

**BIOKONSENTRASI LOGAM TIMBEL (Pb) DI SEDIMEN
OLEH AKAR MANGROVE (*Rhizophora mucronata*)
DI MUARA SUNGAI TALLO KOTA MAKASSAR**

SKRIPSI

DEA ANDRIANI ORIZA

L011 19 1073



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**BIOKONSENTRASI LOGAM TIMBEL (PB) DI SEDIMEN
OLEH AKAR MANGROVE (*Rhizophora mucronata*)
DI MUARA SUNGAI TALLO KOTA MAKASSAR**

**DEA ANDRIANI ORIZA
L011 19 1073**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

**BIOKONSENTRASI LOGAM TIMBEL (Pb) DI SEDIMEN OLEH AKAR
MANGROVE (*Rhizophora mucronata*) DI MUARA SUNGAI TALLO
KOTA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh

DEA ANDRIANI ORIZA

L011 19 1073

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Studi S1 Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin pada tanggal 10 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama

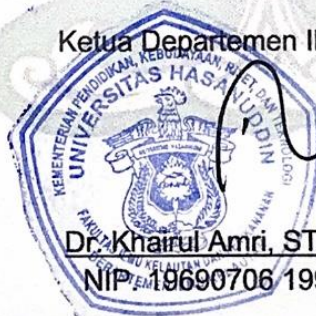
Pembimbing Anggota

Dr. Ir. Muhammad Farid Samawi, M.Si
NIP. 19650810 199103 1 006

Dr. Wasir Samad, S.Si., M.Si
NIP. 19721123 200604 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Ilmu Kelautan



Dr. Khairul Amri, ST., M.Sc.Stud
NIP. 19690706 199512 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dea Andriani Oriza
NIM : L011191073
Program Studi : Ilmu Kelautan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa Skripsi dengan Judul :

**“Biokonsentrasi Logam Timbel (Pb) di Sedimen oleh Akar Mangrove
(*Rhizophora mucronata*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar”**

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

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

Makassar, 10 Juli 2023

Yang Menyatakan,



Dea Andriani Oriza
L011 19 1073

PERNYATAAN AUTHORSHIP

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dea Andriani Oriza
NIM : L011191073
Program Studi : Ilmu Kelautan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa publikasi sebagian atau keseluruhan isi Skripsi pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai *author* dan Universitas Hasanuddin sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya dua semester (satu tahun sejak pengesahan Skripsi) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan Skripsi ini, maka pembimbing sebagai salah seorang dari penulis berhak mempublikasinya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikutkan.

Makassar, 10 Juli 2023

Mengetahui,

Ketua Departemen Ilmu Kelautan



Dr. Khairul Amri, ST., M.Sc.Stud
NIP. 19690706 199512 1 002

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dea Andriani Oriza', written over a white background.

Dea Andriani Oriza
L011 19 1073

ABSTRAK

DEA ANDRIANI ORIZA L011 19 1073. “Biokonsentrasi Logam Timbel (Pb) di Sedimen oleh Akar Mangrove (*Rhizophora mucronata*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar” dibimbing oleh **MUHAMMAD FARID SAMAWI** sebagai Pembimbing Utama dan **WASIR SAMAD** sebagai Pembimbing Anggota.

Kegiatan masyarakat di sekitar Muara Sungai Tallo seperti industri, perdagangan dan transportasi dapat menghasilkan limbah seperti logam berat yang dapat menyebabkan ekosistem di sekitar perairan tersebut tercemar. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui konsentrasi logam Pb pada sedimen dan akar mangrove (*Rhizophora mucronata*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar; (2) mengetahui biokonsentrasi logam Pb pada akar mangrove (*Rhizophora mucronata*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar. Penelitian dilakukan dari bulan November 2022 – Maret 2023. Analisis logam Pb menggunakan ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*) di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi logam Pb pada sedimen berkisar 4.89 – 10.95 mg/kg. Konsentrasi logam Pb pada sedimen masih dibawah baku mutu yang ditentukan oleh ANZECC dan ARMCANZ (2000) yaitu 50 mg/kg. Sedangkan konsentrasi logam Pb pada akar mangrove berkisar 0.27 – 0.59 mg/kg. Berdasarkan faktor biokonsentrasi (BCF), kemampuan *Rhizophora mucronata* dalam mengakumulasi logam Pb termasuk excluder (akumulatif rendah).

Kata Kunci : Logam Timbel (Pb); Sedimen; Akar; BCF; *Rhizophora mucronata*.

ABSTRACT

DEA ANDRIANI ORIZA L011 19 1073. "*Bioconcentration of Lead Metal (Pb) in Sediments by Mangrove Roots (Rhizophora mucronata) in the Tallo River Estuary, Makassar City*" supervised by **MUHAMMAD FARID SAMAWI** as Main Advisor and **WASIR SAMAD** as Member Advisor.

Community activities around the Tallo River Estuary such as industry, trade and transportation can produce waste such as heavy metals that can cause the ecosystem around the waters to be polluted. This study aims to (1) determine the concentration of Pb metal in sediment and mangrove roots (*Rhizophora mucronata*) at the Tallo River Estuary, Makassar City; (2) determine the bioconcentration of Pb metal in mangrove roots (*Rhizophora mucronata*) at the Tallo River Estuary, Makassar City. The research was conducted from November 2022 - March 2023. Pb metal analysis using ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry) at the Makassar Health Laboratory Center. The results showed that the concentration of Pb metal in sediments ranged from 4.89 - 10.95 mg/kg. The concentration of Pb metal in the sediment is still below the quality standard set by ANZECC and ARMCANZ (2000) which is 50 mg/kg. While the concentration of Pb metal in mangrove roots ranged from 0.27 - 0.59 mg/kg. Based on bioconcentration factor (BCF), the ability of *Rhizophora mucronata* in accumulating Pb metal including excluder (low accumulative).

Keywords : Lead Metal (Pb); Sediment; Roots; BCF; *Rhizophora mucronata*.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Biokonsentrasi Logam Timbel (Pb) di Sedimen oleh Akar Mangrove (*Rhizophora mucronata*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar”. Keberhasilan penyusunan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari keterlibatan berupa doa, dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

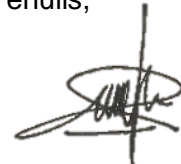
1. Orang tua tercinta, Ayahanda **H. Husaini** dan Ibunda **Hj. Lisnawati** yang selama ini memberikan doa, kasih sayang, perhatian, semangat, nasehat, dan selalu memberikan yang terbaik kepada penulis. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Abang saya **Rio Andrialis Oza**, yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Wasir Samad, S.Si., M.Si.** selaku Dosen Penasehat Akademik sekaligus dosen pembimbing pendamping yang selalu memberikan nasehat dan dukungan kepada penulis.
3. Bapak **Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Si.** selaku pembimbing utama yang selalu memberikan semangat dan saran serta berkontribusi besar untuk membantu penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Mahatma, ST., M.Sc.** dan Ibu **Dr. Widyastuti Umar, S.Kel.** selaku dosen penguji yang memberikan kritik dan saran terhadap penyusunan skripsi ini.
5. Bapak **Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D** selaku Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. Bapak **Dr. Khairul Amri, S.T., M.Sc.Stud** selaku Ketua Departemen Ilmu Kelautan. Seluruh **Dosen** dan **Staff** Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin, terima kasih atas segala pengetahuan yang telah diberikan kepada penulis selama masa studi serta telah memberikan bantuan demi kelancaran dan kemudahan penulis dalam pengurusan penyelesaian skripsi ini.
6. **Tim lapangan** Ade, Akbar, Asman, Besse, Ima, Indra, Mahdi, Nurul, Rafa, dan Yayat yang telah ikhlas meluangkan waktunya untuk membantu penulis dalam pengambilan data penelitian di lapangan.
7. **Siska Apriliani** dan **Fajar Alfatrah Ramadhan.** Sahabat seperjuangan, terima kasih telah memberikan semangat, doa, dukungan, serta mendengarkan keluh kesah penulis dari awal perkuliahan hingga selesai nya skripsi ini.
8. Teman-teman **Korps Pencinta Alam (KORPALA) Universitas Hasanuddin.**

9. Teman-teman **Marine Science 2019 (MARIANAS)** yang selalu kebersamai dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Seluruh **Keluarga Mahasiswa Jurusan Ilmu Kelautan (KEMAJIK FIKP-UH)**.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam proses penyelesaian skripsi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis sadar bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan karena masih terbatasnya pengalaman dan ilmu yang dimiliki. Tetapi penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi orang banyak dan semoga Allah SWT selalu memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada kita semua, Aamiin.

Makassar, 10 Juli 2023

Penulis,



Dea Andriani Oriza

BIODATA PENULIS



Dea Andriani Oriza, anak bungsu dari dua bersaudara lahir di Tembilahan pada tanggal 19 April 2001 dari pasangan **H. Husaini** dan **Hj. Lisnawati**. Penulis memulai pendidikan jenjang kanak-kanak di TK An-Nur pada tahun 2006. Lalu melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SDN 019 Tembilahan pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah pertama di MTsN 098 Tembilahan pada tahun 2013. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 01 Tembilahan Kota pada tahun 2016. Pada tahun 2019, melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) penulis diterima menjadi mahasiswa di Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Penulis pernah mengikuti beberapa organisasi internal Fakultas dan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Univeristas Hasanuddin. Penulis merupakan Anggota Muda dari *Marine Science Diving Club* (MSDC). Penulis mulai mengikuti UKM Korps Pencinta Alam (KORPALA) Universitas Hasanuddin pada tahun 2019 dan penulis pernah menjabat sebagai Bendahara Umum selama 2 Periode, yaitu Periode 2021 dan Periode 2022, dan sebagai Anggota Bidang Kerumahtanggaan Periode 2023. Selain itu, penulis telah menyelesaikan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik Gelombang 107 di Desa Cikoang, Desa Punaga, dan Desa Laikang, Kecamatan Manggarabombang, Kabupaten Takalar pada tahun 2021.

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, penulis melakukan penelitian yang berjudul **“Biokonsentrasi Logam Timbel (Pb) di Sedimen oleh Akar Mangrove (*Rhizophora mucronata*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar”** pada tahun 2023 dibawah bimbingan Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Si. sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Wasir Samad, S.Si., M.Si. sebagai Pembimbing Anggota.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PERNYATAAN AUTHORSHIP	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
BIODATA PENULIS	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Logam Berat	4
B. Logam Timbel (Pb).....	4
C. Sumber Logam Timbel (Pb) di Perairan	5
D. Akumulasi Logam Timbel (Pb) pada Sedimen	7
E. Peran dan Fungsi Mangrove.....	7
F. Mangrove <i>Rhizophora mucronata</i>	8
G. Akumulasi Logam Timbel (Pb) pada Akar Mangrove	9
H. Faktor Fisika-Kimia yang Mempengaruhi Daya Larut Logam	11
1. Suhu	11
2. Salinitas.....	11
3. Bahan Organik Total (BOT) Sedimen	11
4. Potensial Redoks (Eh).....	11
5. Pasang Surut.....	11
6. Kecepatan Arus.....	12
7. Ukuran Butir Sedimen	12

III. METODE PENELITIAN	13
A. Waktu dan Tempat	13
B. Alat dan Bahan	14
C. Prosedur Penelitian	15
1. Tahap Persiapan	15
2. Tahap Penentuan Stasiun	15
3. Pengambilan Sampel	15
4. Pengukuran Logam Pb pada Sedimen dan Akar Mangrove	16
5. Pengukuran Parameter Oseanografi Fisika dan Kimia	17
D. Analisis Data	20
IV. HASIL	22
A. Gambaran Umum Lokasi	22
B. Konsentrasi Logam Pb pada Sedimen	22
C. Konsentrasi Logam Pb pada Akar Mangrove <i>Rhizophora mucronata</i>	23
D. Biokonsentrasi Logam Pb pada Akar Mangrove <i>Rhizophora mucronata</i>	24
E. Parameter Oseanografi Fisika dan Kimia	24
V. PEMBAHASAN	28
A. Konsentrasi Logam Pb pada Sedimen	28
B. Konsentrasi Logam Pb pada Akar Mangrove <i>Rhizophora mucronata</i>	30
C. Biokonsentrasi Logam Pd pada Akar Mangrove <i>Rhizophora mucronata</i>	32
C. Parameter Oseanografi Fisika dan Kimia	33
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	40
A. Kesimpulan	40
B. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian	13
Gambar 2. Rata-Rata Konsentrasi Logam Pb pada Sedimen (huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada $p < 0.05$)	23
Gambar 3. Rata-Rata Konsentrasi Logam Pb pada Akar Mangrove.....	23
Gambar 4. Nilai Rata-Rata Faktor Biokonsentrasi (BCF) (huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada $p < 0.05$)	24
Gambar 5. Grafik Pasang Surut	25
Gambar 6. Grafik Kecepatan Arus Kombinasi dengan Pasang Surut.....	26
Gambar 7. Persentase Jenis Sedimen	26

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Daftar Alat yang digunakan dalam Penelitian	14
Tabel 2. Daftar Bahan yang digunakan dalam Penelitian	15
Tabel 3. Kriteria Konsentrasi BOT	18
Tabel 4. Skala Wentworth untuk Mengklasifikasi Partikel	20
Tabel 5. Interpretasi Koefisien	20
Tabel 6. Baku Mutu Logam Berat Pb pada Sedimen.....	21
Tabel 7. Nilai Rata-Rata Parameter Fisika dan Kimia	25
Tabel 8. Ukuran Butir Sedimen	27
Tabel 9. Hubungan Konsentrasi Logam Pb dengan Parameter Lingkungan	27

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai Konsentrasi Logam Pb pada Sedimen	46
Lampiran 2. Hasil Uji One Way ANOVA pada Logam Pb di Sedimen.....	46
Lampiran 3. Nilai Konsentrasi Logam Pb pada Akar Mangrove	49
Lampiran 4. Hasil Uji One Way ANOVA pada Logam Pb di Akar Mangrove.....	49
Lampiran 5. Nilai BCF (Biological Concentration Factor) Logam Pb	51
Lampiran 6. Hasil Uji One Way ANOVA Nilai BCF Logam Pb.....	51
Lampiran 7. Nilai Parameter Fisika dan Kimia	54
Lampiran 8. Data Hasil Analisis Kandungan BOT pada Sedimen	54
Lampiran 9. Hasil Uji Korelasi Person.....	55
Lampiran 10. Data Arah dan Kecepatan Arus	56
Lampiran 11. Data Pasang Surut.....	57
Lampiran 12. Data Hasil Analisis Ukuran Butir Sedimen GRADISTAT	58
Lampiran 13. Piramida Analisis Ukuran Butir Sedimen pada GRADISTAT.....	62
Lampiran 14. Dokumentasi Pengambilan Data di Lapangan.....	63
Lampiran 15. Dokumentasi Analisis Sampel di Laboratorium	64

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai Tallo merupakan salah satu sungai di Kota Makassar bagian utara yang bermuara ke Selat Makassar. Sungai ini sangat dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Hal ini terbukti bahwa air asin dapat sampai 10 km ke arah hulu. Sungai Tallo mempunyai panjang 66 km dengan luas daerah aliran sungai 417 km². Sungai ini pada musim kemarau mempunyai debit air terendah sebesar 0,7 m³ per detik (Daud, 2009). Sungai Tallo mengalami tekanan yang tinggi karena tercemar oleh limbah-limbah industri.

Pencemaran di Sungai Tallo pada umumnya berasal dari berbagai sumber, utamanya berasal dari pemukiman serta perusahaan yang membuang limbahnya ke sungai, adapun perusahaan yang terdapat di sekitar Sungai Tallo adalah rumah sakit, industri pabrik, pertambakan, pertanian, dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang pembuangan limbah cair ke perairan (Mahluddin *et al.*, 2022). Menurut Usman *et al.* (2015) mengutip dari Laporan Pelaksanaan Rencana Pengelolaan Lingkungan Hidup (RKL) dan Rencana Pemantauan Lingkungan Hidup (RPL) AMDAL Pengembangan 2014 Semester II, PLTU membuang limbah cair sebanyak 148.098 m³ per bulan dengan debit rata-rata 20,8 m³/jam. Sekitar muara Sungai Tallo terdapat pemukiman penduduk antara lain Kecamatan Tallo, Kecamatan Panakkukang, Kecamatan Biringkanaya dan Kecamatan Tamalanrea (Daud, 2009). Sungai Tallo diduga mengalirkan berbagai limbah yang dapat menimbulkan pencemaran, diantaranya adalah limbah yang mengandung logam berat.

Logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial adalah logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme, akan tetapi logam tersebut bisa menimbulkan efek racun jika dalam jumlah yang berlebihan, contohnya yaitu Zn, Cu, Fe, Mn dan lain lain sedangkan logam non esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya bahkan bersifat racun, contohnya yaitu Hg, Cd, Pb, Cr dan lain lain (Irhamni *et al.*, 2017). Keberadaan logam berat dalam badan perairan dapat berasal dari sumber alamiah yaitu pengikisan dari batu mineral, partikel logam di udara dan aktivitas dari manusia berupa buangan sisa-sisa industri ataupun dari buangan rumah tangga (Palar, 2012). Logam berat selain mencemari lingkungan perairan juga akan mengendap di dasar perairan yang mempunyai waktu tinggal (*residence time*) sampai ribuan tahun (Syaifullah *et al.*, 2018).

Logam timbel (Pb) merupakan logam berat yang tidak dapat terurai oleh proses alam. Timbel (Pb) masuk ke dalam perairan melalui pengkristalan di udara dengan

bantuan air hujan dan melalui proses modifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin. Timbel (Pb) masuk ke dalam perairan juga merupakan dampak dari aktivitas kehidupan manusia dari daratan (Jupriyati *et al.*, 2013; Wulandari *et al.*, 2018). Keberadaan logam berat timbel (Pb) dalam lingkungan baik yang berasal dari aktivitas manusia maupun dari alam dapat terakumulasi di perairan maupun terendapkan dalam sedimen membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan non organik. Timbel (Pb) merupakan logam berat non esensial yang berbahaya karena sifatnya yang akumulatif dan dapat terakumulasi di dalam jaringan organisme (Supriyantini *et al.*, 2017). Logam berat timbel (Pb) di Sungai Tallo banyak dihasilkan dari lalu lintas kapal, limbah buangan industri, dan limbah rumah tangga. Kapal memiliki peranan dalam menyumbangkan logam berat timbel (Pb) karena kapal menggunakan bahan bakar minyak dan bahan bakar minyak tersebut diberi tambahan tetraethyl yang mengandung timbel (Pb) untuk meningkatkan kualitas dari bahan bakar tersebut (Nurfadhilla *et al.*, 2020).

Salah satu tumbuhan yang mampu hidup dan berkembang di daerah pesisir adalah mangrove. Mangrove yang tumbuh di muara sungai merupakan tempat penampungan bagi limbah-limbah yang terbawa aliran sungai. Mangrove memiliki kemampuan menyerap bahan-bahan organik dan non organik dari lingkungannya kedalam tubuh melalui membran sel. Proses ini merupakan bentuk adaptasi mangrove terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim. Melalui akarnya, vegetasi ini dapat menyerap logam-logam berat yang terdapat pada sedimen maupun kolom air (Amin, 2001; Supriyantini dan Soenardjo, 2015). Mekanisme yang terjadi pada mangrove untuk mengurangi toksisitas logam berat adalah menyimpan banyak air sehingga dapat mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya. Mangrove dapat dikembangkan sebagai pengendalian pencemaran logam berat di wilayah pesisir dan dapat digunakan sebagai indikator biologis lingkungan yang tercemar logam berat serta dapat juga digunakan sebagai *pollutant trap* (Dewi *et al.*, 2018).

Upaya yang dapat dilakukan dalam pengurangan indeks pencemar khususnya logam berat pada perairan adalah dengan peningkatan konservasi ekosistem laut seperti penanaman mangrove. Salah satu jenis mangrove yang dapat menyerap kandungan logam berat adalah *Rizophora mucronata*. Mangrove jenis ini banyak hidup di wilayah muara sungai dan pesisir pantai. *Rizophora mucronata* memiliki akar penyangga, selain fungsinya untuk membantu tegaknya pohon, akar jenis ini juga dapat menahan dan memantapkan sedimen tanah, sehingga mencegah tersebarnya bahan pencemar ke area yang lebih luas (Ismail *at al.*, 2020).

Berdasarkan keberadaan timbel (Pb) di Sungai Tallo yang dapat terakumulasi di perairan maupun terendapkan dalam sedimen dan akar mangrove yang dapat menyerap

logam berat dalam sedimen maka dilakukan penelitian “Biokonsentrasi Logam Timbel (Pb) di Sedimen oleh Akar Mangrove (*Rhizophora mucronata*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar”.

B. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui konsentrasi logam timbel (Pb) pada sedimen dan akar mangrove *Rhizophora mucronata* di Muara Sungai Tallo Kota Makassar.
2. Mengetahui biokonsentrasi logam timbel (Pb) pada akar mangrove *Rhizophora mucronata* di Muara Sungai Tallo Kota Makassar.

Kegunaan dari penelitian ini yaitu dapat memberi informasi mengenai kemampuan akar mangrove dalam menyerap logam Timbel (Pb) pada sedimen di Muara Sungai Tallo Kota Makassar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Logam Berat

Logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu: Logam berat esensial adalah logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme. Akan tetapi, logam tersebut bisa menimbulkan efek racun jika dalam jumlah yang berlebihan. Contohnya yaitu: seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe), kobalt (Co), mangan (Mn), nikel (Ni) dan selenium (Se). Logam berat tidak esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat racun. Contohnya yaitu: merkuri (Hg), cadmium (Cd), timbel (Pb), kromium (Cr) dan arsen (As). Logam berat yang mencemari lingkungan, baik dalam udara, air, dan tanah berasal dari proses alami dan kegiatan industri. Proses alami dapat berasal dari bebatuan gunung berapi yang memberikan kontribusi ke lingkungan udara, air, dan tanah. Kegiatan manusia yang bisa menambah pencemaran lingkungan berupa kegiatan industri, pertambangan, pembakaran bahan bakar, serta kegiatan domestik lain yang mampu meningkatkan kandungan logam di lingkungan udara, air, dan tanah (Junita, 2013; Irhamni *et al.*, 2017).

Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar perairan. Keberadaan logam-logam ini sangat berbahaya, meskipun dalam jumlah yang kecil. Berbagai aktivitas manusia seperti penambangan logam, pelapisan dan pencampuran logam, industri minyak dan pigmen, pembuatan pestisida dan industri penyamakan kulit sangat berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung logam berat (Igwe dan Abia, 2006).

Penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya karena logam berat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara absorpsi dan kombinasi. Biota air yang hidup dalam perairan yang tercemar logam berat, dapat mengakumulasi logam berat tersebut pada jaringan tubuhnya. Semakin tinggi kandungan logam dalam perairan maka semakin tinggi pula kandungan yang terakumulasi dalam tubuh hewan tersebut (Kar *et al.*, 2008; Adhani dan Husaini, 2017).

B. Logam Timbel (Pb)

Logam berat yang berada di lingkungan dapat membahayakan makhluk hidup terutama manusia bila ikut masuk kedalam rantai makanan. Logam berat yang memberi dampak negatif terhadap kesehatan diantaranya Pb, Cd, Se, As, Cr (Manahan, 1994; Sabir *et al.*, 2016). Timbel atau lebih dikenal dengan nama timah hitam, dalam bahasa ilmiahnya dinamakan *plumbum*, dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Logam ini termasuk kedalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada Tabel Periodik unsur

kimia. Timbel (Pb) mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 (Palar, 2012).

Timbel (Pb) sifatnya lunak dan berwarna coklat 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. Bila dicampur dengan logam lain, maka akan membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya dan mempunyai kepadatan melebihi logam lain (Darmono, 1995; Adhani dan Husaini, 2017).

Kegiatan manusia seperti pertambangan, manufaktur dan pembakaran bahan bakar fosil telah mengakibatkan akumulasi timbel (Pb) dan senyawanya di lingkungan, termasuk udara, air dan tanah. Timbel (Pb) digunakan untuk produksi baterai, kosmetik, dan produk logam seperti amunisi, solder, dan pipa (Martin dan Griswold, 2009). Salah satu sumber timbel (Pb) berasal dari bahan bakar minyak dari perahu-perahu nelayan (Kadir *et al.*, 2013).

Paparan timbel (Pb) dapat terjadi selama proses pembuatan tangki, pemasangan pipa, dan peralatan lain yang membawa gas serta cairan yang bersifat korosif superkonduktor, teknologi serat optik, *magnetic resonance imaging* (MRI), dan obat-obatan *nuclear*. Tanpa disadari, timbel dapat mengkontaminasi tubuh melalui udara tercemar, timbel (Pb) yang terhirup, berkontak dengan kulit, makanan dan minuman yang tercemar, serta benda-benda mengandung timbel yang kemudian akan tertelan (Kadirvelu *et al.*, 2001).

Logam berat timbel (Pb) sangat beracun, mempunyai sifat bioakumulatif dalam tubuh organisme air, dan akan terus di akumulasi hingga organisme tersebut tidak mampu lagi mentolerir kandungan logam berat timbel (Pb) dalam tubuhnya. Karena sifat bioakumulatif logam berat timbel (Pb), maka dapat menyebabkan konsentrasi logam tersebut dalam bentuk terlarut dalam air adalah rendah dan sedimen semakin meningkat akibat proses-proses fisika, kimia, dan biologi perairan serta di dalam tubuh hewan akan meningkat sampai beberapa kali lipat (Sitorus, 2004; Saputra, 2018).

C. Sumber Logam Timbel (Pb) di Perairan

Logam timbel (Pb) dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah sebagai dampak aktivitas manusia. Secara alamiah Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Selain itu, proses korofikasi dari bantuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin yang merupakan salah satu jalur sumber logam Pb masuk kedalam badan perairan. Badan perairan yang telah kemasukan senyawa atau ion-ion Pb akan menyebabkan kematian bagi biota perairan

tersebut. Konsentrasi Pb yang mencapai 188 mg/L dapat membunuh ikan-ikan di perairan (Suharto, 2005).

Pencemaran Pb di air dapat berasal dari komponen-komponen Pb di udara yang terlarut ataupun tidak larut di dalam air seperti PbCO_3 (Suwarsito, 2009). Partikel-partikel Pb di udara berasal dari sumber-sumber lain seperti pabrik-pabrik alkil Pb dan Pb-oksida, serta pembakaran arang. Logam Pb banyak digunakan sebagai bahan pengemas, saluran air, alat-alat rumah tangga dan hiasan. Dalam bentuk oksida Pb digunakan sebagai pigmen/zat warna dalam industri kosmetik dan *glace* serta industri keramik yang sebagian diantaranya digunakan dalam peralatan rumah tangga (Gustina, 2012).

Logam Pb yang masuk ke perairan dapat melalui buangan air balas kapal. Air balas merupakan air yang dibawa oleh kapal sebagai penyeimbang dan pemberat kapal. Air balas yang dibawa suatu kapal dapat membawa logam berat dari lingkungan perairan asal dan dibuang di lingkungan yang baru. Pencemaran logam berat pada air balas juga dapat terjadi pada saat air balas berada pada tangki balas. Penggunaan baja dalam besi dan baja sebagai bahan utama pembuatan kapal masih dominan. Dari segi biaya dan kekuatan, penggunaan besi dan baja untuk bangunan kapal dan perpipaan memang cukup memadai. Tetapi besi dan baja sangat reaktif dan mempunyai kecenderungan yang besar untuk terserang korosi. Salah satu penyebab korosi pada tangki balas kapal dan perpipaan disebabkan karena adanya sentuhan langsung dengan media yang korosif dalam hal ini air laut (Anisyah *et al.*, 2016).

Pencemaran Pb terbesar berasal dari hasil pembakaran bensin yang menghasilkan komponen-komponen Pb terutama PbBrCl_2 dan $\text{PbBrCl}_2\text{PbO}$. Penggunaan senyawa Pb secara luas untuk bahan penolong dalam proses produksi bahan bakar bensin karena dapat meningkatkan nilai oktan bahan bakar sekaligus berfungsi sebagai pelumas untuk kerja antar katup untuk mencegah terjadinya ledakan saat berlangsungnya pembakaran dalam mesin (Arisandi *et al.*, 2012; Setiawan, 2014). Logam Pb yang terkandung dalam bensin ini sangatlah berbahaya, sebab pembakaran bensin akan mengemisikan 0,09 gram Pb tiap 1 km (Gustina, 2012).

Kualitas bahan bakar yang dipasarkan di Indonesia terutama di Kota Makassar menunjukkan masih mengandung logam Pb. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Regita (2021) di SPBU yang ada di Kota Makassar dan sekitarnya beberapa hasil menunjukkan masih mengandung kadar Pb dalam bahan bakar jenis premium pada 7 titik pengambilan sampel berturut-turut yaitu 0,384 mg/L; 0,131 mg/L; 0,258 mg/L; 0,258 mg/L; 0,258 mg/L; 0,258 mg/L; 0,131 mg/L dan bahan bakar jenis pertamax turbo pada 7 titik pengambilan sampel berturut-turut yaitu 0 mg/L; 0,0051 mg/L; 0 mg/L; 0,0051 mg/L; 0,0051 mg/L; 0,1316 mg/L; 0 mg/L.

D. Akumulasi Logam Timbel (Pb) pada Sedimen

Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran, *disperse*, dan kemungkinan diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut. Pengendapan logam berat disuatu perairan terjadi karena adanya anion karbonat hidroksil dan klorida. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan yang akan berikatan dengan partikel-partikel sedimen, sehingga konsentrasi logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air (Hutagalung, 1991).

Akumulasi logam berat kedalam sedimen dipengaruhi oleh jenis sedimen. Keberadaan lumpur di dasar perairan sangat dipengaruhi oleh banyaknya partikel tersuspensi yang dibawa oleh air tawar dan air laut serta faktor-faktor yang mempengaruhi penggumpalan dan pengendapan bahan tersuspensi tersebut, seperti arus dari laut. Kandungan logam berat dalam sedimen dipengaruhi oleh tipe sedimen, dengan kategori kandungan logam berat dalam lumpur > lumpur berpasir > berpasir (Amin, 2001; Baedowi, 2013). Sedimen berupa lumpur mempunyai pori-pori cukup kecil sehingga daya absorpsi cukup besar, maka logam tersebut tertahan dalam lumpur (sedimen). Ion-ion logam dalam perairan cenderung diadsorpsi oleh partikel-partikel bahan dan terdeposit di dalam sedimen dalam bentuk senyawa kompleks sulfida, hidroksida, dan karbonat yang tidak larut. Menurut Hutagalung (1991) konsentrasi logam berat tertinggi dalam sedimen berupa lumpur, tanah liat, pasir berlumpur, dan campuran dari ketiganya dibandingkan dengan yang berupa pasir murni. Hal ini sebagai akibat dari adanya gaya tarik elektro kimia partikel sedimen dengan partikel mineral, pengikatan oleh partikel organik dan pengikatan sekresi lender organisme.

Logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah kedalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen. Materi organik dalam sedimen dan kapasitas penyerapan logam sangat berhubungan dengan ukuran partikel dan luas permukaan penyerapan, sehingga konsentrasi dalam sedimen biasanya dipengaruhi ukuran partikel dalam sedimen (Wilson, 1988).

E. Peran dan Fungsi Mangrove

Mangrove sebagai vegetasi endemik yang hidup di antara transisi daerah laut dan daratan di kawasan pesisir, keberadaan hutan mangrove menjadi penting sebagai sabuk hijau bagi area pesisir dan sekitarnya. Mangrove memiliki banyak fungsi fisik, ekonomi, sosial budaya, dan lingkungan bagi masyarakat dan kawasan pesisir. Akar-akar mangrove yang kokoh dapat menangkap sedimen dan mencegah abrasi. Selain itu, mangrove dapat berperan sebagai pelindung dari gelombang pasang. Kelestarian hutan

mangrove memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan keragaman biota yang berasosiasi dengan mangrove (Khairuddin *et al.*, 2018).

Mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang mempunyai peranan penting di daerah estuari. Ekosistem mangrove memiliki tingkat produktivitas paling tinggi dibandingkan dengan ekosistem pesisir lainnya. Salah satu fungsi mangrove adalah dapat menyerap bahan organik dan anorganik yang datang dari darat menuju ke perairan (Nugrahanto *et al.*, 2014). Mangrove berfungsi untuk menyerap bahan-bahan organik dan non-organik sehingga dapat dijadikan bioindikator logam berat. Melalui akarnya, vegetasi ini dapat menyerap logam-logam berat yang terdapat pada sedimen maupun kolom air dan dapat pula berpengaruh pada mangrove itu sendiri (Dedy *et al.*, 2013).

Mangrove memiliki fungsi yang tidak sedikit diantaranya sebagai penyerap polutan, sebagai filter bagi perairan pesisir dari berbagai polutan yang datang dari daratan, mampu mengurangi tingkat polutan perairan pesisir. Polutan logam berat mampu diserap oleh hutan mangrove tanpa mangrove mengalami kerusakan sehingga disebut fitoremediator. Disamping itu mangrove juga sebagai nutrient trap dimana serasah mangrove merupakan bahan penting untuk berlangsungnya siklus unsur hara dan merupakan bahan dasar untuk kehidupan organisme yang terdapat pada ekosistem mangrove. Serasah daun mangrove pada lingkungan estuaria merupakan suatu bahan dasar nutrisi penting. Walaupun miskin nutrisi ketika jatuh dari pohon, daun-daun mangrove menjadi nutrisi yang diperlukan untuk proses – proses pengkayaan mikroba (Odum, 1993).

Mangrove mampu menanggulangi materi toksik diantaranya dengan melemahkan efek racun melalui pengenceran (dilusi), yaitu dengan menyimpan banyak air untuk mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya sehingga dapat mengurangi toksisitas logam (Supriyantini *et al.*, 2017).

F. Mangrove *Rhizophora mucronata*

Rhizophora mucronata termasuk jenis mangrove kategori pohon dengan ketinggian mencapai 27-30 m. Batang mangrove memiliki diameter 50-70 cm dengan kulit kayu berwarna gelap hingga hitam dan berubah-ubah (Sari, 2022). Memiliki akar tunjang atau akar udara, daun berwarna hijau dengan bentuk elips melebar hingga bulat panjang dengan ujung meruncing. Bunga biseksual seperti cagak pada ketiak daun, mahkota dan kelopak berjumlah 4 berwarna putih dan kuning muda. Buah berbentuk lonjong panjang hingga bulat telur seperti tongkat dengan biji tunggal. Jenis *Rhizophora mucronata* biasanya disebut sebagai bakau hitam ataupun bakau merah (Pan *et al.*, 2022).

Rhizophora mucronata merupakan salah satu jenis tumbuhan mangrove paling penting dan tersebar luas. Tumbuh optimal pada areal yang tergenang dan tanah yang kaya humus. Umumnya tumbuh dalam kelompok pada pematang sungai pasang surut dan di muara sungai, jarang sekali tumbuh pada daerah yang jauh dari air pasang surut (Fahmi *et al.*, 2021).

Salah satu jenis mangrove yang dapat menyerap kandungan logam berat di alam adalah *Rhizophora mucronata*. Mangrove jenis ini banyak hidup di wilayah muara sungai dan pesisir pantai. Mangrove *Rhizophora mucronata* dapat berperan sebagai agen bioremediasi logam berat karena dapat menyerap dan mengakumulasi logam. *Rhizophora mucronata* memiliki akar penyangga, selain fungsinya untuk membantu tegaknya pohon, akar jenis ini juga dapat menahan dan memantapkan sedimen tanah, sehingga mencegah tersebarnya bahan pencemar ke area yang lebih luas. Oleh karena itu akar mangrove jenis ini dapat lebih optimal dalam menyerap logam berat (Ismail *et al.*, 2020).

Klasifikasi *Rhizophora mucronata* berdasarkan *World Register of Marine Species* (WoRMS) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Plantae

Phylum : Tracheophyta

Class : Magnoliopsida

Order : Malpighiales

Family : Rhizophoraceae

Genus : *Rhizophora*

Species : *Rhizophora mucronata*

G. Akumulasi Logam Timbel (Pb) pada Akar Mangrove

Pada umumnya tumbuhan menyerap unsur-unsur hara yang larut dalam air maupun dari sedimen melalui akarnya (Fitter dan Hay, 1991; Kartikasari *et al.*, 2002). Mangrove mempunyai daya serap adaptasi fisiologis yang sangat tinggi serta dapat tahan terhadap lingkungan dengan suhu perairan yang tinggi, fluktuasi salinitas yang luas dan tanah yang anaerob. Salah satu faktor yang penting dalam adaptasi fisiologis tersebut adalah system pengudaraan di akar-akarnya. Spesies *Rhizophora* sp. memenuhi kebutuhan tersebut dengan akar tunjang yang mencuat sampai satu meter atau lebih di atas permukaan tanah (Soenardjo, 1999; Baedowi, 2013).

Tumbuhan mangrove mampu mengalirkan oksigen melalui akar ke dalam sedimen tanah untuk mengatasi kondisi anaerob pada sedimen tersebut. Jika logam berat memasuki jaringan, terdapat mekanisme pengambilan (*up taken*) logam berat oleh tumbuhan di lahan basah melalui penyerapan dari akar, setelah itu tumbuhan dapat melepaskan senyawa kelat, seperti protein dan glukosida yang berfungsi mengikat logam dan dikumpulkan ke jaringan tubuh kemudian ditransportasikan ke batang, daun dan bagian lainnya, sedangkan ekskresinya terjadi melalui transpirasi (Ali dan Rina., 2012).

Proses mekanisme masuknya logam berat ke dalam mangrove adalah dalam bentuk senyawa kation atau anion. Logam Pb merupakan senyawa kation karena bermuatan positif. Absorpsi logam dilakukan oleh ujung akar, penyerapan terjadi pada epidermis akar. Kemudian ion-ion tersebut bergerak menuju xilem, melalui sistem sitoplasma (simplas) bergerak dari sel ke sel. Proses penyerapan selanjutnya terjadi dua proses yaitu secara mobil ion-ion di absorpsi secara langsung ke dalam sel meristem daun yang nantinya berfungsi sebagai penyokong pertumbuhan tanaman, kemudian secara immobil ion-ion di absorpsi pada sel daun yang sudah tua, untuk nantinya digugurkan. Proses pengambilan logam Pb pada mangrove merupakan sistem transport pasif. Sistem transport pasif adalah transport yang digerakkan oleh kekuatan fisik, yaitu konsentrasi tinggi ke rendah yang terjadi di dalam sel. Setelah diabsorpsi oleh akar, logam berat akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman (Hidayati, 2013; Wulandari *et al.*, 2018).

Kemampuan akumulasi logam berat pada mangrove dapat diprediksi dengan menghitung perbandingan antara konsentrasi logam di akar dengan konsentrasi di sedimen yang dikenal dengan *Biological Concentration Factor* (BCF). BCF pada akar dihitung untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi logam pada akar yang berasal dari lingkungan (MacFarlane *et al.*, 2007). Nilai Biokonsentrasi Faktor (BCF) di dapatkan dari hasil perbandingan antara konsentrasi organisme (mangrove) dengan sedimen. Semakin tinggi nilai BCF maka semakin besar kemampuan mangrove untuk mengonsentrasikan logam dalam jaringannya. Menurut Baker (1981) kategori BCF dibagi menjadi 3 kategori yaitu kategori akumulator (akumulatif tinggi) apabila $BCF > 1$, kemudian kategori indikator (akumulatif sedang) apabila $BCF = 1$, dan kategori *excluder* (akumulatif rendah) apabila $BCF < 1$. Proses penyerapan logam berat pada akar mangrove memainkan peran penting dalam membantu untuk mengurangi polusi logam berat dan mempertahankan keseimbangan lingkungan laut. Namun, jika logam berat terakumulasi pada tingkat yang tinggi, hal ini dapat membahayakan kesehatan tanaman dan lingkungan sekitarnya.

H. Faktor Fisika-Kimia yang Mempengaruhi Daya Larut Logam

1. Suhu

Suhu mempengaruhi proses kelarutan logam berat yang masuk ke perairan, semakin rendah suhu perairan maka kelarutan logam berat pada sedimen semakin tinggi. Menurut Happy (2012) suhu air yang lebih rendah akan memudahkan logam berat mengendap ke sedimen sedangkan suhu air yang tinggi konsentrasi logam berat akan larut di air.

2. Salinitas

Salinitas dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di perairan, apabila terjadi penurunan salinitas maka akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Firmansyaf *et al.*, 2013).

3. Bahan Organik Total (BOT) Sedimen

Menurut Thomas dan Bendell Young (1998) dalam Maslukah (2013) bahan organik merupakan komponen geokimia yang paling penting dalam mengontrol pengikatan logam-logam berat dari sedimen estuari. Kandungan bahan organik berhubungan dengan ukuran partikel sedimen. Pada sedimen yang halus persentase bahan organik lebih tinggi daripada dalam sedimen yang kasar. Hal ini berhubungan dengan kondisi lingkungan yang tenang sehingga memungkinkan pengendapan sedimen halus berupa lumpur yang diikuti oleh akumulasi bahan organiknya lebih tinggi.

4. Potensial Redoks (Eh)

Eh sedimen merupakan salah satu parameter kimia sedimen untuk mengetahui adanya perpindahan elektron (e-) atau proses reduksi dan oksidasi (redoks) terhadap logam berat. Peranan nilai potensial redoks dapat menentukan mekanisme reaksi oksidasi reduksi dalam pengikatan dan pelepasan logam berat. Semakin kecil nilai potensial redoks maka konsentrasi logam berat dalam sedimen semakin besar (Najamuddin *et al.*, 2020; Effendy, 2017).

Menurut Patrick dan Delaune (1997), Eh merupakan pengukuran kuantitatif yang menunjukkan apakah suatu tanah teroksidasi atau tereduksi. Nilai potensial redoks yang positif merupakan oksidasi dengan kisaran +400 hingga +700mV dan nilai yang negatif merupakan reduksi dengan kisaran -250 hingga -300mV.

5. Pasang Surut

Pasang surut adalah suatu fenomena alam yaitu naik-turunnya permukaan air laut secara periodik sebagai akibat dari adanya gaya gravitasi benda-benda langit terutama

bulan dan matahari (Safi *et al.*, 2017). Logam berat yang masuk ke lingkungan laut melalui muara sungai akan mendapat pengaruh dari pasang surut. Pasang surut merupakan gerakan massa air secara periodik yang menimbulkan suatu arus. Gerakan arus tersebut membawa serta massa air dari muara sungai ke perairan pantai ataupun sebaliknya. Air menjadi pemersatu antar wilayah, arus yang berperan penting dalam penyebaran segala sesuatu yang terkandung di dalam perairan, dengan kondisi demikian sangat sulit untuk memutus jalur penyebaran logam berat di perairan. Hal ini kemudian menyebabkan logam berat yang berada pada badan air akan ikut terbawa bersama massa air dari muara sungai menuju perairan pantai (Rezki *et al.*, 2013). Menurut Moriarty (1988) *dalam* Cahyani *et al* (2012) menyatakan bahwa siklus pasang surut menyebabkan kuantitas logam berat pada satu satuan massa air tertentu akan menjadi menurun. Hal ini karena pergerakan air laut membawa zat-zat tersuspensi di kolom air menyebar ke berbagai arah (Indrayana *et al.*, 2014).

6. Kecepatan Arus

Arus laut diartikan sebagai pergerakan massa air yang dibangkitkan oleh tiupan angin, beda densitas atau pergerakan gelombang yang panjang. Arus laut dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah arah angin, beda tekanan air, beda densitas air, arus permukaan, *upwelling* dan *downwelling* (Irawan *et al.*, 2018).

Pada saat surut, arus bergerak dari muara sungai menuju ke laut, dan saat pasang arus bergerak dari laut menuju muara sungai dan mendesak massa air tawar dari sungai. Adanya pergerakan ini mempengaruhi pola penyebaran dan pasokan material organik yang berasal dari sungai. Pada saat air surut, massa air sungai akan lebih dominan sehingga kandungan material organik dan unsur-unsur hara di muara sungai menjadi lebih tinggi (Yin dan Harrison, 2000; Maslukah *et al.*, 2014).

7. Ukuran Butir Sedimen

Keberadaan logam dalam sedimen juga dapat dipengaruhi oleh ukuran butir sedimen. Semakin halus ukuran butir sedimen maka kandungan logam berat dalam sedimen meningkat, karena semakin kecil ukuran partikel sedimen tersebut memiliki luas permukaan yang besar dan memiliki kemampuan dalam mengikat logam berat pada sedimen akan semakin meningkat (Huang dan Lin, 2003; Felix *et al.*, 2019).