

ANALISIS BIOKONSENTRASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) DAN TEMBAGA (Cu) PADA MANGROVE DI MUARA SUNGAI TAPAK, KELURAHAN TUGUREJO SEMARANG

(Bioconcentration Analysis of Heavy Metals Mercury (Hg) and Copper (Cu) in Mangrove at the Estuary of Tapak River, Tugurejo Village, Semarang)

Hanadila Caesadhiva Ichwani, Haeruddin*, Kuku Prakoso

Departemen Sumber Daya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275; Telephone/Fax: 024-76480685

Email: haeruddindaengmile@lecturer.undip.ac.id

Diserahkan tanggal: 4 Maret 2025, Revisi diterima tanggal: 4 Agustus 2025

ABSTRAK

Muara Sungai Tapak merupakan salah satu wilayah pesisir Kota Semarang yang menerima masukan limbah dari aktivitas industri, perikanan dan domestik. Limbah yang dihasilkan berpotensi mengandung polutan logam berat. Umumnya terdapat ekosistem mangrove yang memiliki fungsi sebagai perangkap alami polutan. Kemampuan mangrove dalam mengakumulasi logam berat dapat diketahui dengan melakukan penelitian terkait biokonsentrasi logam berat pada mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biokonsentrasi logam berat pada mangrove spesies *Avicennia marina* di Muara Sungai Tapak yang dilaksanakan pada bulan April – Juni 2024. Pengambilan sampel menggunakan metode *purposive sampling* dalam menentukan stasiun penelitian. Metode yang digunakan untuk menganalisis sampel logam berat adalah *Atomic Absorbtion Spectrophotometry*. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi logam berat merkuri (Hg) pada sedimen berkisar antara 0,025 – 0,049 mg/kg. Konsentrasi logam berat tembaga (Cu) pada sedimen berkisar antara 46,87 – 77,72 mg/kg. Konsentrasi logam berat Hg pada akar berkisar antara 0,001 – 0,01 mg/kg, sedangkan pada bagian daun berkisar 0,003 – 0,006 mg/kg. Konsentrasi logam berat Cu pada akar berkisar antara 9,27 – 66,48 mg/kg, sedangkan pada daun berkisar antara 6,63 – 8,17 mg/kg. Hasil perhitungan BCF logam Hg yaitu sebesar 0,16 dan logam berat Cu sebesar 0,91. nilai BCF < 1 menunjukkan bahwa *Avicennia marina* memiliki sifat *excluder*. Hasil perhitungan TF logam Hg sebesar 2,03 dan logam Cu sebesar 0,51. Hal ini menunjukkan bahwa *Avicennia marina* memiliki mekanisme fitoekstraksi terhadap logam berat Hg karena TF > 1, sedangkan memiliki mekanisme fitostabilisasi terhadap logam berat Cu karena TF < 1.

Kata Kunci: Faktor Biokonsentrasi, Faktor Translokasi, Mangrove, Merkuri (Hg), Tembaga (Cu)

ABSTRACT

*The Tapak River estuary is one of the coastal areas of Semarang City that receives waste input from industrial, fisheries and domestic activities. The waste produced has the potential to contain heavy metal pollutants. Generally, there is a mangrove ecosystem that has a function as a natural trap for pollutants. The ability of mangroves to accumulate heavy metals can be known by conducting research related to the bioconcentration of heavy metals in mangroves. This study aims to analyze the bioconcentration of heavy metals in mangroves of *Avicennia marina* species in the Tapak River Estuary which was carried out in April - June 2024. Sampling using purposive sampling method in determining the research station. The method used to analyze heavy metal samples is Atomic Absorbtion Spectrophotometry. The results showed that the concentration of heavy metal mercury (Hg) in sediment ranged from 0.025 - 0.049 mg/kg. The concentration of heavy metal copper (Cu) in the sediment ranged from 46.87 - 77.72 mg/kg. The concentration of heavy metal Hg in the roots ranged from 0.001 - 0.01 mg/kg, while in the leaves ranged from 0.003 - 0.006 mg/kg. Cu heavy metal concentrations in the roots ranged from 9.27 - 66.48 mg/kg, while in the leaves ranged from 6.63 - 8.17 mg/kg. The results of BCF < 1 indicate that *Avicennia marina* has excluder properties. The TF of Hg metal was 2.03 and Cu metal was 0.51. *Avicennia marina* has a phytoextraction mechanism against heavy metal Hg because TF > 1, while it has a phytostabilization mechanism against heavy metal Cu because TF < 1.*

Keywords: Bioconcentration Factor, Mangrove, Mercury (Hg), Copper (Cu), Translocation Factor

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir menerima masukan limbah dari aktivitas industri, perikanan, pertanian dan domestik. Limbah yang dihasilkan dari aktivitas tersebut berpotensi mengandung polutan logam berat. Polutan ini memiliki sifat toksik dan dapat menyebabkan tercemarnya perairan. Buangan limbah baik yang terbawa aliran sungai maupun yang langsung terbuang diperairan diduga akan mempengaruhi kelestarian fungsi mangrove (Supriyanti *et al.*, 2017). Logam berat yang dihasilkan oleh industri diantaranya adalah merkuri (Hg) dan tembaga (Cu). Merkuri (Hg) adalah salah satu jenis logam berat non esensial yang dapat memberikan efek negatif terhadap ekosistem pesisir, terutama ekosistem mangrove. Kehadiran pencemar seperti logam berat akan berpengaruh buruk terhadap proses – proses biologis organisme akuatik (Patty *et al.*, 2018).

Muara sungai berperan sebagai penampung terakhir bagi limbah yang terbawa aliran sungai. Umumnya terdapat ekosistem mangrove di daerah muara sungai. Mangrove memiliki fungsi sebagai perangkap sedimen, pencegah erosi dan pelindung pantai dari abrasi. Selain itu, mangrove juga berfungsi sebagai perangkap alami polutan di perairan Menurut Sanadi *et al.* (2018), mangrove juga memiliki kemampuan yang disebut biofilter yaitu kemampuan untuk menyaring, mengikat dan memerangkap polusi di alam bebas berupa kelebihan sedimen, sampah dan limbah buangan rumah tangga lainnya. Salah satu diantara beberapa jenis mangrove yang memiliki kemampuan menyerap logam berat adalah *Avicennia marina*. *Avicennia marina* merupakan jenis mangrove yang sangat ketat dalam proses penyerapan logam berat non esensial (Awaliyah *et al.*, 2018).

Muara Sungai Tapak terletak di Kelurahan Tugurejo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang yang berada di wilayah pesisir Utara Jawa Tengah. Berkembangnya beberapa industri di Kota Semarang, serta belum optimalnya pengelolaan pembuangan limbah industri mengakibatkan penurunan kualitas air Sungai Tapak. Berbagai hasil sisa limbah dari kegiatan domestik, perikanan dan industri akan berujung di daerah muara sungai. Sumber logam berat pada kawasan Tapak diduga berasal dari hasil sisa kegiatan manusia di daratan, seperti limbah domestik, industri dan lainnya.

Perairan Muara Sungai Tapak merupakan salah satu perairan yang terletak di kawasan pesisir Semarang. Terdapat beberapa kegiatan di wilayah Tapak, yaitu budidaya, perikanan tangkap dan ekowisata mangrove. Selain itu, terdapat kegiatan industri di sekitar wilayah. Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Semarang menyatakan, terdapat kurang lebih 14 industri yang berada di sekitar Sungai Tapak,

diantaranya bergerak di bidang pengolahan keramik, pengolahan kayu dan pengolahan makanan (Kariada dan Irsadi, 2014). Wilayah Tapak didominasi oleh pemukiman, pertanian dan industri, hal ini menyebabkan wilayah Tapak memiliki potensi resiko tercemar bahan berbahaya, termasuk logam berat seperti Hg dan Cu (Martuti *et al.*, 2016).

Mangrove merupakan salah satu tumbuhan pesisir yang memiliki fungsi sebagai perangkap alami polutan di perairan. Jaringan tubuhnya mampu untuk menyerap dan menyimpan logam berat. Salah satu jenis mangrove yang dapat menyerap polutan logam yaitu *Avicennia marina*. Spesies ini memiliki kemampuan sebagai biofilter menyerap logam berat di perairan. Logam berat di perairan umumnya mengendap dan terakumulasi di dalam sedimen.

Pentingnya mengetahui kandungan logam berat dan kemampuan mangrove dalam mengakumulasi logam berat di Muara Sungai Tapak maka dilakukan penelitian mengenai analisis biokonsentrasi logam berat merkuri (Hg) dan tembaga (Cu) pada mangrove di muara Sungai Tapak, Kelurahan Tugurejo, Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat merkuri (Hg) dan tembaga (Cu) serta menganalisis faktor biokonsentrasi dan translokasi pada sedimen dan mangrove.

METODE PENELITIAN

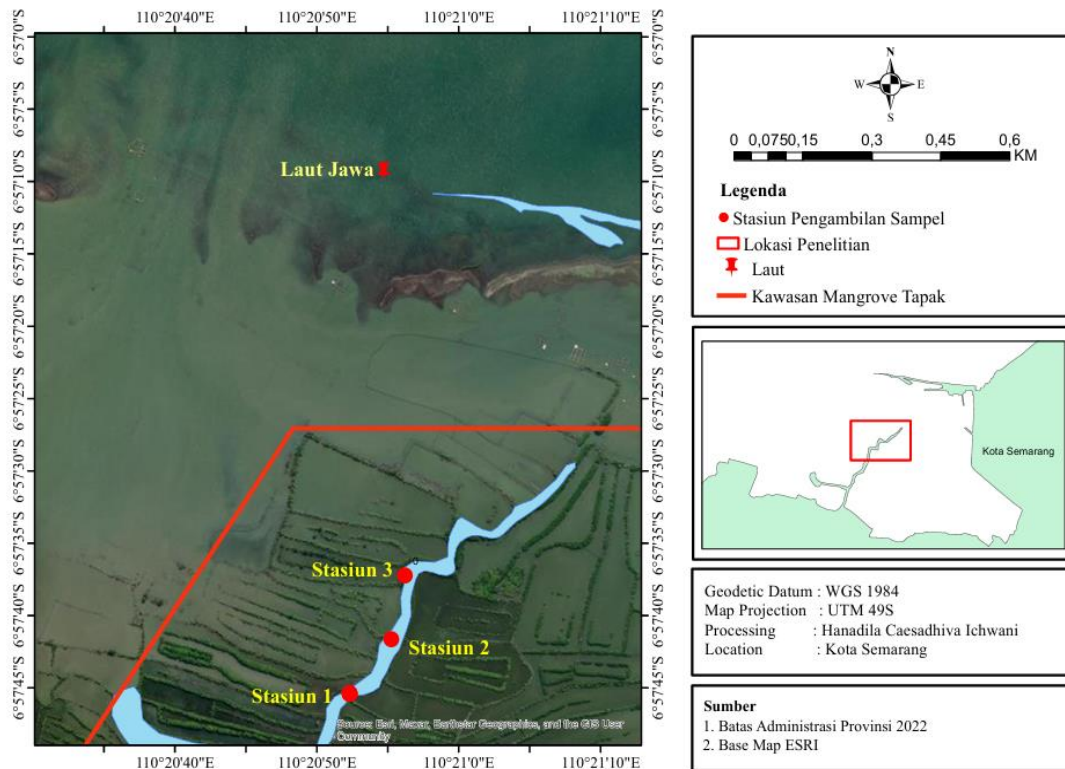
Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Muara Sungai Tapak, Kelurahan Tugurejo, Semarang pada bulan April-Juni 2024. Lokasi penelitian terbagi menjadi 3 titik dengan 3 kali pengulangan di setiap stasiunnya. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

Materi dan Metode

Materi dalam penelitian ini adalah kandungan logam berat merkuri (Hg) dan tembaga (Cu) pada sedimen, akar dan daun mangrove *Avicennia marina* di muara Sungai Tapak serta sampel air untuk pengukuran parameter kualitas air. Parameter kualitas air yang diukur berupa suhu, salinitas, pH, DO. Penelitian ini menggunakan metode deksriptif. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan observasi. Teknik observasi adalah suatu pendekatan yang mendasarkan pengumpulan data pada pengamatan langsung terhadap objek atau subjek yang diteliti (Amelia *et al.*, 2023).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu gunting, pisau, sekop, botol sampel 600 ml, label, plastic ziplock, *global positioning system* (GPS), *water quality checker* untuk mengukur parameter kualitas air. *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) Alat yang digunakan untuk menganalisis konsentrasi logam berat pada sedimen, akar dan daun adalah untuk menentukan kadar logam berat.



Gambar 1. Lokasi sampling penelitian

Prosedur Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan *metode purposive sampling*. *Purposive sampling* adalah penentuan sampel berdasarkan tujuan dan pertimbangan tertentu. Teknik *purposive sampling* merupakan teknik pengambilan sampel yang diambil berdasarkan ketetapan atau pertimbangan tertentu. Mangrove *Avicennia marina* merupakan jenis yang paling umum ditemukan di semua ekosistem mangrove, salah satunya di Muara Sungai Tapak. Pemilihan penggunaan spesies mangrove *Avicennia marina* karena spesies ini tersebar hampir di seluruh wilayah Tapak dan merupakan salah satu spesies dominan pada lokasi. Stasiun penelitian berjumlah 3, karena dianggap mewakili keseluruhan wilayah perairan tersebut. 3 stasiun dianggap mewakili bagian hulu. Stasiun 1 terletak paling jauh dari laut. Stasiun 2 terletak pada sungai bagian tengah dan tidak terlalu jauh dari laut.

Pengambilan sampel sedimen, akar dan daun mangrove dilakukan secara acak dengan 3 kali pengulangan di masing – masing stasiun. Pengulangan di tiap stasiun dilakukan sebanyak 3 kali. Tujuan dari pengulangan, yaitu memberikan suatu dugaan dari percobaan, meningkatkan ketelitian dan memperluas cakupan penarikan kesimpulan (Paiman, 2015). Pengambilan sampel sedimen dilakukan menggunakan sekop yang disesuaikan dengan kedalaman akar. Sedimen yang diambil sebanyak 500 gram untuk tiap stasiun (Riyanti, 2019). Pengambilan sampel akar dilakukan menggunakan sekop. Pengambilan sampel akar dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan

(Hastuti, 2023). Sampel akar yang diambil sebanyak 150 g atau setara dengan 10 – 12 buah akar. Pengambilan sampel daun dilakukan menggunakan gunting. Sampel daun yang diambil sebanyak 150 g atau setara dengan 30 helai daun. Daun mangrove yang diambil sebanyak 30 lembar untuk setiap stasiun (Riyanti, 2019). Pengujian logam berat pada sampel dilakukan di Laboratorium Balai Besar Standardisasi dan Pelayanan Jasa Pencemaran Industri (BBSJPPI) Kota Semarang.

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini berupa faktor biokonsentrasi dan faktor translokasi pada mangrove di Muara Sungai Tapak.

a. Bioconcentration Factor (BCF)

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya akumulasi logam pada mangrove yang dilakukan dengan cara menghitung kandungan logam yang ada pada sedimen dan akar. Rumus perhitungan BCF Menurut McFarlane *et al.*, (2007), adalah sebagai berikut :

$$BCF = \frac{\text{logam berat pada akar}}{\text{logam berat pada sedimen}}$$

Kategori BCF (*Bioconcentration Factor*) Menurut Baker (1981) terbagi menjadi 3, yaitu:

1. Akumulator : $BCF > 1$.
2. Indikator : $BCF = 1$.
3. Excluder : $BCF < 1$.

b. *Translocation Factor* (TF)

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui potensi tumbuhan sebagai fitoremediator. Nilai TF menunjukkan proses yang dilakukan oleh tumbuhan dalam mengurangi keberadaan logam berat, yaitu fitoekstraksi dan fitostabilisasi. Rumus perhitungan TF Menurut McFarlane *et al.*, (2007), adalah sebagai berikut :

$$TF = \frac{\text{logam berat pada daun}}{\text{logam berat pada akar}}$$

Kategori nilai TF (*Translocation Factor*) Menurut Majid *et al.* (2014), terbagi menjadi 2 kategori nilai TF yaitu :

1. Fitoekstraksi : $TF > 1$.
2. Fitostabilisasi : $TF < 1$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Konsentrasi Logam Berat Hg dan Cu

Berdasarkan hasil analisis konsentrasi logam berat di Muara Sungai Tapak menggunakan metode AAS diperoleh bahwa konsentrasi logam berat Hg dalam sedimen di stasiun 1 sebesar 0,025 mg/kg. Stasiun 2 sebesar 0,025 mg/kg dan stasiun 3 sebesar 0,049 mg/kg. Konsentrasi logam berat Hg dalam akar pada stasiun 1 diperoleh sebesar 0,01 mg/kg, sedangkan di stasiun 2 sebesar 0,002 mg/kg dan stasiun 3 sebesar 0,001 mg/kg. Konsentrasi logam berat Hg dalam daun diperoleh sebesar 0,006 mg/kg pada stasiun 1, sedangkan di stasiun 2 sebesar 0,005 mg/kg dan stasiun 3 sebesar 0,003 mg/kg. Berdasarkan hasil pengujian logam berat di Muara Sungai Tapak menggunakan metode AAS diperoleh bahwa konsentrasi logam berat Cu dalam sedimen di stasiun 1 sebesar 77,72 mg/kg. Stasiun 2 sebesar 76,47 mg/kg dan stasiun 3 sebesar 46,87 mg/kg.

Tabel 1. Data Hasil Analisis Konsentrasi Logam Berat

Logam berat	Ulangan	Sedimen (mg/kg)			Akar (mg/kg)			Daun (mg/kg)		
		St. 1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.3	St.1	St.2	St.3
Hg	1	0,025	0,025	0,097	0,005	0,005	0,001	0,003	0,001	0,002
	2	0,025	0,025	0,025	0,016	0,001	0,001	0,009	0,009	0,002
	3	0,025	0,025	0,025	0,009	0,001	0,001	0,006	0,004	0,001
Rata-Rata		0,025	0,025	0,049	0,01	0,002	0,001	0,006	0,005	0,003
Cu	1	67,54	111,1	43,15	11,70	9,226	22,48	11,23	8,998	6,595
	2	84,54	68,86	41,37	14,71	7,198	62,35	6,773	5,763	6,975
	3	81,08	49,46	56,08	8,644	11,34	115,7	6,495	5,139	6,616
Rata-Rata		77,72	76,47	46,87	11,68	9,27	66,84	8,17	6,63	6,73

Konsentrasi logam berat Hg dalam daun diperoleh sebesar 8,17 mg/kg pada stasiun 1, sedangkan di stasiun 2 sebesar 6,63 mg/kg dan stasiun 3 sebesar 6,73 mg/kg. Hasil analisis konsentrasi logam berat Hg dan Cu pada sampel disajikan pada tabel 1.

Faktor Biokonsentrasi

Berdasarkan hasil perhitungan faktor biokonsentrasi di Muara Sungai Tapak diperoleh nilai BCF logam berat Hg pada stasiun 1, yaitu sebesar 0,4, sedangkan pada stasiun 2 sebesar 0,08 dan stasiun 3 sebesar 0,02. Nilai BCF logam berat Cu pada stasiun 1, yaitu sebesar 0,150, sedangkan pada stasiun 2 sebesar 0,121 dan stasiun 3 sebesar 1,426. Data hasil analisis faktor biokonsentrasi logam berat Hg dan Cu pada sampel disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Data Analisis *Bioconcentration Factor* (BCF)

Logam Berat	Stasiun	BCF
Hg	1	0,4
	2	0,08
	3	0,02
Cu	1	0,150
	2	1,121
	3	1,462

Faktor Translokasi

Berdasarkan hasil perhitungan faktor translokasi di Muara Sungai Tapak diperoleh nilai TF logam berat Hg pada stasiun 1, yaitu sebesar 0,6, sedangkan pada stasiun sebesar 2,5 dan stasiun 3 sebesar 3. Nilai TF logam berat Cu pada stasiun 1, yaitu sebesar 0,7 sedangkan pada stasiun 2 sebesar 0,72 dan stasiun 3 sebesar 0,10. Data hasil analisis faktor translokasi logam berat Hg dan Cu pada sampel disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Data Analisis *Translocation Factor* (TF)

Logam Berat	Stasiun	TF
Hg	1	0,6
	2	2,5
	3	3
Cu	1	0,70
	2	0,72
	3	0,10

Parameter Kualitas Air

Pengukuran parameter kualitas air pada ketiga stasiun di Muara Sungai Tapak yang meliputi pH, salinitas, suhu dan oksigen terlarut serta Baku Mutu Air Laut Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Berdasarkan hasil pengukuran parameter kualitas air diperoleh nilai pH sebesar 7,33 pada stasiun 1, sedangkan pada stasiun 2 sebesar 7,37 dan stasiun 3 sebesar 7,67.

Nilai salinitas pada ketiga stasiun, yaitu sebesar 32,2 ppt pada stasiun 1 dan 3, sedangkan stasiun 2 sebesar 32,1 ppt. Suhu perairan pada stasiun 1 sebesar 33,2 °C, stasiun 2 sebesar 33,1 °C dan stasiun 3 sebesar 32,6 °C. Kadar oksigen terlarut pada stasiun 1 sebesar 3,79 mg/l, sedangkan pada stasiun 2 sebesar 4,11 mg/l dan stasiun 3 sebesar 4,35 mg/l. Data hasil pengukuran parameter kualitas air disajikan pada tabel 4.

Pembahasan**Konsentrasi Logam Berat Hg dan Cu**

Berdasarkan hasil yang diperoleh konsentrasi logam berat Hg pada sedimen berkisar antara 0,025 – 0,049 mg/kg. Nilai pedoman mutu Hg pada sedimen menurut ANZECC (2000) adalah sebesar 0,15 mg/kg untuk *low trigger value* dan 1 mg/kg untuk *high trigger value*. Hasil menunjukkan bahwa pada ketiga stasiun konsentrasi logam berat Hg dalam sedimen masih tergolong ke dalam kategori *low trigger value*. Kandungan merkuri pada sedimen pada kisaran angka 0,5 – 1,6 mg/kg, termasuk ke dalam kategori tercemar ringan (Irsan *et al.*, 2020). Rendahnya kandungan

merkuri pada ketiga stasiun menandakan bahwa, rendahnya sumber pencemar Hg di wilayah tersebut. Konsentrasi logam berat Hg pada akar berkisar antara 0,001 – 0,01 mg/kg. Rendahnya konsentrasi logam berat pada akar dipengaruhi oleh konsentrasi logam berat di sedimen. Menurut Pratama *et al.* (2025), semakin tinggi kadar logam berat dalam sedimen, semakin tinggi pula kadar logam dalam akar tumbuhan. Rendahnya konsentrasi logam pada akar dipengaruhi oleh rendahnya konsentrasi logam pada sedimen. Semakin kecil logam berat yang berada di sedimen, maka semakin kecil pula logam yang diserap oleh akar. Tingginya konsentrasi logam pada daun dipengaruhi oleh translokasi logam dari bagian akar. Konsentrasi logam berat Hg pada daun berkisar antara 0,003 – 0,006 mg/kg. Tingginya konsentrasi logam pada daun dipengaruhi oleh proses translokasi logam dari bagian akar. Selain itu, dapat juga dipengaruhi oleh kadar logam di atmosfer. Menurut Awaliyah *et al.* (2018), aktivitas manusia yang menghasilkan polusi udara yang masuk ke jaringan stomata menjadi salah satu penyebab tingginya konsentrasi logam berat di daun. Konsentrasi logam berat Hg di Muara Sungai Tapak pada akar lebih rendah dibandingkan pada daun. Menurut Mariwy *et al.*, (2024), hal ini disebabkan oleh adanya proses translokasi dan logam Hg belum diserap oleh jaringan akar.

Berdasarkan hasil yang diperoleh konsentrasi logam berat Cu pada sedimen berkisar antara 46,87 – 77,72 mg/kg. Menurut ANZECC (2000) nilai pedoman mutu Cu pada sedimen adalah 65 mg/kg untuk *low trigger value*. Konsentrasi logam berat Cu pada sedimen di stasiun 1 dan 2 telah melewati ambang batas, sedangkan stasiun 3 masih dibawah pedoman mutu. Tingginya konsentrasi logam berat Cu di sedimen disebabkan oleh tingginya sumber pencemar yang berada di perairan tersebut. Adanya aktivitas industri dan domestik menjadi faktor tingginya logam Cu di wilayah ini. Senyawa Cu banyak digunakan dalam industri cat pengawetan kayu serta penggunaan insektisida (Sari *et al.*, 2019).

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Air

Parameter	Stasiun 1			Stasiun 2			Stasiun 3		
Ulangan	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	7,3	7,35	7,33	7,37	7,35	7,40	7,70	7,62	7,70
Baku Mutu(*)					7-8,5				
Salinitas (ppt)	32,2	32,3	32,1	31,8	32,8	31,7	31,8	31,8	33
Baku Mutu(*)					33-34				
Suhu (°C)	33,7	33,8	32,1	33,1	33,2	32,9	33	33	31,8
Baku Mutu(*)					28-32				
DO (mg/l)	3,98	3,89	3,5	3,72	4,36	4,24	4,45	4,2	4,4
Baku Mutu(*)					>5				

Indikator tersebut menunjukkan belum terjadinya pencemaran yang berbahaya secara langsung, namun dapat dijadikan pertanda untuk melakukan pemantauan lebih lanjut. Adanya aktivitas industri dan domestik menjadi faktor tingginya logam Cu di wilayah ini. Selain itu, dapat juga dipengaruhi oleh sedimen yang terbawa aliran air yang mengendapkan logam berat. Sedimen di beberapa daerah pesisir Kota Semarang seperti daerah Tugu telah terkontaminasi logam berat seperti Cr, Pb dan Cu (Suryono *et al.*, 2019).

Konsentrasi logam berat Cu pada akar berkisar antara 9,27 – 66,84 mg/kg. Konsentrasi logam Cu tertinggi terdapat pada stasiun 3, hal ini disebabkan oleh jaringan akar yang mempunyai interaksi langsung dengan sedimen dan air yang telah terkontaminasi oleh logam berat yang mengendap (Ismail *et al.*, 2020). Tingginya konsentrasi logam di akar dipengaruhi juga oleh konsentrasi logam di sedimen. Konsentrasi logam berat Cu pada daun berkisar antara 6,63 – 8,17 mg/kg. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Cu pada akar lebih besar dibandingkan daun. Bagian akar berinteraksi langsung dengan sedimen yang menyimpan cemaran logam berat terbanyak. Secara proses penyerapan, masuknya Cu dalam akar ditransfer melalui *xylem* dan disebarkan ke semua tanaman (Ilhami dan Nurdini, 2024).

Konsentrasi logam berat Cu pada sedimen di wilayah Tapak lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam Hg. Hal ini dipengaruhi oleh sumber pencemar Cu yang lebih banyak dibandingkan Hg. Logam berat Cu sendiri berasal dari aktivitas industri, domestik, galangan kapal dan mobilitas bahan bakar. Letak lokasi yang berada di pesisir Utara Jawa Tengah berpotensi menyebabkan tingginya pencemaran karena dekat dengan industri dan pemukiman.

Faktor Biokonsentrasi

Hasil perhitungan BCF pada logam berat Hg pada ketiga stasiun bernilai kurang dari 1, menandakan bahwa mangrove memiliki sifat *excluder*. *Excluder* adalah salah satu mekanisme yang digunakan untuk mencegah logam berat masuk bagian atas tumbuhan, namun konsentrasinya di bagian perakaran masih tinggi (Mentari *et al.*, 2022). BCF yang kurang dari satu menunjukkan spesies mangrove *Avicennia marina* tergolong dalam kategori tanaman *excluder* terhadap logam berat Hg. BCF yang kurang dari 1 juga dapat disebabkan karena pengambilan sampel dan analisis hanya dilakukan satu kali sehingga hasil penelitian ini hanya merepresentasikan serapan logam berat saat penelitian dilakukan (Rachmawati *et al.*, 2018).

Nilai BCF logam berat Cu dari ketiga stasiun bernilai 0,91. Hal ini menunjukkan bahwa nilai BCF kurang dari 1 yang artinya spesies *Avicennia marina* memiliki sifat *excluder* terhadap logam berat Cu. Menurut Yoon *et al.* (2006), *Avicennia* sp. terhadap logam Cu termasuk kategori *excluder* yang dimana

tumbuhan tersebut membatasi penyerapan logam yang terdapat pada sedimen pada saat logam masuk ke tumbuhan dengan mudah akan ditranslokasikan ke organ tumbuhan yang lain atau biomassa di atasnya. Hal ini menunjukkan bahwa mangrove di Muara Sungai Tapak Semarang memiliki sifat *excluder* terhadap kedua logam yaitu Hg dan Cu, dimana tanaman secara efektif mencegah logam berat memasuki area bagian atas tanaman, namun konsentrasinya tinggi di bagian akar.

Faktor Translokasi

Hasil perhitungan rata-rata nilai TF dari ketiga stasiun untuk logam berat Hg sebesar 2,03, sedangkan untuk logam berat Cu sebesar 0,51. Hal ini menunjukkan bahwa *Avicennia marina* termasuk kedalam mekanisme fitoekstraksi terhadap logam berat Hg. Pada logam berat Cu spesies ini memiliki mekanisme fitostabilisasi karena nilai TF kurang dari 1. Mekanisme fitoekstraksi, yaitu penyerapan polutan oleh tanaman yang kemudian disimpan di bagian tajuk tanaman. Fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan oleh akar tumbuhan dan di translokasi atau akumulasi ke bagian tumbuhan (Juhriah dan Alam, 2016). Nilai TF yang rendah menunjukkan bahwa logam berat tidak di translokasikan ke bagian tumbuhan lain, melainkan terakumulasi di dalam akar. Umumnya translokasi logam dari akar ke daun untuk logam esensial (Cu) lebih rendah dibandingkan logam non esensial (Hg). Rendahnya nilai TF pada logam esensial menunjukkan bahwa mangrove menggunakan kedua logam tersebut untuk aktivitas metabolisme dan pertumbuhan. Sedangkan untuk logam non-esensial, proses mobilitas logam dari akar ke daun sangat tinggi, karena logam tersebut tidak digunakan pada proses metabolisme sehingga ada usaha untuk melokalisasi logam berat pada bagian tertentu sehingga logam berat tersebut dapat didegradasi atau diecerkan (Rachmawati *et al.*, 2018).

Parameter Kualitas Air

Berdasarkan hasil pengukuran pH di Muara Sungai Tapak diperoleh nilai pH berkisar antara 7,32 - 7,67. Hal ini menunjukkan bahwa nilai pH di wilayah Tapak masih tergolong optimal. Nilai pH yang cocok untuk pertumbuhan ekosistem mangrove adalah 6,5 – 8,5. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai pH di kawasan mangrove adalah serasah mangrove (Imamsyah *et al.*, 2020). Kelarutan logam berat lebih rendah apabila nilai pH tinggi. Pada pH rendah kelarutan logam berat akan lebih tinggi sehingga akan menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar (Sukoasih *et al.*, 2016).

Hasil pengukuran salinitas di Muara Sungai Tapak diperoleh nilai salinitas sebesar 32 ppt. Kadar salinitas masih tergolong baik untuk ekosistem mangrove. Berdasarkan Baku Mutu Air Laut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021

kisaran salinitas yang baik untuk pertumbuhan mangrove yaitu 33-34 ppt. Salinitas di perairan dapat mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat dalam perairan, dimana semakin besar salinitas di perairan maka akumulasi logam berat di perairan akan semakin kecil (Wardani *et al.*, 2014).

Hasil pengukuran suhu perairan Muara Sungai Tapak berkisar antara 32 – 33 °C. Berdasarkan Baku Mutu Air Laut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 kisaran suhu yang optimal untuk pertumbuhan mangrove adalah 28 – 30 °C. Hasil pengukuran tidak berbeda jauh dengan baku mutu. Suhu optimum ekosistem mangrove untuk tumbuh dan dapat berfotosintesis dengan baik berkisar antara 25 – 35 °C (Haya *et al.*, 2015). Suhu mempengaruhi konsentrasi logam berat di kolom air dan sedimen, suhu air yang lebih rendah akan memudahkan logam berat mengendap ke sedimen. Sementara suhu yang tinggi akan memudahkan logam berat akan larut di air (Sukoasih, *et al.*, 2017).

Hasil pengukuran DO di Muara Sungai Tapak pada stasiun 1 sebesar 3,79 mg/l, sedangkan pada stasiun 2 sebesar 4,11 mg/l dan stasiun 3 sebesar 4,35 mg/l. Berdasarkan Baku Mutu Air Laut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 nilai DO yang optimal, yaitu >5 mg/l. Nilai DO di lokasi penelitian tidak memenuhi baku mutu. Oksigen terlarut akan bernilai rendah apabila limbah masuk ke dalam perairan (Imamsyah *et al.*, 2020). Nilai DO juga mempengaruhi konsentrasi logam berat di dalam perairan. Apabila DO di perairan meningkat maka konsentrasi logam berat di perairan akan menurun dan mengindikasikan kualitas di perairan tersebut baik (Mahasri *et al.*, 2014).

KESIMPULAN

Konsentrasi logam berat Hg pada sedimen berada dibawah ambang batas, sedangkan konsentrasi Cu termasuk ke dalam kategori tercemar ringan. Konsentrasi logam berat Hg pada akar dan daun mangrove lebih rendah dibandingkan konsentrasi logam di sedimen. Konsentrasi logam berat Cu pada akar dan daun mangrove lebih rendah dibandingkan konsentrasi logam di sedimen. Mangrove *A. marina* memiliki sifat *excluder* terhadap logam berat Hg dan Cu karena nilai BCF < 1. Spesies *A. marina* termasuk kedalam mekanisme fitoekstraksi terhadap logam berat Hg karena nilai TF>1. Pada logam berat Cu spesies ini memiliki mekanisme fitostabilisasi karena nilai TF<1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan arahan, bimbingan, kritik dan saran dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, D., Setiaji, B., Jarkawi, Primadewi, K., Habibah, U., Peny, T. L. L., Rajagukguk, K. P., Nugraha, D., Safitri, W., Wahab, A., Larisu, Z. dan Dharta, F. Y. 2023. Metode Penelitian Kuantitatif. Pidie : Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Awaliyah, H. F., Yona, D. dan Pratiwi, D. C. 2018. Akumulasi logam berat (Pb dan Cu) pada Akar dan daun mangrove *Avicennia marina* di Sungai Lamong, Jawa Timur. *Depik*, 3(3), 187-197.
- Baker, A. J. M. 1981. *Accumulators and Excluder Strategies in Response of Plants to Heavy Metals*. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1-4) : 643 – 654.
- Hastuti, E. D. 2017. Penerapan Wanamina : Kelulushidupan Semai Mangrove, Variasi Kualitas Lingkungan dan Perubahan Kandungan Logam Berat. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 2(1) : 17 – 25.
- Haya, N., Zamani, N. P. dan Soedharma, D. 2015. Analisis Struktur Ekosistem Mangrove di Desa Kukupang Kecamatan Kepulauan Joronga. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 6(1) : 79–89.
- Ilhami, S. Q. dan Nurdini, J. A. 2024. Analisis Faktor Biokonsentrasi dan Faktor Translokasi dari Logam Berat Cu pada Mangrove *Rhizophora* sp. *Juvenil*, 5(4) : 394 – 401.
- Imamsyah, A., Bengen, D. G. dan Ismet, M. S. 2020. Struktur dan Sebaran Vegetasi Mangrove Berdasarkan Kualitas Lingkungan Biofisik di Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *Ecotrophic*, 14(1) : 88-99.
- Irsan, Male, Y. T. dan Selano, D. A. 2020. Analisis Kandungan Merkuri (Hg) pada Ekosistem Sungai Waelata dan Sungai Anahoni yang Terdampak Aktivitas Pertambangan Emas di Pulau Buru, Maluku. *Chemistry Progress*, 13(1) : 31 – 38.
- Ismail I., Mangesa, R. dan Irsan. 2020. Bioakumulasi Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Mangrove Jenis *Rhizophora mucronata* di Teluk Kayeli Kabupaten Buru. *Journal Biology Science and Education*, 9(2) : 139 – 152.
- Juhriah, J. dan Alam, M. 2016. Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) pada Tanah Dengan Tanaman *Celosia Plumosa* (Voss) Burv. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 1(1) : 1 – 8.
- Kariada, N. T. dan Irsadi, A. 2014. Peranan Mangrove Sebagai Biofilter Pencemaran Air Wilayah Tambak Bandeng Tapak, Semarang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(2) : 188 – 194.

- MacFarlane, G. R., Koller, C. E. dan Blomberg, S. P. 2007. *Accummulation and Partioning of Heavy Metals in Mangrove : a Synthesis of Field-Based Studies*. *Chemosphere*, 69(9) : 1454 – 1464.
- Mahasri, G., Eshmat, M.E. & Rahardja, B.S., 2014. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 6(1):101-108.
- Majid, S. N., Khwakaram, A. I., Rasul, G. A. M. dan Ahmed, Z. H. (2014). Bioaccumulation, Enrichment and Translocation Factors of some Heavy Metals in *Typha Angustifolia* and *Phragmites Australis* Species Growing along Qalyasan Stream in Sulaimani City/IKR. *Journal of Zankoy Sulaimani*. 16(4) : 93 – 109.
- Mariwy, A., Manuhutu, J. B., dan 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
- Martuti, N. T. K., Widianarko, B. dan Yulianto, B. 2016. Eliminasi Logam Cu Oleh Serasah *Avicennia marina* di Lingkungan Tambak Bandeng Wilayah Tapak Tugurejo, Semarang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(3) : 304–309.
- Mentari, R. J., Soenardjo, N. dan Yulianto, B. 2022. Potensi Fitoremediasi Mangrove *Rhizophora mucronata* Terhadap Logam Berat Tembaga di Kawasan Mangrove Park, Pekalongan. *Journal of Marine Research*, 11(2) : 183 – 188.
- Patty, J. O., Siahaan, R. dan Maabuat, P. V. 2018. Kehadiran Logam – Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara-Sulawesi Utara. *Jurnal Bios Logos*, 8(1) : 15 – 20.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, 2021.
- Pratama, C. G., Prayogo dan Isoni, W. 2025. Analisis Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) pada Sedimen dan Akar Mangrove *Avicennia marina* di Wilayah Ekosistem Mangrove Wonorejo Surabaya. *Journal of Marine and Coastal Science*, 14(1) : 58 – 68.
- Rachmawati, R., Yona, D. dan Kasitowati, R. D. 2018. Potensi Mangrove *Avicennia alba* Sebagai Agen Fitoremediasi Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) di Perairan Wonorejo, Surabaya. *Depik*, 7(3) : 227 – 236.
- Riyanti, I., Putri, W. A. E., Ulgodry, T. Z. dan Santeri, T. 2019. Akumulasi Logam Berat Zn dan Pb Pada Sedimen, Akar dan Daun Mangrove *Avicennia alba* di Pulau Payung Sumatera Selatan. *Jurnal Lahan Suboptimal*, 8(2) : 141 – 147.
- Sanadi, T., Schadu, J., Tilaar, S., Mantiri, D., Bara, R. dan Pelle, W. 2018. Analisis Logam Berat Timbal (Pb) pada Akar Mangrove di Desa Bahowo dan Desa Talawaan Bajo Kecamatan Tongkaina. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 6(2) : 9 – 18.
- Sari, A. B., Putri, W. A. E. dan Diansyah, G. 2018. Logam Berat Cu dan Pb Dalam Sedimen di Perairan Muara Upang. *Journal of Tropical Marine Science*, 2(2) : 71 – 75.
- Sukoasih, A. dan Widiyanto, T. 2017. Hubungan Antara Suhu, pH, dan Berbagai Variasi Jarak dengan Kadar Timbal (Pb) pada Badan Air Sungai Rompang dan Air Sumur Gali Industri Batik Sokaraia Tengah Tahun 2016. *Buletin Keslingmas*, 36(4) : 360 – 368.
- Supriyantini, E. dan Soenardjo, N. 2016. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Akar dan Buah Mangrove *Avicennia marina* di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(2) : 98 – 106.
- Suryono, C. A., Pratikto, I. dan Rusmaharani, A. 2019. Logam Berat Anthropogenik Pb dan Cu pada Lapisan Sedimen Permukaan dan Dasar Muara Sungai di Kota Semarang, Jawa Tengah Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(1), 87-92.
- Wardani,, D. A. K., Dewi, N. K. dan Utami, N. R. 2014. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Daging Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Unnes Journal of Life Science*, 3(1) : 1 - 8.
- Yoon, J., Xinde, C., Qixing, Z. dan L.Q. Ma. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Science of the Total Environment*, 52: 456 - 464.