

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari, air memiliki peran penting tidak hanya untuk kebutuhan domestik, tetapi juga dalam sektor industri, kebersihan lingkungan perkotaan, serta pertanian dan berbagai keperluan lainnya (Asrori, 2021). Salah satu masalah terkait air adalah lebih dari 40% populasi global tidak memiliki akses ke air bersih yang memadai, yang menjadi ancaman besar bagi beberapa sektor, termasuk ketahanan pangan. Pertanian menggunakan sekitar 70% air tawar dunia yang dapat diakses, dan negara-negara berkembang paling terpengaruh oleh kekurangan air, banjir, serta kualitas air yang buruk. Ada 80% penyakit di negara berkembang terkait dengan air dan sanitasi yang tidak memadai, sehingga menunjukkan betapa kritisnya masalah ini (Basri et al., 2023).

Data *World Water Assessment Programme*, menunjukkan bahwa sebanyak 119 juta rakyat Indonesia belum memiliki akses penuh terhadap air bersih. Krisis air ini menyebabkan dampak buruk yang cukup serius, seperti munculnya epidemi penyakit, karena akses air bersih di Indonesia diperkirakan hanya sekitar 20% dan lebih dominan di daerah perkotaan, sedangkan sebanyak 82% rakyat Indonesia masih mengonsumsi air yang tidak layak untuk kesehatan, menunjukkan betapa mendesaknya masalah ini (Wati, 2020).

Sumber daya air perlu untuk dijaga kuantitas dan kualitasnya, sebab ketersediaan air tawar yang bisa kita gunakan untuk keperluan harian seperti untuk kebutuhan domestik atau keperluan irigasi yakni hanya sekitar 3% dari 70% air yang menutupi bumi ini, sedangkan dua pertiganya tersimpan di gletser beku atau tidak tersedia untuk kita gunakan yang bermakna bahwa hanya 0,5% air di muka bumi yang tersedia dan dapat digunakan sebagai air tawar. Bahkan *World Wildlife fund* yang senada dengan PBB telah memberikan *warning* dalam prediksinya terkait krisis air, yakni sebanyak dua pertiga penduduk dunia mungkin akan menghadapi kekurangan air tawar pada tahun 2025. Prediksi tersebut memberikan gambaran bahwa ada kemungkinan ekosistem di seluruh dunia akan menderita, termasuk Indonesia sebagai negara kepulauan yang hanya memiliki 6% potensi air dunia, akan tetapi hanya 20% masyarakatnya yang mampu mendapatkan akses air bersih (Husamah & Rahardjanto, 2020).

Sumber daya air menghadapi tekanan yang semakin besar, dengan banyak sungai, danau, dan akuifer mengering atau tercemar berat sehingga membahayakan penggunaannya. Tren konsumsi global, perubahan iklim, dan industrialisasi semakin memperburuk situasi. Prediksi *World Wildlife Fund* menyatakan bahwa pada tahun 2025, dua pertiga populasi dunia mungkin menghadapi kekurangan air tawar. Karena itu, ekosistem juga akan terus terdampak serius. Salah satu contoh nyata adalah pencemaran sungai oleh limbah rumah tangga, seperti ditemukan dalam survei Lembaga Swadaya Masyarakat *Ecological Observation and Wetland Conservation* (LSM

ECOTON), yakni 98% dari 100 responden melaporkan membuang popok bayi ke sungai (Husamah & Rahardjanto, 2020).

Sungai merupakan salah satu sumber air baku yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, sehingga perlu dilestarikan. Berdasarkan pemantauan Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (KLH RI) pada tahun 2014, terdapat sekitar 75% sungai di Indonesia yang mengalami pencemaran berat akibat pembuangan limbah rumah tangga. Sungai sering menerima berbagai bahan pencemar dalam proses alirannya. Keterkaitan antara sumber daya air dengan kualitas dan kuantitas air sungai sangat bergantung pada kondisi daerah aliran sungai (DAS). DAS didefinisikan sebagai wilayah yang dibatasi oleh punggung-punggungan gunung, di mana air hujan yang jatuh akan ditampung oleh area tersebut dan dialirkan melalui sungai-sungai kecil menuju sungai utama (Dawud et al., 2016; Junaidy et al., 2022). Perubahan hingga penurunan nilai guna sungai dapat dipengaruhi oleh aktivitas alam, perkembangan lingkungan, hingga aktivitas manusia yang berhubungan dengan sungai (Ritiau et al., 2021).

Secara umum, indeks kualitas air (IKA) sungai di Indonesia menunjukkan fluktuasi dari tahun ke tahun. Pada tahun 2015, kualitas air sungai prioritas secara nasional berada pada kategori cukup baik dengan IKA sebesar 65,86, namun turun menjadi 58,68 pada tahun 2017. Adapun pada tahun 2018 menunjukkan peningkatan kualitas air sungai ke kategori baik dengan rata-rata IKA sebesar 72,77, tetapi kembali menurun menjadi kategori kurang baik pada tahun 2019. Dalam periode 2015 – 2017, sekitar 58,82% hingga 44,12% sungai memiliki status kualitas cukup baik. Sementara itu, pada tahun 2018, sebagian besar sungai di Indonesia (70,1%) berada dalam kategori kualitas baik dan cukup baik (IKA > 70). Indeks kualitas sungai prioritas kembali menurun pada tahun 2019 dengan mayoritas (76,5%) sungai berada pada kategori kualitas kurang baik dan cukup baik. Hal ini menunjukkan perlunya dilakukan pemantauan kualitas air sungai, apalagi dengan adanya topografi yang bervariasi, Indonesia memiliki banyak kontur sungai yang tersebar hampir di seluruh wilayahnya yang perlu diperhatikan kualitasnya. Contohnya, di Pulau Sulawesi terdapat 31 aliran sungai yang dilengkapi dengan muara anak sungainya (Sofyan & Basyaiban, 2022).

Pencemaran lingkungan telah menjadi masalah serius yang mendesak di banyak kota di Indonesia (Amru & Makkau, 2023). Salah satu DAS di Makassar memerlukan perhatian khusus yakni DAS Tallo, karena memiliki beberapa permasalahan yang kompleks yakni sedimentasi, pencemaran air hingga banjir. Apalagi DAS Tallo tidak hanya mendukung kebutuhan air bagi penduduk, namun berperan penting pula dalam menjaga keseimbangan ekosistem lokal. Sumber pencemaran di sekitar sungai tersebut, yakni terdapat beberapa aktivitas industri dan lain-lainnya yang membuang limbah ke sungai (Mursalin & Natsir, 2024).

Sungai Tallo mengalir di sekitar Daerah Nipah, Kantisan, Kera-kera, Bontosungi, Lakkang, dan di sekitar jalan tol. Di sekitar sungai terdapat

beberapa potensi sumber pencemar, yaitu beberapa pemukiman, industri pabrik tripleks, pertambakan, beberapa industri, pertanian, serta sebagai tempat mata pencaharian bagi nelayan sekitar bantaran sungai yang dapat menghasilkan limbah-limbah industri serta limbah logam berat. Pemanfaatan Sungai Tallo sebagai sumber air baku, sarana transportasi air, pariwisata, dan budidaya perikanan dapat berisiko terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan sekitar, apabila air, sedimen, ataupun biota yang ada pada sungai tersebut mengandung bahan pencemar berbahaya yang melebihi ambang batas (Jais et al., 2020). Kegiatan industri dan Kurangnya kesadaran masyarakat umum dalam menjaga kebersihan sungai dapat mengurangi fungsinya dan memperburuk tingkat pencemaran (Harahap et al., 2020).

Sungai Tallo merupakan sungai yang mengalir ke Selat Makassar dan membelah Kabupaten Gowa serta Kota Makassar, berperan penting sebagai jalur transportasi air, destinasi wisata, sumber air baku, serta kawasan perikanan tangkap dan budidaya perairan tawar dengan sistem keramba jaring apung. Aktivitas pemukiman, pertambakan, dan pertanian di sepanjang aliran sungai memberikan tekanan terhadap kualitas perairan muara Sungai Tallo. Selain itu, terdapat beberapa perusahaan, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tello, PT IA, PT ST, PT MT, PT KTC, dan RIS IS, diduga mencemari sungai dengan membuang limbah cair serta bahan berbahaya dan beracun (B3) tanpa melalui proses pengolahan yang memadai. Kebanyakan perusahaan tersebut belum memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC), sehingga limbahnya langsung bermuara di Sungai Tallo. Tidak hanya dari sektor industri, pencemaran juga semakin meningkat akibat limbah domestik, pertanian, dan industri yang berasal dari aktivitas di darat maupun laut, yang pada akhirnya memperberat beban ekosistem sungai (Indrawati et al., 2022).

Limbah industri yang mengandung logam berat seperti Timbal (Pb), Tembaga (Cu), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), dan Merkuri (Hg) terus bertambah tanpa pengolahan yang memadai, menyebabkan akumulasi logam di perairan sungai dan terbawa hingga ke delta. Logam Pb yang masuk ke air dapat berikatan dengan protein dalam biota air, seperti ikan, membentuk metalotionein, yang pada akhirnya terakumulasi dalam tubuh ikan dan berpotensi menyebabkan keracunan jika dikonsumsi manusia. Selain itu, kondisi Sungai Tallo yang berkelok-kelok, laju sedimentasi yang tinggi, serta pengaruh pasang surut air laut memperparah akumulasi pencemar di sekitar kawasan pelabuhan Paotere dan pemukiman sekitarnya, termasuk Kawasan Industri Makassar. Akibat pencemaran ini, keanekaragaman hayati di Sungai Tallo mengalami penurunan signifikan, sementara bahan beracun dalam rantai makanan terus mengalami peningkatan melalui proses bioakumulasi (Fahrudin et al., 2020).

Berdasarkan penelitian Sukma dkk., (2020), di sungai Tallo, kelurahan Tallo, kecamatan Tallo, ditemukan hasil pengukuran kandungan Arsen (As) dan Pb yang bervariasi pada air dan ikan di sungai tersebut, yakni terdapat beberapa

kandungan logam berat yang memenuhi standar dan tidak memenuhi standar PP Tahun 2001 yaitu standar baku mutu parameter As sebesar 0,05 mg/l dan Pb sebesar 0,03 mg/l. Adapun beberapa hasil pengukuran Pb dan As dalam air pada penelitian tersebut yang tidak memenuhi standar, yaitu kandungan Pb pada air sebesar 0,0892 mg/l pada titik II dan 0,6 mg/l pada titik III, kandungan As pada air sebesar 0,0552 mg/l pada titik II dan 0,6493 mg/l pada titik III. Kandungan Pb pada ikan di lokasi titik I hingga titik III menunjukkan hasil yang sama, yaitu kurang dari 0,10 mg/kg. Begitu pula dengan kandungan As pada ikan di ketiga titik tersebut, yang tercatat kurang dari 0,01 mg/kg. Sementara itu, hasil perhitungan Maksimum Toleransi Intake (MTI) untuk konsumsi mingguan berdasarkan grafik konsentrasi logam berat Pb menunjukkan bahwa titik sampel 1 memiliki konsentrasi 1,5 mg/kg, titik sampel 2 sebesar 1,58 mg/kg, dan titik sampel 3 sebesar 1,58 mg/kg. Untuk As, hasil MTI konsumsi per minggu menunjukkan konsentrasi 95 mg/kg pada titik sampel 1, 95 mg/kg pada titik sampel 2, dan 94,935 mg/kg pada titik sampel 3. Hasil tersebut tidak memenuhi baku mutu konsumsi yang ditetapkan oleh WHO, yaitu sekitar 1 kg per minggu (Sukma, 2020).

Pencemaran logam berat di perairan Sungai Tallo semakin mengkhawatirkan, terutama oleh As dan Pb yang bersifat toksik karena dapat menyebabkan gangguan pada sistem imun, pernapasan, ekskresi, sistem saraf pusat, reproduksi, dan pertumbuhan. Hewan air menyerap Pb dari lingkungan atau melalui rantai makanan, seperti fitoplankton, zooplankton, dan tumbuhan renik yang telah terkontaminasi. Proses masuknya Pb ke dalam tubuh organisme air terjadi melalui insang, permukaan tubuh, serta saluran pencernaan melalui air atau makanan. Timbal banyak digunakan dalam industri baterai, cat, pestisida, serta sebagai aditif bahan bakar untuk meningkatkan nilai oktan dan mencegah ledakan saat pembakaran dalam mesin. Pencemaran Pb yang melebihi ambang batas di perairan dapat menyebabkan kematian biota air dan menimbulkan dampak kesehatan serius pada manusia, seperti keracunan Pb yang ditandai dengan iritasi gastrointestinal akut, muntah, sakit perut, diare, dan rasa logam di mulut. Kontaminasi logam berat di ekosistem perairan telah menjadi masalah kesehatan lingkungan selama beberapa dekade, termasuk pencemaran As di Sungai Tallo yang dapat terjadi akibat faktor alami maupun aktivitas manusia (antropogenik) (Sukma, 2020).

Azizah dan Maslahat, (2021) dalam penelitiannya terkait kandungan logam berat dalam tubuh Ikan Wader dari Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor menemukan konsentrasi logam Pb yang tinggi dalam tubuh ikan Wader berkisar 0,4 – 0,7 mg/kg yang melebihi nilai ambang batas menurut regulasi FAO/WHO (2000). Ikan tersebut diambil di sekitar lokasi penambangan emas liar, tempat pembuangan limbah rumah tangga dan limbah pertanian. Menurut Widowati *et al.*, (2008), bahwa Logam berat yang masuk ke perairan akan mengendap ke dasar dan terakumulasi ke sedimen yang dapat bersosiasi dengan sistem rantai makanan dengan prosesnya masuk ke tubuh biota yang ada di sekitar perairan tersebut melalui zooplankton, kemudian dikonsumsi oleh ikan (Azizah &

Maslahat, 2021). Penelitian Mahluddin, dkk. (2022) di Sungai Tallo Kota Makassar menunjukkan bahwa terdapat kontaminasi logam berat pada Sungai Tallo yang ditunjukkan melalui hasil pengukuran logam berat Pb pada sedimen sebesar 4,2704 mg/L pada titik I, 4,9720 mg/L pada titik II dan 4,5818 mg/L pada titik III yang berarti bahwa konsentrasi logam berat pada sedimen Sungai Tallo melebihi ambang batas berdasarkan *Environmental Protection Agency* (USEPA) Tahun 2000 yaitu sebesar <0,25 mg/L (Mahluddin et al., 2022).

Selain As dan Pb, konsentrasi logam berat lainnya yang pernah terdeteksi tinggi di Sungai Tallo dan dapat membahayakan ialah logam berat Cadmium (Cd). Berdasarkan penelitian Rumoei, dkk. (2022) terkait kandungan logam berat Cd dalam air dan kerang di Perairan Sungai Tallo, Makassar, ditemukan konsentrasi logam berat Cd yang tinggi pada air, dengan hasil pengukuran terendah sebesar 0,04 mg/L dan tertinggi sebesar 0,12 mg/L, sehingga hasil pengukuran menunjukkan bahwa perairan Sungai Tallo masuk kategori tercemar karena melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yaitu 0,01 mg/L (Rumoei et al., 2022).

Penelitian Ainun, dkk. (2021), menunjukkan bahwa konsentrasi kadmium (Cd) pada kerang darah yang diperoleh dari muara Sungai Tallo ialah sebesar 0,7826 ppm sebagai nilai konsentrasi Cd tertinggi dan 0,7671 ppm sebagai nilai konsentrasi terendah yang berarti konsentrasi logam berat Cd dalam semua sampel kerang darah dari Muara Sungai Tallo telah melebihi ambang batas yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 yaitu 0,001 ppm. Begitupun dengan sampel sedimen pada penelitian tersebut juga menunjukkan hasil yang melebihi ambang batas berdasarkan *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council* Tahun 2013 yaitu 0,001 ppm. Adapun nilai *Bio-Concentration Factor* (BCF) logam berat Cd pada organisme dan sedimennya berkisar antara 7,67 – 7,94 yakni >1 dari konsentrasi yang ada dalam perairan sehingga dikatakan bahwa tubuh sampel organisme khususnya kerang darah dari Muara Sungai Tallo memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat tinggi. Penelitian ini menggambarkan bahwa keberadaan logam berat di perairan sebagai tempat organisme air mencari makan dapat menimbulkan terjadinya proses akumulasi di dalam tubuh organisme air (Ainun et al., 2021).

Organisme air lainnya yang dapat berpotensi mengakumulasi logam berat dan juga sering dikonsumsi oleh manusia ialah ikan karena kandungan gizinya, seperti protein berkualitas tinggi, lemak, vitamin, dan mineral penting. Namun, ikan juga dapat menyerap polutan dari lingkungan, yang kemudian terakumulasi dalam tubuhnya. Konsumsi ikan yang terkontaminasi logam berat berbahaya bagi kesehatan karena dapat menyebabkan keracunan, bersifat karsinogenik dan mutagenik, serta merusak berbagai organ tubuh. Paparan timbal dalam jangka pendek maupun panjang dapat menimbulkan gangguan sistem saraf, jantung, dan ginjal, bahkan menyebabkan kematian. Begitu pula dengan arsenik, yang dalam jumlah besar dapat menyebabkan gangguan pencernaan,

saraf, dan jika terpapar dalam jangka panjang, meningkatkan risiko kanker kulit, paru, kandung kemih, dan ginjal (Isangedighi & David, 2019).

Penelitian Barone, *et al* (2022) terkait kandungan logam berat pada ikan dari Pesisir Italia menunjukkan bahwa ikan dapat mengakumulasi logam berat As, Pb, dan Cd pada dalam jaringan otot dengan konsentrasi yang tinggi (Barone et al., 2022). Mielcarek, *et al* (2022), yang melakukan penelitian pada ikan air tawar (mentah, diasap, atau acar) yang diperoleh dari Wilayah Mazury dan Warmia di Polandia menunjukkan bahwa konsentrasi As tertinggi terdapat pada Ikan Trout asap, konsentrasi Cd tertinggi pada Ikan Kecoa mentah dan ikan putih acar, sedangkan konsentrasi Pb tertinggi terdeteksi pada ikan putih (Mielcarek et al., 2022).

Ikan sebagai makanan yang direkomendasi oleh *American Health Association* (AHA) minimal dua kali seminggu guna memenuhi kebutuhan asam lemak serta omega-3 harian bagi manusia. Akan tetapi, seiring dengan adanya pertumbuhan penduduk dan pembangunan industri yang pesat maka habitat ikan dan ekologi perairan bisa terkontaminasi oleh polutan berbahaya dan dapat menyebabkan konsumsi ikan sebagai ancaman kesehatan (Magna et al., 2021). Logam berat dengan konsentrasi yang melebihi batas toleransi bisa berbahaya bila terakumulasi pada ikan dan dikonsumsi oleh manusia, karena jumlah logam berat yang berlebihan mampu mempengaruhi kesehatan tubuh (Muneer et al., 2022).

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti ingin melakukan penelitian terkait dengan konsentrasi logam berat yang terakumulasi pada ikan untuk mengetahui tingkat paparan logam Pb, As, dan Cd melalui air dan sedimen yang diperoleh dari tambak yang diairi Sungai Tallo, Desa Lakkang, Kecamatan Tallo, Kota Makassar yang bisa berisiko terhadap kesehatan konsumen.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Berapa konsentrasi logam berat Pb, As, dan Cd dalam air tambak yang diairi Sungai Tallo?
2. Berapa konsentrasi logam berat Pb, As, dan Cd dalam sedimen tambak yang diairi Sungai Tallo?
3. Berapa konsentrasi logam berat Pb, As, dan Cd yang terakumulasi pada ikan air tawar dari tambak yang diairi Sungai Tallo?
4. Berapa *Bioaccumulation Factor* (BAF) dan *Bioaccumulation Sediment Factor* (BSAF) logam berat Pb, As, dan Cd pada Ikan dari tambak yang diairi Sungai Tallo?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

### **1.3.1 Tujuan Umum**

Tujuan umum penelitian ini adalah mengidentifikasi kandungan logam berat Pb, As, dan Cd dalam air dan sedimen serta mengetahui tingkat bioakumulasinya pada ikan dari tambak di Kelurahan Lakkang yang diairi Sungai Tallo, Kecamatan Tallo, Kota Makassar.

### 1.3.2 Tujuan Khusus

- 1.3.2.1 Untuk mengetahui Konsentrasi logam berat Pb, As, dan Cd pada air dari tambak yang diairi Sungai Tallo.
- 1.3.2.2 Untuk mengukur konsentrasi logam berat Pb, As, dan Cd pada sedimen dari tambak yang diairi Sungai Tallo.
- 1.3.2.3 Untuk mengukur konsentrasi logam berat Pb, As, dan Cd pada ikan air tawar dari tambak yang diairi Sungai Tallo.
- 1.3.2.4 Untuk mengukur tingkat *Bioaccumulation Factor* (BAF) dan *Bioaccumulation Sediment Factor* (BSAF) logam berat Pb, As, dan Cd pada Ikan dari tambak yang diairi Sungai Tallo.

## 1.4 Manfaat Penelitian

### 1.4.1 Manfaat Institusi

Dapat memberikan data ilmiah yang dapat digunakan oleh pemerintah daerah, institusi lingkungan, dan lembaga pendidikan yang dalam perencanaan peningkatan kualitas mutu lingkungan sungai sebagai bentuk kontribusi ilmiah mengenai pencemaran logam berat dan indeks pencemaran sungai yang dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

### 1.4.2 Manfaat Praktis

Diharapkan hasil penelitian dapat dijadikan panduan bagi masyarakat dalam menjaga kualitas sumber daya air dan ekosistem di sekitarnya yang mendukung keberlanjutan sumber daya alam untuk meningkatkan kualitas hidup mereka.

### 1.4.3 Manfaat Teoritis

Menambah literatur akademik terkait kualitas air DAS dan pengelolaan sumber daya alam di Indonesia serta dapat dijadikan referensi penelitian lanjutan dalam bidang manajemen lingkungan perairan.

## 1.5 Kajian Teori

### 1.5.1 Tinjauan Umum Tentang Sungai

#### a. Definisi Sungai

Sungai adalah saluran terbuka yang terbentuk secara alami dan berfungsi sebagai penampung serta pengalir air dari hulu menuju hilir hingga ke muara (Asrori, 2021). DAS berfungsi sebagai penampung, penyimpan, dan pengalir air hujan, dengan penggunaannya dipengaruhi oleh karakteristik tanah, bahan induk (geologi), morfometri DAS, dan penggunaan lahan. Faktor-faktor tersebut menentukan jumlah air hujan yang dialirkan atau tertahan, kecepatan aliran, serta waktu tempuh air dari area terjauh hingga outlet, yang semuanya berpengaruh terhadap potensi terjadinya banjir (Ritiau et al., 2021).

Sungai merupakan aliran terbuka dengan ukuran geometrik berupa penampang melintang, profil memanjang, dan kemiringan

lembah yang berubah sesuai waktu, dipengaruhi oleh debit, material dasar, serta tebing. DAS dicirikan oleh parameter morfometri, topografi, tanah geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan aktivitas manusia. DAS adalah satu kesatuan air (DTA) (Agustina et al., 2022).

b. Manfaat Sungai

Sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang mendukung kehidupan masyarakat dan berperan penting dalam pembangunan serta keberlanjutan sumber daya air, terutama di lingkungan perkotaan. Pemanfaatan sungai mencakup berbagai aspek, seperti penyediaan air bagi makhluk hidup, irigasi pertanian, bahan baku air minum, saluran pembuangan air hujan dan limbah, serta pengembangan potensi wisata sungai (Shihah et al., 2024).

Sungai dimanfaatkan untuk berbagai keperluan manusia, seperti penampungan air, transportasi, irigasi sawah, peternakan, industri, perumahan, pengendalian banjir, hingga rekreasi. Selain itu, sungai juga berperan sebagai daerah tangkapan air dan habitat ikan. Kapasitas sungai sebagai penampungan air dapat berubah akibat aktivitas alami maupun antropogenik (Zuliyanti et al., 2022).

c. Sumber dan Dampak Pencemaran Sungai

Sebagai suatu ekosistem, sungai sering dijadikan tempat pembuangan limbah akibat aktivitas manusia, terutama dari pembuangan sampah dan limbah tanpa pengolahan dengan tingkat pencemaran tinggi sehingga berdampak pada kelangsungan hidup biota perairan. Berbagai pendapat menyebutkan bahwa sungai sering terkontaminasi oleh senyawa organik, termasuk logam berat yang bersifat berbahaya (Basir et al., 2022). Salah satu pencemar utama adalah logam berat, seperti timbal (Pb), yang dapat mengendap dalam sedimen dan menyebabkan penurunan kualitas air. Jika sedimen tercemar kembali ke permukaan, air sungai menjadi tidak layak digunakan. Timbal yang terakumulasi dalam biota air dapat membahayakan organisme dan manusia yang mengonsumsinya. Penelitian Abhibhawa, dkk. (2022) menunjukkan bahwa kadar timbal di Sungai Babon berkisar 0,4, dan 0,2 mg/L, sehingga hasil pengukuran kadar timbal dari sungai tersebut menunjukkan parameter yang melebihi standar baku mutu air sungai menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, yakni 0,3 mg/L. Hal tersebut diakibatkan oleh aktivitas industri, pembuangan sampah yang tidak terkendali (Abhibhawa et al., 2022).

Tingginya kandungan logam berat di perairan disebabkan oleh proses alami dan antropogenik. Sumber alami meliputi deposisi atmosfer, interaksi air dengan tanah dan batuan, serta pelapukan batuan sedimen dan beku. Sementara itu, sumber antropogenik berasal dari limbah industri, agronomi, rumah tangga, urbanisasi,

industrialisasi, serta pembakaran bahan bakar fosil. Timbal di perairan berasal dari cat, aditif bensin, dan emisi industri, sementara tembaga berasal dari pipa tembaga dan limbah industri. Besi dan mangan banyak ditemukan dalam limbah tambang dan TPA. Paparan logam berat dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan sistem saraf, gagal ginjal, dan kanker (Tony et al., 2021).

#### 1.5.2 Tinjauan Umum Tentang Tambak

Perairan tambak dapat mengandung unsur logam dengan konsentrasi yang tinggi sebagai akibat dari aktifitas yang menghasilkan limbah logam berat di sekitarnya. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil penelitian Gaus, dkk. (2018), di Perairan Teluk Semarang yang menunjukkan bahwa konsentrasi logam Pb cukup tinggi ditemukan pada Tambak Lorok, Kota Semarang, dimana lokasi tambak berada di sekitar wilayah dengan pertumbuhan industri yang sangat pesat dan industri-industri tersebut menghasilkan limbah cair, padat ataupun gas yang mengandung beberapa logam seperti Pb, Cu, Cd, Zn, dan lain-lain (Gaus et al., 2018).

Penelitian Hastuti & Alfifah (2024), menemukan konsentrasi logam Pb dalam sampel daging ikan bandeng yang melebihi baku mutu berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 7387:2009 Tentang Batas Maksimum Cemar Logam Berat Dalam Pangan). Ikan tersebut dibudidayakan dari dua tambak di Kota Semarang. Lokasi dua tambak yang memiliki ikan dengan konsentrasi Pb melebihi ambang batas berada di sekitar wilayah industri dan pabrik, sedangkan satu tambak dengan ikan yang mengandung Pb di bawah ambang batas jauh dari kawasan industri, sehingga keluar pernyataan bahwa air yang mengalir ke tambak tercemar oleh cemaran limbah pabrik (Hastuti & Alfifah, 2024).

#### 1.5.3 Tinjauan Umum Tentang Kualitas Air

Kualitas air ditentukan oleh sifat fisik, kimia, dan biologi yang disesuaikan dengan standar kelayakan untuk berbagai keperluan, seperti perikanan, pertanian, dan industri. Dalam budidaya ikan air tawar, kualitas air sangat penting karena air yang buruk dapat menyebabkan ikan rentan terhadap penyakit. Sumber air yang baik harus memenuhi kriteria fisik dan kimia, seperti suhu, pH, kekeruhan, dan kadar oksigen terlarut (DO). Kualitas air yang optimal berperan besar dalam keberhasilan usaha budidaya ikan, karena kualitas yang buruk dapat menghambat pertumbuhan ikan atau menyebabkan kematian (Koniyo, 2020).

Kualitas air yang baik umumnya cocok untuk keperluan rumah tangga, dengan syarat air harus jernih, tidak berwarna, hambar, memiliki pH netral, bebas dari bahan kimia berbahaya, serta tidak mengandung bakteri patogen seperti *Escherichia coli*. Jika air

tercemar, dapat menularkan berbagai penyakit, seperti muntah, diare, kolera, tifus, atau disentri, yang berdampak pada kesehatan manusia dalam jangka pendek (Djana, 2023). Kualitas air dinilai berdasarkan parameter fisik, kimia, atau biologi, seperti suhu, kekeruhan, rasa, bau, total zat padat terlarut (TDS), pH, dan kandungan logam terlarut, serta total koliform. Data tersebut dibandingkan dengan standar kualitas air yang ditetapkan berdasarkan keperluan penggunaan air (Bule & Paskalia Nipu, 2023).

Penentuan status kualitas air diatur dalam peraturan pemerintah (PP No. 22 Tahun 2021 Republik Indonesia Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, n.d.). Dalam penelitian ini, parameter yang dianalisis meliputi pH, DO, TDS, dan suhu. Standarisasi mutu air mengacu pada Peraturan Pemerintah RI Nomor 115 Tahun 2003, yang membagi kualitas air ke dalam empat kelas, yakni :

- 1) Kelas satu untuk air baku minum,
- 2) Kelas dua untuk sarana dan prasarana rekreasi air,
- 3) Kelas tiga untuk pembudidayaan ikan air tawar, irigasi dan peternakan,
- 4) Kelas empat untuk irigasi pertanian. Klasifikasi ini menjadi acuan dalam menentukan status mutu air berdasarkan parameter yang ditetapkan (Denindya et al., 2023).

#### 1.5.4 Tinjauan Umum Tentang Parameter Logam Berat Timbal (Pb), Arsen (Ar), dan Mangan (Mn)

##### a. Timbal (Pb)

Timbal (Pb), yang lebih dikenal dengan nama timah hitam, merupakan logam lunak dengan nomor atom 82 dan berat atom 207,2, termasuk dalam golongan IVA pada tabel periodik. Beberapa sifat timbal adalah memiliki titik lebur rendah, tahan terhadap korosi, dan tidak baik dalam menghantarkan listrik. Saat dicampur dengan logam lain, timbal membentuk logam campuran yang lebih baik dari logam murninya (Darmono, 1995; Palar, 2004). Timbal dalam perairan dapat berasal dari debu yang mengandung Pb, hasil pembakaran bensin yang mengandung Pb tetraetil, erosi, dan limbah industri, seperti industri kimia, percetakan, serta industri logam dan cat. Akumulasi logam Pb dalam perairan dapat membahayakan biota, karena konsentrasi Pb yang tinggi, seperti 188 mg/L, dapat membunuh ikan. Proses bioakumulasi timbal dalam tubuh ikan akan meningkatkan kadar Pb dalam tubuh manusia yang mengonsumsinya, berakibat buruk bagi kesehatan, seperti kerusakan otak, saraf, jantung, hati, dan ginjal, yang pada akhirnya dapat merusak jaringan tubuh (Nurhamiddin & Ibrahim, 2018).

Timbal (Pb) merupakan logam toksik bagi manusia yang dapat masuk ke dalam tubuh melalui konsumsi makanan, termasuk ikan yang terkontaminasi. Menurut Widowati, Pb yang terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan keracunan dan menghambat aktivitas enzim yang berperan dalam pembentukan hemoglobin (Hb) (Widowati, 2008). Sebagian kecil Pb diekskresikan melalui urin atau feses, sementara sisanya terikat pada protein atau terakumulasi di organ seperti ginjal, hati, jaringan lemak, kuku, dan rambut. Manusia mengeluarkan Pb terutama melalui ginjal (76%), saluran pencernaan (16%), serta keringat, empedu, rambut, dan kuku (8%). WHO menetapkan batas maksimum konsumsi Pb sebesar 50 µg/Kg berat badan per minggu, sehingga seseorang dengan berat 60 kg hanya diperbolehkan mengonsumsi Pb maksimal 3000 µg per minggu (Arkianti et al., 2019).

Timbal adalah logam berat beracun yang dapat merusak sistem saraf, pencernaan, ginjal, darah, dan jantung. Zat ini masuk ke tubuh manusia melalui saluran pencernaan, kulit, dan pernapasan. Timbal terakumulasi di sedimen perairan dan merusak keseimbangan ekosistem serta berakhir dalam tubuh manusia melalui rantai makanan. Efeknya bisa bersifat neurologis maupun fisiologis, termasuk anemia dan gangguan saraf seperti gelisah, hilang ingatan, hingga kerusakan otak pada anak. Timbal juga dapat menyebabkan encephalopathy dan membahayakan janin jika dikonsumsi oleh ibu hamil. Ikan dan tanaman sering digunakan sebagai bioindikator cemaran logam berat di perairan. Lebih dari 40% studi menggunakan bioindikator ini karena mereka menyerap zat dari air dan masuk dalam rantai makanan. Penelitian Sidjabat dkk. (2020) menemukan kandungan timbal di Sungai Brantas melebihi ambang batas akibat limbah domestik dari aktivitas manusia (Sidjabat et al., 2020).

Pada negara bagian Osun, Nigeria, ditemukan bahwa konsentrasi logam berat sampel pada sedimen kolam dan sungai yang menunjukkan bahwa telah terjadi proses pengangkutan partikel logam kecil yang terbawa ke dalam perairan lalu mengendap dan tersimpan di dalam sedimen. Ikan memiliki peran penting bagi keseimbangan ekosistem perairan yang sering dimanfaatkan untuk kegiatan hobi memancing dan rekreasi. Ikan hasil tangkapan yang dimakan oleh pemancing atau orang lain dari hasil tangkapan pemancing bisa terpapar logam berat melalui ikan yang telah mengakumulasi logam berat tersebut yang umumnya menempati posisi puncak dalam rantai makanan perairan dengan proses akumulasi dapat melalui permukaan kulit, insang, serta saluran pencernaan ikan. Selain analisis logam berat pada ikan yang dilakukan pada penelitian tersebut, dilakukan pula analisis logam

berat pada pakan ikannya dengan hasil yang menunjukkan bahwa sebagian besar logam berat yang terdeteksi dalam jaringan ikan tidak diperoleh dari konsumsi pakan, tetapi merupakan hasil dari limbah aktivitas antropogenik dan pembuangan di sekitar badan air yang terbawa oleh limpasan permukaan ke perairan melalui hujan. Hal inilah yang membuat ikan hasil tangkapan seperti itu perlu diperhatikan karena bisa menimbulkan kekhawatiran (Aladesanmi et al., 2014; Chalabis-Mazurek et al., 2021).

Penelitian Maiseenko & Gashkina (2020) terkait bioakumulasi logam berat dalam berbagai spesies ikan di Sepanjang Gradien Lintang di Rusia (dari Danau Arctic Utara hingga Segmen Muara Selatan Sungai Volga), menunjukkan konsentrasi Pb dalam ikan dari berbagai wilayah penelitian dengan konsentrasi Pb tertinggi dalam berbagai sistem organisme ikan air tawar ditemukan di Dvina Utara, di hulu dan di tengah aliran Volga, akan tetapi ikan yang ditemukan pada semua badan air yang diperiksa telah mengakumulasi Pb. Adapun Pb yang ditemukan dalam ikan tersebut yakni terakumulasi secara maksimal dalam organ ginjal dan hati, sedangkan konsentrasi Pb yang rendah ditemukan dalam otot dan insang ikan. Konsentrasi Pb tertinggi yang diperoleh dari bagian tengah Volga dicirikan dengan infrastruktur industri yang lebih berkembang dan terurbanisasi menyebabkan wilayah perairan tersebut memiliki tingkat kontaminasi yang tinggi (Moiseenko & Gashkina, 2020).

Ehiemere, *et al* (2022) dalam penelitiannya di Wilayah Delta Niger, Nigeria menemukan bahwa klaster tambak ikan memiliki konsentrasi kontaminan logam berat Pb, Kadmium dan Kromium tertinggi dalam air dan sedimen yang melebihi ambang batas yang diizinkan oleh UNEP/WHO. Tingginya konsentrasi logam berat pada ikan dan air menegaskan bahwa sedimen menjadi jalur penyerapan utama dan pencemaran logam berat yang memainkan peran krusial dalam penyerapan logam berat oleh ikan. Berdasarkan penilaian risiko kesehatan yang dilakukan dalam penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa mengkonsumsi ikan budidaya yang mengandung logam berat itu bisa dikategorikan aman bagi konsumen normal, dengan makna tingkat konsumsinya tidak melebihi batas nilai konsumsi aman, namun perlu diwaspadai bagi konsumen anak-anak, wanita hamil, dan orang-orang dengan sistem kekebalan tubuh yang terganggu. Perlu diingat bahwa Pb pada konsentrasi berapa pun dapat dianggap beracun karena tidak ada ambang batas aman yang diketahui untuk timbal pada manusia (Ehiemere et al., 2022).

Tabel 1. Tabel Sintesa Variabel Timbal (Pb)

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
1.	Ehiemere, <i>et al</i> (2022)	Pollution and Risk Assessment of Heavy Metals in Water, Sediment and Fish ( <i>Clarias Gariepinus</i> ) in a Fish Farm Cluster in Niger Delta Region, Nigeria. Nama Jurnal: Journal of Water and Health Vol 20 No 6, 927.	<i>Penelitian Kuantitatif analitik laboratorium</i>	Udara, sedimen, dan ikan budidaya ( <i>Clarias gariepinus</i> ) secara sistematis dari beberapa lokasi peternakan ikan (Camp 74) dan sungai sumber air (Sungai Anwai).	Logam berat (terutama Pb, Cd, dan Cr) ditemukan melebihi ambang batas di air dan sedimen, khususnya di Kolam A dan B. Konsentrasi logam mengikuti pola: sediment > ikan > air. Penilaian risiko menunjukkan konsumsi ikan relatif aman bagi orang dewasa yang sehat, tetapi berisiko bagi anak-anak, ibu hamil, dan imunokompromais individu.
2.	Sidjabat <i>et al.</i> (2020),	Timbal pada Air Sungai dan Bioindikator Lokal di Sungai Brantas Kota Kediri, Provinsi Jawa Timur. Nama Jurnal: Jurnal Ekologi Kesehatan, Vol. 19, No. 3, hal. 161 – 173.	<i>Penelitian deskriptif dengan metode Purposive sampling.</i>	Populasi dalam penelitian ini meliputi air Sungai Brantas, ikan Bader ( <i>Barbonymus gonionotus</i> ), dan kangkung air ( <i>Ipomoea aquatica</i> ) yang terdapat di sepanjang badan sungai. Sampel penelitian terdiri atas air sungai	Kadar Pb melebihi ambang batas serta lokasi titik pengambilannya untuk sampel air sungai adalah 0.05 mg/L (sebelum), 0,25 mg/L (setelah), dan 0,33 mg/L (di Sungai Jong Biru); sampel ikan bader adalah 0,453 mg/kg (setelah Sungai Jong Biru), dan sampel kangkung air adalah 3,29 mg/kg (di bawah Jembatan Mrican).

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
				yang diambil dari 16 titik, ikan Bader dari 6 lokasi pemancingan di pinggir sungai, serta kangkung air dari 5 titik di sepanjang aliran Sungai Brantas.	
3.	Maiseenko & Gashkina (2020)	Distribution and Bioaccumulation of Heavy Metals (Hg, Cd and Pb) in Fish: Influence of The Aquatic Environment and Climate. Nama Jurnal: <i>Environmental Research Letters</i> , 15 (11), 115013.	<i>Observasional analitik dengan pendekatan cross sectional</i>	Populasi penelitian adalah seluruh badan air (sungai dan danau kecil) di bagian Eropa Rusia serta seluruh ikan yang hidup di badan air tersebut. Ikan-ikan diambil dari spesies tertentu ( <i>whitefish, bream, pike, perch, trout</i> ) yang ditangkap pada lokasi pengambilan sampel air di sungai Pechora, Northern Dvina, dan Volga, serta	Berbagai spesies ikan memiliki kemampuan yang berbeda dalam mengakumulasi logam berat (Hg, Cd, dan Pb) bahkan pada konsentrasi rendah di perairan.

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
				danau kecil di wilayah Barents. Jumlah sampel ikan per lokasi: $\geq 5$ ekor usia 4+ sampai 5+.	
4.	Sani et al., (2022)	<i>Bioaccumulation and Health Risks of Some Heavy Metals in Oreochromis Niloticus, Sediment and Water of Challawa River, Kano, Northwestern Nigeria</i> , Vol. 7, hal. 1 – 9.	Penelitian deskriptif observasional dengan desain survei lingkungan dan <i>cross-sectional</i> .	Populasinya ialah Air, sedimen dan ikan <i>Oreochromis Niloticus</i> yang hidup di Sungai Challawa, Kano State, Nigeria. Sedangkan sampelnya yaitu 90 sampel air, 90 sampel sedimen dan 180 sampel ikan <i>Oreochromis Niloticus</i> .	Logam berat Pb pada air, sedimen dan otor ikan telah melampaui batas aman yang ditetapkan WHO dan lembaga terkait, sehingga memiliki potensi untuk membahayakan kesehatan manusia apabila ikan tersebut dikonsumsi. Terdapat hubungan positif antara kadar Pb dalam air, sedimen dan ikan yang mengindikasikan bahwa peningkatan paparan Pb di lingkungan perairan akan berbanding lurus dengan akumulasi logam berat tersebut dalam tubuh ikan.

b. Arsen (As)

Arsen adalah logam berat yang menjadi bahan pencemar yang dapat merusak lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia, Arsen dapat masuk ke lingkungan secara alamiah yakni melalui debu vulkanik dari letusan gunung berapi, pelapukan betuan, dan

mineral-mineral yang mengandung arsen yang masuk ke dalam air tanah. Selain itu, arsen juga dapat masuk ke lingkungan karena aktivitas manusia yang bisa berasal dari kegiatan industri yang menggunakan As, baik itu industri pengolahan biji logam, industri pertambangan, industri pestisida. Logam arsen juga dapat berasal dari aktivitas pertanian yang menggunakan pupuk dan perstisida serta dari hasil buangan limbah rumah tangga (Mabuat et al., 2017).

Arsen adalah logam rapuh berwarna keperakan yang sangat toksik dan terdapat di kerak bumi dengan kadar sekitar 2–5 mg/kg. Arsen dapat ditemukan di perairan melalui logam arsenida dan sulfida, seperti nicolite (NiAs) dan arsenopyrite (FeAsS), serta dilepaskan akibat pelapukan batuan dalam bentuk oksida ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) dan senyawa sulfur (AsS dan  $\text{As}_2\text{S}_3$ ). Untuk air minum, kadar arsen sebaiknya tidak melebihi 0,05 mg/L, sedangkan untuk perairan pertanian disarankan di bawah 0,1 mg/L, karena kadar yang berlebihan dapat membahayakan manusia, hewan, dan tumbuhan. Logam berat seperti arsen dapat terakumulasi dalam air dan sedimen, sehingga berpotensi menimbulkan efek toksik terhadap organisme perairan. Menurut National Institute for Occupational Safety and Health, arsen inorganik diketahui menyebabkan berbagai gangguan kesehatan kronis, seperti kanker dan kerusakan ginjal. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 416/Menkes/Per/IX/1990, batas maksimum arsen dalam air bersih adalah 0,05 mg/L (Nurbarasamuma et al., 2021). Observasi di Muara Sungai Tallo, Kota Makassar, menunjukkan bahwa masyarakat di Kelurahan Tallo, khususnya RT 03/RW 05, sering mengonsumsi kerang sebagai makanan pokok akibat harga sembako yang tinggi. Kondisi ini mengkhawatirkan karena kerang dapat terakumulasi logam berat, terutama arsen, yang berisiko bagi kesehatan masyarakat (Putri et al., 2021).

Selain kerang sebagai biota akuatik yang dapat mengakumulasi logam As, ikan juga dapat mengakumulasi As, seperti dalam Penelitian Nursyahrhan, dkk. (2024) di Kabupaten Takalar yang menunjukkan bahwa logam berat As ditemukan pada sampel ikan bandeng dari tambak yang sumber airnya dari Sungai Pappa. Paparan logam berat dalam ekosistem perairan dapat berasal dari emisi dari lahan pertanian melalui pengaplikasian pupuk dan pestisida yang mengandung logam berat yang semakin tinggi di kawasan pesisir, erosi tanah, dan pembakaran bahan bakar fosil (Nursyahrhan et al., 2024). Penelitian Huang, *et al* (2022) di Cina Timur Laut juga menemukan kadar As dari beberapa sampel otot ikan yang melebihi standar kualitas kriteria As anorganik di Cina sebesar 0,10 mg/kg<sup>-1</sup>. Akumulasi As relatif tinggi ( $P=0,017$ ) pada ikan liar dari sungai dan danau dibandingkan dengan yang ada dari

kolam yang menunjukkan bahwa adanya As di perairan alami. As yang lebih tinggi ditemukan dalam otot ikan omnivora (Huang et al., 2019).

**Tabel 2. Tabel Sintesa Variabel Arsen (As)**

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
1.	Nursyaran, dkk (2024)	Studi Kandungan Logam Berat pada Tambak Budidaya di Desa Topejawa	<i>Deskriptif Kuantitatif dengan pendekatan survei lapangan dan analisis laboratorium.</i>	Populasinya yaitu seluruh ikan bandeng dan air tambak di Desa Topejawa. Sedangkan sampelnya yaitu air dan Ikan Bandeng dari tiga titik stasiun.	Kandungan logam berat pada Ikan Bandeng dan air tambak dalam kondisi yang masih dapat ditolerir sesuai batas kandungan cemaran yang ditetapkan.
2.	Javaid et al., 2022	<i>Risk Assessment of Potentially Toxic Metals and Metalloids in Soil, Water and Plant Continuum of Fragrant Rice</i>	<i>Penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan survei lapangan dan analisis laboratorium. Pengambilan sampelnya menggunakan metode purposi</i>	Populasi penelitian adalah seluruh lahan pertanian padi di empat distrik penghasil padi di Provinsi Punjab, Pakistan. Sampel penelitian adalah tanah dari 3 lokasi per distrik (total 12 lokasi), dengan 4 titik per lokasi, masing-masing diulang 3 kali, sampel air dari sumber	Sebagian besar kandungan logam dalam semua sampel penelitian dari wilayah studi berada di atas batas yang diizinkan yang ditetapkan oleh FAO/WHO. Adapun nilai indeks beban pencemaran yang lebih tinggi diamati untuk As dan Hg, sehingga membahayakan masyarakat lokal di Lahore, Faisalabad, dan Narawal.

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
				air irigasi, dan sampel beras.	
3.	Huang, et al (2019)	<p><i>Distribution, Contents and Health Risk Assessment of Heavy Metal (Loid)s in Fish from Different Water Bodies in Northeast China.</i></p> <p>Nama jurnal: <i>Royal Society of Chemistry Advances</i>, 9(57), 33130 – 33139.</p>	<p>Penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan <i>Cross-sectional</i>.</p>	<p>Populasinya yaitu Seluruh spesies ikan dan sedimen habitatnya yang terdapat di perairan alami dan kolam budidaya di wilayah Tiongkok Timur Laut. Sedangkan sampelnya yaitu 155 sampel ikan dari 16 spesies dan 235 sampel sedimen diambil dari lapisan atas (0–10 cm) di lokasi yang sama.</p>	<p>Terdapat hubungan antara logam (loid) dalam ikan dan lingkungan hidupnya.</p>
4.	Mabuat et al., (2017)	<p>Analisis kandungan Logam Berat Arsen (As) pada Air, Ikan, Kerang, dan Sedimen di DAS Tondano Tahun 2017</p>	<p><i>Penelitian Deskriptif berbasis laboratorium dengan menggunakan metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer).</i></p>	<p>Populasi penelitian yaitu Seluruh Komponen Lingkungan Perairan (Air, Ikan, Kerang, dan Sedimen) di DAS Tondano. Sampel penelitian</p>	<p>Dari keseluruhan sampel yang diperiksa menunjukkan bahwa kandungan logam berat arsen (As) dalam sampel air, ikan, kerang dan sedimen belum melebihi batas</p>

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
				yaitu air, sedimen, ikan dan kerang dari 3 titik lokasi.	baku mutu yang ditetapkan.

c. Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan logam dengan tekstur lunak, berwarna putih perak, tidak larut dalam basa, menghasilkan oksida bila dipanaskan, mudah beraksi serta mengkilap. Apabila logam Cd masuk ke dalam tubuh, maka dia dapat mengendap dan berakumulasi dalam waktu tertentu, baik itu pada tubuh biota air hingga menyebabkan gangguan keseimbangan ekosistem yang dapat berdampak pada kesehatan masyarakat melalui proses rantai makanan, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada sistem peredaran darah, jantung, hati, ginjal, testis, tulang, maupun otak yang dapat berisiko terhadap gangguan psikologi. Kadmium dalam air sungai dan laut dapat bersumber dari limbah industri baterai, tekstil, plastik, cat, dan lain-lain (Indirawati, 2017).

Secara alami, konsentrasi Cd dengan jumlah kecil sudah terdapat dalam air. Namun, konsentrasi kadmium di alam dapat bertambah melalui pelepasan logam Cd dari sumber lainnya, seperti Cd yang dilepaskan dari knalpot kendaraan dan menyebar ke udara melalui angin yang kemudian mengendap di tanah atau air permukaan sebagai zat polutan pencemar. Selain Cd tidak bermanfaat bagi kesehatan manusia, Cd dapat menjadi racun bila melebihi batas yang telah ditetapkan. Logam Cd dapat mematikan bagi organisme akuatik, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga dapat mempengaruhi populasi, ekosistem, serta individu. Melalui proses rantai makanan, Cd dengan jumlah yang melebihi ambang batas aman dapat berisiko bagi konsumennya, termasuk manusia (Auta et al., 2019).

Menurut Palar (2004), Cd dapat terakumulasi dalam ginjal dan hati, dengan sebagian besar terikat dengan protein yang bernama *metalothionein*. Senyawa kadmium-metalothionein dalam ginjal melewati proses penyaringan di glomerulus kemudian diserap kembali oleh tubulus proksimal. Setelah memasuki sel ginjal, Cd dapat dikeluarkan melalui urin. Waktu paruh kadmium dalam lingkungan memakan waktu yang cukup lama, yakni 10 – 30 tahun,

sedangkan waktu paruhnya dalam tubuh memakan waktu 7 – 30 tahun. Logam Cd dapat merusak sistem kerja ginjal, terutama bagian tubulusnya. Tanda-tanda kerusakan yang disebabkan Cd pada ginjal ialah munculnya asam amino dan glukosa dalam urin, serta gangguan kadar kalsium, asam urat dan fosfor pada urin (Mayaserli & Rahayu, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Siregar *et al.* (2019) di Desa Mulyorejo, Pekalongan, menunjukkan bahwa tingginya kandungan logam berat Cd pada air dan sedimen berpengaruh terhadap tingginya akumulasi Cd pada ikan bandeng. Nilai BAF pada daging bandeng cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber pencemar, sejalan dengan menurunnya kadar logam berat di media dan lingkungan tambak. Akumulasi Cd pada bandeng terutama berasal dari penyerapan melalui air, bukan sedimen, karena bandeng merupakan ikan pelagis yang hidup di kolom air sehingga lebih banyak mengakumulasi logam Cd dari kolom air dibandingkan dari sedimen (Siregar *et al.*, 2019).

Penelitian Gupta & Arunachalam (2024), di India menunjukkan bahwa kadar logam Cd dan Cr yang tinggi dalam organ ikan dapat berisiko kanker terhadap konsumennya. Ikan dianggap sebagai sumber makanan pokok dan konsumsi per kapita di beberapa negara bagian, seperti di India yang mencapai 29,29 kg/tahun. Mengonsumsi pangan yang terkontaminasi logam berat dapat mengurangi ketersediaan nutrisi esensial, yang berpotensi menimbulkan kerusakan serius pada sistem pertahanan imun, memicu disabilitas akibat malnutrisi, serta mengganggu perilaku psikososial. Oleh karena itu, evaluasi risiko secara rutin terhadap paparan logam berat melalui konsumsi makanan menjadi hal yang sangat penting (Gupta & Arunachalam, 2024).

**Tabel 3. Tabel Sintesa Variabel Kadmium (Cd)**

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
1.	Gupta & Arunachalam (2024)	<i>Assessment of Human Health Risks Posed by Toxic Heavy Metals in Tilapia Fish (Oreochromis Mossambicus) from The</i>	Penelitian Observasional dengan pendekatan survei lapangan dan analisis laboratorium	Populasinya yaitu Ikan Nila ( <i>Oreochromis Mossambicus</i> ) di Sungai Cauvery, India Selatan. Adapun sampelnya yaitu sebanyak	Konsentrasi logam berat Cd, Cr, Fe, Co, Ni, dan Pb dalam organ ikan melebihi indeks polusi > 1. Target Hazard Quotient (THQ) untuk Cd, Co,

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
		<p><i>Cauvery River, India.</i>            Nama Jurnal: <i>Frontiers in Public Health</i>, 12, 1402421.</p>		<p>16 ekor Ikan Nila segar dan dewasa.</p>	<p>Pb, dan Cr pada hati; Co dan Cr pada insang; serta Co pada otot &gt; 1, menunjukkan risiko kesehatan yang signifikan. Risiko kanker (CR) terutama disebabkan oleh Cd dan Cr, dengan nilai yang melebihi batas toleransi pada otot, hati, dan insang.</p>
2.	Auta, et al. (2019)	<p><i>Heavy Metals Concentration of Surface Water, Sediments and Some Selected Fish Species of Gurara Reservoir, Kaduna State Nigeria.</i>            Nama Jurnal: <i>International Journal of Scientific &amp; Engineering Research</i>, vol. 10, Issues 3, pp. 301 – 318.</p>	<p>Penelitian survei lapangan dengan analisis laboratorium secara kuantitatif</p>	<p>Populasinya meliputi perairan, sedimen, dan ikan di Waduk Gurara, Negara Bagian Kaduna. Sedangkan sampel meliputi air, sedimen, dan tiga spesies ikan (Tilapia zillii, Oreochromis niloticus, Sarotherodon galilaeus) dari 5 stasiun pengambilan sampel, masing-masing</p>	<p>Konsentrasi logam berat tertinggi ditemukan pada sedimen, diikuti ikan, lalu air. Beberapa logam (Fe, Zn, Cr, Pb, Cu) melebihi ambang batas toksisitas berdasarkan FAO, NIS, dan WHO. Air, sedimen, dan ikan dinyatakan tercemar dan berisiko bagi kehidupan akuatik serta kesehatan manusia.</p>

No.	Peneliti (Tahun)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian	Populasi dan Sampel	Temuan
				3 sampel per jenis.	
3.	Siregar, et al. (2019)	<p><i>The Accumulation of Heavy Metals Kadmium (Cd) in Water, Sediments and Aquaculture Biota Which Contaminated By Batik Waste in Mulyorejo Village Pekalongan.</i>            Nama Jurnal: <i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i>, vol. 406, no. 1, p. 012031.</p>	Penelitian deskriptif-komparatif	Populasinya yaitu air, sedimen dan Ikan Bandeng ( <i>Chanos chanos</i> ) di tambak Desa Mulyorejo, Pekalongan. Sampelnya yaitu air, sedimen dan Ikan Bandeng dari 4 stasiun.	Terdapat korelasi positif kuat antara Cd di air atau sedimen dengan daging bandeng ( $R=0,888$ dan $R=0,906$ ). Tingkat pencemaran tergolong sangat tinggi dengan geoakumulasi ringan–berat yang menunjukkan bandeng di stasiun I–III tidak layak konsumsi, hanya stasiun IV yang layak.

### 1.5.5 Tinjauan Umum Tentang Alat Untuk Mengukur Konsentrasi Logam Berat

#### a. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Spektroskopi Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) adalah metode dalam kimia analitik yang digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur logam tertentu dalam sampel, berdasarkan prinsip bahwa atom bebas dalam keadaan gas dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Teknik ini bekerja dengan mengubah unsur dalam sampel menjadi atom bebas menggunakan panas (melalui proses atomisasi), kemudian mengukur jumlah cahaya yang diserap oleh atom-atom tersebut, yang berbanding lurus dengan konsentrasi

unsur dalam sampel. AAS dapat dilakukan dengan dua teknik utama, yaitu Flame AAS (FAAS) dan Electrothermal AAS (ETAAS), tergantung pada jenis atomizer yang digunakan. Metode ini digunakan secara luas dalam berbagai bidang seperti farmakologi, biofisika, arkeologi, dan toksikologi, karena kemampuannya untuk mendeteksi lebih dari 70 unsur secara akurat baik dalam bentuk larutan maupun padatan (Maharani et al., 2024).

b. *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS)

*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS) merupakan metode analisis logam berat dapat digunakan untuk membedakan atau memverifikasi bahan logam dengan tingkat kepercayaan tinggi secara statistik dengan adanya batas akurasi bervariasi dari 0,1% hingga 1%. ICP-MS memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi yang dapat digunakan untuk mengevaluasi elemen hingga tingkat konsentrasi yang sangat rendah. Keuntungan dari metode ini ialah memungkinkan dilakukannya analisis logam-logam tertentu yang bercampur dengan unsur-unsur logam lainnya tanpa memerlukan pemisahan awal serta mudah dilakukan (Khalifah et al., 2024)

1.5.6 Tinjauan Umum Tentang *Bioaccumulation Factor* (BAF) dan *Bioaccumulation Sediment Factor* (BSAF)

a. *Bioaccumulation Factor* (BAF)

*Bioaccumulation Faktor* (BAF) adalah ukuran sejauh mana suatu zat, khususnya logam berat, terakumulasi dalam organisme atau sistem biologis. Dalam konteks logam berat, BAF dinyatakan sebagai rasio antara konsentrasi logam berat dalam organisme dengan konsentrasi logam tersebut di lingkungan sekitarnya. *BAF Logam* adalah faktor bioakumulasi untuk logam tertentu, *CAP* menunjukkan konsentrasi logam di bagian atas tanaman dalam satuan mg/kg, dan *CWW* adalah konsentrasi logam di sumber lingkungan (seperti air limbah) juga dalam mg/kg. Selanjutnya untuk mengukur faktor biokonsentrasi digunakan perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF) yaitu perbandingan antara konsentrasi total logam dalam akar tanaman dengan konsentrasi logam di lingkungan sekitarnya, seperti tanah atau air limbah yang tercemar. BCF digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu organisme, khususnya tanaman, dalam menyerap logam berat dari lingkungannya (Jadhav & Babare, 2025).

*Bioaccumulation Factor* (BAF) yang didefinisikan sebagai rasio konsentrasi logam dalam suatu organisme dengan konsentrasi logam dalam air dapat dihitung dengan rumus berikut (Aziz, Mahdiana, Prayogo, & Hidayanti, 2022):

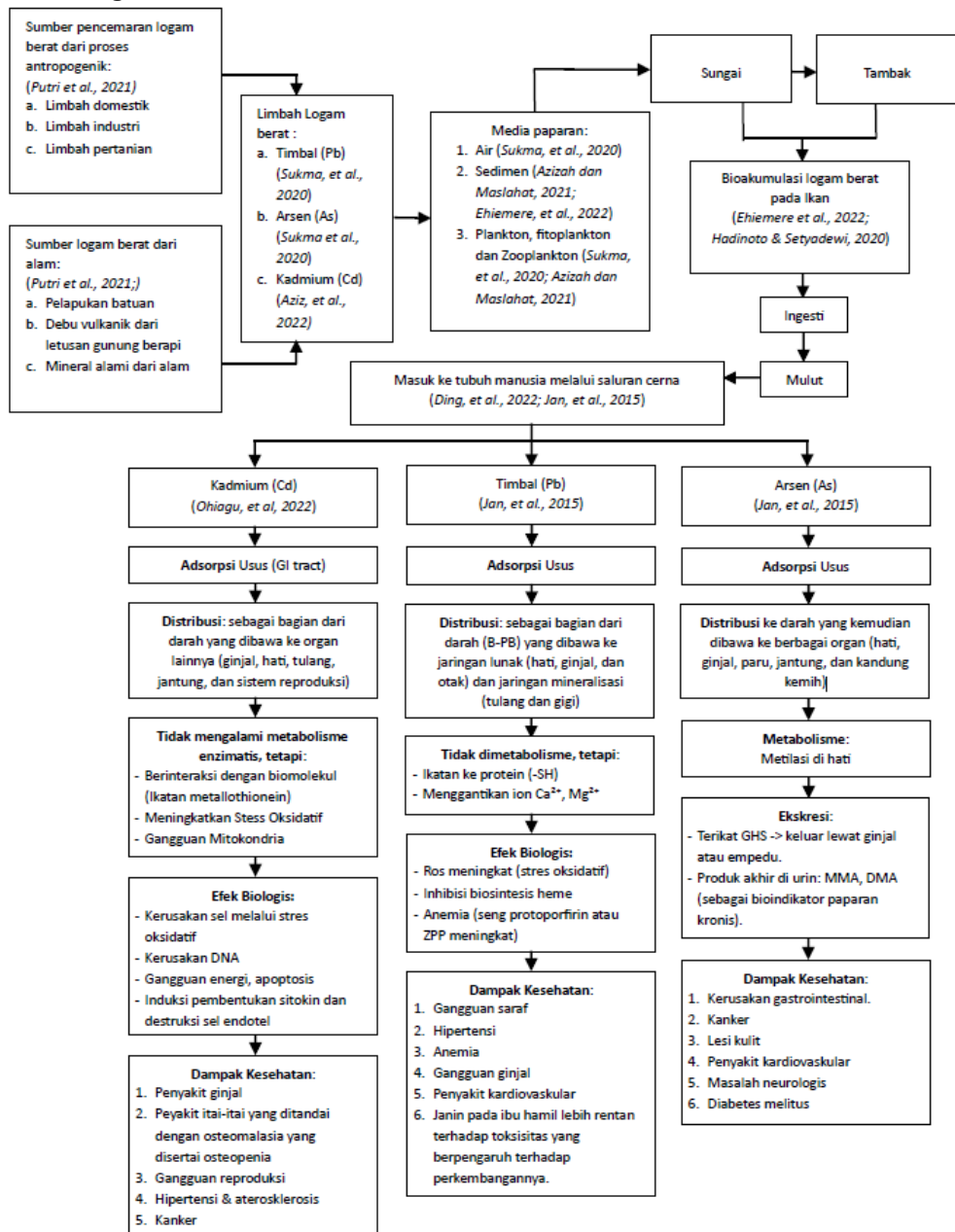
$$\text{BAF} = \frac{\text{Konsentrasi dalam organisme}}{\text{Konsentrasi dalam air}}$$

b. *Bioaccumulation Sediment Factor* (BSAF)

*Bioaccumulation Sediment Factor* (BSAF) adalah pengukuran bioakumulasi logam atau metaloid yang terkait dengan sedimen ke dalam biota. Logam dan metaloid dapat diperoleh dari dua sumber utama, yaitu penyebab alami, seperti pelapukan biji mineral atau kerak bumi, limpasan tanah, pelarutan garam terlarut dalam air; dan penyebab antropogenik, seperti air limbah, penarikan mineral, kegiatan irigasi, proses industri, limpasan dari daerah perkotaan, serta semprotan pestisida. BSAF dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Melake et al., 2023).

$$\text{BSAF} = \frac{\text{Konsentrasi dalam organisme}}{\text{Konsentrasi dalam sedimen}}$$

## 1.6 Kerangka Teori



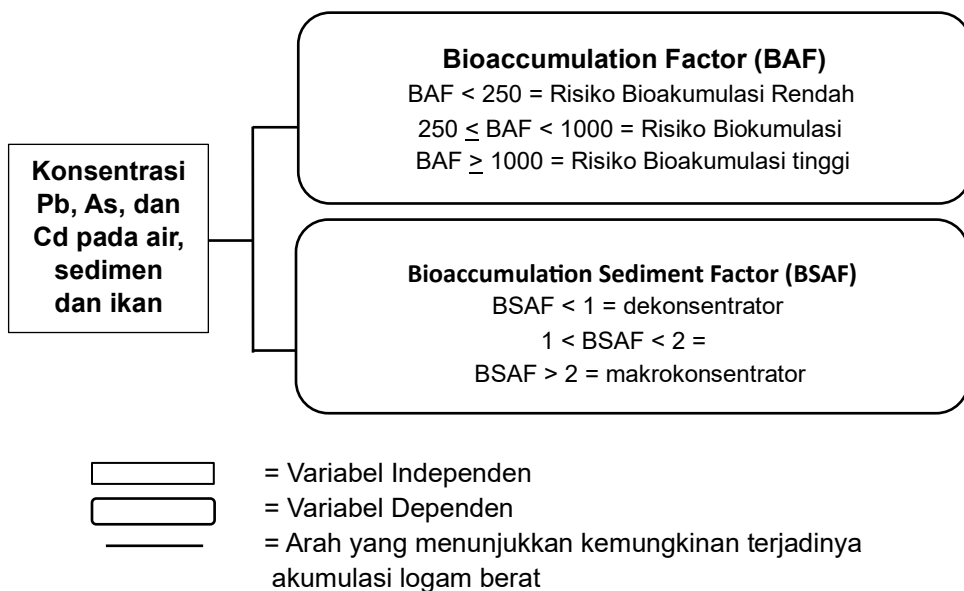
(Putri et al., 2021;Istarani & Pandebesie, 2014;Sukma, 2020;Aziz et al., 2022;Azizah & Maslahat, 2021;Ehiemere et al., 2022;Aladesanmi et al., 2014;Hadinoto & Setyadewi, 2020;Ding et al., 2022;Jan et al., 2015;Ohiagu et al., 2022)

**Gambar 1. Kerangka Teori Alur Paparan Logam Berat Pb, As, dan Cd pada Manusia melalui Konsumsi Ikan Tambak di sekitar Sungai**

## 1.7 Kerangka Konsep Penelitian

Sungai sebagai salah satu badan air yang banyak dimanfaatkan manusia memiliki potensi pencemaran logam berat. Logam berat di dalam perairan dapat bersumber dari alam (pengikisan batuan, debu vulkanik, dan lain-lain) dan dari aktivitas manusia (limbah industri, limbah domestik, dan lain-lain). Logam berat pada konsentrasi tertentu dapat terakumulasi ke dalam air, sedimen hingga biota pada perairan tersebut dan dapat menimbulkan efek toksik terhadap organisme yang ada di dalam sungai, hingga dapat menjadi ancaman bagi kesehatan masyarakat di sekitar perairan melalui jalur rantai makanan (saluran pencernaan). Sungai Tallo merupakan salah satu sungai yang dimanfaatkan sebagai air irigasi dan budidaya ikan di Sulawesi Selatan memiliki potensi pencemaran logam berat akibat aktivitas industri, domestik dan pertanian di sekitarnya (Sukma, 2020). Salah satu pemanfaatan air Sungai Tallo yakni untuk pengairan tambak di Desa Lakkang, Kecamatan Tallo, Kota Makassar. Ekosistem tambak tersebut memerlukan pemantauan kualitas kimia guna mencegah terjadinya paparan zat berbahaya yang bisa masuk melalui jalur rantai makanan. Komoditas ikan yang paling banyak dibudidayakan di daerah tersebut adalah ikan bandeng (*Chanos chanos*).

Salah satu sumber makanan yang berpotensi mengakumulasi logam berat yakni Ikan sebagai biota melimpah dan menjadi sumber makanan yang sering dimanfaatkan masyarakat sekitar Sungai Tallo. Logam berat pada ikan bisa ditemukan pada ginjal, insang, hati dan jaringan otot ikan. Ginjal sebagai salah satu organ ikan yang wajib dianalisis kandungan logam beratnya karena ginjal merupakan tempat akumulasi sekaligus filter terakhir dari semua aktifitas metabolisme organisme dan memiliki peran dalam menjaga osmotik. Selain itu, logam berat pada ikan juga perlu dipantau pada bagian insang yang diduga sebagai organ yang menyerap logam berat pada air disebabkan oleh aktifitas pernapasannya, terutama pada bagian sel epitel insang. Dan yang menjadi bagian inti pengecekan logam berat adalah bagian daging ikan yang umum dikonsumsi. Akumulasi logam berat dalam daging ikan bisa terjadi akibat paparan lingkungan secara langsung, bisa melalui makanan, dan ada kemungkinan kontaminasi terjadi lewat difusi membran sel (Herlinda et al., 2022). Adapun Kerangka konsep penelitian dapat diilustrasikan sebagai berikut.



**Gambar 2. Kerangka Konsep Penelitian**

### 1.8 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

**Tabel 4. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif**

variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
Konsentrasi Pb pada air tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat timbal dalam sampel air tambak ikan di sekitar DAS Tallo (mg/l)	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)</i>	≤ 0,03 mg/l <b>Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021</b>	Rasio
Konsentrasi Pb pada sedimen tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat timbal dalam sampel sedimen tambak ikan di sekitar	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)</i>	50 mg/kg <b>(Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) Dan Agriculture and Resource</b>	Rasio

	DAS Tallo (mg/l)		<b>Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ) Pada Water Quality Guidelines, 2000)</b>	
Konsentrasi Pb pada Ikan tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat timbal dalam sampel ikan dari tambak sekitar DAS Tallo (mg/l)	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)</i>	≤ 0,3 mg/kg <b>SNI 7387:2009</b>	Rasio
Konsentrasi As pada air tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat arsen dalam sampel air tambak ikan di sekitar DAS Tallo (mg/l)	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)</i>	≤ 0,05 mg/l <b>Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021</b>	Rasio
Konsentrasi As pada sedimen tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat arsen dalam sampel sedimen tambak ikan di sekitar DAS Tallo (mg/l)	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)</i>	20 mg/kg <b>(ANZECC dan ARMCANZ pada Water Quality Guidelines, 2000)</b>	Rasio
Konsentrasi As pada Ikan tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat arsen dalam sampel ikan dari tambak sekitar DAS Tallo (mg/l)	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)</i>	≤ 1,0 mg/kg <b>SNI 7387:2009</b>	Rasio

Konsentrasi Cd pada air tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat kadmium dalam sampel air tambak ikan di sekitar DAS Tallo (mg/l)	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry</i> (ICP-MS)	≤ 0,01 mg/l <b>Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021</b>	Rasio
Konsentrasi Cd pada sedimen tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat kadmium dalam sampel sedimen tambak ikan di sekitar DAS Tallo (mg/l)	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry</i> (ICP-MS)	1,5 mg/kg <b>(ANZECC dan ARMCANZ pada Water Quality Guidelines, 2000)</b>	Rasio
Konsentrasi Cd pada Ikan tambak di sekitar DAS Tallo	Jumlah kandungan logam berat kadmium dalam sampel ikan dari tambak sekitar DAS Tallo (mg/l)	<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry</i> (ICP-MS)	≤ 1,0 mg/kg <b>SNI 7387:2009</b>	Rasio
<i>Bioaccumulation Factor</i> (BAF) logam berat Pb pada ikan tambak di sekitar DAS Tallo	Rasio konsentrasi logam berat timbal dalam ikan terhadap konsentrasi dalam air	Perhitungan	1. BAF < 250 = Risiko Bioakumulasi Rendah 2. 250 ≤ BAF < 1000 = Risiko Biokumulasi sedang 3. BAF ≥ 1000 = Risiko Bioakumulasi tinggi <b>(United States Environmental Protection Agency (US EPA), 2000)</b>	Rasio
<i>Bioaccumulation Factor</i> (BAF)	Rasio konsentrasi	Perhitungan	1. BAF < 250 = Risiko Bioakumulasi Rendah	Rasio

logam berat As pada ikan	logam berat arsen dalam ikan terhadap konsentrasi dalam air		2. $250 \leq \text{BAF} < 1000$ = Risiko Biokumulasi sedang 3. $\text{BAF} \geq 1000$ = Risiko Bioakumulasi tinggi <b>(US EPA, 2000)</b>	
<i>Bioaccumulation Factor</i> (BAF) logam berat Cd pada ikan	Rasio konsentrasi logam berat kadmium dalam ikan terhadap konsentrasi dalam air	Perhitungan	1. $\text{BAF} < 250$ = Risiko Bioakumulasi Rendah 2. $250 \leq \text{BAF} < 1000$ = Risiko Biokumulasi sedang 3. $\text{BAF} \geq 1000$ = Risiko Bioakumulasi tinggi <b>(US EPA, 2000)</b>	Rasio
<i>Bioaccumulation Sediment Factor</i> (BSAF) logam berat Pb pada ikan	Rasio konsentrasi logam berat timbal dalam ikan terhadap konsentrasi dalam sedimen	Perhitungan	1. $\text{BSAF} < 1$ =dekonsentrator 2. $1 < \text{BSAF} < 2$ =mikrokonsentrator 3. $\text{BSAF} > 2$ =makrokonsentrator <b>(Melake, et al 2023)</b>	Rasio
<i>Bioaccumulation Sediment Factor</i> (BSAF) logam berat As pada ikan	Rasio konsentrasi logam berat arsen dalam ikan terhadap konsentrasi dalam sedimen	Perhitungan	1. $\text{BSAF} < 1$ =dekonsentrator 2. $1 < \text{BSAF} < 2$ =mikrokonsentrator 3. $\text{BSAF} > 2$ =makrokonsentrator <b>(Melake, et al 2023)</b>	Rasio
<i>Bioaccumulation Sediment Factor</i> (BSAF) logam berat Cd pada ikan	Rasio konsentrasi logam berat kadmium dalam ikan terhadap konsentrasi dalam sedimen	Perhitungan	1. $\text{BSAF} < 1$ =dekonsentrator 2. $1 < \text{BSAF} < 2$ =mikrokonsentrator 3. $\text{BSAF} > 2$ =makrokonsentrator <b>(Melake, et al 2023)</b>	Rasio

## **BAB II**

### **METODE PENELITIAN**

#### **2.1 Metode, Jenis, dan Desain Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian kuantitatif deskriptif yang bertujuan untuk menggambarkan kejadian bioakumulasi logam berat (Pb, As, Cd) dari air dan sedimen pada ikan bandeng yang diperoleh dari tambak di DAS Tallo yang diairi oleh Sungai Tallo. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data mengenai konsentrasi zat berbahaya dari sampel air, sedimen dan ikan dilakukan pada waktu tertentu. Desain ini dipilih untuk melihat apakah terjadi proses bioakumulasi logam berat dalam ikan dari air dan sedimen pada lingkungan hidupnya. Pemilihan lokasi pengambilan sampel menggunakan metode *Purposive Sampling* berdasarkan pertimbangan populasi. Metode *Purposive sampling* merupakan salah satu cara pengambilan sampel tidak secara acak dan berdasarkan tujuan-tujuan tertentu dengan pertimbangan pemilihan lokasi-lokasi yang merupakan tempat hidup ikan bandeng, berdasarkan informasi dari nelayan perairan tambak di Desa Lakkang. Pengambilan sampel air, sedimen dan ikan dilakukan secara *in-situ* (langsung) di tambak tersebut. Pengambilan sampel ikan air tawar menggunakan jaring.

#### **2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September-Oktober 2025 di DAS Tallo, khususnya pada tambak ikan yang diairi Sungai Tallo, Kelurahan Lakkang, Kecamatan Tallo, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

#### **2.3 Populasi dan Sampel**

##### **2.3.1 Populasi**

Populasi dalam penelitian ini adalah air permukaan tambak, sedimen dasar tambak, dan ikan air tawar yang berasal dari tambak-tambak di wilayah DAS Tallo (area yang diairi Sungai Tallo, Kelurahan Lakkang, Kecamatan Tallo, Kota Makassar).

##### **2.3.2 Sampel**

Sampel dalam penelitian ini adalah air, sedimen, dan ikan bandeng yang diambil dalam dari 3 titik (tambak yang paling dekat dengan hulu, menengah dan jauh dari hulu (arah mendekati hilir)). Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan *purposive sampling* untuk melihat variasi paparan (exposure).

#### **2.4 Instrumen Penelitian**

##### **2.4.1 Air**

###### **a. Persiapan**

Tahapan persiapan diawali dengan perencanaan titik pengambilan berdasarkan kriteria purposive (tambak yang

paling dekat dengan hulu, menengah dan jauh dari hulu (arah mendekati hilir)) serta sebagai tambak yang aktif membudidayakan Ikan Bandeng (pertimbangan populasi budidaya). Adapun peralatan yang disiapkan, yaitu botol sampel steril 500 mL, *handscoon*, label, alat tulis, *cool box* dan *ice gel pack*.

b. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air dilakukan secara *in-situ* pada beberapa titik dalam setiap tambak yang terpilih untuk dihomogenkan (titik inlet, titik tengah atau bagian tepi yang dekat dengan area ikan beraktivitas yang mewakili kondisi tengah dan jauh dari inlet dan outlet tambak, serta titik outlet tambak). Dari masing-masing tambak diambil sebanyak 500 ml sampel air sebagai sampel komposit (Ma'rifa et al., 2024;Notoatmodjo, 2010). Pengambilan sampel air menggunakan gayung bertangkai panjang sesuai standar SNI 8995:2021. Adapun metode pengambilan contoh air mengacu pada SNI 6989.57-2008, yaitu:

1. Bilas botol sampel dengan air sampel yang akan dianalisa,
2. Botol diisi dengan air sampel hingga menyisakan ruang sekitar 1 – 2 cm dari mulut botol,
3. Masukkan botol berisi air sampel ke dalam *cool box* dan diberi label yang berisi informasi mengenai lokasi dan waktu pengambilan sampel air, serta identitas pemilik tambak agar data dapat dihubungkan dengan sumber akurat sebelum dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut.

c. Pemeriksaan Sampel Air

Sampel yang diambil dari tiga titik di Tambak Ikan Bandeng yang diairi Sungai Tallo, Kelurahan Lakkang, Kecamatan Tallo, Kota Makassar, akan diuji di laboratorium, dengan merujuk pada SNI 6989-84:2019 untuk pengujian logam berat pada air sebagai berikut:

1. Dimasukkan 50 mL sampel atau sampel yang sudah diencerkan dan berada dalam rentang pengukuran ke dalam *Erlenmeyer* 250 mL;
2. Ditambahkan 10 mL  $\text{HNO}_3$  ke dalam masing-masing *Erlenmeyer* lalu homogenkan;
3. Panaskan larutan sampel air pada suhu  $95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  menggunakan *hotplate* dalam lemari asam (*thermo scientific*) hingga larutan jernih dan asap putih muncul, kemudian dinginkan;

4. Tambahkan 5 ml HNO<sub>3</sub> pekat, tutup dengan kaca arloji dan panaskan kembali larutan sampel air pada suhu 95°C ± 5°C hingga mencapai setengah dari larutan sampel tadi;
5. Dinginkan sampel, kemudian masukkan ke dalam labu ukur, tambahkan aquades hingga mencapai 50 ml lalu homogenkan;
6. Saring menggunakan corong yang dilapisi kertas saring dan tampung filtrat di dalam botol;
7. dan segera diukur serapannya menggunakan *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) yang sudah dioptimalkan sesuai petunjuk alat.

#### 2.4.2 Sedimen

##### a. Persiapan

Tahapan persiapan dilakukan dengan menentukan titik pengambilan sampel sedimen berdasarkan kriteria purposive, yaitu titik inlet, titik tengah atau bagian tepi tambak yang dekat dengan area ikan beraktivitas yang mewakili kondisi tengah dan jauh dari inlet dan outlet tambak, serta titik outlet tambak. Adapun peralatan yang disiapkan meliputi pipa PVC dengan diameter 5 cm, plastik sampel, *handscoon*, label, alat tulis dan *cool box* (Juprianti, dkk., 2013; Retnosari, dkk., 2024)

##### b. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel sedimen dilakukan secara *in-situ* (langsung di lapangan) menggunakan pipa pada beberapa titik dalam setiap tambak yang terpilih untuk dihomogenkan (titik inlet, titik tengah atau bagian tepi yang dekat dengan area ikan beraktivitas yang mewakili kondisi tengah dan jauh dari inlet dan outlet tambak, serta titik outlet tambak). Dari masing-masing tambak diambil sampel sedimen sebanyak ±1 kg dari kedalaman 35 cm menggunakan pipa PVC sebagai sampel komposit (Retnosari et al., 2024; Ma'rifa, dkk., 2024; Notoadmojo, 2010). Sampel yang telah dihomogenkan dimasukkan ke dalam plastik sampel kemudian diberi label yang berisi informasi mengenai titik pengambilan sampel, tanggal pengambilan dan identitas pemilik tambak agar data dapat dihubungkan dengan sumber akurat.

##### c. Pemeriksaan Sampel

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam Pb, As dan Cd dalam sedimen tambak. Pada sampel sedimen dilakukan proses destruksi asam kemudian dianalisis dengan ICP-MS yang mengacu pada SNI 8910:2021 tentang cara uji kadar logam berat dalam contoh uji limbah padat, sedimen,

dan tanah dengan metode destruksi asam menggunakan ICP-MS. Berikut tahapan pemeriksaan sampel:

1. Destruksi dan Preparasi Sampel
  - a) Sebanyak 50 gram sampel sedimen diletakkan di atas cawan petri dan diratakan hingga menutupi seluruh permukaan cawan petri
  - b) Oven sampel sedimen sampai benar-benar kering
  - c) Timbang sebanyak 0,2 g sedimen homogeny dan masukkan dalam tabung reaksi
  - d) Tambahkan 20 ml aquades dan homogenkan
  - e) Masukkan 10 ml HNO<sub>3</sub> pekat dan homogenkan
  - f) Panaskan di atas *hot plate* (105–120°C) hingga volume mencapai setengah dari larutan sampel tadi
  - g) Dinginkan, lalu tambahkan 10 ml HNO<sub>3</sub> pekat dan 0,5 ml HClO<sub>4</sub> pekat secara perlahan
  - h) Panaskan kembali hingga larutan jernih dan asap putih muncul
  - i) Dinginkan, kemudian tambahkan aquades dalam tabung raksi sampel hingga mencapai 50 ml dan homogenkan
  - j) Saring menggunakan kertas saring dan corong untuk dimasukkan ke dalam botol sampel yang tertutup
  - k) Larutan siap dianalisis menggunakan ICP-MS
2. Pengukuran dengan alat ICP-MS

Uji kadar logam dengan tahapan sebagai berikut:

  - a) Operasikan dan optimasikan alat sesuai dengan petunjuk penggunaan alat;
  - b) Aspirasikan larutan blanko pengujian dan larutan kerja logam campuran ke dalam ICP-MS;
  - c) Buat kurva kalibrasi dan tentukan persamaan garis lurusnya;
  - d) Diperoleh nilai koefisien  $\geq 0,995$ ;
  - e) Aspirasikan larutan blanko metode dan contoh uji yang telah di destruksi ke dalam ICP-MS;
  - f) Catat hasil pengukuran, lakukan koreksi hasil pengukuran contoh uji dengan hasil pengukuran blanko metode;
3. Perhitungan Kadar Logam Berat
  - a) Susun kurva kalibrasi berdasarkan hasil pembacaan absorbansi kadar larutan kerja dari alat *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS)

- b) Tentukan konsentrasi logam berat dalam sampel uji dengan memasukkan hasil pengukuran ke dalam kurva kalibrasi
- c) Lakukan perhitungan konsentrasi logam berat menggunakan rumus berikut:  
Untuk perhitungan berdasarkan berat kering contoh uji:

$$\text{Kadar Logam (mg/kg)} = \frac{C \times V}{W \times P} \times fp$$

Keterangan:

Kadar Logam : kadar logam dalam sedimen ( $\mu\text{g/g}$ )  
 C : Konsentrasi contoh uji yang diperoleh dari *ICP MS* ( $\mu\text{g/g}$ )  
 V : Volume akhir (ml)  
 Fp : faktor pengenceran  
 W : berat contoh uji (g)  
 P : Fraksi padat

#### 2.4.3 Ikan

##### a. Persiapan

Persiapan dimulai dengan perencanaan titik pengambilan sampel ikan berdasarkan metode purposive sampling atas dasar pertimbangan populasi, yaitu dari tambak yang terpilih sebagai tambak yang aktif budidaya ikan bandeng yang memasuki usia ikan siap konsumsi di Desa Lakkang, DAS Tallo. Peralatan yang disiapkan meliputi jaring untuk menangkap ikan, wadah plastik bersih (*food grade*), *handscoon*, plastik sampel, label, alat tulis, serta *cool box* berisi *ice pack gel* untuk menjaga kesegaran sampel.

##### b. Pengambilan Sampel

Pengambilan ikan dilakukan secara *in-situ* menggunakan jaring pada tambak terpilih. Ikan segar dimasukkan ke dalam plastik sampel. Setiap sampel diberi label yang memuat informasi lokasi pengambilan sampel, tanggal pengambilan, serta identitas pemilik tambak. Sampel kemudian disimpan dalam *cool box* dan segera dibawa ke laboratorium untuk pemeriksaan kandungan logam berat.

##### c. Pemeriksaan Sampel

Tahap ini dilakukan pada sampel ikan. Ikan sebanyak sekitar 0,5 ml akan didestruksi dan dipreparasi, kemudian dianalisis konsentrasi logam berat Pb, As dan Cd nya

menggunakan ICP-MS untuk mengetahui tingkat kontaminasi logam berat tersebut pada ikan air tawar. Tata cara uji sampel sesuai dengan SNI 2354-23-2021 tentang penentuan logam berat: merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), arsen (As) dan timah putih (Sn) pada hasil perikanan dengan *Inductively Couple Plasma Mass Spectrometer* (ICP-MS) secara simultan.

## 2.5 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan dengan dua cara, yakni pengumpulan data primer dan data sekunder.

### a. Data Primer

Data primer dalam penelitian ini diperoleh dari hasil laboratorium analisis kandungan logam dalam sampel yang diambil oleh peneliti.

### b. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari penelusuran literatur, jurnal, dan artikel dari internet serta buku yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

## 2.6 Pengolahan dan Analisis Data

- a. Data kandungan logam berat yang diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium diolah menggunakan alat bantu komputer program *Microsoft Excel*.
- b. Pengolahan data selanjutnya menggunakan dua rumus berikut ini:
  - 1) *Bioaccumulation Factor* (BAF) dihitung dengan rumus:

$$\text{BAF} = \frac{\text{Konsentrasi dalam organisme}}{\text{Konsentrasi dalam Air}}$$

- 2) *Bioaccumulation Sedimen Factor* (BSAF) dihitung dengan rumus:

$$\text{BSAF} = \frac{\text{Konsentrasi dalam organisme}}{\text{Konsentrasi dalam sedimen}}$$

- c. Data diuji secara deskriptif dan dibandingkan dengan standar baku mutu berdasarkan peraturan pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, USEPA Tahun 2000 tentang pedoman kualitas

sedimen air tawar berbasis konsensus, dan SNI 7387:2009 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan.

## **2.7 Penyajian Data**

Data disajikan dalam bentuk:

- a. Tabel dan grafik kandungan logam berat pada air, sedimen, dan ikan segar.
- b. Tabel dan diagram hasil BAF dan BSAF untuk visualisasi bioakumulasi logam berat pada ikan.
- c. Tabel, grafik, dan narasi perbandingan hasil pengukuran dengan standar baku mutu yang berlaku.