

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Muara sungai merupakan salah satu ekosistem perairan yang memiliki peranan penting dalam keseimbangan lingkungan, terutama sebagai tempat pencampuran air sungai dan air laut. Namun, kawasan ini juga rentan terhadap pencemaran akibat masuknya berbagai polutan, termasuk logam seperti tembaga (Cu). Logam seperti tembaga (Cu) dapat mencemari sungai melalui berbagai sumber antropogenik yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Terdapat beberapa penelitian menunjukkan bahwa sumber utama pencemaran Cu di sungai meliputi limbah domestik, industri, pertanian, serta transportasi dan pelayaran. Sari & Purnomo (2024), menyatakan bahwa limbah domestik seperti deterjen dan produk pembersih, sering kali mengandung tembaga yang dapat masuk ke dalam badan air. Di sisi lain, industri yang memproduksi peralatan listrik, gelas, dan zat warna umumnya menggunakan tembaga dalam proses produksinya, limbah yang tidak dikelola dengan baik dari sektor ini berpotensi mencemari perairan. Selanjutnya, penelitian oleh Patty (2017), menyatakan bahwa dalam sektor pertanian, penggunaan pestisida dan pupuk yang mengandung tembaga juga berkontribusi terhadap pencemaran logam ini di sungai melalui aliran permukaan. Selain itu, Cantika (2023), menyatakan bahwa aktivitas pelayaran dan operasional di sekitar pelabuhan dapat menyebabkan peningkatan kadar tembaga di perairan.

Logam berupa tembaga (Cu) memiliki dampak toksik yang signifikan terhadap biota perairan. Paparan tembaga dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada sel dan jaringan ikan, yang berujung pada proses apoptosis dan kematian. Penelitian oleh Hakim (2016), menunjukkan bahwa konsentrasi tembaga terlarut sebesar 0,01 ppm dalam air laut sudah cukup untuk mengakibatkan kematian pada biota perairan. Selain itu, dikutip dari Pratiwi (2020), paparan tembaga dapat mengganggu proses perkembangan dan reproduksi ikan, serta menyebabkan perubahan pada struktur dan fungsi organ. Kehadiran tembaga dalam perairan juga dapat mempengaruhi kualitas sperma ikan, yang berimplikasi pada penurunan populasi. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian kadar tembaga di ekosistem perairan sangat penting untuk melindungi kesehatan biota dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Menurut Wang (2021), faktor geokimia sedimen berperan penting dalam mengikat tembaga (Cu). Faktornya berupa pH, Kapasitas tukar kation (CEC), kandungan bahan organik, kondisi redoks (Eh), dan Mineral Lempung dan Oksida Besi/Mangan. Faktor berupa pH tinggi mendorong adsorpsi Cu, sementara pH rendah meningkatkan kelarutannya. Kapasitas tukar kation (CEC) pada mineral lempung serta bahan organik membentuk kompleks stabil yang mempertahankan Cu dalam sedimen. Kondisi redoks (Eh) juga mempengaruhi, di mana lingkungan reduktif mengendapkan Cu sebagai sulfida (CuS), sementara kondisi oksidatif meningkatkan mobilitasnya. Selain itu, oksida besi dan mangan memiliki daya adsorpsi tinggi terhadap Cu. Namun, perubahan lingkungan dapat menyebabkan

pelepasan Cu dari sedimen, meningkatkan risiko pencemaran air. Selanjutnya, Faktor hidrodinamika sungai dan muara sangat penting dalam akumulasi logam Cu karena proses aliran air mempengaruhi distribusi dan konsentrasi logam dalam sedimen. Kecepatan dan arah arus dapat mengubah mobilitas logam, sehingga mempengaruhi seberapa banyak logam tersebut terakumulasi di sedimen. Di area dengan aliran yang lebih lambat, seperti di muara atau bagian *recirculation* sungai, material organik dan logam seperti Cu cenderung mengendap dan terikat pada sedimen, meningkatkan kapasitas penampungan logam tersebut.

Muara Sungai Jeneberang dan muara Sungai Tallo dipilih sebagai lokasi penelitian karena kedua lokasi tersebut merupakan dua sistem estuari utama yang memiliki tekanan antropogenik yang tinggi dan peran strategis secara ekologis maupun ekonomis. Kedua muara ini mendukung kehidupan masyarakat pesisir, aktivitas perikanan, pelabuhan, baik domestik, industri, maupun pertanian (Yulianto & Wardhana, 2018). Akan tetapi, peningkatan aktivitas manusia seperti industri, pertanian, serta pertumbuhan kawasan perkotaan di sekitar muara dapat memicu masuknya logam ke dalam sistem perairan (Rauf & Arifin, 2019). Hal ini juga didukung oleh penelitian Mustawa (2019) muara Sungai Tallo tercemar akibat pembuangan limbah dari Kawasan Industri Makassar (KIMA), industri perkapalan, limbah domestik, dan berbagai sumber lainnya.

Berdasarkan uraian-uraian permasalahan di atas, maka sangat penting untuk dilakukan penelitian mengenai distribusi spasial logam tembaga (Cu) di perairan Muara Sungai Jeneberang dan Muara Sungai Tallo.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis distribusi spasial logam tembaga (Cu) di perairan muara Sungai Jeneberang dan muara Sungai Tallo
2. Mengetahui keterkaitan parameter fisika-kimia perairan pada air dan sedimen di muara Sungai Jeneberang dan muara Sungai Tallo

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi sebaran spasial logam tembaga (Cu) di perairan muara Sungai Jeneberang dan muara Sungai Tallo Kota Makassar.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Logam Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) adalah salah satu unsur logam berat yang secara alami terdapat di lingkungan dan memiliki peran penting dalam proses biologis organisme hidup. Dalam konteks perairan, sumber tembaga dapat berasal dari pelapukan batuan, aktivitas vulkanik, serta kontribusi manusia, seperti limbah industri, pertambangan, dan limbah rumah tangga (Tampubolon et al., 2022). Meskipun tembaga merupakan unsur esensial bagi kehidupan, akumulasi dalam konsentrasi tinggi dapat menjadi toksik bagi organisme akuatik.

Di dalam perairan, tembaga dapat ditemukan dalam berbagai bentuk kimia, termasuk ion bebas (Cu^{2+}), kompleks anorganik (misalnya CuCl_2^-), dan kompleks

organik (seperti Cu-humat). Spesiasi tembaga ini dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti pH, suhu, salinitas, dan konsentrasi bahan organik terlarut (Sanusi et al., 2015). Di antara bentuk-bentuk tersebut, ion Cu^{2+} dikenal sebagai bentuk yang paling toksik karena kemampuannya untuk diserap dengan mudah oleh biota air, yang dapat menyebabkan gangguan fisiologis.

Tembaga dapat memasuki rantai makanan melalui proses bioakumulasi, di mana organisme akuatik menyerap logam dari lingkungan sekitarnya. Konsentrasi tembaga yang tinggi dalam organisme dapat menyebabkan gangguan metabolisme, kerusakan insang, penurunan laju pertumbuhan, dan bahkan kematian. Oleh karena itu, tembaga merupakan parameter penting dalam pemantauan kualitas air untuk melindungi ekosistem akuatik (Paundanan et al., 2023).

1.3.2 Sebaran Logam Cu dan Perilakunya Di Muara Sungai serta Keterkaitannya dengan Parameter Lingkungan

Muara sungai merupakan ekosistem transisi yang terletak antara sistem sungai dan laut, yang ditandai oleh dinamika lingkungan yang tinggi akibat pengaruh pasang surut, arus, dan pencampuran massa air. Wilayah muara juga berfungsi sebagai akumulator polutan dari daerah aliran sungai, termasuk logam berat seperti tembaga (Cu) yang berasal dari aktivitas domestik, pertanian, dan industri (Khotimah et al., 2022). Meskipun tembaga adalah logam esensial yang memiliki peran biologis dalam jumlah kecil, konsentrasi yang tinggi dapat menjadi toksik bagi organisme akuatik (Permana et al., 2023).

Konsentrasi logam tembaga (Cu) di lingkungan perairan dipengaruhi oleh berbagai parameter lingkungan yang saling berinteraksi. Faktor-faktor seperti pH, suhu, salinitas, kecepatan arus, potensi redoks (Eh), dan kandungan bahan organik total memiliki peran penting dalam mengatur dinamika logam berat dalam ekosistem perairan. Pemahaman yang mendalam mengenai parameter-parameter ini sangat krusial untuk pengelolaan kualitas lingkungan perairan dan untuk mencegah dampak toksik logam berat terhadap biota akuatik (Falah et al., 2018).

Nilai pH perairan memiliki pengaruh signifikan terhadap kelarutan dan spesiasi logam berat, termasuk tembaga (Cu). Pada kondisi pH rendah, yang bersifat asam, logam berat cenderung lebih larut, sehingga meningkatkan konsentrasi Cu terlarut dan potensi toksisitasnya terhadap organisme akuatik. Sebaliknya, pada pH yang lebih tinggi, Cu cenderung mengendap dalam bentuk hidroksida atau kompleks lainnya, yang mengurangi ketersediaannya dalam kolom air (Wardani, 2022).

Suhu air juga berperan dalam mempengaruhi reaksi kimia dan biologis di perairan, termasuk kelarutan dan mobilitas logam berat seperti Cu. Peningkatan suhu dapat mempercepat laju reaksi kimia, meningkatkan kelarutan logam, serta mengurangi kadar oksigen terlarut, yang semuanya berkontribusi pada perubahan distribusi Cu. Selain itu, suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan metabolisme organisme akuatik, yang pada gilirannya mempengaruhi bioakumulasi Cu dalam jaringan mereka (Sari et al., 2020).

Salinitas ialah konsentrasi garam terlarut dalam air, juga mempengaruhi kelarutan dan distribusi logam berat seperti Cu. Peningkatan salinitas dapat

menyebabkan perubahan dalam spesiasi kimia Cu, yang berdampak pada kelarutannya dan interaksinya dengan partikel tersuspensi. Dalam beberapa kondisi, peningkatan salinitas dapat meningkatkan kelarutan Cu, sementara dalam kondisi lain, dapat menyebabkan pengendapan Cu sebagai kompleks garam (Shafira, 2021).

Kecepatan arus air berpengaruh terhadap distribusi dan sedimentasi logam berat seperti Cu dalam perairan. Arus yang kuat dapat menghambat pengendapan partikel yang mengandung Cu, sehingga menjaga logam tersebut tetap tersuspensi dalam kolom air. Sebaliknya, arus yang lemah memungkinkan partikel untuk mengendap, yang mengurangi konsentrasi Cu terlarut. Selain itu, kecepatan arus juga mempengaruhi pencampuran air dan distribusi oksigen, yang dapat berdampak pada reaksi redoks dan kelarutan Cu. Kecepatan arus yang lebih tinggi dapat meningkatkan kadar oksigen terlarut, yang berpengaruh pada distribusi logam berat dalam perairan (Antari, 2020).

Potensi redoks (Eh) mencerminkan kemampuan oksidasi atau reduksi suatu lingkungan perairan, yang mempengaruhi bentuk kimia dan kelarutan logam berat seperti Cu. Dalam kondisi oksidatif (Eh tinggi), Cu cenderung berada dalam bentuk terlarut yang lebih stabil, sedangkan dalam kondisi reduktif (Eh rendah), Cu dapat membentuk senyawa yang kurang larut dan mengendap. Perubahan Eh dapat terjadi akibat aktivitas mikroorganisme, dekomposisi bahan organik, atau perubahan kondisi lingkungan lainnya, yang semuanya mempengaruhi distribusi Cu dalam perairan (Firmansyah et al., 2019).

Kandungan bahan organik total dalam perairan juga berpengaruh terhadap kelarutan dan bioavailabilitas logam berat seperti Cu. Bahan organik dapat membentuk kompleks dengan Cu, yang meningkatkan kelarutannya dan potensi bioakumulasi dalam organisme akuatik. Namun, konsentrasi bahan organik yang tinggi dapat meningkatkan konsumsi oksigen selama proses dekomposisi, yang menurunkan kadar oksigen terlarut dan menciptakan kondisi reduktif yang mempengaruhi spesiasi Cu. Penelitian menunjukkan bahwa kandungan bahan organik yang tinggi dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat dalam perairan melalui berbagai mekanisme (Wijayanti, 2015).

1.3.3 Studi Kasus

Penelitian mengenai Distribusi Spasial Logam Timbal (Cu) pada Sedimen di Muara Sungai yang telah dilakukan pada berbagai perairan.

Hasil penelitian Polapa et al., (2022) menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cu di air relatif rendah berkisar antara 0,003–0,015 mg/L, sedangkan di sedimen jauh lebih tinggi berkisar 2,85–7,24 mg/kg. Hal tersebut menunjukkan kadar Cu di perairan berfluktuasi tiap tahun seiring peningkatan aktivitas antropogenik seperti industri, pelayaran, dan pertanian. Secara umum, akumulasi Cu lebih stabil pada sedimen karena sifatnya yang mudah mengendap, sementara konsentrasi di air cenderung dinamis dan dipengaruhi faktor lingkungan seperti pH, Eh, dan salinitas yang dapat memicu pelepasan kembali logam dari sedimen ke kolom air.

Besse Darmawanti (2023) menunjukkan bahwa kandungan logam Cu pada sedimen dimuara Sungai Tallo berada di bawah ambang batas yang ditetapkan

dengan kisaran konsentrasi sedimen antara 7,599-16,461mg/kg. Fenomena ini menunjukkan adanya distribusi spasial logam Cu yang tidak merata di sepanjang perairan muara kedua sungai tersebut.

Sabila et al., (2015) meneliti di muara Sungai Silugonggo, Kabupaten Pati, untuk mengkaji konsentrasi dan sebaran logam berat Pb dan Cu dalam sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Cu berkisar antara 29,635 hingga 122,809 mg/l, sementara Pb berkisar antara 2,083 hingga 8,840 mg/l. Distribusi logam-logam ini dipengaruhi oleh pola arus, batimetri perairan, serta jalur lalu lintas kapal yang menuju dan keluar sungai.

Tampubolon et al., (2021), menggunakan pemodelan matematika dua dimensi untuk mensimulasikan sebaran logam berat tembaga (Cu) di perairan Kota Pekalongan. Mereka menemukan bahwa konsentrasi Cu di perairan tersebut berkisar antara 0,007 hingga 0,011 mg/l. Simulasi menunjukkan bahwa pada musim timur, pola sebaran Cu bergerak ke arah barat, yang dipengaruhi oleh arus laut dan musim.

Noor et al., (2021), meneliti distribusi spasial dan faktor kontaminasi logam berat di pesisir Kota Makassar. Mereka menemukan bahwa konsentrasi logam berat Pb, Cd, dan Zn pada sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan kolom air, sementara Cu tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Tidak terdapat perbedaan konsentrasi logam berat yang nyata secara spasial antara lokasi pelabuhan, muara sungai, dan area wisata. Aktivitas masyarakat di daerah pesisir berpotensi menghasilkan pencemar logam berat yang mempengaruhi distribusi logam di perairan tersebut.

Asri (2023) meneliti distribusi spasial potensi logam berat pada sungai di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Banyuroto serta mengevaluasi risiko lingkungannya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah survei lapangan dengan pengambilan sampel air dari beberapa titik sepanjang aliran sungai yang terletak di dekat area TPA. Sampel air dianalisis di laboratorium menggunakan metode spektrofotometri serapan atom (AAS) untuk mengukur kadar logam berat, termasuk Cu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Cu terdeteksi di hampir seluruh titik pengamatan, dengan nilai yang cenderung lebih tinggi di lokasi yang berdekatan dengan TPA. Hal ini menunjukkan adanya kontribusi signifikan dari aktivitas pembuangan sampah terhadap pencemaran logam berat. Nilai indeks pencemaran untuk Cu berada pada kategori ringan hingga sedang, sedangkan nilai RQ mendekati ambang batas risiko di beberapa titik, mengindikasikan potensi bahaya ekologis dalam jangka panjang apabila tidak ditangani.

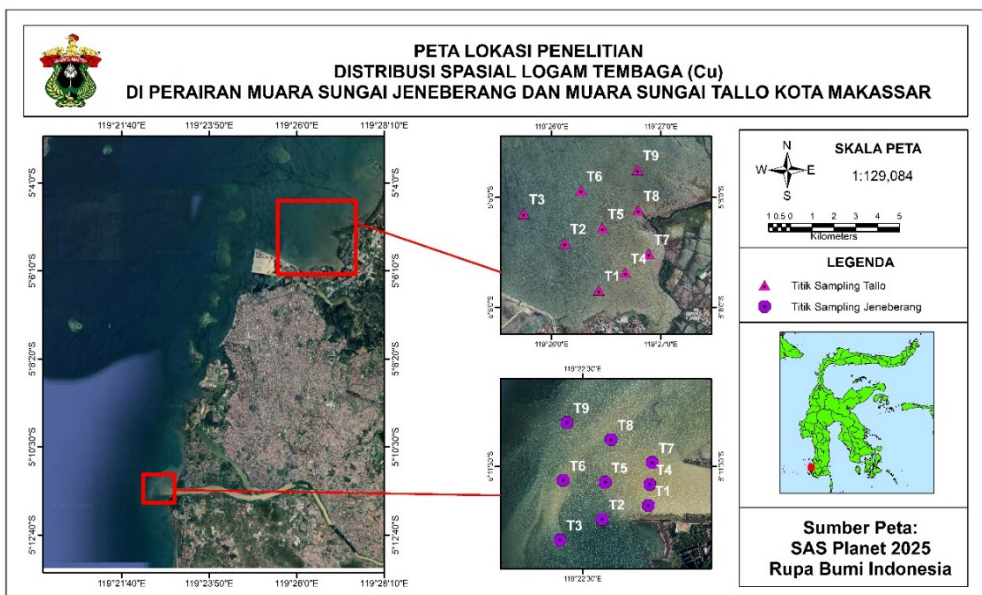
Maisalda et al. (2022) fokus pada distribusi musiman logam berat terlarut di Teluk Jakarta, dengan perbandingan antara musim barat dan musim timur. Penelitian ini menggunakan pendekatan spasial dan temporal dengan pengambilan sampel air laut dari beberapa zona yang meliputi muara, tengah teluk, dan laut terbuka. Analisis logam berat, termasuk Cu, dilakukan dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Di samping itu, parameter fisik-kimia seperti salinitas, pH, suhu, dan total padatan tersuspensi (TSS) juga diukur untuk mengetahui pengaruh lingkungan terhadap distribusi logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Cu lebih tinggi pada musim barat, yang berkaitan

erat dengan peningkatan limpasan daratan akibat curah hujan dan aktivitas antropogenik seperti industri dan domestik yang bermuara ke teluk melalui sungai. Pada musim timur, konsentrasi logam relatif menurun karena adanya pengenceran oleh arus laut dan intensitas hujan yang lebih rendah. Konsentrasi tertinggi logam Cu ditemukan di zona muara, yang merupakan area dengan beban pencemaran tertinggi dari daratan, menunjukkan pentingnya peran muara sebagai area akumulasi logam berat dalam sistem pesisir.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2025 di perairan muara Sungai Jeneberang dan muara Sungai Tallo Kota Makassar. Stasiun penelitian terbagi menjadi 9 titik di masing-masing lokasi. Analisis data dilakukan pada Laboratorium Oseanografi kimia dan Laboratorium Oseanografi Fisika dan Geomorfologi kimia Pantai Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. Serta Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tumbuhan, Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, dan Balai Besar Laboratorium Kesehatan (BBLK) Makassar.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian muara Sungai Jeneberang dan muara Sungai Tallo.
Sumber. SASplanet, ArcGIS

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Alat-alat yang digunakan

No.	Alat	Kegunaan
1.	Botol sampel	Untuk menyimpan sampel air
2.	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS)	Untuk mengukur kandungan Logam
3.	<i>Eijkman grab</i>	Untuk mengambil sampel sedimen
4.	Cawan porselin	Sebagai wadah sampel sedimen

5.	Lumpang dan alu	Untuk menghaluskan sampel sedimen
6.	Oven	Untuk mengeringkan sampel sedimen
7.	Nampan	Sebagai wadah sampel saat mengeringkan sedimen
8.	<i>Sieve and sieve shakker</i>	Sebagai alat yang digunakan untuk mengayak sampel sedimen
9.	Timbangan analitik	Untuk menimbang berat sampel sedimen
10.	<i>Cool Box</i>	Untuk menyimpan botol sampel
11.	<i>Digital refractometer</i>	Untuk mengukur salinitas perairan
12.	<i>Thermometer</i>	Untuk mengukur suhu perairan
13.	Kamera	Untuk mengambil dokumentasi perairan
14.	pH meter	Untuk mengukur kadar pH dan Eh sedimen
15.	Pipet Tetes	Untuk mengambil larutan dengan skala kecil
16.	Plastik sampel	Untuk menyimpan sampel sedimen
17.	<i>Avenza maps</i>	Untuk menentukan titik koordinat pada lokasi penelitian
18.	Alat tulis	Untuk mencatat hasil data dilapangan
19.	Perahu/Boat	Sebagai alat transportasi untuk mengambil data dan sampel
20.	Eh meter	Alat untuk mengukur potensial redoks
21.	Layang-layang arus	Untuk mengetahui kecepatan arus
22.	<i>Stopwatch</i>	Untuk menghitung selisih waktu
23.	kompas	Untuk menentukan arah pada saat ditengah laut untuk mengambil sampel

Tabel 2. Bahan-bahan yang digunakan

No.	Bahan	Kegunaan
1.	Sampel sedimen	Sebagai bahan yang akan dianalisis
2.	Sampel air	Sebagai bahan yang akan dianalisis
3.	Larutan asam sulfat (HNO_3)	Untuk melarutkan senyawa
4.	Larutan asam perklorat (HClO_4)	Untuk mendustruksi logam proses
5.	Larutan kalium klorida (KCl)	Untuk menghitung pH sedimen
6.	Label	Untuk memberi penanda sampel
7.	Spidol	Untuk memberi penanda pada label
8.	<i>Tissue</i>	Untuk membersihkan alat
9.	Aquades	Untuk mengkalibrasi alat

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Tahap persiapan

Pada tahap ini, penulis melakukan konsultasi dengan pembimbing untuk melakukan studi literatur, mengumpulkan informasi yang terkait dengan kondisi umum lokasi penelitian, dan menentukan metode penelitian. Setelah itu, dilakukan observasi awal pada lokasi yang akan diteliti.

2.3.2 Tahap penentuan stasiun

Pada tahap ini, penulis bersama pembimbing menentukan titik stasiun berdasarkan kondisi perairan yang diteliti. Stasiun penelitian terbagi menjadi 9 titik di masing-masing lokasi. Pada lokasi muara Sungai Jeneberang dan muara Sungai Tallo, pengambilan data dilakukan dengan masing-masing 9 titik stasiun yang mengarah ke laut secara horizontal. Penentuan jarak antar titik sampling didasarkan pada kadar salinitas, yaitu dari 15 ppt hingga 30 ppt.

2.4 Pelaksanaan penelitian

2.4.1 Pengambilan sampel air laut

Pengambilan sampel air laut dilakukan dengan menggunakan botol sampel yang diisi penuh dengan air laut. Botol kemudian diberi label sebagai penanda, lalu dimasukkan ke dalam *cool box*. Prosedur yang sama diterapkan pada setiap titik lokasi.

2.4.2 Pengambilan sampel sedimen

Sampel sedimen diperoleh dengan menggunakan perahu pada saat pengambilan sampel air laut sekaligus pengukuran kadar salinitas dan suhu. Alat yang digunakan adalah *Eijkman grab*, kemudian sampel dimasukkan ke dalam plastik sampel dan disimpan di dalam *cool box*. Prosedur ini diterapkan pada setiap titik di lokasi penelitian.

2.4.3 Pengukuran parameter fisika-kimia

Suhu. Pengukuran suhu dilakukan secara *in situ* pada setiap stasiun menggunakan *thermometer*. *Thermometer* dicelupkan ke dalam perairan selama beberapa detik, kemudian skala hasil pengukuran dibaca dan dicatat.

Salinitas. Pengukuran salinitas dilakukan secara *ex situ* di laboratorium menggunakan *digital refractometer*. Sebelum pengukuran, dilakukan kalibrasi dengan aquades dan pembersihan alat menggunakan tisu. Sampel air kemudian diteteskan pada sensor *digital refractometer* menggunakan pipet tetes, lalu hasilnya dicatat.

Derajat Keasaman (pH). Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter. Sampel air laut dimasukkan ke dalam gelas kimia. Alat pH meter terlebih dahulu dikalibrasi dengan aquades, kemudian probe dicelupkan ke dalam sampel. Hasil pengukuran pH kemudian dibaca dan dicatat.

Kecepatan Arus. Pengukuran kecepatan arus dilakukan secara *in situ* di setiap 9 titik pada kedua lokasi dengan menggunakan alat layang-layang arus dan

stopwatch. Sebelum melakukan pengukuran, titik koordinat ditentukan menggunakan GPS, sedangkan arah pergerakan arus diamati menggunakan kompas. Layang-layang arus dilepaskan ke perairan hingga tali pengukur menegang, lalu waktu tempuh dicatat dengan *stopwatch*. Kecepatan arus dihitung menggunakan rumus:

$$v = \frac{s}{t}$$

Keterangan :

v = Kecepatan arus

(m/s) s = Jarak (m)

t = Waktu tempuh (s)

Ukuran Butir Sedimen. Sampel sedimen terlebih dahulu dikeringkan dalam oven selama 2 × 24 jam pada suhu 150°C. Setelah pengeringan, sampel didinginkan, kemudian dihancurkan hingga halus menggunakan lumpang dan alu. Sampel yang telah halus dibersihkan dari kotoran serta sisa-sisa cangkang biota. Sebanyak 100 gram sampel ditimbang dan disaring menggunakan *sieve shaker* dengan ukuran ayakan 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,125 mm, 0,063 mm, dan <0,063 mm. Hasil pengayakan dipisahkan berdasarkan ukuran butir sedimen, kemudian persentasenya dihitung dengan rumus menurut Hutabarat & Evand (1985).

$$\%Berat = \frac{Berat\ hasil\ ayakan}{Berat\ awal} \times 100\%$$

Ukuran butir sedimen selanjutnya dikelompokkan berdasarkan diameter butir menggunakan logaritma phi (Φ) dan diklasifikasikan dengan skala Wentworth.

Tabel 3. Skala Wentworth.

Nama partikel	Ukuran Butir (mm)
Pasir Sangat Kasar (<i>Very Coarse Sand</i>)	1 – 2
Pasir Kasar (<i>Coarse Sand</i>)	0,5 – 1
Pasir Sedang (<i>Medium Sand</i>)	0,025 – 0,5
Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)	0,125 – 0,25
Pasir Sangat Halus (<i>Very Fine Sand</i>)	0,0625 – 0,125

Sumber: Hafizh et al., (2021)

Bahan Organik Total (BOT). Analisis BOT dilakukan di laboratorium. Sampel sedimen ditimbang bersama cawan (Bc), kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 × 24 jam. Setelah dikeringkan, sampel didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang sebagai berat awal (Baw). Selanjutnya, sampel

dimasukkan ke dalam tanur pada suhu 500°C selama 3,5 jam, kemudian didinginkan dan ditimbang kembali sebagai berat akhir (Bak). Kadar BOT dihitung menggunakan persamaan berikut:

a. Bahan Organik Total (BOT)

$$\text{Berat BO awal} = \text{Berat cawan} + \text{Berat sampel}$$

b. Kandungan Bahan Organik Total (BOT)

$$\text{Kandungan BO} = \frac{(Baw - Bc)(Bak - Bc)}{Baw - Bc}$$

c. Persentase Kandungan Bahan Organik Total (BOT)

$$\% \text{Bahan organik} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

Keterangan :

- Baw = Berat awal (gr)
- Bak = Berat akhir (gr)
- Bc = Berat cawan (gr)
- A = Cawan + sampel (gr)
- B = Setelah ditanur (gr)
- C = Sampel (gr)

Potensi Redoks (Eh). Pengukuran potensial redoks dilakukan di lapangan menggunakan *Eh meter*. Sampel sedimen diambil dengan *Eijkman grab* dan langsung diukur tanpa dilakukan pengadukan untuk mencegah perubahan nilai Eh.

2.5 Pengukuran Logam Cu pada Sedimen dan Air

Analisis logam Cu dilakukan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) detector flame dengan batas deteksi 0,001 ppm. Standar baku mutu logam Cu pada air dan sedimen ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Standar baku mutu logam Cu pada air dan sedimen

Sampel	Sumber Baku Mutu	Nilai
Air	PP RI No. 22 Tahun 2021	0,008 mg/L
Sedimen	<i>Australian and New Zealand and Environment and Conservation Council (ANZECC). Agriculture and Resource Management Council of Australian and New Zealand (ARMCANZ)</i>	65 mg/kg

2.5.1 Analisis Kandungan Logam pada Sedimen

Sampel sedimen sebanyak 2 gram dimasukkan ke dalam tabung *digestion block* dengan penambahan 5 ml aquades dan 10 ml HNO_3 . Sampel dipanaskan pada suhu sekitar 100 °C hingga volume larutan berkurang setengah. Setelah didinginkan, ditambahkan 0,5 ml HClO_4 sedikit demi sedikit, kemudian kembali dipanaskan selama 1 jam. Hasil ekstraksi diencerkan hingga 100 ml dengan aquades, lalu disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42. Sampel yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan AAS.

2.5.2 Analisis Logam pada Air

Sampel air sebanyak 100 ml disaring dengan kertas Whatman No. 42, kemudian ditambahkan 10 ml HNO_3 pekat. Sampel dipanaskan di atas hotplate hingga volumenya berkurang menjadi 35 ml. Larutan kemudian diendapkan dan disaring, lalu kadar logam Cu dianalisis menggunakan AAS.

2.6. Analisis Data

Hubungan antara konsentrasi logam Cu pada sedimen dengan parameter oseanografi dianalisis menggunakan korelasi Pearson dengan bantuan perangkat lunak SPSS. Data spasial konsentrasi logam Cu divisualisasikan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis ArcGIS. Peta dasar penelitian diperoleh dari hasil pemindaian (scan), kemudian dilakukan registrasi peta melalui proses georeferensi. Setelah itu, dilakukan digitasi daerah lautan, daratan, serta titik sampling untuk membuat *layer* dalam format *shape file*. Selanjutnya, data konsentrasi logam Cu dimasukkan ke dalam ArcGIS dan dilakukan interpolasi spasial menggunakan metode IDW atau Topo to Raster. Hasil interpolasi ditampilkan dalam bentuk peta spasial, kemudian dilanjutkan dengan proses layout sebelum peta disimpan.