

BIOAKUMULASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) PADA TUMBUHAN MANGROVE (*Rhizophora mucronata*) DI AREA TAMBANG CINNABAR DESA LUHU KABUPATEN SERAM BAGIAN BARAT

Ameliya Ode Kahula^{1*}, Nissa Khoirussalma², Joverly B. Nussy³, Abraham Mariwy⁴

¹⁻⁴ Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Pattimura
Jalan Ir. M. Putuhena, Kampus Unpatti, Poka, Ambon, Indonesia, 97233

Submitted: June 2, 2024

Revised: June 26, 2024

Accepted: July 10, 2024

*Corresponding author. Email: ameliya09liya@gmail.com

Abstrak

Studi kapasitas akumulasi logam merkuri oleh ekosistem mangrove di perairan Desa Luhu yang menjadi pusat panambangan cinnabar sangat penting dilakukan sebagai bagian dari upaya penyelamatan lingkungan karena merkuri yang dihasilkan dari aktivitas tersebut sangat berbahaya bagi manusia. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar logam Hg pada beberapa stasiun di Perairan Desa Luhu, diperoleh kadar merkuri tertinggi berada pada sedimen dengan sebarannya adalah (stasiun I 5.615,512 mg/kg, stasiun II 172,038 mg/kg, stasiun III 249,65 mg/kg). Sementara perhitungan nilai BCF menunjukkan bahwa mangrove (*Rhizophora mucronata*) pada lokasi II dan III dikategorikan sebagai *excluder* dan nilai BCF >1 pada lokasi I menunjukkan bahwa mangrove bertindak sebagai tumbuhan akumulator dan perhitungan nilai TF menunjukkan bahwa lokasi II dan III memiliki nilai TF >1 maka tumbuhan mangrove pada Lokasi II dan III termasuk dalam fitoekstraksi, sedangkan pada lokasi I, diperoleh nilai TF <1 sehingga tergolong fitostabilisasi. Dapat disimpulkan bahwa kandungan logam Hg pada sedimen di perairan area tambang cinnabar Desa Luhu telah melebihi standar yang ditetapkan oleh US EPA yaitu 0,22 mg/Kg

Kata Kunci: akumulasi, mangrove, merkuri, akumulator, fitostabilisasi

Abstract

It is very important to study the accumulation capacity of mercury metal in the mangrove ecosystem in the waters of Luhu Village, which is the center of cinnabar mining, as part of efforts to save the environment because the mercury produced from this activity is very dangerous for humans. The results of this research show that the highest levels of Hg at several stations in Luhu Village Waters were obtained in the sediment with the distribution being (station I 5,615.512 mg/kg, station II 172.038 mg/kg, station III 249.65 mg/kg). kg). Meanwhile, the calculation of the BCF value shows that the mangrove (*Rhizophora mucronata*) at locations II and III is categorized as an excluder and the BCF value >1 at location I indicates that the mangrove acts as an accumulator plant and the calculation of the TF value shows that locations II and III have a TF value >1. Mangrove plants in Locations II and III are included in phytoextraction, while in location I, TF values <1 are obtained so they are classified as phytostabilization. It can be concluded that the Hg metal content in the sediment in the waters of the Luhu Village cinnabar mining area has exceeded the standard set by the US EPA, namely 0.22 mg/Kg.

Keywords: accumulation, mangrove, mercury, accumulator, phytostabilization

1. Pendahuluan

Negara Indonesia dan Provinsi Maluku pada khususnya merupakan daerah yang kaya akan bahan galian (tambang). Bahan galian itu, meliputi emas, perak, tembaga, minyak dan gas bumi, nikel dan mangan. Potensi tambang di Maluku tersebar mulai dari pulau Seram, Buru, Tanimbar, Wetar sampai dengan pulau Romang. Salah satu potensi tambang yang menarik perhatian pada beberapa tahun terakhir adalah batu cinnabar. Cinnabar ditemukan di Desa Luhu Kecamatan Seram Bagian Barat (SBB) Provinsi Maluku Indonesia dan telah diekstraksi sejak tahun 2010 melalui operasi penambangan merkuri skala kecil (Apriando, 2017). Cinnabar merupakan salah satu bahan tambang yang banyak dicari oleh orang yang ingin mengkonversi batu cinnabar menjadi cairan merkuri.

Merkuri di alam terdapat dalam bentuk mineral amalgam dengan aluminium, perak, seng, emas atau dalam bentuk cinnabar (Hgs) (Rosita dkk, 2018). Hasil penelitian Male dkk, 2024 menunjukkan bahwa kandungan merkuri (Hg) yang dapat diekstrak dari biji cinnabar di Desa Luhu mencapai 50%. Merkuri (Hg) merupakan logam berat berbahaya yang dapat menyebar dalam jarak jauh dan mengancam ekosistem pesisir (Gworek dkk, 2016; Cabrita dkk., 2019). Merkuri dapat lepas ke lingkungan dalam jumlah besar dikarenakan proses sianidasi emas yang dilakukan tanpa adanya tahapan penghilangan merkuri. Merkuri yang terlepas ke lingkungan dapat menyebabkan lingkungan terkontaminasi (Rosita dkk, 2018). Sebagai ekosistem penting di pantai tropis dan subtropis, mangrove mengakumulasi berbagai polutan logam berat, di mana tumbuhannya mangrove mengakumulasi logam berat di akar untuk mengurangi translokasi ke bagian atas tanah (Bayen dkk., 2012; Nath dkk., 2014).

Studi sebelumnya tentang pertambangan cinnabar di Desa Luhu selama ini hanya berfokus pada geologi (Samalehu dkk., 2022), aspek sosial dan hukum (Apriando, 2017) dan konsentrasi merkuri yang dapat diekstrak dari biji cinnabar (Male dkk, 2024), namun penelitian mengenai bioakumulasi logam khususnya merkuri pada ekosistem mangrove di area tambang cinnabar Desa Luhu Kabupaten Seram Bagian Barat belum pernah dilakukan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari kapasitas akumulasi dari tumbuhannya mangrove yang berada di pesisir pantai Gunung Tembaga Desa Luhu untuk dijadikan referensi dalam rangka mencegah bahaya pencemaran logam berat Hg pada manusia.

2. Metode Penelitian

Lokasi pengambilan sampel adalah pesisir pantai gunung Tembaga Desa Luhu Kabupaten SBB tempat berlangsungnya aktivitas penambangan biji cinnabar. Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar FKIP Universitas Pattimura Ambon dan analisis sampel dilakukan di laboratorium LPPT UGM Yogyakarta serta analisis ukuran butir partikel sedimen dilakukan di Laboratorium Riset Laut Dalam (BRIN AMBON).

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah: GPS, pH meter, termometer, salinometer, botol sampel, mangkuk plastik, sendok plastik, gelas kimia, labu takar, SSA, Shave Sieker, Mercury analyzer, Neraca Analitik (matrix A. 1602B) dan oven.

Bahan-bahan yang digunakan adalah: Sampel sedimen, sampel akar dan daun tumbuhan mangrove, larutan induk Hg 1,000 ppm, HNO₃, Larutan HClO₄, aquades, kertas saring Whatman 42.

Pengukuran Suhu, Salinitas, dan pH

Suhu: Sampel air laut dimasukkan kedalam gelas kimia 100 ml, diukur dengan menggunakan termometer kemudian dicatat suhu yang terukur.

Salinitas: Refraktometer dibersihkan dengan air steril (aquades), sampel air laut diteteskan di bagian depan refraktometer, angka yang ada pada refraktometer diamati, angka yang merupakan kadar salinitas yaitu angka yang ditunjukkan dengan batasan warna biru dan putih.

pH: Sampel air laut di masukkan ke dalam gelas kimia 100 ml, diukur dengan menggunakan pH meter ke dalam gelas kimia yang berisi air laut selama 5 menit, kemudian dicatat besaran pH yang terukur

Pengambilan Sampel Sedimen

Sampel sedimen diambil menggunakan pipa PVC dengan ketebalan 20 cm. Sedimen yang diambil dimasukkan ke dalam kantong sampel berlabel. Lokasi pengambilan sampel ditentukan koordinatnya menggunakan GPS.

Pengambilan Sampel Akar Dan Daun Mangrove

Sebanyak 3 sampel akar dan daun yang diambil pada 3 titik yang berbeda, sampel akar diambil pada kedalaman 10-20 cm dari permukaan sedimen menggunakan pisau. Sedangkan sampel daun dengan cara dipetik. Selanjutnya Sampel dimasukkan ke dalam kantong plastik sampel yang telah diberi label dan disimpan dalam *cool box*. Sampel dibawa ke laboratorium untuk proses selanjutnya

Preparasi Sampel sedimen dan Mangrove

Sampel mangrove dicuci bersih menggunakan air. Sedangkan sampel sedimen dibersihkan dari pengotor, kemudian dimasukkan kedalam Mangkok plastik dikeringkan di dalam oven selama 48 jam pada suhu 40°C sampai sampel kering, kemudian dihaluskan dengan mortar dan alu. Sedangkan sampel akar dan daun mangrove langsung dihaluskan dengan blender. Setelah itu semua sampel ditimbang sebanyak 5 gram.

Penentuan Ukuran Butir Sedimen

Prosedur analisis ukuran butiran sedimen (*grain size*) menggunakan sistem ayak dengan cara basah (*wet sifting*) dengan sieve shaker. Sampel sedimen dikeringkan pada suhu 70-80 °C selama 24 jam, selanjutnya sampel kering di timbang dan angka berat kering yang diperoleh dicatat sebagai berat kering. Rendam kembali sampel yang telah ditimbang selama minimal 48 jam untuk melepaskan butirannya kemudian susun ayakan sesuai dengan urutan ukurannya dari bawa ke atas 0,032; 0,063; 0,090,125; 0,250; 0,500; 1,00; 2,00; 4,00 mm. Letakan sampel yang telah direndam pada bagian paling atas urutan ayakan yaitu yang berukuran 4,00 mm setelah itu cuci sampel dengan cara menyiram dibawa air mengalir sambil diaduk dengan kuas yang melepaskan butiran yang satu dengan yang lain. Masing-masing fraksi sedimen yang tertinggal pada ayakan dipindahkan pada tray aluminium ukuran 100 ml, selanjutnya keringkan setiap fraksi sampel dalam oven dengan suhu 70 °C-80 °C selama 2 jam (benar-benar kering). Timbang masing-masing fraksi sedimen dan catat beratnya, angka berat masing-masing fraksi yang diperoleh dicatat sebagai berat fraksi ukuran butiran. Jumlah seluruh data berat setiap fraksi ukuran butir sedimen tersebut, bila angka berat yang diperoleh sama maka proses pengayakan yang dilakukan telah benar. Selanjutnya catat data berat setiap fraksi ukuran butir pada formulir yang tersedia (Mariwy dkk, 2024)

Proses Destruksi Sampel Sedimen, Akar dan Daun

Dalam proses destruksi sampel tumbuhan, yang pertama dilakukan yaitu akar yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 2 gram dan dimasukan dalam labu alas bulat 250 ml. Setelah itu ditambahkan berturut – turut 30 ml larutan HNO₃ pekat 65 % dan 10 ml larutan H₂SO₄ pekat 95 % sedikit demi sedikit. Larutan yang sudah tercampur kemudian dipanaskan pada suhu 100 °C selama satu jam dan ditambahkan 5 ml H₂O₂ 30% sedikit demi sedikit sampai larutannya bening. Fungsi H₂O₂ adalah sebagai agen pengoksidasi. Kemudian didinginkan dan disaring dengan kertas saring whatman. Setelah itu dilakukan pengukuran kadar logam Hg pada panjang gelombang 253.7 nm dengan menggunakan mercury analyzer.

Pada proses destruksi sampel sedimen, yang pertama dilakukan yaitu menimbang tanah yang telah digerus sebanyak 2 gram dan ditambahkan HNO₃ : HCl pekat (3:1) sebanyak 10 ml sambil diaduk. Setelah itu larutan dipanaskan pada suhu 100 °C selama satu jam dan ditambahkan 5 ml H₂O₂ 30% sedikit demi sedikit sampai larutannya bening. Setelah itu, didinginkan dan disaring dengan menggunakan kertas saring whatman. setelah itu dilakukan pengukuran kadar logam Hg pada panjang gelombang 253.7 nm dengan menggunakan mercury analyzer (Septory dkk, 2023)

Pembuatan Kurva Standar

Larutan induk merkuri 1000 mg/L, dibuat dengan cara menimbang 1,3539 g HgCl₂ anhidrat, dilarutkan dalam HCl 1 M dan diencerkan hingga tanda batas. Selanjutnya diencerkan hingga 100 ppm. Larutan standar dibuat dari larutan induk merkuri 100 mg/L dengan cara larutan induk Hg 100 ppm dipipet sebanyak 1 mL. Kemudian dimasukkan kedalam labu takar 100 mL, dan ditambahkan aquadest hingga tanda batas. Larutan ini mengandung larutan merkuri 1000 ppb. Kemudian dari larutan induk ini, dipipet sebanyak 1 mL dan dimasukkan kedalam labu takar 10 mL. Larutan ditepatkan dengan aquades hingga tanda batas. Larutan ini mengandung larutan merkuri 100 ppb.

Selanjutnya dibuat larutan standar merkuri dengan rentang konsentrasi (ppb): 0,050 ; 0,100 ; 0,200 ; 0,400 ; 0,800 ; 1,600 dan 3,200 dengan cara memipet masing-masing (mL) 0,050 ; 0,100 ; 0,200 ; 0,400 ; 0,800 ; 1,600 dan 3,200 dari larutan merkuri 10 ppb. Kemudian dimasukkan masing-masing ke dalam labu takar 10 mL dan ditepatkan hingga tanda batas dengan aquades. Larutan ini selanjutnya dituang dalam tabung reaksi dan ditambahkan 0,1 mL KMnO₄ 5%, dikocok, ditambahkan lagi 0,1 mL hidroksilamin hidroklorida 10%, dikocok, dan ditambahkan 0,5 mL SnCl₂ 10%. Masing-masing larutan ini kemudian diukur serapannya pada panjang gelombang 253,7 nm dengan (*Mercury Analyzer*).

Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan metode eksperimen dengan menggunakan instrument *mercury analyzer*. Untuk logam merkuri kepekaan alat minimal 0,001 mcg/l. Larutan sampel yang telah diukur panjang gelombang dengan menggunakan metode mercury analyzer, kemudian ditentukan konsentrasinya berdasarkan persamaan garis regresi linier dari kurva kalibrasi.

$$Y = ax + b \quad (1)$$

dengan:

Y = respon instrumen (absorbansi)

a = kemiringan (slope)

x = kadar analit (konsentrasi)

b = intersep.

Untuk menghitung kadar merkuri (hg) dalam satuan mg/kg berat sampel dapat menggunakan perumusan.

$$Hg \text{ total (ppb)} = \frac{(Hg \text{ Baca-Blanko}) \times Volume \text{ Akhir}}{Berat \text{ Sampel}} \quad (2)$$

Untuk menghitung nilai Bioconcentration Factor (BCF) untuk mengetahui terjadinya akumulasi logam pada mangrove yang dilakukan dengan cara menghitung kandungan logam yang ada pada sedimen dan akar. BCF pada akar dihitung untuk mengetahui seberapa besar kandungan logam pada akar yang berasal dari lingkungan. Rumus perhitungan BCF adalah sebagai berikut :

$$BCF = \frac{Logam \text{ Pb di akar}}{Logam \text{ Pb di sedimen}} \quad (3)$$

Menurut Baker, 1981 dalam Mariwy dkk, 2021 kategori BCF dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Akumulator : BCF > 1
2. Indicator : BCF = 1
3. Excluder : BCF < 1

Sementara Untuk menghitung nilai Faktor Translokasi (TF) adalah nilai perbandingan kandungan logam berat pada daun dan akar. Nilai TF dihitung untuk mengetahui perpindahan akumulasi logam dari akar ke bagian daun. TF dapat dihitung dengan rumus :

$$TF = \frac{Logam \text{ Pb di daun}}{Logam \text{ Pb di akar}} \quad (4)$$

Nilai TF menurut Yoon, *et al*, 2006 dalam Mariwy dkk, 2021 memiliki 2 kategori yaitu :

TF > 1 : Mekanisme fitoekstraksi

TF < 1 : Mekanisme fitostabilisasi

3. Hasil dan Pembahasan

Deskripsi Lokasi Sampling

Lokasi pengambilan sampel adalah Desa Luhu. Sampel diambil pada pukul 11.00 WIT pada saat air laut sedang surut dengan kondisi cuaca cerah. Jumlah stasiun pengambilan sampel adalah 4 dan sebelum dilakukan pengambilan sampel, terlebih dahulu ditentukan koordinat lokasi sampling menggunakan GPS. Lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel

Parameter Fisika dan kimia Perairan

Parameter fisika dan kimia perairan yang diamati pada penelitian ini meliputi parameter suhu, salinitas dan derajat keasaman (pH) perairan. Hasil pengamatan kondisi fisika dan kimia perairan yang dilakukan selama penelitian memberikan gambaran mengenai kondisi perairan di lokasi sampling. Selanjutnya parameter fisika dan kimia perairan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter fisika dan Kimia perairan

Parameter	Satuan	Baku mutu	Lokasi		
			I	II	III
pH	-	7,0-8,5	7,2	7,2	7,2
Salinitas	‰	33-34	30	25	30
Suhu	°C	28-32	32	31	31

pH

Derajat keasaman (pH) suatu perairan menunjukkan jumlah ion hidrogen yang dinyatakan dalam aktivitas hidrogen. Suatu perairan laut dikategorikan baik apabila derajat keasamannya (pH>7) atau bersifat basa. Berdasarkan data nilai pH perairan yang terukur pada lokasi I,II, dan III menunjukkan bahwa pH yang di dapat seragam atau sama yaitu pada pH 7,2. Hal ini dipengaruhi oleh sifat air laut yang memiliki pH yang pada umumnya relatif stabil pada kisaran nilai yang sempit, biasanya dipengaruhi oleh kapasitasnya sebagai buffer dengan pengaruh faktor seperti kondisi CO2 pada permukaan air laut serta adanya garam-garam bikarbonat dan karbonat yang terkandung di dalamnya (Mariwy dkk, 2019). Kenaikan pH akan menurunkan kelarutan logam berat dalam air karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air sehingga akan mengendap dan terakumulasi dalam sedimen (Putri, 2019). Berdasarkan standar baku mutu keputusan menteri lingkungan hidup no 51 tahun 2004 untuk biota laut nilai pH adalah 7,0-8,5, nilai pH perairan desa Luhu masih memenuhi standar aman untuk kehidupan biota laut yaitu berada pada nilai pH 7,2.

Salinitas

Salinitas adalah konsentrasi seluruh larutan garam yang diperoleh dalam air laut. Perbedaan salinitas perairan dapat terjadi karena adanya perbedaan penguapan dan presipitasi. Riani (2017) dalam Falah (2018) menyatakan bahwa salinitas air laut tergantung pada musim, topografi, pasang surut, pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan dan jumlah muatan air tawar. Nilai

salinitas perairan yang terukur pada lokasi penelitian berkisar antara 25-30 ‰. Untuk nilai salinitas tertinggi berada pada lokasi I dan III, sedangkan nilai salinitas terendah berada pada lokasi II.

Berdasarkan nilai baku mutu salinitas pada suatu perairan keputusan menteri lingkungan hidup no 51 tahun 2004 untuk biota laut nilai salinitas yaitu berkisar antara 33-34 ‰. Maka nilai salinitas dari ketiga lokasi terbilang rendah dari baku mutu yang dianjurkan untuk biota laut. Rendahnya salinitas disebabkan karena adanya alokasi volume air tawar melalui aliran sungai buatan yang terbuat dari pembuangan sisa air penyulingan batu cinnabar. Salinitas dapat mempengaruhi kadar logam berat di perairan, bila terjadi penurunan salinitas maka akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Erlangga dalam Falah, 2018)

Suhu

Suhu perairan menjadi salah satu parameter yang dilakukan untuk mengetahui kualitas air yang berkaitan dengan kondisi logam berat di perairan. Suhu berpengaruh sangat kuat terhadap konsentrasi Hg di dalam air dan ikan. Suhu perairan yang terukur pada lokasi penelitian berkisar antara 31-32°C. Suhu tertinggi berada pada lokasi I, sedangkan suhu terendah berada pada lokasi II dan III. Menurut Eshmat et al. (2014) dalam Widyaningsih (2022) kenaikan suhu perairan dapat menyebabkan kelarutan logam berat semakin tinggi.

Sukoasih dan Widiyanto (2016) dalam Azizah (2021) mengatakan bahwa kenaikan suhu tidak hanya akan meningkatkan metabolisme biota perairan, namun juga dapat meningkatkan toksisitas logam berat di perairan. Suhu pada ketiga lokasi pada perairan desa Luhu masih dapat ditoleransi oleh biota laut hal ini karena masih berada pada batas baku mutu di dalam keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 2004 yaitu 28 - 32°C.

Penentuan Ukuran Partikel Sedimen

Selain dilakukannya pengukuran kualitas air, logam berat dapat terakumulasi dalam sedimen. Sedimen adalah lapisan bawah yang melapisi sungai, danau, reservoir, teluk, muara maupun lautan. Sedimen dapat berasal dari hewan atau tumbuhan yang membusuk kemudian tenggelam ke dasar perairan, dapat juga berupa hasil pelapukan batuan. Sedimen hasil pelapukan batuan terdiri atas: kerikil, pasir dan lumpur (Malik, dkk., 2021). Hasil pengukuran butiran partikel sedimen yang diambil pada 3 lokasi yang berbeda pada lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik presentasi ukuran butir sedimen

Grafik presentasi ukuran partikel sedimen yang ditampilkan pada Gambar 2 menunjukkan tekstur sedimen berupa pasir dan kerikil dengan persentase ukuran partikel sedimen yang berbeda. Pada lokasi 1, 2 dan 3, persentase pasir lebih besar dari pada kerikil dan lumpur sehingga diklasifikasikan ke dalam jenis substrat pasir kerikilan. Tekstur dengan tipe substrat pasir sulit untuk mengikat logam. Hal ini disebabkan oleh ukuran sedimen yang lebih kasar dibandingkan dengan tipe substrat lain, sehingga logam dan bahan organik lainnya sulit mengendap (Male dkk, 2017). Ukuran butiran sedimen pada penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan standar sedimen dari American Geophysical Union sebagai berikut: kerikil halus (*fine gravel*) dengan rentang 8-4 mm, pasir halus

(*fine sand*) dengan rentang 1/4-1/8 mm, dan lumpur halus (*fine silt*) dengan rentang 1/64-1/128 mm (Hambali dan Apriyanti, 2016).

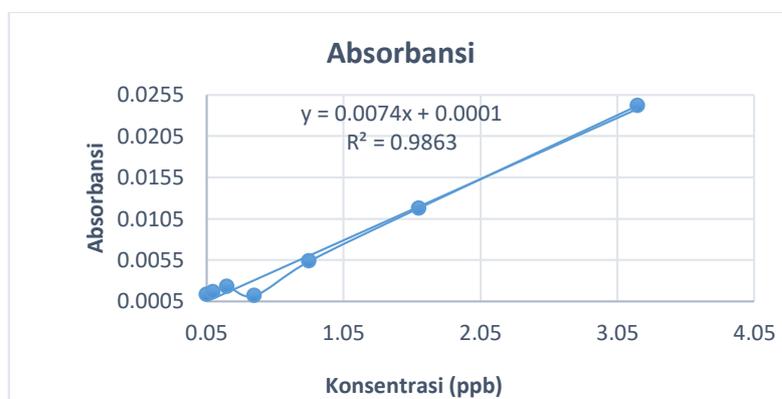
Pembuatan Kurva Baku

Kurva Baku merupakan standar dari sampel tertentu yang dapat digunakan sebagai pedoman ataupun acuan untuk sampel tersebut pada pengamatan (Sahumena dkk, 2020). Pembuatan kurva baku larutan standar merkuri berdasarkan nilai serapan pada konsentrasi 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; Hasil pengukuran absorbansi larutan standar dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Data Hasil pengukuran absorbansi larutan standar merkuri (Hg)

Konsentrasi	Absorbansi
0,05	0,00131
0,1	0,00168
0,2	0,00231
0,4	0,00121
0,8	0,00537
1,6	0,0118
3,2	0,02423

Berdasarkan data pada tabel 2 maka dibuat kurva standar hubungan absorbansi terhadap konsentrasi larutan Hg dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Kurva baku larutan standar merkuri

Berdasarkan kurva baku di atas diperoleh nilai slop 0,0074 intersep 0,0001 dan koefisien korelasi 0,9863. Nilai koefisien korelasi regresi R² yang diperoleh yaitu mendekati angka 1 dan memenuhi syarat SNI 6989.84:2019 bahwa koefisien korelasi regresi linier yang diperbolehkan yaitu ≥ 0,9 (Purnawija dalam Rusdianto dkk,2023).

Kadar Logam Hg Pada Sampel di Lokasi I

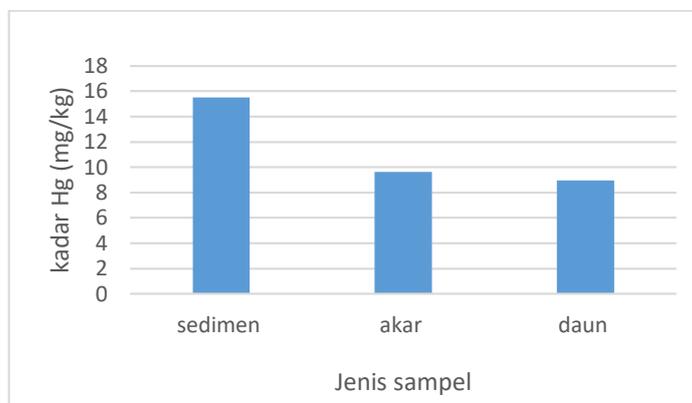
Setelah kurva standar logam Hg dibuat, absorbansi larutan sampel diukur dengan menggunakan mercury analyzer. Dari hasil pengukuran diperoleh data kadar Hg pada masing-masing lokasi. Data kadar Hg pada sampel sedimen,akar dan daun mangrove di lokasi I ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kadar Hg di Lokasi I

Sampel	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Kadar (mg/kg)
Sedimen	0,00728	0,00097	15,512
Akar	0,00912	0,001218	9,624
Daun	0,00804	0,001073	8,967

Data pada tabel 3 menunjukkan bahwa kadar Hg dalam sedimen di Lokasi I lebih rendah jika dibandingkan dengan Lokasi I dan II padahal tipe sedimen di lokasi ini ini didominasi oleh sedimen substrat pasir dan lumpur yang seharusnya mengikat logam. Fenomen ini dapat disebabkan oleh posisi Lokasi I yang menghadap laut lepas sehingga di pengaruhi oleh pasang surut dan energi dari arah laut lepas sehingga mendorong sedimen yang mengandung logam Hg ke arah lokasi II dan III yang terlindungi oleh tebing batu. Hasil analisis ini juga menunjukkan bahwa kadar logam Hg pada sedimen di lokasi I jauh berada di atas standar baku yang ditetapkan oleh US EPA yaitu sebesar 0,2 ppm.

Hasil pengukuran kadar Hg pada akar dan daun berturut-turut adalah 9,624 mg/kg dan 8,967 mg/kg, Menurut Hardiani (2009) dalam Ismail, dkk (2020) besarnya akumulasi logam pada akar merupakan salah satu mekanisme detoksifikasi yang dilakukan tanaman untuk menghindari keracunan dan kerusakan oleh logam pada sel tanaman. Sedangkan kadar merkuri pada daun lebih rendah dari pada akar, hal ini memungkinkan terjadinya penimbunan Hg pada akar. Grafik hasil pengukuran kadar Hg pada setiap sampel di Lokasi I ditunjukkan pada Gambar 4 berikut



Gambar 4. Grafik kadar Hg pada sampel di Lokasi I

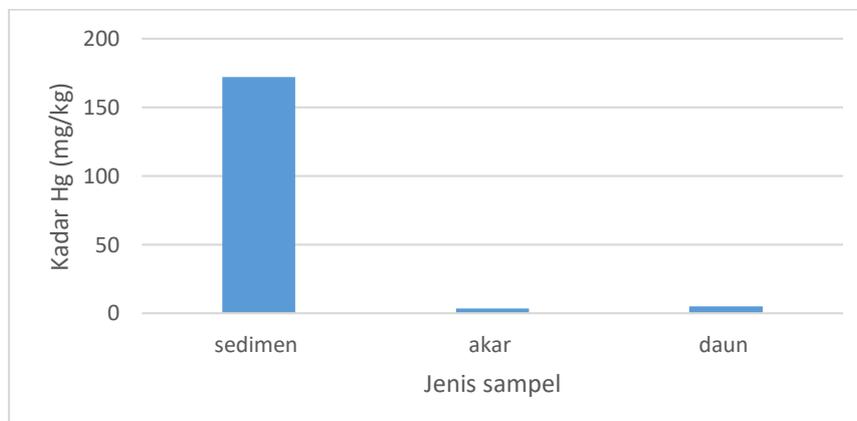
Kadar Logam Hg Pada Sampel di Lokasi II

Data kadar Hg pada sampel sedimen, akar dan daun di Lokasi II dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kadar Hg di Lokasi II

Sampel	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Kadar (mg/kg)
Sedimen	0,01317	0,001766	172,038
Akar	0,00299	0,00039	3,193
Daun	0,00463	0,000612	4,812

Data pada tabel 4. menunjukkan bahwa kadar Hg dalam sedimen di Lokasi II juga tinggi. Hal ini berkaitan dengan kuat arus dan pasang surut, hasil analisis juga menunjukkan bahwa kadar logam Hg pada sedimen melebihi jauh berada di atas standar baku yang ditetapkan oleh US EPA yaitu sebesar 0,2 ppm. Hasil pengukuran kadar Hg pada jaringan akar tanaman mangrove pada Lokasi II menunjukkan nilai yang rendah dari pada kadar Hg dalam daun, hal ini dapat disebabkan oleh dua faktor yaitu pertama, proses translokasi berjalan dengan lancar sehingga logam Hg yang diserap oleh jaringan akar langsung ditranslokasikan ke bagian daun dan kedua, logam Hg belum diserap oleh jaringan akar tanaman (Mariwy., dkk, 2024). Sementara kadar Hg pada daun di Lokasi II terbilang tinggi hal ini berkaitan dengan proses akumulasi logam Hg oleh tumbuhan melalui mekanisme translokasi (Mariwy dkk, 2024). Grafik hasil pengukuran kadar logam Hg pada tiap-tiap sampel di Lokasi II ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Grafik kadar Hg pada sampel di Lokasi II

Kadar Logam Hg Pada Sampel di Lokasi III

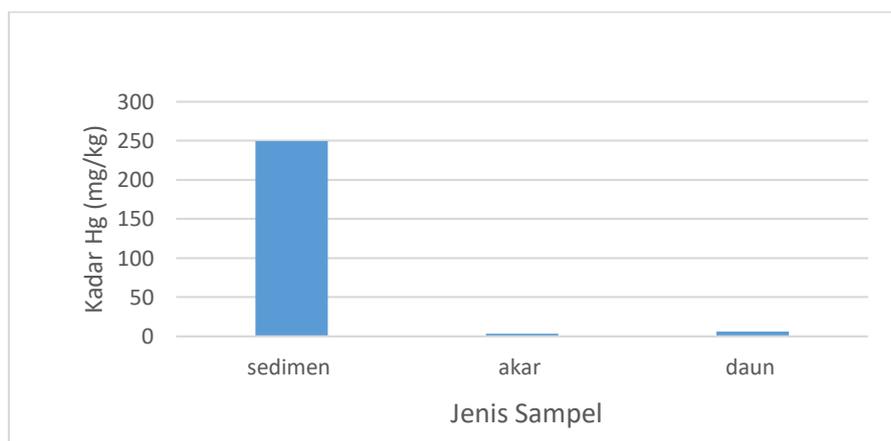
Data kadar Hg pada sampel sedimen, akar dan daun mangrove di Lokasi III dapat dilihat pada Tabel 5 berikut

Tabel 5. Kadar Hg di Lokasi III

Sampel	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Kadar (mg/kg)
Sedimen	0,02022	0,002718	249,615
Akar	0,00304	0,000397	2,876
Daun	0,00506	0,00067	5,996

Dari kadar Hg pada setiap sampel di Lokasi III seperti yang di tunjukan pada tabel 5 menunjukkan bahwa kadar Hg pada sedimen di Lokasi III sangat tinggi dibandingkan dengan kadar Hg di Lokasi I dan Lokasi II walaupun hasil pengukuran butir partikel sedimen menunjukkan presentasi lumpur yang lebih kecil bila dibandingkan dengan Lokasi I maup III, hal ini disebabkan oleh arus dan pasang surut air laut, jika dilihat dari letak Lokasi III yang terhimpit oleh tebing batuan mengakibatkan logam berat terperangkap dan mengendap dalam sedimen. Kadar Hg yang sangat tinggi pada sedimen di Lokasi III juga sesuai dengan penelitian Male dkk, 2024 yang menemukan bahwa kadar Hg pada sedimen lokasi yang sama sangat tinggi bahkan mencapai 2796 ppm.

Sementara hasil pengukuran kadar Hg pada jaringan akar lebih rendah dari pada kadar Hg pada daun mangrove, hal ini disebabkan adanya proses translokasi dan logam Hg belum diserap oleh jaringan akar, pada daun memiliki kadar Hg yang lebih tinggi dari pada kadar Hg di akar hal ini disebabkan oleh proses akumulasi logam Hg oleh tumbuhan mangrove melalui reaksi translokasi (Mariwy dkk, 2024). Grafik kadar Hg pada tiap-tiap sampel di Lokasi III ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik kadar Hg pada sampel di Lokasi III

Nilai Bioconsentration Factor (BCF) dan Translocation Factor (TF)

Nilai BCF dan TF dapat dilihat pada Tabel 4.5 Berdasarkan nilai BCF pada lokasi I, II, dan III, nilai BCF <1 berada pada lokasi II dan III. Ini menunjukkan bahwa mangrove (*Rhizophora mucronata*) pada lokasi penelitian II dan III dikategorikan sebagai *excluder*, dimana mangrove kurang menyerap logam dari sedimen ke akar. Nilai BCF >1 pada lokasi I menunjukkan bahwa mangrove bertindak sebagai tumbuhan akumulator. Hal tersebut sejalan dengan yang dikemukakan oleh Yoon, et al. (2006) dalam Mariwy et al. (2021), BCF dengan nilai >1 adalah tumbuhan akumulator, sedangkan nilai BCF yang mendekati angka 1 merupakan tumbuhan indicator, dan nilai BCF <1 adalah tumbuhan *excluder*. Nilai BCF dan TF dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Nilai BCF dan TF pada mangrove *Rhizophora mucronata*

Lokasi	Kandungan Hg dalam sedimen ($\mu\text{g/kg}$)	Kandungan Hg dalam akar ($\mu\text{g/kg}$)	Kandungan Hg dalam daun ($\mu\text{g/kg}$)	BCF Akar	BCF Daun	BCF Total	TF
I	15.512,5	9.624,09	8.967,95	0,62	0,58	1,2	0,93
II	172.038,40	3.193,61	4.811,94	0.018	0.028	0.046	1,51
IIIe	249.615,37	2.876,79	5.996,68	0,011	0,024	0,035	2,08

Dari hasil perhitungan TF, lokasi II dan III memiliki nilai TF >1 maka dari itu tumbuhan mangrove pada Lokasi II dan III termasuk dalam fitoekstraksi. Sedangkan pada lokasi I, diperoleh nilai TF <1 sehingga tergolong dalam fitostabilisasi. Tinggi rendahnya nilai TF dapat dipengaruhi oleh perbedaan usia tumbuhan mangrove saat pengambilan sampel daun. Pernyataan tersebut didukung oleh Panjaitan (2009) dalam David (2016) yang menyatakan bahwa daun mangrove muda memiliki kemampuan mengabsorpsi dan mengakumulasi logam lebih rendah dibanding daun mangrove tua. Apabila nilai TF yang didapat tinggi, juga tidak bisa dikatakan bahwa konsentrasi Hg berasal dari akar, karena daun dapat menyerap merkuri dari udara (Mariwy et al., 2021).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa ukuran butir partikel sedimen pada Lokasi I adalah pasir 90% dan lumpur 12,22%, Lokasi II gravel 10,99%, pasir 90%, pasir 96,70 %, dan lumpur 9,89% serta lokasi III gravel 14,15%, pasir 78,30%, dan lumpur 7,55 % . Sementara kadar logam Hg pada beberapa stasiun di Perairan Desa Luhu, diperoleh kadar merkuri tertinggi berada pada sedimen dengan sebarannya adalah (stasiun I 5.615,512 mg/kg, stasiun II 172,038 mg/kg, stasiun III 249,65 mg/kg). Sementara perhitungan nilai BCF menunjukkan bahwa mangrove (*Rhizophora mucronata*) pada lokasi II dan III dikategorikan sebagai *excluder* dan nilai BCF >1 pada lokasi I menunjukkan bahwa mangrove bertindak sebagai tumbuhan akumulator dan perhitungan nilai TF menunjukkan bahwa lokasi II dan III memiliki nilai TF >1 maka tumbuhan mangrove pada Lokasi II dan III termasuk dalam fitoekstraksi, sedangkan pada lokasi I, diperoleh nilai TF <1 sehingga tergolong fitostabilisasi. Dapat disimpulkan bahwa kandungan logam Hg pada sedimen di perairan area tambang cinnabar Desa Luhu telah melebihi standar yang ditetapkan oleh US EPA yaitu 0,22 mg/Kg.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat BELMAWA Dirjen Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia serta Rektor Universitas Pattimura atas pembiayaan yang diberikan berupa pendanaan PKM Nasional tahun 2024.

Daftar Pustaka

- Apriando, T (2017). Fokus Liputan: Mereka Bertaruh Nyawa Demi Batu Cinnabar (Bagian1).
 Cabrita, M.T., Duarte, B., Cesário, R., Mendes, R., Hintelmann, H., Eckey, K., Dimock, B., Caçador, I., Canário, J., 2019. Mercury Mobility and Effects in The Salt-Marsh Plant *Halimione Portulacoides*: Uptake, Transport, And Toxicity and Tolerance Mechanisms. *Sci. Total Environ.* 650, 111-120.
 David, M. (2016). FITOAKUMULASI Cd DAN Zn DALAM TUMBUHAN
 Hambali, R, Apriyanti, Y 2016. Studi Karakteristik Sedimen dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng – Kabupaten Bangka Barat. *Jurnal Fropil Vol 4 Nomor 2 Juli*
 Keputusan menteri Negara lingkungan hidup no: 51 tahun 2004 tentang baku mutu air laut. Deputi Menteri Lingkungan Hidup: BidangKebijakan dan Kelembagaan LH Jakarta.
 Israr, M., Sahi, S., Datta, R., Sarkar, D., 2006. Bioaccumulation And Physiological Effects of Mercury in *Sesbania Drummondii*. *Chemosphere* 65, 591-598

- Male, Y.T., Malle, D., & M, Catherina (2017). Analisis Kadar Logam Kadmium (Cd) Dan Timbal (Pb) Pada Sedimen Di Teluk Ambon Bagian Dalam. *Indo. J. Chem. Res.* Vol 5. No. 1. 25
- Male, Y. T., Reichelt-Brushett, A., Burton, E. D., & Nanlohy, A. (2024). Assessment Of Mercury Distribution and Bioavailability from Informal Coastal Cinnabar Mining-Risk to The Marine Environment. *Marine Pollution Bulletin*, 199, 116047.
- Malik, D. P., Yusuf, S., & Willem, I. (2021). Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) pada air laut dan sedimen di Perairan Tanggul Soreang Kota Parepare. *Jurnal Ilmiah Manusia Dan Kesehatan*, 4(1), 135-145.
- Mariwy, A., Male, Y. T., Manuhutu, B. J. (2019), Mercury (Hg) Contents Analysis in Sediments at Some River Estuaries in Kayeli Bay Buru Island. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546, 022012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/2/022012>
- Mariwy, A., Manuhutu, J. B., Frans, D. (2021). Bioaccumulated Mercury by Several Types of Plants in Ex-Traditional Gold Processing Area, ogorea Village, Buru Island. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 9 (2); 105-110
- Mariwy. A , Dulanlebit Y.H, Ode. A (2024), Bioaccumulation of Lead Metal (Pb) by Mangrove Plants (*Rhizophora apiculata*) in the Waters of Poka Village, Inner Bay of Ambon, Indo. *J. Chem. Res.*, 12 (1), 71-78,
- Nath, B., Chaudhuri, P., Birch, G., 2014. Assessment Of Biotic Response to Heavy Metal Contamination in *Avicennia Marina* Mangrove Ecosystems in Sydney Estuary, Australia. *Ecotox. Environ. Safe.* 107, 284-290.
- Patra, M., Sharma, A., 2000. Mercury Toxicity in Plants. *Bot. Rev.* 66, 379-422
- Rosita Rizki Maulidiah Dan Suprpto. (2018).Pemisahan Merkuri Dari Batuan Cinnabar Dengan Asam Dan Campuran Asam-Kalium Iodida, *Jurnal Sains Dan Seni Its* Vol. 4, No.2.
- Rusdianto, R., Ivandi, S., Kusmita, T., & Apriliazmi, I. (2023). Pengukuran Kualitas Air Limbah Sawit Berdasarkan Baku Mutu Air Limbah Menggunakan AAS. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 4(1), 1-8.
- Sahumena, M. H., Ruslin, R., Asriyanti, A., & Djuwarno, E. N. (2020). Identifikasi jamu yang beredar di kota Kendari menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. *Journal Syifa Sciences and Clinical Research (JSSCR)*, 2(2), 65-72.
- Samalehu, H., Idrus, A., Setiawan, N.I., 2022. Hydrothermal Alteration of Cinnabar Deposit in Tambaga Hill, Iha -Luhu -Seram Island, Maluku. *Buletin Sumber Daya Geologi* 17 (3), 137–148.
- Several Types of Plants in Ex-Traditional Gold Processing Area, Gogorea Village, Buru Island. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 9 (2); 105-110
- Simbolon, A. R., & Purbonegoro, T. (2021). Bioakumulasi Merkuri (Hg) Pada Lamun *Enhalus Acoroides* Dan Mangrove *Rhizophora Apiculata* di Pulau Pari, Kepulauan Seribu. *Oldi (Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia)*, 6(3), 137-147.
- Ismail, I., Mangesa, R., & Irsan, I. (2020). Bioakumulasi Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Mangrove Jenis *Rhizophora Mucronata* Di Teluk Kayeli Kabupaten Buru. *BIOSEL (Biology Science and Education): Jurnal Penelitian Science dan Pendidikan*, 9(2), 139-153.
- Nurainie, I., & Wiyanto, D. B. (2021). Karakteristik sebaran sedimen dasar di Perairan Kalianget Kabupaten Sumenep. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 2(3), 243-254.
- US EPA. (1983). *Methods For Chemical Analysis of Water and Waste*. US EPA Cincinnati. Ohio
- Yoon J.C., Xinde Z., Qixing, Ma L Q., 2006, Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site, *Science of the Total Environment*, 368(1-3), 456-464.