

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air adalah sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, sehingga harus dijaga kelestariannya agar tetap dapat memberikan manfaat. Air dapat digunakan apabila memenuhi kriteria fisika, kimia dan biologi. Standar kualitas air yang ditetapkan oleh pemerintah melalui Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 Mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang diklasifikasikan menjadi 4 kelas (Sulistiono et al., 2023). Air digunakan untuk aktivitas sehari-hari, kegiatan industri, kebersihan sanitasi kota, pertanian, dan kebutuhan lainnya. Air mencakup segala bentuk air yang ada di permukaan tanah, di atas tanah, atau di bawah permukaan tanah. Ini termasuk air permukaan, air tanah, air hujan, serta air laut yang berada di daratan (Nailah et al., 2021).

Salah satu sumber air adalah air sungai. Sungai merupakan sumber air permukaan yang mengalir terus-menerus dari hulu ke hilir. Air sungai banyak dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan sehari-hari, seperti irigasi, pembangkit listrik tenaga air (PLTA), kegiatan industri, serta sarana rekreasi dan transportasi. Pemanfaatan tersebut dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia air sungai, yang berpotensi menurunkan kualitasnya dan menyebabkan pencemaran. Muara sungai merupakan perairan tertutup yang terletak di bagian hilir sungai dan memiliki keterkaitan langsung dengan laut, sehingga memungkinkan terjadinya pencampuran antara air tawar dan air laut. Muara merupakan kawasan yang sangat rentan terhadap pengaruh aktivitas manusia (Ami & Susilawati, 2022).

Aliran Sungai yang digunakan sebagai tempat pembuangan limbah berpotensi besar menyebabkan pencemaran. Pengolahan limbah, baik dari sumber domestik maupun industri, dibedakan menjadi limbah organik dan anorganik. Limbah anorganik terutama masuk ke lingkungan perairan melalui berbagai aktivitas manusia, seperti pembuangan limbah rumah tangga, buangan industri, serta limpasan dari kegiatan pertanian. Salah satu dampak air limbah adalah meningkatnya kekeruhan air sungai serta adanya kandungan logam berat yang dapat membahayakan kehidupan biota air (Firmansyah, 2019).

Pada tahun 2021, PBB melaporkan bahwa lebih dari 40% dari 75.000 badan air yang disurvei di 89 negara sangat tercemar (Isabella, 2024). Menurut Badan Pusat Statistik (2023), sebagian besar sungai di Indonesia tercemar pada tahun 2022. Dari 111 sungai yang diidentifikasi, hanya 8,1% yang memenuhi baku mutu. Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2014-2019, terdapat 15 Daerah Aliran Sungai (DAS) prioritas yang menjadi fokus pemulihan, yaitu DAS Moyo di Nusa Tenggara Barat; DAS Kapuas di Kalimantan; DAS Jeneberang dan Saddang di Sulawesi; DAS Citarum, Ciliwung, Cisadane, Serayu, Solo, dan Brantas di Pulau Jawa; serta DAS Asahan-Toba, Siak, Musi, Way Sekampung, dan Way Seputih di Sumatra. Menurut RPJMN 2020-2024 15 DAS tersebut masih yang masih menjadi prioritas pemulihan. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan

Kehutanan (KLHK) 2016-2020, sebanyak 73,24% berada dalam kondisi tercemar, sedangkan hanya 2,01% yang memenuhi baku mutu air kelas 2. KLHK juga menjelaskan bahwa Sungai Jeneberang masuk kedalam status mutu tercemar sedang-berat (Firmansyah et al., 2021).

Salah satu sumber air yang berpotensi mengalami pencemaran adalah Daerah Aliran Sungai (DAS). Salah satu pencemar yang dapat mencemari lingkungan adalah logam berat. Logam memiliki sifat toksik atau beracun dan esensial yang terlarut dalam air yang dapat mencemari perairan. Aktivitas masyarakat di wilayah daerah aliran sungai menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan peningkatan kadar logam berat dalam badan air. Limbah cair dan limbah padat dari kegiatan industri serta rumah tangga sering kali mengandung logam berat dan unsur beracun dalam jumlah yang melebihi ambang normal. Peningkatan volume dan keberlanjutan pembuangan limbah industri yang mengandung logam berat beracun dapat merusak ekosistem sungai, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang (Ishak et al., 2023).

Logam dapat masuk ke dalam air dan kemudian ke dalam organisme melalui proses fisik dan kimiawi, seperti penyerapan, presipitasi, dan pertukaran ion. Penyebaran logam berat di perairan dipengaruhi oleh berbagai interaksi fisik dan kimia, termasuk pH, konsentrasi, serta jenis senyawa yang terlibat. Penyerapan terjadi ketika terjadi interaksi antara zat yang diserap dengan material penyerapnya. Presipitasi berlangsung ketika dua larutan dengan ion-ion berbeda bercampur dan membentuk senyawa yang tidak larut (berupa padatan) dalam pelarut. Logam berat yang memasuki perairan dan mengalami proses pengendapan akhirnya berubah menjadi bagian dari sedimen. Logam di perairan dalam konsentrasi tinggi umumnya memiliki sifat toksik bagi makhluk hidup, karena tidak dapat dihancurkan (*nondegradable*) oleh organisme di lingkungan sekitar dan dapat berisiko bagi ekosistem perairan (Widyawati & Kuntrojo, 2021).

Pencemaran logam berat dapat berasal dari aktivitas alami dan antropogenik sering terdeteksi di badan air maupun sedimen dan kolom air sungai. Pengendapan ini terjadi karena logam memiliki berat jenis yang lebih tinggi daripada air. Hal ini mengakibatkan kandungan logam berat di sedimen menjadi lebih besar dibandingkan dengan kandungan di air, sedimen merupakan lapisan dasar yang terdapat di sungai, danau, waduk, teluk, muara, hingga lautan (Basir et al., 2022). Akumulasi logam pada sedimen ini dapat masuk ke dalam rantai makanan dan memengaruhi kehidupan organisme. Tingginya kandungan logam dalam sedimen menjadikannya sebagai indikator penting untuk mengidentifikasi pencemaran sungai akibat logam (Eldrin et al., 2019).

Beberapa jenis logam berat yang sering teridentifikasi di perairan laut antara lain timbal (Pb) dan tembaga (Cu). Perairan merupakan wilayah yang rentan terhadap pencemaran logam berat jenis timbal yang bersumber dari limbah industri, aktivitas masyarakat di permukiman dan transportasi laut. Jenis logam berat lainnya yang teridentifikasi berada pada perairan sekitar pelabuhan adalah jenis Tembaga. Aktivitas *docking* kapal di pelabuhan berkaitan dengan penggunaan logam berat tembaga (Cu) sebagai bahan pengawet dalam

pembuatan galangan kapal dan dapat menjadi penyumbang pencemaran logam berat tembaga (Cu) ke dalam perairan di sekitar pelabuhan. Logam berat yang berada di perairan akan masuk ke dalam sistem rantai makanan ekosistem perairan dan berpengaruh terhadap organisme perairan (Sari & Hidayati, 2024).

Timbal (Pb) adalah jenis logam yang mudah dimurnikan. Logam ini memiliki karakteristik berwarna abu-abu kebiruan dengan permukaan yang berkilau. Timbal dapat masuk ke perairan melalui limbah industri, limbah rumah tangga, serta penggunaan bahan bakar kapal yang mengandung timbal (Pb). Proses pembakaran bahan bakar tersebut dapat menghasilkan akumulasi timbal dan senyawanya. Aktivitas bongkar muat, pengisian bahan bakar kapal, dan perbaikan mesin kapal di pelabuhan juga menjadi sumber utama kontaminasi logam berat di perairan sekitarnya. Bahan bakar kapal mengandung zat tambahan seperti *tetraethyllead* (TEL), yang merupakan senyawa yang mengandung timbal (Amaliah et al., 2022).

Keberadaan timbal di perairan ditemukan dalam bentuk terlarut atau tersuspensi yang dapat langsung membahayakan organisme laut dan secara tidak langsung mengancam kesehatan manusia melalui kontaminasi dalam rantai makanan. Tingkat keberadaan dan toksisitas timbal dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kesadahan, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen (Malik et al., 2021). Sifat timbal yang sulit terurai, menyebabkan logam berat ini mudah terakumulasi di lingkungan perairan, sedimen, dan biota laut. Timbal mudah diserap oleh tanah, sehingga dampaknya terhadap tanaman relatif kecil. Akumulasi timbal dalam tubuh manusia dapat menyebabkan kerusakan pada otak dan ginjal, serta gangguan perkembangan mental pada anak-anak. Timbal sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena sifatnya yang karsinogenik, dapat menyebabkan mutasi, terurai dalam waktu lama, dan toksisitasnya tetap ada (Hadisoebroto, 2021).

Logam Tembaga (Cu) termasuk dalam kategori logam berat esensial. Tembaga ditemukan di perairan alami dan merupakan unsur yang penting bagi tumbuhan serta hewan. Tembaga dapat menyebar ke berbagai lapisan lingkungan, termasuk perairan, tanah, dan udara (atmosfer). Tembaga yang masuk ke lingkungan berasal dari berbagai sumber, namun sumber utama yang diduga memberikan kontribusi terbesar meliputi aktivitas industri, kegiatan rumah tangga, aktifitas perkapalan, serta proses pembakaran dan perpindahan bahan bakar. Mobilitas bahan bakar fosil yang digunakan untuk berbagai keperluan juga menghasilkan jejak logam tembaga yang akhirnya terdistribusi ke berbagai strata lingkungan. Semua aktivitas ini secara kumulatif meningkatkan kandungan tembaga dalam ekosistem, yang pada akhirnya dapat memengaruhi kualitas lingkungan secara keseluruhan. Logam berat tembaga (Cu) merupakan elemen yang diperlukan oleh organisme perairan dalam jumlah kecil untuk mendukung fungsi biologis, namun jika melebihi ambang batas, tembaga dapat berubah menjadi zat beracun yang berbahaya bagi makhluk hidup (Rahmawati, 2024).

Tembaga diperlukan untuk perkembangan tubuh manusia, namun dalam jumlah berlebihan dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti gangguan pencernaan, kerusakan pada sistem saraf pusat, ginjal, hati, serta gejala lainnya

seperti diare, pusing, lemah, anemia, kram, kejang, syok, koma, bahkan kematian. Pada kadar rendah, tembaga dapat menyebabkan rasa tidak nyaman, perubahan warna, serta korosi pada pipa, sambungan, dan peralatan dapur (Hadisoebroto, 2021).

Sungai Jeneberang merupakan salah satu sungai strategis nasional yang memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan. Pemanfaatan sungai ini mencakup berbagai sektor, mulai dari irigasi untuk mendukung pertanian, penyediaan sumber energi melalui pembangkit listrik, hingga menjadi bahan baku utama dalam penyediaan air bersih dan air minum bagi masyarakat. Keberadaannya sangat berkontribusi terhadap kesejahteraan penduduk di sekitarnya serta mendukung perkembangan ekonomi dan infrastruktur di wilayah yang dilaluinya (Sofyan & Basyaiban, 2022).

Daerah Aliran Sungai (DAS) Jeneberang adalah salah satu DAS prioritas yang terletak di Sulawesi Selatan, tepatnya di bagian barat wilayah administrasi Kota Makassar. Sungai besar ini berasal dari Gunung Bawakaraeng (2.833 mdpl) dan Gunung Lampobatang (2.876 mdpl) di bagian timur, dan mengalir menuju hilir di Selat Makassar. Secara geografis, DAS Jeneberang terletak pada koordinat 119°23'50" BT - 119°56'10" BT dan 05°10'00" LS - 05°26'00" LS, dengan panjang sungai utama mencapai 78,75 kilometer. Keberadaan DAS Jeneberang sangat penting karena selain menyediakan sumber air bagi masyarakat sekitar, sungai ini juga mendukung berbagai sektor seperti transportasi, pertanian, perikanan, industri, penyediaan air bersih, dan sebagai sumber energi. Aliran Sungai tersebut kemudian akan bermuara di pesisir kota Makassar (Djumali., et al 2022).

Pesisir Kota Makassar membentang sepanjang 32 km, mencakup satu daratan utama dan 11 pulau kecil. Sumber pencemaran di kawasan pesisir Makassar dapat berasal dari aliran sungai, kanal, serta aktivitas masyarakat di wilayah. Potensi masuknya bahan pencemar ke perairan pesisir semakin meningkat akibat tingginya konsentrasi aktivitas manusia di kawasan tersebut. Aktivitas masyarakat yang berhubungan langsung dengan perairan pesisir Kota Makassar meliputi kegiatan pelabuhan, perikanan serta pemukiman di sekitar muara sungai yang mengapit perairan pesisir Kota Makassar, yaitu muara Sungai Jeneberang dan Sungai Tallo. Keberadaan muara sungai tersebut membuat perairan pesisir Kota Makassar memiliki karakter yang dinamis, meskipun secara umum dipengaruhi oleh kondisi hidro-oseanografi Selat Makassar. Kondisi oseanografi berperan dalam memengaruhi perilaku zat yang terdapat pada sedimen maupun dalam badan air. Secara khusus, muara Sungai Jeneberang lebih dipengaruhi oleh arus air laut (Noor et al., 2021).

Sungai dapat menampung sejumlah besar massa air, ketika periode surut tiba dengan durasi yang hampir sama, volume air tersebut harus mengalir keluar ke laut, menghasilkan kecepatan aliran yang tinggi, menyebabkan morfologi estuari terus beradaptasi dengan gaya-gaya hidrodinamis yang dapat mempengaruhi konsentrasi logam di daerah tersebut (Eka, 2022). Bagian tengah muara sungai merupakan daerah yang sangat padat aktivitas manusia dan *docking* kapal untuk perawatan atau perbaikan kapal. Proses melibatkan

penggunaan logam berat tembaga dan timbal sebagai dapat menjadi penyumbang pencemaran logam berat Tembaga (Cu) ke dalam perairan di sekitar muara (Sari & Hidayati, 2024). Akhir aktivitas perkapalan merupakan salah satu daerah yang memberikan dampak pencemaran logam tidak hanya dari aktivitas perkapalan tapi juga berasal dari pemukiman penduduk. Limbah domestik (organik dan anorganik) masuk ke lingkungan perairan melalui berbagai aktivitas manusia, seperti pembuangan limbah rumah tangga (*black water* dan *grey water*), limbah sisa makanan, material-material bangunan (batu, kayu, besi), dsb (Firmansyah, 2019).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hossain et al (2021) mengenai tingkat kontaminasi logam berat pada sedimen di Sungai Halda, Bangladesh ditemukan konsentrasi logam berat dalam sedimen dari sepuluh lokasi pengambilan sampel (dinyatakan dalam mg/kg) sebagai berikut: Zn (71,89), Cr (31,86), Cu (31,85), Ni (26,67), Pb (20,46), As (2,69), Cd (0,05). Berdasarkan pedoman kualitas sedimen (SQGs), kadar Zn, Cr, Ni, Pb, dan Cu melebihi ambang batas tertentu. Kandungan logam yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan dampak buruk bagi ekosistem.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ahmad tahun 2021 di Sungai Jeneberang menunjukkan bahwa konsentrasi timbal (Pb) dalam air pada Titik I mencapai 0,2586 mg/L, dan pada Titik II sebesar 0,5843 mg/L, keduanya telah melampaui batas yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI 06-6989.8-2004), yaitu 0,03 mg/L. Sementara itu, pada Titik III, kadar timbal tercatat <0,002 mg/L, yang masih memenuhi standar baku mutu kualitas air sungai sesuai dengan PP 82 Tahun 2001. Pemeriksaan sedimen yang dilakukan di Sungai Jeneberang ditemukan konsentrasi timbal pada Titik I 32,2, Titik II 49,5 dan Titik III 37,9 melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan USEPA yaitu $\leq 0,06$ mg/kg. Penelitian yang dilakukan Noor et al (2021), mengenai distribusi spasial dan faktor kontaminasi logam berat di pesisir Kota Makassar ditemukan konsentrasi tembaga pada air dan sedimen di muara Sungai Jeneberang <0,005 ppm dan <0,01 ppm. Secara keseluruhan nilai konsentrasi logam berat lebih tinggi pada sedimen dibanding pada air. Logam berat yang dihasilkan salah satunya berasal dari pengikisan alami.

Pencemaran yang terjadi di muara sungai tidak hanya disebabkan oleh faktor alami, tetapi juga dipengaruhi oleh hidrodinamika muara sungai yang memengaruhi distribusi logam berat. Estuari sungai, tengah muara sungai, dan daerah akhir aktivitas perkapalan muara sungai merupakan lokasi-lokasi yang dapat menggambarkan kondisi perairan. Estuari sungai dapat menampung sejumlah besar massa air, ketika periode surut tiba dengan durasi yang hampir sama, volume air tersebut harus mengalir keluar ke laut, menghasilkan kecepatan aliran yang tinggi, menyebabkan morfologi estuari terus beradaptasi dengan gaya-gaya hidrodinamis yang dapat mempengaruhi konsentrasi logam di daerah tersebut (Eka, 2022). Bagian tengah muara sungai merupakan daerah yang sangat padat aktivitas manusia dan *docking* kapal untuk perawatan atau perbaikan kapal. Proses melibatkan penggunaan logam berat tembaga dan timbal sebagai dapat menjadi penyumbang pencemaran logam berat Tembaga

(Cu) ke dalam perairan di sekitar muara (Sari & Hidayati, 2024). Akhir aktivitas perkapalan merupakan salah satu daerah yang memberikan dampak pencemaran logam tidak hanya dari aktivitas perkapalan tapi juga berasal dari pemukiman penduduk. Limbah domestik (organik dan anorganik) masuk ke lingkungan perairan melalui berbagai aktivitas manusia, seperti pembuangan limbah rumah tangga (*black water* dan *grey water*), limbah sisa makanan, material-material bangunan (batu, kayu, besi) dan sebagainya (Firmansyah, 2019).

Berdasarkan uraian diatas dan hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan melihat kondisi aliran Sungai di Sungai Jeneberang yang semakin terindikasi terjadinya pencemaran yang diakibatkan oleh limbah jenis logam Pb dan Cu dan menjadi salah satu aliran sungai yang menjadi perhatian dalam fokus pemulihan RPJMN 2014-2024 dan KLHK 2016-2020. Hal tersebut juga dapat berisiko bagi ekosistem di perairan maka dilakukan penelitian untuk mengetahui analisis risiko lingkungan terhadap logam timbal dan tembaga pada air dan sedimen pada muara Sungai Jeneberang Makassar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu “Bagaimana analisis risiko lingkungan berdasarkan konsentrasi logam timbal dan tembaga yang terdapat pada air dan sedimen di Muara Sungai Jeneberang Makassar tahun 2025”

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Menganalisis risiko lingkungan dari kandungan timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada air dan sedimen di muara Sungai Jeneberang Kota Makassar

1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Mengetahui konsentrasi timbal dan tembaga pada air di muara Sungai Jeneberang Kota Makassar
- b. Mengetahui konsentrasi timbal dan tembaga pada sedimen yang ada di muara Sungai Jeneberang Kota Makassar
- c. Mengetahui besar risiko lingkungan yang terjadi akibat kandungan timbal dan tembaga pada air dan sedimen di muara Sungai Jeneberang Kota Makassar

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Ilmiah

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber referensi dan bahan bacaan bagi peneliti selanjutnya yang ingin meneliti lebih lanjut di bidang kesehatan masyarakat, terkhusus mengenai logam timbal dan tembaga pada air dan sedimen di air Sungai.

1.4.2 Manfaat bagi Instansi

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber informasi yang berguna bagi pihak institusi dan menjadi referensi yang ilmiah dalam upaya peningkatan kesehatan.

1.4.3 Manfaat bagi Peneliti

Penelitian ini dapat menambah pengalaman, wawasan serta pengetahuan yang berharga bagi peneliti dalam menerapkan ilmu pengetahuan yang diperoleh selama proses perkuliahan.

1.5 Kajian Teori

1.5.1 Tinjauan Umum tentang Air

Air adalah elemen yang sangat penting bagi kehidupan, dan semua makhluk hidup memerlukannya. Bagi manusia, air menjadi kebutuhan yang tidak bisa ditawar karena sekitar 70% tubuh manusia terdiri dari air. Umumnya, semakin tinggi kualitas hidup seseorang, semakin besar pula kebutuhan akan air. Air memiliki peran penting dalam memenuhi berbagai kebutuhan, seperti untuk pertanian, pemukiman, industri, perikanan, energi, pariwisata, dan lainnya. Air adalah senyawa kimia dengan rumus H_2O , terdiri dari satu molekul yang tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Dalam kondisi normal, air tidak memiliki warna, rasa, maupun bau (Lomi et al., 2021).

Terdapat tiga bentuk air, yaitu cair (air biasa), padat (es, gletser), dan gas (uap air). Selain itu, air juga tersebar di tiga lokasi utama, yaitu permukaan bumi, bawah tanah, dan atmosfer. Sebagai air permukaan, volumenya mencapai sekitar 1.350 juta km^3 (99,3%), yang terdapat di danau, sungai, samudra, rawa, sawah, dan got. Air yang berada di dalam atau di bawah permukaan tanah, dikenal sebagai air tanah, memiliki volume sekitar 8,3 juta km^3 (0,6%) dan tersimpan di tanah, termasuk dalam sumur-sumur, sisanya sekitar 12.900 km^3 (0,1%), terdapat di atmosfer dalam bentuk uap atau awan. Secara keseluruhan, jumlah air yang ada di planet bumi diperkirakan mencapai sekitar 1.360 juta km^3 (Wihardjo & Rahmayanti, 2021).

Salah satu pelarut yang sangat penting adalah air. Air menjadi pelarut yang sangat penting karena kemampuannya melarutkan berbagai zat kimia, seperti garam, gula, asam, sejumlah gas, dan berbagai jenis molekul organik. Kemampuan ini menjadikan air dikenal sebagai pelarut universal. Dalam kondisi tekanan dan suhu standar, air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat. Secara ionik, air dapat digambarkan sebagai ion hidrogen (H^+) yang berikatan dengan ion hidroksida (OH^-) (Saputra, 2024).

Pemantauan dan pengawasan kualitas air dilakukan berdasarkan tiga jenis parameter, yaitu fisik, kimia, dan biologi. Pengujian parameter fisik mencakup bau, kekeruhan, rasa, warna, serta jumlah zat padat terlarut (TDS). Parameter kimia, pengujian meliputi pH, kandungan besi, fluoride, kesadahan, klorida, kromium, mangan, nitrat, nitrit, seng, sianida, sulfat, tembaga, dan aluminium. Sementara itu, pengujian biologis melibatkan deteksi keberadaan bakteri *coliform* dan *Escherichia coli* (Agustina & Atina, 2022).

Uji Parameter Fisika kualitas air yang baik harus memenuhi persyaratan berdasarkan parameter fisik, antara lain tidak memiliki bau, rasa (tawar), atau warna, jernih (tidak keruh), memiliki suhu normal, dan mengandung padatan terlarut (TDS) dalam kadar rendah. Hasil pengujian parameter fisik, seperti bau dan rasa air, menunjukkan bahwa 100%

sampel air yang diuji memenuhi standar baku yang telah ditetapkan pemerintah. Uji parameter fisik meliputi bau, kekeruhan, rasa, suhu, warna, dan TDS. Uji Parameter Mikrobiologi atau bakteriologi, semua sampel air menunjukkan kualitas yang baik karena tidak ditemukan keberadaan bakteri (*E. coli*) maupun Total *coliform*. Menurut Lintje Boekoesoe, salah satu faktor yang memengaruhi keberadaan bakteri *E. coli* pada sumber air bersih adalah jarak antara jamban dan sumber air bersih, jarak yang tidak memadai dapat meningkatkan risiko kontaminasi bakteri pada air, sehingga penting untuk memperhatikan faktor ini demi menjaga kualitas air tetap aman untuk dikonsumsi (Rohmawati & Kustomo, 2020).

Persyaratan kriteria air dengan parameter kimia tidak boleh mengandung racun atau mineral dalam kadar yang berlebihan. Selain itu, kandungan zat kimia yang digunakan dalam proses pengolahan air juga harus berada dalam batas yang aman dan tidak berlebihan agar tidak membahayakan kesehatan. Selain parameter fisika dan biologi, pengujian kualitas air juga dilakukan berdasarkan parameter kimia. Beberapa unsur yang diuji meliputi derajat keasaman (pH), aluminium (Al), amonia (NH_3), arsenik (As), besi (Fe), fluoride (F), kesadahan (CaCO_3), klorida (Cl), mangan (Mn), nitrat (NO_3), nitrit (NO_2), seng (Zn), sianida (CN), sulfat (SO_4), tembaga (Cu), zat organik (KMnO_4), dan kromium (Cr). Air yang baik seharusnya memiliki pH netral, yaitu tidak terlalu asam atau basa, untuk menghindari pelarutan logam berat dan korosi pada jaringan distribusi air. Nilai pH yang direkomendasikan untuk air bersih berkisar antara 6,5 hingga 8,5 (Walid et al., 2020).

1.5.2 Tinjauan Umum tentang Muara Sungai

Muara sungai merupakan bagian hilir sungai yang berhubungan langsung dengan laut, berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan atau membuang debit air yang berasal dari hulu. Selain itu, muara juga dimanfaatkan sebagai jalur keluar masuk kapal nelayan. Aktivitas kapal nelayan di muara menghasilkan limbah cair dan padat, seperti dari proses pencucian kapal, pendinginan mesin, dan pembuangan sampah, yang dapat memengaruhi kondisi oseanografi di sekitar muara. Akibatnya, terjadi peningkatan kadar bahan organik dan anorganik di perairan. Selain bahan organik, salah satu penyebab pencemaran di perairan adalah logam berat. Logam yang terlarut dalam air cenderung teradsorpsi oleh partikel padat dan akhirnya mengendap di sedimen. Di kolom air, logam-logam ini dapat bergabung dengan senyawa organik maupun anorganik lainnya, membentuk kompleks yang dapat berdampak pada kualitas lingkungan perairan (Tiri, 2023).

Morfologi muara sungai dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu muara yang didominasi oleh gelombang laut, muara yang dipengaruhi oleh debit aliran sungai, dan muara yang dikendalikan oleh pasang surut. Muara sungai terletak di bagian hilir dari daerah aliran sungai, menerima aliran debit air dari hulu. Dalam satu siklus pasang, yang berlangsung

sekitar 6 hingga 12 jam, estuari menampung sejumlah besar massa air, ketika periode surut tiba dengan durasi yang hampir sama, volume air tersebut harus mengalir keluar ke laut, menghasilkan kecepatan aliran yang tinggi. Fenomena ini terjadi secara berulang, menyebabkan morfologi estuari terus beradaptasi dengan gaya-gaya hidrodinamis yang memengaruhinya (Eka, 2022).

Muara sungai dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok berdasarkan faktor dominan yang memengaruhinya, yaitu muara yang didominasi oleh gelombang laut, muara yang dipengaruhi oleh aliran sungai, dan muara yang dikendalikan oleh pasang surut. Muara yang didominasi oleh gelombang memiliki ciri khas berupa angkutan sedimen yang signifikan menyusuri pantai setiap tahunnya. Pada muara ini, biasanya terdapat lidah pasir yang menutup dengan pola sedimentasi tertentu. Gelombang besar di pantai berpasir dapat menghasilkan transportasi sedimen, baik dalam arah tegak lurus ke pantai maupun sejajar sepanjang garis pantai.

Tipe muara yang dipengaruhi oleh aliran ditandai oleh debit sungai yang mengalir sepanjang tahun dalam jumlah besar, menjadikannya faktor utama dalam pembentukan muara sungai di wilayah laut dengan gelombang yang relatif kecil. Sungai ini juga membawa sedimen dari hulu dalam volume yang cukup besar. Muara yang dikendalikan oleh pasang surut ditandai oleh fluktuasi pasang surut yang signifikan. Ketika pasang mencapai ketinggian tertentu, volume air yang masuk ke sungai menjadi sangat besar, bergabung dengan aliran air yang berasal dari hulu sungai. Saat air surut, volume besar tersebut mengalir keluar dalam jangka waktu tertentu, yang bergantung pada jenis pola pasang surut yang terjadi (Lubis S. S, 2021).

Permasalahan di muara sungai dapat ditinjau dari dua area utama, yaitu mulut sungai (*river mouth*) dan estuari. Mulut sungai merupakan bagian paling hilir dari muara yang langsung berbatasan dengan laut. Estuari merupakan perairan semi tertutup yang dipengaruhi oleh pasang dan surut air laut sehingga terjadi pencampuran massa air (Wulandari et al., 2020).

Berbagai aktivitas manusia di wilayah muara dapat memengaruhi kualitas perairan. Proses sedimentasi di muara sungai membawa sejumlah dampak negatif, di antaranya adalah hambatan pada jalur pelayaran kapal dan aktivitas penangkapan ikan saat air surut. Sedimentasi juga berpotensi menyebabkan akumulasi bahan organik yang terbawa dari sungai, ketidakseimbangan ekosistem organisme perairan, serta perubahan garis pantai yang semakin menjorok ke laut. Dampak lainnya meliputi peningkatan tinggi muka air di hulu sungai dan peluapan massa air yang dapat memicu banjir di daratan (Lase Y, 2022).

1.5.3 Tinjauan Umum tentang Sedimentasi

Dalam kehidupan sehari-hari, istilah sedimen memiliki berbagai pengertian. Menurut Pipkin (1977), sedimen adalah pecahan, mineral, atau material organik yang berasal dari berbagai sumber dan diangkut melalui media seperti udara, angin, es, atau air, kemudian diendapkan., hal ini juga mencakup material yang terendapkan dari partikel melayang dalam air atau dari larutan kimia. Gross (1990) mendeskripsikan sedimen laut sebagai akumulasi mineral, pecahan batuan, serta sisa-sisa cangkang dan tulang organisme laut, yang bercampur dengan partikel lain yang terbentuk melalui proses kimia di lingkungan laut. Pettijohn (1975) menjelaskan bahwa sedimentasi adalah proses terbentuknya sedimen atau batuan sedimen yang terjadi akibat pengendapan material dari sumbernya di suatu lokasi tertentu, yang disebut lingkungan pengendapan. Lingkungan ini meliputi sungai, muara, danau, delta, estuari, laut dangkal, hingga laut dalam.

Sedimentasi adalah proses pengendapan material batuan yang secara alami diangkut oleh air atau angin. Proses ini berlangsung melalui beberapa tahapan. Tahap pertama dimulai ketika air mengikis batuan, membawa material tersebut menuju sungai, danau, hingga akhirnya mencapai laut. Tahap berikutnya terjadi saat energi pengangkutan air melemah atau habis, sehingga batuan terendapkan di aliran air. Sedimen merupakan hasil pengendapan material organik yang sebelumnya tersuspensi dalam air. Proses ini terjadi ketika air kehilangan kemampuan untuk mengangkut partikel-partikel tersebut, sehingga partikel-partikel tersebut mengendap di suatu lokasi. Logam berat yang terdapat dalam perairan juga akan turun dan mengendap di dasar, membentuk lapisan sedimen (Saputra et al., 2022).

Sedimen memiliki beragam bentuk, Endapan sedimen menunjukkan variasi yang luas tergantung pada proses geomorfologi yang berperan. di mana partikel berbentuk pipih cenderung memiliki laju pengendapan yang lebih lambat dan lebih sulit berpindah dibandingkan partikel berbentuk bulat. Kebulatan partikel dinyatakan sebagai rasio antara diameter lingkaran dengan luas yang sama terhadap proyeksi butiran dalam keadaan diam. Hal ini dihitung berdasarkan perbandingan diameter terbesar dengan diameter terkecil. Beragamnya bentuk tersebut dapat menciptakan lingkungan pengendapan yang berbeda. Karakteristik sedimen dapat diketahui dengan pengamatan terhadap struktur dan tekstur fisiknya. (Arif et al., 2020).

Pada berbagai jenis sedimen, seringkali ditemukan kandungan logam berat. Sumber logam berat tersebut sering berasal dari aktivitas pertanian, yang terbawa oleh air sungai dan masuk ke dalam danau. Logam berat yang terlarut dalam air sungai akan teradsorpsi oleh partikel halus (*suspended solid*) dan terbawa hingga muara. Pertemuan antara arus sungai dan arus pasang di muara sungai dapat menyebabkan partikel halus yang mengandung logam berat mengendap di daerah tersebut.

Kandungan logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan di air laut, yang menunjukkan terjadinya akumulasi logam berat pada sedimen. Hal ini terjadi karena logam berat di air mengalami proses pengenceran akibat pengaruh pola arus pasang surut (Khairuddin et al., 2010).

Ada tiga macam angkutan sedimen menurut (Mustakim M, 2021):

1. *Wash load*, terdiri dari partikel-partikel lanau dan debu yang terbawa ke dalam aliran sungai dan tetap melayang hingga mencapai laut atau badan air lainnya. Jenis sedimen ini umumnya tidak terlalu memengaruhi karakteristik sungai, meskipun jumlahnya paling banyak dibandingkan jenis sedimen lainnya, terutama pada awal musim hujan. Partikel ini berasal dari proses pelapukan di daerah aliran sungai yang terjadi selama musim kemarau sebelumnya.
2. *Suspended load*, terdiri dari pasir halus yang terangkat dan melayang dalam aliran air akibat turbulensi. Meskipun dampaknya terhadap karakteristik sungai tidak terlalu signifikan, sedimen ini dapat berubah menjadi jenis angkutan lain jika terjadi perubahan kecepatan aliran. Penggerakannya adalah turbulensi dan kecepatan aliran, yang menentukan *kecepatan angkat (pick up velocity)*. Jika kecepatan aliran melebihi kecepatan angkat, partikel akan melayang di air. Namun, jika kecepatan aliran menurun di bawah kecepatan angkat, partikel akan mengendap di dasar sungai.
3. *Bed load* adalah jenis ketiga dari transportasi sedimen, di mana partikel berukuran lebih besar bergerak di dasar sungai dengan cara menggelincir (*translation*) atau menggelinding (*rotation*), saling tumpang tindih di dasar. Partikel ini juga dapat menembus lapisan tertentu di dasar sungai. Pergerakan ini dipicu oleh gaya seret (*drag force*) yang bekerja di lapisan dasar sungai.

1.5.4 Tinjauan Umum tentang Pencemaran air

Pencemaran air merupakan masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia yang menyebabkan kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Definisi pencemaran air tersebut dapat diuraikan menjadi tiga aspek, yaitu aspek kejadian, aspek penyebab atau pelaku dan aspek akibat (Budhiawan et al., 2022).

Pencemaran air terjadi akibat perubahan kondisi pada tempat-tempat penampungan air, seperti sungai, lautan, dan air tanah, yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Air dianggap tercemar ketika keberadaannya terganggu oleh kontaminasi yang bersumber dari aktivitas manusia (antropogenik) dan tidak lagi dapat mendukung kebutuhan manusia, seperti sebagai sumber air minum. Pencemaran ini juga ditandai dengan penurunan kemampuan air dalam mendukung komunitas biotik, termasuk organisme seperti ikan (Sompotan & SInaga 2022).

Penurunan kualitas air disebabkan oleh keberadaan zat pencemar, baik yang berasal dari komponen organik maupun anorganik.

Salah satu zat anorganik yang berbahaya adalah logam berat. Penggunaan logam berat dalam berbagai aktivitas sehari-hari telah menyebabkan pencemaran lingkungan. Beberapa logam berat yang sering mencemari lingkungan dan tergolong berbahaya meliputi merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan nikel (Ni) (Andriani A, 2020).

Indikator pencemaran air lingkungan dapat diamati melalui aspek fisik, kimiawi, dan biologis. Aspek fisik, dapat dilihat dari kekeruhan, suhu, warna, bau, dan rasa air. Secara kimiawi, pencemaran air dapat diidentifikasi melalui keberadaan zat-zat kimia terlarut dan perubahan nilai pH air. Kandungan bahan kimia berbahaya yang terlarut dapat mengganggu keseimbangan kimia air dan memengaruhi kualitasnya. Pengamatan secara biologis, dapat dilihat melalui keberadaan mikroorganisme, terutama bakteri patogen, yang menunjukkan adanya kontaminasi biologis yang dapat membahayakan kesehatan manusia (Syofyan, 2019).

Sumber pencemar (polutan) dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu sumber yang memiliki lokasi tertentu (*point source*) dan sumber yang tidak memiliki lokasi pasti atau tersebar (*non-point/diffuse source*). *Point source* merujuk pada pencemaran yang berasal dari satu titik spesifik, seperti saluran pembuangan limbah dari industri. *Non-point source* mencakup pencemaran yang berasal dari berbagai lokasi yang tersebar, sehingga sulit untuk menentukan titik asalnya secara spesifik. Kedua jenis sumber pencemaran ini berperan dalam menurunkan kualitas air dan lingkungan secara keseluruhan (Nurbaya et al., 2023).

Pencemaran air dapat menimbulkan dampak yang luas dan beragam, seperti meracuni air minum, mencemari sumber makanan hewan, menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem di sungai dan danau. Di perairan seperti sungai dan danau, pencemaran yang disebabkan oleh nitrogen dan fosfat dari aktivitas pertanian dapat memicu pertumbuhan tanaman air secara berlebihan yang disebut eutrofikasi (*eutrophication*). Secara umum, dampak pencemaran air dikelompokkan ke dalam empat kategori utama, yaitu dampak terhadap kehidupan biota air, dampak terhadap kualitas air tanah, dampak terhadap kesehatan manusia, serta dampak terhadap estetika lingkungan. Keempat dampak tersebut saling berkaitan dan dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem serta kualitas hidup manusia dan makhluk hidup lainnya (Syofyan, 2019).

1.5.5 Tinjauan Umum tentang Timbal (Pb)

Logam berat pada umumnya bersifat toksik bagi makhluk hidup, meskipun beberapa di antaranya diperlukan dalam jumlah kecil. Logam berat dapat masuk melalui berbagai media seperti udara, makanan, dan air yang telah terkontaminasi, logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia dan sebagian besar akan terakumulasi. Jika kondisi ini berlanjut dalam jangka waktu panjang, akumulasi logam berat dapat mencapai tingkat yang membahayakan kesehatan manusia (Nurul A, 2021).

Timbal atau timah hitam, dalam istilah ilmiah disebut plumbum dan dilambangkan dengan simbol Pb. Logam ini termasuk dalam kelompok unsur golongan IV-A pada tabel periodik dan memiliki nomor atom 82 serta berat atom 207,2. Dalam perairan, timbal umumnya ditemukan dalam bentuk $Pb(OH)_2$, sebagian besar timbal yang ada di bumi masuk ke dalam sistem perairan alami dan terakumulasi di dalam ekosistem. Akumulasi ini dapat mengakibatkan timbal masuk ke dalam tubuh hewan dan manusia. Timbal (Pb) bersifat nondegradabel atau tidak dapat terurai secara alami, sehingga keberadaannya di lingkungan bersifat permanen dan terus ada di alam (Sharah, 2023).

Logam berat yang paling sering mencemari perairan laut adalah timbal (Pb). Logam berat seperti timbal di perairan cenderung mengendap di dasar dan membentuk lapisan sedimen. Timbal dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan, makanan, dan minuman. Timbal bukan zat yang dibutuhkan oleh tubuh manusia, sebagian besar timbal yang masuk ke tubuh akan dikeluarkan. Sisa dari logam timbal yang dikeluarkan oleh tubuh akan terakumulasi di organ-organ tertentu, seperti ginjal, hati, kuku, jaringan lemak, dan rambut, sehingga berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan (Herawati, 2022).

Timbal (Pb) adalah logam berat yang bersifat lunak dengan warna abu-abu kebiruan. Logam ini memiliki titik leleh sebesar $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan titik didih mencapai $1.620\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada suhu sekitar $550\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$, timbal dapat menguap dan bereaksi dengan oksigen di udara, menghasilkan timbal oksida (PbO) serta senyawa organometalik. Timbal sangat rapuh dan mengkerut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Timbal dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat dan asam sulfat pekat (Ginting, 2021).

Timbal di perairan dapat berasal dari sumber alami, seperti proses pengkristalan di udara yang terbawa hujan dan korosi batuan mineral. Aktivitas manusia, seperti manufaktur, dan pembakaran bahan bakar fosil, telah menyebabkan peningkatan akumulasi timbal dan senyawanya di lingkungan, termasuk udara, air, dan tanah. Timbal digunakan dalam berbagai industri, seperti produksi baterai, kosmetik, produk logam (amunisi, solder), dan pipa. Sumber timbal juga berasal dari knalpot kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bertimbal, menghasilkan Pb sebagai produk pembakaran. Timbal yang dilepaskan ke udara kemudian terakumulasi di atmosfer dan masuk ke badan air melalui air hujan (Ferdiano et al., 2024).

Dalam mengkontaminasi sumber air, timbal sebagian besar terakumulasi di sedimen, dan sebagian larut di dalam air. Timbal yang terdapat dalam air dapat masuk ke organisme perairan, dan apabila air tersebut digunakan sebagai sumber konsumsi masyarakat, timbal tersebut juga dapat masuk ke dalam tubuh manusia. Masuknya timbal ke dalam tanaman yang disiram menggunakan air Sungai yang telah tercemar oleh

timbal akan menyebabkan risiko kesehatan pada manusia ketika mengonsumsi tanaman tersebut (Arlinda et al., 2023).

Paparan timbal yang terus-menerus dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia. Efek timbal terutama memengaruhi sistem hematopoietik (pembentukan sel darah merah), sistem pencernaan, sistem urinaria, ginjal, sistem saraf pusat, sistem reproduksi, jantung, dan sistem endokrin. Timbal yang terabsorpsi oleh tubuh akan terikat pada eritrosit sebanyak 99%, sementara 1% lainnya tersebar bebas dalam jaringan lunak dan tulang. Kadar timbal dalam darah mencerminkan kadar timbal dalam tubuh. Kadar timbal dalam darah juga menunjukkan hubungan dinamis antara paparan, absorpsi, distribusi, dan ekskresi, sehingga dapat digunakan sebagai indikator untuk memantau paparan yang sedang berlangsung (Samsulaga & Wimpy, 2022).

1.5.6 Tinjauan Umum tentang Tembaga (Cu)

Logam tembaga (Cu) merupakan logam dengan nomor atom 29 dan berat atom 63,546 g/mol, memiliki titik leleh 1.083°C dan titik didih 2.595°C. Sebagai logam transisi golongan I B, tembaga bersifat lentur dan mudah ditempa. Tembaga termasuk ke dalam kelompok logam esensial, dimana dalam kadar yang rendah dibutuhkan oleh organisme sebagai koenzim dalam proses metabolisme tubuh. Konsentrasi tembaga terlarut dalam air laut sebesar 0,01 ppm misalnya dapat mengakibatkan kematian fitoplankton. Kematian tersebut diakibatkan daya racun tembaga yang dapat 2 menghambat aktivitas enzim dalam pembelahan sel fitoplankton. Logam berat tembaga yang berada di lingkungan akan terakumulasi pada air dan sedimen dasar perairan (Ferdiano et al., 2024).

Proses masuknya logam tembaga tembaga (Cu) ke lingkungan dapat melalui lingkungan perairan melalui proses alami, seperti erosi batuan mineral, serta dari debu atau partikel tembaga di udara yang kemudian terbawa turun oleh hujan. Secara antropogenik, tembaga masuk ke lingkungan melalui limbah domestik, limbah perkotaan, aktivitas industri, aktivitas perkapalan, kegiatan pertanian serta emisi kendaraan (Masrurroh & Purnomo, 2024). Konsentrasi tembaga (Cu) yang terlarut dalam perairan umumnya berkisar antara 0,002 hingga 0,005 ppm. Namun, kelarutan tembaga dapat meningkat hingga melampaui ambang batas jika terjadi biomagnifikasi. Biomagnifikasi ini terjadi akibat akumulasi tembaga dalam tubuh organisme perairan, seperti ikan, di mana tembaga terakumulasi dalam jaringan tubuh ikan yang nantinya dikonsumsi sebagai sumber pangan. Akumulasi tersebut dapat terjadi jika tubuh organisme menerima asupan tembaga dalam jumlah yang berlebihan (Fitrianingsing, 2021).

Pencemaran akibat logam tembaga pada perairan dapat berasal dari berbagai aktivitas manusia, seperti kegiatan domestik, emisi gas ke atmosfer, proses pelapisan logam dalam industri, serta kegiatan di galangan kapal dan pelabuhan. Industri galangan kapal sendiri memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Aktivitas di galangan

kapal mencakup pembangunan dan perbaikan kapal, serta sering kali meninggalkan kapal yang sudah tidak digunakan di area tersebut. Karena lokasinya yang berdekatan dengan perairan, udara, dan daratan, berbagai kegiatan di galangan kapal memiliki potensi besar untuk merusak lingkungan. Aktivitas di pelabuhan menjadi salah satu faktor yang mempercepat peningkatan kelarutan logam dalam air melalui jalur ini (Cantika et al., 2023).

Tembaga (Cu) merupakan logam esensial yang diperlukan oleh manusia, mamalia, dan ikan untuk berbagai fungsi biologis, seperti metabolisme, pembentukan hemoglobin, hemosianin, serta pigmen yang terlibat dalam proses pengangkutan oksigen. Bagi manusia, asupan tembaga yang dianjurkan adalah 2,5 mg/kg per hari untuk orang dewasa dan 0,05 mg/kg per hari untuk anak-anak serta bayi. Logam Cu di perairan memberikan dampak terhadap organisme perairan dan juga manusia. Kadar tembaga yang berlebihan dapat menjadi racun bagi organisme perairan seperti ikan, plankton, dan invertebrata, yang berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem serta rantai makanan. Pada manusia, paparan tembaga dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan masalah kesehatan, termasuk gangguan pencernaan, kerusakan pada hati dan ginjal, risiko kanker, serta gangguan pada sistem saraf (Husin, 2022).

1.6 Sintesa Penelitian

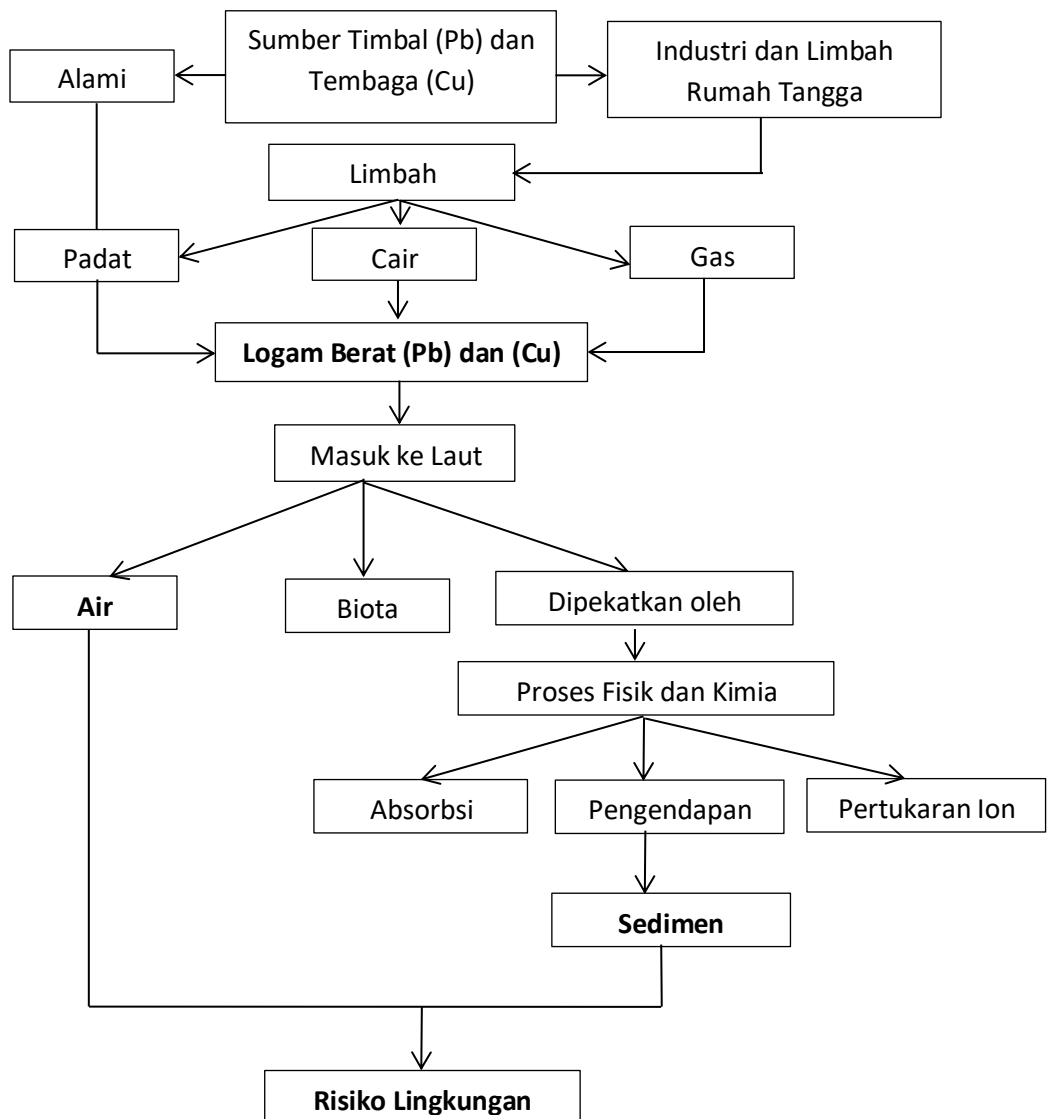
Tabel 2. 1 Sintesa artikel terkait logam timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada air dan Sedimen di Muara Sungai Jeneberang Makassar

NO	Peneliti (Tahun dan Sumber Jurnal)	Judul dan Nama Jurnal)	Desain Penelitian dan Metode Analisis)	Sampel	Temuan
1	Alisa, C. A. G., Albirqi, P., Septyo, M., & Faizal (2020). <i>Jurnal Akuatika Indonesia</i> , 5(1) , 21-26.	Kandungan Timbal Dan Kadmium Pada Air Dan Sedimen Di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta	<i>Cross sectional</i>	8 sampel air dan 8 sampel sedimen	1. Kadar Pb pada air laut paling rendah yaitu 0,512 mg/l dan 0,518 mg/l, paling tinggi yaitu 0,600 mg/l 2. kandungan Pb pada sedimen sebesar 1,628 mg/l. Kadar Pb pada sedimen di perairan Pulau Untung Jawa berkisar antara 14,118 – 24,195 mg/l.
2	Falah, S., Purnomo, P. W., & Suryanto, A. (2018) <i>Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)</i> , 7(2), 222-226.	Analisis logam berat Cu dan Pb pada air dan sedimen dengan kerang hijau (P. Viridis) di Perairan Morosari Kabupaten Demak.	<i>Cross Sectional</i>	12 sampel air dan 12 sampel sedimen	1. Kadar logam Cu di perairan berkisar kurang dari 0,016 mg/l sampai 0,063 mg/l. Kadar logam Pb memiliki kisaran nilai kurang dari 0,224 mg/l sampai 0,351 mg/l. 2. Kadar logam Cu pada sedimen ada di kisaran <0,001 mg/kg sampai 0,139 mg/kg. Sedangkan pada kadar logam Pb yaitu 1,139 mg/kg sampai 3,079 mg/kg.
3	Sitorus, S., Ilang, Y., & Nugroho, R. A. (2020). <i>Dinamika Lingkungan Indonesia</i> , 7(2) , 89.	Analisis kadar logam Pb, Cd, Cu, As pada air, sedimen dan bivalvia di Pesisir Teluk Balikpapan.	<i>Cross Sectional</i>	12 sampel air dan 12 sampel sedimen	1. Kandungan timbal pada air disekitaran pesisir Teluk Balikpapan berada dikisaran 0,064 – 0,142 mg/l, sedangkan kandungan tembaga berada dikisaran 0,035 – 0,056 mg/l. Nilai

					tersebut melebihi ambang batas 2. Kandungan timbal pada sedimen berada dikisaran 2,555 – 2,704 mg/kg, sedangkan kadungan sedimen pada tembaga berada dikisaran 1,289 – 1,553. Nilai tersebut masih dalam standar baku mutu
4	Paundanan, M., Ikbal, I., Fachruddin, F., & Khaery, A. (2023). <i>Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan</i> , 14(1).	Studi Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) Berdasarkan Nilai Ambang Batas (NAB) di Sungai Motui Kabupaten Konawe Utara.	<i>Cross sectional</i>	12 sampel air dan 12 sampel sedimen	1. konsentrasi logam Cu dalam air berkisar < 0.0045 – <0.0072 mg/l. Sedangkan konsentrasi logam Pb dalam air adalah < 0.0004 2. konsentrasi logam Cu dalam sedimen berkisar 12.676 - 17.729 mg/kg. Sedangkan konsentrasi logam Pb dalam sedimen berkisar 18.511 - 24.239 mm/kg
5	Permana, B., Rafii, A., & Eryati, R. (2022). <i>Jurnal Tropical Aquatic Sciences</i> , 1(1), 62-68.	Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd) Dan Tembaga (Cu) Pada Air Dan Sedimen Di Muara Perairan Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara.	<i>Cross sectional</i>	24 sampel air dan 24 sampel sedimen	Penelitian yang dilakukan di 6 stasiun dengan 2 kali periode pengambilan disetiap stasiun. 1. Konsentrasi timbal di air pada periode 1 berkisar <0,003 mg/l sedangkan pada periode 2 berkisar 0,0156 – 0,319 mg/l. Konsentrasi tembaga pada periode 1 dan 2 berkisar ,0,002 mg/l.

					2. Konsentrasi sedimen pada timbal di periode 1 berkisar 8,239 – 14,744 mg/kg, sedangkan pada periode 2 berkisar 5,022 – 13,604. Konsentrasi tembaga pada periode 1 8,2,17 - 15,245 mg/kg, sedangkan pada periode 2 berkisar 6,323 – 14,125 mg/kg.
--	--	--	--	--	---

1.7 Kerangka Teori



Sumber: (Darmono, 2001, Sastrawijaya, 2009, Palar, 2012 dan Louvar 1998).

Dimodifikasi

Gambar 1. 1 Kerangka Teori Penelitian

1.8 Dasar Pemikiran

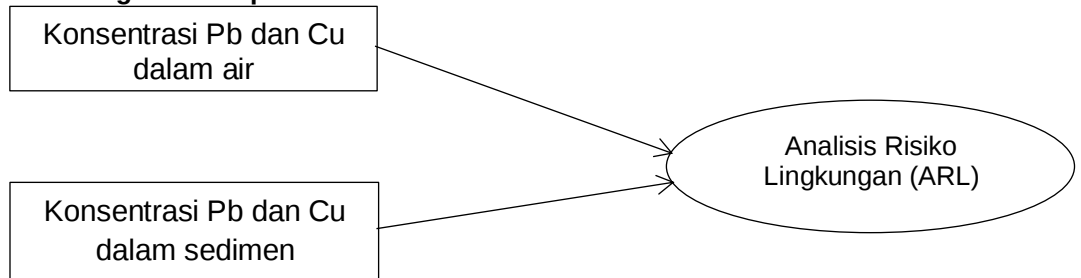
Aliran sungai yang digunakan sebagai tempat pembuangan limbah berpotensi besar menyebabkan pencemaran. Pengolahan limbah baik dari sumber domestik maupun industri dibedakan menjadi limbah organik dan anorganik. Limbah anorganik masuk ke lingkungan perairan melalui berbagai aktivitas manusia, seperti aktivitas perkapalan, pembuangan limbah rumah tangga, buangan limbah industri, serta limpasan dari kegiatan pertanian (Firmansyah, 2019).

Logam dapat masuk kedalam air dan kemudian masuk ke dalam organisme melalui proses fisik dan kimiawi, seperti peyerpan, presipitasi, dan pertukaran ion. Penyebaran logam berat di perairan dipengaruhi oleh berbagai interaksi fisik dan kimia, termasuk pH, konsentrasi serta jenis senyawa yang terlibat. Penyerapan terjadi ketika interaksi antara zat yang diserap dengan material penyerapan. Presipitasi berlangsung ketika dua larutan dengan ion-ion berbeda bercampur dan membentuk senyawa yang tidak larut (berupa padatan) dalam pelarut. Logam berat yang memasuki perairan dan mengalami proses pengendapan kemudian berubah menjadi bagian dari sedimen (Widyawati & Kuntrojo, 2021).

Logam berat dalam lingkungan perairan akibat pembuangan limbah industri dapat menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan dan jika telah melebihi batas aman, hal ini dapat menjadi indikasi dari pencemaran lingkungan. Kandungan logam berat yang sering dijumpai mencemari sedimen dan perairan sungai adalah Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu). Logam berat Timbal (Pb) adalah logam berat yang manfaatnya tidak diketahui untuk organisme air. Jumlah timbal di atas ambang batas dapat mengganggu kelangsungan hidup organisme akuatik. Logam berat tembaga (Cu) merupakan logam berat yang dibutuhkan organisme perairan dalam jumlah yang sedikit, namun jika berlebih akan berubah fungsi menjadi racun (Paundanan et al., 2023).

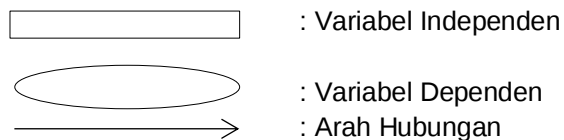
Perairan merupakan wilayah yang rentan terhadap pencemaran logam berat jenis Timbal (Pb) yang bersumber dari limbah industri, aktivitas masyarakat di permukiman dan transportasi laut. Kawasan pelabuhan sering dimanfaatkan sebagai tempat docking kapal atau proses penggeseran kapal dari perairan ke dermaga untuk perawatan atau perbaikan kapal. Proses ini berkaitan dengan penggunaan logam berat Tembaga (Cu) sebagai bahan pengawet dalam pembuatan galangan kapal dan dapat menjadi penyumbang pencemaran logam berat Tembaga (Cu) ke dalam perairan di sekitar pelabuhan. Logam-logam berat yang masuk ke dalam perairan dapat mengendap di dasar perairan dengan sedimen (Sari & Hidayati, 2024).

1.9 Kerangka Konsep



Gambar 1.2 Kerangka Konsep Penelitian

Keterangan:



1.10 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Tabel 1. 2 Defnisi Operasional dan Kriteria Objektif

No	Variabel	Definisi Operasional	Kriteria Objektif	Pengukuran	Skala
1	Konsentrasi timbal pada Air sungai	Konsentrasi timbal pada air di Muara sungai	Memenuhi syararat jika $\leq 0,03$ mg/L Tidak memenuhi syarat jika $\geq 0,03$ mg/L	Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	Numerik
2	Konsentrasi tembaga pada air sungai	Konsentrasi tembaga pada air di Muara sungai	Memenuhi syararat jika $\leq 0,02$ mg/L Tidak memenuhi syarat jika $\geq 0,02$ mg/L	Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	Numerik
3	Konsentrasi timbal pada sedimen di sungai	Konsentrasi timbal pada sedimen di Muara sungai Jeneberang	Memenuhi syararat jika $\leq 47,82$ mg/kg Tidak memenuhi syarat jika $\geq 47,82$ mg/kg	Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	Numerik
4	Konsentrasi tembaga pada	Konsentrasi tembaga pada	Memenuhi syararat jika	Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	Numerik

	sedimen di sungai	sedimen di Muara sungai Jeneberang	≤49,98 mg/kg Tidak memenuhi syarat jika ≥49,98 mg/kg		
5	Air Sungai	Air yang ada di Muara Sungai Jeneberang Makassar	Memenuhi syarat jika sesuai dengan baku mutu menurut PP No 22 Tahun 2021 Tidak memenuhi syarat jika hasil uji melebihi baku mutu menurut PP No 22 Tahun 2021		Nominal
6	Sedimen	Tanah dan pasir yang terdapat pada perairan di Muara Sungai Jeneberang	Memenuhi syarat jika sesuai dengan baku mutu menurut Keputusan Menteri United State <i>Enviromental Protection Agency</i> (USEPA) 2004 Tidak memenuhi syarat jika hasil uji melebihi baku mutu menurut Keputusan Menteri United State <i>Enviromental Protection</i>		Nominal

			Agency (USEPA) 2004		
7	Risiko Lingkungan	Kondisi yang berpotensi menimbulkan bahaya atau gangguan terhadap lingkungan akibat paparan Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada air dan sedimen di muara Sungai Jeneberang			Ordinal
8	Besar Risiko Lingkungan	Nilai perkiraan besarnya risiko terpapar Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada air dan sedimen di Muara Sungai Jeneberang	HQ < 0.1 tidak ada bahaya (<i>No hazard</i>) (NH) HQ = 0.1 - 1 bahaya rendah (<i>Low hazard</i>) (L) HQ = 1.1 - 10 bahaya sedang (<i>Hazard is moderate</i>) (M) HQ > 10 bahaya tinggi (<i>Hazard is high</i>) (T)	Rumus analisis risiko lingkungan	Ordinal

BAB II

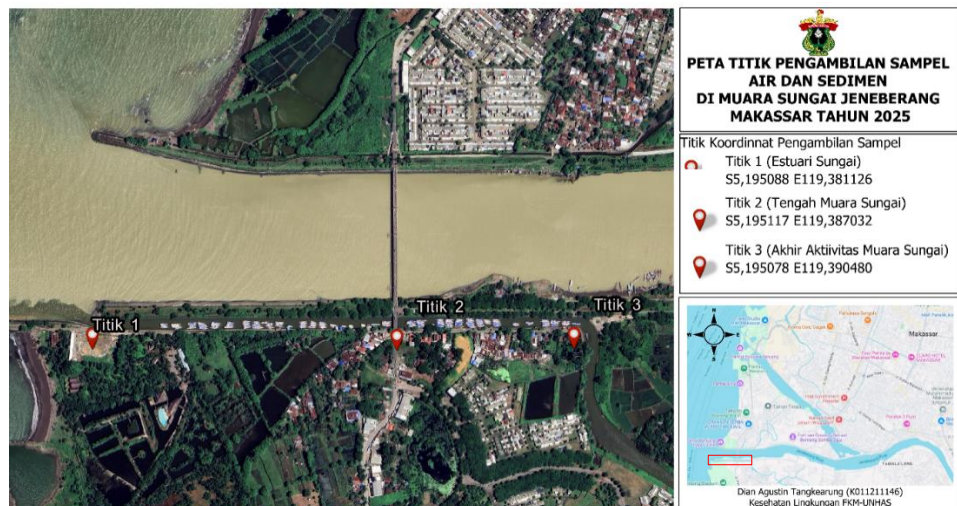
METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan rancangan penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif observasional menggunakan rancangan Analisis Risiko Lingkungan (ARL). Pengujian laboratorium pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada air dan ikan di Muara Sungai Jeneberang Makassar.

2.2 Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2025 di Muara Sungai Jeneberang, Kota Makassar. Pemeriksaan Laboratorium dilakukan pada bulan Maret 2025 di Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar.



Gambar 3. 1 Peta Titik Pengambilan Sampel Air dan Sedimen di Sungai Jeneberang Makassar

2.3 Populasi dan Sampel

2.3.1 Populasi

Populasi pada penelitian ini adalah air dan sedimen yang ada di Sungai Jeneberang Makassar

2.3.2 Sampel

Sampel air pada penelitian ini diambil dari tiga titik di sekitar Muara Sungai Jeneberang Makassar. Penentuan titik pengambilan sampel ditentukan dengan *purposive sampling*. Adapun lokasi titik pengambilan sampel sebagai berikut:

- Lokasi 1 berada pada estuari sungai. Estuari sungai merupakan tempat pertemuan antara air laut dan air sungai. Pengambilan sampel dititik ini untuk mengidentifikasi konsentrasi logam akibat interaksi antara air laut dan air sungai
- Lokasi 2 berada pada tengah muara sungai. Pengambilan sampel dititik ini dapat mencerminkan pengaruh kegiatan perkapalan dan akumulasi limbah yang masuk ke laut.

- c. Lokasi 3 berada pada akhir daerah aktivitas perkapalan pada muara sungai. Pengambilan titik ini untuk mengetahui konsentrasi logam yang ada di bagian akhir aktivitas muara sungai

2.4 Alat, Bahan, Prosedur Pengambilan dan Pemeriksaan Sampel

2.4.1 Alat dan Bahan Pengambilan Sampel

Alat dan bahan pengambilan sampel untuk parameter Timbal dan Tembaga:

- a. Air
 - 1. Botol plastik
 - 2. Tali
 - 3. Botol sampel
 - 4. Kertas label
 - 5. Spidol
- b. Sedimen
 - 1. Pipa
 - 2. saringan
 - 3. Plastik sampel
 - 4. Kertas label
 - 5. Spidol

2.4.2 Prosedur Pengambilan sampel

Pengambilan sampel untuk parameter Timbal dan Tembaga

- a. Air
 - 1. Disiapkan 1 buah botol plastik dilengkapi dengan pengikat tali untuk mengambil sampel air Sungai
 - 2. Dibilas botol plastik sebanyak 3 kali, lalu air sampel diambil
 - 3. Disiapkan botol plastik yang dapat ditutup rapat, tidak mudah pecah, bersih dan bebas kontaminan.
 - 4. Dibuka tutup botol dan dibilas botol plastik sebanyak 3 kali sebelum air sampel dimasukan.
 - 5. Diisi botol plastik dengan air sampel hingga penuh.
 - 6. Dilakukan pemeriksaan segera
- b. Sedimen
 - 1. Disiapkan pipa yang digunakan sebagai sederhana pengganti dari alat *grab sampler* untuk mangambil sampel sedimen Sungai
 - 2. Diambil sampel sedimen Sungai dengan menurunkan pipa sampai kedasasr perairan kemudian ambil sampel yang dirasa telah masuk kedalam rongga-rongga pipa
 - 3. Diambil sampel ada kedalaman $\pm 2 - 3$ meter dari permukaan air
 - 4. Ditarik pipa kepermukaan
 - 5. Disaring sampel untuk memisahkan dengan air, kemudian sampel sedimen dimasukan ke plastik sampel, lalu diberi label

2.4.3 Alat dan bahan pemeriksaan sampel

Alat dan bahan untuk pemeriksaan sampel air (timbangan dan tembaga)

a. Alat:

1. Labu *Erlenmeyer* 200 ml
2. Gelas Ukur 50 ml
3. Pipet Tetes
4. Penjepit Krusible
5. Corong
6. Botol Sampel
7. Spidol
8. *Hot Plate Stirrer*
9. *Fume Hood*
10. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

b. Bahan:

1. Air Sampel 50 mL
2. Asam Nitrat (HNO_3) 5 mL
3. *Aquades*
4. Kertas Filter

Alat dan bahan pemeriksaan sampel sedimen (timbangan dan tembaga)

a. Alat:

1. Ayakan
2. *Oven*
3. Labu *Erlenmeyer* 200 mL
4. Spatula Kayu
5. Gelas Ukur 50 mL
6. Penjepit Krusible
7. Pipet Tetes
8. Botol Sampel
9. Timbangan Analitik Ketelitian 0,0001 g
10. *Fume Hood*
11. *Hot Plate Stirrer*
12. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

b. Bahan

1. Sampel Sedimen 0,2 gr
2. Asam Nitrat (HNO_3) 10 mL
3. *Perchloric acid* (HClO_4) 0,5 mL
4. *Aquades*
5. Kertas Filter

4.4.4 Prosedur Pemeriksaan

a. Air

Prosedur pemeriksaan untuk parameter timbal dan tembaga:

Pembuatan sampel uji

1. Dihomogenkan sampel uji dengan cara dibolak-balik sebanyak 3 kali

2. Diukur air sampel sebanyak 50 ml menggunakan gelas ukur kemudian dimasukan kedalam labu Erlenmeyer
 3. Ditambahkan 5 ml HNO_3 pekat dan panaskan menggunakan *hot plate stirrer* sampai sisa volumenya 20 ml sampai dengan 25 ml
 4. Diturunkan sampel dari *hot plate stirrer* menggunakan penjepit krusibel kemudian didinginkan
 5. Dipindahkan sampel uji ke dalam gelas ukur 50 ml dan tambahkan *aquades* (yang telah dibilas dari labu *erlenmeyer* berisi sampel) ke dalam gelas ukur sampai tepat 50 ml
 6. Dihomogekan sampel dengan cara dibolak-balik sebanyak 3 kali
 7. Disaring sampel yang telah dihomogenkan kedalam botol sampel menggunakan corong yang sudah dilapisi kertas filter
 8. Ditutup sampel yang telah disaring kemudian diberikan nomor sampel
 9. Sampel uji siap diukur.
 10. Dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
- b. Sedimen
- Prosedur pemeriksaan sampel sedimen untuk parameter timbal dan tembaga
1. Dikeringkan sampel sedimen menggunakan oven
 2. Dihaluskan sampel sedimen kemudian diayak
 3. Dimasukan sampel sedimen kedalam labu *erlenmeyer* dan timbang sampel sebanyak 0,2 gr menggunakan neraca analitik
 4. Ditambahkan *aquades* sebanyak 20 ml, kemudian homogenkan sampel
 5. Ditambahkan asam nitrat sebanyak 10 ml
 6. Dipanaskan sampel uji menggunakan *hot plate stirrer* hingga tersisa setengah
 7. Ditambahkan *Perchoric acid* sebanyak 0,5 mL dan asam nitrat 10 ml
 8. Dipanaskan kembali sampel uji hingga tersisa setengah
 9. Didinginkan sampel uji yang telah dipanaskan
 10. Dituang sampel uji kedalam gelas ukur 50 ml dan tambahkan *aquades* (yang telah dibilas dari labu *erlenmeyer* berisi sampel) ke dalam gelas ukur sampai tepat 50 ml
 11. Dihomogenkan sampel uji dengan cara dibolak-balik sebanyak tiga kali

12. Disaring sampel uji kedalam botol sampel menggunakan corong yang sudah dilapisi kertas filter
13. Ditutup botol sampel kemudian diberikan nomor sampel
14. Dianalisis sampel menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

2.5 Pengumpulan Data

4.5.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung melalui penelitian dan pemeriksaan kandungan logam timbal dan tembaga pada sampel air dan sedimen di Balai Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar. Data primer yang digunakan pengukuran dan hasil pemeriksaan.

4.5.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari literatur terkait seperti buku, jurnal, skripsi hasil penelitian serta data dari instansi terkait.

2.6 Pengolahan dan Analisis Data

2.6.1 Pengolahan Data

- a. Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengelompokkan hasil pengukuran dari sampel air yang diambil di beberapa titik. Setiap sampel yang telah diambil akan dilakukan uji di laboratorium untuk mengetahui tingkat konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada air dan sedimen menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA).
- b. Pengolahan data menggunakan perhitungan rumus analisis risiko lingkungan

$$HQ = \frac{EEC}{Screening\ Benchmark}$$

Keterangan:

HQ (*Hazard Quotient*): Nilai koefisien bahaya

EEC (*Estimated Enviromental Concentration*): Konsentrasi kontaminan pada lingkungan

Screening Benchmark: Konsentrasi tanpa efek samping (NAB)

Kategori bahaya:

HQ < 0.1 tidak ada bahaya (*No hazard*) (NH)

HQ = 0.1 - 1 bahaya rendah (*Low hazard*) (L)

HQ = 1.1 - 10 bahaya sedang (*Hazard is moderate*) (M)

HQ > 10 bahaya tinggi (*Hazard is high*) (T)

Sumber: Mallongi A, 2013

2.6.2 Analisis Univariat

Analisis univariat digunakan untuk melihat distribusi frekuensi dari variabel independen dan dependen. Data hasil penelitian yang diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium akan ditampilkan dalam bentuk narasi dan tabel.

2.6.3 Analisis risiko lingkungan

Analisis risiko lingkungan digunakan untuk mengetahui besarnya risiko paparan logam berat pada air dan sedimen. Hasil konsentrasi logam kemudian akan diukur besar risiko lingkungannya menggunakan rumus perhitungan *hazard quotient*.

2.7 Penyajian Data

Data yang diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium akan disajikan dalam bentuk tabel dan narasi.

2.8 Etik Penelitian

Etika penelitian berfungsi sebagai perlindungan bagi peneliti dan institusi tempat penelitian. Dalam pelaksanaan penelitian ini, peneliti akan mengajukan kode etik penelitian kepada Komisi Etik Penelitian Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin untuk mendapatkan surat keterangan kelayakan etik penelitian. Sebagai bagian dari penghormatan terhadap prinsip dasar etika penelitian, peneliti diwajibkan memberikan penjelasan yang cukup kepada setiap individu yang akan dilibatkan sebagai subjek penelitian dan memperoleh persetujuan dari mereka. Penjelasan ini bertujuan agar subjek penelitian memahami tujuan penelitian, risiko, manfaat yang mungkin dialami, serta hak dan kewajiban mereka sebagai peserta.

