

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan perairan merupakan masalah krusial yang memerlukan perhatian serius dari berbagai pihak, mengingat adanya dampak yang luas terhadap kesehatan ekosistem, keberlanjutan sumber daya laut dan kesejahteraan masyarakat pesisir. Salah satu penyebab utama pencemaran di wilayah perairan adalah aktivitas antropogenik, yaitu kegiatan manusia yang secara langsung maupun tidak langsung menyumbang zat pencemar, termasuk logam berat ke dalam ekosistem perairan. Indonesia sebagai negara maritim, laut berperan penting dalam menunjang pertumbuhan ekonomi nasional (Dewi, 2023), terutama melalui aktivitas pelayaran, pelabuhan dan perdagangan internasional. Berdasarkan Statistik Transportasi Laut 2022 yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS), tercatat tingginya aktivitas pelayaran domestik dan internasional di Indonesia. Aktivitas pelabuhan yang intensif, seperti bongkar muat barang, transportasi laut dan pembangunan industri pendukung dapat menjadi sumber pencemaran di perairan yang membahayakan ekosistem laut dan pesisir (BPS, 2023).

Pelabuhan yang berada di perairan Biringkassi secara kontinyu menghasilkan zat pencemar di lingkungan perairan sekitar. Menurut Usman *et al.* (2015) jenis logam yang berpotensi sebagai zat pencemar di wilayah Pelabuhan Biringkassi ialah jenis logam berat timbal (Pb) yang dapat dihasilkan dari aktivitas bongkar muat kapal pengangkut semen curah dan batu bara. Selain itu, terdapat jenis pencemar logam berat tembaga (Cu) di lingkungan perairan yang juga dihasilkan dari cat kapal yang mengandung senyawa tembaga, seperti cat *anti-fouling* yang digunakan sebagai bahan pengawet untuk menghambat proses terjadinya korosi dan mencegah organisme seperti kerang dan teritip yang dapat melekat pada badan kapal (Lagerstrom *et al.*, 2022).

Pada kawasan perairan Biringkassi, ekosistem mangrove berkembang dengan baik, mencakup pertumbuhan alami maupun hasil dari program rehabilitasi lingkungan pesisir. Mangrove yang tumbuh mendominasi pada kawasan ini ialah jenis mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata*. Kedua spesies ini tersebar secara merata di sepanjang garis pantai (Haidir, 2022). Ekosistem

mangrove dapat dijadikan sebagai pelindung dalam meredam angin kencang, gelombang tinggi, tsunami dan intrusi air laut di kawasan pesisir.

Selain itu, Maulida *et al.* (2019) menjelaskan bahwa ekosistem mangrove memiliki peranan penting sebagai habitat dalam pemijahan (*spawning ground*), asuhan (*nursery ground*) dan mencari makan (*feeding ground*) bagi organisme perairan. Mangrove merupakan tumbuhan pesisir yang dapat mengakumulasi logam berat yang berada di wilayah perairan (Retnosari *et al.*, 2024). Tumbuhan mangrove berfungsi sebagai biofilter zat pencemar. Tumbuhan mangrove memiliki daya toleransi yang tinggi terhadap logam berat sehingga dapat mengakumulasi logam berat dan dapat dijadikan sebagai tanaman fitoremediasi (Hamzah & Pancawati, 2013; Permatasari *et al.*, 2025). Bagian tubuh akar mangrove yang memiliki kemampuan akumulasi logam berat (Tam & Wong, 2000). Akumulasi logam berat lebih banyak terjadi pada akar mangrove dibandingkan pada bagian lainnya yang disebabkan karena bagian akar mangrove berhubungan langsung dengan air dan sedimen. Akar mangrove memiliki peranan penting sebagai agen pengikat dan perangkap zat polutan sehingga dapat mengurangi konsentrasi zat pencemar yang berada di perairan. Mangrove jenis *Avicennia* dan *Rhizophora* mempunyai potensi sebagai fitoremediator dengan mekanisme rhizofiltrasi. Hal ini dapat ditunjukkan dari hasil penelitian Mentari *et al.* (2022) yaitu konsentrasi Cu pada akar *Rhizophora mucronata* lebih besar daripada konsentrasi Cu pada daun dan memiliki nilai $BCF < 1$. Berdasarkan hasil penelitian Fadhilah *et al.*, (2018) akar *Avicennia marina* dapat mengakumulasi logam berat Pb di kawasan Taman Wisata alam Angke Kapuk dengan nilai rata-rata BCF 1,0246 yang dapat dikategorikan sebagai akumulator.

Banyak penelitian telah membahas mengenai kemampuan akumulasi logam berat seperti Cu dan Pb oleh tumbuhan mangrove, terutama pada bagian akarnya. Akar mangrove dikenal memiliki peran penting dalam menyerap dan menahan logam berat dari lingkungan perairan dan sedimen sekitarnya. Namun, daya serap logam berat tidak seragam antar spesies mangrove. Setiap spesies memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap, mentranslokasi dan menstabilkan logam berat yang juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik morfologi dan fisiologinya di lingkungan. Berdasarkan fenomena adanya pencemaran yang terjadi di lingkungan perairan dan kesadaran akan besarnya peranan yang dapat diberikan tumbuhan mangrove, maka perlu mengevaluasi kondisi perairan dan dilakukan penelitian ini untuk melihat kemampuan akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* dalam

mengakumulasi logam berat Cu dan Pb di kawasan perairan sekitar pelabuhan Biringkassi.

1.2 Rumusan Penelitian

Rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana konsentrasi logam berat Cu dan Pb pada air, sedimen dan akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* di perairan sekitar Pelabuhan Biringkassi, Pangkep?
2. Bagaimana perbedaan kemampuan mengakumulasi logam berat Cu dan Pb pada jenis mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* di perairan sekitar Pelabuhan Biringkassi, Pangkep?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Menganalisis konsentrasi logam Cu dan Pb pada air, sedimen dan akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* di perairan sekitar pelabuhan Biringkassi, Pangkep.
2. Menganalisis perbedaan kemampuan mengakumulasi logam berat Cu dan Pb pada jenis mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* di perairan sekitar Pelabuhan Biringkassi Pangkep.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini, yaitu :

1. Sebagai informasi dalam upaya pengelolaan lingkungan di perairan sekitar Pelabuhan Biringkassi, Pangkep.
2. Sebagai dasar acuan bagi instansi terkait untuk mengembangkan strategi mitigasi pencemaran logam berat yang lebih efektif di perairan sekitar Pelabuhan Biringkassi, Pangkep.

BAB II

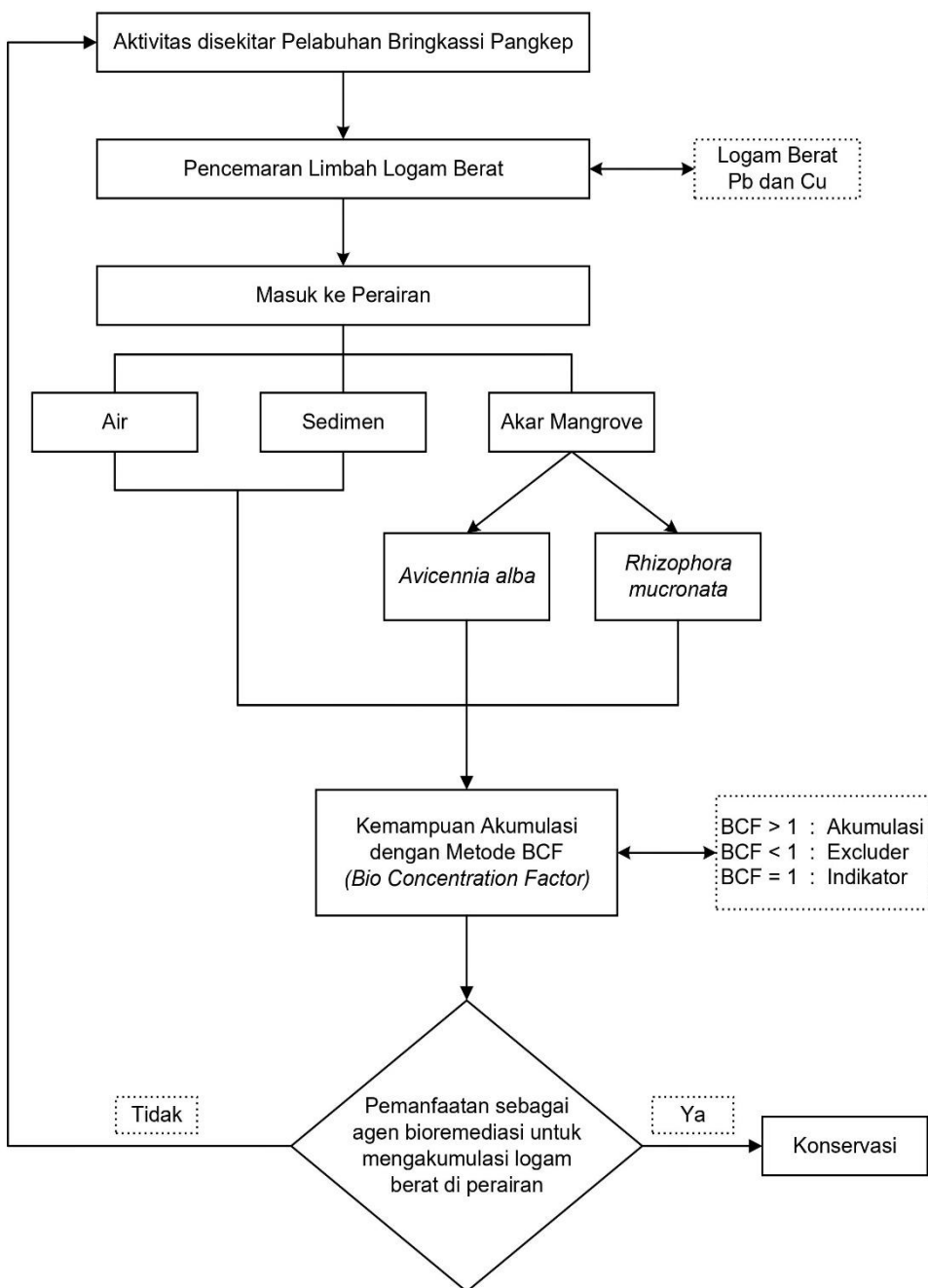
KERANGKA PIKIR

Aktivitas antropogenik di sekitar Pelabuhan Bringkassi Pangkep, menjadi sumber pencemaran limbah logam berat, khususnya Cu dan Pb. Pencemaran yang terjadi di perairan dapat disebabkan oleh adanya akumulasi zat polutan yang berasal dari aktivitas pelabuhan seperti terjadi tumpahan minyak dari kapal dan bongkar muat kapal pengangkut semen dan batu bara, adanya aktivitas yang menghasilkan limbah rumah tangga, pertambakan, kegiatan pariwisata dan industrialisasi. Limbah logam berat dari aktivitas tersebut masuk ke ekosistem perairan dan menyebar ke tiga kompartemen lingkungan utama yaitu air, sedimen dan akar mangrove. Dalam penelitian ini, dua spesies mangrove yang menjadi fokus utama penelitian adalah *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata*, yang dikenal memiliki peran ekologis penting dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat. Zat pencemar logam berat yang masuk ke dalam perairan, akan menimbulkan interaksi dengan sedimen dan partikel-partikel yang ada dalam air dan akan tersuspensi serta dalam keadaan terlarut, zat pencemar dapat diambil ataupun diserap oleh organisme baik tumbuhan dan hewan sehingga akan mengalami proses akumulasi di dalam tubuh organisme. Pencemaran logam berat Cu dan Pb di perairan sangat berdampak dan berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsinogenik yang dapat menyebabkan terjadinya mutasi dan dalam jangka panjang toksisitasnya meningkat dan memerlukan waktu yang lama untuk bisa terurai di perairan.

Proses akumulasi logam berat oleh akar mangrove kemudian dievaluasi menggunakan pendekatan BCF (*Bio Concentration Factor*), yaitu perbandingan antara konsentrasi logam di jaringan tanaman dengan konsentrasi logam di media lingkungan (air atau sedimen). Nilai $BCF > 1$ mengindikasikan bahwa tanaman mampu mengakumulasi logam secara aktif; nilai $BCF < 1$ menunjukkan bahwa tanaman cenderung mengeksklusi atau menghindari penyerapan logam; sedangkan nilai $BCF = 1$ berarti tanaman dapat berperan sebagai indikator kualitas lingkungan. Tumbuhan mangrove berfungsi sebagai biofilter zat pencemar. Tumbuhan mangrove memiliki daya toleransi yang tinggi terhadap logam berat sehingga dapat mengakumulasi logam berat dan dapat dijadikan sebagai tanaman fitoremediasi.

Tumbuhan mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* memiliki kemampuan akar yang dapat menyerap dan mengakumulasi logam berat.

Hasil dari analisis BCF menentukan potensi kedua spesies mangrove sebagai agen bioremediasi. Apabila mangrove memiliki kemampuan akumulasi logam berat yang tinggi ($BCF > 1$), maka spesies tersebut dapat dimanfaatkan dalam strategi konservasi dan rehabilitasi kawasan pesisir tercemar. Sebaliknya, jika kemampuan akumulasinya rendah, maka penggunaannya sebagai agen bioremediasi perlu dikaji ulang. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting dalam upaya pengelolaan lingkungan pesisir secara berkelanjutan dan berbasis ekosistem.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif untuk mengetahui kemampuan daya serap akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* dalam mengakumulasi logam berat tembaga (Cu) dan timbal (Pb). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari eksperimental dengan pendekatan kuantitatif melalui survei, observasi, pengamatan parameter lingkungan, pengambilan sampel air, sedimen dan akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* serta analisis laboratorium. Data sekunder diperoleh dari studi pustaka dengan mencari studi penelitian sebelum ataupun teori maupun konsep dari masalah secara umum guna sebagai referensi untuk dijadikan perbandingan dengan hasil penelitian nantinya.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober - Desember 2024 di perairan sekitar Pelabuhan Birngkassi, Desa Bulu Cindea, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep. Pengambilan sampel berdasarkan penetapan lokasi stasiun penelitian. Terdapat 3 stasiun penelitian dimana dilakukan dua kali pengulangan secara acak pada masing-masing stasiun. Sampel yang diambil berupa air, sedimen serta akar *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata*. Analisa kadar logam berat dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Fungsinya dalam Penelitian

Alat	Fungsi
Termometer	Untuk mengukur suhu air secara in situ
Refraktometer	Untuk mengukur salintas air secara in situ
pH meter	Untuk mengukur pH air secara in situ
DO meter	Untuk mengukur oksigen terlarut dalam air secara in situ
Kamera digital	Untuk dokumentasi penelitian
Pisau	Untuk memotong sampel akar mangrove

Plastik sampel	Untuk menyimpan sampel sedimen dan akar mangrove
Botol sampel	Untuk menyimpan sampel air
Kertas label	Untuk memberi tanda pada sampel
<i>Cool box</i>	Untuk tempat penyimpanan semua sampel
Ring sampel tanah	Untuk mengambil sampel tanah
Alat tulis menulis	Untuk mencatat data di lapangan/ di laboratorium
Timbangan analitik	Untuk menimbang berat sampel
Kertas saring	Untuk menyaring partikel padat dari larutan cair
Gelas kimia	Untuk wadah penyimpanan larutan sampel
<i>Hot plate</i>	Untuk memanaskan larutan sampel
Oven	Untuk mengeringkan sampel
ICP-MS	Untuk analisis konsentrasi logam berat pada sampel

Bahan dalam penelitian ini adalah sampel air, sedimen serta akar tumbuhan mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata*, larutan asam nitrat (HNO_3), asam klorida dan aquades.

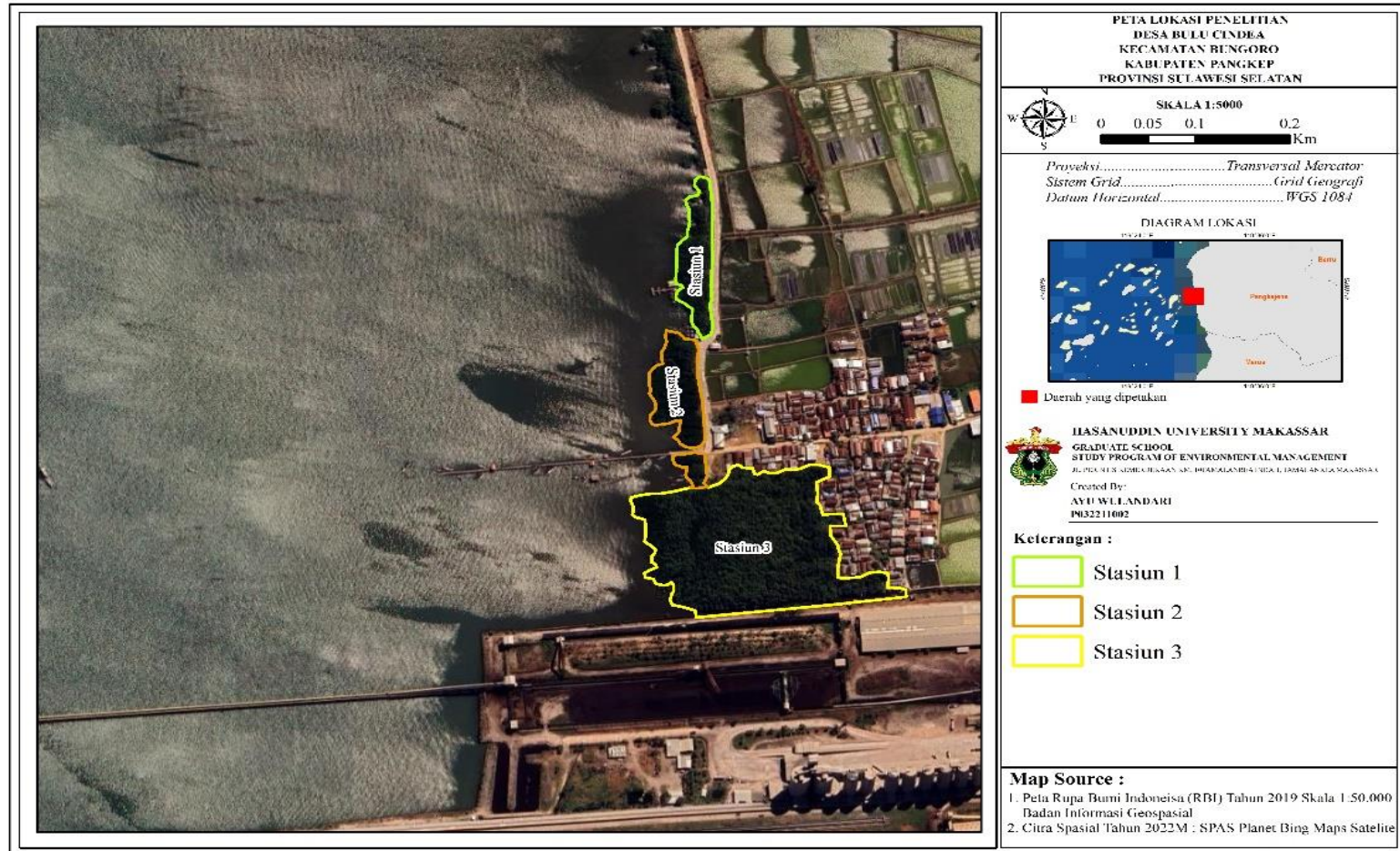
3.4 Prosedur Kerja Penelitian

3.4.1 Karakterisasi Awal Lokasi

Lokasi penelitian dipilih secara *purposive sampling* dengan mempertimbangkan kemungkinan adanya kontaminasi logam berat yang berada di wilayah sekitar pelabuhan dan dermaga nelayan serta wilayah dengan aktivitas manusia yang menghasilkan limbah rumah tangga dan limbah industri yang menjadi tempat akumulasi logam berat. Logam berat yang masuk kedalam ekosistem perairan pesisir dapat juga berasal dari aktivitas perkapalan, pemukiman dan tempat wisata. Konsentrasi logam berat yang tinggi dalam lingkungan dapat menimbulkan kerusakan lingkungan dan menyebabkan meningkatnya daya toksisitas, persisten dan bioakumulasi logam dalam lingkungan (Samosir, *et al.*, 2023).

Penetapan awal lokasi stasiun penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2, yaitu:

- Stasiun 1 : Kawasan Wisata Hutan Mangrove Dewi Biringkassi
- Stasiun 2 : Kawasan Dermaga Kayu Biringkassi
- Stasiun 3 : Kawasan Samping Pelabuhan Tonasa Biringkassi



Gambar 2. Peta Penelitian (Titik Lokasi Stasiun Penelitian)

3.4.2 Parameter Lingkungan

3.4.2.1 Suhu

Suhu perairan diukur dengan menggunakan alat termometer. Pengukuran suhu dilakukan dengan mencelupkan alat termometer ke dalam air hingga batas skala baca dan dibiarkan sampai nilai skala suhu pada termometer menunjukkan angka yang stabil. Selanjutnya, dicatat angka yang tertera pada skala suhu termometer tersebut.

3.4.2.2 Derajat Keasaman (pH)

pH perairan diukur dengan menggunakan alat pH meter. Pengukuran pH dilakukan dengan mencelupkan alat pH meter ke dalam air selama $\pm$ (1-2) menit, kemudian pH meter diangkat dari air. Selanjutnya, dicatat nilai pH perairan yang terlihat dari angka yang tertera pada skala pH meter tersebut.

3.4.2.3 Salinitas

Salinitas diukur dengan menggunakan alat refraktometer. Pada bagian ujung refraktometer ditetesi dengan sampel air. Setelah itu, dilihat kedalam ujung bulat dari indeks bias refraktometer. Salinitas ditunjukkan dari angka yang tertera dengan melihat batas tertinggi berwarna biru muda yang terdapat pada skala metrik vertikal alat refraktometer. Selanjutnya, dicatat nilai yang tertera pada skala refraktometer tersebut.

3.4.2.4 Kandungan Oksigen Terlarut (DO)

Kandungan oksigen terlarut pada perairan diukur dengan menggunakan alat DO meter. Pengukuran oksigen terlarut dilakukan dengan mengambil sampel air sebanyak ± 500 mL kemudian disimpan pada gelas kimia. Selanjutnya, dicelupkan batang probe DO meter kedalam gelas kimia hingga terbenam selama $\pm$ (2-3) menit. Setelah itu, dicatat nilai kandungan oksigen terlarut yang terlihat dari angka yang tertera pada skala alat DO meter.

3.4.3 Prosedur Pengambilan Sampel Air

Sampel air diambil pada kedalaman ± 30 cm dari permukaan sebanyak 100 mL. Sampel yang telah diambil dimasukkan kedalam botol sampel. Untuk pengawetan sampel air dilakukan dengan cara menambahkan larutan asam nitrat (HNO_3) hingga $\text{pH} < 2$ (Rochyatun *et al.*, 2006). Kemudian sampel air diberi label nama dan dimasukkan ke dalam *cool box*.

3.4.4 Prosedur Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan alat ring sampel tanah (*Soil Ring Sample*) yang memiliki diameter sekitar 5 cm. Proses pengambilan dilakukan dengan menekan ring tersebut hingga mencapai kedalaman sekitar 30 cm untuk memperoleh sedimen sebanyak kurang lebih 50 gram. Setelah itu, sedimen yang telah diambil dimasukkan ke dalam plastik sampel yang telah diberi label identitas sesuai lokasi pengambilan. Selanjutnya, sampel-sampel tersebut disimpan di dalam *cool box* guna menjaga kondisi dan kestabilan kualitas sampel hingga proses analisis di laboratorium.

3.4.5 Prosedur Pengambilan Sampel Akar Mangrove

Bagian akar dari spesies mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* yang dijadikan sampel adalah bagian akar yang terbenam di dalam sedimen, karena area tersebut diperkirakan memiliki tingkat akumulasi logam berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian akar lainnya. Pemilihan tanaman mangrove dilakukan berdasarkan kriteria morfologis, yaitu pohon dengan lingkaran batang berkisar 20-25 cm dan tinggi mencapai 3-5 meter. Pengambilan sampel akar dilakukan pada dua bagian, yakni pada ujung akar yang tampak keluar dari permukaan sedimen dan bagian pangkal akar yang masih tertanam di dalam sedimen, dengan diameter akar sekitar 0,4-0,6 cm, sesuai dengan metode yang dijelaskan oleh Amin et al. (2019). Proses pengambilan akar dilakukan secara langsung menggunakan alat potong berupa pisau, kemudian setiap sampel akar diambil sebanyak kurang lebih 50 gram, dimasukkan ke dalam plastik yang telah diberi label identitas, dan disimpan dalam *cool box* untuk menjaga kualitas sampel hingga proses analisis di laboratorium.

3.4.6 Prosedur Preparasi Sampel Air

Prosedur preparasi sampel air dilakukan dengan mengambil volume awal sebanyak 50 mL sampel air, yang kemudian ditambahkan 10 mL larutan asam nitrat (HNO_3) guna menstabilkan dan mengikat logam berat yang terlarut di dalam air. Selanjutnya, campuran tersebut dipanaskan di atas hot plate hingga volumenya menyusut menjadi sekitar 20 mL. Setelah proses pemanasan selesai, larutan tersebut diencerkan kembali dengan penambahan aquades hingga mencapai volume akhir 50 mL, lalu didiamkan agar partikel tersuspensi dapat mengendap. Setelah proses pengendapan, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan fase cair dari endapan yang terbentuk. Filtrat atau larutan hasil penyaringan tersebut kemudian siap untuk dianalisis menggunakan instrumen ICP-

MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) guna mengidentifikasi dan mengukur kadar logam berat yang terkandung di dalam sampel.

3.4.7 Prosedur Preparasi Sampel Sedimen

Prosedur preparasi sampel sedimen merujuk pada metode ekstraksi dan analisis logam berat berdasarkan *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater* edisi ke-22, khususnya pada bagian yang membahas analisis logam menggunakan *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS). Tahapan awal preparasi dilakukan dengan mengeringkan sampel sedimen pada suhu 105°C selama kurang lebih 8 jam hingga mencapai kondisi kering sempurna. Setelah itu, sedimen dikhaluskan dengan cara digerus, lalu disaring menggunakan ayakan berukuran 200 mikrometer untuk memperoleh partikel dengan ukuran seragam. Sampel halus yang diperoleh kemudian dilarutkan ke dalam 15 mL larutan air raja, yaitu campuran asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCl) dengan rasio 3:1. Larutan tersebut dipanaskan dalam waterbath selama 8 jam hingga seluruh sedimen terlarut sempurna. Setelah pemanasan, larutan disaring menggunakan kertas saring bebas abu untuk memisahkan residu padat yang tersisa. Filtrat yang dihasilkan kemudian diencerkan dengan air destilasi hingga mencapai volume akhir 100 mL menggunakan labu ukur. Sampel yang telah siap ini selanjutnya dianalisis untuk mengukur konsentrasi logam berat Cu dan Pb menggunakan instrumen ICP-MS (Retnosari et al., 2024).

3.4.8 Prosedur Preparasi Sampel Akar Mangrove

Prosedur preparasi sampel akar mangrove merujuk pada metode ekstraksi dan analisis logam berat berdasarkan *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater* edisi ke-22, khususnya pada bagian yang membahas analisis logam menggunakan *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS). Tahapan awal preparasi dilakukan dengan mengeringkan sampel akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* pada suhu 105°C selama kurang lebih 8 jam hingga mencapai kondisi kering sempurna. Setelah itu, sedimen dikhaluskan dengan cara digerus, lalu disaring menggunakan ayakan berukuran 200 mikrometer untuk memperoleh partikel dengan ukuran seragam. Sampel halus yang diperoleh kemudian dilarutkan ke dalam 15 mL larutan air raja, yaitu campuran asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCl) dengan rasio 3:1. Larutan tersebut dipanaskan dalam waterbath selama 8 jam hingga seluruh sedimen terlarut sempurna. Setelah

pemanasan, larutan disaring menggunakan kertas saring bebas abu untuk memisahkan residu padat yang tersisa. Filtrat yang dihasilkan kemudian diencerkan dengan air destilasi hingga mencapai volume akhir 100 mL menggunakan labu ukur. Sampel yang telah siap ini selanjutnya dianalisis untuk mengukur konsentrasi logam berat tembaga Cu dan Pb menggunakan instrumen ICP-MS (Retnosari et al., 2024).

3.5 Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil analisis konsentrasi logam berat pada air, sedimen dan akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* dengan menggunakan alat ICP-MS di laboratorium kemudian dianalisis dengan menggunakan perhitungan biokonsentrasi faktor. Rachmawati *et al.* (2018) menjelaskan parameter BCF ini merupakan perbandingan antara konsentrasi senyawa di lingkungan dan didalam jaringan atau tubuh organisme. Analisis perhitungan BCF sebagai berikut (MacFarlane et al., 2007):

$$BCF = \frac{\text{Logam berat pada akar}}{\text{Logam berat pada air atau sedimen}}$$

Kategori tanaman dalam emengakumulasi logam berat dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu :

BCF > 1 : Akumulator

BCF < 1 : Excluder

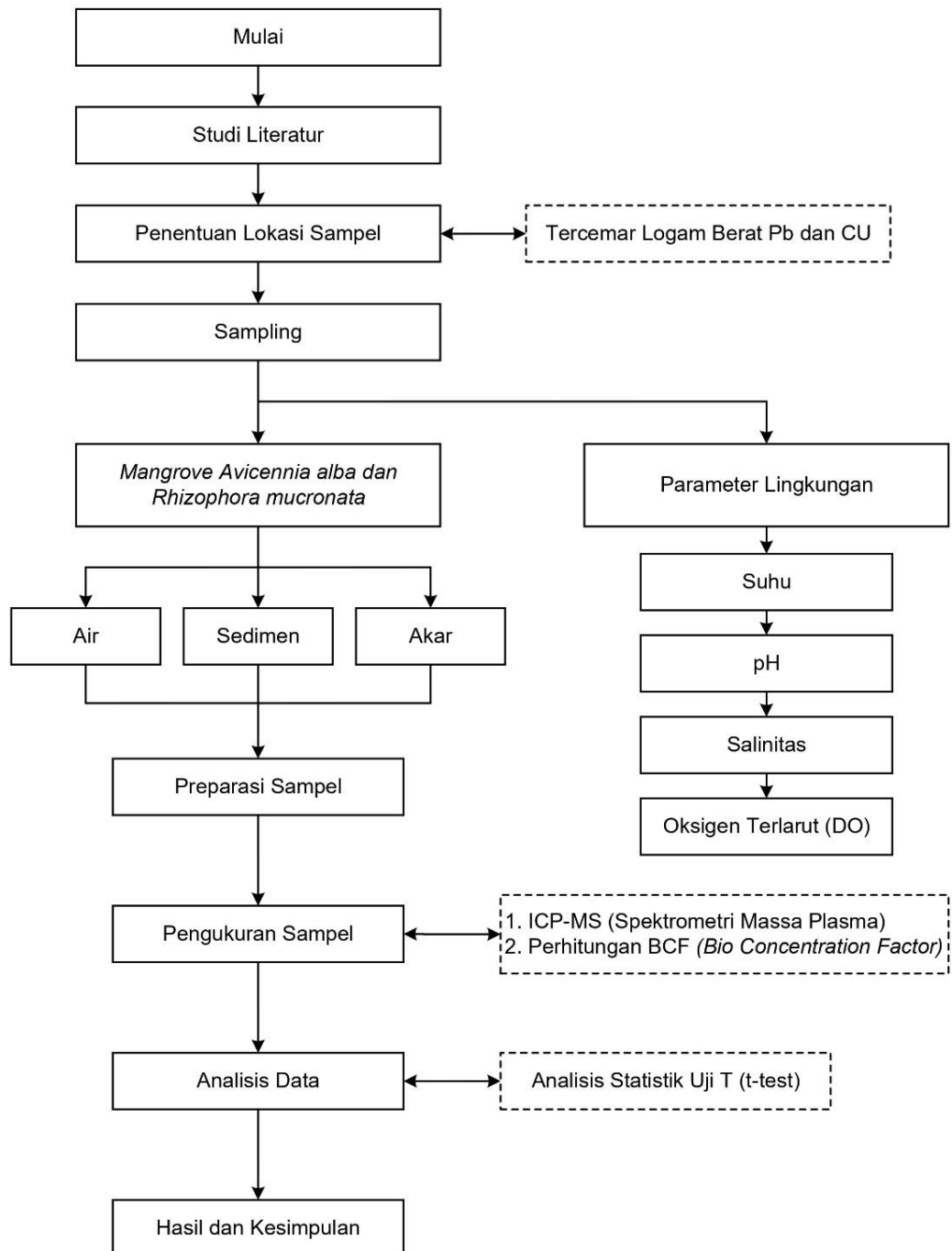
BCF = 1 : Indikator

Bioakumulasi sering kali dijadikan indikator pencemaran logam berat bagi organisme dalam ekosistem yang terkontaminasi karena logam tidak dapat terurai menjadi bentuk yang lebih sederhana. Pengukuran bioakumulasi logam sangat rumit akibat pengaruh interaksi antara logam dengan spesies atau biota tertentu, serta pengaruh faktor lingkungan yang terkait dengan paparan logam berat (Fadhilah *et al.*, 2018). Mangrove sebagai salah satu tumbuhan pesisir yang dapat dijadikan sebagai bioindikator dalam lingkungan perairan. Kemampuan mangrove untuk mengakumulasi logam berat dapat diukur melalui perhitungan nilai BCF (*Bio Concentration Factor*) atau faktor biokonsentrasi. Biokonsentrasi sendiri merupakan bagian dari mekanisme bioakumulasi, yang merujuk pada proses penyerapan dan penumpukan polutan oleh organisme secara langsung dari lingkungan perairan. Dalam proses ini, kontaminan yang berasal dari sumber selain air tidak diperhitungkan. Menurut MacFarlane *et al.*, (2007) Faktor Biokonsentrasi merupakan rasio antara konsentrasi rata-rata logam berat yang terdapat dalam jaringan tumbuhan dengan konsentrasi logam di lingkungan seperti tanah atau air. Perhitungan BCF dilakukan dengan membagi kadar suatu senyawa dalam organisme uji terhadap kadar senyawa yang sama di media air (mg/L) atau sedimen (mg/Kg). Menurut Baker (1981) dalam Awaliyah *et al.* (2018) berdasarkan nilai BCF, tumbuhan diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok:

1. Akumulator – jika nilai $BCF > 1$. Jenis tumbuhan dalam kategori ini mampu menyerap dan menyimpan logam berat dalam jumlah tinggi di jaringannya, bahkan melebihi kadar logam di lingkungan sekitarnya.
2. Ekskluder – jika nilai $BCF < 1$. Jenis tumbuhan ini secara aktif membatasi masuknya logam berat ke bagian atas tanaman, meskipun kadar logam di sekitar akar tetap tinggi.
3. Indikator – jika nilai $BCF = 1$. Jenis tumbuhan ini berfungsi sebagai bioindikator karena mampu mentoleransi logam berat dengan membentuk senyawa pengikat atau mengubah bentuk logam dan menyimpannya di bagian yang tidak sensitif dari tubuh tanaman.

Analisis statistik menggunakan Uji T (*T-test*) diterapkan untuk membandingkan tingkat penyerapan logam berat Cu dan Pb pada akar mangrove jenis *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata*. Analisis ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*) versi 16.0, menggunakan metode dua sampel independen (*Independent Samples T-Test*). Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi adanya perbedaan antara dua variabel, dengan rumusan hipotesis sebagai berikut:

- H_0 : Tidak terdapat perbedaan akumulasi logam berat Cu dan Pb pada akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata*.
- H_1 : Terdapat perbedaan akumulasi logam berat Cu dan Pb pada akar mangrove *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata*.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian