

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb), KADMIUM
(Cd), DAN MERKURI (Hg) DI KAWASAN MANGROVE KECAMATAN
MULYOOREJO, KOTA SURABAYA**

SKRIPSI



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

DISUSUN OLEH

ENGGAR MEGAN ADDINIA

H74217030

**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Enggar Megan Addinia

NIM : H74217030

Program Studi : Ilmu Kelautan

Angkatan : 2017

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul : **"Analisis Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Dan Merkuri (Hg) Di Kawasan Mangrove Kecamatan Mulyorejo, Kota Surabaya"**. Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 15 Desember 2022

Yang menyatakan,



Enggar Megan Addinia
NIM. H74217030

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi Oleh :

NAMA : Enggar Megan Addinia

NIM : H74217030

JUDUL : Analisis Logam Berat Timbal (Pb), Cadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) di Kawasan Mangrove Kecamatan Mulyorejo, Kota Surabaya.

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 13 Desember 2022

Dosen Pembimbing I



Misbakhul Munir, S.Si., M.Kes
NIP. 198107252014031002

Dosen Pembimbing II



Mauludiyah, MT
NUP. 201409003

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi Enggar Megan Addinia ini telah dipertahankan
di depan tim penguji skripsi
di Surabaya, 22 Desember 2022

Mengesahkan,
Dewan Penguji

Penguji I



Misbakhul Munir, S.Si., M. Kes
NIP. 198107252014031002

Penguji II



Mauludiyah, S.T, MT
NUP. 201409003

Penguji III



Dian Sari Maisaroh, S.Kel., M.Si
NIP. 198908242018012001

Penguji IV



Abdul Halim, SA,g . Mhi
NIP. 197012082996041001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



Abdul Hamdani, M. Pd
NIP. 19507312000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Enggar Megan Addinia
NIM : H79217030
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Ilmu Kelautan
E-mail address : enggar.megan@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul :

Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) di
Kawasan Mangrove Kecamatan Mulyorejo, Kota Surabaya

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 13 Juli 2023

Penulis



(Enggar Megan Addinia)
nama terang dan tanda tangan

ABSTRAK

ANALISIS LOGAM BERAT TIMBAL (PB), KADMIUM (CD), DAN MERKURI (HG) DI KAWASAN MANGROVE KECAMATAN MULYOREJO, KOTA SURABAYA

Oleh

Enggar Megan Addinia

Pencemaran lingkungan khususnya logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) telah berdampak luas pada kesehatan masyarakat pada umumnya. Tumbuhan mangrove memiliki mekanisme fisiologis yang dapat menyerap logam berat atau polutan lain yang berada di perairan mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi logam berat Pb, Cd, dan Hg pada air, sedimen, akar, dan daun mangrove serta untuk menganalisis kemampuan tanaman mangrove dalam mengakumulasi logam berat Pb, Cd dan Hg di kawasan Mulyorejo Surabaya. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni – Desember 2022. Pengambilan sampel dilakukan di dua stasiun dengan karakteristik yang berbeda, stasiun pertama memiliki kerapatan mangrove lebih jarang dibanding dengan stasiun kedua. Analisis logam berat menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometric* (AAS) dan *Mercury Analyst* berdasarkan standar Nasional Indonesia (SNI). Kandungan ketiga logam berat pada sampel air di kedua stasiun melebihi baku mutu KEPMEN LH No. 51 Tahun 2004 dengan nilai Pb pada air rata-rata berkisar 0,66-0,71 ppm, nilai Pb 0,49-1,01 ppm, dan nilai Hg 0,03 ppm. Kandungan logam berat kadmium (Cd) pada sampel sedimen berada pada level *tes*, yaitu tercemar ringan sedangkan kandungan logam berat timbal (Pb) dan merkuri (Hg) pada sedimen berada pada level *target* yaitu tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan. Nilai BCF (Faktor Biokonsentrasi) pada kedua stasiun tidak sampai 1, hal ini menandakan bahwa tumbuhan mangrove di kawasan Mulyorejo Surabaya bersifat *excluder*, yaitu tanaman yang secara efektif mencegah logam berat memasuki area bagian atas tanaman, namun konsentrasi logam di sekitar area perakaran masih tinggi.

Kata Kunci : timbal, kadmium, merkuri, mangrove, akumulasi, BCF

ABSTRACT

ANALYSIS OF HEAVY METALS LEAD (PB), CADMIUM (CD), AND MERCURY (HG) IN MANGROVE AREA, MULYOREJO DISTRICT, SURABAYA CITY

By

Enggar Megan Addinia

Environmental pollution, especially the heavy metals lead (Pb), cadmium (Cd), and mercury (Hg) have had a broad impact on public health in general. Mangrove plants have a physiological mechanism that can absorb heavy metals or other pollutants in mangrove waters. This study aims to analyze the concentration of heavy metals Pb, Cd and Hg in water, sediment, roots and mangrove leaves and to analyze the ability of mangrove plants to accumulate heavy metals Pb, Cd and Hg in the Mulyorejo area of Surabaya. The research was carried out from June to December 2022. Sampling was carried out at two stations with different characteristics, the first station had less dense mangroves than the second station. Heavy metal analysis using Atomic Absorption Spectrophotometric (AAS) and Mercury Analyst based on Indonesian National Standard (SNI). The content of the three heavy metals in the water samples at both stations exceeded KEPMEN LH No. quality standards. 51 of 2004 with an average Pb value in water ranging from 0.66-0.71 ppm, a Pb value of 0.49-1.01 ppm, and an Hg value of 0.03 ppm. The content of the heavy metal cadmium (Cd) in the sediment samples was at the test level, which was slightly polluted, while the heavy metal content of lead (Pb) and mercury (Hg) in the sediments were at the target level, which was not too dangerous for the environment. The BCF (Bioconcentration Factor) value at both stations was less than 1, this indicates that the mangrove plants in the Mulyorejo area of Surabaya are excluders, namely plants that effectively prevent heavy metals from entering the upper area of the plant, but the concentration of metals around the root area is still high.

Keywords: lead, cadmium, mercury, mangroves, accumulation, BCF

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Ekosistem Mangrove	4
2.1.1. Definisi Mangrove	4
2.1.2. Fungsi Ekosistem Mangrove.....	7
2.1.3. Jenis Mangrove	8
2.1.4. Struktur dan Zonasi Hutan Mangrove.....	9
2.2. Logam Berat	10
2.2.1. Definisi Logam Berat.....	11
2.2.2. Definisi Logam Berat Pb.....	12
2.2.3. Definisi Logam Berat Cd	14
2.2.4. Definisi Logam Berat Hg.....	15
2.2.5. Pencemaran Logam Berat di Perairan.....	16
2.2.6. Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Mangrove	17
2.3. Faktor Biokonsentrasi (BCF)	19
2.4. Faktor Translokasi (TF).....	20
2.5. Fitoremediasi	20

2.6.	Atomic Absorption Spektrophotometric (AAS).....	21
2.7.	Parameter Kualitas Air	22
2.8.	IADC/CEDA	25
2.9.	Penelitian Terdahulu.....	26
2.10.	Integrasi Keislaman	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		30
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.2.	Alat dan Bahan	31
3.3.	Prosedur Penelitian.....	37
3.3.1.	Penentuan Stasiun	37
3.3.2.	Pengambilan Sampel.....	39
3.3.3.	Analisis Sampel.....	41
3.3.4.	Analisis Data	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		44
4.1.	Hasil Pengukuran Logam Berat.....	44
4.1.1.	Logam Berat Timbal (Pb)	45
4.1.2.	Logam Berat Timbal (Cd).....	48
4.1.3.	Logam Berat Timbal (Hg).....	50
4.2.	Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF), dan Fitoremediasi (FTD).....	53
4.3.	Kualitas Perairan Mangrove Mulyorejo	56
4.3.1.	Suhu	56
4.3.2.	pH.....	58
4.3.3.	DO.....	59
4.3.4.	Salinitas	60
BAB V KESIMPULAN.....		62
5.1.	Kesimpulan.....	62
5.2.	Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN.....		69

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Guidelines Logam Berat dalam Sedimen Menurut IADC/CEDA (1997)	25
Tabel 1.2 Penelitian Terdahulu	26
Tabel 3.1 Alat Pengambilan Sampel	31
Tabel 3.2 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Pb pada Sedimen, Akar, dan Daun	31
Tabel 3.3 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Pb pada Air	32
Tabel 3.4 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Cd pada Sedimen, Akar, dan Daun	33
Tabel 3.5 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Cd pada Air	34
Tabel 3.6 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Hg pada Sedimen, Akar, dan Daun	34
Tabel 3.7 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Hg pada Air	35
Tabel 3.8 Parameter dan Alat yang Digunakan untuk Analisa Kualitas Air	39
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Logam Berat Pb, Cd, dan Hg	44
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan BCF, TF, dan FTD	54
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Parameter Fisika Kimia di Kedua Stasiun	56

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kontribusi Logam Berat Pada Intake Manusia (Sudarmaji dkk., 2006)	13
Gambar 1.2 Fitoremediasi (Pilon-Smits, 2005)	20
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	30
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.3 Lokasi Penelitian Stasiun 1	38
Gambar 3.4 Lokasi Penelitian Stasiun 2	39
Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Timbal Rata-Rata di Kedua Stasiun	48
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Kadmium Rata-Rata di Kedua Stasiun	50
Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Merkuri Rata-Rata di Kedua Stasiun	53
Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Suhu di Kedua Stasiun	58
Gambar 4.5 Hasil Pengukuran Parameter pH di Kedua Stasiun	59
Gambar 4.6 Hasil Pengukuran Parameter DO di Kedua Stasiun	60
Gambar 4.7 Pengukuran Parameter Salinitas di Kedua Stasiun	61

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanfaatan pesisir oleh aktivitas manusia seringkali menghasilkan limbah yang membahayakan biota laut dan dapat mengganggu pertumbuhan komunitas mangrove khususnya di muara. Polutan laut umumnya berupa minyak, sampah dan limbah. Logam berat merupakan salah satu penyebab utama kerusakan ekosistem perairan di antara limbah-limbah yang berada di lautan. Logam berat sendiri merupakan limbah dari hasil akhir industrialisasi yang paling berbahaya dan bersifat racun bagi tubuh manusia (Boran & Altinok, 2010).

Terdapat berbagai macam logam berat yang mencemari air laut, diantaranya timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg). Hal lain menyebutkan bahwa ketiga logam berat ini merupakan logam berat yang banyak ditemukan sebagai kontaminan logam berat di alam (Suhendrayatna, 2001).

Kerusakan lingkungan ini telah dijelaskan pada Q.S Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya : Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).

Arti dan interpretasi dari bagian di atas sesuai dengan situasi saat ini, dimana kerusakan darat dan laut disebabkan oleh tindakan tangan manusia, dikendalikan oleh kegembiraan dan jauh dari bimbingan alam. Allah ingin mereka merasakan beberapa akibat dari perbuatan buruk mereka dan kembali ke jalur yang benar dengan mempertahankan perilaku yang sesuai dengan fitrah mereka (Shihab, 2012).

Tafsir menurut KEMENAG Saudi Arabia tentang ayat diatas, telah terlihat kerusakan di daratan dan di lautan seperti kekeringan, minimnya hujan, banyaknya penyakit dan wabah, yang semua itu disebabkan kemaksiatan-kemaksiaan yang dilakukan oleh manusia, agar mereka mendapatkan hukuman dari sebagian perbuatan mereka di dunia, supaya mereka bertaubat kepada Allah dan kembali kepadaNya dengan meninggalkan kemaksiatan, selanjutnya keadaan mereka akan membaik dan urusan mereka menjadi lurus.

Dugaan sumber logam berat pada kawasan mangrove Mulyorejo ini adalah terdapatnya beberapa pabrik yang berada di dekat kawasan mangrove tersebut salah satunya pabrik plastik, serta beberapa petak tambak di dekat kawasan tersebut, juga pada daerah tersebut merupakan daerah dekat dengan jalan raya, sehingga emisi gas kendaraan bermotor dapat menjadi sumber logam berat. Hutan mangrove dikenal memiliki peranan vital dalam akresi sedimen pantai, yang mana keberadaan mangrove dapat memerangkap sedimen sekaligus menstabilkan sedimen yang telah dikolonisasinya. Kondisi sedemikian terlihat di wilayah pesisir Mulyorejo (tepatnya di Kelurahan Kalisari) dimana pada tahun 2004 hingga 2017 terjadi akresi sedimen seluas 233,83 ha (DLH Kota Surabaya, 2019).

Kecamatan Mulyorejo merupakan wilayah Kota Surabaya yang berada di Wilayah Surabaya Timur dengan ketinggian lebih kurang 2 meter di atas permukaan laut (BPS, 2019). Berdasarkan penelitian Syamsu dkk., (2018) Mulyorejo merupakan kecamatan yang memiliki peningkatan luasan dan kerapatan mangrove terbesar dibandingkan enam kecamatan lain di wilayah Pamurbaya. Pamurbaya merupakan salah satu wilayah pesisir perkotaan di Pulau Jawa tepatnya di Surabaya yang cukup padat penduduk. Kondisi tersebut berimplikasi pada meningkatnya aktivitas ekonomi masyarakat yang dapat berpotensi menyebabkan terjadinya alih fungsi lahan ekosistem mangrove.

Berdasarkan uraian di atas, perlu adanya penelitian pendahuluan untuk mengetahui keberadaan polutan logam berat di kawasan mangrove

Mulyorejo Surabaya. Analisa konsentrasi logam berat perlu dilakukan guna mengetahui kemampuan mangrove di Mulyorejo, Surabaya dalam mengakumulasi logam berat.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa konsentrasi logam berat Pb, Cd, dan Hg dalam air, sedimen, akar dan daun mangrove di kawasan mangrove Mulyorejo Surabaya?
2. Bagaimana kemampuan tanaman mangrove dalam mengakumulasi logam berat Pb, Cd, dan Hg di kawasan mangrove Mulyorejo Surabaya?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan peneliti dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis kandungan logam berat Pb, Cd, dan Hg pada akar, sedimen dan daun mangrove di kawasan mangrove Mulyorejo Surabaya.
2. Untuk menganalisis kemampuan tanaman mangrove dalam mengakumulasi logam berat Pb, Cd, dan Hg di kawasan mangrove Mulyorejo Surabaya.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi mengenai kandungan logam berat Pb, Cd, dan Hg pada perairan, sedimen, akar dan daun mangrove di kawasan mangrove Mulyorejo Surabaya. Penelitian ini diharapkan juga menjadi bahan kajian bagi penelitian selanjutnya.

1.5. Batasan Masalah

1. Logam berat yang diteliti yaitu logam berat jenis timbal, kadmium dan merkuri (Pb, Cd, dan Hg).
2. Sampel pengujian logam berat didapatkan dari air, akar, sedimen, dan daun dari mangrove.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ekosistem Mangrove

Mangrove berpotensi membantu fitoremediasi tanah pesisir karena mampu tumbuh di lingkungan pesisir yang terkontaminasi. Ekosistem mangrove sangat efisien dalam bioakumulasi logam, yang bersama-sama dengan kapasitasnya untuk menjebak dan melumpuhkan tanah yang mengakibatkan elevasi tanah, menunjukkan potensi peran penting ekosistem mangrove sebagai filter dan penyerap logam di daerah pesisir.

2.1.1. Definisi Mangrove

Sebutan mangrove menurut (Macnae, 1968) merupakan gabungan kata dari bahasa Portugis yaitu mangue dan dari bahasa Inggris yaitu grove. Berdasarkan bahasa Portugis, kata mangrove digunakan untuk menggambarkan suatu individu spesies tumbuhan, dan dalam bahasa Inggris kata mangrove digunakan untuk menggambarkan spesies tumbuhan individu yang membentuk kelompok tersebut dan kelompok tumbuhan yang tumbuh di daerah pasang surut (Sosia dkk., 2014). Masyarakat sering menyebut mangrove sebagai payau atau hutan bakau. Tetapi Rochana (2006) mengatakan, bakau merupakan salah satu nama jenis mangrove, sehingga tidak tepat menyebut mangrove sebagai bakau.

Mangrove merupakan komunitas pepohonan yang hidup di antara laut dan daratan yang dipengaruhi oleh pasang surutnya air laut. Habitat mangrove yang umum berada di pertemuan muara dan air laut, yang memberikan perlindungan untuk daratan dan gelombang laut yang besar. Sungai mengalirkan air tawar untuk mangrove dan pada saat pasang, pohon mangrove dikelilingi oleh air garam atau payau (Murdiyanto, 2003). Ekosistem mangrove atau hutan mangrove memiliki keunikan, baik karena aerasi tanah yang kurang memadai, kandungan garam tanah yang tinggi, maupun adanya aliran lumpur yang menyebabkan siklus banjir rob.

Hanya beberapa spesies tumbuhan yang dapat bertahan hidup di tempat seperti itu, dan hutan bakau sering disebut sebagai hutan pantai, hutan pasang surut, hutan payau, atau hutan bakau. Semua tumbuhan di hutan mangrove ini berinteraksi secara biologis dan abiotik dengan lingkungan (Ghufron & K, 2012).

Limbah domestik maupun limbah industri yang dibawa oleh sungai mengalir sampai ke tempat aliran sungai terakhir, dimana tempat tersebut merupakan muara sungai serta perairan pesisir yang ditumbuhi oleh vegetasi mangrove. Ekosistem mangrove di perairan pesisir memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat, terutama ketika jumlah limbah di perairan melebihi kapasitas alami perairan sehingga dapat menurunkan kemampuan pemurnian secara alami (DR. Patang, 2018).

Vegetasi mangrove berperan penting pada pengurangan konsentrasi logam berat di perairan, meskipun secara tidak langsung. Tumbuhan mangrove memiliki kemampuan untuk mendukung kehidupan mikroorganisme pengurai limbah. Daerah tempat tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme pengurai limbah dapat meluas seiring dengan keberadaan vegetasi mangrove di perairan yang tercemar. Ketika akar mangrove melepaskan oksigen, maka terbentuklah zona rizosfer yang kaya oksigen. Seiring bertambahnya jumlah vegetasi mangrove di perairan yang tercemar, mikroorganisme pengurai yang melekat, hidup, dan berkembang pada vegetasi mangrove juga semakin banyak. Peningkatan kinerja pembersihan polutan secara keseluruhan dapat disebabkan oleh banyaknya mikroorganisme pengurai limbah yang hidup di perairan mangrove, karena mereka mencerna polutan untuk menghasilkan energi. Mekanisme ini mengurangi konsentrasi polutan pada perairan mangrove (Kusumastuti, 2009).

Toleransi dapat dilakukan oleh vegetasi mangrove agar dapat beradaptasi terhadap lingkungan yang tercemar. Toleransi yang dilakukan oleh vegetasi mangrove dicapai dengan mengembangkan

sistem metabolisme yang dapat berfungsi di lingkungan yang sangat beracun. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh tumbuhan diproses menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga mengalami pengikatan dan penurunan toksisitas. Proses ini didukung oleh aktivitas enzim yang mempercepat dan mengatur proses tersebut. Metode ini dapat mengurangi konsentrasi logam berat beracun dalam perairan dan menetralkannya kembali. Akibatnya kandungan toksin di bawah ambang batas dan biota laut yang menghuninya tidak berbahaya dan aman dikonsumsi (Patang, 2018).

Mangrove dapat berkembang dan tumbuh di tempat endapan lumpur dan organik terjadi, teluk yang terhindar dari serangan gelombang dan dapat juga di daerah sekitar muara, karena merupakan tempat pelumpuran dan aliran sungai yang lambat.

Menurut Nugraha (2011) ciri-ciri hutan mangrove berupa :

1. Jumlah pohon tidak terlalu banyak.
2. Akar tidak teratur (akar pernafasan) seperti jangkar mangrove yang meninggi melengkung (*Rhizophora sp*) dan akar yang menonjol secara lurus seperti pensil yaitu mangrove pedada (*Sonneratia sp*) dan api-api (*Avicennia sp*).
3. Terutama *Rhizophora sp*. Di dalamnya terdapat biji propagul yang berkembang dengan cara vivipar atau dapat bercambah di pohon.
4. Ada banyak lentisel di kulit pohon.

Di sisi lain Bachmid (2011) mengatakan bahwa mangrove umumnya dapat bertumbuh dengan baik dan dapat berkembang pada habitat dengan ciri-ciri sebagai berikut:

1. Jenis tanahnya adalah lumpur, lempung dan berpasir, dan materialnya terdiri dari lumpur, pasir, dan serpihan karang.
2. Habitatnya digenangi air laut secara teratur, sering (setiap hari) atau saat air pasang, sehingga komposisi vegetasi mangrove dapat ditentukan oleh frekuensi pada genangan air laut.

3. Meningkatnya pasokan yang dapat mengurangi unsur hara dan lumpur disediakan oleh air tawar yang berasal dari mata air, air tanah dan sungai.
4. Air memiliki salinitas dari air payau (2-22‰) dan dapat mencapai salinitas 38‰.

2.1.2. Fungsi Ekosistem Mangrove

Menurut Ningsih (2008) fungsi-fungsi penting dari hutan mangrove berupa :

1. Fungsi Biologis

Dapat berfungsi sebagai tempat pemijahan udang, ikan, tempat bersarang burung, karang, dan biota lainnya. Dapat juga berfungsi sebagai sumber nutrisi yang diperlukan bagi kehidupan di lingkungan.

2. Fungsi Kimia

Dapat berfungsi sebagai pengurai bahan organik juga sebagai media proses kimia lainnya yang berhubungan dengan vegetasi mangrove.

3. Fungsi Sosial-Ekonomi

Lahan pada hutan mangrove dapat digunakan sebagai lahan pertanian dan perikanan, tumbuhannya dapat dipergunakan sebagai tanin dan obat—obatan. Kayu daripada tumbuhan mangrove dapat berfungsi sebagai bahan bangunan dan sumber bahan bakar. Bahkan kini, produk mangrove khususnya kayu, dibudidayakan sebagai bahan baku industri bubur keta (pulp). Hutan mangrove sendiri dapat dimanfaatkan pula untuk sarana edukasi pendidikan, pelatihan, dan pengembangan ilmu pengetahuan, juga dapat dimanfaatkan sebagai tempat rekreasi, wisata alam, dll.

4. Fungsi Fisika

Dapat mencegah intrusi air laut, juga erosi pantai (abrasi).

2.1.3. Jenis Mangrove

Menurut Noor dkk (2006) Indonesia memiliki sedikitnya 202 jenis, 89 jenis pohon, 5 jenis palma, 19 jenis sulur, 44 jenis herba tanah, 44 jenis mangrove Epifit dan salah satu jenis tumbuhan paku. 202 spesies, 43 spesies (termasuk 33 spesies pohon dan beberapa semak) telah ditemukan sebagai mangrove sejati, dan spesies lain telah diketemukan di dekat mangrove dikenal sebagai spesies mangrove terkait (*associate*).

Komponen mayor dan komponen minor merupakan komponen ekosisten yang membentuk ekosistem mangrove. Komponen mayor, atau mangrove sejati merupakan komponen utama dari ekosistem mangrove, mangrove sejati merupakan mangrove yang hanya dapat hidup hanya pada lingkungan mangrove. Sedangkan komponen minor merupakan komponen mangrove yang dapat hidup tidak hanya pada lingkungan mangrove, namun juga dapat hidup di luar lingkungan mangrove karena tidak terpengaruh langsung oleh pasang surut.

Tomlinson (1994) mengatakan, komponen mayor, minor, dan terkait merupakan komponen daripada vegetasi mangrove. Vegetasi mangrove yang terdapat di lingkungan mangrove, berperan penting dalam konstruksi struktural vegetasi dan dapat membentuk tegakan murni adalah komponen utama atau komponen mayor dalam vegetasi mangrove. Komponen mayor terdiri dari 5 famili dan 9 genus dari Avicenniaceae, Rhizophoraceae, Combreraceae, Combretaceae, Palmae, dan Sonneratia. Vegetasi mangrove yang termasuk dalam komponen minor merupakan vegetasi mngrove yang terdapat di tepi luar habitat mangrove dan berasal dari famili yang berbeda seperti Camptostemon, Excoecaria, Penphis, Xylocalpas, Egiceras, Osbornea, Perisiella, Egiaritis, Acrosticam, Sififora, Heritierra. Sedangkan vegetasi yang tidak tumbuh di lingkungan mangrove sebenarnya dan dilihat sebagai vegetasi darat termasuk dalam komponen asosiasi atau komponen terakait. Komponen

asosiasi terdiri atas 29 famili dan 40 genus, seperti *Acanthus*, *Carophyllum*, *Terminalia*, *Delice*, dan *Pongamia* (Malik, 2011).

Berdasarkan keanekaragaman jenis mangrove di Indonesia, maka jenis mangrove yang banyak dijumpai atau ditemui adalah *Avicennia sp.* (api-api), *Bruguiera sp.* (tancang), *Rhizophora sp.* (bakau), *Sonneratia sp.* (pedada). Mangrove jenis ini merupakan kelompok mangrove yang menjebak dan menahan sedimen serta menstabilkan tanah di habitatnya (Irwanto, 2006).

2.1.4. Struktur dan Zonasi Hutan Mangrove

Unsur utama hutan mangrove adalah pohon yang tumbuh setinggi lebih dari 30 meter, tajuk yang lebar, rapat, dan tertutup. Menurut Tomlinson (1986) pembagian flora mangrove dapat dibagi menjadi tiga struktur, yaitu:

1. Flora mangrove mayor (flora mangrove sebenarnya), yaitu flora mangrove yang setia pada vegetasi mangrove, membentuk stok murni dan terutama membentuk struktur komunitas, yang secara morfologi memiliki bentuk adaptasi (bentuk akar dan viviparitas) spesifik terhadap lingkungan mangrove dan memiliki mekanisme fisiologis dalam mengontrol garam. Contohnya adalah *Avicennia sp.*, *Bruguiera sp.*, *Ceriops sp.*, *Kandelia sp.*, *Laguncularia sp.*, *Lumnitzera sp.*, *Nypa sp.*, *Rhizophora sp.*, dan *Sonneratia sp.*
2. Flora mangrove minor, yaitu flora mangrove yang tidak dapat membentuk tegakan murni. Oleh karena itu secara morfologis tidak memainkan peran dominan dalam struktur komunitas. Contohnya termasuk *Acrostichum sp.*, *Aegiceras sp.*, *Aegialitis sp.*, *Camptostemon sp.*, *Exoecaria sp.*, *Heritiera sp.*, *Osbornia sp.*, *Pelliciera sp.*, *Pemphis sp.*, *Scyphyphora sp.*, *Xylocarpus sp.*
3. Mangrove Asosiasi, tumbuhan kelompok ini tidak pernah tumbuh di habitat mangrove sejati atau mangrove utama, biasanya berada di daerah perbatasan. Contohnya termasuk

Acanthus sp., *Calamus sp.*, *Cerbera sp.*, *Derrice sp.*, *Hibiscus sp.*, dan lain-lain.

Menurut Arief (2003), hutan mangrove yang masih asli umumnya membentuk rangkaian zonasi dari laut ke daratan sebagai berikut :

1. Zona *Avicennia sp.* berada di lapisan terluar hutan mangrove. Pada zona ini, tanah berlumpur lembek dan berkadar garam tinggi. Jenis *Avicennia sp.* banyak ditemui berasosiasi dengan *Sonneratia sp.* Karena tumbuh di bibir laut, jenis-jenis ini memiliki perakaran yang sangat kuat yang dapat bertahan dari hempasan ombak laut. Zona ini juga merupakan zona perintis atau pioner, karena terjadinya penimbunan sedimen tanah akibat cengkeraman perakaran tumbuhan jenis ini.
2. Zona *Rhizophora sp.*, berada di belakang Zona *Avicennia sp.* dan *Sonneratia sp.*. Pada zona ini, tanah berlumpur lembek dengan kadar garam lebih rendah. Perakaran tanaman tetap terendam selama air laut pasang.
3. Zona *Bruguiera sp.*, berada di belakang zona *Rhizophora sp.* Di zona ini, tanah berlumpur cukup keras. Akar tanaman lebih sensitif dan terendam hanya dua kali sebulan saat air pasang.
4. Zona *Nypa sp.*, merupakan batas antara darat dan laut, sebenarnya zona ini tidak perlu ada kecuali terdapat air tawar (sungai) mengalir ke laut.

2.2. Logam Berat

Polutan anorganik seperti logam berat berasal dari antropogenik dan kerak bumi. Emisi antropogenik, telah meningkat secara signifikan selama dekade terakhir, misalnya 10 juta Ha lahan telah tercemar di Cina (Almahasheer dkk., 2018). Logam-logam ini tidak dapat terdegradasi dan menjadi terkonsentrasi sebagaimana dalam rantai makanan. Namun demikian, tanaman biasanya menyerap logam berat dari tanah bersama dengan nutrisi dalam kapasitas yang dapat digunakan untuk fitoremediasi tanah yang terkontaminasi logam berat. Beberapa logam berat seperti Co, Cu, Fe, Mn,

Mo, Ni, Al, Rb, Ti, dan Zn tidak bersifat racun dan berperan sebagai unsur hara mikro esensial bagi pertumbuhan tanaman sampai melebihi batas tertentu. Logam berat lainnya yang tidak esensial dan sering beracun bagi pertumbuhan tanaman seperti Cd, Pb, U, Cr, Ag, Hg, dan Zr, sedangkan As dan Se adalah metaloid namun juga beracun.

2.2.1. Definisi Logam Berat

Logam berat merupakan unsur kimia dengan massa 5g/cm^3 , memiliki afinitas tinggi terhadap unsur X, menyandang nomor atom 22 hingga 92 dan dengan periode 4 hingga 7. Merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb) merupakan polutan yang berbahaya. Afinitas yang tinggi untuk unsur S berarti bahwa logam tersebut tidak aktif karena menyerang ikatan belerang dari enzim. Gugus karboksil (-COOH) dan amina (-NH₂) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, tembaga dan timbal mengikat membran sel sehingga mengalami penghambatan transformasi melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalisasi degradasinya (Manahan, 1977).

Berdasarkan perpektif toksikologi, terdapat 2 jenis logam berat yang dapat dibagi, yaitu logam berat esensial dan logam berat non-esensial. Logam berat dengan jenis esensial sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup pada jumlah yang eksklusif karena jika jumlahnya berlebih efek toksiknya akan terasa. Contoh dari jenis logam berat esensial tersebut yaitu Co, Cu, Fe, Mn, Zn dan lainnya. Logam berat jenis kedua yaitu logam berat jenis non-esensial ataupun toksik, yang eksistensinya pada tubuh makhluk hidup masih dipertanyakan atau mungkin dapat bersifat toksik semacam As, Cd, Hg, Pb. Ulfen (1995) mengatakan, Cd, Hg, dan Pb adalah logam-logam berat non-esensial yang dapat menyebabkan keracunan kepada organisme hidup. Toksin ini bersifat akumulatif, sehingga jika racun ini terakumulasi dalam jumlah yang cukup banyak di dalam tubuh suatu organisme dapat menyebabkan terjadinya keracunan.

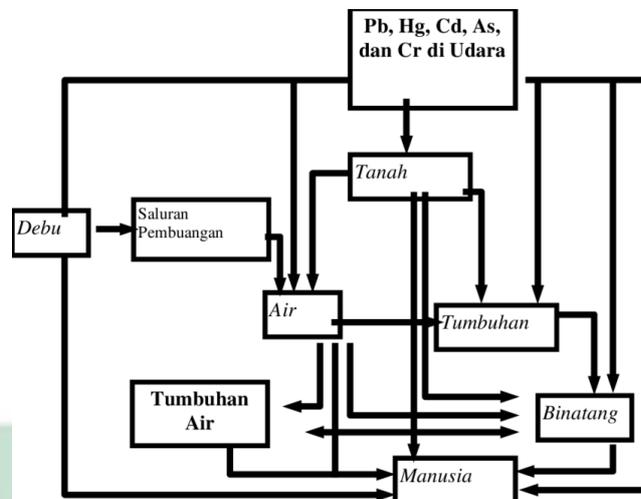
Menurut Erlangga (2007), logam berat dalam air terdapat dalam bentuk terlarut dan tidak larut. Logam berat terlarut adalah logam berat yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik, dan logam berat tidak terlarut merupakan partikel yang tersuspensi. Logam berat yang telah masuk ke badan air baik dari sungai maupun dari laut akan dikeluarkan dari badan air melalui beberapa proses, yakni pengendapan, adsorpsi, dan penyerapan oleh organisme akuatik. Sifat dasar logam berat yakni mudah mengikat bahan organik, mengendap di dasar badan air, dan mengikat sedimen dapat menjadikan kandungan logam berat pada sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan logam berat pada air (Harahap, 1991).

2.2.2. Definisi Logam Berat Pb

Timbal (Pb) merupakan logam lunak berwarna kebiruan atau perak keabu-abuan yang sering dijumpai pada endapan sulfat yang bercampur dengan mineral lain, terutama seng dan tembaga. Penggunaan Pb terbesar adalah dalam industri aki kendaraan bermotor seperti timbal metalik dan komponen-komponennya. Timbal digunakan dalam bensin untuk kendaraan, cat, dan pestisida. Pencemaran Pb dapat terjadi di udara, air, maupun tanah. Pencemaran Pb merupakan masalah utama, tanah dan debu di sekitar jalan utama pada umumnya telah terkontaminasi bensin bertimbal selama bertahun-tahun (Sunu, 2001).

Timbal logam berat (Pb) saat ini dikenal sebagai timah hitam atau grafit. Timbal adalah satu dari sekian jenis logam berat non-esensial yang paling berbahaya, sebab dapat menyebabkan keracunan pada organisme hidup. Berdasarkan tabel periodik unsur kimia, logam berat Pb memiliki nomor atom 82, berat atom 207,1 serta terletak pada golongan IV A (Shidu, 2005). Logam berat timbal dikenal sebagai salah satu jenis racun serangan saraf (neurotoxin). Logam timbal terjadi secara alami tersebar pada batuan dan pada lapisan kerak bumi. Timbal pada alam dapat ditemukan bebas

dalam galena (PbS), anglesit atau timbal sulfat (PbSO₄) (Isa dkk., 2014).



Gambar 2.1 Kontribusi Logam Berat Pada Intake Manusia (Sudarmaji dkk., 2006)

Emisi Pb dilepaskan ke atmosfer bumi dalam bentuk gas dan partikel. Emisi ini adalah produk sampingan dari pembakaran mesin kendaraan, yang berasal dari senyawa tetrametil Pb dan tetril Pb yang secara konstan ditambahkan ke bahan bakar kendaraan. Ketika dikeringkan, senyawa Pb dapat menyebar di udara, sehingga terhirup saat bernafas dan sebagian dapat terakumulasi pada kulit atau diserap oleh daun tanaman. Timbal dan senyawanya terjadi secara alami dan melalui aktivitas manusia di lingkungan perairan. Perairan yang menunjukkan adanya senyawa atau ion Pb melebihi jumlah Pb yang ada dan konsentrasinya yang tinggi dapat menyebabkan kematian biota perairan. (Suharto, 2005).

Tubuh manusia tidak membutuhkan logam berat Pb, sehingga ketika makanan terkontaminasi oleh logam Pb, tubuh akan membuang sebagiannya dan sisanya akan terakumulasi di dalam tubuh yaitu pada ginjal, hati, kuku, jaringan adiposa, rambut dan lain-lain (Saeni, 1997). Keracunan yang tidak disengaja, seperti konsumsi senyawa timbal dalam kadar tinggi, dapat menyebabkan gejala keracunan timbal seperti iritasi gastrointestinal akut, rasa logam di mulut, muntah, sakit perut, dan diare (Darmono, 1995).

2.2.3. Definisi Logam Berat Cd

Logam kadmium (Cd) tersebar sangat luas di alam. Kadmium (Cd) adalah logam lunak ductile karena berwarna putih perak berdasarkan sifat fisiknya. Logam kadmium kehilangan kilauanya di udara lembab dan cepat rusak bila terkena uap amonia (NH₃) dan belerang hidroksida (SO₂). Karena sifat kimianya, logam kadmium (Cd) umumnya memiliki valensi 2+ dalam senyawa yang dibentuknya, dan sedikit yang memiliki valensi 1+. Ketika dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion OH, ion Cd²⁺ mengalami proses pengendapan. Endapan yang terbentuk dari ion Cd²⁺ dalam larutan OH biasanya berupa senyawa terhidrasi berwarna putih (Palar, 2004)

Kadmium umumnya terdapat dalam kombinasi dengan unsur-unsur lain seperti oksigen (kadmium oksida), klorin (kadmium klorida) dan belerang (kadmium sulfida). Sebagian besar kadmium (Cd) adalah produk sampingan dari pengecoran seng, timah, atau tembaga, dan kadmium banyak digunakan di berbagai industri, terutama pelapis logam, pigmen, baterai, dan plastik. Kadmium adalah logam beracun yang umum di industri, tetapi logam kadmium banyak digunakan dalam elektroplating. Kadmium juga ditemukan di industri cat.

Kadmium adalah logam yang sangat beracun yang mudah diserap dan merusak sistem pernapasan dan pencernaan, yang dapat menyebabkan akumulasi yang signifikan dalam tubuh. Ketika kadmium diserap dalam sistem pencernaan dan paru-paru, kadmium akan membentuk kompleks dengan protein sehingga mudah diangkut dan didistribusikan ke hati dan ginjal, bahkan dalam jumlah kecil dapat mencapai pankreas, usus, dan tulang. Selain itu, kadmium juga bisa mengganggu fungsi enzim dan sel. Hal ini dapat menyebabkan efek tetratogenik, mutagenik, dan karsinogenik. (Szyrmezyk & Zalewski, 2003).

2.2.4. Definisi Logam Berat Hg

Berdasarkan tabel periodik unsur kimia, unsur merkuri mempunyai nomor atom 80, massa molekul relatif 200,59 g/mol, dan terletak pada golongan XII D, periode VI. Merkuri mempunyai simbol kimia Hg yang merupakan singkatan dari bahasa Yunani “*Hydrargyricum*” yang berartikan cairan perak. Bentuk fisika dan kimia merkuri sangat menguntungkan karena merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair pada suhu kamar (25°C), titik bekunya paling rendah (-39°C), sebagai konduktor listrik yang baik, memiliki kecenderungan lebih besar untuk menguap, dan mudah bercampur dengan logam lain untuk membentuk logam campuran yang dapat disebut amalgam atau aloi.

Sumber alami merkuri termasuk *cinnabar* (HgS), mineral sulfida, seperti *sphalerite* (ZnS), *chalcopyrite* (CuFeS) dan *galena* (PbS). Pelapukan berbagai macam batuan dan erosi tanah dapat melepaskan merkuri ke dalam badan air (Effendi, 2003). Penambangan, peleburan, pembakaran bahan bakar fosil, dan produksi baja, semen, dan fosfat juga merupakan sumber merkuri yang dapat meningkatkan keberadaannya di alam (Lu, 2006). Logam berat Hg pada perairan alami terdapat dalam bentuk Hg⁰, Hg⁺, dan Hg²⁺ yang ditentukan oleh kondisi, reduksi, atau oksidasi. Perairan dengan oksigen terlarut yang cukup baik, maka Hg²⁺ terlarut mendominasi. Dalam keadaan tereduksi atau fakultatif akan membentuk Hg⁰ dan Hg⁺, dan apabila terdapat adanya sulfid akan membentuk senyawa HgS. Konsentrasi Hg²⁺ terlarut pada perairan yang tidak tercemar sekitar 0,02-0,01 mg/l (air tawar) dan <0,01-0,03 mg/l (air laut) (Sanusi, 2006). Kandungan merkuri yang diperbolehkan maksimal 0,3 µg/liter (Moore, 1991 dalam Rangkuti, 2009).

Merkuri terdapat di dalam kerak bumi dengan konsentrasi 0,08 mg/l, logam ini banyak tertimbun pada daerah penambangan. Hg lebih banyak digunakan dalam bentuk logam murni dan organik

daripada bentuk anorganik. Logam Hg dapat berada pada berbagai senyawa. Merkuri di udara berasal dari deposit mineral dan area industri. Logam Hg yang ada di air dan tanah terutama berasal dari deposit alam, buangan limbah, dan aktivitas vulkanik. Logam Hg juga dapat bersenyawa dengan karbon membentuk senyawa Hg organik (Agustina, 2010).

Senyawa merkuri umumnya digunakan dalam pembuatan amalgam, cat, baterai, komponen listrik, ekstraksi emas dan perak, gigi palsu, senyawa anti karat (*anti fouling*), fotografi dan elektronik. Industri kimia yang menghasilkan gas klorin dan asam klorida juga menggunakan merkuri. Penggunaan merkuri dan komponennya juga umum digunakan sebagai insektisida (Baird, 1995 dalam Rangkuti, 2009). Logam merkuri banyak digunakan sebagai *katalis* dalam proses di industri kimia, khususnya pada industri vinil klorida yang merupakan bahan dasar dari berbagai plastik. Alat-alat pencatat suhu konvensional seperti thermometer cair mengandung logam merkuri karena berbentuk cair dengan rentang suhu yang luas, seragam, pemuaian tinggi, serta konduktivitasnya tinggi (Fardiaz, 2005).

Lingkungan yang tercemar oleh merkuri dapat membahayakan kehidupan manusia karena adanya rantai makanan. Merkuri akan terakumulasi dalam mikroorganisme perairan (sungai, danau, dan laut) melalui proses metabolisme. Bahan-bahan yang mengandung merkuri dan terbuang ke sungai atau laut akan dimakan oleh mikroorganisme dan secara kimiawi berubah menjadi senyawa metilmerkuri. Mikroorganisme dimakan oleh ikan sehingga metilmerkuri akan terakumulasi pada tubuh ikan dan akhirnya dikonsumsi oleh manusia. Bahaya yang ditimbulkan oleh senyawa merkuri adalah kerusakan rambut, gigi, serta terganggunya sistem saraf.

2.2.5. Pencemaran Logam Berat di Perairan

Pencemaran laut adalah perubahan yang merugikan pada kondisi lingkungan laut. Hal ini dapat disebabkan oleh kegiatan

manusia yang menyebabkan makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain yang masuk ke laut atau sudah tidak berfungsi lagi sebagaimana mestinya. Polutan adalah bahan atau energi yang dilepaskan ke lingkungan, yang biasanya bentuk larutannya berupa ion atau kelat organologam atau kompleks. Jumlah logam terlarut dalam air permukaan diatur oleh pH air, sifat, dan konsentrasinya (Connel & Miller, 1995).

Menurut Alfa (2003), limbah yang berakhir di perairan dapat berupa bahan organik maupun anorganik. Sampah organik mudah terurai dan diurai oleh mikroorganisme, sedangkan sampah anorganik tidak dapat terurai. Limbah anorganik dapat berasal dari industri percetakan, pabrik kimia, pabrik tekstil, farmasi dan produksi peralatan listrik lainnya yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3), antara lain logam berat seperti timbal (Pb), Kadmium (Cd), Merkuri (Hg), Kromium (Cr), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), dan Timah (Sn).

Ketika limbah industri memasuki badan air, maka proses sedimentasi akan terjadi. Hal ini dapat meningkatkan konsentrasi polutan dalam sedimen. Logam berat yang masuk ke lingkungan perairan diendapkan, diencerkan, dan didispersikan, setelah itu berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran, dan dispersi kemudian polutan tersebut akan diserap oleh makhluk hidup di perairan tersebut (Bryan, 1976).

2.2.6. Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Mangrove

Tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap ion dari lingkungan ke dalam tubuhnya melalui membran sel. Dua karakteristik penyerapan ion oleh tanaman adalah (1) faktor konsentrasi, yaitu kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi ion sampai tingkat konsentrasi tertentu, bahkan dapat mencapai beberapa tingkat di atas konsentrasi ion di lingkungan sekitar. (2)

perbedaan kuantitatif kebutuhan unsur hara yang berbeda untuk setiap jenis tanaman (Fitter & Hay, 1991).

Logam berat selepas masuk ke perairan laut, maka logam berat terpecah menjadi dua proses yaitu proses migrasi arus laut dan proses pengenceran distribusi dengan mencampurkan turbulensi dan arus (Hutabarat & Evans, 2006). Terdapat berbagai unsur dalam tubuh tanaman, tetapi itu tidak berarti bahwa semua unsur tersebut diperlukan agar tumbuhan dapat bertahan hidup. Beberapa unsur pada tumbuhan dapat mengganggu metabolisme dan meracuni tumbuhan. Misalnya berbagai jenis logam berat seperti Al, Cd, Ag dan Pb. Nutrisi dapat berhubungan dengan permukaan akar dalam tiga cara. Yakni, berdifusi ke dalam larutan tanah, bersifat pasif melalui aliran air tanah, dan akar tumbuh menuju tempat nutrisi dalam matriks tanah. (Lakitan, 2001).

Penyerapan dan akumulasi logam berat pada tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses berkaitan. Prosesnya dimulai dengan penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian lain dari tanaman, dan lokalisasi logam berat di bagian tertentu dari sel untuk mencegah penghambatan metabolisme tanaman. Logam diserap oleh akar dengan memasukkan logam ke dalam rizosfer dalam bentuk ion dengan berbagai cara, tergantung pada jenis tanaman. Selain itu, setelah logam berat menembus, logam tersebut harus diangkut ke dalam tubuh melalui xilem dan floem. Peningkatan efisiensi transportasi logam terikat oleh agen chelating (Priyanto & Prayitno, 2006).

Ada 3 faktor yang mempengaruhi pengangkutan bahan organik melalui tanaman, yakni serapan daun, tekanan akar, dan kapilaritas. (1) Tekanan akar adalah keluarnya air pada saat tekanan dari akar menaikkan air. Oleh karena itu, tekanan akar merupakan salah satu kekuatan pendorong untuk invasi air dari tanah ke akar. (2) Daya hisap daun timbul dari transpirasi (penguapan) air pada permukaan daun. Artinya, ketika elemen air dilepaskan dari daun, air

di akar dan batang bertambah. Selain itu, air dari tanah diserap oleh akar. Transpirasi air tergantung pada permukaan daun. Permukaan daun yang semakin besar berpengaruh terhadap daya hisap daun yang semakin besar pula. Daya hisap daun lebih besar ketika pohon besar memiliki lebih banyak daun dibandingkan dengan pohon kecil yang memiliki daun sedikit. (3) Gaya kapiler ditemukan dalam wadah kayu, yang merupakan pipa kapiler. Kapilaritas air di dalam xilem terjadi karena diameter xilem sangat kecil. Gaya kapiler ini berbanding terbalik dengan jari-jari. Semakin kecil bukung, semakin besar gaya kapiler. Aksi kapiler dalam air ini didukung oleh dua daya yaitu adhesi dan kohesi (Suyitno, 2006).

Berdasarkan mekanisme fisiologisnya, mangrove secara aktif mengurangi serapan logam berat pada saat konsentrasi logam berat dalam sedimen tinggi. Penyerapan berlanjut, tetapi dalam jumlah terbatas dan terakumulasi di akar. Terdapat juga sel endoderm pada akar yang berfungsi sebagai filter saat menyerap logam berat. Dari akar, logam akar ditranslokasikan ke jaringan lain seperti batang dan daun serta mengalami proses kompleks dengan zat lain seperti fitokelati (Deri dkk., 2013). Fitokelatin merupakan protein yang dapat mengikat logam berat dan tersusun dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin. (Priyanto & Prayitno, 2006).

2.3. Faktor Biokonsentrasi (BCF)

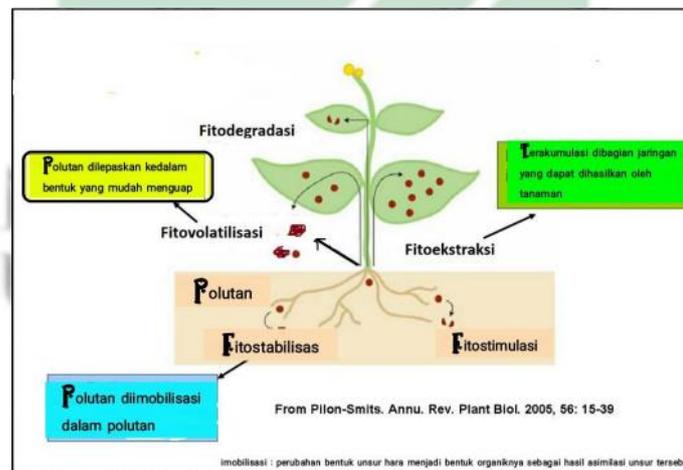
Berdasarkan pernyataan dari Hemond & Fecher (2000), faktor biokonsentrasi dalam air merupakan rasio konsentrasi kimia dari organisme terhadap konsentrasi kimia pada lingkungan perairan yang akan diteliti. BCF sering dinyatakan dalam L (liter) per Kg (kilogram) (perbandingan miligram (Mg) bahan kimia per kilogram (Kg) organisme dengan miligram (Mg) bahan kimia per liter (L) air). BCF dapat dengan mudah menjadi rasio atau model distribusi yang diamati berdasarkan dua asumsi : distribusi kimia polutan antara badan air dan organisme akuatik dan lingkungan akuatik.

2.4. Faktor Translokasi (TF)

Translokasi merupakan konsentrasi logam berat di daun dibagi dengan konsentrasi logam berat di akar. Fungsi dari menghitung faktor translokasi ini ialah untuk menghitung pergantian polutan logam berat dari akar ke daun. Faktor translokasi juga dapat digunakan untuk memprediksi tanaman mana yang akan digunakan sebagai agen fitoremediasi. Bila nilai TF kurang dari 1, maka terdapat mekanisme jenis fitoremediasi. Sedangkan, bila nilai TF lebih besar dari 1, fitoremediasi fitoeksternal. (Hamzah & Pancawati, 2013).

2.5. Fitoremediasi

Fitoremediasi tanaman dapat disebut sebagai upaya menghilangkan masalah limbah dan masalah pencemaran secara ex-situ dengan kolam atau reaktor buatan, maupun secara in-situ dengan tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah (Hardiyanti & Rahayu, 2007). Tujuan dari metode pengolahan limbah ini adalah untuk menghilangkan atau membuang bahan pencemar dari dalam tanah ataupun air (EPA, 2000). Tumbuhan air bertindak menjadi aerator air selama proses fotosintesis, mengatur aliran air, membersihkan aliran yang terkontaminasi melalui sedimentasi, dan menyerap partikel & mineral.



Gambar 2.2 Fitoremediasi (Pilon-Smits, 2005)

Menurut (Felani & Amir H, 2007), mekanisme fitoremediasi tumbuhan berisi beberapa proses :

Fitodegradasi : Yaitu proses tumbuhan menyerap polutan, kemudian polutan tersebut di metabolisme di dalam tumbuhan.

- Fitoekstraksi : Yaitu proses tumbuhan air atau sedimen menyerap bahan pencemar, kemudian diikuti dengan akumulasi atau penyimpanan di bagian tanaman (akar, batang atau daun). Tumbuhan ini disebut hiperakumulator.
- Fitostabilisasi : Yaitu proses pengubahan bahan pencemar yang berada pada sedimen menjadi senyawa yang tidak beracun tanpa sebelumnya menyerap bahan pencemar ke dalam tubuh tumbuhan. Hasil konversi bahan pencemar tersebut tetap berada di dalam tanah.
- Fitovolatilisasi : Yaitu proses terserapnya bahan pencemar oleh tumbuhan yang kemudian bahan pencemar tersebut dijadikan mudah menguap (volatil) dan diuapkan oleh tumbuhan.
- Rizofitrasi : Yaitu proses tumbuhan menyerap bahan pencemar, namun konsep dasar ini biasanya terjadi ketika media yang terkontaminasi adalah badan air.

2.6. Atomic Absorption Spektrophotometric (AAS)

Atomic Absorption Spektrophotometric (AAS) adalah teknik analisis yang relative baru di antara metode spektroskopi. AAS memberikan sensitivitas, presisi, dan akurasi yang tinggi dan ketersediaan instrumental yang luas. Karena itu, teknik ini telah banyak digunakan untuk analisis sampel kelautan. Namun, kandungan unsur pada sampel laut umumnya sangat rendah, dan prosedur prakonsentrasi yang sesuai sangat diperlukan (Cantle, 1982).

Kandungan logam berat dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spektrophotometric* (AAS) yang didasarkan pada hukum Lambert-Beer, yaitu banyaknya sinar yang diserap berbanding lurus dengan kadar zat. Maka dari itu yang mengabsopsi sinar adalah atom, maka ion atau senyawa logam berat harus diubah menjadi bentuk atom (Warni dkk., 2017). Karakteristik konsentrasi dan batas deteksi adalah istilah yang menggambarkan karakteristik kinerja instrument untuk analisis elemen, sedangkan kedua parameternya tergantung pada absorbansi yang diamati untuk elemen,

masing-masing mendefinisikan spesifikasi kinerja yang berbeda (Beaty & Jack D, 1993). Berikut peralatan AAS memiliki tiga bagian pokok, yaitu :

1. Sistem monokromator, deteksi dan pembacaan
2. Sumber radiasi untuk menghasilkan sinar yang diperlukan.
3. Sistem pengatoman untuk menghasilkan atom-atom bebas.

Sumber radiasi yang sering digunakan untuk pengukuran AAS umumnya ialah lampu katoda berongga atau *hollow cathode lamp*. Lampu katoda berongga ini telah digunakan dalam percoban spektroskopi selama setidaknya 40 tahun baik sebagai sarana untuk menguji sampel dalam analisis spektrografi atau untuk mendapatkan garis spektrum dalam pengujian struktur garis spektrum hyperfine (Elwell & Gidley, 1966). Lampu katoda berongga terdiri dari anoda dan katoda dengan dua elektroda terletak pada tabung kaca yang telah diisi oleh gas neon (Na) atau argon (Ar) bertekanan rendah. Jendela depan terbuat dari kuarsa atau boron silika, sedangkan katoda terbuat dari logam dengan bentuk cekung (Djunaidi, 2018). Suatu sampel sebelum diuji menggunakan AAS harus dilarutkan, proses pelarutan dikenal dengan istilah destruksi. Tujuan destruksi yaitu membuat unsur logam menjadi ion logam yang bebas. Terdapat dua cara destruksi yaitu :

1. Destruksi basah

Sampel ditambahkan asam oksidator, jika perlu dibantu dengan pemanasan.

2. Destruksi kering

Sampel langsung dipanaskan untuk diabukan.

Tipe AAS yang digunakan yaitu *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS) AA – 7000 series. Series ini memiliki doublebeam optics dan perangkat yang lebih stabil, di design agar performanya maksimal pada setiap pengukuran. Sistem double beam akan menghasilkan pengukuran dengan sensitifitas yang tinggi hingga 0.01 ppb.

2.7. Parameter Kualitas Air

2.7.1. pH

Menurut Simanjutak (2012), keasaman perairan (pH) adalah satu dari sekian parameter kimia yang sangat penting untuk meninjau

kestabilan perairan. Perubahan pada nilai pH air perairan memiliki batas-batas tertentu pada berbagai nilai pH. Nilai pH tidak hanya mempengaruhi kesuburan air, tetapi juga kelangsungan hidup dan pertumbuhan organisme akuatik.

Bentuk logam yang masuk ke dalam lingkungan perairan merupakan ion bebas, berpasangan dengan ion organik serta ion kompleks. Nilai pH air dapat mengendalikan logam berat timbal yang telah larut dalam air. Kelarutan logam berat timbal yang telah terlarut dalam air dapat menurun seiring dengan meningkatnya pH. Saat pH naik, stabilitas karbonat berubah menjadi hidroksida, yang bergabung dengan partikel di dalam air dan mengendap membentuk lumpur (Parawita dkk., 2009).

2.7.2. Salinitas

Salinitas merupakan kadar garam yang terlarut dalam air dan tersedia dalam air laut. Kadar salinitas terukur sama untuk semua sampel air laut atau air, meskipun sampel diambil dari lokasi yang berbeda. Kandungan garam dalam air mempengaruhi tekanan osmotik air. Semakin tinggi salinitas, semakin tinggi tekanan osmotik. Biota air asin harus mampu beradaptasi dengan tekanan osmotik lingkungan. Untuk itu, dibutuhkan banyak energi yang didapat dari makanan agar proses adaptasi dapat berlangsung dengan baik (Kordi & Tancung, 2005).

Kawasan mangrove memiliki salinitas yang sangat bervariasi mulai dari 0,5 – 35 ppt. Hal ini dapat dipengaruhi oleh masuknya air laut saat pasang hingga air tawar dari sungai, terutama terjadi pada saat musim hujan. Kadar salinitas pada air tawar berkisar antara 0-0,4 ppt, sedangkan kadar salinitas pada air payau merupakan air dengan derajat oligohaline (0,5-5 ppt) sampai mesohaline (5-18 ppt), dan untuk air laut umumnya polyhaline (18-30 ppt) (Sivasothi, 2001). Konsentrasi logam berat pada perairan yang tercemar dapat dipengaruhi oleh nilai salinitas air, sehingga dapat menyebabkan

peningkatan salinitas air dan peningkatan akumulasi logam berat pada organisme hidup. (Deri dkk., 2013).

2.7.3. Suhu

Besaran fisika yang membuktikan banyaknya kalor yang terkandung pada suatu benda disebut sebagai suhu. Suhu air laut, khususnya pada lapisan permukaan, sangat bergantung pada jumlah kalor yang diterimanya dari pancaran sinar matahari. Suhu pada permukaan air umumnya berkisar antara tropik (27°C - 29°C) dan subtropik (15°C - 20°C). Suhu perairan ini akan secara perlahan-lahan menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman. Akan tetapi, suhu air dapat menurun dengan tajam pada lapisan tertentu meskipun pertambahan kedalamannya hanya sedikit, lapisan tersebut dinamakan dengan termoklin. Selepas melewati lapisan termoklin, suhu air laut dapat kembali menurun secara perlahan seperti sebelumnya seiring dengan bertambahnya kedalaman (Hutagalung, 1988).

Pada kehidupan mangrove, suhu yang tepat adalah lebih dari 20°C , kemudian suhu maksimumnya tidak boleh melebihi 5°C . Kemudian pertumbuhan dan umur panjang tanaman mangrove biasanya tidak terpengaruh oleh temperatur yang tinggi $>40^{\circ}\text{C}$ (Kolehmainen dkk., 1973).

2.7.4. D.O

DO atau *Dissolved Oxygen* yang terkandung dalam air laut digunakan oleh mikroorganisme dan makroorganisme untuk mengoksidasi bahan-bahan anorganik dan bahan-bahan organik. Banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme sangat tergantung pada jumlah dan jenis bahan organik yang terdapat dalam perairan, oleh karena itu masuknya limbah organik, yang berasal dari limbah kegiatan domestik, industri, pertambangan maupun pertanian akan menurunkan kadar O_2 dalam air laut. Rendahnya kadar DO dapat juga disebabkan oleh adanya lapisan minyak dipermukaan laut,

naiknya suhu air, zat padat tersuspensi atau proses respirasi plankton pada malam hari (Rochyatun, 2002).

Menurut (Rivai dalam Patty, 2014) mengatakan bahwa pada umumnya kandungan oksigen sebesar 5 ppm dengan suhu air berkisar antara 20-30°C masih baik untuk kehidupan ikan-ikan, bahkan apabila dalam perairan tidak terdapat senyawa-senyawa yang bersifat toksik (tidak tercemar) kandungan oksigen sebesar 2 ppm sudah cukup untuk mendukung kehidupan organisme perairan.

2.8. IADC/CEDA

International Association of Drilling Contractors/IADC merupakan Asosiasi Kontraktor Pengeboran Internasional. IADC adalah asosiasi perdagangan nirlaba yang merupakan pemimpin global dalam memajukan industri pengeboran. IADC diakui di seluruh dunia untuk program akreditasi, konferensi, upaya advokasi, dan berita industri. IADC memiliki misi menjadikan dunia tempat yang lebih aman, lebih baik, dan lebih berkelanjutan untuk ditinggali.

The Central Dredging Association /CEDA didirikan pada tahun 1978. CEDA merupakan asosiasi internasional yang independen untuk semua yang terlibat dalam kegiatan yang berkaitan dengan pengerukan, infrastruktur berbasis air dan pengelolaan sedimen kerukan yang berasal dari Eropa, Afrika atau Timur Tengah. CEDA adalah platform terkemuka yang mudah diakses untuk pertukaran pengetahuan dan titik referensi otoritatif untuk informasi teknis dan ilmiah yang tidak memihak.

Tabel 2.1 Guidelines Logam Berat dalam Sedimen Menurut IADC/CEDA (1997)

Logam Berat	Level (ppm)				
	Target	Limit	Tes	Intervensi	Bahaya
Timbal (Pb)	85	530	530	530	1000
Kadmium (Cd)	0,8	2	7,5	12	30
Merkuri (Hg)	0,3	0,5	1,6	10	15

Keterangan :

- a. Level *Target*, jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai level target, maka substansi yang ada pada sedimen tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.
- b. Level *Limit*, jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen memiliki nilai maksimum yang dapat ditolerir bagi kesehatan manusia maupun ekosistem.
- c. Level *Tes*, jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen berada pada kisaran nilai antara level limit dan level tes, maka dikategorikan sebagai tercemar ringan.
- d. Level *Interval*, jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen berada pada kisaran nilai antara level tes dan level intervensi, maka dikategorikan sebagai tercemar sedang.
- e. Level *Bahaya*, jika konsentrasi kontaminan berada pada nilai yang lebih besar dari baku mutu level bahaya maka harus dengan segera dilakukan pembersihan sedimen.

2.9. Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Hasil	Perbedaan dengan Peneliti
1.	<i>Remobilization of Heavy Metals by Mangrove Leaves</i> . Author : Hanan Almahasheer, Oscar Serrano, Carlos M. Duarte, Xabier Irigoien. (2018). Jurnal : Jurnal Frontiers in Marine Science	Konsentrasi logam tidak bergantung pada umur daun untuk sebagian besar logam berat, kecuali V, Cd, dan As, yang meningkat seiring bertambahnya umur daun, dan Cu yang menurun seiring bertambahnya umur daun.	1. Author menganalisa hampir seluruh kandungan logam berat kecuali Hg 2. Author hanya mengambil sampel pada sedimen dan daun 3. Author tidak menghitung BCF, TF, dan FTD.
2.	Analisis Logam Pb, Mn, Cu, dan Cd Pada Sedimen di Pelabuhan Jetty Meulaboh, Aceh Barat. Author : Desi Warni, Sofyatuddin Karina, Nurfadillah Nurfadillah. (2017). Jurnal : Jurnal Ilmiah Mahasiswa	Hasil analisis logam Pb, Mn, Cu dan Cd pada sedimen dengan menggunakan AAS menunjukkan bahwa kandungan logam Pb, Mn, Cu telah melewati ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan oleh Australian and New Zealand Environment and	1. Author menganalisa Pb, Mn, Cu, dan Cd. 2. Author hanya menganalisa sampel sedimen. 3. Author tidak menghitung BCF, TF, dan FTD.

	Kelautan dan Perikanan Unsyiah.	Conservation Council (ANZECC, 2000), sedangkan untuk logam Cd tidak terdeteksi adanya kandungan logam berat pada batas uji alat AAS.	4. <i>Guidelines</i> sedimen yang digunakan oleh author yaitu ANZECC, 2000.
3	Analisis Logam Berat Timbal (Pb) pada Akar Mangrove di Desa Bahowo dan Desa Talawaan Bajo Kecamatan Tongkaina. Author : Troy Hendro Sanadi, Joshian N.W. Schaduw, Sandra O. Tilaar, Desy Mantiri, Robert Bara, Wilmy Pelle. (2018). Jurnal : Jurnal Pesisir dan Laut Tropis.	Pada lokasi desa bahowo mangrove jenis A. marina konsentrasi Pb sebesar (0.0435 ppm) dan (0.0148 ppm), pada lokasi Desa Talawaan Bajo mangrove konsentrasi Pb yang diserap sebesar (0.0134 ppm) dan (0.0013 ppm). Sedangkan untuk konsentrasi Pb pada spesies S. Alba pada Desa Bahowo konsentrasi Pb sebesar (0.0022 ppm) dan (0.0019 ppm) dan pada Desa Talawaan Bajo memiliki konsentrasi Pb sebesar (0.0025 ppm) dan (0.0016 ppm). Konsentrasi Pb yang berada di Desa Bahowo lebih tinggi dibandingkan konsentrasi Pb di Desa Talawaan Bajo.	1. Author menguji sampel air, daun, akar, dan sedimen. Sedangkan penulis pada jurnal ini hanya menguji sampel akar. 2. Author hanya menganalisa logam berat Pb. 3. Author menganalisa logam berat menggunakan perbandingan dari 2 spesies mangrove yang berbeda.
4	Analisis Kandungan Logam Berat pada Tumbuhan Mangrove Sebagai Bioindikator di Teluk Bima. Author : Khairuddin, M. Yamin dan Abdul Syukur. (2018). Jurnal : Jurnal Biologi Tropis.	Rata-rata kadar Pb pada daun Sonneratia alba adalah 3,74 ppm, sedangkan rata-rata pada akarnya sebesar 4,15 ppm. Sedangkan rata-rata kadar timbal (Pb) pada daun Ryzophora apiculata adalah 3,21 ppm dan rata-rata pada akarnya sebesar 1,85 ppm. Sedangkan rata-rata kadar Cd pada daun Sonneratia alba adalah 0,24 ppm, sementara rata-rata pada akarnya sebesar 0,19 ppm. Sedangkan rata-rata kadar Kadmium (Cd) pada daun Ryzophora apiculata adalah 0,41 ppm dan rata-rata pada akarnya sebesar 0,18 ppm. Keberadaan logam berat Pb dan Cd dalam lingkungan tempat hidupnya mangrove ini yaitu di teluk Bima baik pada lokasi Palibelo maupun pada lokasi Amahami sudah terkontaminasi oleh logam berat timbal (Pb), dan Kadmium (Cd).	Peneliti menguji sampel air, daun, akar, dan sedimen. Sedangkan author pada jurnal ini hanya menguji sampel akar dan daun. Author tidak menghitung BCF, TF, dan FTD.

2.10. Integrasi Keislaman

Pencemaran lingkungan oleh logam berat erat kaitannya dengan eksploitasi logam berat itu sendiri. Dengan kemajuan industrialisasi yang menggunakan logam berat, pencemaran logam berat cenderung meningkat. Paparan logam berat dapat menyebabkan kerusakan lingkungan baik di lingkungan udara, air dan tanah (Widowati dkk., 2008)

Allah menjadikan manusia sebagai khalifah di muka bumi ini. Tugas yang harus dilaksanakan oleh seorang khalifah adalah memelihara, mengelola, dan memanfaatkan alam semesta. Namun, manusia seringkali menyengsarakan dirinya sendiri dengan berbuat serakah dan berkelakuan buruk. Berbagai bencana alam merupakan buah daripada kelakuan manusia yang merugikan dirinya dan makhluk hidup di sekitarnya. Ayat mengenai kerusakan lingkungan pun telah dijelaskan pada Q.S Al – A’Raf ayat 56, yang berbunyi :

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ
مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya : Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.

Tafsir surat Al-A’raf ayat 56 menurut KEMENAG Saudi Arabia Dan janganlah kalian melakukan perbuatan kerusakan di muka bumi dengan cara apapun dari macam-macam kerusakan, setelah Allah memperbaikinya dengan pengutusan para rasul dan memakmurkannya dengan amal ketaatan kepada Allah. Dan berdoalah kepadaNYa dengan keikhlasan doa bagiNya, dengan diiringi rasa takut terhadap siksaanNya dan berharap akan pahalaNYa. Sesungguhnya rahmat Allah itu dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.

Keserakahan dan penyalahgunaan alam oleh sebagian orang bisa membuat mereka sengsara. Tanah longsor, banjir, kekeringan, tata ruang yang tidak teratur, udara dan air yang tercemar merupakan akibat dari perbuatan manusia yang justru merugikan manusia dan makhluk hidup

lainnya. Islam mengajarkan bahwa manusia selalu menjaga lingkungan. Hal ini sering tercermin dalam beberapa ibadah, seperti menunaikan ibadah haji.

Dari Abû Sa'îd Sa'd bin Mâlik bin Sinân al-Khudri Radhyallahu anhu, Rasûlullâh Shallallahu 'alaihi wa sallam bersabda, "Tidak boleh ada bahaya dan tidak boleh membahayakan orang lain

عَنْ أَبِي سَعِيدٍ سَعْدِ بْنِ مَالِكِ بْنِ سِنَانَ الْخُدْرِيِّ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ: لَا ضَرَرَ وَلَا ضِرَارَ

Makna hadits tersebut tidak boleh ada bahaya dan tidak boleh menimbulkan madharat (bahaya) tanpa alasan yang dibenarkan dalam syariat. Ada juga yang mengatakan, dharar ialah memudharatkan orang lain yang tidak pernah melakukan hal yang sama padanya, sedang dhirâr ialah membuat kemudharatan terhadap orang lain yang pernah melakukan hal yang sama padanya (membalas) dengan cara yang tidak diperbolehkan.

Hadits ini menjelaskan kaidah **لَا ضَرَرَ وَلَا ضِرَارَ** yang telah dibakukan Ulama. Para ahli fiqih meng-qiyas-kan semua perkara-perkara yang berbahaya dengan kaidah ini, terutama masalah-masalah kontemporer yang tidak ada pada zaman Nabi Shallallahu 'alaihi wa sallam, misalnya, keserakahan umat manusia sehingga dapat membahayakan alam dan mencelakai sesamanya.

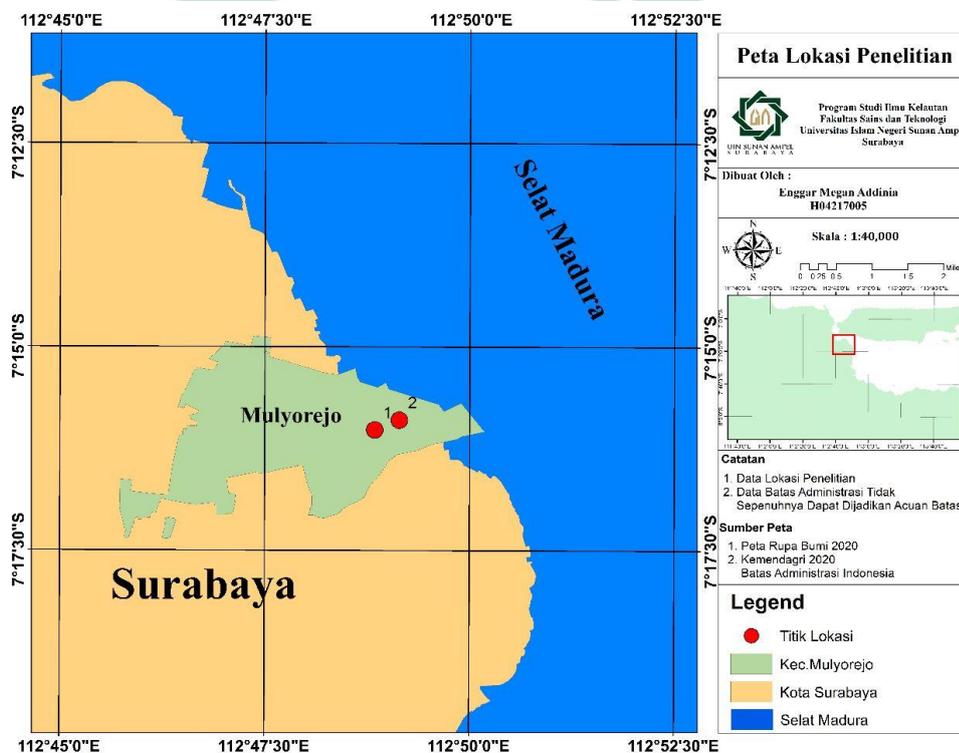
Kaedah **الضَّرَرُ يُزَالُ** didasarkan kepada hadits Nabi saw, yang diriwayatkan oleh Ibnu Majah, Darul Qutni, Hakim dan lainnya yang berbunyi: **لَا ضَرَرَ وَلَا ضِرَارَ** (jangan memudharatkan diri dan orang lain). Pengertian *kaedah al-dharar yuzalu* adalah kemudharatan harus dihilangkan. Qaidah ini memerintahkan untuk mengilangkan kemudharatan. Bila digeneralisasikan, semua wujud kemudharatan, termasuk kesalahan alam yang dapat mengakibatkan bencana alam baik kecil maupun besar mesti dihilangkan. Alasan menghilangkan kemudharatan karena mendzalimi dan menyengsarakan. Kemudharatan juga bertolak belakang dengan maksud syari'at (*maqashid syar'iyah*) yaitu mewujudkan kemaslahatan hidup manusia. Karena itu kemudharatan yang terjadi harus segera dihilangkan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni-Desember 2022 di kawasan mangrove Kalisari, Kecamatan Mulyorejo, Kota Surabaya, Jawa Timur. Lokasi tersebut jarang digunakan sebagai wilayah penelitian dikarenakan akses jalan terbatas yang hanya bisa dilalui dengan kendaraan roda dua (sepeda motor dan sepeda angin). Batas wilayah sebelah utara Kelurahan Dukuh Sutorejo, sebelah Barat Kelurahan Mulyorejo, sebelah selatan Kelurahan Kejawan Putih Tambah, sedangkan sebelah timur langsung berbatasan dengan laut.

Lokasi penelitian dapat dilihat dari gambar 3.1 di bawah ini. Pengambilan sampel dilakukan pada dua stasiun di perairan Mulyorejo Surabaya meliputi air, sedimen, akar, dan daun dengan masing-masing tiga kali pengambilan sampel pada tiap stasiun. Analisis logam berat Pb, Cd, dan Hg dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

3.2. Alat dan Bahan

1. Alat Pengambilan Sampel di Lapangan

Tabel 3.1 Alat Pengambilan Sampel

No	Alat	Kegunaan
1	Pisau	Untuk memotong sampel akar
2	Gunting	Untuk memotong sampel daun
3	Sekop	Untuk mengambil sampel sedimen
4	Botol Plastik (<i>aqua</i>)	Untuk mengambil sampel air
5	Kertas Label	Untuk melabeli nama sampel
6	Plastik Kresek	Untuk menyimpan sampel sedimen
7	Ziplock	Untuk menyimpan sampel air, akar, dan daun
8	GPS (Polaris Navigation)	Untuk menentukan titik koordinat stasiun.

Tabel 3.2 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Pb pada Sedimen, Akar, dan Daun

1. Alat

No	Alat	Kegunaan
1	AAS	Untuk menentukan kandungan logam dengan kategori logam berat maupun logam ringan
2	Oven pengering	Untuk mengeringkan sampel
3	Thermometer (Minimal 125°C)	Untuk mengukur suhu
4	<i>Digestion vessels</i> 250 ml	Untuk wadah bagi sampel uji
5	Kaca arloji	Untuk wadah sampel uji dalam proses pemanasan
6	Alat dan tabung sentrifugasi	Untuk memisahkan campuran padat-cair atau cair-cair yang tidak saling larut
7	Timbangan analitik dengan keterbacaan 0,01 g	Untuk menimbang bahan atau zat yang akan digunakan sebelum melakukan suatu percobaan
8	Timbangan analitik dengan keterbacaan 0,1 mg	
9	<i>Hotplate</i>	Untuk memanaskan atau menghangatkan sekaligus mencampurkan atau menghomogenkan larutan kimia
10	Corong	Untuk memindah / memasukkan larutan ke wadah / tempat yang mempunyai dimensi pemasukkan sampel bahan kecil
11	Gelas ukur berbagai ukuran	Untuk mengukur volume larutan atau zat cair dengan tepat
12	Pipet volumetrik	Untuk mengambil cairan dengan volume tertentu dengan ketelitian lebih tinggi
13	Gelas piala	Untuk wadah penampung yang digunakan untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan
14	Labu ukur 100 ml	Untuk mengukur larutan secara spesifik dengan ketelitian pengukuran yang sangat tinggi
15	Labu ukur 1000 ml	

2. Bahan

No.	Bahan	Kegunaan
1.	Air bebas mineral	Untuk digunakan sebagai pelarut dan untuk membersihkan alat-alat laboratorium dari zat pengotor
2	Asam nitrat (HNO ₃) pekat	Untuk memutus ikatan senyawa kompleks organologam.
3	Asam klorida (hcl) pekat	Untuk mempercepat pemutusan ikatan antara senyawa organik dan melarutkan sisa- sisa logam yang belum larut
4	Hidrogen peroksida (H ₂ O ₂) 30%	Untuk mengoksidasi larutan
5	Larutan induk Pb 1000 mg/L	Untuk pengujian logam berat
6	Gas etilen (C ₂ H ₂)	Untuk preparasi alat AAS
7	Gas nitrous oxide (N ₂ O)	Untuk preparasi alat AAS
8	Argon UHP (kemurnian minimum (99,99%))	Untuk analisis deteksi elemen kimia unsur logam

Tabel 3.3 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Pb pada Air

1. Alat

No	Alat	Kegunaan
1	AAS	Untuk menentukan kandungan logam dengan kategori logam berat maupun logam ringan
2	Lampu holow katoda Pb	Untuk uji logam berat Pb pada alat AAS
3	Gelas piala 250 ml	Untuk wadah penampung yang digunakan untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan
4	Pipet ukur 1ml;5 ml;10ml;15ml dan 20ml	Untuk memindahkan cairan dengan jumlah ukuran yang tepat
5	Labu ukur 100 ml	Untuk mengukur larutan secara spesifik dengan ketelitian pengukuran yang sangat tinggi
6	Corong gelas	Untuk alat bantu untuk memindah / memasukkan larutan ke wadah / tempat yang mempunyai dimensi pemasukkan sampel bahan kecil
7	Pemanas listrik	Untuk memanaskan atau menghangatkan sekaligus mencampurkan atau menghomogenkan larutan kimia
8	Kertas saring whatman 40	Untuk penyaringan sampel
9	Labu semprot	Untuk wadah penyimpanan akuades yang digunakan untuk proses pengenceran dan pembersihan pada proses pengujian

2. Bahan

No	Bahan	Kegunaan
1	Air bebas mineral	Untuk menentukan kandungan logam dengan kategori logam berat maupun logam ringan
2	Asam nitrat (HNO ₃)	Untuk uji logam berat Pb pada alat AAS
3	Larutan standar logam timbal Pb	Untuk wadah penampung yang digunakan untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan
4	Gas etilen (C ₂ H ₂)	Untuk memindahkan cairan dengan jumlah ukuran

		yang tepat
--	--	------------

Tabel 3.4 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Cd pada Sedimen, Akar, dan Daun

2.10.1.1. Alat

No	Alat	Kegunaan
1	AAS	Untuk menentukan kandungan logam dengan kategori logam berat maupun logam ringan
2	Oven pengering	Untuk mengeringkan sampel
3	Thermometer (Minimal 125°C)	Untuk mengukur suhu
4	<i>Digestion vessels</i> 250 ml	Untuk wadah bagi sampel uji
5	Kaca arloji	Untuk wadah sampel uji dalam proses pemanasan
6	Alat dan tabung sentrifugasi	Untuk memisahkan campuran padat-cair atau cair-cair yang tidak saling larut
7	Timbangan analitik dengan keterbacaan 0,01 g	Untuk menimbang bahan atau zat yang akan digunakan sebelum melakukan suatu percobaan
8	Timbangan analitik dengan keterbacaan 0,1 mg	
9	<i>Hotplate</i>	Untuk memanaskan atau menghangatkan sekaligus mencampurkan atau menghomogenkan larutan kimia
10	Corong	Untuk memindah / memasukkan larutan ke wadah / tempat yang mempunyai dimensi pemasukkan sampel bahan kecil
11	Gelas ukur berbagai ukuran	Untuk mengukur volume larutan atau zat cair dengan tepat
12	Pipet volumetrik	Untuk mengambil cairan dengan volume tertentu dengan ketelitian lebih tinggi
13	Gelas piala	Untuk wadah penampung yang digunakan untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan
14	Labu ukur 100 ml	Untuk mengukur larutan secara spesifik dengan ketelitian pengukuran yang sangat tinggi
15	Labu ukur 1000 ml	

2.10.1.2. Bahan

No	Alat	Kegunaan
1	Air bebas mineral	Untuk digunakan sebagai pelarut dan untuk membersihkan alat-alat laboratorium dari zat pengotor
2	Asam nitrat (HNO ₃) pekat	Untuk memutus ikatan senyawa kompleks organologam.
3	Asam klorida (hcl) pekat	Untuk mempercepat pemutusan ikatan antara senyawa organik dan melarutkan sisa- sisa logam yang belum larut
4	Hidrogen peroksida (H ₂ O ₂) 30%	Untuk mengoksidasi larutan

5	Larutan induk Cd 1000 mg/L	Untuk pengujian logam berat
6	Gas etilen (C ₂ H ₂)	Untuk preparasi alat AAS
7	Gas <i>nitrous oxide</i> (N ₂ O)	Untuk preparasi alat AAS
8	Argon UHP kemurnian minimum (99,99%)	Untuk analisis deteksi elemen kimia unsur logam

Tabel 3.5 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Cd pada Air

2.10.1.2.1.1.1. Alat

No	Alat	Kegunaan
1	AAS	Untuk menentukan kandungan logam dengan kategori logam berat maupun logam ringan
2	Lampu holow katoda Cd	Untuk uji logam berat Cd pada alat AAS
3	Gelas piala	Untuk wadah penampung yang digunakan untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan
4	Pipet ukur	Untuk memindahkan cairan dengan jumlah ukuran yang tepat
5	Labu ukur	Untuk mengukur larutan secara spesifik dengan ketelitian pengukuran yang sangat tinggi
6	Corong gelas	Untuk alat bantu untuk memindah / memasukkan larutan ke wadah / tempat yang mempunyai dimensi pemasukkan sampel bahan kecil
7	Pemanas listrik	Untuk memanaskan atau menghangatkan sekaligus mencampurkan atau menghomogenkan larutan kimia
8	Kertas saring <i>whatman</i>	Untuk penyaringan sampel
9	Labu semprot	Untuk wadah penyimpanan akuades yang digunakan untuk proses pengenceran dan pembersihan pada proses pengujian

2.10.1.2.1.1.2. Bahan

No	Bahan	Kegunaan
1	Air bebas mineral	Untuk menentukan kandungan logam dengan kategori logam berat maupun logam ringan
2	Asam nitrat (HNO ₃)	Untuk uji logam berat Cd pada alat AAS
3	Larutan standar logam timbal Cd	Untuk wadah penampung yang digunakan untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan
4	Gas asetilen (C ₂ H ₂)	Untuk memindahkan cairan dengan jumlah ukuran yang tepat

Tabel 3.6 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Hg pada Sedimen, Akar, dan Daun

1. Alat

No	Alat	Kegunaan
1	<i>Mercury analyzer</i>	Untuk menganalisa merkuri
2	Oven	Untuk mengeringkan sampel

3	Labu ukur 100ml dan 1000ml	Untuk mengukur larutan secara spesifik dengan ketelitian pengukuran yang sangat tinggi
4	Labu Ukur 50ml tahan terhadap suhu >300°C	
4	Pipet volumetrik 1,0 ml; 2,0 ml; 3,0ml; 4,0ml; 5,0ml dan 10,0ml	Untuk mengambil cairan dengan volume tertentu dengan ketelitian lebih tinggi
5	Gelas piala 100 ml	Untuk wadah penampung yang digunakan untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan
6	<i>Hotplate</i>	Untuk memanaskan atau menghangatkan sekaligus mencampurkan atau menghomogenkan larutan kimia
7	Timbangan analitik dengan ketelitian sampai 0,0001 g	Untuk menimbang bahan atau zat yang akan digunakan sebelum melakukan suatu percobaan
8	Cawan porselen	Untuk mereaksikan zat kimia pada suhu tinggi.
9	Botol gelas gelap borosilikat	Untuk dijadikan wadah yang tahan panas serta tahan terhadap perubahan suhu ekstrem.
10	Mortar dan alu	Untuk menghancurkan sampel berbentuk padat
11	Batang pengaduk	Untuk mencampur bahan kimia dan cairan
12	Spatula	Untuk mengambil objek
13	Alat destilasi	Untuk mengekstraksi suatu zat cair/padat yang terdapat dalam dua atau lebih campuran zat

2. Bahan

No	Bahan	Kegunaan
1	Larutan induk merkuri Hg	Untuk Pengujian Merkuri
2	Asam sulfat H ₂ SO ₄ pekat	Untuk memberikan senyawa asam pada sampel
3	Asam nitrat HNO ₃ pekat	Untuk menghilangkan kerak atau melarutkan logam mulia
4	Asam perklorat hclo ₄ pekat	Untuk mengoksidasi larutan
5	Larutan HNO ₃ :hclo ₄ (1:1)	Untuk mendestruksikan sampel agar mudah diukur
6	Asam klorida hcl pekat	Untuk mempercepat pemutusan ikatan antara senyawa organik dan melarutkan sisa- sisa logam yang belum larut
7	Hidroksilamin hidroklorida (NH ₂ OH HCL 10%)	Untuk digunakan dalam sintesis organik dan sebagai agen pengurang, sebagai penyumbang oksida nitrat
9	Tin klorida sncl ₂	Untuk digunakan sebagai agen pereduksi (dalam larutan asam)
10	Air bebas merkuri	Air destilasi terbebas dari unsur merkuri
11	Batu didih	Untuk mendidihkan larutan
12	Sodium hidroksida naoh	Untuk mengontrol keasaman air dan menghilangkan logam berat.

Tabel 3.7 Alat dan Bahan Pengujian Logam Berat Hg pada Air

1. Alat

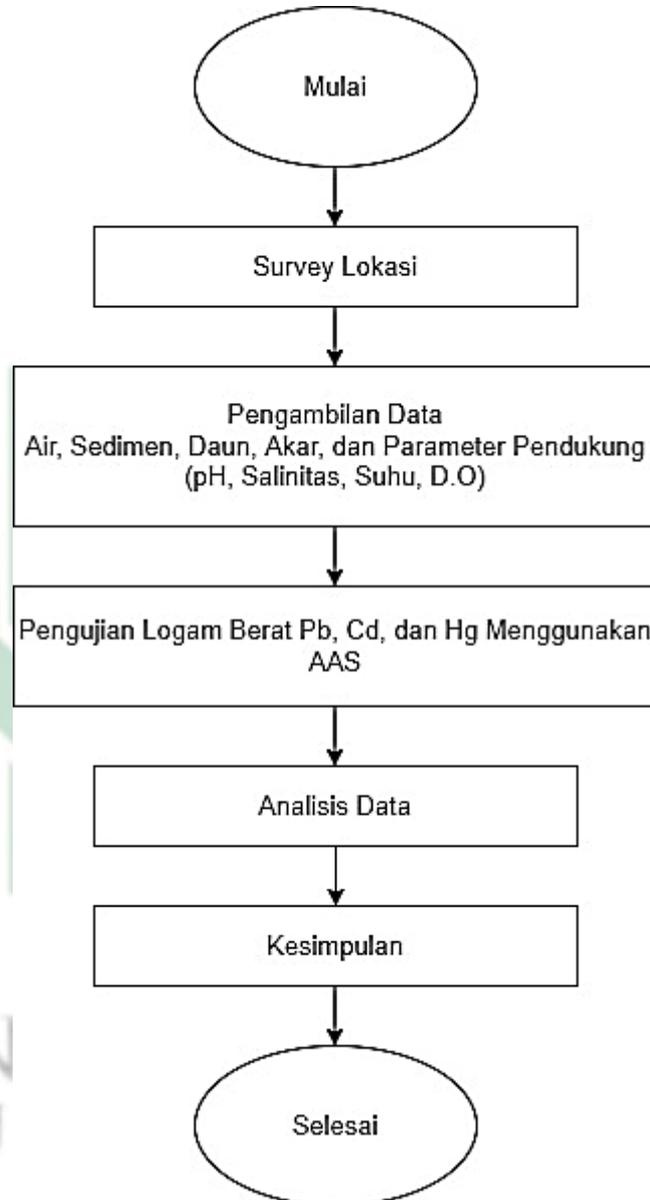
No	Alat	Kegunaan
1	AAS	Untuk menentukan kandungan logam dengan kategori logam berat maupun logam ringan
2	Tabung reaksi	Untuk melakukan uji biokimia dan menumbuhkan mikroba
3	Labu ukur	Untuk mengukur larutan secara spesifik dengan ketelitian pengukuran yang sangat tinggi
4	Pipet ukur	Untuk memindahkan cairan dengan jumlah ukuran yang tepat
6	Gelas piala	Untuk wadah penampung yang digunakan untuk mengaduk, mencampur, dan memanaskan cairan
7	Botol reagen	Untuk wadah berbagai cairan dan reagen padat
8	Penangas air	Untuk menciptakan suhu yang konstan
9	Botol semprot	Untuk menyimpan aquades dan digunakan untuk mencuci ataupun membilas bahan-bahan yang tidak larut dalam air.
10	Timbangan analitik	Untuk menimbang bahan atau zat yang akan digunakan sebelum melakukan suatu percobaan
11	Alat destilasi	Untuk mengekstraksi suatu zat cair/padat yang terdapat dalam dua atau lebih campuran zat

2. Bahan

No	Alat	Kegunaan
1	Merkuri klorida HgCl_2	Untuk membuat larutan induk merkuri
2	Asam sulfat H_2SO_4 pekat	Untuk memberikan senyawa asam pada sampel
3	Asam nitrat HNO_3	Untuk menghilangkan kerak atau melarutkan logam mulia
5	Kalium persulfat $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	Untuk sebagai agen pengoksidasi dan antiseptik
6	Hidroksilamin hidroklorida $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ 10%	Untuk digunakan dalam sintesis organik dan sebagai agen pengurang, sebagai penyumbang oksida nitrat
7	Tin klorida SnCl_2	Untuk digunakan sebagai agen pereduksi (dalam larutan asam)
8	Air bebas merkuri	Air destilasi terbebas dari unsur merkuri
9	Kertas saring bebas merkuri	Untuk menyaring larutan heterogen yang tidak mengandung merkuri
10	Larutan KMnO_4 - H_2SO_4	Untuk dilarutkan ke dalam air bebas merkuri

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dibuat sebagai gambaran umum sebuah penelitian, disajikan pada diagram alir pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.3.1. Penentuan Stasiun

Stasiun ditentukan untuk menentukan area atau pengukuran yang akan diambil sampelnya. Pengambilan sampel dilakukan di dua stasiun yang mewakili seluruh sungai di kawasan tersebut. Data dari masing-masing stasiun berupa data kualitas air seperti suhu, pH, kadar

oksigen, kadar garam. Kandungan logam berat berupa Pb, Cd, dan Hg pada sampel air, sedimen, akar dan daun.

Penentuan titik sampling dilakukan dengan metode *random sampling*.

Titik sampling di dua stasiun ditunjukkan di bawah ini.:

3. Deskripsi Stasiun 1 (-7.267351°, 112.814513°)

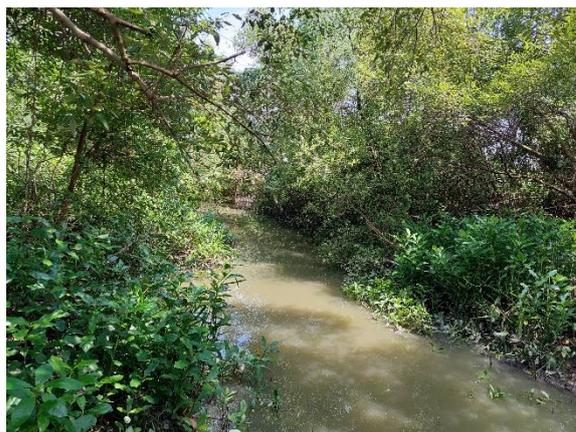
Lokasi penelitian pada stasiun 1 terletak pada sungai paling depan dari kawasan tersebut dan paling jauh dari laut. Secara fisik kondisi perairan berwarna coklat keruh dan substratnya liat. Di dekat lokasi ini terdapat beberapa petak tambak yang dikerjakan oleh petani tambak. Banyak warga yang datang untuk memancing saat hari libur.



Gambar 3.3 Lokasi Penelitian Stasiun 1

4. Deskripsi Stasiun 2 (-7.265064°, 112.819414°)

Lokasi penelitian pada stasiun 2 ini berada dekat dengan laut sehingga dapat dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Pada stasiun ini sudah tidak ada warga yang datang memancing, hanya beberapa petani tambak yang sedang menjemur tanah liat. Dikarenakan lokasi kedua ini jauh dari lokasi pertama dan aksesnya pun sulit.



Gambar 3.4 Lokasi Penelitian Stasiun 2

3.3.2. Pengambilan Sampel

Kegiatan penelitian merupakan pelaksanaan kegiatan lapangan untuk memperoleh data dan mencatat hasil pengamatan di lapangan. Menurut (Usman & Akbar, 2006), observasi adalah kumpulan pengamatan langsung terhadap subjek yang dilakukan di lapangan atau percobaan lapangan atau laboratorium. Observasi merupakan salah satu metode pengumpulan data apabila (1) sesuai dengan tujuan penelitian, (2) direncanakan dan dicatat secara sistematis, dan (3) reliabilitas dan validitas dapat dikendalikan.

Berikut alat-alat yang digunakan untuk menganalisa kualitas air dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Parameter dan Alat yang Digunakan untuk Analisa Kualitas Air

Parameter	Satuan	Alat
Fisik Suhu	°C	Thermometer
Kimia Salinitas	‰	Salinometer
Kimia pH	-	pH meter
Kimia Do	Mg/L	DO meter
Logam Berat Timbal (Pb)	Ppm	AAS
Logam Berat Kadmium (Cd)	Ppm	AAS

Logam Berat	Ppm	AAS
Merkuri (Hg)		

1) Pengambilan Sampel Logam Berat

a) Sampel Pb, Cd, dan Hg pada Air

Pengambilan sampel air menggunakan botol kaca berukuran kurang lebih 240 ml. Air yang diambil dari tiap pengulangan sebanyak satu gelas penuh. Sehingga pada satu stasiun air sampel yang didapat kurang lebih berjumlah 720 ml. Pengambilan sampel air dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dalam tiap stasiun. Kemudian sampel air yang telah didapat disimpan di dalam wadah. Sebelum sampel disimpan, terlebih dahulu pada tiap sampel diberi penamaan menggunakan kertas label.

b) Sampel Pb, Cd dan Hg pada Akar

Pengambilan sampel akar menggunakan pisau besar. Akar yang diambil untuk diuji kurang lebih 3 sampai 4 buah tiap satu kali pengulangan. Sehingga pada satu stasiun, jumlah akar yang terambil sekitar 12-16 buah dengan panjang sekitar 12-15 cm. Pengambilan sampel akar dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali pada tiap stasiun. Kemudian sampel akar yang telah diambil dimasukkan ke dalam plastik ziplock dan disimpan dalam wadah. Sebelum sampel disimpan, terlebih dulu dilakukan penamaan pada tiap sampel menggunakan kertas label.

c) Sampel Pb, Cd, dan Hg pada Sedimen

Pengambilan sampel sedimen menggunakan sekop panjang. Sedimen yang diambil kurang lebih sebanyak 200g dengan tiga kali pengulangan pada setiap stasiun. Kemudian sedimen yang telah diambil dimasukkan ke dalam plastik kresek dan disimpan dalam karung. Sebelum sedimen disimpan, terlebih dahulu diberi pelabelan nama menggunakan kertas label.

d) Sampel Pb, Cd, dan Hg pada Daun

Pengambilan sampel daun menggunakan gunting. Sampel daun yang diambil kurang lebih sebanyak 4 sampai 5 daun pada tiap 1 kali pengulangan. Sehingga pada satu stasiun didapati 12 sampai 15 daun yang akan diujikan. Pengambilan sampel daun dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan pada setiap stasiun. Kemudian sampel daun yang telah dimabil dimasukkan ke dalam plastik ziplock dan disimpan di dalam wadah. Sebelum sampel disimpan, sampel yang telah berada di dalam palstik ziplock dilabeli nama menggunakan kertas label.

3.3.3. Analisis Sampel

1) Analisis Kualitas Air

Pada saat pengambilan sampel, dilakukan analisis sampel kualitas air. Ketika sampel diambil dari lapangan, diukur segera. Kualitas air merupakan indikator pada aliran sungai yang berpengaruh langsung terhadap mangrove.

2) Analisis Logam Berat Pb, Cd, dan Hg

a) Konsentrasi Pb, Cd, dan Hg Pada Air

Analisis kandungan logam berat pada air dilakukan menggunakan alat AAS. Sampel air untuk pengujian Pb (timbal) menggunakan metode SNI 06-6989.8-2004 (Lampiran 3.b), untuk pengujian Cd (kadmium) menggunakan metode SNI 6989.16:2009 (Lampiran 3.d), sedangkan untuk pengujian Hg (merkuri) menggunakan metode SNI 19-6964.2-2003 (Lampiran 3.f).

b) Konsentrasi Pb, Cd, dan Hg pada Sedimen

Pengukuran kandungan sedimen dalam logam berat dilakukan menggunakan alat AAS. Pengukuran Pb (timbal) dan Cd (kadmium) menggunakan metode SNI 8910:2021 (Lampiran 3.a dan Lampiran 3.c), sedangkan untuk pengujian Hg (merkuri) menggunakan metode SNI 06-6992.2-2004 (Lampiran 3.e).

c) Konsentrasi Pb, Cd, dan Hg pada Akar

Pengukuran kandungan akar dalam logam berat dilakukan menggunakan alat AAS. Pengukuran Pb (timbal) dan Cd (kadmium) menggunakan metode SNI 8910:2021, (Lampiran 3.a dan Lampiran 3.c), sedangkan untuk pengujian Hg (merkuri) menggunakan metode SNI 06-6992.2-2004 (Lampiran 3.e).

d) Konsentrasi Pb, Cd, dan Hg pada Daun

Pengukuran kandungan akar dalam logam berat dilakukan menggunakan alat AAS. Pengukuran Pb (timbal) dan Cd (kadmium) menggunakan metode SNI 8910:2021 (Lampiran 3.a dan Lampiran 3.c), sedangkan untuk pengujian Hg (merkuri) menggunakan metode SNI 06-6992.2-2004 (Lampiran 3.e).

3.3.4. Analisis Data

1) Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya akumulasi logam pada mangrove dengan menghitung kandungan logam pada sedimen dan akar. BCF pada akar dihitung untuk menentukan jumlah kandungan logam akar yang berasal dari lingkungan (MacFarlane et al., 2007). Rumus perhitungan BCF adalah sebagai berikut :

$$BCF = \frac{(\text{Logam Berat Pb/Cd/Hg}) \text{ pada akar}}{(\text{Logam Berat Pb/Cd/Hg}) \text{ pada sedimen}}$$

Menurut Baker (1981), kategori BCF dibagi menjadi tiga kategori. Yaitu, pertama akumulator jika $BCF > 1$, kedua indikator jika $BCF = 1$, dan terakhir Excluder jika $BCF < 1$.

2) Faktor Translokasi (TF)

Faktor Translokasi (TF) adalah rasio kandungan logam berat pada daun dan akar. Nilai TF dihitung untuk mengetahui perpindahan

akumulasi logam dari akar ke bagian daun (MacFarlane et al., 2007). TF dapat dihitung menurut rumus rumus :

$$TF = \frac{(\text{Logam Berat Pb/Cd/Hg}) \text{ pada daun}}{(\text{Logam Berat Pb/Cd/Hg}) \text{ pada akar}}$$

Terdapat dua kategori nilai TF menurut (Majid et al., 2014), yang pertama adalah: $TF > 1$ termasuk dalam mekanisme fitoekstraksi sedangkan $TF < 1$ maka termasuk dalam mekanisme fitostabilisasi.

3) Fitoremediasi (FTD)

Fitoremediasi (FTD) adalah perbedaan antara BCF dan TF. FTD bernilai maksimal ketika nilai BCF lebih besar daripada nilai TF (Yoon et al., 2006), dan FTD dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$FTD = BCF - TF$$

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengukuran Logam Berat

Hasil analisa logam berat pada perairan di kawasan Mangrove Mulyorejo untuk melihat tingkat pencemaran logam berat, Pb, Cd, dan Hg.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Logam Berat Pb, Cd, dan Hg

Logam Berat	Air (ppm)		Sedimen (ppm)		Akar (ppm)		Daun (ppm)		
	St. 1	St. 2	St. 1	St.2	St. 1	St. 2	St. 1	St. 2	
Pb	1	0,65	0,7	4,65	5,1	2,05	2,6	1,38	1,42
	2	0,7	0,76	5,11	6,11	2,13	2,54	1,52	1,39
	3	0,68	0,68	4,96	5,21	2,18	3,01	1,45	1,48
Rata-Rata	0,68	0,71	4,91	5,47	2,1	2,7	1,5	1,4	
Standar Deviasi	0,03	0,04	0,20	0,55	0,07	0,26	0,07	0,05	
Baku Mutu/ Guidelines	0,008 ppm (KEMEN LH No. 51 Tahun 2004)	0,008 ppm (KEMEN LH No. 51 Tahun 2004)	Target : 85 Limit : 530 Tes : 530 Intervensi : 530 Bahaya : 1000	Target : 85 Limit : 530 Tes : 530 Intervensi : 530 Bahaya : 1000					
Cd	1	0,96	0,48	2,15	2,68	1,58	1,78	0,41	1,44
	2	1,02	0,51	2,4	2,81	1,66	2,01	0,5	1,51
	3	1,06	0,49	2,2	2,75	1,61	1,9	0,46	1,49
Rata-Rata	1,01	0,49	2,25	2,75	1,6	1,9	0,5	1,5	
Standar Deviasi	0,05	0,02	0,13	0,07	0,05	0,12	0,05	0,04	
Baku Mutu/ Guidelines	0,001 ppm (KEMEN LH No, 51 Tahun 2004)	0,001 ppm (KEMEN LH No, 51 Tahun 2004)	Target : 0,8 Limit : 2 Tes : 7,5 Intervensi : 12 Bahaya : 30	Target : 0,8 Limit : 2 Tes : 7,5 Intervensi : 12 Bahaya : 30					
Hg	1	0,03	0,02	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03
	2	0,03	0,03	0,03	0,07	0,03	0,04	0,02	0,04
	3	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03
Rata-Rata	0,03	0,03	0,04	0,06	0,03	0,02	0,02	0,03	
Standar Deviasi	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Baku Mutu/ Guidelines	0,001 ppm (KEMEN LH No, 51 Tahun 2004)	0,001 ppm (KEMEN LH No, 51 Tahun 2004)	Target : 0,3	Target : 0,3				
			Limit : 0,5	Limit : 0,5				
			Tes : 1,6	Tes : 1,6				
			Intervensi : 10	Intervensi : 10				
			Bahaya : 15	Bahaya : 15				

4.1.1. Logam Berat Timbal (Pb)

1) Logam Berat Timbal (Pb) pada Air

Berdasarkan hasil penelitian sampel air timbal yang dilakukan pada perairan di kawasan mangrove Mulyorejo yaitu pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 0,68 ppm, dan stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 0,71. Timah hitam pada perairan ditemukan dalam bentuk terlarut/tersuspensi. Banyaknya kendaraan bermotor yang berada di dekat kawasan Mangrove Mulyorejo bisa jadi pemicu tingginya logam Pb akibat dari pemakaian bahan bakar yang mengandung timbal memberikan kontribusi bagi keberadaan timbal di perairan.

Berdasarkan keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 mengenai baku mutu logam berat timbal air laut bagi biota laut sebesar 0,008 mg/l, sedangkan kandungan Pb pada perairan mangrove di kawasan Mulyorejo telah melampaui ambang batas yang diperbolehkan. Tinggi rendahnya konsentrasi logam berat disebabkan oleh jumlah masukan limbah logam berat ke perairan.

Hasil analisis timbal terhadap perairan di kawasan mangrove Mulyorejo dibandingkan dengan penelitian (Barokah, et al., 2019) menunjukkan konsentrasi perairan di teluk Jakarta juga melebihi baku mutu oleh KEPMEN LH. Hal ini diduga, di daerah sekitar kedua lokasi ini didominasi pemukiman penduduk, industri,

dan pasar sehingga adanya pemasukan Pb dapat berasal dari aktifitas masyarakat.

Timbal (Pb) dapat merusak sistem saraf, *heme-totoxic*, *hemetologik*, dan mempengaruhi kerja ginjal. Timbal mempunyai dampak kesehatan yang luas dan berbahaya, karena Pb mempengaruhi hampir semua organ tubuh seperti ginjal, dan hati. Pada ibu hamil, Pb yang tertimbun dalam tulang diremobilisasi dan dapat masuk ke dalam peredaran tubuh. Akibatnya Pb dapat masuk ke dalam janin dan menghambat perkembangan syaraf yang dapat meningkatkan resiko penyakit nerotik, sukar belajar dan penurunan IQ (Athena et al., 2004)

2) Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen

Hasil penelitian sedimen yang dilakukan pada perairan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan bahwa pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 4,91 ppm, dan pada stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 5,47 ppm.

Hasil analisa logam berat timbal pada sedimen di Kawasan Mangrove Mulyorejo dibanding dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rangkuti (2009) pada sedimen di perairan Pulau Panggang-Pramuka menunjukkan nilai lebih besar daripada sedimen di perairan Pulau Panggang-Pramuka. Menurut Korzeniewski & Neugabieuer (1991) dalam Rangkuti (2009), bahwa tipe sedimen dapat mempengaruhi kandungan logam berat dalam sedimen, dengan kategori kandungan logam berat dalam lumpur > lumpur berpasir > berpasir. Dalam hal ini jenis sedimen di kawasan mangrove Mulyorejo adalah lumpur sedangkan sedimen di perairan Pulau Panggang-Pramuka adalah pasir.

Berdasarkan hasil pengukuran timbal dibandingkan dengan baku mutu dari IADC/CEDA (1997) berada jauh dibawah level target yaitu <85 ppm. Berdasarkan keterangan pada baku mutu logam berat sedimen menurut IADC/CEDA (1997), jika konsentrasi logam berat berada dibawah atau lebih kecil dari level

target maka substansi yang ada pada sedimen tersebut tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.

3) Logam Berat Timbal (Pb) pada Akar

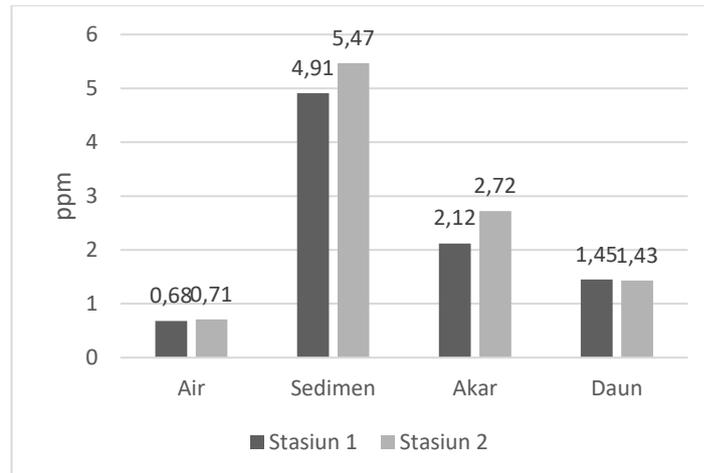
Hasil penelitian logam berat Pb pada akar yang dilakukan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 2,12 ppm, dan pada stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 2,72 ppm.

Hasil analisa logam berat timbal pada akar di kawasan mangrove Mulyorejo Surabaya dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Khairudin dkk (2018) pada akar di Teluk Bima menunjukkan nilai yang lebih besar. Menurut Khairudin dkk (2018), tingginya nilai logam berat Pb diduga dapat berasal dari bahan bakar minyak (BBM) yang mengandung Timbal. Timbal dalam BBM senantiasa ditambahkan untuk meningkatkan nilai oktan sehingga mudah terbakar dan menyebabkan asap kendaraan bermotor mengandung Pb.

4) Logam Berat Timbal (Pb) pada Daun

Hasil penelitian logam berat Pb pada daun yang dilakukan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 1,45 ppm, dan pada stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 1,43 ppm.

Hasil analisa logam berat timbal pada daun di kawasan mangrove Mulyorejo Surabaya dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Khairudin dkk (2018) pada daun di Teluk Bima menunjukkan nilai yang lebih besar. Menurut Mulyadi dkk (2017), selain akumulasi tumbuhan mangrove memiliki upaya pananggulangan toksis dengan melemahkan efek racun melalui pengenceran (dilusi) dengan menyimpan banyak air untuk mengencerkan konsentrasi logam berat. Penyimpanan dan pengenceran dalam jaringan biasa terjadi pada daun kemudian diikuti penebalan daun (sukulensi).



Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Timbal Rata-Rata di Kedua Stasiun

4.1.2. Logam Berat Timbal (Cd)

1) Logam Berat Kadmium (Cd) pada Air

Hasil penelitian kadmium yang dilakukan pada perairan di kawasan mangrove Mulyorejo yaitu pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 1,01 ppm, dan stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 0,49. Keberadaan Cd di lingkungan perairan dapat berasal dari kegiatan masyarakat, contohnya limbah pasar, limbah rumah tangga, perbaikan dan pengecatan kapal nelayan (Rumahlatu,2011)

Hasil analisa logam berat kadmium pada perairan di kawasan mangrove Mulyorejo dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Alisa et al. (2020) pada perairan di perairan Pulau Untung Jawa menunjukkan nilai yang lebih besar daripada di perairan Pulau Untung Jawa. Hal ini diduga karena perairan Pulau Untung Jawa merupakan pulau pemukiman dan pulau destinasi wisata sehingga terdapat adanya aktivitas lalu lintas kapal, perbaikan kapal, dan proyek reklamasi pantai.

Berdasarkan keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 mengenai baku mutu logam berat kadmium air laut bagi biota laut, kandungan Cd pada perairan mangrove di kawasan Mulyorejo telah melampaui ambang batas yang diperbolehkan yakni >0,001. Keracunan kadmium dapat bersifat akut dan kronis. Efek keracunan yang ditimbulkan dapat berupa

penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kelenjar pencernaan, serta dapat mengakibatkan kerapuhan pada tulang.

2) Logam Berat Kadmium (Cd) pada Sedimen

Hasil penelitian sedimen yang dilakukan pada perairan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan bahwa pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 2,25 ppm, dan pada stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 2,75 ppm. Logam berat Cd yang terlarut dalam air akan mengalami proses adsorpsi oleh partikel tersuspensi dan mengendap di sedimen. Proses adsorpsi akan diikuti oleh proses desorpsi yang mengembalikan Cd dalam bentuk terlarut dalam badan air. Kandungan logam berat di sedimen tergantung pada komposisi kimia dan mineral sedimen (Sanusi, 2006).

Hasil pengukuran kadmium dibandingkan dengan baku mutu dari IADC/CEDA (1997) berada di antara level limit dan level tes yaitu 2-7,5ppm. Berdasarkan keterangan pada baku mutu logam berat sedimen menurut IADC/CEDA (1997), jika konsentrasi logam berat berada diantara level limit dan level tes, maka substansi tersebut dikategorikan sebagai tercemar ringan.

3) Logam Berat Kadmium (Cd) pada Akar

Hasil penelitian logam berat Cd pada akar yang dilakukan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 1,62 ppm, dan pada stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 1,90 ppm.

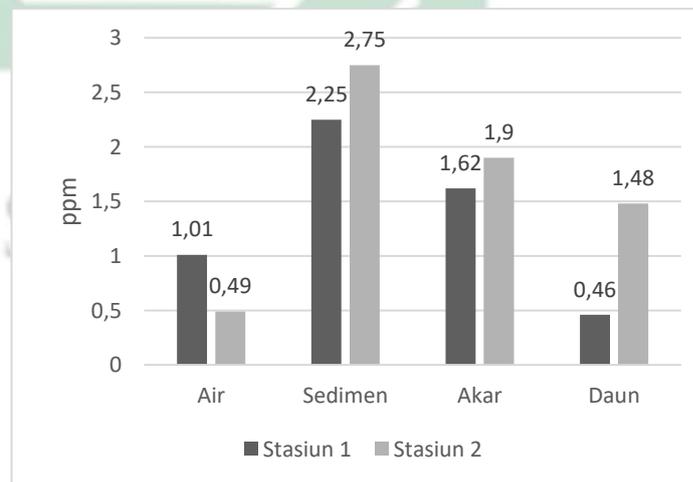
Hasil analisa logam berat di Kawasan Mangrove Mulyorejo Surabaya dibanding dengan penelitian yang dilakukan oleh Kawung dkk (2018) di perairan Basaan-Belang kabupaten Minahasa menunjukkan nilai yang lebih besar daripada di Kawasan Mangrove Mulyorejo. Tingginya kandungan logam di bagian akar menunjukkan bahwa akar cenderung mengakumulasi logam dibagian akar, karena sebagian akar menancap di dalam

tanah sehingga logam-logam yang ada terabsorpsi lebih banyak ke dalam akar.

4) Logam Berat Kadmium (Cd) pada Daun

Hasil penelitian logam berat Cd pada daun yang dilakukan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 0,46 ppm, dan pada stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 1,48 ppm.

Hasil analisa logam berat pada daun di Kawasan Mangrove Mulyorejo Surabaya dibanding dengan penelitian yang dilakukan oleh Kawung dkk (2018) di perairan Basaan-Belang kabupaten Minahasa menunjukkan nilai yang lebih besar daripada di Kawasan Mangrove Mulyorejo. Menurut Chaney dkk (1998) dalam Munthe dkk (2016), logam berat akan didistribusikan ke seluruh jaringan tanaman melalui proses *uptake* pada akar dan dilepas ke lingkungan melalui proses respirasi daun. Rendahnya kandungan logam berat pada daun kemungkinan dapat terjadi karena konjugasi atau kompleksitas dengan zat lain yang terdapat dalam mitokondria pada daun.



Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Kadmium Rata-Rata di Kedua Stasiun

4.1.3. Logam Berat Timbal (Hg)

1) Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air

Hasil penelitian Merkuri yang dilakukan pada perairan di kawasan mangrove Mulyorejo yaitu pada stasiun 1 dan stasiun 2

sama sama menunjukkan hasil dengan rata rata 0,03 ppm. Keberadaan Hg pada bagian muara yang berdekatan dengan laut diduga dipengaruhi oleh kondisi fisika kimia perairan. Sifat Hg yang pada umumnya berikatan dengan mineral dan mudah berikatan dengan klorin, sulfur, oksigen, dan karbon mengakibatkan secara alami logam Hg akan dijumpai di alam meski dalam jumlah yang kecil (Suyanto et al., 2010).

Hasil analisa logam berat merkuri pada perairan di kawasan mangrove Mulyorejo dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Suteja et al., 2018) di perairan muara sungai Banyuasin menunjukkan kandungan merkuri pada sampel air rata-rata 0,05 ppm. Berdasarkan hal ini, terlihat bahwa merkuri di perairan muara sungai Banyuasin lebih tinggi dari rata-rata merkuri di kawasan mangrove Mulyorejo. Pada kedua stasiun ini terlihat bahwa keduanya melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh KEPMEN LH. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum perairan ini jika ditinjau dari pencemaran logam Hg sudah tergolong tercemar.

Berdasarkan keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 mengenai baku mutu logam berat merkuri air laut bagi biota laut, kandungan Pb pada perairan mangrove di kawasan Mulyorejo telah melampaui ambang batas yang diperbolehkan yakni $>0,001$.

Dampak merkuri (Hg) terhadap tubuh dapat bersifat akut atau kronis. Hal ini sangat bergantung pada kadar merkuri yang masuk. Masuknya merkuri ke dalam tubuh pada dosis tertentu dalam waktu cepat dapat menimbulkan dampak yang bersifat akut seperti kerusakan paru-paru, mual, muntah, diare, peningkatan tekanan darah, ruam pada kuku, dan iritasi mata.

2) Logam Berat Merkuri (Hg) pada Sedimen

Hasil penelitian merkuri sedimen yang dilakukan pada perairan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan bahwa pada

stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 0,04 ppm, dan pada stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 0,06 ppm. Konsentrasi merkuri paling besar terdapat pada sedimen, hal ini sesuai dengan penelitian Natsir et al., (2019) bahwa akumulasi Hg lebih banyak terdapat pada sedimen dibandingkan air.

Kedua stasiun memiliki tipe sedimen berlumpur, hal ini sejalan dengan penelitian Irsan dkk., (2020) yang mengatakan bahwa tipe sedimen mempengaruhi konsentrasi Hg, jika konsentrasi Hg tertinggi didapati pada sedimen yang didominasi lumpur dibandingkan dengan tipe sedimen berpasir. Lumpur merupakan sedimen yang kaya akan bahan organik dan mudah berikatan dengan merkuri, kemudian dapat mengendap di dasar perairan.

Hasil pengukuran merkuri pada sedimen dibandingkan dengan baku mutu dari IADC/CEDA (1997) berada dibawah atau lebih kecil dari level target yaitu <0,3 ppm. Berdasarkan keterangan pada baku mutu logam berat sedimen menurut IADC/CEDA (1997), jika konsentrasi logam berat berada di bawah atau lebih kecil dari level target maka substansi yang ada pada sedimen tersebut tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.

3) Logam Berat Merkuri (Hg) pada Akar

Hasil penelitian logam berat Hg pada akar yang dilakukan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan bahwa pada stasiun 1 dan stasiun 2 menunjukkan hasil rata-rata yang sama, yakni 0,03 ppm.

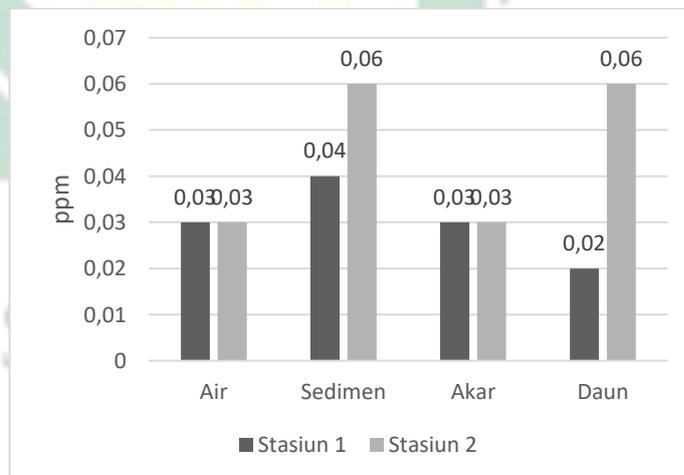
Hasil analisa logam berat pada akar di Kawasan Mangrove Mulyorejo Surabaya dibanding dengan penelitian yang dilakukan oleh Ismail dkk (2020) di Teluk Kayeli Kabupaten Buru menunjukkan nilai yang kurang lebih sama besar dengan analisis logam berat di Kawasan Mangrove Mulyorejo. Tingginya konsentrasi merkuri pada akar menurut Utami dkk (2018), dimana kandungan logam berat pada mangrove lebih banyak ditemukan di perakaran. Kondisi ini dikarenakan jaringan akar memiliki

interaksi langsung dengan sedimen dan air yang telah terkontaminasi oleh logam berat yang mengendap, kemudai ditranslokasikan ke bagian lain.

4) Logam Berat Merkuri (Hg) pada Daun

Hasil penelitian logam berat Hg pada daun yang dilakukan di kawasan mangrove Mulyorejo didapatkan pada stasiun 1 menunjukkan hasil dengan rata-rata 0,02 ppm, dan pada stasiun 2 menunjukkan hasil dengan rata-rata 0,03 ppm.

Hasil analisa logam berat pada daun di Kawasan Mangrove Mulyorejo Surabaya dibanding dengan penelitian yang dilakukan oleh Heriyanto dan Subiandono (2011) oleh Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi menunjukkan nilai yang lebih besar dari hasil analisa logam berat di Kawasan Mangrove Mulyorejo. Banyaknya akumulasi Hg pada bagian daun merupakan usaha lokalisasi yang dilakukan oleh tumbuhan, yaitu mengumpulkannya dalam satu organ.



Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Merkuri Rata-Rata di Kedua Stasiun

4.2. Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF), dan Fitoremediasi (FTD)

Perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF) dan Fitoremediasi (FTD) diperlukan untuk mengetahui kemampuan tanaman mangrove dalam menyerap logam berat pada lingkungannya. Hasil perhitungan dari kedua stasiun dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan BCF, TF, dan FTD

Logam Berat	Stasiun	BCF	TF	FTD
Pb	1	0,43	0,68	-0,25
	2	0,50	0,53	-0,03
Cd	1	0,72	0,28	0,44
	2	0,69	0,78	-0,09
Hg	1	0,75	0,67	0,08
	2	0,5	2	-1,50

4.2.1. Analisis Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Hasil analisis BCF pada logam berat Pb di kedua stasiun diperoleh nilai berkisar 0,43-0,50 atau 43-50% dari jumlah Pb dalam sedimen. Pada logam berat Cd diperoleh nilai 0,69-0,72 atau 69-72% dari jumlah Cd dalam sedimen. Pada logam berat Hg diperoleh nilai 0,50-0,75 atau 50-75% dari jumlah Hg dalam sedimen.

Berdasarkan penelitian MacFerlane et al (2007), nilai BCF yang besaran nilainya lebih besar dari 1 maka tumbuhan tersebut bersifat akumulator, jika besaran nilai BCF kurang dari 1 maka tumbuhan tersebut bersifat excluder, sedangkan jika nilai BCF sama dengan 1 maka tumbuhan tersebut bersifat indikator. Hal ini menandakan bahwa tumbuhan mangrove di kawasan Mulyorejo Surabaya bersifat excluder, yaitu tanaman yang secara efektif mencegah logam berat memasuki area bagian atas tanaman, namun konsentrasi logam di sekitar area perakaran masih tinggi.

4.2.2. Analisis Faktor Translokasi (TF)

Kemampuan tanaman dalam mentranslokasikan logam dari akar ke seluruh bagian tumbuhan digunakan perhitungan nilai Faktor Translokasi (TF). Translokasi logam dihitung antara rasio konsentrasi logam di daun dan di akar. Hasil analisis TF pada logam berat Pb pada kedua stasiun diperoleh nilai 0,53-0,68. Pada logam berat Cd diperoleh nilai 0,28-0,78. Pada logam berat Hg diperoleh nilai 0,67-2. Menurut Lorestani et al., 2011, untuk menjadi tumbuhan hiperakumulator besar faktor translokasi harus lebih dari satu ($TF > 1$).

Jika nilai $TF > 1$ maka tanaman tersebut memiliki mekanisme Fitoekstraksi, dan jika nilai $TF < 1$ maka tanaman tersebut memiliki mekanisme Fitostabilisasi. Fitostabilisasi merupakan proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam organ tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut akan tetap berada di dalam tanah (EPA, 2000).

Pernyataan ini menunjukkan bahwa mangrove yang berada di kedua stasiun di kawasan Mulyorejo Surabaya merupakan tanaman dengan mekanisme Fitostabilisasi kecuali mangrove yang berada di stasiun 2 karena mangrove di stasiun 2 mekanisme Fitoekstraksi, namun tumbuhan ini hanya bisa mengakumulasi satu logam berat saja yaitu Hg. Mekanisme Fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah melalui akar yang kemudian disimpan di bagian tajuk tanaman. Jenis tanaman ini disebut sebagai hiperakumulator. Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam dengan konsentrasi yang sangat tinggi pada jaringan permukaan di habitatnya (Baker dan Brooks, 1994).

Merujuk kepada penelitian yang dilakukan oleh Yoon et al., (2006) bahwa nilai TF yang rendah menunjukkan bahwa logam berat tersebut tidak ditranslokasikan ke bagian tumbuhan lainnya, tetapi terakumulasi dalam akar. Akar pun memiliki sistem penghentian transpor logam menuju daun terutama logam non esensial, sehingga penumpukan logam hanya berada di akar.

4.2.3. Analisis Fitoremediasi (FTD)

Fitoremediasi merupakan salah satu solusi yang bisa digunakan untuk mengurangi kandungan polutan di daerah yang terkontaminasi dengan menggunakan tumbuhan sebagai sarana dengan tujuan mengurangi tingkat pergerakan logam berat pada tanah atau sedimen (Ma et al., 2001). Berdasarkan hasil pada tabel 4.2 diketahui bahwa FTD terbesar yaitu 0,44 di stasiun 1 translokasi logam berat Cd. Sementara FTD terendah yaitu -1,50 di stasiun 2

translokasi logam berat Hg. Rendahnya nilai FTD menunjukkan tingkat efektifitas biokonsentrasi logam oleh akar dan translokasi logam dari akar ke daun yang berimbang.

Nilai FTD yang tinggi digunakan untuk mengurangi pergerakan polutan di dalam sedimen karena efektifitas akumulasi logam terjadi pada akar. Proses ini menggunakan kemampuan akar tanaman mangrove untuk mengubah kondisi lingkungan dari tercemar berat menjadi sedang bahkan sampai ringan (Susarla et al., 2002).

4.3. Kualitas Perairan Mangrove Mulyorejo

Data kualitas air diperoleh dari 2 stasiun, parameter yang diteliti adalah pH, suhu, DO, dan salinitas. Dilakukan pengujian sebanyak tiga kali pengulangan pada setiap parameter. Data kualitas air dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Parameter Fisika Kimia di Kedua Stasiun

Stasiun	Suhu (°C)	pH	DO (Mg/L)	Salinitas (‰)
Stasiun 1	28,60	6,72	2,80	30,6
Stasiun 2	28,05	6,55	2,99	28,3

4.3.1. Suhu

Suhu perairan merupakan salah satu parameter fisika yang sangat penting bagi kehidupan biota air, oleh sebab itu untuk kelangsungan hidup dan pertumbuhan yang optimal setiap biota mempunyai batas toleransi yang berbeda beda terhadap suhu terendah dan suhu tertinggi. Selain berpengaruh terhadap kehidupan organisme, parameter suhu juga berpengaruh terhadap parameter lainnya.

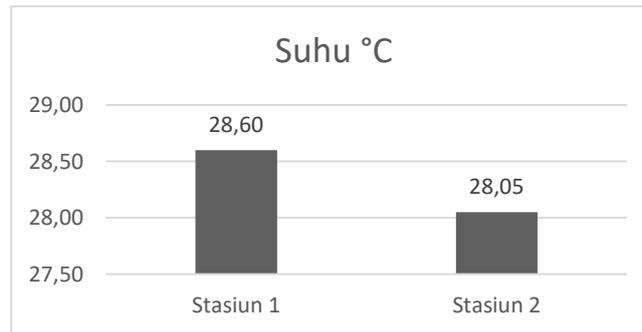
Hasil pengukuran parameter kualitas suhu air pada stasiun 1 diperoleh dengan rata-rata 28,60 °C dan stasiun 2 dengan rata-rata 28,05°C. Hasil tersebut sesuai dengan Keputusan Kementrian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, nilai baku mutu suhu air laut untuk biota laut pada kawasan mangrove berkisar antara 28°-32°C. Suhu air laut di suatu perairan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti

radiasi sinar matahari, letak geografis perairan, sirkulasi arus, kedalaman laut, angin, dan musim (Patty, 2013).

Perbedaan suhu dari kedua stasiun tersebut tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh waktu pengambilan sampel dan keadaan lokasi pada kedua stasiun tersebut. Pengukuran suhu dilakukan saat tengah hari, dimana cuaca sangat cerah dan intensitas matahari sangat baik. Dapat dilihat pada hasil pengukuran suhu diatas, suhu pada stasiun 2 lebih rendah dibandingkan dengan suhu pada stasiun 1. Hal ini dikarenakan pada stasiun 1 kawasan lebih gersang, diduga karena penetrasi cahaya pada mangrove dengan kerapatan langsung terpancar ke dalam perairan, sedangkan pada stasiun 2 yang lebih lebat, diduga karena penetrasi cahaya pada mangrove dengan kerapatan yang lebih tinggi tidak langsung terpancar ke dalam perairan karena terhalang pepohonan yang rimbun, sehingga mampu menekan suhu udara di perairan.

Nybakken (1992) menjelaskan bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Kaidah umum menyebutkan bahwa reaksi kimia dan biologi air (proses fisiologis) akan meningkat 2 kali lipat pada setiap kenaikan temperatur 10°C . Selain itu, suhu juga berpengaruh terhadap penyebaran dan komposisi organisme. Kenaikan suhu selain meningkatkan metabolisme juga dapat meningkatkan toksisitas logam berat (Hutagalung, 1984).

Suhu juga mempengaruhi proses kelarutan logam-logam berat yang masuk ke perairan. Semakin tinggi suatu suhu perairan kelarutan logam berat akan semakin tinggi. Perairan Mulyorejo pada stasiun 1 yang memiliki kisaran suhu lebih tinggi memungkinkan kelarutan logam berat menjadi tinggi. Hal ini sesuai dengan pendapat Darmono (2001) yang menyatakan bahwa suhu yang tinggi dalam air menyebabkan laju proses biodegradasi yang dilakukan oleh bakteri pengurai aerobik menjadi naik dan dapat menguapkan bahan kimia ke udara.



Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Suhu di Kedua Stasiun

4.3.2. pH

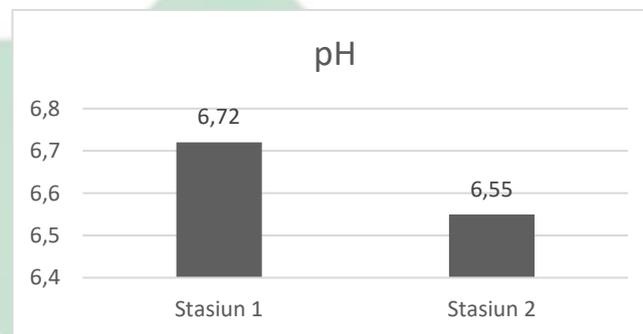
Derajat keasaman atau kadar ion H dalam air merupakan salah satu faktor kimia yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan organisme yang hidup di suatu lingkungan perairan. Tinggi atau rendahnya nilai pH air tergantung pada beberapa faktor yaitu, kondisi gas-gas dalam air seperti CO₂, konsentrasi garam-garam karbonat dan bikarbonat, proses dekomposisi bahan organik di dasar perairan (Barus, 2004).

Hasil pengukuran parameter kualitas pH air pada stasiun 1 diperoleh dengan rata-rata 6,72 dan pada stasiun 2 diperoleh hasil 6,55. Menurut Keputusan Kementrian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, nilai baku mutu pH air laut untuk biota laut pada kawasan mangrove bernilai 7 - 8,5, sehingga nilai pH pada kedua stasiun ini kurang sesuai untuk kehidupan biota laut karena berada di bawah standar baku mutu.

Namun, menurut Sary (2006) tinggi rendahnya pH dipengaruhi oleh fluktuasi kandungan O₂ maupun CO₂. Tidak semua makhluk bisa bertahan terhadap perubahan nilai pH, untuk itu alam telah menyediakan mekanisme yang unik agar perubahan tidak terjadi atau terjadi tetapi dengan cara perlahan. Tingkat pH lebih kecil dari 4,8 dan lebih besar dari 9,2 sudah dapat dianggap tercemar.

Derajat keasaman (pH) dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di perairan, dalam hal ini kelarutan logam berat akan lebih tinggi pada pH rendah, sehingga menyebabkan toksisitas logam

berat semakin besar. Kenaikan pH pada badan perairan biasanya akan diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari senyawa-senyawa logam tersebut. Umumnya pada pH yang semakin tinggi, maka kestabilan akan bergeser dari karbonat ke hidroksida. Hidroksida-hidroksida ini mudah sekali membentuk ikatan permukaan dengan partikel-partikel yang terdapat pada badan perairan. Lama-kelamaan persenyawaan yang terjadi antara hidroksida dengan partikel-partikel yang ada di badan perairan akan mengendap dan membentuk lumpur (Hutagalung, 1984).



Gambar 4.5 Hasil Pengukuran Parameter pH di Kedua Stasiun

4.3.3. DO

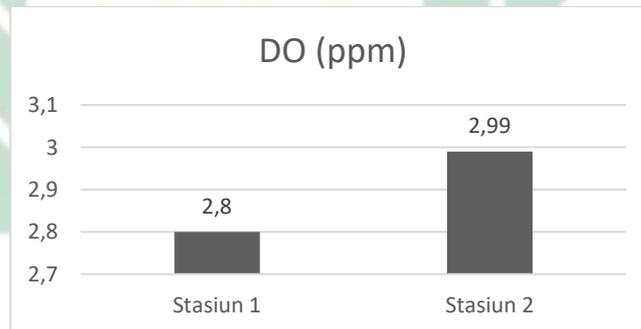
Kadar oksigen terlarut (dissolved oxygen, DO) dapat dijadikan ukuran untuk menentukan mutu air. Kehidupan di air dapat bertahan jika ada oksigen terlarut minimum sebanyak 5 mg oksigen setiap liter air (5 ppm). Selebihnya bergantung kepada ketahanan organisme, derajat aktivitasnya, kehadiran pencemar, suhu air dan sebagainya (Romimuhtarto, 1991)

Hasil pengukuran konsentrasi DO (oksigen terlarut) pada stasiun 1 diperoleh dengan rata-rata 2,8 Mg/L dan pada stasiun 2 diperoleh hasil 2,99 Mg/L. Berdasarkan Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, baku mutu DO air laut untuk biota laut pada kawasan mangrove harus lebih besar daripada 5Mg/L, sehingga konsentrasi DO selama pengamatan diatas berada di bawah standar baku mutu.

Effendi (2003) menyebutkan bahwa dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan organik dapat mengurangi kadar oksigen

di perairan hingga mencapai nol (anaerob). Kebutuhan oksigen sangat dipengaruhi oleh suhu dan bervariasi tiap jenis. Keberadaan limbah yang masuk ke suatu perairan akan menurunkan kadar oksigen di perairan. Hal tersebut terkait dengan pemanfaatan yang berlebihan terhadap oksigen terutama pada proses penguraian bahan organik oleh bakteri pengurai.

Keberadaan O₂ dapat mempengaruhi keberadaan dan toksisitas logam berat. Semakin rendah O₂, maka daya racun logam berat umumnya semakin tinggi. Semua logam berat dapat menimbulkan pengaruh yang negatif terhadap organisme perairan pada batas dan kadar tertentu. Hal ini dipengaruhi oleh jenis logam, pengaruh interaksi antar logam dan jenis racun lainnya, spesies hewan, daya permeabilitas organisme, dan mekanisme detoksikasi serta pengaruh lingkungan seperti suhu, pH, dan oksigen (Bryan, 1984 in Muhtadi 2009).



Gambar 4.6 Hasil Pengukuran Parameter DO di Kedua Stasiun

4.3.4. Salinitas

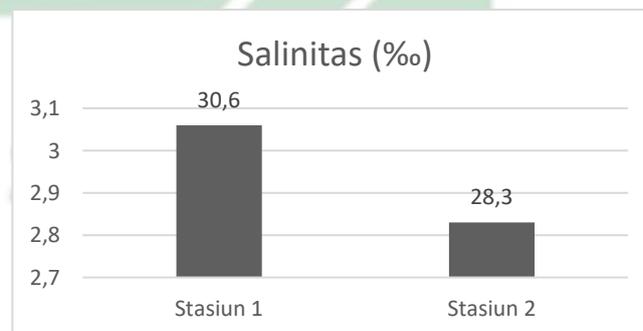
Salinitas adalah jumlah dalam gram zat-zat terlarut dalam 1 kg air laut, dianggap semua karbonat (CO_2)³⁻ telah diubah menjadi oksida, bromida dan iodida diganti oleh klorida dan semua bahan organik telah dioksidasi sempurna. Menurut konsep Knudsen (1902) in Muhtadi (2009) terdapat istilah lain yaitu klorinitas yang merupakan jumlah anion klor dalam gram yang terdapat dalam 1 kg air laut, dianggap semua bromida dan iodida diganti oleh klorida.

Hasil pengukuran parameter kualitas salinitas air pada stasiun 1 diperoleh dengan rata-rata 30,6 ‰ dan pada stasiun 2 diperoleh hasil

28,3 %. Berdasarkan Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004, baku mutu salinitas air laut untuk biota laut pada kawasan mangrove sampai dengan 34 %.

Secara umum nilai salinitas setiap tempat/stasiun berbeda hal ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan dan aliran sungai (Nontji, 2007). Nybakken (1992) mengemukakan bahwa perbedaan salinitas terjadi karena perbedaan dalam penguapan dan presipitasi (hujan) sehingga hal ini juga membuat nilai salinitas di perairan Mulyorejo tidak sama. Salinitas juga dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di perairan. Jika terjadi penurunan salinitas, maka akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Hutagalung, 1984).

Hal ini sesuai dengan pernyataan Rangkuti (2009) bahwa penelitian mengenai pengaruh salinitas atau kadar garam pada bioakumulasi logam menunjukkan bahwa konsentrasi logam biotik meningkat dengan menurunnya kadar garam. Jika terjadi penurunan salinitas, maka akan menyebabkan terjadinya peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar.



Gambar 4.7 Pengukuran Parameter Salinitas di Kedua Stasiun

BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

1. Konsentrasi logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) pada sampel air menunjukkan ketiganya melebihi baku mutu oleh KEPMEN LH NO. 51 Tahun 2004. Nilai Pb pada air rata-rata berkisar 0,66-0,71 ppm, nilai Pb 0,49-1,01 ppm, dan nilai Hg 0,03 ppm. Kandungan logam berat kadmium (Cd) pada sampel sedimen berada pada level *tes*, yaitu tercemar ringan sedangkan kandungan logam berat timbal (Pb) dan merkuri (Hg) pada sedimen berada pada level *target* yaitu tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.
2. Analisa kemampuan tanaman mangrove dalam mengakumulasi logam berat didapat dari analisis faktor biokonsentrasi. Nilai BCF pada kedua stasiun tidak sampai 1. Pada logam berat Pb diperoleh nilai berkisar 0,43-0,50, pada logam berat Cd diperoleh nilai 0,69-0,72, dan pada logam berat Hg diperoleh nilai berkisar 0,50 – 0,75. Hal ini menandakan bahwa tumbuhan mangrove di kawasan Mulyorejo Surabaya bersifat *excluder*, yaitu tanaman yang secara efektif mencegah logam berat memasuki area bagian atas tanaman, namun konsentrasi logam di sekitar area perakaran masih tinggi.

5.2. Saran

Penelitian selanjutnya sebaiknya melacak sumber bahan pencemar sehingga dapat dijadikan kebijakan untuk pengelolaan yang lebih baik. Perlu dilakukan pengujian lebih lengkap mengenai kandungan logam berat selain Pb, Cd, dan Hg di kawasan mangrove Mulyorejo serta kandungannya pada hasil budidaya petambak setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. (2010). *Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan*. Teknubuga, 2 (2), 53–65.
- Alfa, F. D. (2003). *Kemampuan Genjer, Kangkung Air, Dan Selada Air Untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Di Dalam Air* [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Alisa, Cut Aja Gita., Albirqi P, Muchammad Septyo., Faizal, Ibni. (2020). *Kandungan Timbal Dan Kadmium Pada Air Dan Sedimen*.
- Almahasheer, H., Serrano, O., Duarte, C. M., & Irigoien, X. (2018). *Remobilization Of Heavy Metals By Mangrove Leaves*. *Frontiers In Marine Science*, 5, 484.
- Arief, A. (2003). *Hutan Mangrove Fungsi Dan Manfaatnya*. Kanisius.
- Baird, C. (1995). *Environmental Chemistry*. W.H. Freeman And Company.
- Barokah, S.Pi, Giri Rohmad.,Dwiyitno., Nugroho, Indriyanto. 2019. *Kontaminasi Logam Berat (HG, PB, Dan CD)*.
- Beaty, R. D., & Jack D, K. (1993). *Concepts, Instrumentation And Techniques In Atomic Absorption Spectrophotometry* (Second Edition). The Perkin-Elmer Corporation.
- Boran, M., & Altinok, I. (2010). *A Review Of Heavy Metals In Water, Sediment And Living Organisms In The Black Sea*. *Turkish Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences*, 10, 565–572.
- BPS. (2019). *Kecamatan Mulyorejo Dalam Angka 2019* (Hlm. Diakses Pada Tanggal 18 Oktober 2021 Pada Jam 12.23 WIB). <https://Surabayakota.Bps.Go.Id/>
- Bryan, G. W. (1976). *Some Aspects Heavy Metal Tolerance In Aquatic Organism* (In: A.P.M LOCKWOOD (Ed.) *Effects Of Pollutants On Aquatic Organism*). Cambridge University Press.
- Cantle, J. E. (1982). *Atomic Absorption Spectrometry*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Chakraborty, P., Sarkar, A., Vudamala, K., Naik, R., & Nath, B. N. (2015). *Organic Matter—A Key Factor In Controlling Mercury Distribution In Estuarine Sediment*. *Marine Chemistry*, 173, 302–309.

- Connel, D. W., & Miller, G. J. (1995). *Kimia Dan Otoksikologi Pencemaran*. (Cetakan Pertama). Universitas Indonesia.
- Darmono. (1995). *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI-Press.
- Deri, Emiryati, & L.O.A, A. (2013). *Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Akar Mangrove Avicennia Marina Di Perairan Teluk Kendari*. *Jurnal Mina Laut Indonesia*, 1(1), 28–48.
- Djunaidi, DR. M. C. (2018). *Studi Interfensi Pada AAS*. Universitas Diponegoro.
- DR. Patang,. (2018). *Dampak Logam Berat Kadmium Dan Timbal Pada Perairan*. Badan Penerbit Umum.
- Elwell, W. T., & Gidley, J. A. F. (1966). *Atomic Absorption Spectrophotometry*. Pergamon Press.
- EPA. (2000). *Introduction To Phytoremediation*. National Risk Management Research Laboratory Office Of Research And Development, U.S Environmental Protection Agency. Ohio.
- Erlangga. (2007). *Efek Pencemaran Perairan Sungai Kampar Di Provinsi Riau Terhadap Ikan Baung (Hemibagrus Nemurus)*. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Fardiaz, A. (2005). *Polusi Air Dan Udara*. Kanisius.
- Felani, A., & Amir H. (2007). *Fitoremidiasi Limbah Cair Industri Tapioka Dengan Tanaman Eceng Goncok*. *Buana Sains*, 7(1), 11–20.
- Fitter, A. H., & Hay, R. K. M. (1991). *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Gajah Mada University Press.
- Ghufron, H., & K, K. (2012). *Ekosistem Mangrove, Potensi, Fungsi, Dan Pengelolaan*. Rineka Cipta.
- Hamzah, F., & Pancawati, Y. (2013). *Fitoremidiasi Logam Berat Dengan Menggunakan Mangrove (Phytoremediation Of Heavy Metals Using Mangroves)*. *Indonesian Journal Of Marine Sciences*, 18(4), 203–212.
- Harahap, S. (1991). *Tingkat Pencemaran Air Kali Cakung Ditinjau Dari Sifat Fisika-Kimia Khususnya Logam Berat Dan Keanekaragaman Jenis Hewan Benthos Makro* [Thesis]. IPB.

- Hardiyanti, N., & Rahayu, S. (2007). *Fitoremediasi Phospat Dengan Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Studi Kasus Pada Limbah Cair Industry Kecil Laundry. Jurnal Presipitasi, Vol. 2.*
- Hastuti, E. D., Anggoro, S., & Pribadi, R. (2013). *Pengaruh Jenis Dan Kerapatan Vegetasi Mangrove Terhadap Kandungan Cd Dan Cr Sedimen Di Wilayah Pesisir Semarang Dan Demak.* 331–336.
- Hemond, H. F., & Fecher, E. J. (2000). *Buku Saku Kesehatan Kerja.* Buku Kedokteran EGC.
- Hutabarat, S., & Evans, S. M. (2006). *Pengantar Oseanografi.* UI-Press.
- Hutagalung, H. P. (1988). *Pengaruh Suhu Air Terhadap Kehidupan Organisme Laut. Oseana, 13(4), 153–164.*
- Irsan ., Male, Y. T., & Selanno, D. A. J. (2020). *Analisis Kandungan Merkuri (Hg) Pada Pada Ekosistem Sungai Waelata Dan Sungai Anahoni Yang Terdampak Aktifitas Pertambangan Emas Di Pulau Buru, Maluku. Chemistry Progress, 13(1).*
- Irwanto. (2006). *Keanekaragaman Fauna Pada Habitat Mangrove.*
- Isa, I., Jahja, M., & M. Sakakibara. (2014). *Potensi Tanaman Genjer (Lamncharis Flava) Sebagai Akumulator Logam Pb Dan Cu [Laporan Penelitian].* Fakultas Matematika Dan IPA.
- Kolehmainen, J., Norio, R., Kivitie-Kallio, S., Tanvanainen, E., De La Chapelle A, & Lehesjoki A-E. (1973). *Refined Mapping Of The Cohen Syndrome Gene By Linkage Disequilibrium. Eur Jhum Genet, 5, 206–213.*
- Kordi & Tancung. (2005). *Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan.* Rineka Cipta.
- Lakitan, B. (2001). *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan.* Raja Grafindo Persada.
- Lu, F. C. (2006). *Toksikologi Dasar: Asas, Organ Sasaran, Dan Penilaian Resiko.* UI-Press.
- Macnae, W. (1968). *A General Account Of The Fauna And Flora Of Mangrove Swamp And Forest In The Indo-West Pasific Region. Adv. Mar. Biol, 6, 73–270.*

- Malik, M. (2011). *Evaluasi Komposisi Dan Struktur Vegetasi Mangrove Di Kawasan Pesisir Kecamatan Tugu Kota Semarang* [Skripsi]. Universitas Negeri Semarang.
- Manahan, S. E. (1977). *Environmental Chemistry* (Second Ed). Williard Press.
- Maslennikova, S., Larina, N., & Larin, S. (2012). *The Effect Of Sediment Grain Size On Heavy Metal Content. Lakes Reservoirs And Ponds*, 6 (1), 43–54.
- Moore, J. K. (1991). *Inorganic Contaminant Of Surface Water* Springer Verlag.
- Murdiyanto, B. (2003). *Mengenal, Memelihara, Dan Melestarikan Ekosistem Bakau*. COFISH Project.
- Natsir Et Al. - 2019—*Uji Kandungan Logam Berat Pb Dan Hg Pada Air, Sedimen*.
- Ningsih, S. S. (2008). *Inventarisasi Hutan Mangrove Sebagai Bagian Dari Upaya Pengelolaan Wilayah Pesisir Kabupaten Deli Serdang* [Tesis]. Universitas Sumatera Utara.
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2006). *Panduan Pengenalan Mangrove Di Indonesia* [PHKA/WI-IP, Bogor].
- Nugraha, R. T. (2011). *Seri Buku Informasi Dan Potensi Mangrove*. Taman Nasional Alas Purwo.
- Okocha, R. O., & Adedeji, O. B. (2012). *Overview Of Copper Toxicity To Aquatic Life. Report And Opinion*, 4(8), 57–68.
- Palar, H. (2004). *Pencemaran & Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta.
- Parawita, D., Insafitri, & Nugraha, W. A. (2009). *Analisis Konsentrasi Timbal (Pb) Di Muara Sungai Porong. Jurnal Kelautan*, 2(2), 117–124.
- Pilon-Smits, E. (2005). *Phytoremediation. Annual Review Of Plant Biology*, 56, 15–39.
- Priyanto, B., & Prayitno, J. (2006). *Fitoremediadi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*.

- Rangkuti, A. M. (2009). *Analisis Kandungan Logam Berat Hg, Cd, Dan Pb Pada Air Dan Sedimen Di Perairan Pulau Panggang-Pramuka Kepulauan Seribu Jakarta*.
- Rochana, E. (2006). *Ekosistem Mangrove Dan Pengelolaannya Di Indonesia*.
- Saeni. (1997). *Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat Dengan Analisis Rambut [Orasi Ilmiah]*.
- Sanusi, H. S. (2006). *Kimia Laut Proses Fisik Kimia Dan Interaksinya Dengan Lingkungan. Departemen Ilmu Dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor*.
- Shidu, S. F. (2005). *Kandungan Logam Berat Cu, Zn, Dan Pb Dalam Air, Ikan Nila (Oreochromis Niloticus) Dan Ikan Mas (Cyprinus Carpio) Dalam Keramba Jaring Apung, Waduk Saguling [Skripsi]*. IPB.
- Shihab, M. Q. (2012). *Al-Lubab: Makna, Tujuan, Dan Pelajaran Dari Surahsurah Al-Qur'an*. Lentera Hati.
- Simanjutak, M. (2012). *Kualitas Air Laut Ditinjau Dari Aspek Zat Hara, Oksigen Terlarut Dan pH Di Perairan Banggai, Sulawesi Tengah. Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis, 4(2), 290–303*.
- Sivasothi. (2001). *A Guide To Mangroves Of Singapore, Mangroves Ecosystem*.
- Sosia, Y. P., Rahmadhani, T., & Nainggolan, M. (2014). *Mangroves Siak Dan Kepulauan Meranti*. Energi Mega Persada Malacca Strait SA.
- Sudarmaji, J. M., & Corie, I. P. (2006). *Toksikologi Logam Berat B3 Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. Jurnal Kesehatan Lingkungan, Vol. 2(2), 129–142*.
- Suharto. (2005). *Dampak Pencemaran Logam Timbal (Pb) Terhadap Kesehatan Masyarakat. Majalah Kesehatan Indonesia No. 165/Nty*.
- Suhendrayatna. (2001). *Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy Metal Bioremoval By Microorganism: A Literatur Study)*. Seminar On-Air Bioteknologi Untuk Indonesia Abad 21, 1-14 Februari 2001, Seminar Forum PPI Tokyo Institue Of Technology.

- Sunu, P. (2001). *Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 1400*. PT. Gramedia Widia Sarana Indonesia.
- Suteja Yulianto.,A.I.S. Purwiyanto., Fitri, Agustriani - 2018—*Merkuri (Hg) Di Permukaan Perairan Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan, Indonesia*.
- Suyitno, A. (2006). *Modul: Penyerapan Zat & Transportasi Pada Tumbuhan. Jurdik Biologi. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Syamsu, I. F., Nugraha, A. Z., Nugraheni, C. T., & Salmana, D. (2018). *Kajian Perubahan Tutupan Lahan Di Ekosistem Mangrove Pantai Timur Surabaya*. 23(2), 10.
- Szymezyk, K., & Zalewski. (2003). *Copper, Zinc, And Cadmium Content In Liver And Muscles Of Mallards And Other Hunting Fowl Species In Warnia And Mazury In 1999 – 2000*. *J. Environ*, 12 (3), 381–386.
- Tomlinson. (1986). *The Botany Of Mangrove*. Cambridge University Press.
- Tomlinson, P. B. (1994). *The Botany Of Mangroves*. Cambridge University Press.
- Ulfin, S. (1995). *Potensi Penyerapan Batang Eceng Gondok (Eichornia Crassipes Mart) Terhadap Logam Cu Dan Pb* [Laporan Penelitian Yang Tidak Dipublikasikan].
- Walters, B. B., Ronnback, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E., & Guebas, F. D. (2008). *Ethnobiology, Socio-Economics And Management Of Mangrove Forests: A Review*. *Aqua Botany*, 89, 220–236.
- Warni, Desi, Sofyadatun, K., & Nurfadilah. (2017). *Analisis Logam Pb, Mn, Cu, Dan Cd Pada Sedimen Di Pelabuhan Jetty Meulaboh, Aceh Barat*. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Dan Perikanan Unsyiah*, 246–253.
- Widowati, W., Sastiono, A., & Jusuf, R. (2008). *Efek Toksik Logam Pencegahan Dan Penanggulangan Pencemaran*. ANDI.
- Wulan, S., Thamrin, & Amin, B. (2013). *Konsentrasi, Distribusi Dan Korelasi Logam Berat Pb, Cr Dan Zn Pada Air Dan Sedimen Di Perairan Sungai Siak Sekitar Dermaga PT. Indah Kiat Pulp And Paper Perawang-Provinsi Riau*. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau.