

DISTRIBUSI KUANTITATIF LOGAM BERAT Zn DAN Cu DALAM AIR LAUT, SEDIMEN, MANGROVE *Avicennia marina* DAN *Rhizophora apiculata* DI SEKITAR KAWASAN HUTAN MANGROVE LANTEBUNG KECAMATAN TAMALANREA KOTA MAKASSAR



NURTARISHA. A

H031201052



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

**DISTRIBUSI KUANTITATIF LOGAM BERAT Zn DAN Cu DALAM AIR
LAUT, SEDIMEN, MANGROVE *Avicennia marina* DAN *Rhizophora
apiculata* DI SEKITAR KAWASAN HUTAN MANGROVE LANTEBUNG
KECAMATAN TAMALANREA KOTA MAKASSAR**

**NURTARISHA.A
H031201052**



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

DISTRIBUSI KUANTITATIF LOGAM BERAT Zn DAN Cu DALAM AIR LAUT, SEDIMEN, MANGROVE *Avicennia marina* DAN *Rhizophora apiculata* DI SEKITAR KAWASAN HUTAN MANGROVE LANTEBUNG KECAMATAN TAMALANREA KOTA MAKASSAR

NURTARISHA.A
H031201052

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Kimia

Pada

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

SKRIPSI

DISTRIBUSI KUANTITATIF LOGAM BERAT Zn DAN Cu DALAM AIR LAUT, SEDIMEN, MANGROVE *Avicennia marina* DAN *Rhizophora apiculata* DI SEKITAR KAWASAN HUTAN MANGROVE LANTEBUNG KECAMATAN TAMALANREA KOTA MAKASSAR

NURTARISHA A.
H031201052

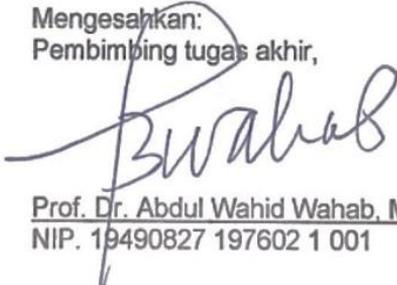
Skripsi,

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 Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) 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 apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. 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




NURTARISHA.A
H031201052

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmanirrahim

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "**Distribusi Kuantitatif Logam Berat Zn dan Cu Dalam Air, 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 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Kimia Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan jalan terang bagi ummatnya. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari hambatan serta rintangan, Skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan serta kemurahan hati dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini.

Penulis berterima kasih sedalam-dalamnya kepada Kedua Orang Tua, Bapak **Alauddin** dan Mama **Mardiah**, yang selalu memanjatkan doa, juga memberikan dukungan dan pengorbanan kepada penulis demi menggapai impian dan cita-cita. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada saudara-saudari penulis dalam hal ini **Muh.Solihin.A** sebagai Kakak Pertama, **Nurainun.A** sebagai Kakak Kedua dan **Nurul Arribah Zahrah** sebagai Adik, serta kepada **Muh.Arafah.A** sebagai teman hidup penulis yang selalu menemani dan membantu penulis dari awal penelitian hingga akhir. Terima kasih sudah terlibat, memberikan dukungan dan kasih sayang sehingga penulis bisa menyelesaikan studinya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak **Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc** sebagai pembimbing utama yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan solusi mulai dari awal penyusunan hingga selesainya penulisan ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan ibu **Dr. Nur Umrhani Permatasari, M.Si**, selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr. Sci. Muhammad Zakir, M.Si** dan ibu **Dr. Nur Umrhani Permatasari, M.Si**, selaku tim penguji yang telah memberi banyak saran dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak **Muhammad Al Mustawa, S.Si., M.Si**, selaku koordinator seminar yang telah memberi banyak masukan dan saran penyelesaian skripsi ini.
4. Seluruh dosen Departemen Kimia Universitas Hasanuddin, yang telah banyak memberikan ilmu, pengalaman, serta masukan selama masa studi.

5. Seluruh staf pegawai Fakultas MIPA Unhas maupun Departemen Kimia FMIPA Unhas, yang memberikan bantuan dan kerjasamanya.
6. Seluruh Kepala Laboratorium di departemen Kimia FMIPA Unhas, serta Kepala Laboratorium Kimia Dasar, Biologi Dasar, dan Fisika dasar.
7. Seluruh Analis di Departemen Kimia FMIPA Unhas, terkhusus Analis Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia FMIPA Unhas, ibu **Fibiyanti, S.Si**, yang telah banyak memberi saran, fasilitas dan kemudahan semasa penelitian.
8. Rekan penelitian **Nur Insana** dan **Siti Nur Alyfah Lutfi** terima kasih atas kerja sama, diskusi, motivasi, dukungan dan semangatnya sehingga penelitian ini terselesaikan dengan baik.
9. Teman-teman seperjuangan penulis **Mudria, Septiyana**, dan **Insana** terima kasih atas kerja sama dan bantuannya sejak awal perkuliahan hingga akhir.
10. Teman-teman **Bi-Squad** atas doa dan dukungannya kepada penulis Rekan-rekan peneliti **Kimia Analitik 2020** terkhusus anak bimbingan **Prof Wahid**, terima kasih atas kerja sama, dukungan dan semangat sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
11. Seluruh teman-teman **ISOMER 2020** yang tidak dapat saya sebutkan satu-satu, terima kasih atas cerita semasa perkuliahan dan semangatnya, salam *Setia Hingga Akhir*.
12. Serta ucapan terima kasih kepada pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan secara langsung ataupun tidak langsung, yang tidak sempat penulis sebutkan satu per satu disini. Atas segala kebaikan yang telah diberikan oleh berbagai pihak, penulis mengucapkan banyak terima kasih. Semoga Allah SWT membalasnya, Aamiin ya rabbal 'alamin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan untuk kedepannya. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Makassar, Juli 2024

Penulis

ABSTRAK

NURTARISHA A. **Distribusi Kuantitatif Logam Berat Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) 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. Kota Makassar adalah kota yang terletak dekat dengan perairan. Perairan pesisir merupakan perairan yang mempunyai potensi tinggi terhadap adanya akumulasi logam berat. Salah satu jenis vegetasi yang mampu hidup dan berkembang dengan baik di kawasan pesisir adalah mangrove. Ekowisata Mangrove Lantebung adalah salah satu hutan mangrove yang ada di Makassar. Hutan mangrove ini berada di pesisir bagian utara Makassar atau tepatnya di Kampung Lantebung, Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea. Vegetasi mangrove yang ada di kawasan hutan mangrove Lantebung didominasi oleh *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata*. Tanaman mangrove banyak digunakan sebagai remediasi logam berat. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar logam berat Zn dan Cu dalam sampel air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata*. **Metode.** Metode yang digunakan yaitu destruksi logam berat Zn dan Cu dalam sampel air laut, sedimen, mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* dan kemudian dianalisis menggunakan AAS. **Hasil.** Konsentrasi logam Zn pada air laut, sedimen, dan mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* secara berturut-turut yaitu 0,3140-0,4873 mg/L; 44,7250-58,8451 mg/kg berat kering; 77,9346-106,6508 mg/kg berat kering; dan 66,1238-91,8357 mg/kg berat kering. Konsentrasi logam Cu pada air laut, sedimen, dan mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* secara berturut-turut yaitu 0,1809-0,8116 mg/L; 9,4223-21,1384 mg/kg berat kering; 41,1099-42,1884 mg/kg berat kering; dan 33,1418-45,0204 mg/kg berat kering. Distribusi logam berat Zn dan Cu di sekitar perairan Perairan Hutan Mangrove Lantebung paling banyak terdapat pada mangrove *Avicennia marina* kemudian *Rhizophora apiculata*, lalu sedimen dan paling sedikit pada air laut.

Kata kunci: AAS; Cu; logam berat; mangrove; pencemaran, Zn

ABSTRACT

NURTARISHA A. **Quantitative Distribution of Heavy Metals Zink (Zn) and Copper (Cu) in Sea Water, Sediment, *Avicennia marina* Mangrove and *Rhizophora apiculata* around the Lantebung Mangrove Forest Area, Tamalanrea District, Makassar City** (supervised by Abdul Wahid Wahab).

Background. Makassar City is a city located close to the water. Coastal waters are waters that have a high potential for heavy metal accumulation. One type of vegetation that is able to live and develop well in coastal areas is mangroves. Lantebung Mangrove Ecotourism is one of the mangrove forests in Makassar. This mangrove forest is located on the northern coast of Makassar, or to be precise in Lantebung Village, Bira Village, Tamalanrea District. The mangrove vegetation in the Lantebung mangrove forest area is dominated by *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata*. Mangrove plants are widely used as heavy metal remediation. **Objective.** This research aims to determine the levels of heavy metals Zn and Cu in seawater, sediment, *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata* mangrove samples. **Method.** The method used was the destruction of the heavy metals Zn and Cu in seawater, sediment, *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata* mangrove samples and then analyzed using AAS. **Results.** Concentrations of Zn metal in seawater, sediment and mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata* were respectively 0.3140-0.4873 mg/L; 44.7250-58.8451 mg/kg dry weight; 77.9346-106.6508 mg/kg dry weight; and 66.1238-91.8357 mg/kg dry weight. Cu metal concentrations in seawater, sediment and mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata* were respectively 0.1809-0.8116 mg/L; 9.4223-21.1384 mg/kg dry weight; 41.1099-42.1884 mg/kg dry weight; and 33.1418-45.0204 mg/kg dry weight. The distribution of the heavy metals Zn and Cu in the waters around the Lantebung Mangrove Forest is mostly found in the *Avicennia marina* mangrove, then *Rhizophora apiculata*, then sediment and the least in sea water.

Key words: AAS; Cu; heavy metal; mangroves; pollution, Zn

DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Teori.....	3
1.2.1 Logam Berat.....	3
1.2.2 Sumber-sumber Logam Berat di Perairan	5
1.2.3 Bioakumulasi dan Biokonsentrasi Logam Berat	6
1.2.4 Mangrove	6
1.3 Rumusan Masalah	9
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 Prosedur Penelitian.....	10
2.4.1 Pengambilan Sampel Air.....	10
2.4.2 Pengambilan Sampel Sedimen.....	10
2.4.3 Pengambilan Sampel Mangrove	11
2.4.4 Penentuan Kadar Air	11
2.4.5 Preparasi sampel	11
2.4.6 Pembuatan Larutan Baku Zn	12
2.4.7 Pembuatan Larutan Baku Cu.....	13
2.4.8 Pembuatan Larutan Blanko.....	13

2.4.9 Analisis Zn dan Cu dengan Spektrofotometer Serapan Atom....	13
2.4.10 Mekanisme Fitoakumulasi Logam Berat.....	14
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....	15
3.1 Parameter Kualitas Lingkungan Perairan Hutan Mangrove Lantebung	15
3.2 Kadar Air pada Sedimen dan Mangrove.....	16
3.3 Konsentrasi Logam Berat Zn dan Cu dalam Air Laut dan Sedimen.....	17
3.4 Konsentrasi Logam Berat dalam Mangrove	19
3.4.1 Konsentrasi Logam Zn dalam Mangrove	19
3.4.2 Konsentrasi Logam Cu dalam Mangrove.....	22
3.5 Distribusi Logam Berat Zn dan Cu dalam Air Laut, Sedimen, dan Mangrove.....	24
3.6 Mekanisme Fitoakumulasi Logam Berat Pada Mangrove.....	26
3.6.1 Mekanisme Fitoakumulasi Logam Zn Pada Mangrove.....	27
3.6.2 Mekanisme Fitoakumulasi Logam Zn Pada Mangrove.....	28
BAB IV KESIMPULAN	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN.....	36

DAFTAR TABEL

Nomor urut	halaman
1. Logam berat yang dihasilkan aktivitas manusia	5
2. Hasil pengukuran kualitas perairan hutan mangrove lantebung	15
3. Kadar air pada sampel sedimen dan mangrove	17
4. Konsentrasi logam berat Zn dan Cu dalam air laut	18
5. Konsentrasi logam berat Zn dan Cu dalam sedimen	18
6. Konsentrasi logam berat Zn dalam mangrove <i>Avicennia marina</i>	19
7. Konsentrasi logam berat Zn dalam mangrove <i>Rhizophora apiculata</i> ...	20
8. Konsentrasi logam berat Cu dalam mangrove <i>Avicennia marina</i>	21
9. Konsentrasi logam berat Cu dalam mangrove <i>Rhizophora apiculata</i> ..	22
10. Nilai BCF dan TF Logam Zn pada mangrove <i>Avicennia marina</i>	27
11. Nilai BCF dan TF Logam Zn pada mangrove <i>Rhizophora apiculata</i>	27
12. Nilai BCF dan TF Logam Cu pada mangrove <i>Avicennia marina</i>	28
13. Nilai BCF dan TF Logam Cu pada mangrove <i>Rhizophora apiculata</i>	28

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	halaman
1. Logam Zn	4
2. Logam Cu.....	4
3. Hutan mangrove	6
4. Mangrove <i>Avicennia marina</i>	7
5. Mangrove <i>Rhizophora apiculata</i>	8
6. Hasil reaksi Zn dengan fitokelatin	21
7. Hasil reaksi Cu dengan fitokelatin	23
8. Distribusi logam berat Zn dalam air laut, sedimen, mangrove <i>Avicennia marina</i> (AM) dan <i>Rhizophora apiculata</i> (RA)	24
9. Distribusi logam berat Cu dalam air laut, sedimen, mangrove <i>Avicennia marina</i> (AM) dan <i>Rhizophora apiculata</i> (RA)	24
10. Peta Lokasi Penelitian	36
11. Lokasi Penelitian	72
12. Proses sampling air, sedimen dan mangrove.....	73
13. Sampel dikering-anginkan	74
14. Sampel dikeringkan dalam oven	74
15. Sampel setelah dikeringkan.....	75
16. Sampel setelah digerus dan diayak.....	75
17. Proses destruksi sampel dan penyaringan hasil destruksi.....	75
18. Sampel siap dianalisis	76
19. Proses analisis sampel dengan menggunakan SSA.....	76

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	halaman
1. Peta lokasi pengambilan sampel	36
2. Skema kerja penelitian.....	37
3. Bagan kerja	38
4. Perhitungan.....	44
5. Pengolahan Data	58
6. Dokumentasi penelitian.....	72

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Lambang/Singkatan	Arti dan penjelasan
AM	<i>Avicennia marina</i>
BPS	Badan Pusat Statistik
BCF	<i>Bioconcentration Factors</i>
Cu	Tembaga
GPS	Global Positioning System
Kg	Kilogram
L	Liter
Mg	miligram
mL	mililiter
pH	<i>Power of Hydrogen</i>
ppm	Parts Per Million
RA	<i>Rhizophora apiculata</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
SSA	Spektrofotometri Serapan Atom
TF	<i>Translocation Factors</i>
Zn	Seng

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Makassar merupakan Ibu Kota Provinsi Sulawesi Selatan, yang terletak di bagian Selatan Pulau Sulawesi yang dahulu disebut Ujung Pandang, terletak antara 119°24'17'38" Bujur Timur dan 5°8'6'19" Lintang Selatan yang berbatasan dengan sebelah Utara dengan Kabupaten Maros, sebelah Timur Kabupaten Maros, sebelah selatan Kabupaten Gowa dan sebelah Barat adalah Selat Makassar. Kota Makassar adalah kota yang terletak dekat dengan pantai yang membentang sepanjang koridor barat dan utara dan juga dikenal sebagai "*Waterfront City*" yang didalamnya mengalir beberapa sungai (Sungai Tallo, Sungai Jeneberang, dan Sungai Pampang) yang kesemuanya bermuara ke dalam kota (BPS, 2024). Pemanfaatan wilayah pesisir untuk kegiatan bidang perikanan, baik perikanan tangkap maupun budidaya, pemukiman, transportasi laut, industrialisasi dan pertambangan menunjukkan peningkatan yang tinggi. Perkembangan industri di Sulawesi Selatan khususnya di Kota Makassar berkembang sedemikian pesat, hal tersebut selain memberikan dampak yang positif, juga memberikan dampak negatif. Dampak positif berupa perluasan lapangan pekerjaan, sedangkan dampak negatifnya adalah penurunan kualitas perairan akibat buangan air limbah yang melampaui ambang batas (Setiawan, 2014).

Perairan pesisir merupakan perairan yang mempunyai potensi tinggi terhadap adanya akumulasi logam berat karena berbatasan langsung dengan daratan dan merupakan tempat bertemunya perairan dari darat melalui sungai dan perairan laut. Keberadaan perairan pesisir sebagai penampungan terakhir bagi sungai yang bermuara dan membawa limbah, baik yang berasal dari industri maupun rumah tangga, sangat membahayakan bagi masyarakat yang bertempat tinggal di sekitarnya, utamanya masyarakat yang mengkonsumsi hasil laut yang telah terkontaminasi logam berat. Salah satu jenis vegetasi yang mampu hidup dan berkembang dengan baik di kawasan pesisir adalah mangrove (Setiawan, 2013).

Ekowisata Mangrove Lantebung adalah salah satu hutan mangrove yang ada di Makassar. Hutan mangrove ini berada di pesisir bagian utara Makassar atau tepatnya di Kampung Lantebung, Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea. Vegetasi mangrove yang ada di kawasan hutan mangrove lantebung didominasi oleh *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* (Mughtar et al., 2022). Vegetasi mangrove Lantebung memegang peranan yang sangat penting bagi masyarakat dan lingkungannya. Kawasan mangrove memberikan fungsi ekonomi berupa hasil perikanan yang dapat dimanfaatkan oleh nelayan skala kecil (Zurba et al., 2017). Bagi lingkungan, kawasan mangrove berperan penting sebagai pelindung abrasi pantai dari hempasan ombak, sebagai pemijahan ikan dan berkembang biaknya udang, ikan, kerang dan kepiting (Hamzah dan Setiawan, 2010). Selain itu, ekosistem mangrove juga berfungsi sebagai perangkap sedimen dan mencegah erosi serta penstabil bentuk daratan di daerah estuari (Setyoko et al., 2018).

Tumbuhan mangrove merupakan tumbuhan pesisir yang dapat mengakumulasi logam berat yang berada di wilayah perairan. Pengaruh polutan terhadap tumbuhan dapat berbeda tergantung pada macam polutan, konsentrasinya, dan lamanya polutan itu berada. Terserapnya dan tertahannya logam berat oleh lapisan rhizosfer disekitar akar akan menyebabkan terjadinya penurunan tajam konsentrasi logam berat pada permukaan atas lapisan sedimen dan mencegah perpindahan keperairan pantai disekitarnya (Supriyantini dkk., 2017). Tanaman mangrove banyak digunakan dalam remediasi logam berat diantaranya famili *Rhizophoraceae* jenis; *Bruguiera gymnorhiza*, *Rhizophora apiculata*. yang biasa tumbuh pada tanah substrat berlumpur (Elfrida et al., 2020).

Logam berat adalah salah satu penyebab kerusakan ekosistem perairan paling besar yang merupakan hasil akhir yang disebabkan oleh industrialisasi dan aktivitas manusia (Dewi et al., 2018). Aktivitas yang dapat menyebabkan adanya pencemaran logam berat yaitu pertambangan dan pembuangan limbah rumah tangga maupun limbah industri. Limbah yang masuk ke perairan tersebut mengandung berbagai macam logam berat seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn) (Khaira, 2014). Secara umum, logam berat untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dibagi menjadi dua yaitu logam esensial dan non esensial. Cu dan Zn merupakan logam yang termasuk esensial (Hamzah dan Setiawan, 2010).

Kawasan hutan mangrove Lantebung berada dekat dengan pelabuhan, perindustrian, daerah pariwisata dan pemukiman penduduk (Gultom et al., 2023). Berbagai aktivitas yang berasal dari perkotaan dan permukiman sekitarnya, pelabuhan, perindustrian, pertanian, dan pertambangan menjadi suplai bahan polutan organik maupun anorganik pada perairan. Mangrove yang berada di ujung daerah aliran sungai adalah sebagai tempat penampung terakhir bagi limbah-limbah tersebut. Limbah padat dan cair yang terlarut dalam air sungai terbawa arus menuju muara sungai dan laut lepas (Kariada et al., 2013).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Setiawan (2013), akumulasi dan distribusi logam berat di sekitar perairan pesisir Sulawesi Selatan menunjukkan hasil akumulasi logam berat Cu pada jaringan tumbuhan mangrove secara umum yang terbesar terdapat pada jaringan akar yaitu 7,82 ppm kemudian daun 7,02 ppm dan terendah pada ranting yaitu 5,33 ppm. Pada penelitian yang dilakukan oleh Setiawan (2014), pencemaran logam berat diperairan pesisir makassar menunjukkan kandungan logam berat Cu pada kawasan Metro Tanjung Bunga sebesar 0,020 ppm dan muara Sungai Tallo sebesar 0,165 ppm.

Banyaknya aktivitas di kawasan perairan tersebut dapat menjadi penyebab masuknya limbah logam berat seperti seng (Zn) dan tembaga (Cu) yang dapat berasal dari cat badan perahu, hasil buangan kapal nelayan yang menggunakan bahan bakar solar maupun bensin, dan limbah dari masyarakat yang berada di daerah pemukiman. Informasi mengenai akumulasi logam berat pada tanaman mangrove menjadi sangat penting, karena dengan adanya data mengenai akumulasi logam berat pada mangrove kita dapat mengetahui lingkungan tersebut sudah masuk kedalam kategori tercemar atau tidak (Dewi et al., 2018). Analisis kandungan

logam berat dari sampel air, sedimen, dan mangrove dapat dilakukan dengan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) (Mentari et al., 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian tentang kandungan logam berat Zn dan Cu perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat Zn dan Cu dengan sampel air laut, sedimen, dan mangrove *Avicennia marina* dan *Rhizophora apiculata* karena logam berat Zn dan Cu ini terakumulasi pertama pada air, kemudian mengendap pada sedimen dan kemudian diserap oleh akar mangrove khususnya di sekitar perairan Ekowisata Mangrove Lantebung.

1.2 Dasar Teori

1.2.1 Logam Berat

Logam berat merupakan logam dengan densitas umumnya 5 gr/cm^3 atau sekitar lima kali lipat densitas air. Logam berat merupakan senyawa yang dapat mencemari perairan dan bersifat toksik serta secara alami dapat ditemukan pada batuan dan mineral lainnya, sehingga pencemaran logam berat sering terjadi di lingkungan perairan termasuk pada sedimen serta biota penghuninya (Kurniawan dan Mustikasari, 2019).

Terdapat 80 jenis logam berat dari 109 unsur kimia yang ada di bumi. Dari sifatnya logam berat terdapat dua perbedaan yaitu esensial dan non esensial. Logam berat esensial merupakan logam berat yang masih di perlukan atau dibutuhkan oleh kehidupan makhluk hidup, sedangkan logam berat non esensial merupakan logam berat yang keberadaannya tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup khususnya biota laut. Contoh logam berat esensial antara lain ada Zn, Cu, Fe, Co dan Mn. Pada logam berat non esensial adalah logam berat yang memiliki sifat toksik atau beracun. Contoh dari logam berat non esensial adalah Hg, Cd, Pb dan Cr (Happy et.al., 2012).

Beberapa logam berat yang dapat menjadi pencemar adalah seng (Zn), kobalt (Co), kromium (Cr), silika (Si), kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), arsenik (As), dan merkuri (Hg) (Mohammed, Kapri, dan Goel, 2011). Adapun urutan toksisitas beberapa logam pada organisme perairan adalah $\text{Hg}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Ag}^+ > \text{Ni}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{As}^{2+} > \text{Cr}^{2+} > \text{Sn}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ (Ferdian et.al., 2020). Adapun sifat-sifat logam secara umum antara lain sebagai berikut (Berniyanti, 2018):

1. sulit didegradasi sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan).
2. dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan yang akan membahayakan kesehatan manusia yang mengonsumsinya.
3. mudah terakumulasi di sedimen sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air, akibatnya sedimen dapat menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

Logam Berat Zn. Seng dilambangkan dengan simbol "Zn", dengan nomor atom dan berat masing-masing 30 dan 65,38 gram. Logam Zn ditemukan dan dikenali sebagai logam untuk pertama kalinya pada tahun 1746 oleh ahli kimia Jerman Andreas Sigismund Marggraf. Logam Zn termasuk golongan XII (sebelumnya dikenal sebagai II-B) dari tabel periodik (Periode nomor 4, golongan unsur nomor 12, blok "d"), dan merupakan logam rapuh, berkilau, berwarna putih kebiruan yang padat

pada suhu kamar. Ketika dipanaskan pada suhu di atas $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, logam ini mudah ditempa dan ulet dan umumnya dianggap sebagai logam yang cukup reaktif dalam hal reaktivitasnya dengan oksigen dan logam lainnya (Hussain et.al., 2022).



Gambar 1. Logam Zn (Hussain et.al., 2022)

Seng adalah logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih-kebiruan, pudar bila terkena uap udara, dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Zn dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Seng (Zn) dalam tidak berada dalam keadaan bebas, tetapi dalam bentuk terikat dengan unsur lain berupa mineral. Mineral yang mengandung Zn di alam bebas antara lain kalaminit, franklinite, smitkosit, willenit, dan zinkit (Darmayanti et.al., 2012).

Logam berat Zn merupakan logam berat esensial yang dibutuhkan organisme untuk pertumbuhan dan perkembangan, antara lain dalam pembentukan haemosianin dalam sistem darah dan enzimatis. Logam berat Zn dapat terakumulasi di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam jangka waktu yang lama. Jika logam berat Zn dalam organisme sudah melebihi ambang batas aman untuk konsumsi, maka logam berat Zn dapat bersifat toksik untuk manusia. Logam berat seng dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan, mempengaruhi pematangan seksual, mudah terkena infeksi, diare dan dalam jumlah besar dapat menyebabkan kematian khususnya pada anak-anak (Kalangie et.al., 2018).

Logam Berat Cu. Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$, titik didih $2310\text{ }^{\circ}\text{C}$, jari-jari atom $1,173\text{ \AA}$ dan jari-jari ion Cu^{2+} $0,96\text{ \AA}$. Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa. Tembaga bersifat racun bagi makhluk hidup. Logam Cu termasuk logam berat esensial, jadi meskipun beracun tetapi sangat dibutuhkan manusia dalam jumlah yang kecil. Toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Kundari et.al., 2008).



Gambar 2. Logam Cu (Kundari et.al., 2008)

Tembaga merupakan elemen mikro yang sangat dibutuhkan oleh organisme, baik darat maupun perairan, namun dalam jumlah yang sedikit. Keberadaan Cu di suatu perairan umum dapat berasal dari daerah industri yang berada di sekitar perairan tersebut. Logam ini akan terserap oleh biota perairan secara berkelanjutan apabila keberadaannya dalam perairan selalu tersedia (Cahyani et.al., 2012).

1.2.2 Sumber-Sumber Logam Berat di Perairan

Keberadaan logam berat di perairan laut dapat muncul dari berbagai sumber, antara lain dari kegiatan pertambangan, limbah rumah tangga, limbah hortikultura, dan limbah perindustrian. Dari keempat jenis sampah tersebut, sampah yang paling banyak mengandung logam berat adalah sampah perindustrian. Hal ini karena campuran logam berat banyak digunakan dalam industri, baik sebagai zat yang tidak dimurnikan, zat tambahan maupun zat pendorong. Peningkatan kadar logam berat dalam air laut akan menyebabkan logam berat yang diperlukan untuk berbagai siklus metabolisme berubah menjadi racun bagi entitas organik laut. Selain berbahaya, logam berat juga akan menumpuk dalam bentuk residu dan biota melalui gaya gravitasi. Pencemaran logam berat pada iklim muara normal merupakan interaksi yang erat kaitannya dengan pemanfaatan logam tersebut oleh manusia (Silalahi et.al., 2023).

Logam berat dalam air laut dapat berasal dari aktivitas manusia yang kemudian masuk ke laut melalui sungai, juga bisa datang dari atmosfer yang mengendap ke laut, atau datang dari aktivitas gunung berapi. Logam berat yang terakumulasi di perairan dapat mengancam kehidupan organisme, baik secara langsung maupun tidak langsung. Logam berat sulit untuk dibuat terdegradasi sehingga mudah terakumulasi di lingkungan perairan. Logam, termasuk tembaga (disimbolkan dengan Cu) secara alami dapat masuk ke perairan melalui erosi atau pengikisan batuan mineral dan melalui senyawa Cu dalam atmosfer yang terbawa oleh hujan (Hidayatullah et.al., 2023). Pencemaran logam berat pada perairan dapat menyebabkan masalah bagi kesehatan baik pada organisme akuatik itu sendiri maupun pada manusia. Ada sekitar 80 unsur logam yang digolongkan dalam jenis logam berat dari 109 unsur kimia yang telah berhasil diidentifikasi di bumi (Permana dan Andhikawati, 2022).

Tabel 1. Logam berat yang dihasilkan dari aktivitas manusia (Permana dan Andhikawati, 2022).

No	Aktivitas Manusia	Logam Berat Yang Dihasilkan
1	Pertambangan	Pb, Cd, As, Hg
2	Industri	Cd, Cu, Hg, As, Zn, Cr, Co
3	Endapan atmosfer	Cd, Cr, As, Hg, Pb, Cu, U
4	Agrikultur	Pb, Cd, As, Zn, Cu, Si
5	Pembuangan limbah	Cd, Zn, Cr, Pb, Hg, As

1.2.3 Biokonsentrasi dan Bioakumulasi Logam Berat

Logam berat yang terakumulasi sangat banyak di alam dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Logam berat dapat terakumulasi dalam air, sedimen dan biota (Permana dan Andhikawati, 2022). Logam berat dapat mengendap di dasar perairan dan memiliki waktu tinggal (*residence time*) hingga ribuan tahun. Bioakumulasi dan biomagnifikasi dengan beberapa cara, yaitu melalui kulit, saluran pernapasan, dan saluran makanan (Rochyatun dan Rozak, 2007). Kontaminasi logam berat merupakan masalah lingkungan yang utama, seperti yang terjadi dalam sedimen yang terkontaminasi berat akan terakumulasi di berbagai organisme dan pada akhirnya memasuki rantai makanan, sehingga mempengaruhi kesejahteraan manusia. Konsentrasi logam berat di sedimen biasanya melebihi dari konsentrasi logam berat pada air dan tingkat konsentrasi logam-logam ini dalam air dan sedimen dapat mempengaruhi tumbuhan dan hewan yang ada diperairan (Dudani et.al., 2017).

1.2.4 Mangrove

Mangrove adalah salah satu jenis tanaman yang banyak ditemukan pada kawasan muara pantai dengan struktur tanah rawa dan/atau padat. Mangrove menjadi salah satu solusi yang sangat penting untuk mengatasi berbagai jenis masalah lingkungan terutama untuk mengatasi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh gelombang air laut. Kerusakan ini tidak hanya berdampak pada abrasi pantai tapi juga adanya resiko banjir atau genangan air pada wilayah pemukiman masyarakat perkotaan maka mangrove merupakan pilihan tepat sebagai pelindung lingkungan (Gunawan et.al., 2022).

Hutan mangrove biasa disebut sebagai hutan bakau, bakau sendiri hanyalah salah satu tumbuhan yang menyusun hutan mangrove, dengan jenis *Rhizophora sp.* Hutan mangrove merupakan suatu kawasan yang memiliki tingkat produktivitas yang tinggi. Sehingga keadaan ini menjadikan hutan mangrove memegang peranan penting bagi kehidupan biota seperti ikan, udang, moluska dan sebagainya. Hutan mangrove juga berperan sebagai pendaur zat hara, penyedia makanan dan tempat berkembangnya beberapa biota laut (Rahmad et.al., 2020).



Gambar 3. Hutan Mangrove (Rahmad et.al., 2020)

Mangrove merupakan komunitas tumbuhan atau suatu individu jenis tumbuhan yang membentuk komunitas di daerah pasang surut, hutan mangrove atau sering disebut hutan bakau merupakan sebagian wilayah ekosistem pantai yang mempunyai karakter unik dan khas, dan memiliki potensi kekayaan hayati. Ekosistem

mangrove adalah suatu sistem yang terdiri dari lingkungan biotik dan abiotik yang saling berinteraksi di dalam suatu habitat mangrove (Kariada et.al., 2013). Mangrove memiliki fungsi ekologis yang mampu menciptakan iklim mikro yang baik, memperbaiki kualitas air, sebagai tempat mencari makan; tempat memijah dan tempat berkembang biak berbagai jenis ikan, udang, kerang dan biota laut lainnya (Setiawan, 2013).

Mangrove memiliki fungsi sebagai salah satu perangkap alami polutan. Mangrove dapat mengurangi konsentrasi bahan pencemar yang terdapat di perairan. Bagian daun mangrove dan akar mangrove juga mampu mengakumulasi logam berat. Perbedaan spesies pada tumbuhan mangrove juga mempengaruhi kemampuan mangrove dalam mengakumulasi logam berat (Dewi et.al., 2018). Secara fisik mangrove memiliki fungsi menjaga garis pantai dan tebing sungai dari erosi/abrasi, mempercepat perluasan lahan melalui proses sedimentasi, mengendalikan intrusi air laut, melindungi daerah di belakang mangrove dari hempasan gelombang, angin kencang dan mengurangi resiko terhadap bahaya tsunami. Secara ekonomis mangrove berfungsi sebagai penghasil kayu, penghasil hasil hutan non kayu seperti madu, obat-obatan, minuman dan makanan, tanin (zat penyamak kulit), serat sintetis dan produk komersial lainnya, sarana ekoturisme, wanamina/pertambakan, sumber benih dan lain-lain (Setiawan, 2013).

Mangrove *Avicennia marina*. *Avicennia marina* adalah salah satu jenis mangrove yang masuk ke dalam kategori mangrove mayor. Status tersebut menyebabkan *A. marina* hampir selalu ditemukan pada setiap ekosistem mangrove. Masyarakat mengenal *A. marina* sebagai api-api putih. Kerabat lain *A. marina* yang biasa dijumpai hidup bersama adalah *Avicennia alba* atau api-api hitam, *Avicennia officinalis* atau api-api daun lebar serta *Avicennia rumhiana* yang mulai jarang ditemukan (Halida, 2014).



Gambar 4. Mangrove *Avicennia marina*

Berikut merupakan klasifikasi dari *Avicennia marina*:

Kingdom: Plantae

Subkingdom: Tracheobionta

Superdivisi: Spermatophyta

Divisi: Magnoliophyta

Kelas: Magnoliopsida

Subkelas: Asteridae

Ordo: Lamiales

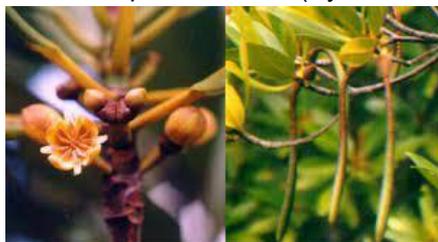
Famili: Verbenaceae

Genus: *Avicennia*

Spesies: *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.

A. marina terdiri dari tiga subspecies yang terdistribusi pada habitat dengan kondisi iklim yang bervariasi, yaitu: *subsp. eucalyptifolia* di daerah tropis basah, *subsp. marina* di daerah tropis kering dan *subsp. australasica* di daerah beriklim sedang dengan curah hujan menengah (Tobing et.al., 2021). *Avicennia marina* memiliki struktur anatomi yang kompleks. Struktur anatomi *A. marina*, seperti mangrove pada umumnya, mempunyai mekanisme adaptasi untuk dapat menyesuaikan diri pada kondisi lingkungan yang ekstrem, sehingga *A. marina* tetap dapat bertahan hidup. Bagian anatomi daun khusus *A. marina* meliputi kelenjar pengeluaran garam (*saltextruding gland*) yang terletak di epidermis serta jaringan penyimpanan air. Banyak jaringan penyimpanan air di jaringan *hipodermis* yang menunjukkan sifat modifikasi *A. marina* di habitat dengan salinitas tinggi. Struktur anatomi *A. marina* menunjukkan karakter *xeromorphic* seperti kutikula tebal, jaringan penyimpanan air (*hipodermis*), jaringan palisade yang lebar, kelenjar garam, dan trikoma yang berperan dalam adaptasi anatomi (Surya dan Hari, 2017).

Mangrove *Rhizophora apiculata*. *Rhizophora apiculata* adalah salah satu jenis mangrove yang sering tumbuh pada tanah berlumpur, halus, dalam dan tergenang pada saat pasang normal. Kemudian tidak menyukai substrat lebih keras yang bercampur dengan pasir, tingkat dominansinya mencapai 90%, menyukai perairan pasang surut dan memiliki pengaruh masukan air tawar yang kuat, tumbuhnya lambat dan berbunga disepanjang tahun. *R. apiculata* tumbuh subur di daerah muara sungai dengan lumpur lembut, tingginya dapat mencapai 15 m, berakar tunjang, daunnya bersusun tunggal dan bersilangan, bentuk daunnya elips menyempit dengan panjang mencapai 9 – 18 cm. Bunga *R. apiculata* selalu kembar dengan panjang kelopaknya mencapai 12 – 14 mm, lebarnya 9 – 10 mm dan berwarna orange kekuningan, panjang buah mencapai 25 – 30 cm, berwarna coklat, kulitnya kasar dan berbunga pada bulan April – Oktober (Syahrial, 2019).



Gambar 5. Mangrove *Rhizophora apiculata* (Azhari et.al., 2022)

Klasifikasi Tumbuhan Mangrove *Rhizophora apiculata* (Azhari et.al., 2022):

Kingdom : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Magnolopsida

Ordo : Myrtales

Family : Rhizophoraceae

Genus : *Rhizophora*

Spesies : *Rhizophora apiculata*

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. berapa kadar logam berat Zn dan Cu yang terkandung dalam sampel air laut, sedimen, dan tumbuhan mangrove di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea?
2. bagaimana distribusi logam berat Zn dan Cu dalam sampel air laut, sedimen, dan tumbuhan mangrove di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menentukan kadar logam berat Zn dan Cu yang terkandung pada air laut, sedimen, dan tumbuhan mangrove di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atom.
2. Menentukan distribusi logam berat Zn dan Cu dalam sampel air laut, sedimen, dan tumbuhan mangrove di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi kepada masyarakat mengenai pentingnya mengetahui bahaya logam berat dan hubungannya dengan biota laut (mangrove) yang ada di sekitar kawasan hutan mangrove Lantebung Kecamatan Tamalanrea.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air laut, sedimen, mangrove *Rhizophora apiculata* dan *Avicennia marina*, HNO₃ p.a, HClO_{4(p)}, H₂O₂ 30%, HCl, larutan standar ZnSO₄.7H₂O, CuSO₄.5H₂O, kertas saring *whatman* no.42, akuabides, kertas label dan *tissue*.

2.2 Alat Penelitian

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

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Maret - Mei 2024. Sampel diambil di sekitar perairan Kawasan Hutan Mangrove Lantebung, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Pengambilan Sampel Air (SNI 8995:2021)

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

2.4.2 Pengambilan Sampel Sedimen (Pratiwi et al., 2022)

Sampel sedimen diambil sebanyak 700 gram menggunakan alat *Eckmen grab*. Sampel sedimen kemudian disimpan pada plastik sampel dan diberi label, selanjutnya dimasukkan ke dalam *coolbox* dan dibawa ke laboratorium.

2.4.3 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.

2.4.4 Penentuan Kadar Air

Penentuan kadar air pada sedimen (SNI 8910:2021). Penentuan kadar air pada 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 selama 30 menit dan ditimbang hingga bobot konstan untuk mengetahui jumlah air yang hilang.

Penentuan kadar air pada sampel mangrove (Rachmawati et al., 2018). Penentuan kadar air pada sampel mangrove dilakukan dengan membilas masing-masing akar, batang, dan daun dengan akuabides dan dikering-anginkan, kemudian dipotong kecil-kecil. Sampel ditimbang dengan teliti sebanyak 5 gram menggunakan cawan petri yang sebelumnya telah diketahui bobot kosongnya. Sampel kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam, kemudian didinginkan di dalam desikator lalu ditimbang 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)

2.4.5 Preparasi sampel

Preparasi sampel air (SNI 8995:2021). Preparasi sampel dimulai dengan memipet sampel sebanyak 100 mL ke dalam gelas kimia 250 mL, ditambahkan 5 mL HNO₃ 65% dan dipanaskan perlahan-lahan 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 lalu dihomogenkan. Larutan sampel air siap dianalisis menggunakan SSA.

Preparasi sampel sedimen (SNI 8910:2021). Preparasi sampel sedimen dilakukan dengan cara menggerus sampel sedimen yang telah kering kemudian diayak menggunakan ayakan 150 mesh. Sampel sedimen ditimbang sebanyak 2 gram dan dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL, kemudian ditambahkan HNO₃ 1:1 sebanyak 10 mL, dihomogenkan, dan dipanaskan pada suhu 95 °C selama 10-15 menit (tanpa mendidih), kemudian didinginkan. Setelah dingin, sampel sedimen ditambahkan 5 mL HNO₃ p.a kemudian sampel dipanaskan kembali pada suhu 95 °C selama 30. Jika asap coklat dan larutan masih keruh maka ditambahkan kembali

5 mL HNO_3 p.a dan diulangi pemanasan hingga larutan jernih atau asam coklat hilang. Sampel dibiarkan menguap hingga volume 5 mL tanpa mendidih atau dapat dipanaskan kembali pada suhu $95\text{ }^\circ\text{C}$. Setelah itu sampel didinginkan, kemudian ditambahkan akuabides sebanyak 2 mL dan H_2O_2 30 % sebanyak 3 mL. Sampel kemudian dipanaskan kembali pada suhu $95\text{ }^\circ\text{C}$ hingga busanya berkurang atau contoh uji tidak terjadi perubahan, kemudian dilanjutkan pemanasan hingga volume sampel ± 5 mL. Sampel selanjutnya ditambahkan 10 mL HCl pekat, kemudian dipanaskan pada suhu $95\text{ }^\circ\text{C}$ hingga volume larutan mencapai 5 mL (tanpa mendidih) dan didinginkan. Setelah dingin, sampel disaring dengan menggunakan kertas saring *whatman* no.42 ke dalam labu ukur 100 mL. Larutan sampel ditambahkan akuabides hingga tanda batas kemudian dihomogenkan. Larutan sampel sedimen siap dianalisis menggunakan SSA.

Preparasi sampel mangrove (Rachmawati et al., 2018). Preparasi sampel mangrove dilakukan dengan cara menggerus akar, batang, daun hingga halus kemudian diayak dengan ayakan 150 *mesh*. Sampel akar, batang, dan daun yang telah halus masing-masing ditimbang dengan teliti sebanyak 1 gram, 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. Sampel selanjutnya disaring dengan menggunakan kertas saring *whatman* no.42 ke dalam labu ukur 50 mL. Sampel diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan HNO_3 . Sampel kemudian diencerkan dan dihomogenkan dengan akuabides hingga tanda batas lalu dihomogenkan. Larutan sampel mangrove siap dianalisis dengan menggunakan SSA.

2.4.6 Pembuatan Larutan Baku Zn

Pembuatan larutan baku induk Zn 100 mg/L. Padatan seng sulfat heptahidrat $\text{Zn}(\text{SO}_4)\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ditimbang dengan teliti sebanyak 0,0439 g ke dalam gelas kimia 50 mL, kemudian dilarutkan dengan akuabides dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dan dihomogenkan menggunakan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan. Larutan induk ini setara dengan 100 mg/L.

Pembuatan larutan baku intermediet Zn 25 mg/L. Larutan baku intermediet Zn 25 mg/L, dibuat dengan cara memipet 25 mL larutan baku Cd 100 mg/L ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan dan dihomogenkan hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

Pembuatan larutan baku kerja. Larutan baku kerja Zn pada variasi konsentrasi 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; dan 3,2 mg/L dibuat dengan memipet masing-masing 0,2 mL; 0,4 mL; 0,8 mL, 1,6 mL, 3,2 mL; dan 6,4 mL, larutan baku Zn 25 mg/L kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan NaOH/HNO_3 . Diencerkan dan dihomogenkan menggunakan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.7 Pembuatan Larutan Baku Cu

Pembuatan larutan baku induk Cu 100 mg/L. Padatan tembaga(II) sulfat pentahidrat $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ditimbang dengan teliti sebanyak 0,0392 g ke dalam gelas kimia 50 mL, kemudian dilarutkan dengan akuabides dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Diencerkan dan dihomogenkan menggunakan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan. Larutan induk ini setara dengan 100 mg/L.

Pembuatan larutan baku intermediet Cu 25 mg/L. Larutan baku intermediet Cu 25 mg/L, dibuat dengan cara memipet 25 mL larutan baku Cu 100 mg/L ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan dan dihomogenkan hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

Pembuatan larutan baku kerja. Larutan baku kerja Cu pada variasi konsentrasi 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; dan 3,2 mg/L dibuat dengan memipet masing-masing 0,2 mL; 0,4 mL; 0,8 mL, 1,6 mL, 3,2 mL; dan 6,4 mL, larutan baku Cu 25 mg/L kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, diatur pada pH 2-3 dengan menambahkan NaOH/HNO_3 . Diencerkan dan dihomogenkan menggunakan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.8 Pembuatan Larutan Blanko

Larutan HNO_3 0,5 M sebanyak 2 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian larutan dihomogenkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.9 Analisis Zn dan Cu dengan Spektrofotometer Serapan Atom

Analisis logam berat pada sampel berdasarkan prosedur SNI 6989.84:2019 dan SNI 8910:2021 dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), di mana lampu katoda sebagai sumber radiasi. Analisis logam berat Zn dan Cu menggunakan campuran udara dan asetilena sebagai bahan bakar, dengan panjang gelombang Zn adalah 213,9 nm dan Cu 324,8 nm.

Sampel dan deret standar diukur serapannya dengan menggunakan SSA. Penentuan konsentrasi logam dalam sampel dapat ditentukan menggunakan teknik kurva kalibrasi yang berupa garis linier sehingga diperoleh hubungan antara konsentrasi logam dari absorbansi yang terukur. Konsentrasi yang sebenarnya dari logam dalam sampel dapat ditentukan melalui perhitungan;

$$C = \frac{c \times V}{g} \quad (2)$$

Keterangan:

C = konsentrasi sebenarnya (mg/kg)

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

V = volume sampel (L)

g = massa sampel (kg)

2.4.10 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:

$$TF = \frac{[M] \text{ dalam daun (mg/kg)}}{[M] \text{ dalam akar (mg/kg)}} \times 100\% \quad (3)$$

$$BCF = \frac{[M] \text{ rata-rata dalam jaringan tumbuhan (mg/kg)}}{[M] \text{ yang terdapat dalam sedimen (mg/kg)}} \times 100\% \quad (4)$$

Nilai BCF dan TF selanjutnya digunakan untuk menentukan mekanisme penyerapan logam berat oleh tumbuhan. Menurut Liong, dkk., (2020) 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.