dalam Sedimen	17
3.5 Konsentrasi Logam Berat dalam Mangrove	18
3.5.1 Konsentrasi Logam Berat Pb dalam Mangrove	18
3.5.2 Konsentrasi Logam Berat Fe dalam Mangrove	20
3.6 Distribusi Logam Berat Pb dan Fe dalam Air Laut, Sedimen, Mangrove	22
3.7 Mekanisme Fitoakumulasi pada Mangrove	25
BAB IV KESIMPULAN	27
4.1 Kesimpulan	27
4.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	37

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Hasil pengukuran kondisi <i>in-situ</i> di sekitar kawasan hutan mangrove ...	14
2. Kadar air pada sedimen, akar, batang, dan daun mangrove	16
3. Konsentrasi logam berat Pb dan Fe dalam air laut	16
4. Konsentrasi logam berat Pb dan Fe dalam sedimen	17
5. Konsentrasi logam berat Pb dalam mangrove <i>Avicennia marina</i> dan <i>Rhizophora apiculata</i>	18
6. Konsentrasi logam berat Fe dalam mangrove <i>Avicennia marina</i> dan <i>Rhizophora apiculata</i>	20
7. Nilai BCF dan TF mangrove terhadap logam Pb dan Fe	25

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Tumbuhan mangrove <i>Avicennia marina</i>	6
2. Tumbuhan mangrove <i>Rhizophora apiculata</i>	7
3. Reaksi logam Pb dengan fitokelatin	19
4. Reaksi logam Fe dengan fitokelatin	21
5. Distribusi logam berat Pb dalam air laut, sedimen, dan mangrove	22
6. Distribusi logam berat Fe dalam air laut, sedimen, dan mangrove	23

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel	37
2. Skema Kerja Penelitian	38
3. Bagan Kerja	39
4. Perhitungan	45
5. Pengolahan Data	56
6. <i>Bioconcentration Factors</i> (BCF) dan <i>Translocation Factors</i> (TF)	70
7. Dokumentasi	74

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/singkatan	Arti dan Penjelasan
AM	<i>Avicennia marina</i>
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>
BPS	Badan Pusat Statistik
BTNS	Balai Taman Nasional Siberut
Fe	Besi
g	gram
L	liter
mg	miligram
mL	mililiter
Pb	Timbal
PP	Peraturan Pemerintah
ppm	<i>Part Per Million</i>
RA	<i>Rhizophora apiculata</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
SSA	Spektrofotometer Serapan Atom

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia menjadi negara yang memiliki banyak potensi untuk dikembangkan menjadi industri pariwisata, terlebih wilayah pesisir Indonesia. Makassar merupakan salah satu kota di Indonesia dengan konsentrasi penduduk terpadat di wilayah pesisir dengan luas wilayah 175,77 km² dan jumlah penduduk mencapai 1.436.626 jiwa. Secara astronomis, Kota Makassar terletak antara 119^o24'17'38" BT dan 5^o08'06'19" LS. Kota Makassar berbatasan langsung dengan Kabupaten Maros di sebelah utara dan timur, Kabupaten Gowa di sebelah selatan, dan Selat Makassar berada di sebelah barat. Secara administrasi, Kota Makassar dibagi menjadi 15 kecamatan dengan 153 kelurahan. Terdapat 7 kecamatan yang berbatasan langsung dengan pantai, yaitu Kecamatan Tamalate, Kecamatan Mariso, Kecamatan Ujung Tanah, Kecamatan Wajo, Kecamatan Tallo, Kecamatan Biringkanaya, dan Kecamatan Tamalanrea (BPS, 2023).

Sebagai wilayah pesisir, Kecamatan Tamalanrea menjadi kawasan yang strategis karena memiliki topografi yang relatif mudah untuk dikembangkan dan kaya akan sumber daya alam. Salah satu potensi yang dimiliki Kecamatan Tamalanrea yaitu potensi ekowisata tumbuhan mangrove. Ekosistem mangrove ini terletak di Jalan Lantebung, Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea dengan luas kawasan hutan mangrove sekitar 25 Ha (Nurdin et al., 2021). Kawasan hutan mangrove Lantebung merupakan sisa jalur hijau yang kini ditetapkan sebagai kawasan konservasi dan perlindungan ekosistem pesisir berupa kawasan mangrove. Sejak tahun 2010 pemerintah Kota Makassar dan masyarakat telah melakukan penanaman mangrove di sepanjang pesisir Lantebung, sehingga banyak anakan mangrove ditemukan di bagian bibir pantai (Rini et al., 2018).

Mangrove sebagai komunitas tumbuhan tropis yang khas yang menempati zona pasang surut antara laut dan darat. Mangrove memberikan manfaat ekologi yang penting sebagai tempat pemijahan (*spawning grounds*), tempat pengasuhan (*nursery grounds*) dan tempat mencari makan berbagai jenis ikan, udang, kepiting dan biota laut lainnya. Mangrove juga berfungsi sebagai penghalang badai seperti gelombang tinggi, angin topan dan tsunami. Keberadaan ekosistem mangrove dapat dimanfaatkan masyarakat pesisir untuk menangkap biota laut atau dimanfaatkan sebagai objek wisata alam (Rodiana et al., 2019). Namun, kawasan ekowisata mangrove yang disertai dengan berbagai aktivitas masyarakat sekitar dapat menyebabkan Lantebung menjadi wilayah yang mudah terkena dampak aktivitas manusia. Aktivitas manusia seringkali menghasilkan limbah yang menimbulkan pencemaran terhadap wilayah pesisir, antara lain kegiatan pertanian, penangkapan ikan, aktivitas pelabuhan, pemukiman, dan industri. Berkembangnya sektor industri, memberikan dampak positif maupun dampak negatif. Dampak positifnya berupa perluasan lapangan pekerjaan dan peningkatan pendapatan penduduk, sedangkan dampak negatif yang ditimbulkan yaitu meningkatnya perubahan penggunaan lahan

yang tidak sesuai dengan kaidah ekologi, pertumbuhan penduduk tinggi, dan terjadi pencemaran pada wilayah perairan akibat pembuangan air limbah yang melampaui ambang batas (Setiawan, 2014).

Pencemaran perairan atau laut diartikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan laut tidak sesuai lagi dengan baku mutu atau fungsinya (PP. No 19, 1999). Salah satu logam berat yang dapat mencemari perairan di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung adalah timbal (Pb) dan besi (Fe). Kandungan logam timbal (Pb) banyak digunakan dalam bidang industri, seperti industri kimia, percetakan, dan industri yang memproduksi logam, cat serta asap yang dihasilkan kendaraan bermotor (Kamarati et al., 2018). Timbal (Pb) dapat masuk ke badan perairan secara alamiah melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Logam Pb yang masuk ke dalam perairan sebagai dampak dari aktivitas manusia dapat membentuk air buangan atau limbah, dan selanjutnya akan mengalami pengendapan yang dikenal dengan istilah sedimen (Budiatuti et al., 2016).

Kandungan logam besi dalam air dapat berasal dari larutan batu-batuan yang mengandung senyawa Fe seperti pirit. Dalam buangan limbah industri, kandungan besi berasal dari korosi pipa-pipa air, material logam sebagai hasil elektro kimia yang terjadi pada perubahan air yang mengandung padatan larut mempunyai sifat menghantarkan listrik dan mempercepat terjadinya korosi (Ginting, 2007). Logam berat Fe merupakan logam berat esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebih dapat menimbulkan efek racun (Supriyanti dan Endrawati, 2015). Logam berat yang masuk ke perairan akan terlarut dalam air dan akan terakumulasi dalam sedimen dan dapat terus bertambah tergantung pada kondisi lingkungan perairan tersebut (Jaya, 2021). Logam berat yang masuk ke lingkungan perairan pada konsentrasi tertentu mampu dinetralkan oleh tumbuhan hiperakumulator, seperti mangrove. Tumbuhan mangrove mempunyai kemampuan untuk menyerap bahan-bahan organik dan non organik dari lingkungan ke dalam tubuh melalui membran sel. Mekanisme distribusi pencemaran logam berat pada mangrove dimulai dengan penyerapan logam oleh akar, baik yang berasal dari sedimen maupun air, kemudian translokasi ke bagian lain seperti batang, daun, buah dan kemudian penimbunan logam pada jaringan tertentu (Purwiyanto, 2013).

Penelitian mengenai konsentrasi dan bioakumulasi logam berat dalam jaringan pada beberapa jenis mangrove di Indonesia telah dilakukan, salah satunya oleh Testi et al. (2019), analisis kandungan logam berat Pb dalam akar dan daun *Avicennia marina* di Pesisir Timur Semarang menunjukkan kandungan logam berat dalam air (<0,00-0,01 mg/L), sedimen (<0,03-6,23 mg/kg), akar (0,20-0,31 mg/kg), daun muda (0,10-0,13 mg/kg), dan daun tua (0,10-0,15 mg/kg). Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kandungan logam berat di air diatas baku mutu (PP No.22, 2021) sebesar 0,008 mg/L dan sedimen di bawah baku mutu (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2005) sebesar 30,24 mg/kg. Selain itu, penelitian yang dilakukan Natsir et al. (2019), pada mangrove di Perairan Tulehu Provinsi Maluku

menunjukkan kandungan Pb pada sedimen lebih tinggi daripada di air. Sedangkan pada mangrove, kandungan Pb tertinggi ditemukan pada batang kemudian akar dan daun. Kandungan logam Pb pada akar (1,16-2,51 mg/kg), batang (2,01-4,29 mg/kg), daun (0,47-1,01 mg/kg). Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Khairuddin et al. (2018) di sekitar Teluk Bima menunjukkan bahwa kandungan timbal (Pb) pada daun mangrove *Sonneratia alba* berkisar dari 3,34-4,17 ppm, sedangkan pada akarnya berkisar 3,99-4,35 ppm. Kadar logam Pb pada daun *Rhizophora apiculata* berkisar dari 2,91-3,84 ppm, sementara pada akarnya berkisar dari 1,17-2,61 ppm.

Tingginya aktivitas di kawasan hutan mangrove Lantebung diduga menjadi penyumbang masuknya limbah berupa logam berat seperti Pb dan Fe yang dapat berasal dari buangan kapal nelayan yang menggunakan bahan bakar, penggunaan pipa-pipa pada area pertambakan, dan limbah rumah tangga masyarakat sekitar. Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian tentang kandungan logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) dengan sampel air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* dengan menggunakan instrumen SSA.

1.2 Teori

1.2.1 Logam Berat

Logam merupakan salah satu dari tiga kelompok unsur yang dibedakan oleh sifat ionisasi dan ikatan, bersama dengan metaloid dan non logam (Sumanto dan Maghfiroh, 2018). Logam memiliki sifat yang spesifik seperti mengkilap, dapat dileburkan dengan menggunakan panas dan listrik, tidak tembus pandang, dapat ditempa, dan dapat menjadi penghantar panas (Sembel, 2015). Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam yang lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan jika logam berat masuk ke dalam tubuh organisme hidup (Sudarwin, 2008). Logam berat adalah unsur yang memiliki massa jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 dan memiliki nomor atom 22 sampai 92 (Sumanto dan Maghfiroh, 2018).

Logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial adalah logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme, namun jika terdapat dalam jumlah berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat esensial yaitu seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe), kobalt (Co), mangan (Mn), dan sebagainya. Sedangkan, logam berat non esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan dapat bersifat racun. Contoh logam non esensial yaitu merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), krom (Cr), dan lain-lain (Irrhamni et al., 2017).

Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar perairan. Penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya karena logam berat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan (Rumoey et al., 2022). Bahan pencemar berupa logam berat yang masuk ke dalam perairan dapat menurunkan kualitas air dan memiliki efek buruk

pada biota laut karena adanya kemampuan biota laut dalam mengakumulasi logam berat. Kepadatannya yang lebih tinggi daripada air, menyebabkan logam berat dapat tenggelam ke dasar. Logam berat kemudian akan mengendap pada sedimen dan detritus (Wardana dan Kuntjoro, 2023). Logam berat yang mengendap di dasar dapat kembali ke badan perairan, kemudian tersebar ke segala arah karena adanya arus pasang surut dan gelombang (Selpiani et al., 2015).

1.2.2 Timbal (Pb)

Timbal atau biasa disebut logam *plumbum* (Pb), dalam keseharian lebih dikenal dengan nama lain timah hitam. Timbal adalah suatu logam berat berwarna abu-abu kebiruan mengkilat yang secara alami terdapat di kerak bumi. Pada sistem periodik unsur kimia, logam timbal terletak pada golongan IVA periode ke 6, memiliki nomor atom 82 dengan berat atom 207,20 g/mol, berat jenis sebesar 11,3 g/cm³, titik leleh 327 °C dan titik didih 1740 °C. Penyebaran logam Pb di seluruh lapisan bumi hanya sekitar 0,002% dari kerak bumi (ATSDR, 2020).

Di alam, logam timbal terdapat dalam bentuk senyawa sulfat (PbSO₄), karbonat (PbCO₃) dan sulfida (PbS). Biji timbal yang utama adalah galena yang mengandung PbS (Palar, 2004). Timbal secara alamiah terdapat pada kerak bumi dalam jumlah kecil pada batuan, penguapan lava, tanah dan tumbuhan (Widowati et al., 2008). Sumber utama pencemaran logam timbal (Pb) ke lingkungan khususnya udara yaitu kegiatan industri. Oleh karena sifat logam Pb yang tahan panas, tidak mudah korosi dan mudah dibentuk, timbal banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, contohnya dalam pembuatan baterai, produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa PVC, solder, bahan kimia dan pewarna (Adiwijayanti, 2015).

Secara alamiah, timbal dapat masuk ke perairan melalui pengkristalan timbal di udara dengan bantuan air hujan. Keberadaan logam timbal pada konsentrasi tertentu akan terakumulasi pada air, biota, serta sedimen pada perairan tersebut sehingga dapat menimbulkan efek toksik terhadap organisme yang berada di dalamnya. Konsentrasi timbal di atas ambang batas dapat mengganggu kelangsungan hidup organisme di perairan dan juga manusia (Sembel, 2015). Akumulasi logam timbal di dalam tubuh dapat menyebabkan terjadinya penghambatan kinerja enzim oleh ion-ion Pb²⁺. Enzim yang dihambat yaitu enzim yang dibutuhkan untuk pembentukan hemoglobin (Adhani dan Husaini, 2017).

1.2.3 Besi (Fe)

Besi merupakan logam berat dengan simbol Fe yang berwarna putih perak dan dihasilkan dari biji besi. Besi jarang sekali ditemukan dalam keadaan bebas, sehingga untuk mendapat unsur besi yang bebas harus dilakukan pemisahan dengan cara penguraian kimia (Botahala, 2019). Besi memiliki berat atom 56 g/mol dengan titik leleh 1.538 °C dan titik didih 2.861 °C (Widowati et al., 2008). Besi ditemukan dalam bentuk kation ferro (Fe²⁺) dan ferri (Fe³⁺) (Kiswanto et al., 2020).

Besi (Fe) termasuk dalam logam yang bersifat esensial pada hewan, manusia, dan tanaman. Besi memiliki peran sebagai mineral makro di kerak bumi, namun

dalam sistem biologi tubuh, besi (Fe) berperan sebagai mineral mikro (Wijayanti, 2017). Besi sebagai mineral mikro berperan dalam transfer oksigen oleh sel darah merah, memproduksi hemoglobin dan beberapa enzim (Mohammed et al., 2019). Logam Fe merupakan logam esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan efek racun. Tingginya kandungan logam Fe akan berdampak terhadap kesehatan manusia diantaranya bisa menyebabkan keracunan (muntah), kerusakan usus, penuaan dini hingga kematian mendadak, radang sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, sirosis ginjal, sembelit, diabetes, diare, pusing, mudah lelah, hepatitis, hipertensi, dan insomnia (Supriyantini dan Endrawati, 2015).

1.2.4 Bioakumulasi Logam Berat

Bioakumulasi merupakan fenomena terjadinya peningkatan konsentrasi logam berat dalam tubuh makhluk hidup sesuai piramida makanan. Logam berat dapat terakumulasi melalui rantai makanan, semakin tinggi tingkatan rantai makanan yang ditempati oleh suatu organisme, akumulasi logam berat di dalam tubuhnya juga semakin bertambah (Hananingtyas, 2017). Bioakumulasi sering menjadi ukuran pencemaran bagi suatu organisme dalam ekosistem tercemar karena logam tidak dapat dipecah dalam bentuk yang sederhana. Mengukur bioakumulasi logam sangat kompleks karena pengaruh interaksi logam dan spesies atau biota yang spesifik, serta pengaruh lingkungan dengan paparan (Louma dan Rainbow, 2008). Salah satu tumbuhan yang dapat digunakan sebagai akumulator logam berat terutama pada wilayah perairan adalah tumbuhan mangrove (Simbolon dan Purbonegoro, 2021).

Mangrove sebagai tempat hidup dan mencari makan bagi biota perairan tentu memiliki peran dalam mengontrol konsentrasi logam berat yang terakumulasi dalam jaringan tubuh biota perairan. Salah satu kemampuan mangrove dalam mengakumulasi logam berat ditunjukkan melalui nilai biokonsentrasi (BCF) dan translokasi faktor (TF) (Mahmiah et al., 2023). Akar mangrove memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat yang terdapat dalam kolom air karena akar mangrove terendam air pada saat kondisi pasang (Supriyantini dan Soenardjo, 2015).

1.2.5 Mangrove

Mangrove secara umum dapat didefinisikan sebagai tumbuhan yang tumbuh di wilayah pasang surut air laut. Mangrove merupakan tumbuhan halofilik yang memiliki kemampuan menangani perubahan salinitas tinggi dan hipoksia pada air laut (Mahmiah et al., 2021). Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004, mangrove adalah sekumpulan tumbuhan *Dicotyledoneae* dan/atau *Monocotyledoneae* terdiri atas jenis tumbuhan yang mempunyai hubungan taksonomi sampai dengan taksa kelas tetapi mempunyai persamaan adaptasi morfologi dan fisiologi terhadap habitat yang dipengaruhi oleh pasang surut. Ekosistem mangrove berupa hutan mangrove merupakan ekosistem hutan dengan faktor fisik yang ekstrem berupa habitat tergenang air dengan salinitas tinggi di pantai dan sungai dengan kondisi tanah berlumpur (Herianto dan Subiandono, 2016).

Mangrove merupakan suatu ekosistem yang terdiri dari mangrove mayor (mangrove sejati), mangrove minor dan mangrove asosiasi. Mangrove mayor merupakan mangrove sejati, yakni mangrove yang hanya dapat hidup di lingkungan hutan mangrove, mangrove juga mempunyai bentuk-bentuk adaptif khusus (akar nafas) dan mempunyai kemampuan dalam mengontrol garam. Mangrove minor merupakan mangrove yang tidak terlalu berperan dalam komunitas mangrove. Mangrove asosiasi (ikutan) yaitu komponen mangrove biasanya hidup bersama tumbuhan darat (Anggreana et al., 2021). Salah satu jenis mangrove yang masuk ke dalam kategori mangrove mayor adalah *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* sehingga kedua jenis mangrove tersebut hampir selalu ditemukan pada setiap ekosistem mangrove.

Masyarakat mengenal mangrove *Avicennia marina* sebagai api-api putih. Menurut Muzaki et al. (2019), klasifikasi mangrove *Avicennia marina* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Lamiales
Famili	: Acanthaceae
Genus	: <i>Avicennia</i>
Spesies	: <i>Avicennia marina</i>



Gambar 1. Tumbuhan mangrove *A. marina* (Arghifari, 2019)

Mangrove *A. marina* adalah salah satu spesies mangrove yang paling toleran terhadap garam, yang tersebar luas di sepanjang gradien salinitas dan kekeringan. *A. marina* terdiri dari tiga subspecies yang terdistribusi pada habitat dengan kondisi iklim yang bervariasi, yaitu subspecies *eucalyptifolia* di daerah tropis basah, subspecies *marina* di daerah tropis kering dan subspecies *australasica* di daerah beriklim sedang dengan curah hujan menengah (Li et al., 2016). *A. marina* memiliki jenis perakaran akar nafas, yaitu akar percabangan yang tumbuh dengan jarak teratur secara vertical dari akar horizontal yang terbenam di dalam tanah. Bentuk pohon dengan tinggi sekitar 2 m dan kadang-kadang mencapai 5 m, memiliki

akar napas yang berbentuk seperti pensil. Buah berbentuk bulir seperti mangga, ujung buah tumpul dan panjang 2 cm, daun berbentuk elips dengan ujung tumpul dan panjang daun sekitar 7 cm, lebar daun 3-4 cm, dan permukaan atas daun berwarna hijau mengkilat (Halidah, 2014).

Mangrove *Rhizophora* merupakan tanaman mangrove dengan perawakan pohon. Pada ekosistem mangrove di Indonesia sering dijumpai 3 (tiga) jenis *Rhizophora*, yaitu *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, dan *Rhizophora stylosa*. Jika sedang berbuah, perbedaan pada jenis spesies *Rhizophora* dapat dikenali dari jumlah bunga dalam rangkaian bunganya. Jika dalam rangkaian bunga terdapat hanya 2 bunga maka dapat dipastikan merupakan jenis *Rhizophora apiculata*, sedangkan jika dalam rangkaian bunga dijumpai 4-8 bunga jenis *Rhizophora mucronata*, sedangkan jika dalam rangkaian bunga dijumpai 9-16 bunga maka dari jenis *Rhizophora stylosa* (Sutoyo et al., 2020).



Gambar 2. Tumbuhan mangrove *R. apiculata* (Muzaki et al., 2019)

Menurut Hadi et al. (2016), klasifikasi tumbuhan mangrove *R. apiculata* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Myrtales
Famili	: Rhizophoraceae
Genus	: <i>Rhizophora</i>
Spesies	: <i>Rhizophora apiculata</i>

Rhizophora apiculata atau disebut juga bakau minyak merupakan mangrove tropis yang bersifat halofitik atau toleran terhadap garam. Habitus mangrove berupa pohon, tinggi rata-rata dewasanya mencapai 15 meter. Spesies ini memiliki daun berbentuk memanjang lonjong dengan panjang berkisar 3-13 cm dan lebar 1-6 cm, tepi daun rata, ujung daun meruncing berduri, permukaan tulang daun berwarna kemerahan dengan tangkai pendek, pangkal tangkai daun berwarna coklat keputihan dan di setiap ujung tangkai daun (stipula) terdapat kuncup berbentuk memanjang ke atas berwarna merah atau hijau. Batang pokok berkayu dengan tipe kayu keras, berwarna

abu tua dengan diameter batang tua mencapai 50 cm, dan sistem perakarannya berupa akar tunjang (Hadi et al., 2016).

Sebagian besar bagian dari tumbuhan mangrove *R. apiculata* digunakan sebagai obat oleh masyarakat pesisir di Indonesia karena mengandung bahan aktif yang bermanfaat. Tumbuhan ini kaya akan kandungan senyawa alkaloid, flavonoid, triterpenoid, steroid, saponin dan tanin. Banyak bagian tumbuhan mangrove yang dapat kita pakai mulai dari batang, akar, dan kulit batang *R. apiculata* mengandung antioksidasi alami (Rahim et al., 2007).

1.2.6 Sedimen

Sedimentasi adalah peristiwa pengendapan material dari hasil pengikisan dan pelapukan oleh air, angin atau gletser yang terbawa ke suatu wilayah. Semua batuan dari hasil pelapukan dan pengikisan yang diendapkan lama-kelamaan akan menjadi batuan sedimen. Hasil proses sedimentasi di suatu tempat dengan tempat lain akan berbeda (Gani et al., 2021). Proses ini terjadi melalui 2 tahap, tahap pertama pada saat pengikisan, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Tahap selanjutnya pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air (Rifardi, 2012).

Sedimen adalah pecahan material yang umumnya terdiri atas uraian batu-batuan secara fisis dan secara kimia. Partikel seperti ini mempunyai ukuran dari yang besar sampai yang sangat halus (koloid), dan beragam bentuk dari bulat, lonjong sampai persegi. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen terlarut dalam sungai, dengan kata lain bahwa sedimen merupakan pecahan, mineral, atau material organik yang diangkut dari berbagai sumber dan diendapkan oleh media udara, angin, es, atau oleh air dan juga termasuk di dalamnya material yang diendapkan dari material yang melayang dalam air (Usman, 2014).

Sedimen mempunyai peran penting dalam mengontrol konsentrasi logam berat yang terakumulasi dalam jaringan tubuh biota perairan. Limbah domestik yang mengalir ke wilayah pesisir menyebabkan pengendapan berlebih dan sirkulasi air menjadi terbatas sehingga logam berat cenderung terdeposit dan terakumulasi di dasar perairan. Hal ini akan menyebabkan organisme yang mencari makan di dasar perairan memiliki peluang yang besar untuk terpapar logam berat yang telah terikat di dasar perairan (Natsir et al., 2021).

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. berapa kadar logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) yang terkandung dalam sampel air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung?
2. bagaimana distribusi logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam sampel air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini sebagai berikut:

1. menentukan kadar logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) yang terkandung pada air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atom.
2. menganalisis distribusi logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam sampel air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi kepada masyarakat mengenai pentingnya mengetahui bahaya logam berat dan hubungannya dengan tumbuhan mangrove yang berada di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea Makassar. Selain itu, dapat dijadikan bahan referensi bagi pemerintah dalam upaya pelestarian dan pemanfaatan tumbuhan mangrove sebagai bioakumulasi logam berat di perairan.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata*, HNO₃ p.a, H₂O₂ 30%, HCl, larutan standar Pb(NO₃)₂, FeSO₄.7H₂O, kertas saring *Whatman* no.42, akuabides, kertas label, dan *tissue*.

2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat potong, plastik sampel, pH meter, *water sampler*, *eckman grab*, *Global Positioning System (GPS)*, *cool box*, oven, cawan petri, lumpang dan alu, ayakan 150 *mesh*, *hot plate*, buret mikro, *bulb*, desikator, labu semprot, neraca analitik, sendok tanduk, botol polietilen (PE), kertas label, dan seperangkat alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) *Buck Scientific* 205, serta alat gelas yang umum digunakan di laboratorium.

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Maret-Mei 2024. Sampel air laut, sedimen, dan mangrove diambil di sekitar Kawasan Hutan Mangrove Lantebung, Kecamatan Tamalanre, Kota Makassar. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.4 Penentuan Titik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel dilakukan setelah survei lokasi. Hal ini untuk mengetahui kondisi lapangan dan memastikan jenis mangrove yang ada di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung, dengan mempertimbangkan adanya akumulasi logam berat yang tinggi. Penentuan stasiun berdasarkan lokasi hidup dari mangrove yang berada di kawasan hutan mangrove Lantebung dan tempat yang dianggap representatif (mewakili). Peta lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Lampiran 1.

2.5 Prosedur Penelitian

2.5.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan Sampel Air (SNI 8995:2021). Sampel air diambil menggunakan *water sampler* pada kedalaman kurang lebih 1 m dari permukaan laut, lalu dimasukkan ke dalam botol polietilen sebanyak 1 L tiap stasiun. Sampel air untuk analisis logam diawetkan menggunakan larutan HNO₃ pekat sampai pH ≤ 2, selanjutnya botol sampel dimasukkan ke dalam *cool box* dan dibawa ke laboratorium.

Pengambilan Sampel Sedimen (Pratiwi et al., 2022). Sampel sedimen diambil dari masing-masing stasiun dengan menggunakan *eckman grab* lebih kurang 700 g berat basah yang berada di dasar perairan. Sedimen dimasukkan ke dalam plastik

sampel yang telah diberi label berdasarkan stasiunnya, kemudian dimasukkan ke dalam *cool box* dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

Pengambilan Sampel Mangrove (Jaya et al., 2021). Sampel yang diambil pada jaringan mangrove yaitu akar, batang, dan daun. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung dengan alat potong, masing-masing sampel diambil kurang lebih 100 gram dan dimasukkan ke dalam plastik, setelah itu sampel dimasukkan ke dalam *cool box* dan dibawa ke laboratorium.

2.5.2 Penentuan Kadar Air

Penentuan Kadar Air pada Sampel Sedimen (SNI 8910:2021). Preparasi sampel sedimen dilakukan dengan membuang benda-benda asing seperti potongan plastik, daun atau benda lainnya yang bukan contoh uji, lalu dikering-anginkan. Sampel sedimen ditimbang dengan teliti sebanyak 5 g menggunakan cawan petri yang telah diketahui bobot kosongnya. Sampel sedimen dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Sampel sedimen kemudian didinginkan dalam desikator lalu ditimbang hingga bobot konstan untuk mengetahui jumlah air yang hilang.

Penentuan Kadar Air pada Sampel Mangrove (Rachmawati et al., 2018). Sampel akar, batang, dan daun mangrove masing-masing dibilas dengan akuabides dan dikering-anginkan, kemudian dipotong kecil-kecil. Sampel ditimbang dengan teliti sebanyak 5 g menggunakan cawan petri yang telah diketahui bobot kosongnya. Sampel kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam, kemudian didinginkan di dalam desikator lalu ditimbang bagian-bagian mangrove hingga bobot konstan untuk mengetahui jumlah air yang hilang. Kadar air pada sampel dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

W_0 = bobot cawan petri kosong (g)

W_1 = bobot cawan petri + sampel sebelum pemanasan (g)

W_2 = bobot cawan petri + sampel setelah pemanasan (g)

2.5.3 Preparasi Sampel

Preparasi Sampel Air Laut (SNI 8995:2021). Sampel air laut dipipet sebanyak 100 mL ke dalam gelas kimia 250 mL, ditambahkan 5 mL HNO₃ 65% untuk memutus ikatan logam dan senyawa organik, lalu dipanaskan hingga volumenya 15-20 mL kemudian didinginkan. Sampel yang sudah dingin disaring menggunakan kertas saring *Whatman* no. 42 ke dalam labu ukur 50 mL, sampel air diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan NaOH/HNO₃, kemudian ditambahkan akuabides hingga tanda batas, dihomogenkan. Larutan sampel air siap dianalisis menggunakan SSA.

Preparasi Sampel Sedimen (SNI 8910:2021). Sampel sedimen yang telah kering digerus kemudian diayak menggunakan ayakan 150 *mesh*. Sampel sedimen ditimbang sebanyak 2 g dan dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL, kemudian

ditambahkan HNO_3 1:1 sebanyak 10 mL dan dipanaskan selama 10 menit (tanpa mendidih), didinginkan. Setelah dingin, sampel sedimen ditambahkan 5 mL HNO_3 pekat kemudian sampel dipanaskan kembali pada suhu $95\text{ }^\circ\text{C}$ selama 30 menit. Jika asap coklat dan larutan masih keruh maka ditambahkan kembali 5 mL HNO_3 pekat dan diulangi pemanasan hingga larutan jernih atau asap coklat hilang. Lautan sampel dibiarkan menguap hingga volume 5 mL, kemudian didinginkan. Larutan sampel ditambahkan 2 mL akuabides dan 3 mL H_2O_2 30%, lalu dipanaskan kembali. Setelah itu, dilanjutkan pemanasan hingga volume 5 mL. Kemudian, ditambahkan 10 mL HCl pekat ke dalam larutan sampel dan dipanaskan hingga volume 5 mL, lalu didinginkan. Setelah dingin, larutan sampel disaring menggunakan kertas saring *Whatman* no.42 ke dalam labu ukur 100 mL. Kemudian, larutan sampel ditambahkan akuabides hingga tanda batas, lalu dihomogenkan. Larutan sampel sedimen siap dianalisis menggunakan SSA.

Preparasi Sampel Mangrove (Rachmawati et al., 2018). Sampel akar, batang, dan daun yang telah halus masing-masing ditimbang dengan teliti sebanyak 1 g, kemudian ditambahkan HNO_3 6 M sebanyak 5 mL dan H_2O_2 30% sebanyak 5 mL. Sampel dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ sampai larut, kemudian didinginkan. Setelah itu, sampel disaring dengan menggunakan kertas saring *Whatman* no.42 ke dalam labu ukur 50 mL. Sampel diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan NaOH/HNO_3 , kemudian ditambahkan akuabides hingga tanda batas lalu dihomogenkan. Larutan sampel mangrove siap dianalisis dengan SSA.

2.5.4 Pembuatan Larutan Standar Pb (SNI 8995:2021)

Pembuatan Larutan Baku Induk Pb 100 mg/L. Padatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditimbang dengan teliti sebanyak 0,0159 g ke dalam gelas kimia lalu dilarutkan dengan akuabides, selanjutnya dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diatur pH larutan pada pH 2-3 dengan menambahkan NaOH/HNO_3 , dihomogenkan menggunakan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

Pembuatan Larutan Baku Intermediet Pb 10 mg/L. Larutan baku induk Pb 100 mg/L dipipet 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian dihomogenkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

Pembuatan Larutan Deret Standar Pb. Larutan baku intermediet Pb 10 mg/L dipipet masing-masing sebanyak 0,5; 1; 2; 4; 8; dan 16 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan NaOH/HNO_3 , kemudian ditambahkan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan sehingga konsentrasi larutan deret Pb masing-masing 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 dan 3,2 mg/L.

2.5.5 Pembuatan Larutan Standar Fe (SNI 8995:2021)

Pembuatan Larutan Baku Induk Fe 100 mg/L. Serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ditimbang dengan teliti sebanyak 0,0496 g ke dalam gelas kimia, lalu dilarutkan dengan akuabides, selanjutnya dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diatur pH larutan pada pH 2-3 dengan menambahkan NaOH/HNO_3 , dihomogenkan menggunakan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

Pembuatan Larutan Baku Intermediet Fe 10 mg/L. Larutan baku induk Fe 100 mg/L dipipet 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian dihimpitkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

Pembuatan Larutan Deret Standar Fe. Larutan baku intermediet Fe 10 mg/L dipipet masing-masing sebanyak 0,5; 1; 2; 4; 8; dan 16 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan NaOH/HNO₃, kemudian ditambahkan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan sehingga konsentrasi larutan deret Fe masing-masing 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 dan 3,2 mg/L.

2.5.6 Pembuatan Larutan Blanko

Larutan HNO₃ 0,5 M sebanyak 2 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, lalu larutan dihimpitkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.5.7 Analisis Pb dan Fe dengan Spektrofotometer Serapan Atom

Larutan sampel, blanko dan standar diukur serapannya dengan menggunakan SSA dengan panjang gelombang Pb adalah 283,3 nm dan Fe 248,3 nm. Selanjutnya, masing-masing nilai serapan dan konsentrasi larutan pada setiap logam dibuatkan kurva kalibrasi. Kadar logam dalam sampel dapat ditentukan melalui perhitungan menggunakan persamaan (1):

$$C_x \text{ (mg/kg)} = \frac{c \text{ (mg/L)} \times V \text{ (L)}}{g \text{ (kg)}} \quad (2)$$

Keterangan:

C_x = konsentrasi logam dalam sampel (mg/kg)

c = konsentrasi dari hasil analisis SSA (mg/L)

V = volume sampel (L)

g = massa sampel (kg)

2.5.8 Mekanisme Fitoakumulasi Logam Berat

Data berupa konsentrasi dari analisis sampel kemudian diolah dengan rumus penentuan nilai *Translocation Factors* (TF) dan *Bioconcentration Factors* (BCF) yang dituliskan pada persamaan (3) dan (4) sebagai berikut:

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi dalam daun (mg/kg)}}{\text{Konsentrasi dalam akar (mg/kg)}} \quad (3)$$

$$BCF = \frac{\text{Konsentrasi rata-rata dalam jaringan tumbuhan (mg/kg)}}{\text{Konsentrasi yang terdapat dalam sedimen (mg/kg)}} \quad (4)$$

Nilai BCF dan TF selanjutnya digunakan untuk menentukan mekanisme penyerapan logam oleh tumbuhan. Menurut Liang et al. (2010), jika nilai BCF > 1 dan TF < 1 mekanismenya adalah fitostabilisasi, BCF < 1 dan TF > 1 mekanismenya adalah fitoekstraksi, BCF < 1 dan TF < 1 mekanismenya adalah fitostabilisasi dan fitoekstraksi, dan jika BCF > 1 dan TF > 1 mekanismenya adalah rizofiltrasi.