

SKRIPSI

**ANALISIS PENYEBARAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
DAN KADMIUM (Cd) PADA SEDIMEN DI PERAIRAN
SUNGAI TALLO MENGGUNAKAN MIKE 21**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI RAIHANA AFIYAH
D131 19 1071**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS PENYEBARAN LOGAM BERAT TIMBAL (PB) DAN KADMIUM (CD) PADA SEDIMEN DI PERAIRAN SUNGAI TALLO

Disusun dan diajukan oleh

Andi Raihana Afiah
D131191071

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 23 Januari 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Achmad Zubair, M.Sc.
NIP 19590116198021001

Pembimbing Pendamping,



Nur An-nisa Putry Mangarengi, S.T., M.Sc.
NIP 199201142021074001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.
NIP 197204242000122001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andi Raihana Afiyah
NIM : D131191071
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Analisis Penyebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada
Sedimen di Perairan Sungai Tallo Menggunakan MIKE 21 }

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 2 Februari 2024

Yang Menyatakan



Andi Raihana Afiyah



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

ANDI RAIHANA AFIYAH. *Analisis Penyebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Sedimen di Perairan Sungai Tallo Menggunakan MIKE 21* (dibimbing oleh Achmad Zubair dan Nur An-nisa Putry Mangarengi).

Banyaknya cemaran limbah cair baik dari industri maupun domestik menyebabkan menurunnya kualitas air sungai. Kondisi sungai sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki oleh lingkungan disekitarnya. Keberadaan Sungai Tallo sangat penting bagi industri dan masyarakat yang berada di daerah aliran sungai. Sungai Tallo dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sarana transportasi air, pariwisata, sumber air baku, dan kawasan perikanan tangkap serta budidaya perairan tawar yang berpotensi menyebabkan Sungai Tallo tercemar oleh limbah-limbah seperti logam berat.

Analisis dilakukan dengan menggambarkan penyebaran logam berat dengan menggunakan *software* MIKE 21. Metode model analisis menggunakan MIKE 21 Ecolab dengan output yang dihasilkan berupa peta sebaran logam berat. Pengambilan dan pengumpulan data dilakukan secara langsung di lapangan dengan mengacu pada metode *Sediment Sampling* USEPA-600 (SOP#:2016) di 14 titik sampel.

Berdasarkan hasil penelitian, nilai kadar logam berat timbal (Pb) pada sedimen di Sungai Tallo berkisar antara 15,177 mg/kg hingga 21,474 mg/kg dan kadar kadmium (Cd) pada sedimen memiliki nilai berkisar antara 0,05 mg/kg hingga 0,1 mg/kg. Hasil analisis tingkat pencemaran logam berat pada sedimen menggunakan geoakumulasi indeks diperoleh nilai logam Pb berkisar antara -0,482 hingga -0,764 dan pada logam Cd memiliki nilai yang berkisar antara -2,032 hingga -3,170. Hasil analisis penyebaran logam Pb menunjukkan nilai yang fluktuatif dan tidak menunjukkan perubahan secara signifikan setelah satu bulan. Sedangkan penyebaran logam Cd menunjukkan nilai yang fluktuatif dan terjadi peningkatan konsentrasi logam Cd setelah satu bulan.

Kata Kunci: Timbal, Kadmium, Sedimen, MIKE 21, Sungai



ABSTRACT

ANDI RAIHANA AFIYAH. *Analysis of the Distribution of Heavy Metals Lead (Pb) and Cadmium (Cd) in Sediments in Tallo River Waters Use MIKE 21*(guided by Achmad Zubair dan Nur An-nisa Putry Mangarengi).

The amount of liquid waste contamination from both industry and domestic causes a decrease in river water quality. The condition of the river is strongly influenced by the characteristics of the surrounding environment. The existence of Tallo River is very important for industries and communities in the river basin. Tallo River is used by the community as a means of water transportation, tourism, raw water source, and capture fisheries and freshwater aquaculture areas that have the potential to cause Tallo River to be polluted by wastes such as heavy metals.

The analysis was conducted by describing the distribution of heavy metals using MIKE 21 software. The analysis model method uses MIKE 21 Ecolab with the resulting output in the form of a heavy metal distribution map. Data collection was conducted directly in the field by referring to the USEPA-600 Sediment Sampling method (SOP#: 2016) at 14 sample points.

Based on the results of the study, the value of heavy metal lead (Pb) levels in the sediment of Tallo River ranged from 15.177 mg/kg to 21.474 mg/kg and cadmium (Cd) levels in the sediment had values ranging from 0.05 mg/kg to 0.1 mg/kg. The results of the analysis of heavy metal pollution levels in sediments using the geoaccumulation index obtained Pb metal values ranging from -0.482 to -0.764 and Cd metal has values ranging from -2.032 to -3.170. The results of the Pb metal distribution analysis showed fluctuating values and did not show significant changes after one month. While the distribution of Cd metal showed fluctuating values and an increase in the concentration of Cd metal after one month.

Keywords: Lead, Cadmium, Sediment, MIKE 21, River



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum Sungai	5
2.2 Sungai Tallo	6
2.3 Tinjauan Umum Logam Berat.....	7
2.4 Parameter Kualitas Air	15
2.5 Transport Sedimen	18
2.6 Pasang Surut.....	21
2.7 Arus	22
2.8 Angin.....	23
2.9 Baku Mutu.....	23
2.10 Indeks Penilaian Pencemaran Logam Berat.....	24
2.11 <i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)</i>	25
2.12 Pemodelan Numerik.....	25
2.13 Validasi Model	30
2.14 Penelitian Terdahulu	31
BAB III METODE PENELITIAN	43
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	43
3.2 Rancangan Penelitian	48
3.3 Alat dan Bahan	48
3.4 Populasi dan Sampel	52
3.5 Prosedur Penelitian.....	52
3.6 Teknik Pengambilan Data	62
3.7 Teknik Analisis	62
Diagram Alir Penelitian	70
ANALISIS DAN PEMBAHASAN	71
Kondisi Hidrolis Sungai Tallo.....	71
Kondisi Kualitas Air.....	74
Analisis Kadar Logam Berat pada Sedimen	81



4.4	Analisis Status Mutu Sedimen Sungai Tallo.....	86
4.5	Analisis Model Hidrodinamika	87
4.6	Analisis Penyebaran Logam Berat pada Sedimen.....	90
4.7	Hubungan Kadar Logam Berat dengan Kualitas Air	99
4.8	Validasi Model Hidrodinamika	105
4.9	Validasi Model Logam Berat	106
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		108
5.1	Kesimpulan.....	108
5.2	Saran.....	109
DAFTAR PUSTAKA		110
LAMPIRAN.....		114



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema Angkutan Sedimen	19
Gambar 2 Peta Segmentasi Sungai Tallo	44
Gambar 3 Lokasi Pengambilan Sampel di Sungai Tallo	47
Gambar 4 Pengukuran Lebar Sungai dengan <i>Google Earth</i>	52
Gambar 5 Pengukuran Kedalaman Sungai dengan Tali Pemberat	53
Gambar 6 Pengukuran Kecepatan Arus dengan <i>Current Meter</i>	53
Gambar 7 Membilas Alat <i>Van Dorn Water Sampler</i>	54
Gambar 8 Pengambilan Sampel Air dengan <i>Van Dorn Water Sampler</i>	54
Gambar 9 Memasukkan Sampel Air ke dalam Wadah	55
Gambar 10 Pengukuran pH dengan pH meter	55
Gambar 11 Pengukuran Suhu dengan <i>Thermometer</i>	56
Gambar 12 Pengukuran DO dengan DO meter	56
Gambar 13 Pengukuran Salinitas dengan Salinometer meter	57
Gambar 14 Pengambilan Sampel Sedimen menggunakan <i>Ekman Grab</i>	57
Gambar 15 Sampel sedimen dikering udarakan pada suhu ruang	58
Gambar 16 Penggerusan sampel menggunakan mortal dan alu	58
Gambar 17 Pengayakan sampel sedimen.....	59
Gambar 18 Sampel ditimbang sebanyak ± 0.5 g	59
Gambar 19 Menambahkan 10 ml asam nitrat, HNO_3 pekat	59
Gambar 20 Menambahkan 2 ml asam perklorat, HClO_4 pekat.....	60
Gambar 21 Menambahkan 2 ml asam perklorat, HClO_4 pekat.....	60
Gambar 22 Menyaring contoh uji dengan kertas saring ukuran pori $8,0 \mu\text{m}$	60
Gambar 23 Pengujian kadar logam berat	61
Gambar 24 Membuat garis sungai	63
Gambar 25 Mengimpor data garis sungai	64
Gambar 26 Membuat peta batimetri	64
Gambar 27 Pembuatan mesh.....	65
Gambar 28 Input Data Model	66
Gambar 29 Waktu Simulasi	66
Gambar 30 Pemilihan Modul.....	67
Gambar 31 Input data.....	67
Gambar 32 <i>Heavy Metal Template</i>	67
Gambar 33 Memasukkan Data Logam Berat.....	67
Gambar 34 <i>Output Spesification</i> dan <i>Output Items</i>	68
Gambar 35 <i>Running Model</i>	68
Gambar 36 Diagram Alir Simulasi Sebaran Logam Berat dengan MIKE 21	69
Gambar 37 Diagram Alir Penelitian	70
Gambar 38 Peta Batimetri Sungai Tallo	73
Gambar 39 Grafik perubahan pH tiap titik	76
Gambar 40 Grafik perubahan suhu tiap titik.....	77
Gambar 41 Grafik perubahan DO tiap titik	79
Gambar 42 Grafik perubahan salinitas tiap titik	81
Gambar 43 Kadar logam Pb tiap titik	83



Gambar 44 Kadar logam Cd tiap titik.....	85
Gambar 45 Nilai hasil perhitungan geoakumulasi indeks	87
Gambar 46 Elevasi Pasang Surut.....	88
Gambar 47 Pola Arus pada Bulan Juli.....	89
Gambar 48 Pola Arus pada Bulan Agustus.....	89
Gambar 49 Sebaran Pb pada Bulan Juli.....	95
Gambar 50 Sebaran Pb pada Bulan Agustus	95
Gambar 51 Perbandingan Konsentrasi Pb Bulan Juli dan Agustus	96
Gambar 52 Sebaran Cd pada Bulan Juli	97
Gambar 53 Sebaran Cd pada Bulan Agustus	97
Gambar 54 Perbandingan Konsentrasi Cd Bulan Juli dan Agustus.....	98
Gambar 55 Grafik hubungan kadar Pb terhadap pH Sungai Tallo	99
Gambar 56 Grafik hubungan kadar Cd terhadap pH Sungai Tallo.....	100
Gambar 57 Grafik hubungan kadar Pb terhadap suhu Sungai Tallo.....	101
Gambar 58 Grafik hubungan kadar Cd terhadap suhu Sungai Tallo	101
Gambar 59 Grafik hubungan kadar Pb terhadap DO Sungai Tallo	102
Gambar 60 Grafik hubungan kadar Cd terhadap DO Sungai Tallo.....	103
Gambar 61 Grafik hubungan kadar Pb terhadap salinitas Sungai Tallo	104
Gambar 62 Grafik hubungan kadar Cd terhadap salinitas Sungai Tallo.....	104
Gambar 63 Validasi Data Pasang Surut.....	105



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Baku Mutu Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen	24
Tabel 2 Nilai Latar Logam.....	24
Tabel 3 Klasifikasi Geoakumulasi Indeks	25
Tabel 4 Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian.....	31
Tabel 5 Pembagian Segmen Sungai Tallo	43
Tabel 6 Koordinat Titik Pengambilan Sampel.....	44
Tabel 7 Alat dan Bahan Penelitian.....	48
Tabel 8 Data Analisis Hidrolik Sungai Tallo.....	71
Tabel 9 Debit Aliran Sungai Tallo	72
Tabel 10 Hasil Pengukuran pH Air Sungai Tallo	75
Tabel 11 Hasil Pengukuran Suhu Air Sungai Tallo.....	76
Tabel 12 Hasil Pengukuran DO Air Sungai Tallo	78
Tabel 13 Hasil Pengukuran Salinitas Air Sungai Tallo	80
Tabel 14 Hasil Pengukuran Logam Pb pada Sedimen Sungai Tallo	81
Tabel 15 Hasil Pengukuran Logam Cd pada Sedimen Sungai Tallo.....	84
Tabel 16 Hasil Analisis Geoakumulasi Indeks	86
Tabel 17 Nilai Konsentrasi	90
Tabel 18 Nilai Konstanta	91
Tabel 19 Adsorpsi Logam Pb dan Cd.....	91
Tabel 20 Desorpsi Logam Pb dan Cd	92
Tabel 21 Sedimentasi Logam Pb dan Cd.....	93
Tabel 22 Resuspensi Logam Pb dan Cd	94
Tabel 23 Hasil Simulasi Logam Pb dan Cd.....	94
Tabel 24 Validasi Model Logam Berat Pb dan Cd pada Sedimen	106



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga pada kesempatan ini penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Penyebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Sedimen di Perairan Sungai Tallo Menggunakan MIKE 21” yang merupakan syarat dalam rangka menyelesaikan studi di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan serta rintangan yang penulis hadapi namun pada akhirnya penulis dapat melaluinya berkat adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik secara moril maupun materil. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua dan kakak-kakak penulis yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, dan perhatian dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN Eng selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Ir. Achmad Zubair, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Nur An-nisa Putry Mangarengi, S.T., M.Sc. yang senantiasa meluangkan waktu dalam membimbing serta memberikan arahan dan masukan kepada penulis selama penyelesaian tugas akhir.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama menjalani perkuliahan.
7. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan. Terkhusus kepada staf Ibu

ati dan Kak Tami yang telah banyak membantu penulis dalam hal administrasi.



8. Teman-teman Taman Bunga (Inu, Vivi, Nisa, Danti, Cesha, Izzah, Nuaz, Dhea) yang telah menjadi teman berbagi kebahagiaan, kesedihan, dan penyemangat selama perkuliahan.
9. Teman-teman Lab. Riset Kualitas Air (Izzah, Cesha, Hani, Ririn, Lala, Aisyah, Firman, Fadil, Arya, Rifqi, Bagas, Egi, Syauqi, Lingga) yang selalu berbagi informasi, memberikan semangat dan bantuan kepada penulis.
10. Teman-teman Halo-Halo Bandung (Diah, Diva, Izza, Maya) yang selalu mengajak penulis buat refreshing selama penyusunan skripsi.
11. Teman-teman Teknik Lingkungan 2019 atas segala momen dan bantuannya selama perkuliahan.
12. Dan semua pihak yang turut membantu dalam pengumpulan data dan penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak, meskipun dalam laporan ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Gowa, 2023

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi kehidupan dan perikehidupan manusia, berperan penting untuk mewujudkan kesejahteraan umum, dan menjadi modal dasar dan faktor utama pembangunan. Kualitas air dapat berubah karena beberapa faktor antara lain perubahan penggunaan lahan, litologi, waktu, curah hujan dan aktivitas manusia yang mengakibatkan pencemaran air sungai, baik fisik, kimia, maupun biologi.

Indonesia memiliki potensi air terbesar kelima di dunia yang sebagian besar dimanfaatkan untuk kemakmuran rakyat, akan tetapi penggunaannya perlu dikelola dengan baik agar tidak terbuang secara percuma dan kualitas air tetap terjaga. Kualitas air pada sebagian besar sungai di Indonesia dalam masa kritis karena banyaknya masukan cemaran berupa limbah cair maupun limbah padat. Banyaknya cemaran limbah cair baik dari industri maupun domestik menyebabkan menurunnya kualitas air sungai. Penurunan kualitas air akan menurunkan daya guna, hasil guna, produktivitas, daya dukung, dan daya tampung dari sumber daya air yang pada akhirnya menurunkan kekayaan sumber daya alam. Buruknya kualitas air sungai dapat mengancam kondisi kesehatan penduduk maupun makhluk hidup lain disekitar wilayah sungai. Oleh karena itu, segala bentuk penggunaan sumber daya air untuk berbagai kepentingan harus dilakukan secara efektif, efisien, dan bertanggung jawab (KLHK, 2017)

Sungai merupakan ekosistem akuatik yang mempunyai peran penting dalam daur hidrologi dan berfungsi sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) bagi daerah sekitarnya. Kondisi sungai sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki oleh lingkungan disekitarnya. Sungai digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari seperti kegiatan transportasi, pertanian, pembangkit listrik, budidaya perikanan, dan pembuangan limbah. Kegiatan masyarakat di sepanjang

ngai sangat mempengaruhi kualitas dari air sungai yang dapat
garuhi keberadaan ekosistem sungai tersebut (Sari, 2015).



Kota Makassar merupakan salah satu kota padat penduduk dengan berbagai kegiatan industrinya. Diantara 15 kecamatan yang ada di wilayah Kota Makassar delapan diantaranya dilintasi oleh Sungai Tallo. Sungai Tallo merupakan sungai yang terletak dibagian utara kota Makassar dengan luas daerah aliran sebesar 417 km² (Hikmah, 2021). Keberadaan Sungai Tallo sangat penting bagi industri dan masyarakat yang berada di daerah aliran sungai. Sungai Tallo dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sarana transportasi air, pariwisata, sumber air baku, dan kawasan perikanan tangkap serta budidaya perairan tawar. Beberapa industri atau perusahaan yang tidak menjaga lingkungan atau kawasan disekitar perairan Sungai Tallo membuang limbah hasil produksi sebagai akibatnya berpotensi menyebabkan Sungai Tallo tercemar oleh limbah-limbah industri seperti logam berat.

Logam berat adalah logam yang mempunyai densitas (kepadatan) lebih besar dari 5 g/cm³. Logam berat termasuk unsur penting yang diperlukan makhluk hidup. Dalam kadar yang tidak berlebihan, logam berat esensial seperti tembaga (Cu), selenium (Se), Besi (Fe) dan Zink (Zn) dibutuhkan untuk menjaga metabolisme tubuh manusia. Sebaliknya logam berat yang nonesensial (elemen mikro) tidak mempunyai fungsi didalam tubuh manusia, dan bahkan sangat berbahaya hingga dapat menyebabkan keracunan (toksik) pada manusia diantaranya kadmium (Cd) dan timbal (Pb), karena tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup dan dapat terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap didasar perairan (Adhani dan Husaini, 2017). Sedimen merupakan habitat bagi banyak organisme akuatik dan berfungsi sebagai komponen penting dari ekosistem perairan. Hal penting yang menjadi alasan diperlukannya pemantauan kualitas sungai menggunakan sedimen adalah adanya sifat akumulasi dari pencemar yang ada di sungai. Kandungan logam berat yang menumpuk pada sedimen akan masuk ke dalam sistem rantai makanan dan berpengaruh pada kehidupan organisme. Dari hal tersebut, sedimen dapat menjadi indikator yang penting untuk mengetahui pencemaran sungai yang diakibatkan oleh logam berat.

Berdasarkan penentuan segmen sungai pada penelitian Hikmah (2021), Sungai



ragi menjadi tiga segmen berdasarkan perbedaan jenis tata guna lahan
ona yang terluas merupakan segmen yang mewakili banyaknya kegiatan
Hal ini menunjukkan bahwa Sungai Tallo banyak menerima limbah dari

kegiatan industri, seperti industri pelapisan seng, industri kayu lapis, industri baja, dan dari Kawasan Industri Makassar (KIMA). Selain itu, penggunaan pupuk fosfat pada aktivitas pertanian dan pembuangan limbah dari aktivitas domestik juga menjadi potensi adanya pencemaran logam berat Pb dan Cd pada Sungai Tallo. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Patang dkk (2018), yang menjelaskan bahwa kandungan kadmium (Cd) maupun timbal (Pb) pada Sungai Tallo sudah berada pada ambang yang membahayakan, baik terhadap air, sedimen maupun organisme ikan dan pada penelitian Rumoev dkk (2022), dijelaskan bahwa kandungan logam berat timbal (Pb) melebihi ambang batas konsumsi yang telah ditentukan yaitu 1,5 mg/kg untuk kerang-kerangan (*Bivalvia*) menurut SNI (Patang dkk, 2018; Rumoev dkk, 2022).

Penelitian mengenai logam berat di Sungai Tallo telah dilakukan oleh beberapa peneliti namun hanya berfokus pada konsentrasi logam berat yang terkandung pada perairan di Sungai Tallo, sedangkan pada penelitian ini selain dapat mengetahui konsentrasi logam berat yang terkandung pada sedimen Sungai Tallo, juga dapat diketahui bagaimana tingkat pencemaran logam berat pada sedimen dan klasifikasi kualitas sedimen berdasarkan kelasnya menggunakan metode *Geoaccumulation Index* (Igeo) serta penyebaran logam berat pada Sungai Tallo menggunakan MIKE 21. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan judul **“Analisis Penyebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Sedimen Di Perairan Sungai Tallo Menggunakan MIKE 21”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kadar logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sedimen di perairan Sungai Tallo?
 2. Bagaimana tingkat pencemaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dalam sedimen Sungai Tallo berdasarkan metode *Geoaccumulation Index* (Igeo)?
- Bagaimana penyebaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sedimen di perairan Sungai Tallo?



1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kadar logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) yang terkandung dalam sedimen perairan Sungai Tallo.
2. Menganalisis status tingkat pencemaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dalam sedimen Sungai Tallo berdasarkan metode *Geoaccumulation Index* (Igeo).
3. Menganalisis pola penyebaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sedimen di perairan Sungai Tallo menggunakan MIKE 21.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai bahan informasi ke instansi pemerintahan, akademisi, maupun masyarakat mengenai penyebaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sedimen di perairan Sungai Tallo, serta sebagai sumber referensi dan bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang Lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan langsung di lapangan dan laboratorium.
2. Pengambilan sampel sedimen dilakukan di beberapa titik Sungai Tallo berdasarkan metode *Sediment Sampling* USEPA-600 (SOP#:2016).
3. Parameter pencemaran yang diukur adalah nilai kadar logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sedimen Sungai Tallo.
4. Analisis tingkat pencemaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sedimen menggunakan metode *Geoaccumulation Index* (Igeo).
5. Analisis penyebaran pencemaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sedimen di Sungai Tallo menggunakan MIKE 21.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Sungai

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 Tentang Sungai, disebutkan bahwa sungai adalah alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Sedangkan menurut Setiawan (2009) dalam Sari (2015), sungai merupakan suatu bentuk ekosistem akuatik yang mempunyai peran penting dalam daur hidrologi dan berfungsi sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) bagi daerah disekitarnya, sehingga kondisi suatu sungai sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki oleh lingkungan disekitarnya. Sungai merupakan salah satu tipe ekosistem perairan umum yang berperan bagi kehidupan biota dan juga kebutuhan hidup manusia untuk berbagai macam kegiatan seperti perikanan, pertanian, keperluan rumah tangga, industri, transportasi. Berbagai macam aktivitas pemanfaatan sungai tersebut pada akhirnya memberikan dampak terhadap sungai antara lain penurunan kualitas air, hal ini dikarenakan sebagian yang dihasilkan dibuang ke sungai tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Sungai mempunyai kemampuan untuk membersihkan diri (*self purification*) dari berbagai sumber masukan, akan tetapi jika melebihi kemampuan daya dukung sungai (*carrying capacity*) akan menimbulkan masalah yang serius bagi kesehatan lingkungan sungai.

Menurut Waryono (2008), pada profil sungai terdapat beberapa bagian yaitu hulu sungai, yang mempunyai ketinggian relief yang cukup besar. Ciri spesifiknya terdapat sayatan sungai yang dalam, disebabkan oleh pengikisan air yang kuat dari air yang mengalir cepat dan daya angkut yang besar. Bagian tengah sungai dicirikan dengan pengurangan kecepatan aliran, karena ketinggian relief yang berkurang. Daya angkut berkurang, dan mulai timbul pengendapan di beberapa tempat yang relatif datar. Keseimbangan antara kikisan dan pengendapan mulai tampak, di beberapa tempat mulai terjadi akumulasi material, arus akan berbelok-arena endapan yang mengeras. Sedangkan pada daerah hilir memiliki



ketinggian rendah, yang dicirikan dengan tidak terjadi erosi, dan daya angkut semakin berkurang, sehingga merupakan pusat-pusat pengendapan.

Sedimentasi adalah perpindahan material ke daerah pengendapan yang disebabkan karena terjadinya pengikisan dan pelapukan oleh air dan angin. Semua batuan yang telah diendapkan dari waktu ke waktu oleh erosi dan pelapukan akan membentuk batuan sedimen. Hasil proses sedimentasi itu sendiri dalam konteks hubungan dengan sungai meliputi, penyempitan palung, erosi, transportasi sedimentasi (*transport sediment*), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compaction*) dari sedimen itu sendiri. Proses pembentukan sedimen diawali dengan proses pengikisan tanah, terbawa arus, meninggalkan sebagian di tanah dan sebagian lagi masuk ke sungai dan diikat oleh sungai. Proses pengendapan di perairan dapat menyebabkan pendangkalan dan penurunan kualitas air. Jika kadar sedimen di suatu badan air tinggi, maka tidak hanya menyebabkan pendangkalan sungai yang membahayakan biota, tetapi juga menurunkan kualitas air (Aprilia, 2021).

2.2 Sungai Tallo

Sungai Tallo terletak dibagian utara Kota Makassar merupakan sebuah sungai yang daerah muaranya sangat dipengaruhi oleh pasang surutnya air laut dan pada bagian dasar sungai tersebut letaknya lebih dalam dari pada muka laut sehingga mengakibatkan air asin dapat dijumpai di sepanjang 10 km dari muara. Sungai Tallo dengan luas daerah aliran sungai sebesar 417 km² dengan kecepatan aliran terendah sebesar 0,07 m/detik. Sejalan dengan hal tersebut, menurut Wasir (2013) dalam Yadus (2020), debit air pada musim hujan 60,45 m³/detik, sedangkan pada puncak musim hujan sebesar 119,9 m³/detik dan pada akhir musim hujan sebesar 94,5 m³/detik.

Sungai Tallo bisa ditelusuri dari hulu sampai ke hilir maka akan terlihat daerah aliran sungai yang berkelok-kelok dimana pada sisi kanan dan kiri pinggiran sungai ditumbuhi pohon nipa, terdapat persawahan, pertambakan dan sebagian kecil in. Pada sepanjang aliran Sungai Tallo terdapat 14 industri dan juga 3 anak sungai yaitu Pampang, anak sungai Daya dan anak sungai dari ada bagian dasar Sungai Tallo terdapat endapan batuan yang mengalasi



endapan Sungai Tallo yaitu sedimen (Pasa *et al.*, 2017 dalam Yadus, 2020). Sungai Tallo merupakan daerah atau wilayah yang memiliki iklim tropis, dengan curah hujan rata-rata berkisar 4.000 mm per tahun di daerah pegunungan dan 2.800 mm per tahun pada daerah dataran rendah. Daerah Sungai Tallo mempunyai temperatur rata-rata 30⁰C sehari-hari dan temperatur minimum 22⁰C, temperatur rata-rata perbulan sebesar 26⁰C. Kelembaban udara berkisar antara 85% pada musim hujan dan 70% pada musim kemarau (Hidayat & Zainal, 2019 dalam Yadus, 2020).

Diantara 11 kecamatan yang ada di wilayah kota Makassar, empat diantaranya dilintasi oleh Sungai Tallo antara lain kecamatan Tallo, kecamatan Tamalanrea, kecamatan Panakkukang dan kecamatan Manggala. Diantara keempat kecamatan tersebut ada 10 kelurahan dilewati oleh Sungai Tallo, yaitu: kelurahan Panaikang, kelurahan Lakkang, kelurahan Tallo, kelurahan Rappokalling, kelurahan Daya, kelurahan Bira, kelurahan Tamalanrea, kelurahan Tello Baru, kelurahan Rappojawa, dan kelurahan Antang. Dari seluruh wilayah pemukiman yang ada di sepanjang Sungai Tallo, rata-rata penduduknya mempunyai kebiasaan membuang limbahnya ke Sungai Tallo, utamanya penduduk yang bermukim tepat pada tepi sungai. Penggunaan lahan yang ada disekitar Sungai Tallo terdiri atas lahan pertanian/persawahan dan lahan pertambakan. Proses pengolahan mempergunakan pestisida dan pupuk. Badan air Sungai Tallo dipergunakan untuk pertanian dan persawahan dan terlebih lagi digunakan oleh beberapa industri, yaitu industri pelempengan baja dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai bahan untuk pendingin mesin dan sebaliknya badan air sungai tersebut sebagai tempat pembuangan air bekas pendingin, pembawa buangan-buangan industri dan rumah tangga menuju ke laut dan sebagai alat transportasi bagi nelayan, petani tambak dan industri (Pangruruk *et al.*, 2019 dalam Yadus, 2020).

2.3 Tinjauan Umum Logam Berat

2.3.1 Pengertian Logam Berat

Logam berat merupakan komponen alami yang terdapat di kulit bumi yang tidak egradasi ataupun dihancurkan dan merupakan zat yang berbahaya karena adi bioakumulasi. Bioakumulasi adalah peningkatan konsentrasi zat kimia uuh mahluk hidup dalam waktu yang cukup lama, dibandingkan dengan



konsentrasi zat kimia yang terdapat di alam. Logam digolongkan kedalam dua katagori, yaitu logam berat dan logam ringan. Logam berat ialah logam yang mempunyai berat 5 g atau lebih untuk setiap cm^3 , dengan sendirinya logam yang beratnya kurang dari 5 g setiap cm^3 termasuk logam ringan (Adhani dan Husaini, 2017).

Logam berat termasuk unsur penting yang diperlukan makhluk hidup. Dalam kadar yang tidak berlebihan, sebagai *trace element*, logam berat esensial seperti tembaga (Cu), selenium (Se), Besi (Fe) dan Zink (Zn) dibutuhkan untuk menjaga metabolisme tubuh manusia. Sebaliknya logam berat yang nonesensial (elemen mikro) tidak mempunyai fungsi didalam tubuh manusia, dan bahkan sangat berbahaya hingga dapat menyebabkan keracunan (toksik) pada manusia diantaranya: timbal (Pb), merkuri (Hg), arsenik (As) dan cadmium (Cd).

Menurut Lambert *et al.*, (2000), air limbah menjadi tempat paling sering ditemukan dalam logam berat termasuk arsenik, kadmium, kromium, tembaga, timah, nikel, seng, yang semuanya menimbulkan resiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Sifat logam berat yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia adalah (Sutamihardja, 2006 dalam Adhani & Husaini, 2017):

- a. Logam berat sulit didegradasi, sehingga cenderung akan terakumulasi pada lingkungan
- b. Logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh organisme dan konsentrasi dapat semakin tinggi, atau dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi
- c. Logam berat mudah terakumulasi pada sedimen, sehingga konsentrasi selalu lebih tinggi daripada konsentrasi logam dalam air.

Sumber pencemaran logam berat terbagi menjadi dua sumber yaitu sumber alami dan sumber buatan. Sumber alami cirinya (Adhani & Husaini, 2017):

1. Berasal dari daerah pantai (*coastal supply*), yang bersumber dari sungai, abrasi oleh aktivitas gelombang
2. Berasal dari logam yang dibebaskan aktivitas gunung berapi dan logam yang bebaskan proses kimiawi erasal dari lingkungan daratan dan dekat pantai, termasuk logam yang bawa oleh ikan dari atmosfer berupa partikel debu.



Sumber buatan berupa logam-logam berat yang dibebaskan oleh proses industri atau kegiatan pertambangan. Logam berat seperti Merkuri (Hg), Cadmium (Cd), Plumbum (Pb), Chromium (Cr), Cufrum (Cu), Cobalt (Co) sangat berbahaya bila kadar yang terlarut dalam tubuh manusia cukup tinggi atau melebihi ambang batas baku mutu. Logam berat tersebut bersifat sangat toksik yang dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui beberapa cara yaitu makanan, pernafasan, dan penetrasi kulit.

2.3.2 Logam Berat dalam Perairan

Logam berat merupakan zat polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan. Terdapat kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia. Menurut Hutagalung (1997) dalam Adhani & Husaini (2017), adanya peningkatan kadar yang melebihi ambang batas logam berat didalam air dapat bersifat toksik bagi organisme. Disamping bersifat toksik, logam berat juga akan terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses gravitasi, biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi.

Secara alamiah masuknya logam berat kedalam muara dapat melalui berbagai cara yaitu (Cai *et al.*, 1995 dalam Adhani & Husaini, 2017):

- a. Aliran dari daerah hulu sungai akibat erosi yang disebabkan oleh gerakan gelombang air
- b. Aliran yang berasal dari lingkungan sekitar muara. Termasuk logam yang diangkat kedalam atmosfer sebagai partikel debu.

Sedangkan pasokan logam berat yang berasal dari aktivitas manusia ke dalam lingkungan antara lain:

- a. Hasil buangan kegiatan rumah tangga
- b. Limbah industri yang tidak terkontrol. Beberapa limbah industri mengandung logam berat yang akan mengalir ke sungai dan akhirnya sampai di muara dan mengendap jadi sedimen

asil dari pembakaran hidrokarbon dan batu bara. Terlepasnya senyawa gam berat ke udara saat proses pembakaran dan bercampur dengan air ijan, mengalirkan logam berat melalui sungai.



Manahan (2002) dalam Adhani & Husaini (2017) menjelaskan bahwa bila konsentrasi logam berat tinggi dalam air, ada kecenderungan konsentrasi logam berat tersebut tinggi dalam sedimen, dan akumulasi logam berat dalam tubuh hewan semakin tinggi. Bila tingkat pencemaran air (COD) perairan relatif tinggi, ada kecenderungan kandungan logam berat dalam air dan sedimen akan tinggi, karena COD menunjukkan kadar bahan organik yang bersifat *non biodegradable* yang umumnya bersumber dari limbah industri. Demikian juga dengan kadar sulfur (S) dalam sedimen juga mempengaruhi kandungan logam berat dalam sedimen, karena unsur sulfur sangat mudah berikatan dengan logam berat membentuk logam-sulfida yang mengendap di dasar perairan.

2.3.3 Sumber Logam Berat

Sungai Tallo bisa ditelusuri dari hulu sampai ke hilir maka akan terlihat daerah aliran sungai yang berkelok-kelok dimana pada sisi kanan dan kiri pinggir sungai ditumbuhi pohon nipa, terdapat persawahan, pertambakan dan sebagian kecil perumahan. Pada sepanjang aliran Sungai Tallo terdapat 14 industri dan juga terdapat 3 anak sungai yaitu Pampang, anak sungai Daya dan anak sungai dari KIMA (Yadus, 2020).

Selain industri dalam kawasan terdapat juga beberapa industri yang berlokasi diluar kawasan yang ikut membuang limbah cairnya ke Sungai Tallo diantaranya industri pelapisan seng, industri kayu lapis, dan industri baja, terdapat juga PLTU dan pusat perbelanjaan yang membuang limbahnya ke Sungai Tallo. Selain itu, ketika hujan turun di jalan, tempat parkir, atau pertanian, air hujan tidak terserap dan akan mengalir. Air hujan yang mengalir ini disebut limpasan *stormwater*. Limpasan *Stormwater* biasanya mengandung banyak polutan. Misalnya, limpasan dari jalan raya dan tempat parkir sering mengandung minyak, bensin, dan cairan mobil lainnya. Limpasan dari pertanian dapat mencakup pestisida, pupuk, dan limbah hewan (Nurhikmah, 2021). Logam Cd merupakan logam yang dilaporkan banyak terkandung dalam *stormwater*, yang berasal dari aktivitas pembakaran, penggunaan ban dan rem pada kendaraan, korosi galvanisasi, dan buangan baterai (Nabila & Zevi, 2013)



Konsentrasi beberapa logam berat seringkali ditemukan jauh lebih tinggi di perkotaan dibandingkan di tanah pedesaan atau pertanian yang termasuk dalam limbah domestik atau rumah tangga. Kelompok logam berat yang dianggap sebagai karakteristik kontaminasi perkotaan, yaitu sebagian besar mencakup Pb, Cd, dan Zn. Terdapat banyak kemungkinan penyebab kontaminasi di wilayah perkotaan, Sumber logam dan metaloid yang paling umum di daerah perkotaan meliputi endapan partikel debu dan aerosol (dari pembakaran bahan bakar fosil, motor kendaraan, dll.), korosi struktur logam, termasuk atap dan pagar galvanis, cat dan bahan dekoratif lainnya (Alloway, 2012).

Pupuk anorganik merupakan sumber masukan logam berat yang tersebar luas ke dalam tanah pertanian di sebagian besar wilayah di dunia. Pupuk fosfat pada umumnya mengandung konsentrasi tinggi sebagian besar logam berat termasuk As, Cd, Cu, dan Zn. Akibat dari kontaminan yang terkandung didalam pupuk, tanah yang sering diberi pupuk dapat mengakumulasi sejumlah logam berat dalam konsentrasi yang signifikan jika kandungan di dalamnya relative tinggi. Beberapa campuran mikronutrien yang dipatenkan juga dapat memiliki pencemar yang signifikan, seperti <math><55 \text{ mg/kg Cd}</math>, <math><0,36\% \text{ Pb}</math>, dan <math><83 \text{ mg/kg As}</math> (Alloway, 2012). Menurut Darmono (2001) pupuk fosfat yang digunakan dalam pertanian umumnya mengandung Cd yang tinggi. Kadar Cd yang terdapat pada pupuk TSP (*Triple Super Phosphat*) yaitu antara 1-170 mg/kg.

Penggunaan pestisida menjadi indikasi kemungkinan terdapatnya kandungan logam berat Pb, karena bahan baku pestisida berasal dari pengeboran minyak bumi. Bahan-bahan yang berasal dari minyak bumi yang dicampurkan ke dalam pestisida seperti pelarut dengan kerosen atau minyak tanah hasil penyulingan minyak mentah dan zat pembawa misal kaolin, kapur, pasir dan tanah liat dimungkinkan mengandung logam berat Pb (Arimardewi, 2018).

Terjadinya pencemaran logam berat di lokasi industri berbeda-beda tergantung jenis industrinya. Contoh kemungkinan kombinasi kontaminan logam berat yang terkait dengan industri yang berbeda meliputi (Alloway, 2012):



tri kimia (umum): Ag, Sb, Se

tri klor-alkali (Cl₂ dan NaOH): Sb, As, Bi, Ba, Cd, Cu, Pb, Hg, Ag, Sn

nik: Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn, Ce, Eu

- Komponen Listrik: Cu, Zn, Au, Ag, Pd, Pb, Sn, Y, Cr, Se, Sm, Ir, In, Ga, Re
- Pekerjaan baja: As, Cr, Pb, Mn, Mo, Ni, Se, Sb, W, V, Zn
- Pekerjaan pestisida: As, Cu, Cr, Pb, Mn, Zn, V, Th
- Pembuatan baterai: Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg, Ag
- Percetakan dan grafis: Se, Pb, Cd, Zn, Cr, Ba
- Pigmen dan cat: Pb, Cr, As, Sb, Hg, Se, Mo, Cd, Ba, Zn, Co

2.3.4 Logam Pb

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal sifatnya lunak dan berwarna cokelat kehitaman, serta mudah dimurnikan dari pertambangan. Senyawa ini banyak ditemukan dalam pertambangan seluruh dunia. Logam ini bertitik lebur rendah, mudah dibentuk, mempunyai sifat kimia yang aktif, sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam untuk mencegah perkaratan. Logam timbal (Pb) mempunyai sifat-sifat yang khusus yaitu sebagai berikut (Wasir, 2012):

- a. Memiliki densitas sebesar $11,34 \text{ g/cm}^3$.
- b. Merupakan logam yang tahan terhadap peristiwa korosi atau karat, sehingga logam timbal, sering digunakan sebagai bahan *coating*.
- c. Mempunyai titik lebur rendah, hanya $327,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- d. Mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam-logam biasa, kecuali emas dan merkuri.
- e. Cenderung terikat pada sedimen

Kegiatan manusia seperti pertambangan, manufaktur dan pembakaran bahan bakar fosil telah mengakibatkan akumulasi timbal dan senyawanya di lingkungan, termasuk udara, air dan tanah. Timbal digunakan untuk produksi baterai, kosmetik, produk logam seperti amunisi, solder dan pipa, dll. Limbah timbal (Pb) dapat masuk ke badan perairan secara alamiah yakni dengan pengkristalan timbal (Pb) di udara dengan bantuan air hujan. Penggunaan timbal (Pb) dalam skala yang besar dapat menyebabkan polusi baik di daratan maupun



Logam timbal (Pb) yang masuk kedalam perairan sebagai dampak dari manusia dapat membentuk air buangan atau limbah dan selanjutnya akan ni pengendapan yang dikenal dengan istilah sedimen. Tingginya

kandungan timbal (Pb) dalam sedimen akan mengakibatkan biota air tercemar seperti ikan, udang dan kerang, dimana biota tersebut hidup di dasar perairan dan apabila dikonsumsi akan berbahaya bagi kesehatan (Rumoev dkk, 2022)

Timbal (Pb) yang masuk ke dalam badan perairan sebagai dampak dari aktivitas kehidupan manusia ada bermacam bentuk. Diantaranya adalah air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut akan jatuh pada jalur-jalur perairan seperti anak-anak sungai untuk kemudian akan dibawa terus menuju lautan. Umumnya jalur buangan dari bahan sisa perindustrian yang menggunakan Pb akan merusak tata lingkungan perairan yang dimasukkannya menjadikan sungai dan alurnya tercemar (Wasir, 2012).

Penggunaan timbal terbesar adalah dalam produksi baterai penyimpanan untuk mobil, dimana digunakan timbal metalik dan komponen-komponennya. Elektrode dari beberapa baterai mengandung struktur inaktif yang disebut dengan *grid* yang dibuat dari alloy timbal yang mengandung 93% timbal dan 7% antimony. Penggunaan lainnya dari timbal adalah untuk produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa dan solder, bahan kimia, pewarna, dan lain-lainnya (Wasir, 2012).

Toksisitas timbal, juga disebut keracunan timbal, dapat berupa akut atau kronis. Akut dapat menyebabkan hilangnya nafsu makan, sakit kepala, hipertensi, nyeri perut, gangguan fungsi ginjal, kelelahan, sulit tidur, arthritis, halusinasi dan vertigo. Akut terutama terjadi di tempat kerja dan di industri manufaktur yang menggunakan timbal. Paparan kronis timbal dapat menyebabkan keterbelakangan mental, cacat lahir, psikosis, autisme, alergi, disleksia, penurunan berat badan, hiperaktif, kelumpuhan, kelemahan otot, kerusakan otak, kerusakan ginjal dan bahkan dapat menyebabkan kematian (Martin & Griswold, 2009 dalam Adhani & Husaini, 2017)

2.3.5 Logam Cd



¹ (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Logam kadmium (Cd) memiliki nomor atom 48 dengan nomor massa 112,41. Kelimpahan Cd pada kerak bumi adalah 0,13 µg/g. Pada

perairan, Cd relatif bersifat mudah berpindah. Umumnya, dalam perairan logam kadmium ada dalam bentuk ion terhidrasi, garam klorida, kompleks dengan ligan anorganik atau ligan organik (Aprilia, 2021).

Logam kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi, reaktif dan lebih mudah larut dalam air. kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel dan plastik. Kadmium (Cd) adalah metal berbentuk kristal putih keperakan. Cd didapat bersama Zn, Cu, Pb, dalam jumlah yang kecil. Kadmium (Cd) didapat pada industri alloy, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain. Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam.

Kadmium (Cd) ialah logam berat non-essensial yang bersifat sangat toksik. Kadmium adalah produk sampingan dari produksi seng. Tanah dan batuan, termasuk batu bara dan mineral pupuk, mengandung beberapa jumlah kadmium. Kadmium memiliki banyak aplikasi, *misalnya* dalam baterai, pigmen, plastik dan coating logam dan secara luas digunakan dalam elektroplatin. Kadmium dan senyawanya diklasifikasikan sebagai karsinogen bagi manusia oleh Badan Internasional untuk Penelitian Kanker. Kadmium dilepaskan ke lingkungan melalui kegiatan alam seperti letusan gunung berapi, pelapukan, transportasi sungai dan beberapa aktivitas manusia seperti pertambangan, peleburan, merokok tembakau, pembakaran limbah, dan pembuatan pupuk (Chakraborty *et al.*, 2013 dalam Adhani & Husaini, 2017).

Kadmium dan senyawanya sangat larut dalam air dibandingkan dengan logam lain. Bioavailabilitas mereka sangat tinggi dan karena itu cenderung bioakumulasi. Paparan jangka panjang untuk kadmium dapat mengakibatkan perubahan morhopathological pada ginjal. Perokok lebih rentan untuk keracunan kadmium dibandingkan non-perokok. Tembakau adalah sumber utama penyerapan kadmium pada perokok seperti tembakau. Non-perokok terkena kadmium melalui makanan dan beberapa jalur lainnya. Namun kadmium penyerapan melalui jalur lain jauh lebih rendah (Mudge *et al.*, 2010 dalam Adhani & Husaini, 2017).



Sumber pencemar kadmium berasal dari aktivitas pertambangan, produksi, dan pertanian. Beberapa industri yang menggunakan kadmium sebagai produksi adalah:

- a. Senyawa kadmium (II) sulfida (CdS), banyak digunakan sebagai zat pewarna
- b. Senyawa kadmium sulfat (CdSO_4), pemanfaatannya sebagai industri baterai
- c. Senyawa kadmium dibromide (CdBr_2) dan kadmium iodida (CdI_2) secara terbatas digunakan dalam dunia fotografi
- d. Senyawa Cd-stearat banyak digunakan dalam industri manufaktur *Polyvinil Chlorida* (PVC).

Selain itu Cd banyak digunakan dalam industri ringan seperti pada proses pengolahan roti, pengolahan ikan, pengolahan minuman, industri tekstil, dan banyak melibatkan senyawa yang dibentuk dengan Cd meskipun penggunaannya dengan konsentrasi yang sangat rendah.

Manusia sejatinya tidak memerlukan kadmium dalam proses metabolisme. Hal ini mengakibatkan kadmium dalam jumlah sedikitpun dapat bersifat racun bagi tubuh. Tubuh manusia tidak memiliki pertahanan atau mekanisme untuk menghalangi penyerapan kadmium, sehingga apabila terpapar kadmium akan diabsorpsi oleh tubuh dalam jumlah yang tidak terbatas. Arao (2006) dalam Adhani & Husaini (2017) menyebutkan bahwa kadmium sangat beracun ke ginjal dan terakumulasi dalam sel tubulus proksimal dalam konsentrasi yang lebih tinggi. Kadmium dapat menyebabkan mineralisasi tulang baik melalui kerusakan tulang atau gangguan fungsi ginjal. Studi pada manusia dan hewan telah menunjukkan bahwa osteoporosis (kerusakan tulang) adalah efek penting dari paparan kadmium bersama dengan gangguan dalam metabolisme kalsium, pembentukan batu ginjal dan hiperkalsiuria.

2.4 Parameter Kualitas Air

2.4.1 pH

Tingkat keasaman atau basa dalam suatu zat, larutan, atau benda dinyatakan dalam derajat keasaman atau pH. pH merupakan singkatan dari power of hydrogen. pH memiliki rentang nilai 0-14. Secara umum pH normal memiliki nilai 7, jika nilai memiliki sifat asam, dan untuk nilai $\text{pH} > 7$ memiliki sifat basa. pH 0 akan derajat keasaman yang tinggi, sedangkan pH 14 menunjukkan derajat basa paling tinggi (Aprilia, 2021).



Faktor lingkungan perairan seperti pH, kesadahan, temperature dan salinitas mempengaruhi daya racun logam berat. Derajat keasaman (pH) berperan penting untuk mengontrol tipe dan kecepatan reaksi dari beberapa bahan dalam perairan. Penurunan pH air akan menyebabkan daya racun logam berat semakin besar. Semakin rendah nilai pH, maka semakin tinggi kelarutan pada logam sehingga akan mengakibatkan efek toksik logam bertambah besar. pH di air yang mengalami kenaikan umumnya akan diikuti dengan semakin rendahnya kelarutan pada senyawa logam tersebut (Ramadhan, 2021). Nilai pH yang bersifat basa (pH = 7,37-8,22) logam tersebut sukar larut dan akan mengendap ke dasar perairan (Rochyatun dan Rozak, 2007).

2.4.2 Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penting dalam proses kehidupan dan penyebaran organisme. Proses kehidupan yang vital secara kolektif disebut metabolisme, hanya dapat berfungsi di dalam kisaran suhu yang relatif sempit, sekitar 0-40 °C. Suhu pada perairan dipengaruhi oleh musim, sirkulasi udara, penutupan awan, lintang, ketinggian dari permukaan laut, waktu dalam hari, aliran dan kedalaman badan air.

Suhu memiliki pengaruh penting terhadap proses fisika, kimia, dan biologi di perairan apabila terjadi perubahan serta memiliki peran dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Adanya gabungan suhu air serta salinitas akan mempengaruhi peningkatan akumulasi logam berat pada air. Suhu yang semakin tinggi di perairan maka cenderung dapat meningkatkan kelarutan dan akumulasi logam berat. Sedangkan suhu yang semakin rendah (dingin) akan memudahkan logam mengendap di sedimen (Ramadhan, 2021).

Menurut Aprilia (2021), bahwa suhu dapat memengaruhi konsentrasi logam berat di dalam air dan sedimen. Pada suhu yang lebih dingin akan memudahkan logam berat mengendap ke dalam sedimen. Sedangkan pada suhu yang tinggi, senyawa logam berat akan terlarut di dalam air. Peningkatan suhu dalam perairan cenderung akan meningkatkan akumulasi dan toksisitas logam berat yang an oleh adanya peningkatan laju metabolisme dari organisme akuatik.



2.4.3 DO (*Dissolved Oxygen*)

Dissolved Oxygen adalah jumlah oksigen yang terlarut dalam volume air tertentu pada suatu suhu dan tekanan atmosfer tertentu oksigen merupakan salah satu faktor pembatas, sehingga bila ketersediannya didalam air tidak mencukupi kebutuhan biota maka akan menghambat aktivitas di dalam perairan tersebut. Rendahnya kadar oksigen dapat berpengaruh terhadap fungsi biologis dan lambatnya pertumbuhan, bahkan dapat mengakibatkan kematian (Nurhikmah, 2021). Oksigen terlarut (DO) merupakan kebutuhan dasar ekosistem perairan. DO yang rendah merupakan tanda kemungkinan terjadinya pencemaran suatu badan air. Ketika tingkat DO dalam air turun dibawah 5 mg/L, kehidupan akuatik berada dibawah ambang batas. Semakin rendah konsentrasinya, semakin besar pencemarannya (Gang Ji, 2007).

Nilai DO yang rendah menyebabkan peningkatan daya toksik serta bioakumulasi cemaran logam berat semakin besar (Paramita dkk, 2017). Apabila DO di perairan meningkat maka konsentrasi logam berat di perairan akan menurun dan mengindikasikan kualitas di perairan tersebut baik. Nilai DO yang semakin rendah berkaitan dengan meningkatnya salinitas perairan (Fernandes dkk, 2023).

2.4.4 Salinitas

Salinitas adalah ukuran konsentrasi garam dalam air. Salinitas sering kali dinyatakan dalam bagian per seribu (ppt atau ‰), yaitu gram garam per liter air (Gang Ji, 2007). Salinitas menunjukkan jumlah ion-ion terlarut. Perubahan salinitas berpengaruh pada proses difusi dan osmotik. Pola gradien salinitas bergantung pada musim, topografis, dan pasang surut.

Salinitas dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di dalam perairan, bila terjadi penurunan kadar salinitas di perairan karena adanya proses desalinasi maka akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar sehingga dapat mencemari biota yang ada dalam perairan. Salinitas suatu perairan berkaitan dengan suhu perairan dalam tingkat bioakumulasi dalam perairan. Dimana salinitas dan suhu ini ng terbalik. Pada salinitas rendah akumulasi akan meningkat, karena pada gi menyebabkan konsentrasi logam berat berkurang. (Ferdianto, 2017).



2.5 Transport Sedimen

Pada dasarnya permasalahan angkutan sedimen sangatlah rumit dan kompleks karena sifat fisik dari partikel sedimen dan jumlah material angkutan sedimen sangat berbeda-beda dari tempat yang satu ke tempat yang lain maupun dari waktu ke waktu. Oleh karena itu analisis yang dilakukan bersifat pendekatan, karena terdapat begitu banyak faktor yang dapat mempengaruhi perubahan laju angkutan sedimen di sungai (Sumardi & Halim, 2018).

Dasar sungai biasanya tersusun oleh endapan dari material angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai, material tersebut dapat terangkut kembali apabila terjadi kenaikan kecepatan aliran yang cukup tinggi. Besarnya volume angkutan sedimen ini tergantung daripada perubahan kecepatan aliran dan adanya kegiatan yang dilakukan manusia di palung sungai. Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan, dan pemadatan dari sedimen itu sendiri. Proses tersebut dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian aliran menjadi angkutan sedimen. Bentuk, ukuran, dan beratnya partikel tanah tersebut akan menentukan jumlah besarnya laju angkutan sedimen (Sumardi & Halim, 2018).

Sedimen dapat bergerak, bergeser di sepanjang dasar sungai, tergantung pada komposisi (ukuran butiran, berat jenis, dll), dan kondisi aliran (kecepatan aliran, kedalaman aliran, dll). Berdasarkan ukuran butirnya, angkutan sedimen di sungai dapat dibedakan menjadi angkutan sedimen dasar, angkutan sedimen melayang, dan angkutan sedimen bilas/kikisan (Sumardi & Halim, 2018).

1. Muatan Sedimen Dasar (*Bed Load*)

Menurut Soewarno (1991), muatan sedimen dasar merupakan partikel-partikel kasar yang bergerak pada dasar sungai secara keseluruhan. Gerakannya bisa bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang meliputi lapisan dasar ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bersama-sama bergerak ke arah hilir. Pada umumnya alur sungai di bagian hulu angkutan *bed load* merupakan bagian yang terbesar dari seluruh jumlah sedimen.



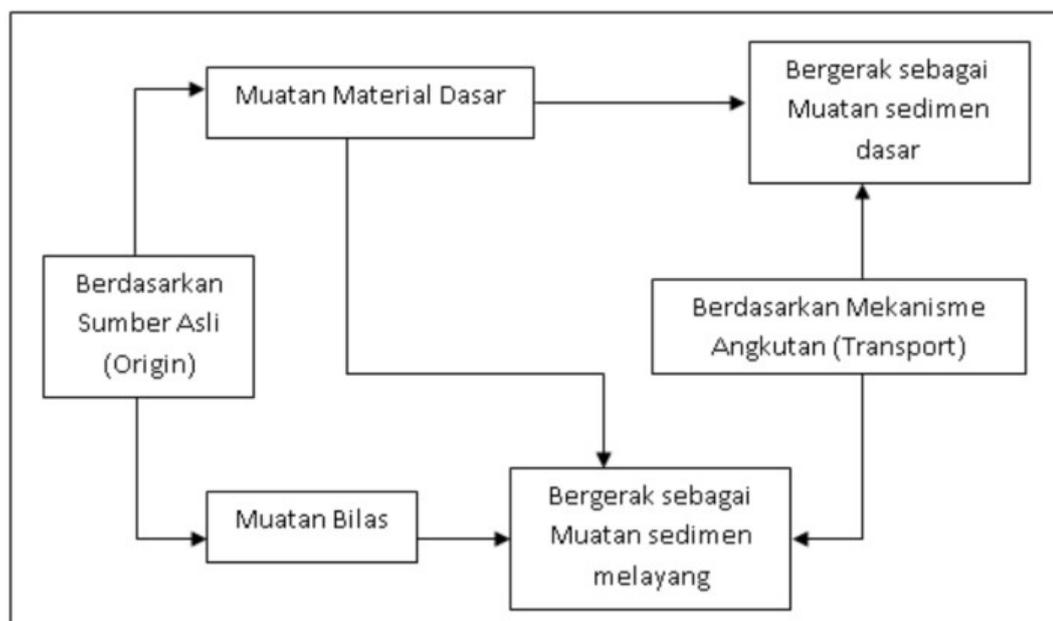
2. Muatan Sedimen Melayang (*Suspended Load*)

Menurut Soewarno (1991), muatan sedimen melayang merupakan material dasar sungai yang melayang di dalam aliran sungai dan terdiri dari butiran-butiran pasir halus yang senantiasa mengambang di atas sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran. Pada aliran turbulen, partikel sedimen tetap melayang di dalam aliran sungai, tetapi jika aliran sungai itu laminar maka konsentrasi sedimen akan berkurang dan akhirnya mengendap kembali ke dasar sungai.

3. Muatan Bilas (*Wash Load*)

Menurut Soewarno (1991), muatan bilas (*wash load*) adalah angkutan partikel-partikel halus berupa lempung (*silt*) dan debu (*dust*), yang terbawa oleh aliran sungai. Partikel-partikel ini akan terbawa aliran sungai sampai ke laut, atau dapat juga terendap pada aliran tenang atau pada air yang tergenang. Ukuran butir muatan bilas adalah paling kecil dari ukuran butir seluruh angkutan sedimen. Sumber utama dari muatan bilas adalah hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah daerah pengaliran sungai.

Secara skematis angkutan sedimen dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1 Skema Angkutan Sedimen
Sumber: Soewarno (1991)



nen mengendap di dasar badan air atau tersuspensi di kolom air. Sedimen si umumnya diangkut melalui aliran atau es. Sedimen berasal dari erosi

tanah atau dari pembusukan tumbuhan dan hewan. Sedimen umumnya merupakan matriks material dan terdiri dari empat komponen utama (Gang Ji, 2007):

1. Air Interstisial: Volume terbesar ditempati oleh air interstisial, yang mengisi ruang antar partikel sedimen
2. Sedimen Anorganik: Fraksi anorganik (lanau, tanal liat, dll) meliputi pecahan batuan dan cangkang serta butiran mineral yang dihasilkan dari erosi alami bahan-bahan terestrial
3. Sedimen Organik: Fraksi organik (alga, zooplankton, bakteri, detritus, dll) biasanya menempati volume rendah, namun merupakan komponen sedimen yang penting karena dapat mengatur penyerapan dan bioavalibilitas banyak kontaminan.
4. Kontaminan: Kontaminan yang melekat pada sedimen, seperti unsur hara, poliklorinasi bifenil (PCB), dan logam berat, jumlahnya sangat kecil berdasarkan volume namun sering kali penting dalam studi transportasi kontaminan dan kualitas air.

Pengangkutan sedimen secara sederhana merupakan proses pengikisan sedimen dari suatu tempat, mengangkutnya mengikuti arus, dan mengendapkannya di tempat lain. Erosi terjadi ketika tegangan geser yang diterapkan pada lapisan sedimen melebihi tegangan geser kritis. Pengendapan terjadi bila kapasitas angkut aliran terlampaui. Sedimen yang diendapkan di lapisan dapat terkonsolidasi seiring berjalannya waktu. Empat proses dasar sedimen adalah:

1. Resuspensi dasar sedimen
2. Pengangkutan sedimen berupa beban tersuspensi dan beban dasar
3. Pengendapan sedimen tersuspensi dan pengendapan pada lapisan dasar
4. Konsolidasi dan pemadatan dasar sedimen.

Proses-proses ini sangat bergantung pada kondisi hidrodinamik aliran dan sifat sedimen, seperti sifat partikel: ukuran, bentuk, kepadatan, dan komposisinya. Tegangan geser adalah gaya gesekan per satuan luas lapisan yang diberikan pada lapisan oleh air yang mengalir. Ini merupakan faktor penting dalam pergerakan

dasar. Tegangan geser tidak hanya merupakan tegangan fisik yang nyata imen dasar, namun juga merupakan parameter yang berguna dalam ibarkan transportasi sedimen serta erosi dan pengendapan. Tegangan geser



menggerakkan partikel-partikel dasar dalam gerakan menggelinding ke arah hilir. material sedimen tetap berada di dasar atau tetap tersuspensi tergantung pada tegangan geser. Jika tegangan geser lebih besar dari tegangan geser kritis, hanya sebagian kecil dari material tersuspensi yang akan diendapkan. Jika tegangan geser dasar lebih kecil dari tegangan geser kritis, maka sedimen tersuspensi akan diendapkan pada lapisan secara bertahap (Gang Ji, 2007).

2.6 Pasang Surut

Pasang surut merupakan kenaikan dan penurunan muka air yang dihasilkan dari gaya tarik gravitasi antara bumi, matahari, dan bulan (Pahlewi, 2016). Saat bulan purnama atau awal bulan, terjadi pasang tertinggi karena gaya tarik bulan atau matahari terhadap bumi mencapai titik maksimum, sedangkan saat bulan sabit terjadi pasang kecil karena gaya tarik bulan mencapai titik terendah (Anwar & Mawardi, 2021). Pasang surut berperan penting dalam proses hidrodinamik, transport sedimen, dan kualitas air (Gang Ji, 2007).

Gerakan pasang dan surut air laut menyebabkan terjadi dorongan dan tarikan air sungai yang terhubung ke laut. Saat air laut pasang terjadi dorongan air ke arah hulu sungai, sedangkan saat surut terjadi tarikan air sungai ke arah laut. Irama naik turunnya permukaan air sungai tersebut mengikuti dinamika tinggi muka air laut. Demikian juga anak-anak sungai atau saluran primer yang bermuara ke sungai utama tersebut, mengikuti dinamika tinggi muka air sungai utama (Anwar & Mawardi, 2021).

Tipe pasang surut ditentukan oleh frekuensi air pasang dengan air surut setiap harinya. Pahlewi (2016) membagi pasang surut di perairan Indonesia menjadi empat tipe, yaitu:

1. *Diurnal tide* (pasang surut harian tunggal), dimana suatu perairan mengalami satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari
2. *Semi diurnal tide* (pasang surut harian ganda), dimana suatu perairan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut



ixed tide, prevailing diurnal (pasang surut campuran condong harian nggal), merupakan pasang surut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, namun terkadang juga dua kali pasang dan dua kali surut

4. *Mixed tide, prevailing semidiurnal* (pasang surut campuran condong harian ganda), dimana pasang surut yang tiap harinya terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, namun ada kalanya mengalami satu kali pasang dan satu kali surut.

2.7 Arus

Arus merupakan pergerakan massa air secara horizontal yang dapat disebabkan oleh tiupan angin di permukaan laut, perbedaan densitas maupun adanya pengaruh pasang surut laut. Akibat dari adanya pengaruh angin, perbedaan densitas dan pasang surut maka akan terbentuk suatu pola sirkulasi arus yang khusus. Arus memiliki peranan penting dalam menentukan kondisi suatu perairan. Pola dan karakteristik arus yang meliputi jenis arus dominan, kecepatan, dan arah serta pola pergerakan arus menyebabkan kondisi suatu perairan menjadi dinamis. Pergerakan arus membawa material-material serta sifat-sifat yang terdapat dalam badan air. Pentingnya arus terutama berkaitan dengan aspek lain seperti biologi, kimia, dan polutan. Aspek penyebaran polutan adalah distribusi polutan dari satu tempat ke tempat yang lain. Hal ini disertai dengan pertimbangan bahwa arus merupakan perwujudan dari pergerakan massa air (Permadi, 2015).

Arus merupakan agen yang sangat berperan dalam perpindahan sedimen karena sedimen erat kaitannya dengan pengangkutan (*transport*) dan pengendapan (*sedimentation*). Arus berfungsi sebagai media transport sedimen dan agen pengerosi yang bergantung pada gaya pembangkitnya. Proses pengangkutan terjadi ketika sedimen tersuspensi ke kolom perairan kemudian menyebar ke wilayah laut yang lebih luas. Arus mengakibatkan sedimen yang telah mengalami pengendapan kembali terangkat ke kolom perairan karena terjadi proses turbulensi (Arvianto dkk, 2016).

Pergerakan sedimen dipengaruhi oleh kecepatan arus dan ukuran butiran sedimen. Semakin besar ukuran butiran sedimen tersebut maka kecepatan arus yang dibutuhkan juga akan semakin besar untuk mengangkut partikel sedimen tersebut.



a merupakan kekuatan yang menentukan arah dan sebaran sedimen. ini juga yang menyebabkan karakteristik sedimen berbeda sehingga pada ngai disusun oleh berbagai kelompok populasi sedimen. Secara umum

partikel berukuran kasar akan diendapkan pada lokasi yang tidak jauh dari sumbernya, sebaliknya partikel yang berukuran halus akan lebih jauh dari sumbernya (Daulay dkk, 2014). Adanya sedimen kerikil menunjukkan bahwa arus pada daerah itu arus relatif kuat sehingga sedimen kerikil umumnya ditemukan pada daerah terbuka, sedangkan sedimen lumpur terjadi akibat arus yang tenang dan dijumpai pada daerah dimana arus terhalang (Munandar dkk, 2014).

2.8 Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin yang bertiup di atas permukaan laut merupakan pembangkit arus dan juga pembangkit utama gelombang. Ada dua istilah untuk menggambarkan gelombang di laut yaitu "*Sea wave*" dan "*Swell*". *Sea wave* merupakan gelombang laut yang masih berada di dalam pengaruh angin dan bentuknya sangat tidak teratur sedangkan *swell* adalah gelombang yang lebih panjang dari *sea wave* dan sudah keluar dari pengaruh angin serta bentuknya sudah teratur. *Swell* dibentuk oleh gelombang gelombang frekuensi atau panjang gelombangnya hampir sama (Wiyandi, 2022).

Tenaga angin memberikan pengaruh terhadap arus permukaan (atas) sekitar 2% dari kecepatan angin itu sendiri. Sedangkan kecepatan arus ini akan berkurang sesuai dengan makin bertambahnya kedalaman perairan sampai pada akhirnya angin tidak berpengaruh pada kedalaman 200 meter (Wiyandi, 2022).

2.9 Baku Mutu

Menurut UU No. 32 Tahun 2009, baku mutu lingkungan hidup adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemaran yang ditenggang keberadaannya dalam suatu sumber daya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup.

Untuk mengetahui terjadinya pencemaran pada suatu sedimen, maka hasil analisis yang telah dilakukan terhadap kadar logam berat selanjutnya dibandingkan

aku mutu logam berat pada sedimen berdasarkan *Swedish Environmental Agency* (SEPA, 2002) yang dapat dilihat pada tabel berikut.



Tabel 1 Baku Mutu Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen

Substance	Little/none	Moderate	Large	Very Large
Arsenic	<7	7 – 35	35 – 175	>175
Cadmium	<0.15	0.15 – 0.8	0.8 – 4	>4
Chromium	<45	45 – 230	230 – 1200	>1200
Lead	<25	20 – 125	125 – 625	>625
Cobalt	<15	14 – 70	70 – 350	>350
Copper	<30	30 – 140	140 – 700	>700
Nickel	<30	30 – 160	160 – 800	>800
Zinc	<100	100 – 500	500 – 2500	>2500
Mercury	<0.2	0.2 – 0.85	0.85 – 4.25	>4.25
Vanadium	<60	60 – 300	300 – 1500	>1500

Sumber: Swedish Environmental Protection Agency (SEPA, 2002)

2.10 Indeks Penilaian Pencemaran Logam Berat

Harikumar (2010) dalam Aprilia (2021) menjelaskan bahwa kriteria umum untuk mengevaluasi logam berat pencemaran dalam sedimen adalah dengan geoakumulasi index (Igeo). Konsep ini pertama kali didefinisikan oleh Muller pada tahun 1979 untuk menentukan kontaminasi logam dalam sedimen, dengan membandingkan konsentrasi saat ini dengan nilai acuan sehingga dapat menentukan klasifikasi kualitas sedimen berdasarkan kelasnya. Ige dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 \times B_n)] \quad (1)$$

Dimana C_n merupakan konsentrasi logam n dalam sampel sedimen dan B_n merupakan konsentrasi logam n dalam sedimen latar atau nilai acuan

Tabel 2 Nilai Latar Logam

Logam	Background ($\mu\text{g/g}$)
Al	80.000
Fe	47.200
Cr	90
Cd	0,3
Cu	45
Mn	850
Ni	68
Pb	20

Karl. K, 1961

alam Muller (1979) memiliki tujuh kelas geoakumulasi yang disajikan bel. sebagai berikut.



Tabel 3 Klasifikasi Geoakumulasi Indeks

Igeo Value	Kelas	Kualitas Sedimen
<0	0	Tidak tercemar
0-1	1	Tidak tercemar hingga tercemar sedang
1-2	2	Tercemar sedang
2-3	3	Tercemar sedang hingga sangat tercemar
3-4	4	Sangat tercemar
4-5	5	Sangat tercemar hingga ekstrim tercemar
≥ 6	6	Ekstrim tercemar

Sumber: A. Hayton, 1993

2.11 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)

Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) adalah gabungan dari 2 metode yaitu *inductively coupled plasma* dan spektometri massa. ICP-MS adalah teknik analisis yang digunakan untuk deteksi dari *trace metals* dalam sampel lingkungan pada umumnya. Prinsip utama dalam penentuan elemen adalah pengatomisasian elemen sehingga memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu yang kemudian dapat diukur (Edihar dan Aswan, 2015).

Energi yang ditimbulkan oleh plasma menyebabkan electron terluar dari atom atau ion logam akan berpindah ke lintasan energi yang lebih tinggi dengan menyerap energi dari plasma. Saat kembali ke kondisi energi terendah *ground state* terjadi pelepasan energi berupa cahaya, dimana intensitas cahaya yang dipancarkan sebanding dengan konsentrasi elemen logam yang diukur (Andriyani, 2013).

2.12 Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik adalah model yang dikontrol dengan komputasi numerik. Banyak jenis model numerik yang telah berkembang hingga saat ini, salah satunya adalah MIKE 21.

MIKE 21 merupakan *software* yang berisi pemodelan komprehensif untuk program komputer dengan *2D free-surface flows*. Program yang dikembangkan oleh *DHI Water & Environment* ini dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika di danau, sungai, estuari, teluk, pantai dan laut.



a. Modul Hidrodinamika (HD)

Modul HD merupakan modul dasar dari MIKE 21. Model aliran yang menyediakan dasar hidrodinamika untuk komputasi modul hidrolika lingkungan. Model ini digunakan untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya seperti kondisi angin tertentu dan muka air (Sakinah, 2016). Simulasi model hidrodinamika pada model harus dilakukan untuk mendapatkan gambaran akan kondisi sebaran sedimen yang terjadi. Untuk itu, beberapa persamaan yang mendasari pergerakan massa air tersebut dapat dilihat pada persamaan di bawah ini;

Persamaan yang digunakan untuk melakukan analisa hidrodinamika dengan MIKE 21 adalah (Sakinah, 2016):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \quad (4)$$

Dimana:

$h(x,y,t)$	= kedalaman perairan (m)
$d(x,y,t)$	= variasi kedalaman air terhadap waktu (m)
$\zeta(x,y,t)$	= <i>surface elevation</i> (m)
$p,q(x,y,t)$	= <i>flux density</i> pada arah -x dan -y ($m^3/s/m$) = (uh,vh); (u,v) = rata-rata kecepatan di tiap kedalaman
$c(x,y)$	= koefisien resistan Chezy (m/s)
g	= percepatan gravitasi (m/s^2)
$f(V)$	= faktor friksi angin
$V, V_x, V_y(x,y,t)$	= kecepatan angin pada -x dan -y (m/s)
$\Omega(x,y)$	= parameter Coriolis, bergantung pada latitude (s-1)
$P_a(x,y,t)$	= tekanan atmosfer (kg/m^2)
ρ_w	= densitas air (kg/m^3)
x,y	= koordinat ruang (m)
t	= variabel waktu (s)
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	= komponen <i>shear stress</i> efektif



Dimana persamaan (2) adalah persamaan kontinuitas, dan persamaan (3) dan (4) adalah persamaan momentum terhadap x dan terhadap y (Sakinah, 2016).

Pemodelan arus yang merupakan parameter kunci karena bahan kimia yang masuk dibawa oleh arus. Elevasi muka air akibat pasang surut sangat penting untuk diketahui. Informasi pasang surut digunakan sebagai input data untuk model pola arus dan transport sediment.

b. MIKE 21 Ecolab

MIKE Ecolab adalah metode numerik untuk pemodelan ekologi. Pemodelan ekologi yang dapat dimodelkan oleh ECO Lab adalah kualitas air, eutrofikasi, logam berat, dan ekologi secara umum. Template MIKE Ecolab menggambarkan proses fisika, kimia, dan biologi yang terkait dengan masalah lingkungan dan polusi air. Berikut ini merupakan penjelasan *heavy metal template*.

Template logam berat digunakan dalam investigasi penyebaran logam berat dan potensi akumulasi dalam sedimen. Selain itu, itu disini juga menggambarkan adsorpsi/desorpsi logam terhadap materi tersuspensi, sedimentasi logam yang terserap ke dasar perairan, serta resuspensi logam yang mengendap. Sejumlah nilai turunan dihitung, misalnya konsentrasi total logam di dalam air dan di dalam sedimen dasar (jumlah logam terlarut dan teradsorpsi). Hasil model adalah konsentrasi logam berat terlarut, logam yang teradsorpsi, dan material tersuspensi di dalam air dan logam terlarut di perairan interstisial sedimen dasar, logam yang teradsorpsi pada partikel-partikel di dalam sedimen dasar, dan ketebalan lapisan sedimen (DHI, 2014).

Di dalam sedimen, kondisi adsorpsi sangat berbeda dengan kondisi fase air, karena perbedaan konsentrasi partikel. Oleh karena itu, konsentrasi logam berat dalam air pori sedimen akan berbeda dengan konsentrasi kolom air yang menghasilkan transportasi difusif antara sedimen dan air. Ini adalah salah satu anisme dimana logam berat diangkut dari sedimen.



Persamaan diferensial menjelaskan proses transformasi biologis dan kimia yang mempengaruhi variabel keadaan dalam suatu ekosistem untuk setiap variabel keadaan MIKE Ecolab (DHI, 2014).

$$P_c = \frac{dc}{dt} = \sum_{i=1}^n process_i \quad (5)$$

Dimana:

c = Konsentrasi variabel MIKE Ecolab
 n = Jumlah proses
 process = persamaan seperti fungsi matematika, konstanta, dll

Dinamika advectif dari variabel dasar Ecolab dapat diketahui dengan persamaan transportasi berikut:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + S_c + P_c \quad (6)$$

Dimana:

u, v, w = Komponen kecepatan
 D_x, D_y, D_z = Koefisien dispersi
 S_c = *source* dan *sink*

Sehingga, persamaan transportasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = AD_c + P_c \quad (7)$$

Dimana:

AD_c = Angka perubahan konsentrasi akibat adanya adveksi (berdasarkan hidrodinamika) dan dispersi (termasuk *source and sink*)

Selain itu, Ecolab juga menyelesaikan permasalahan dengan menggunakan persamaan yang menjelaskan proses perubahan senyawa dalam perairan karena adanya interaksi fisika, kimia, dan biologi (DHI, 2014):

Konsentrasi logam berat yang pada sedimen

$$\underline{s} = adsorption - desorption + sedimentation - resuspension \text{ (g/m}^2\text{)} \quad (8)$$



Adsorpsi

Laju adsorpsi dan desorpsi diasumsikan relatif berhubungan satu sama lain sesuai dengan koefisien partisi untuk logam yang bersangkutan.

$$Ads = K_a \times K_{ds} \times SMHS \times \frac{XSED}{dzs \times Pors} \quad (9)$$

Dimana:

- K_a = Laju adsorpsi ($m^3/g/d$)
- K_{ds} = Koefisien partisi untuk logam antara partikel dan air
- SHMS = Logam berat yang menyerap pada sedimen (g/m^2)
- XSED = Massa sedimen (mg/kg)
- dzs = Ketebalan sedimen (m)
- Pors = Porositas sedimen

Desorpsi

Logam berat yang teradsorpsi dalam sedimen dapat didesorpsi dari fase teradsorpsi ke fase terlarut dalam air.

$$desa = k_s \cdot X_{HMS} \quad (g/m^2) \quad (10)$$

Dimana:

- k_s = Laju desorpsi dalam sedimen (d)⁻¹
- X_{HMS} = Logam berat yang teradsorpsi dalam sedimen (g/m^2)

Sedimentasi

Sedimentasi padatan tersuspensi digambarkan dengan kecepatan pengendapan.

$$sed = vsm \cdot X_{HM} \quad (g/m^2) \quad (11)$$

Dimana:

- vsm = Kecepatan pengendapan SS (m/d)
- X_{HM} = Konsentrasi logam berat yang teradsorpsi di dalam air (g/m^3)

Resuspensi



um berat yang terserap dalam sedimen apat disuspensikan kembali jika n tersuspensi terbawa di kolom air. Hal ini dapat terjadi jika kecepatan melebihi nilai kritis.

if ($cspd > ucrit$):

$$resa = \frac{resrat \cdot X_{XES}}{X_{SED}} \quad (\text{g/m}^2) \quad (12)$$

Dimana:

$cspd$ = Kecepatan arus disesuaikan untuk penumpukan sedimen (m/s)

$ucrit$ = Kecepatan arus kritis untuk resuspensi SS

$resrat$ = Laju resuspensi SS ($\text{g/m}^2/\text{hari}$)

X_{XES} = Xenobiotik yang teradsorpsi dalam sedimen (g/m^2)

X_{SED} = Massa sedimen (g/m^2)

2.13 Validasi Model

Validasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana model mendekati kondisi yang sebenarnya. Perhitungan akurasi memakai hasil model, kemudian dibandingkan dengan data yang dimiliki (Sakinah, 2016).

Terdapat dua validasi yang dilakukan untuk pemodelan sebaran logam berat pada sedimen, ini karena pemodelan menggunakan dua modul MIKE 21, yaitu modul hidrodinamika dan modul Ecolab. Validasi model pada modul hidrodinamika menggunakan data pasang surut. Sedangkan validasi model Ecolab menggunakan data primer logam berat yang merupakan sampel dari lapangan.

Salah satu metode dalam validasi model yaitu *Root Mean Square Percent Error* (RMSPE). RMSPE adalah persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung nilai error model dengan presentase dibawah 50% yang diperbolehkan atau dengan kata lain model dapat diterima dan digunakan (Rahmi, 2022). Adapun persamaan dari metode RMSPE dapat dilihat pada persamaan (13).

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\sum_{n=1}^n \frac{S-A}{A} \right]} \times 100\% \quad (13)$$

Keterangan:

S = Nilai simulasi

A = Nilai aktual

n = Jumlah pengamatan



2.14 Penelitian Terdahulu

Tabel 4 Penelitian Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian

No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1.	Witianty Putri Aprilia (2021)	Skripsi, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta	Analisis Logam Berat dalam Sedimen Berdasarkan <i>Geoaccumulation Index</i> (Igeo) di Sungai Winongo, D.I Yogyakarta	Penelitian menggunakan <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS) untuk menganalisis konsentrasi logam berat, sedangkan metode yang digunakan dalam penentuan status tingkat pencemaran logam berat dalam sedime Sungai Winongo yaitu berdasarkan <i>Geoaccumulation Index</i>	Hasil perhitungan indeks geoakumulasi menunjukkan bahwa kualitas sedimen pada lokasi pengamatan dalam tingkat pencemaran tidak tecemar oleh Al, Cr, Fe, Mn, dan Ni, tidak tercemar hingga sangat tercemar oleh Cd, tidak tercemar hingga tercemar sedang oleh Cu dan Pb. Logam berat dapat berasal dari proses alami erosi dan adanya aktivitas Gunung Merapi. kegiatan antropogenik dapat menjadi penyumbang pencemaran logam berat dalam sedimen Sungai.



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
2.	Muhammad Faldi Garvano, Siddhi Saputro, Hariadi (2017)	Jurnal Oseanografi, Universitas Diponegoro	Sebaran Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen Dasar di Sekitar Perairan Muara Sungai Waridin, Kabupaten Kendal	Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif karena data yang digunakan berdasarkan angka – angka yang dianalisis.	Berdasarkan hasil penelitian diperoleh konsentrasi Pb tertinggi pada sedimen terletak di dekat kawasan mangrove dengan nilai 9,339 mg/kg, dan konsentrasi Pb terendah pada sedimen yang terletak di Muara Sungai Waridin dengan nilai 4,709 mg/kg. Berdasarkan hasil analisis ukuran butir, jenis sedimen pada Perairan Muara Sungai Waridin didominasi oleh jenis pasir lanauan.
3.	Alfariza Namira Sari	Skripsi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel	Pola Sebaran Bahan Pencemar Organik dari Limbah Perikanan dan Dampaknya	Penentuan titik lokasi pengambilan data primer dilakukan dengan Metode purposive sampling. Data primer yang diambil meliputi sampel	Pola sebaran bahan pencemar pada sekitar Muara Sungai Wancir dipengaruhi oleh arus permukaan pada perairan yang membawa bahan pencemar organik dari arah muara ke



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
			Terhadap Makkrozoobentos di Muara Sungai Kecamatan Watulimo, Trenggalek, Jawa Timur	bahan pencemar organik, BOD serta TSS, kualitas perairan, dan makrozoobentos. Analisis pola sebaran bahan pencemar dilakukan menggunakan software MIKE21 Ecolab.	arah perairan lepas. Tingkat kelimpahan makrozoobentos pada Muara Sungai Pancer Tengah memiliki nilai rata-rata kelimpahan yang lebih tinggi yaitu 2208 ind/m ³ dibandingkan Muara Sungai Wancir dengan nilai rata-rata kelimpahan adalah 542 ind/m ³ . Tidak ada korelasi antara kelimpahan makrozoobentos dengan Nitrat, Fosfat, BOD dan TSS pada lokasi penelitian.
4.	Patang, Subari Yanto, Andi (2018)	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi,	Bioavailabilitas dan Dampak Eutrofikasi Terhadap Tingkat Pencemaran Timbal dan Kadmium di	Desain penelitian ini adalah explanatory research yang merancang penelitian untuk mendapat kejelasan tentang kondisi logam timbal Pb dan Cd	Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa yang mempengaruhi kualitas air di Pantai Losari yaitu Sungai Jeneberang yang terletak di Bagian Selatan Kota



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
	Universitas Negeri Makassar	Pantai Kota Makassar		di dalam air, sedimen dan ikan di perairan pesisir pantai Kota Makassar yang di mulai dari Hulu dan Muara Sungai Tallo di sebelah Utara, Pantai Losari di bagian pusat kota sampai pada bagian Selatan Kota Makassar yaitu Hulu dan Muara Sungai Jeneberang.	Makassar, pencemaran kadmium belum membahayakan baik pada air, sedimen maupun pada organisme ikan, sedangkan pada kandungan Pb sudah tahap yang membahayakan. Selanjutnya, untuk Sungai Tallo baik kadmium maupun Pb sudah berada pada ambang yang membahayakan, baik terhadap air, sedimen maupun organisme ikan. Untuk proses eutrofikasi menunjukkan kedua sungai ini sudah mengalami eutrofikasi yang tinggi. Kualitas air pada kedua sungai yang diteliti masih dalam batas yang disarankan.



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
5.	Despri Setya Rumoey, Nur Asia Umar, Hadijah (2022)	Buku, Universitas Bosowa Makassar	Pencemaran Logam Berat pada Ekosistem Perairan	Sampel uji yang telah diambil yaitu air dan kerang diperiksa di Laboratorium Balai Besar Hasil Industri Perkebunan Makassar menggunakan metode AAS (Atomic Absobtion Spectrophotometer) dimana prinsip kerja untuk metode AAS adalah suatu teknik dimana analisis unsur yang didasarkan pada absorbs sinar oleh atom bebas.	Berdasarkan analisis logam berat pada air ditemukan bahwa kandungan logam berat diperairan Sungai Tallo Makassar diatas ambang rata-rata baik pasang maupun surut dari semua stasiun baik stasiun A (Sungai), B (Muara), dan C (Pantai). Olehnya itu tidak disarankan untuk dilakukan kegiatan budidaya dan mengkonsumsi biota perairan dalam hal ini kerang secara berebihan dan terus menerus.
6.	Nurgitarini lin, fur, (2022)	<i>Window of Public Health Journal</i>	Bioakumulasi Logam Berat (Pb) dan (Cd) Pada Kerang Hijau, Air, dan Sedimen	Penelitin ini menggunakan penelitian observasional dengan pendekatan laboratorium untuk mengetahui bioakumulasi logam	Hasil pengukuran konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada kerang hijau di Sungai Tallo berkisar 0.0022-0.0035 mg/L. Sedangkan



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada kerang hijau, air sungai dan sedimen di Sungai Tallo Kota Makassar.	logam berat timbal (Pb) pada kerang hijau di Sungai Tallo berkisar 0.0160-0.0679 mg/L. Dimana hasil konsentrasi ini memenuhi syarat yang ditetapkan SNI No. 7387:2009. Hasil pengukuran konsentrasi logam berat kadmium (Cd) pada sedimen di Sungai Tallo berkisar 0.0224-0.0256 mg/L. Logam berat timbal (Pb) pada sedimen di Sungai Tallo berkisar 4.2704-4.9720 mg/L. Dimana hasil konsentrasi logam berat pada sedimen tidak memenuhi syarat yang ditetapkan <i>Enviromental Protection Agency</i> (USEPA) Tahun 2000.



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
7.	Rijun hu, Longhai Zhu, Xiadong Zhang, X-d Yuan (2022)	<i>Research Article, Environmental Science and Pollution Research</i>	Distribusi dan Pengangkutan Logam Berat dalam Sedimen Permukaan Laut Chengbei di Laut Bohai	Pertama, konsentrasi dan distribusi Cu, Zn, Cd, Cr, dan Pb di Laut Chengbei dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), dan status pencemaran sedimen dinilai menggunakan Geoakumulasi Indeks (Igeo). Kemudian, distribusi dan transportasi logam berat dibahas dari perspektif dinamika sedimen	Temuan menunjukkan bahwa Laut Chengbei memiliki tingkat pencemaran logam berat yang rendah, tetapi status pencemaran sedimen Cd memerlukan perhatian lebih lanjut. Transpor sedimen dan arus pasut adalah proses dinamis jangka panjang. Untuk mengontrol kualitas sedimen di laut Chengbei, pemantauan transpor sedimen dan arus harus diperketat.
8.	Sutarno Eko Arvianto, Alfi entur)	Jurnal Oseanografi, Universitas Diponegoro	Pengaruh Arus Terhadap Sebaran Sedimen Tersuspensi di Muara Sungai	Metode penelitian yang digunakan merupakan metode kuantitatif karena data penelitian berupa angka dan analisa menggunakan statistik atau	Nilai konsentrasi sedimen tersuspensi lebih tinggi ketika menuju pasang dan nilai tertinggi terjadi di daerah muara sungai atau mendekati daratan serta semakin



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
			Silugonggo Kabupaten Pati	model. Metode penentuan lokasi menggunakan <i>purposive sampling method</i> , yaitu pengambilan data hanya di beberapa titik yang dianggap mewakili keadaan daerah kajian.	kecil jika menjauhi daratan. Nilai kecepatan arus rata-rata yang terjadi tiap kedalaman sebesar 0,393 m/s pada 0,2d, 0,122 m/s pada 0,6d dan 0,101 m/s pada 0,8d. Pola arus yang terjadi di Perairan Silugonggo ketika menuju pasang didominasi arah barat laut dan ketika menuju surut ke arah barat daya.
9.	Melisa Suryani, Nursal, Elya Febrita (2018)	Jurnal Universitas Riau	Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada <i>Anadara Granosa</i> Di Pantai Nongsa Kota Batam	Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif, dimana pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode survei. Penentuan stasiun pengamatan dilakukan secara <i>purposive random sampling</i> yang artinya penentuan stasiun	Kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) di perairan Pantai Nongsa Kota Batam menunjukkan nilai yang berbeda. Nilai kandungan logam berat Pb pada <i>Anadara granosa</i> cenderung lebih rendah dibandingkan dengan kandungan logam berat Pb pada air



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				dilakukan dengan pertimbangan laut dan sedimen. Sedangkan aktivitas-aktivitas dan vegetasi kandungan logam berat Cd pada di wilayah pesisir Kecamatan Nongsa, setelah itu pada setiap stasiun ditentukan tiga titik sampling secara acak.	Sedangkan kandungan logam berat Cd pada <i>Anadara granosa</i> cenderung lebih tinggi dibandingkan kandungan logam berat Cd pada air laut dan sedimen.
10.	Syahminan, Etty Riani, Syaiful Anwar, Rifardi (2015)	Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan	Telaahan Logam Berat Pb Dan Cd Pada Sedimen di Perairan Barat Laut Dumai – Riau	Penelitian dibagi menjadi sembilan titik sampling menggunakan metode <i>purposive sampling</i> yang dianggap dapat mewakili daerah penelitian dengan pola sistematis garis tegak lurus menghadap pulau rupa. Pengambilan sampel sedimen dilakukan satu kali pada masing-masing titik sampling dengan <i>gravity core</i> .	Konsentrasi logam berat Pb dan Cd pada sedimen lingkungan perairan Barat Laut Dumai masih layak untuk kehidupan organisme perairan serta memiliki status pencemaran berada dibawah standar baku mutu yang ditetapkan oleh beberapa negara.



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
11.	Huda Bachtiar, Franto Novico, Fitri Riandini (2007)	Jurnal Kementerian Pekerjaan Umum dan ESDM	Model Sederhana 2-Dimensi Arah Pergerakan Sedimen di Sungai Porong Jawa Timur	Model numerik yang dibangun menggunakan software MIKE 21 2D yang akan memodelkan kondisi pergerakan sedimen di Sungai Porong berdasarkan kondisi hidrodinamika aliran sungai tersebut. Dengan asumsi bahwa sedimen kohesif tersebut terlarut di dalam air sehingga akan terpengaruh oleh pergerakan massa air (hidrodinamika) Sungai Porong.	Perbedaan dua skenario simulasi mempengaruhi kecepatan penyebaran, berdasarkan “sampling point” tanggal 27 November jam 01.0 konsentrasi sedimen 0.004368 kg/m ³ sedangkan musim kemarau 0.000206 kg/m ³ . Dengan demikian, pola penyebaran sedimen proses adveksi lebih dominan dibandingkan proses difusi.
12.	Arta Olihen analu, rawan	Jurnal Universitas Sumatera Utara	Kajian Laju Angkutan Sedimen Pada Sungai Wampu	Untuk menghitung laju angkutan sedimen menggunakan metode Yang’s, Engelund and Hansen, Shen and Hung. Untuk	Berdasarkan hasil analisa yang menyebabkan metode Engelund and Hansen lebih baik dari metode lainnya dipengaruhi oleh beberapa



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
				menghitung kedalaman sungai digunakan metode pendekatan Einstein. Metode angkutan sedimen yang dipakai untuk perhitungan muatan sedimen sungai adalah metode Engelund and Hansen.	faktor. Salah satu faktor yang membedakan perhitungan metode Engelund and Hansen dengan metode lainnya adalah bahwa dalam perhitungannya metode Engelund and Hansen menggunakan tegangan geser 0 dan parameter q_s , yaitu muatan sedimen per meter lebar sungai.
13.	Achmad Syarifudin dan Eka Puji Agustini (2015)	Penelitian Hibah Fundamental, Universitas Bina Darma	Analisis Pergerakan Sedimen Sungai Musi dengan Program Mike-21 <i>Flow Model</i>	Penelitian menggunakan simulasi program MIKE-21 FM	Hasil penelitian dengan menggunakan perangkat lunak program MIKE-21 Flow Model menunjukkan ketinggian air dari ambang luar sampai dengan alur pelayaran sungai Musi. Elevasi permukaan ambang luar sungai Musi berkisar antara 0,20 m – 0,40 m, hal



No	Sumber	Jenis Penelitian	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
					ini akan berdampak terhadap daerah bebas bagi kapal untuk melakukan pergerakan secara baik dan aman.
14.	Herlambang AR, I Gede Hendrawan, I Dewa Nyoman NP (2016)	Jurnal Kelautan, Universitas Udayana	Studi Transpor Sedimen Di Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik	Metode yang digunakan dalam pengujian sampel air dilakukan berdasarkan prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) No 06-6989.3-2004 tentang cara uji padatan tersuspensi secara gravimetri. Model yang digunakan dalam membuat simulasi transport sedimen ini adalah <i>Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM)</i>	Pola transpor sedimen yang terdapat di teluk benoa akan mengikuti bentuk dari pola arusnya. Kecepatan arus yang cukup tinggi pada daerah teluk diduga membuat gesekan terhadap lapisan sedimen yang terdapat di dasar sehingga membuat sedimen di daerah mulut teluk cukup tinggi yang mencapai 100 mg/L.

