

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, baik bagi manusia maupun ekosistem. Air tidak hanya digunakan untuk kebutuhan konsumsi, tetapi juga untuk menunjang kegiatan pertanian, industri, dan berbagai aktivitas lainnya. Sungai sebagai salah satu sumber air permukaan memiliki peran penting bagi masyarakat dan lingkungan di sekitarnya. Secara alami, sungai berfungsi mengalirkan air beserta material dari daerah hulu ke hilir (Effendi, 2016). Material yang terbawa aliran dapat berupa partikel mineral, bahan organik, dan zat pencemar yang kemudian mengendap di dasar perairan dan membentuk sedimen. Sedimen dapat menjadi tempat akumulasi logam berat dalam waktu yang relatif lama, sehingga sering digunakan untuk menggambarkan kondisi pencemaran perairan yang lebih stabil dibandingkan kolom air (Tulzuhrah & Eryati, 2022).

Sedimen dipilih sebagai media penelitian karena logam berat yang masuk ke badan air dapat berikatan dengan partikel tersuspensi dan kemudian mengendap di dasar sungai. Timbal (Pb) di dalam air dapat berada dalam bentuk terlarut, membentuk kompleks dengan bahan organik, atau teradsorpsi pada partikel mineral. Tidak seluruh Pb yang terdapat dalam air akan mengendap menjadi sedimen. Fraksi Pb yang masih terlarut dapat tetap berada di kolom air dan terbawa aliran, sedangkan Pb yang berikatan dengan partikel memiliki peluang lebih besar untuk mengendap dan terakumulasi. Proses tersebut dapat terjadi melalui adsorpsi, kompleksasi, pertukaran ion, presipitasi, dan pengendapan partikel serta dipengaruhi oleh pH, kondisi oksidasi-reduksi, kandungan bahan organik, ukuran partikel, dan kecepatan aliran (Alloway, 2013).

Konsentrasi Pb dalam air dapat memengaruhi kandungan Pb pada sedimen, tetapi hubungan keduanya tidak selalu bersifat langsung. Konsentrasi Pb dalam air menggambarkan kondisi pada saat pengambilan sampel dan dapat berubah akibat debit, curah hujan, pengenceran, serta masuknya sumber pencemar baru. Sementara itu, kandungan Pb dalam sedimen merupakan hasil akumulasi yang terjadi dalam

waktu lebih lama. Oleh karena itu, konsentrasi Pb yang rendah dalam air pada saat pengukuran tidak selalu menunjukkan bahwa kandungan Pb dalam sedimen juga rendah. Pb yang telah terikat dalam sedimen juga dapat terlepas kembali ke kolom air melalui proses desorpsi, pelarutan, atau resuspensi ketika terjadi perubahan kondisi perairan maupun gangguan pada dasar sungai (Alloway, 2013; Skoog dkk., 2014).

Akumulasi Pb dalam sedimen dapat menimbulkan paparan terhadap organisme akuatik, terutama organisme bentik yang hidup di permukaan atau di dalam sedimen. Paparan dapat terjadi melalui kontak langsung, penyerapan Pb dari air pori, serta tertelannya partikel sedimen ketika organisme mencari makanan. Pb yang telah terakumulasi pada organisme bentik selanjutnya dapat berpindah kepada ikan atau organisme lain melalui proses pemangsa. Dengan demikian, sedimen tidak hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan logam berat, tetapi juga dapat menjadi sumber paparan kembali bagi ekosistem perairan. Penilaian bioakumulasi secara langsung memerlukan data konsentrasi logam pada jaringan organisme, sehingga penelitian ini lebih diarahkan pada penilaian potensi efek biologis berdasarkan pedoman kualitas sedimen (MacDonald dkk., 2000).

Penelitian yang dilakukan oleh Fauzan (2024) menjadi salah satu dasar dalam penelitian ini karena mengkaji keberadaan logam berat pada air dan Ikan Masai di Sungai Batang Ombilin pada lima lokasi yang mewakili aktivitas tambang pasir dan emas, permukiman, PDAM, PLTU, serta kawasan bekas tambang batubara. Pada media air, Pb merupakan logam dengan konsentrasi tertinggi yang dilaporkan, yaitu sebesar 0,0816 mg/L pada lokasi tambang pasir dan emas. Pb juga ditemukan pada organ Ikan Masai, dengan konsentrasi tertinggi sebesar $0,244 \pm 0,124$ mg/kg pada isi perut ikan di lokasi permukiman. Temuan tersebut menunjukkan bahwa Pb telah terdapat pada media air dan biota di Sungai Batang Ombilin. Namun, penelitian tersebut belum secara khusus mengevaluasi akumulasi Pb pada sedimen beserta tingkat kontaminasi, risiko ekologis, potensi efek biologis, dan faktor sumber pencemarnya. Oleh karena itu, sedimen perlu dikaji lebih lanjut sebagai media yang dapat merekam akumulasi logam dalam waktu yang relatif lebih lama (Fauzan, 2024).

Keberadaan Pb di Sungai Batang Ombilin diduga berkaitan dengan berbagai aktivitas manusia di sekitar sungai, seperti kegiatan pertambangan, permukiman, pembuangan limbah, industri, dan transportasi. Fauzan (2024) menunjukkan bahwa lokasi penelitian di sepanjang Sungai Batang Ombilin dipengaruhi oleh aktivitas tambang pasir dan emas, permukiman, PDAM, PLTU, serta kawasan bekas tambang batubara. Aktivitas penambangan dapat meningkatkan erosi dan membawa material yang mengandung logam ke badan sungai. Selain itu, pengerukan dan pengadukan dasar sungai akibat kegiatan penambangan dapat menyebabkan remobilisasi sedimen sehingga logam yang sebelumnya terikat pada partikel sedimen berpotensi terlepas kembali ke kolom air.

Temuan mengenai keberadaan Pb di Sungai Batang Ombilin juga telah dilaporkan dalam beberapa penelitian terdahulu. Meydiyati dkk. (2018) melaporkan bahwa konsentrasi Pb dalam air Sungai Batang Ombilin di Kota Sawahlunto mencapai 0,142 mg/L dan telah melampaui baku mutu air sungai sebesar 0,03 mg/L. Sementara itu, Putri & Afdal (2017) melaporkan konsentrasi Pb pada sedimen Sungai Batang Ombilin sebesar 53 mg/kg. Nilai tersebut menunjukkan bahwa Pb telah terakumulasi dalam sedimen, tetapi belum dapat langsung dinyatakan tergolong tinggi tanpa dibandingkan dengan nilai latar belakang geokimia atau pedoman kualitas sedimen. Oleh karena itu, tingkat kontaminasi dan potensi risikonya perlu dinilai menggunakan pendekatan kuantitatif yang sesuai.

Keberagaman aktivitas di sepanjang Sungai Batang Ombilin, seperti pertambangan pasir dan emas, bekas pertambangan batubara, operasional PLTU, permukiman, pertanian, industri, dan transportasi, menunjukkan adanya potensi masukan berbagai jenis logam berat ke lingkungan perairan. Kondisi tersebut menyebabkan penilaian pencemaran tidak hanya perlu memperhatikan Pb secara individual, tetapi juga keberadaan logam berat lainnya. Oleh karena itu, As, Cr, Cu, dan Cd turut dipertimbangkan bersama Pb untuk memberikan gambaran kondisi kontaminasi multilogam, mengevaluasi risiko ekologis secara terintegrasi, serta mendukung analisis pola hubungan antarlogam dan kemungkinan sumber pencemar di sepanjang Sungai Batang Ombilin.

Penelitian terdahulu di Sungai Batang Ombilin umumnya masih berfokus pada pengukuran konsentrasi logam berat dalam air, sedimen, dan biota. Informasi tersebut dapat menunjukkan keberadaan logam, tetapi belum memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat kontaminasi, risiko ekologi, dan kemungkinan efek biologis terhadap organisme akuatik. Penambahan titik pengamatan dalam penelitian ini dilakukan untuk memperluas cakupan spasial dan mewakili lokasi dengan karakteristik aktivitas antropogenik yang berbeda. Data penelitian terdahulu tetap digunakan sebagai pembanding, sedangkan titik tambahan digunakan untuk memperoleh gambaran distribusi Pb yang lebih rinci dengan memperhatikan perbedaan waktu, lokasi, dan metode analisis.

Tingkat kontaminasi Pb dalam sedimen dapat dianalisis menggunakan Indeks Geoakumulasi (I_{geo}). Indeks ini membandingkan konsentrasi Pb yang terukur dengan nilai latar belakang geokimia untuk mengklasifikasikan tingkat kontaminasi sedimen. Nilai I_{geo} juga dapat memberikan indikasi awal mengenai adanya pengaruh aktivitas antropogenik terhadap peningkatan kandungan Pb di lingkungan perairan (Abraham & Parker, 2008).

Selain tingkat kontaminasi, risiko ekologi Pb juga perlu dinilai untuk mengetahui potensi bahayanya terhadap organisme akuatik. Penilaian risiko ekologi tidak hanya mempertimbangkan konsentrasi logam, tetapi juga faktor respons toksik dari logam tersebut. Risiko ekologi individual Pb dapat dianalisis melalui parameter Potential Ecological Risk Factor (E_r^i). Selanjutnya, penilaian risiko gabungan dilakukan menggunakan *Potential Ecological Risk Index* (RI) dan *Nemerow Integrated Risk Index* (NIRI). NIRI menggabungkan nilai risiko rata-rata dan risiko maksimum sehingga dapat menggambarkan kondisi risiko ekologi secara lebih menyeluruh (Hakanson, 1980; Cao dkk., 2025).

Potensi efek biologis Pb dalam sedimen dapat dievaluasi menggunakan *Sediment Quality Guidelines* (SQG). Salah satu parameter yang digunakan adalah *Probable Effect Concentration Quotient* (PEC-Q), yaitu perbandingan antara konsentrasi Pb dalam sedimen dan nilai *Probable Effect Concentration* (PEC). Nilai PEC-Q digunakan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya efek merugikan terhadap

organisme bentik. Nilai PEC-Q lebih dari satu menunjukkan bahwa konsentrasi Pb telah melampaui nilai PEC, sedangkan nilai kurang dari satu menunjukkan bahwa konsentrasi Pb masih berada di bawah nilai tersebut. Pada analisis gabungan lima logam, nilai PEC-Q masing-masing logam selanjutnya digunakan dalam perhitungan *mean Probable Effect Concentration Quotient* (mPEC-Q) (MacDonald dkk., 2000).

Identifikasi sumber pencemar juga diperlukan untuk menjelaskan hubungan antara distribusi logam berat dan aktivitas di sekitar sungai. Penelitian ini secara khusus berfokus pada Pb, sedangkan analisis multivariat dilakukan menggunakan data gabungan lima logam berat, yaitu Pb, As, Cr, Cu, dan Cd. Analisis *Principal Component Analysis* (PCA), *Hierarchical Cluster Analysis* (HCA), dan *Absolute Principal Component Scores–Multiple Linear Regression* (APCS–MLR) digunakan untuk melihat hubungan antarlogam, mengelompokkan titik pengamatan, dan memperkirakan kontribusi relatif sumber alami maupun antropogenik terhadap pencemaran sedimen (Chen dkk., 2023).

Kota Sawahlunto merupakan wilayah dengan riwayat kegiatan pertambangan dan berbagai aktivitas antropogenik di sepanjang aliran Sungai Batang Ombilin. Namun, penelitian yang telah dilakukan masih didominasi oleh pengukuran konsentrasi dan belum dilanjutkan dengan penilaian tingkat kontaminasi, risiko ekologi, potensi efek biologis, dan identifikasi sumber secara kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis konsentrasi dan sebaran Pb pada sedimen Sungai Batang Ombilin, menilai tingkat kontaminasi dan risiko ekologinya, serta mengkaji posisi Pb dalam analisis terintegrasi lima logam berat. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengelolaan dan perlindungan kualitas lingkungan Sungai Batang Ombilin.

1.2 Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk memperoleh gambaran mengenai kondisi pencemaran logam berat timbal (Pb) pada sedimen Sungai Batang Ombilin melalui analisis konsentrasi dan sebaran, penilaian tingkat kontaminasi, risiko ekologis, potensi efek biologis, serta identifikasi sumber pencemar.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini, antara lain:

1. Menganalisis konsentrasi dan sebaran spasial logam timbal (Pb) dalam sedimen Sungai Batang Ombilin serta mengevaluasi tingkat kontaminasinya menggunakan Indeks Geoakumulasi (*Geo-accumulation Index* atau I_{geo}).
2. Mengevaluasi risiko ekologi individual Pb menggunakan *Potential Ecological Risk Factor* (E_r^i) serta mengkaji risiko ekologi gabungan lima logam berat menggunakan *Nemerow Integrated Risk Index* (NIRI) sebagai bagian dari penelitian tim.
3. Menilai potensi efek biologis Pb terhadap organisme akuatik berdasarkan *Sediment Quality Guidelines* (SQG) melalui perhitungan *Probable Effect Concentration Quotient* (PEC-Q).
4. Mengidentifikasi sumber pencemar logam berat secara kuantitatif menggunakan model *Absolute Principal Component Scores–Multiple Linear Regression* (APCS–MLR) berdasarkan data gabungan lima logam berat serta menjelaskan keterkaitannya dengan distribusi Pb dalam sedimen Sungai Batang Ombilin.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai konsentrasi, tingkat kontaminasi, risiko ekologis, potensi efek biologis, dan sumber pencemar logam timbal (Pb) pada sedimen Sungai Batang Ombilin. Hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pemantauan dan pengelolaan kualitas lingkungan sungai, terutama pada kawasan yang dipengaruhi oleh aktivitas pertanian, permukiman, industri rumah tangga, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dan pertambangan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini dilaksanakan selama enam bulan, yaitu dari Desember 2025 hingga Mei 2026, yang meliputi studi literatur, survei lapangan, pengambilan sampel, analisis laboratorium, pengolahan data, dan penyusunan laporan.
2. Penelitian dilakukan pada sedimen Sungai Batang Ombilin di Kota Sawahlunto. Pengambilan sampel dilakukan pada sepuluh titik yang mewakili bagian hulu, tengah, dan hilir serta lokasi yang diperkirakan dipengaruhi oleh aktivitas pertambangan, permukiman, pertanian, industri, transportasi, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dan kegiatan lain di sekitar sungai.
3. Sampel sedimen dikumpulkan menggunakan metode *grab sampling* dengan mengacu pada *Sediment Sampling Guide and Methodologies* Ohio EPA (2012). Pengambilan sampel dilakukan dalam satu periode, dengan sekurang-kurangnya tiga sub-sampel sedimen permukaan pada kedalaman 0–10 cm di setiap titik yang kemudian dihomogenkan menjadi satu sampel komposit.
4. Parameter kualitas air yang digunakan sebagai data pendukung meliputi oksigen terlarut (*dissolved oxygen*/DO), pH, dan temperatur yang diukur secara langsung di lapangan pada saat pengambilan sampel.
5. Analisis individual dalam penelitian ini difokuskan pada logam berat timbal (Pb). Sampel sedimen dipreparasi dan didestruksi, kemudian konsentrasi Pb diukur menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (*Atomic Absorption Spectrophotometry*/AAS).
6. Konsentrasi logam berat Pb, As, Cr, Cu, dan Cd dalam sedimen dibandingkan dengan nilai ISQG-Low dan ISQG-High berdasarkan pedoman kualitas sedimen ANZECC dan ARMCANZ (2000) sebagai tahap penapisan awal potensi efek biologis.
7. Tingkat kontaminasi Pb secara individual dinilai menggunakan Indeks Geoakumulasi (*Geo-accumulation Index*/ I_{geo}) dan *Contamination Factor* (CF) dengan membandingkan konsentrasi Pb terukur terhadap nilai latar belakang geokimia yang digunakan.

8. Risiko ekologi individual Pb dinilai menggunakan *Potential Ecological Risk Factor* (E_r^i), sedangkan potensi efek biologisnya dievaluasi berdasarkan *Sediment Quality Guidelines* (SQG) melalui perhitungan *Probable Effect Concentration Quotient* (PEC-Q).
9. Data konsentrasi Pb selanjutnya digabungkan dengan data As, Cd, Cr, dan Cu yang diperoleh dari anggota penelitian tim pada titik pengamatan yang sama. Data gabungan lima logam digunakan untuk menghitung *modified Degree of Contamination* (mCd), *Nemerow Integrated Pollution Index* (NIPI), *Potential Ecological Risk Index* (RI), *Nemerow Integrated Risk Index* (NIRI), dan *mean Probable Effect Concentration Quotient* (mPEC-Q).
10. Pola hubungan antarlogam dan pengelompokan titik pengamatan dianalisis menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Hierarchical Cluster Analysis* (HCA). Identifikasi sumber pencemar secara kuantitatif dilakukan menggunakan model *Absolute Principal Component Scores–Multiple Linear Regression* (APCS–MLR) berdasarkan data gabungan lima logam berat.
11. Pembahasan hasil analisis gabungan penelitian tim tetap diarahkan untuk menjelaskan posisi Pb dalam pola kontaminasi, risiko ekologi, potensi efek biologis, dan dugaan sumber pencemar logam berat pada sedimen Sungai Batang Ombilin.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori yang berkaitan dengan sedimen sungai, pencemaran logam berat di perairan, karakteristik dan perilaku timbal (Pb), serta kondisi Sungai Batang Ombilin. Bab ini juga

memuat prinsip preparasi dan destruksi sampel sedimen, pengukuran konsentrasi Pb menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (*Atomic Absorption Spectrophotometry/AAS*), serta metode penilaian tingkat kontaminasi, risiko ekologi, potensi efek biologis, dan identifikasi sumber pencemar. Penilaian individual Pb dilakukan menggunakan Indeks Geoakumulasi (*Geo-accumulation Index/I_{geo}*), *Contamination Factor (CF)*, *Potential Ecological Risk Factor (E_rⁱ)*, dan *Probable Effect Concentration Quotient (PEC-Q)*. Sebagai bagian dari penelitian tim, analisis gabungan lima logam dibahas melalui *modified Degree of Contamination (mCd)*, *Nemerow Integrated Pollution Index (NIPI)*, *Potential Ecological Risk Index (RI)*, *Nemerow Integrated Risk Index (NIRI)*, *mean Probable Effect Concentration Quotient (mPEC-Q)*, *Principal Component Analysis (PCA)*, *Hierarchical Cluster Analysis (HCA)*, dan *Absolute Principal Component Scores–Multiple Linear Regression (APCS–MLR)*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan lokasi dan waktu penelitian, tahapan penelitian, penentuan titik pengamatan, pengambilan dan pengompositan sampel sedimen, pengukuran parameter kualitas air, preparasi dan analisis sampel menggunakan AAS, jenis dan sumber data, serta metode pengolahan dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengukuran konsentrasi dan sebaran Pb pada sedimen Sungai Batang Ombilin, hasil penilaian tingkat kontaminasi, risiko ekologi, dan potensi efek biologis Pb, serta pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi simpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, serta saran yang dapat digunakan untuk penelitian

lanjutan dan pengelolaan kualitas lingkungan Sungai Batang Ombilin.

