

Bioakumulasi Logam Berat Timbal, Tembaga, dan Seng pada Akar Mangrove *Avicennia marina*, Air, dan Sedimen di Perairan Panceng, Gresik, Jawa Timur

Bioaccumulation of Heavy Metals Lead, Copper, and Zinc in Mangrove Roots *Avicennia marina*, Water, and Sediment in Panceng Waters, Gresik, Jawa Timur

Fenny Diyah Retnosari¹, Sapto Andriyono^{2*} , dan Nina Nurmalia Dewi³ 

¹Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

²Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

³Departemen Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Article Info

Received: 2023-12-12

Revised: 2024-05-30

Accepted: 2024-06-14

Online: 2024-06-28

Koresponding:

Sapto Andriyono, Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

E-mail:

sapto.andriyono@fpk.unair.ac.id

Abstrak

Perairan Panceng merupakan kawasan pesisir yang memiliki aktivitas cukup banyak, dan dapat memicu adanya limbah pencemaran. Limbah pencemaran dapat menyebabkan peningkatan bioakumulasi logam berat di perairan. Penelitian ini bertujuan memperoleh informasi kegiatan monitoring pengelolaan lingkungan, seperti kondisi kualitas air dengan menentukan konsentrasi logam berat Pb, Cu, dan Zn pada akar mangrove *Avicennia marina*, air dan sedimen di Perairan Panceng, Gresik. Metode yang digunakan yaitu observasi, pemeriksaan logam berat Pb, Cu, dan Zn menggunakan ICP-MS, dan data dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Konsentrasi logam berat Pb dalam akar mangrove rata-rata 0,3 mg/kg, Cu 1,205 mg/kg dan Zn 0,14 mg/kg. Konsentrasi logam berat Pb pada sedimen 5,49 mg/kg, Cu 15,7 mg/kg, dan Zn 30,6 mg/kg. Sedangkan konsentrasi logam berat Pb, Cu dan Zn pada air laut yaitu tidak terdeteksi (ND). Secara keseluruhan air dan sedimen masih berada di bawah ambang batas. Namun, konsentrasi logam berat pada akar mangrove tergolong tinggi berada di atas baku mutu KepMen LH No. 22 Tahun 2021. Perhitungan nilai Enrichment Factor (EF), Geo-Accumulation Index (Igeo), dan Contamination Factor (CF) menunjukkan tingkat pencemaran logam berat Pb, Cu, dan Zn tergolong masih rendah hingga sedang. Nilai Bio Concentration Factor (BCF) *A. marina* dilokasi penelitian masuk kategori ekskluder (BCF<1). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mangrove *A. marina* dapat dikembangkan menjadi agen fitoremediasi karena mampu menyerap dan mentransfer logam berat dari lingkungan ke jaringan tubuh lainnya.

Kata kunci: *Avicennia marina*, kontaminasi, kualitas, perikanan

Abstract

Panceng water is a coastal area that has quite a lot of activities, and this can trigger an increase in waste pollution. This polluting waste can cause an increase in the bioaccumulation of heavy metals in waters. Therefore, this research aims to obtain information on environmental management monitoring activities, such as water quality conditions by determining the concentration of heavy metals Pb, Cu and Zn in the roots of the *Avicennia marina* mangrove, water and sediment in Panceng Waters, Gresik. The method used was observation, examination of the heavy metals Pb, Cu, and Zn using ICP-MS, and the data was analyzed using quantitative descriptive methods. The results of the analysis of the concentration of the heavy metal Pb in the roots of the mangrove averaged 0.3 mg/kg, Cu 1.205 mg/kg and Zn 0.14 mg/kg. The concentration of heavy metals Pb in sediment was 5.49 mg/kg, Cu 15.7 mg/kg, and Zn 30.6 mg/kg. Meanwhile, the concentration of heavy metals Pb, Cu and Zn in sea water was not detected (ND). Overall water and sediment are still below the threshold. However, the concentration of heavy metals in the roots of the *A. marina* mangrove is relatively high, above the quality standards of Minister of Environment Decree No. 22 of 2021. Calculation of the level of heavy metal pollution based on Enrichment Factor (EF), Geo-Accumulation Index (Igeo) and Contamination factor (CF) values shows that the heavy metals Pb, Cu and Zn indicate levels of pollution and contamination that are still low to moderate. The Bio Concentration Factor (BCF) of *A. marina* in Panceng Waters, Gresik is included in the excluder category (BCF<1). The results of this research indicate that the *A. marina* mangrove can be developed as a phytoremediation agent because it is able to absorb and transfer heavy metals from the environment to other body tissues.

Keywords: *Avicennia marina*, contamination, fisheries, quality

1. Pendahuluan

Perairan Panceng yang terletak di Kabupaten Gresik, Jawa Timur merupakan kawasan pesisir yang memiliki berbagai aktivitas cukup banyak, seperti aktivitas pasar, Tempat Pelelangan Ikan (TPI), rumah tangga, industri, pariwisata Pantai Pasir Putih Delegan, perkapalan serta budidaya (Dewi, 2015). Menurut Sahfitri (2018), budidaya perairan merupakan aktivitas yang melakukan produksi pada biota perairan atau secara umum pada wadah atau kondisi yang dapat dikendalikan. Aktivitas budidaya yang ada di Perairan Panceng diantaranya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dan kerang hijau (*Perna viridis*).

Aktivitas manusia seperti perkapalan, rumah tangga, dan banyaknya perusahaan industri merupakan penyebab masuknya logam berat di perairan. Beberapa aktivitas tersebut dapat memicu terjadinya peningkatan limbah pencemaran, baik limbah padat, limbah cair, maupun limbah gas di perairan dan dapat menyebabkan peningkatan logam berat (Razi *et al.*, 2023). Berbagai kegiatan yang ada di sekitar Perairan Panceng dapat menyebabkan kualitas air menjadi buruk dan harus dilakukan monitoring. Salah satu kegiatan monitoring tersebut adalah dengan pengelolaan lingkungan, seperti

pengujian logam berat timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn).

Beberapa jenis logam yang dapat terlibat dalam proses bioakumulasi dan menimbulkan efek toksik adalah timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn) (Palar, 2004). Menurut Amin *et al.* (2015), jenis logam berat Pb sering digunakan di industri antara lain: pabrik kawat, baterai, amunisi, dan logam campuran serta penambangan. Biasanya logam ini digunakan dalam cat anti korosi untuk kapal (Siska, 2008). Logam berat Cu bersumber dari aktivitas manusia, seperti limbah pembuangan industri yang menggunakan Cu dalam proses produksinya misalnya industri galangan kapal (Surbakti, 2011). Keberadaan Zn di perairan disebabkan oleh limbah sisa bahan bakar maupun cat-cat dari kapal yang beraktivitas di sekitar dermaga seperti kapal rusak dan tidak pernah digunakan lagi, sehingga cat dari kapal tersebut dimungkinkan larut ke dalam perairan dan menimbulkan cemaran Zn. Adanya Zn juga disebabkan oleh aktivitas rumah tangga seperti buangan limbah aktivitas rumah tangga maupun limbah dari makanan (Razi *et al.*, 2023). Logam berat di perairan akan beracun jika melebihi batas toleransi, sehingga berbahaya pada organisme di dalamnya, mulai dari proses metabolisme yang

terhambat sampai terjadi kematian biota atau manusia yang mengonsumsi organisme beracun tersebut.

Ekosistem di perairan laut sangat mendukung aktivitas budidaya dimana ekosistem yang baik dapat memberikan kesempatan hidup yang baik juga terhadap biota budidaya (Amin *et al.*, 2015). Namun, kegiatan monitoring lingkungan, seperti kualitas air yang ada di sekitar Perairan Panceng, Gresik yang berpotensi untuk mendukung kegiatan budidaya masih minim. Perairan yang tercemar logam berat dapat menyebabkan dampak pada biota dan tumbuhan pesisir seperti ekosistem mangrove. Berdasarkan laporan DIKPLHD Provinsi Jawa Timur (2017), Kabupaten Gresik mempunyai luas hutan mangrove mencapai $\pm 679,24$ ha.

Mangrove merupakan tumbuhan penyalur bioremediasi karena kemampuannya menyerap kandungan logam berat secara alami seperti Fe, Cr, Mn, Co, Ni, Pb, Cu, dan Zn. Fungsi ini disebut biosorpsi (Utami *et al.*, 2018). Jenis mangrove yang dapat dijadikan sebagai indikator biologis lingkungan tercemar logam berat adalah mangrove *Avicennia marina* (Supriyantini and Soenardjo, 2016). Peran *A. marina* untuk mengurangi efek racun melalui pengenceran, yaitu menahan air untuk mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuh, sehingga mengurangi toksisitas logam berat (Halidah, 2014). Bagian mangrove yang paling banyak menyerap logam berat adalah organ akar, karena berhubungan langsung dengan sedimen (Setiawan, 2013).

Logam berat timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn) belum pernah diteliti di hutan mangrove Perairan Panceng, Gresik. Namun, beberapa penelitian hampir sama dalam hal perbedaan jenis logam berat dan metode analisis yang digunakan. Hal ini juga didukung oleh hasil penelitian Maharani (2019) bahwa konsentrasi logam berat Pb pada mangrove *A. marina* di Manyar, Gresik berkisar antara 0,30-4,84 ppm dan konsentrasi Cu berkisar antara 0,27-11,42 ppm. Penelitian Cahyanurani (2014)

membuktikan bahwa konsentrasi logam berat Pb di perairan PPI Campurejo, Gresik sebesar $0,052 \pm 0,0055$ ppm dan di sedimen sebesar $4,040 \pm 0,3915$ ppm. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi konsentrasi logam berat Pb, Cu, dan Zn pada akar mangrove *A. marina*, air dan sedimen di Perairan Panceng, Gresik untuk mendukung kegiatan budidaya.

2. Material dan Metode

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2023. Pengambilan sampel akar mangrove *A. marina*, air, dan sedimen dilakukan di Perairan Panceng, Gresik. Lokasi penelitian pengambilan sampel berada di $6^{\circ}54'08.6''S$ $112^{\circ}29'25.5''E$. Pemeriksaan logam berat Pb, Cu, dan Zn pada sampel akar mangrove *A. marina* dilakukan di laboratorium PT. Saraswanti Indo Genetech, Surabaya, sedangkan sampel air dan sedimen di Angler Chemical Laboratorium, Surabaya.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi *cool box*, botol plastik HDPE sebanyak 1000 mL atau 1 liter untuk mengambil sampel air, pipa PVC diameter 5 cm dan panjang 50 cm untuk mengambil sampel sedimen, kantong plastik, pisau, kertas sampel, termometer, refraktometer, DO meter dan pH meter. Peralatan untuk analisis logam berat Pb, Cu, dan Zn di laboratorium meliputi alat *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS). Bahan utama yang digunakan meliputi: sampel akar mangrove *A. marina*, sampel air, sampel sedimen dan es batu dari Perairan Panceng, Gresik.

Metode penelitian yang digunakan yaitu observasi. Metode observasi merupakan metode yang bersifat akurat dan spesifik untuk mengumpulkan data dan informasi mengenai segala kegiatan yang dijadikan obyek, menyaksikan secara langsung seluruh urutan peristiwa yang diamati (Syamsudin, 2014). Observasi dilakukan terhadap berbagai hal yang berhubungan dengan bioakumulasi logam berat Pb, Cu, dan Zn pada akar mangrove *A. marina*, air, dan sedimen. Hasilidentifikasi

akan dianalisis dengan metode deskriptif kuantitatif dengan menguji hipotesis yang telah dibuat untuk meneliti sampel tertentu. Analisis data menggunakan acuan pada alat ICP-MS dan disesuaikan dengan jenis logam berat.

Pengambilan Sampel Akar Mangrove Avicennia marina

Bagian mangrove *A. marina* yang digunakan adalah akar yang diambil dari ketinggian pohon sekitar ± 4-5 m. Akar yang diambil adalah bagian akar yang berada di dalam sedimen (akar pensil). Bagian akar berdiameter sekitar 1 cm dengan panjang 30 cm dipotong kecil-kecil untuk memudahkan pengujian di laboratorium. Potongan akar tersebut dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel sampel kemudian dibawa ke laboratorium menggunakan *cool box*. Selanjutnya dilakukan analisa kandungan logam berat Pb, Cu, dan Zn (Ismail *et al.*, 2020).

Pengambilan Sampel Air

Sampel air diambil sebanyak 1000 mL pada kedalaman ±35cm dengan menggunakan botol plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) untuk melihat karakteristik kontaminan logam terlarut. Kemudian sampel air dimasukkan ke dalam *cool box* berisi es batu agar tidak terjadi perubahan secara biologis dan kimiawi (Rahardja *et al.*, 2018).

Pengambilan Sampel Sedimen

Sampel sedimen sebanyak ±1 kg diambil dari kedalaman 35 cm menggunakan pipa PVC dengan diameter 5 cm dan panjang 50 cm. Sampel sedimen diambil dari dasar perairan tepat di bawah akar mangrove *Avicennia marina*. Sampel sedimen kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel. Kemudian dibawa ke laboratorium menggunakan *cool box* berisi es batu dengan suhu sekitar 4°C selama transportasi untuk dilakukan analisa laboratorium (Jupriyati *et al.*, 2014).

Pengujian Akar Mangrove Avicennia marina, Air, dan Sedimen

Wardhani *et al.* (2016) menjelaskan bahwa pengukuran kandungan logam berat Pb, Cu, dan Zn mengacu pada metode ekstraksi dan analisis *Standard Method for Examination Water and Wastewater 22nd edition* tentang *Metals by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS). Sampel akar dan sedimen dikeringkan pada suhu 105°C selama 8 jam selanjutnya digerus hingga halus. Gerusan sampel akar mangrove dan sedimen disaring menggunakan saringan berukuran 200 µm. Kemudian sampel dilarutkan dalam 15 mL air raja (campuran asam nitrat dan asam klorida perbandingan 3:1). Sampel dipanaskan pada *waterbath* selama 8 jam hingga terlarut. Selanjutnya, sampel disaring menggunakan kertas bebas abu, kemudian ditambahkan air destilasi ke dalam volumetrik *flask* berukuran 100 mL. Terakhir, konsentrasi logam berat Pb, Cu, Zn diperiksa menggunakan alat ICP-MS.

Analisis Data

Data yang diperoleh berupa kandungan logam berat Pb, Cu, dan Zn pada akar mangrove *A. marina*, air dan sedimen. Data pencemaran perairan menggunakan perhitungan EF, Igeo, CF, dan BCF (Keshavarzi and Kumar, 2018). Selanjutnya dilakukan analisis data deskriptif dalam bentuk tabel, grafik dan gambar.

a. Perhitungan Enrichment Factor (EF)

Faktor Pengayaan atau *Enrichment Factor* (EF) merupakan indikator yang digunakan untuk menilai keberadaan dan intensitas pengendapan kontaminan antropogenik pada permukaan tanah (Barbieri, 2016). Menurut Alahabadi and Malvandi (2018), EF dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$EF = (C_n : C_{ref}) : (B_n : B_{ref})$$

Keterangan:

- C_n :Konsentrasi logam berat “n” dalam sampel sedimen
C_{ref} :Konsentrasi logam berat referensi (Fe) dalam sampel sedimen (Fe = 4,8 mg/kg) (Effendi, 2003)
B_n :Nilai logam berat “n” di alam (background) (Pb = 23 mg/kg, Cu = 39 mg/kg dan Zn = 120 mg/kg (Purbonegoro, 2022)
B_{ref} :Konsentrasi logam berat referensi di alam (Fe = 47,2 mg/kg) (Suyatno *et al.*, 2021)

Fe menjadi logam referensi karena Fe dapat berasosiasi dengan lapisan permukaan sedimen, Fe bersifat geokimia relatif sama dengan banyak logam serta konsentrasi alami Fe tinggi dalam sedimen cenderung seragam (Syakti *et al.*, 2015). Menurut Jahan and Strezov (2018), nilai EF dikelompokkan menjadi 7 kategori diantaranya: EF<2 pengayaan rendah (*low*), 2≤EF<5 pengayaan sedang (*moderate*), 5≤EF<20 pengayaan cukup (*significant*), 20≤EF<40 pengayaan tinggi (*very high*), dan EF≥40 pengayaan sangat tinggi (*extremely high*).

b. Perhitungan Geo-Accumulation Index (I_{geo})

Geo-Accumulation Index (I_{geo}) atau Indeks Geo-akumulasi merupakan indeks yang digunakan untuk menentukan tingkat kontaminasi logam berat dalam sedimen (Alahabadi and Malvandi, 2018). I_{geo} dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 C_{background} (B_n)} \right)$$

Keterangan :

- C_n: Konsentrasi logam berat “n” dalam sampel sedimen
C_{background} (B_n): Konsentrasi logam berat “n” di alam (background) (Pb = 23 mg/kg, Cu = 39 mg/kg dan Zn = 120 mg/kg (Purbonegoro, 2022)
Konstanta 1,5: Mencakup variasi nilai latar belakang yang disebabkan oleh variasi Litologi

Menurut Liu *et al.* (2021) I_{geo} dikelompokkan ke dalam 7 kategori diantaranya: I_{geo}≤0 tidak tercemar, 0<I_{geo}≤1 tidak tercemar hingga tercemar sedang, 0<I_{geo}≤2 tercemar sedang, 0<I_{geo}≤3 tercemar sedang hingga tercemar berat, 0<I_{geo}≤4 tercemar berat, 0<I_{geo}≤5 tercemar berat hingga tercemar sangat berat, dan I_{geo}>5 tercemar sangat berat.

c. Perhitungan Faktor Kontaminasi atau Contamination Factor (CF)

Contamination Factor (CF) atau Faktor Kontaminasi merupakan indeks yang digunakan untuk menilai tingkat kontaminasi logam berat antropogenik (Nugraha *et al.*, 2022). Menurut Alahabadi and Malvandi (2018), CF dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$CF = C_n : C_{background} (B_n)$$

Keterangan :

- C_n: Konsentrasi elemen “n” pada sampel sedimen
C_{background} (B_n) : Konsentrasi elemen “n” di alam (background) (Pb = 23 mg/kg, Cu = 39 mg/kg dan Zn = 120 mg/kg (Purbonegoro, 2022)

Christophoridis *et al.* (2019) berpendapat bahwa kategori CF ada 4 diantaranya: CF<1 tingkat kontaminasi rendah, 1≤CF<3 tingkat kontaminasi sedang, 3≤CF<6 tingkat kontaminasi cukup, CF≥6 tingkat kontaminasi sangat tinggi.

d. Perhitungan Faktor Biokonsentrasi atau Bio-Concentration Factor (BCF)

Menurut Zheng *et al.* (2016), Bio-Concentration Factor (BCF) atau Faktor Biokonsentrasi merupakan indeks yang digunakan untuk mengevaluasi bioakumulasi logam berat pada suatu organisme dengan konsentrasi dalam air atau sedimen. Nilai BCF diperoleh dari perbandingan antara konsentrasi polutan pada lapisan tubuh organisme dan konsentrasi polutan pada

lingkungan tempat tereksposnya organisme tersebut. Nilai BCF dapat dihitung dengan rumus Zhao *et al.* (2013):

$$\text{BCF} = \frac{\text{Cakar}}{\text{Cair}} \quad \text{dan} \quad \text{BCF} = \frac{\text{Cakar}}{\text{Csedimen}}$$

Keterangan:

BCF: Faktor biokonsentrasi

Cakar: Konsentrasi logam berat dalam akar

Cair: Konsentrasi logam dalam air

Csedimen: Konsentrasi logam berat dalam sedimen

Nilai BCF dapat dikategorikan menjadi 4 (Purnamawati *et al.*, 2015), yaitu :

- Nilai $\text{BCF} \geq 1000$ disebut sebagai Hiper Akumulator
- Nilai $\text{BCF} > 1$, disebut sebagai Akumulator
- Nilai $\text{BCF} < 1$, disebut sebagai Ekskluder
- Nilai $\text{BCF} = 1$, disebut sebagai Indikator

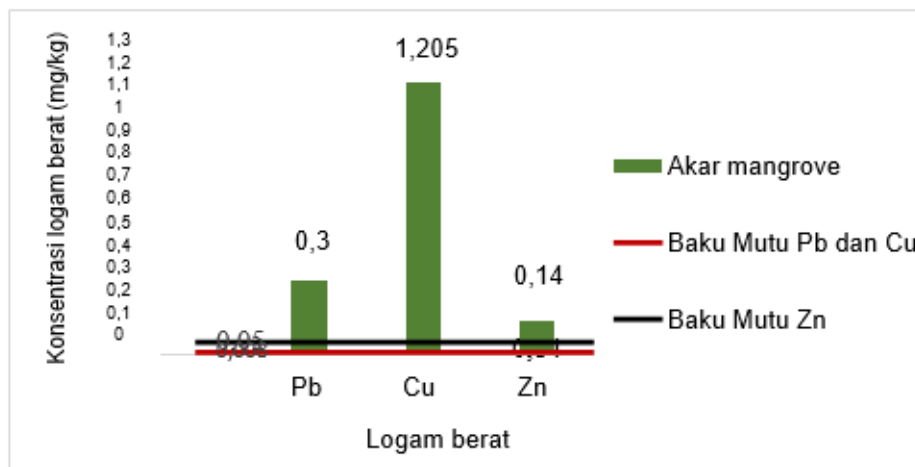
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil

a. Konsentrasi Logam berat Pb (timbal), tembaga (Cu) dan seng (Zn) pada

akar mangrove *Avicennia marina*, air dan sedimen

Hasil uji laboratorium konsentrasi logam berat Pb pada sampel akar mangrove *A. marina* diperoleh nilai rata-rata yaitu 0,3 mg/kg (Gambar 1). Nilai Pb tersebut tergolong tinggi di atas baku mutu air laut. Ambang batas logam berat Pb untuk mangrove adalah 0,008 mg/l (KepMen LH No. 22 Tahun 2021). Pada hasil uji konsentrasi logam berat Cu pada akar mangrove *A. marina* diperoleh nilai rata-rata 1,205 mg/kg (Gambar 1). Menurut KepMen LH No. 22 Tahun 2021 hasil tersebut tergolong tinggi di atas baku mutu air laut. Ambang batas logam berat Cu untuk mangrove adalah 0,008 mg/l. Hasil konsentrasi logam berat Zn pada akar mangrove *A. marina* diperoleh nilai rata-rata 0,14 mg/kg (Gambar 1). Nilai Zn tersebut tergolong tinggi di atas baku mutu air laut. Ambang batas logam berat Zn untuk mangrove adalah 0,05 mg/l (KepMen LH No. 22 Tahun 2021). Hasil konsentrasi ketiga logam berat yang terkandung dalam akar mangrove *A. marina* tersebut menunjukkan kondisi lingkungan di Perairan Panceng, Gresik lebih tinggi dari ambang batas.



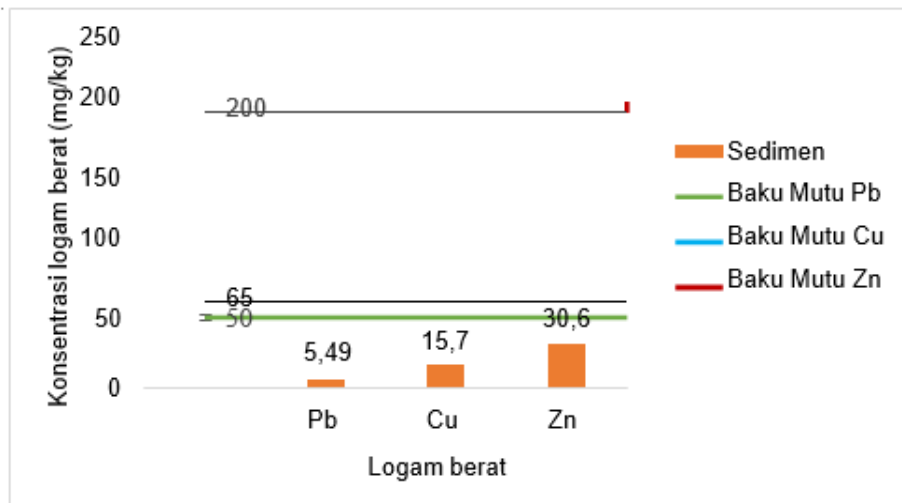
Gambar 1. Grafik konsentrasi logam berat pada akar mangrove *A. marina*

Hasil uji logam berat Pb, Cu dan Zn dapat diketahui bahwa semua sampel air yang diambil dari Perairan Panceng, Gresik memiliki konsentrasi *not detected*/tidak terdeteksi (ND) (Gambar

2). Hal tersebut dikarenakan konsentrasi saat pengujian sampel air berada dibawah limit alat yaitu untuk limit Pb 0,025 mg/kg, limit Cu 0,050 mg/kg dan limit Zn 0,125 mg/kg. Berdasarkan KepMen LH No. 22

Tahun 2021 tentang baku mutu air laut untuk perairan menetapkan batas maksimum logam berat Pb 0,008 mg/l, Cu 0,008 mg/l dan Zn 0,05 mg/l. Oleh karena

itu, hasil pengujian logam berat pada sampel air di Perairan Panceng masih tergolong layak untuk media kegiatan budidaya perairan.



Gambar 2. Grafik konsentrasi logam berat pada sedimen

Berdasarkan hasil pengujian logam berat Pb, Cu, dan Zn pada sampel sedimen masih di bawah standart dari baku mutu ANZECC (2000) sedimen air laut untuk biota laut. Hasil konsentrasi uji laboratorium dengan parameter logam berat Pb, Cu, dan Zn pada sampel sedimen masing-masing adalah 5,49 mg/kg, 15,7 mg/kg, dan 30,6 mg/kg (Gambar 2). Sedangkan standart baku mutu ANZECC (2000) menetapkan batas maksimum cemaran logam berat Pb, Cu, dan Zn sedimen air laut untuk biota laut masing-masing adalah 50 mg/kg, 65

mg/kg, dan 200 mg/kg. Oleh karena itu, Perairan Panceng, Gresik masih tergolong layak untuk kegiatan budidaya perairan.

b. Analisis data pencemaran lingkungan

Nilai indeks *Enrichment Factor* (EF) atau faktor pengayaan pada logam berat sedimen Pb, Cu, dan Zn masing-masing adalah 2,34 mg/kg, 3,95 mg/kg, dan 2,50 mg/kg (Tabel 1). Menurut Jahan and Strezov (2018), nilai EF pada logam berat Pb, Cu dan Zn dalam sedimen tersebut berada pada kategori akumulasi sedimen sedang.

Tabel 1. Hasil analisis data indeks pencemaran logam berat pada sedimen

No.	Indeks	Sedimen			Tingkat Pencemaran
		Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	
1.	EF	2,34	3,95	2,50	Sedang
2.	Igeo	-0,4975	-0,2708	-0,4685	Rendah
3.	CF	0,239	0,403	0,255	Rendah

Nilai *Geo-Accumulation Index* (Igeo) atau kualitas sedimen pada logam berat Pb, Cu, dan Zn masing-masing adalah -0,4975 mg/kg, -0,2708 mg/kg dan -0,4685 mg/kg (Tabel 1). Menurut Liu *et al.* (2021), nilai Igeo logam berat Pb, Cu, dan Zn tersebut berada pada kategori tingkat pencemaran rendah.

Nilai *Contamination Factor* (CF) atau faktor kontaminasi pada logam berat sedimen Pb, Cu, dan Zn masing-masing adalah 0,239 mg/kg, 0,403 mg/kg, dan 0,255 mg/kg (Tabel 1). Menurut Christophoridis *et al.* (2019), nilai CF tersebut termasuk dalam kategori sedimen rendah.

Tabel 2. Hasil analisis indeks pencemaran (BCF) pada akar mangrove *A. marina*

No.	Indeks	Akar Mangrove <i>Avicennia marina</i>			Tingkat Pencemaran
		Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	
1.	BCF air	ND	ND	ND	Ekskluder
2.	BCF sedimen	0,0546	0,0767	0,00457	Ekskluder

Nilai *Bio Concentration Factor* (BCF) akar mangrove *A. marina* terhadap air pada logam berat nilai Pb, Cu, dan Zn adalah *not detected*/tidak terdeteksi (ND) (Tabel 2). Sedangkan nilai BCF akar mangrove terhadap sedimen pada logam berat Pb, Cu, dan Zn masing-masing adalah 0,054 mg/kg, 0,076 mg/kg, dan 0,00457 mg/kg. Menurut Purnamawati *et al.* (2015), nilai BCF akar mangrove *A. marina* terhadap air dan sedimen berada pada kategori tingkat pencemaran

ekskluder (BCF<1).

c. Kualitas Air

Hasil pengukuran kualitas air di Perairan Panceng, Gresik selama penelitian sangat beragam. Secara umum, kondisi fisika dan kimiawi perairan dapat dilihat dari hasil pengukuran insitu oleh beberapa kualitas air antara lain parameter suhu, derajat keasaman (pH), salinitas dan oksigen terlarut (DO) (Tabel 3).

Tabel 3. Pengukuran kualitas air di Perairan Panceng, Gresik

No.	Parameter	Hasil Pengukuran	KepMen LH No. 22 Tahun 2021	Keterangan
1.	Suhu	34,9°C	28-32°C	Tidak memenuhi
2.	pH	7,06	7-8,5	Memenuhi
3.	Salinitas	15 ‰ (ppt)	33-34 (ppt)	Tidak memenuhi
4.	DO	8,27 mg/L	>5 mg/L	Memenuhi

Pembahasan

Bioakumulasi terjadi dalam jaringan tubuh setelah adanya proses absorpsi logam dari air. Bioakumulasi bahan kimia dalam air merupakan kriteria penting saat mengevaluasi ekologi lingkungan dan tingkat polusi (Ivanciuc *et al.*, 2006). Proses fisiologis tanaman diawali dengan akumulasi logam berat pada akar (Natsir and Rijal, 2020). Penebalan jaringan endodermal dan eksodermal terjadi pada akar sebagai respon terhadap akumulasi logam berat, kemudian diserap melalui proses penyerapan pasif pada stomata dan kutikula serta aktivitas transportasi hingga terakumulasi pada daun (Tupan and Azrianingsih, 2016). Larkum *et al.* (2006) berpendapat bahwa sedimen dan air, jenis partikel sedimen, reaksi redoks, bahan organik terlarut serta variabilitas musim dapat mempengaruhi proses bioakumulasi

logam berat di mangrove.

Nilai logam berat pada akar mangrove *A. marina* tergolong tinggi. Berdasarkan baku mutu air laut untuk biota laut ambang batas logam berat Pb adalah 0,008 mg/L, Cu adalah 0,008 mg/L, dan Zn 0,05 mg/kg (KepMen LH No. 22 Tahun 2021). Konsentrasi logam berat Pb, Cu dan Zn pada akar mangrove *A. marina* menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi logam berat Cu lebih tinggi dibandingkan pada logam berat Pb dan Zn. Konsentrasi tembaga (Cu) yang tinggi tidak terlepas dari kondisi dan aktivitas yang terjadi di kawasan Perairan Panceng, Gresik dimana aktivitas rumah tangga dan jalur transportasi kapal juga meningkat dari tahun ke tahun. Hal tersebut dapat menyebabkan pembuangan limbah industri dan jalur transportasi kapal penumpang serta jalur penangkapan ikan yang menggunakan bahan bakar yang mengandung tembaga

dapat meningkatkan tingkat pencemaran di Perairan Panceng, Gresik. Palar (2004) berpendapat bahwa aktivitas manusia, industri galangan kapal, dan berbagai aktivitas pelabuhan lainnya dapat mempercepat peningkatan konsentrasi logam dalam air. Menurut Siringoringo *et al.* (2022), tembaga (Cu) terikat erat dengan bahan organik yang dapat mempercepat pengendapan di dasar laut.

Akar mangrove *A. marina* mampu mengikat dan menyimpan logam berat yang terdapat di Perairan Panceng, Gresik. Konsentrasi logam berat yang masuk ke dalam akar mangrove sebagian digunakan untuk metabolisme dan *A. marina* mampu menyerap logam berat. Penelitian Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya membuktikan bahwa *A. marina* memiliki pengaruh dalam penanggulangan bahan toksik lain seperti melemahkan efek racun melalui pengenceran (dilusi) (Jaya *et al.*, 2021).

Kemampuan mangrove mengakumulasi logam berat Pb, Cu dan Zn tidak terlepas dari lingkungan abiotik sebagai habitat yaitu sedimen dan perairan (substrat). Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi logam berat Pb, Cu, dan Zn dalam air tidak terdeteksi (ND). Konsentrasi logam berat sampel air saat pengujian berada di bawah limit alat yaitu limit untuk Pb, Cu, dan Zn masing-masing adalah 0,025 mg/kg, 0,050 mg/kg dan 0,125 mg/kg. Menurut Hutagalung and Manik (2002) keberadaan logam berat dalam air dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, yaitu terlarut, mengendap, atau partikel halus. Logam berat terlarut mengendap seiring waktu, tetapi membutuhkan waktu lama.

Konsentrasi logam berat Pb sampel sedimen adalah 5,49 mg/kg, Cu 15,7 mg/kg dan Zn 30,6 mg/kg. Nilai logam berat Zn paling tinggi dibandingkan Pb dan Cu namun menurut baku mutu ANZECC (2000) nilai logam berat Zn sedimen air laut untuk biota laut masih berada di bawah ambang batas baku mutu yang diperbolehkan yaitu 200 mg/kg. Logam Zn berasal dari aktivitas manusia, terutama polusi udara yang mengandung logam berat Zn terbawa air hujan

kemudian masuk ke laut dan juga berasal dari aktivitas industri di dekat Perairan Panceng, Gresik yang airnya mengalir ke muara Sungai Panceng.

Hasil pengujian menunjukkan kandungan logam berat pada sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air. Menurut Jaya *et al.* (2021), pengendapan sedimen pada saat konsentrasi logam berat di perairan tinggi dan logam berat mudah berikatan dengan bahan organik, sehingga mengendap dan berikatan dengan partikel sedimen. Jundana *et al.* (2016) berpendapat bahwa kandungan sedimen yang rendah disebabkan oleh pertumbuhan mangrove yang menyerap dan mengakumulasi logam berat dalam jumlah yang signifikan dari sedimen selama masa pertumbuhan. Menurut Supriyanti *et al.* (2017) logam berat yang masuk ke dalam perairan mengalami beberapa proses, diantaranya proses fisika (pengenceran, sedimentasi, transportasi oleh arus dan difusi molekuler, proses kimia (reaksi kimia dengan zat lain ataupun terurai oleh oksidasi oksigen) serta proses biologi. Tipe sedimen juga dapat mempengaruhi kandungan logam berat. Pada umumnya, kandungan logam berat lebih tinggi ditemukan pada sedimen yang berbentuk lempung, lumpur, pasir berlumpur dan akan berkurang pada pasir. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar kandungan logam beratnya. Partikel sedimen yang halus memiliki luas permukaan yang besar dan kerapatan ion yang lebih stabil untuk mengikat logam daripada partikel sedimen yang besar, sehingga sedimen dengan partikel yang lebih kecil memiliki daya serap relatif lebih besar.

Enrichment Factor (EF) logam berat Pb di Perairan Panceng, Gresik menunjukkan kondisi lingkungan berada pada kategori pengayaan sedang (*moderate*) yaitu ($2 \leq EF < 5$). Menurut Jahan and Srezov (2018), bila nilai $EF < 1$ kontaminasi logam berat berasal dari proses alami, sedangkan nilai $EF > 1$ kontaminasi logam berat berasal dari kegiatan antropogenik. Penggunaan *background value* Fe pada *Enrichment Factor* (EF) jika dibandingkan dengan konsentrasi Fe referensi dalam sampel

dapat berpengaruh terhadap nilai EF (Hidayati *et al.*, 2014).

Nilai *Geo-accumulation Index* (Igeo) membuktikan bahwa Perairan Panceng, Gresik tidak tercemar ($I_{geo} \leq 0$) oleh hampir semua logam berat. Menurut Purbonegoro (2022), indeks Igeo merupakan indeks untuk menentukan tingkat pencemaran dengan memperhitungkan efek variasi lapisan bumi (litosfer). Indeks geo-akumulasi digunakan untuk menentukan kontaminasi antropogenik dalam sedimen (Sojka *et al.*, 2018).

Berdasarkan analisis *Contamination Factor* (CF), nilai CF di Perairan Panceng, Gresik menunjukkan bahwa Perairan Panceng, Gresik masuk dalam kategori tercemar rendah ($CF < 1$). Nilai CF berguna untuk menentukan apakah di suatu perairan tergolong rendah, sedang, tinggi atau sangat kotor yang terkontaminasi oleh jenis logam berat (Syakti *et al.*, 2015).

Hasil analisis *Bio-Concentration Factor* (BCF) akar mangrove *A. marina* dalam sedimen termasuk dalam kategori $BCF < 1$ yaitu dengan nilai logam berat Pb adalah 0,0546 mg/kg, Cu 0,0767 mg/kg, dan Zn 0,00457 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa akar mangrove *A. marina* lebih berperan sebagai tanaman ekskluder, artinya sifat tumbuhan dalam membatasi penyerapan logam berat pada lingkungan baik sedimen ataupun air. Penelitian Alawiyah *et al.* (2018) membuktikan bahwa mangrove sebagai tanaman ekskluder tidak menutup kemungkinan terjadinya penyerapan logam berat oleh akar meskipun bersifat terbatas dan ditransfer langsung ke organ tumbuhan lain seperti pada bagian daun.

Pengukuran kualitas air di Perairan Panceng, Gresik selama penelitian meliputi parameter fisika dan kimia masih tergolong normal. Beberapa parameter diduga mempengaruhi distribusi dan konsentrasi logam berat dalam air dan sedimen. Menurut Indrawan and Putra (2021) kualitas air dapat mempengaruhi ekosistem biota lautnya, terutama struktur komunitasnya. Peran kualitas air pesisir yaitu melindungi ekosistem dan habitat perairan, karena

degradasi kualitas air pesisir mempengaruhi kedua komponen tersebut (Palaniappan *et al.*, 2010).

Hasil pengukuran suhu secara umum adalah 34,9°C. Suhu tersebut berada di atas baku mutu air laut untuk biota laut, yaitu sekitar 28°C-32°C (KepMen LH No. 22 Tahun 2021). Menurut Hertika and Putra (2019), peningkatan suhu air dapat menyebabkan logam berat beracun larut dalam air. Semakin tinggi suhu air maka kelarutan logam berat juga semakin tinggi yang berarti toksisitas logam berat juga tinggi (Supriyantini *et al.*, 2017). Hasil pengukuran pH air adalah 7,06. Berdasarkan baku mutu air laut untuk biota laut di kawasan mangrove, pH yang baik sekitar 7-8,5 (KepMen LH No. 22 Tahun 2021). Hasil pengukuran salinitas air menunjukkan 15 ppt, sedangkan standart baku mutu salinitas yang baik untuk biota laut yaitu sekitar 33-34 ppt (KepMen LH No. 22 Tahun 2021). Menurut Saraswati *et al.* (2017), pola sebaran nilai salinitas cenderung berlawanan dengan pola sebaran nilai suhu, yaitu semakin rendah nilai salinitas semakin tinggi nilai suhu. Nilai oksigen terlarut (DO) adalah 8,27 mg/L dianggap memenuhi standar kualitas baik untuk biota laut yaitu >5 mg/L (KepMen LH No. 22 Tahun 2021).

4. Kesimpulan

Secara keseluruhan air dan sedimen dari Perairan Panceng, Gresik mengandung logam berat masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan. Konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada akar mangrove *A. marina* rata-rata 0,3 mg/kg, tembaga (Cu) 1,205 mg/kg dan seng (Zn) 0,14 mg/kg. Konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada sedimen adalah 5,49 mg/kg, tembaga (Cu) 15,7 mg/kg, dan seng (Zn) 30,6 mg/kg. Konsentrasi logam berat tembaga (Cu), dan seng (Zn) pada air laut di Perairan Panceng, Gresik tidak terdeteksi (ND). Nilai Enrichment Factor (EF), *Geo-Accumulation Index* (Igeo) dan *Contamination Factor* (CF) mengindikasikan bahwa tingkat pencemaran logam berat timbal (Pb), tembaga (Cu) dan seng (Zn) tergolong

masih rendah hingga sedang. Nilai *Bio Concentration Factor* (BCF) *A. marina* di Perairan Panceng, Gresik masuk dalam tingkat pencemaran ekskluder (BCF<1).

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi berharga dalam penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Semua penulis telah berkontribusi pada naskah akhir. Kontribusi seluruh penulis: Fenny Diyah Retnosari, dan Sapto Andriyono: konseptualisasi, metodologi, analisis format, penyusunan *draft* asli, penulisan *review* dan *editing*. Nina Nurmalia Dewi: menulis *review* dan mengedit. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Konflik Kepentingan

Penulis tidak memiliki konflik kepentingan terkait penelitian ini.

Pendanaan

Penelitian ini menggunakan dana mandiri.

Daftar Pustaka

- Alahabadi, A., & Malvandi, H. (2018). Contamination and ecological risk assesment of heavy metals and metaboloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 133:741-749. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.030
- Alawiyah, H. F., Yona, D., & Pratiwi, D. C. (2018). Akumulasi logam berat Pb dan Cu pada akar dan daun mangrove *Avicennia marina* di Sungai Lamong, Jawa Timur. *Depik*, 7(3):187-197. DOI: 10.13170/depik.7.3.11020
- Amin, D. N., Irawan, H., & Zulfikar, A. (2015). Hubungan jenis substrat dengan kerapatan vegetasi

Rhizophora sp. di hutan mangrove Sungai Nyirih Kecamatan Tanjungpinang Kota Tanjungpinang. *Repository Umrah*, 1(1):1-15.

ANZECC (Australian and New Zealand Environment and Conservation Council). (2000). Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. Volume 1. The Guidelines. Australian and New Zealand: ANZECC and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. <https://www.waterquality.gov.au/site/default/files/documents/anzecc-armcanz-2000-guidelines-vol1.pdf>

Barbieri, M. (2016). The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination. *Geology & Geophysics*, 5(1):1-4. DOI:10.4172/2381-8719.1000237

Cahyanurani, A. B. (2014). Kajian kandungan logam berat Hg, Pb, dan Cd pada tubuh tiram (*Crassostrea* sp.) dari perairan pesisir Gresik, Jawa Timur. Skripsi. Malang: Fakultas Perikanan dan Kelautan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya.

Christophoridis, C., Bourliva, A., Evgenakis, E., Papadopoulou, L., & Fytianos, K. (2019). Effects of anthropogenic activities on the levels of heavy metals in marine surface sediments of the Thessaloniki Bay, Northern Greece: Spatial distribution, sources and contamination assessment. *Microchemical Journal*, 149(104001). DOI:10.1016/j.microc.2019.104001.

Dewi, N. C. (2015). Distribusi spasial

- fitoplankton di perairan pantai Kecamatan Panceng, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Skripsi. Malang: Fakultas Perikanan dan Kelautan Ilmu Kelautan. Universitas Universitas Brawijaya.
- DIKPLH (Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah). (2017). Laporan Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Jawa Timur. Surabaya: Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur.
- Effendi, H. (2003). Telaah kualitas air. Yogyakarta: Kanisius.
- Halidah, H. (2014). *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh jenis mangrove yang kaya manfaat. *Buletin Eboni*, 11(1):37-44. DOI: 10.20886/buleboni.5031.
- Hertika, A. M. S., & Putra, R. B. D. S. (2019). Ekotoksikologi untuk lingkungan perairan. Malang: UB Press.
- Hidayati, V. N., Siregar, A. S., Sari, L. K., & Putra, G. L. (2014). Pendugaan tingkat kontaminasi logam berat Pb, Cd, dan Cr pada air dan sedimen di Perairan Segara Anakan Cilacap. *Jurnal Omni Akuatika*, 10(1):30-39. <http://dx.doi.org/10.20884/1.oa.2014.10.1.14>
- Hutagalung, H., & Manik, J. (2002). Kandungan logam berat dalam air dan sedimen di perairan muara Sungai Digul dan Arafura. Pesisir dan Pantai Indonesia VII. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Indrawan, G. S., & Putra, I. N. G. (2021). Logam berat (Pb, Cu, Cd, dan Zn) pada air dan sedimen di Perairan Serangan, Bali. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*, 8(1):115-123. DOI: 10.24843/metamorfosa.2021.v08.i01.p12.
- Ismail, I., Mangesa, R., & Irsan, I. (2020). Bioakumulasi logam berat merkuri (Hg) pada mangrove jenis *Rhizophora mucronata* di Teluk Kayeli Kabupaten Buru. *Journal Biology Science and Education*, 9(2):189-152. DOI:10.33477/bs.v9i2.1637
- Ivanciuc, T., Ivanciuc, O., & Klein, D. J. (2006). Modelling the bioconcentration factor and bioaccumulation factor of polychlorinated biphenyls with posetic quantitative super-structure/activity relationship (QSSAR). *Molecular Diversity*, 10:133-145. DOI: 10.1007/s11030-005-9003-3.
- Jahan, S., & Strezov, V. (2018). Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metals in the sediments of seaports of NSW, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 128:298-306. DOI: 10.1016/j.marpol.bul.2018.01.036.
- Jaya, M. S., Maharani, M. D. D., & Febrina, L. (2021). Bioakumulasi logam berat pada *Avicennia marina* diTaman Wisata Alam Mangrove Angke Kapuk Jakarta. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry*, 3(2) 1-15. DOI: 10.36441/seoi.v3i2.440.
- Jundana, A. F., Hastuti, E. D., & Hastuti, R. B. (2016). Daya akumulasi logam berat tembaga (Cu) pada akar dan daun *Avicennia marina* (Forsk.) berdasarkan fase pertumbuhan yang berbeda di Pantai Mangkang Semarang. *Jurnal Akademika Biologi*, 5(3):36-46. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/19502>
- Jupriyati, R., Soenardjo, N., & Suryono, C.

- A. (2014). Akumulasi logam berat timbal (Pb) dan pengaruhnya terhadap histologi akar mangrove *Avicennia marina* (Forssk). Vierh. di Perairan Mangunharjo Semarang. *Journal of Marine Research*, 3(1):61-68. DOI: 10.14710/jmr.v3i1.4598.
- KepMen LH (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup) Nomor 22 Tahun 2021 tentang baku mutu air laut. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Keshavarzi, A., & Kumar, V. (2019). Ecological risk assessment and source apportionment of heavy metal contamination in agricultural soils of Northeastern Iran. *International Journal of Environmental Health Research*, 29(5):544-560. DOI: 10.1080/09603123.2018.1555638.
- Larkum, A. W., Orth, D., & Duarte, C. M. (2006). *Seagrasses: Biology, ecology, and conservation*. Dordrecht: Springer.
- Liu, B., Xu, M., Wang, J., Wang, Z., & Zhao, L. (2021). Ecological risk assessment and heavy metal contamination in the surface sediments of Haizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 163:111954. DOI: 10.1016/j.marpolbul. 2020.111954.
- Maharani, M. D. K. (2019). Accumulation of heavy metals lead (Pb) and copper (Cu) in mangrove area of *Avicennia marina* in Manyar Subdistrict, Gresik District, East Java. *Research Journal of Life Science*, 6(2):104-113. DOI: 10.21776/ub.rjls.2019.006.02.4.
- Natsir, N. A., & Rijal, M. (2020). The quality of Kayeli Bay Waters: Pb and Hg accumulation in water, sediments, and seagrass (*Enhalus acoroides*) of Buru Island in Maluku. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(3):114-120.
- Nugraha, M. A., Pamungkas, A., Syari, I. A., Sari, S. P., Umroh, U., Hudatwi, M., Utami, E., Akhhrianti, I., & Priyambada, A. (2022). Penilaian pencemaran logam berat Cd, Pb, Cu, dan Zn pada sedimen permukaan Perairan Matras, Sungailiat, Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(1):70-78. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i1.12317>
- Palaniappan, M., Gleick, P., Allen, L., Cohen, M., Christian-Smith, J., & Smith, C. (2010). *Clearing the waters: A focus on water quality solutions*. UNEP Pacific Institute.
- Palar. (2004). *Pencemaran dan toksikologi logam berat*. Jakarta: Rineka Cipta. Jakarta.
- Purbonegoro, T. (2022). Penggunaan indeks pencemaran logam berat dalam sedimen di wilayah pesisir: Studi kasus Segara Anakan Cilacap Jawa Tengah. *Oseana*, 47(1):12-19. DOI: 10.14203/oseana.2022.Vol.47No.1.113.
- Punamawati, F. S., Soeprobowati, T. R., & Izzati, M. (2015). Potensi *Chlorella vulgaris* Beijerinck dalam remediasi logam berat Cd dan Pb skala laboratorium. *Bioma Berkala Ilmu Biologi*, 16(2):102-113. DOI:10.14710/bioma.16.2.102-113
- Rahardja, B. S., Sahidu, A. M., & Fariedah, F. (2018). Analysis of heavy metal copper (Cu) content on mud crab (*Scylla* sp.) at Wonorejo River, Surabaya. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 10(2):106-111. DOI: 10.20473/jipk.v10i2.10499.
- Razi, N. M., Fildzah, F., Dhani, D. N., Nasir, M., Rizki, A., & Firdus, F. (2023). *Literatur review: Pencemaran logam berat di*

- pelabuhan Indonesia. *Jurnal Laôt Ilmu Kelautan*, 5(1):48-61. DOI: 10.35308/jlik.v5i1.7175.
- Sahfitri, I. A. H. (2018). Potensi pengembangan budidaya perikanan. *Repository Online FIKP UMRAH*, 1-12.
- Saraswati, N. L. R. G. A., Arthana, I. W., & Hendrawan, I. G. (2017). Analisis kualitas perairan pada wilayah perairan Pulau Serangan bagian utara berdasarkan baku mutu air laut. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 3(2):163-170. DOI:10.24843/jmas.2017.v3.i02.163-170
- Setiawan, H. (2013). Akumulasi dan distribusi logam berat pada vegetasi mangrove di perairan pesisir Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 7(1):12-24. DOI: 10.22146/jik.6134.
- Siringoringo, V. T., Pringgenis, D., & Ambariyanto. (2022). Kajian kandungan logam berat merkuri (Hg), tembaga (Cu) dan timbal (Pb) pada *Perna Viridis* di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*, 11(3):539-546. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jmr/article/view/33864/27528>
- Siska, I. M. (2008). Korelasi antara kedalaman sedimen di Pelabuhan Benoa dan konsentrasi logam berat Pb dan Cu. *Jurnal Kimia*, 3(2):61-70. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jchem/article/view/2717/1928>
- Sojka, M., Jaskula, J., & Siepak, M. (2018). Heavy metals in bottom sediments of reservoirs in the Lowland Area of Western Poland: Concentrations, distribution, sources and ecological risk. *Water*, 11(56):1-20. DOI:10.3390/w11010056.20p.
- Supriyanti, E., Nuraini, R. A. T., & Dewi, C. P. (2017). Daya serap mangrove *Rhizophora* sp. terhadap logam berat timbal (Pb) di perairan Mangrove Park, Pekalongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1):16-24. DOI: 10.14710/jkt.v20i1.1349.
- Supriyanti, E., & Soenardjo, N. (2016). Kandungan logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada akar dan buah mangrove *Avicennia marina* di perairan Tanjung Emas Semarang, 18(2):98-106. Doi.org/10.14710/jkt.v18i2.520.
- Surbakti. (2011). Analisis logam berat cadmium (Cd), cuprum (Cu), cromium (Cr), ferrum (Fe), nikel (Ni), zinkum (Zn) pada sedimen muara Sungai Asahan di Tanjung Balai dengan metode spektrofotometri serapan atom (SSA). Thesis. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Suyatno, A. P., Afiati, N., & Muskananfolo, M. R. (2021). Analisis faktor pengayaan dan faktor kontaminasi logam berat Cr, Cd, dan Cu di Sungai Banjir Kanal Barat Kota Semarang, Propinsi Jawa Tengah. *Jurnal Berkala Perikanan Terubuk*, 49(2):1042-1052. <https://terubuk.ejournal.unri.ac.id/index.php/JT/article/view/7984/6891>
- Syakti, A. D., Demelas, C., Hidayati, N. V., Rakasiwi, G., Vassalo, L., Kumar, N., Prudent, P., & Doumenq, P. (2015). Heavy metal concentrations in natural and human impacted sediments of Segara Anakan Lagoon, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4079). DOI: 10.1007/s10661-014-4079-9.
- Syamsudin, A. (2014). Pengembangan instrumen evaluasi non tes (informal) untuk menjaring data kualitatif perkembangan anak usia dini. *Jurnal Pendidikan Anak*,

- 3(1):403-413. DOI:
10.21831/jpa.v3i1.2882.
- Tupan, C. I., & Azrianingsih, R. (2016). Accumulation of deposition of lead heavy metal in the tissues of root, rhizomes, and leaves of seagrass *Thalassia hempirichii* (Monocotyledoneae, Hydrocharitaceae). *Bioflux*, 9(3):580-589. <http://www.bioflux.com.ro/docs/2016.580-589.pdf>
- Utami, R., Rismawati, W., & Sapanli, K. (2018, Maret). Pemanfaatan mangrove untuk mengurangi logam berat di perairan. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia*, 141-153. <https://conference.unsri.ac.id/index.php/semnashas/article/viewFile/799/428>
- Wardhani, E., Roosmini, D., & Notodarmojo, S. (2016). Pencemaran kadmium di sedimen Waduk Saguling Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23(3):285-294. <https://doi.org/10.22146/jml.18802>
- Zhao, L., Yang, F., & Yan, X. (2013). Eutrophication likely prompts metal bioaccumulation in edible clams. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 224(112671). DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112671.
- Zheng, J., Chen, J., Pan, G., Liu, X., Zhang, X., L. Li, L., Bian, R., Cheng, K., & Zheng, J. (2016). Biochar decreased microbial metabolic quotient and shifted community composition four years after a single Incorporation in a slightly acid rice paddy from southwest China. *Science of the Total Environment*, 571:206-217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.135>