

## ANALISIS KANDUNGAN TIMBAL (Pb) PADA SEDIMEN MANGROVE DI KAWASAN MANGROVE CENTER GRAHA INDAH, BALIKPAPAN, KALIMANTAN TIMUR

### Analysis of Lead (Pb) Content in Mangrove Sediments in the Mangrove Center Graha Indah Area, Balikpapan, East Kalimantan

Anindia Resty Syafira<sup>1</sup>, Irwan Ramadhan Ritonga<sup>1\*</sup>, Mohammad Sumiran Papatungan<sup>1</sup>,  
Irma Suryana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas  
Mulawarman, Jl. Gunung Tabur No. 1, Samarinda, Kalimantan Timur, 75119.

\*Korespondensi email : [ritonga\\_irwan@fpik.unmul.ac.id](mailto:ritonga_irwan@fpik.unmul.ac.id)

(Received 20 Januari 2023; Accepted 20 Februari 2023)

#### ABSTRAK

Aktivitas manusia di kawasan pesisir Balikpapan seperti industri, perkapalan, pelabuhan, dan permukiman berpotensi melepaskan limbah ke ekosistem pesisir. Salah satu limbah beracun bagi biota perairan di ekosistem pesisir adalah Timbal (Pb), yang logamnya dapat mengendap dan terakumulasi dalam sedimen mangrove. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan Pb dan tingkat cemaran logam Pb pada sedimen. Sampel sedimen diambil dari 6 stasiun berbeda menggunakan pipa PVC yang ditenamkan di kawasan Graha Indah Mangrove Center, Balikpapan. Sampel sedimen didestruksi asam dan dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) AA-7000 pada panjang gelombang 217 nm. Ditemukan bahwa konsentrasi Pb dalam sedimen antara 2,23 dan 14,0 ng/g dengan rata-rata  $6,24 \pm 3,09$  ng/g (berat kering). Perbandingan kandungan Pb antar stasiun berbeda signifikan ( $p < 0,05$ ). Namun, tidak ada perbedaan kandungan Pb yang signifikan ( $p > 0,05$ ) jika dibandingkan berdasarkan sumber pencemarnya. Variasi kandungan Pb pada sedimen mungkin dipengaruhi oleh aktivitas manusia sebagai sumber limbah Pb di lokasi penelitian, sirkulasi air dari sungai yang mengandung bahan organik dan anorganik yang mengandung Pb, serta pengaruh arus pasang surut dari Teluk Balikpapan. Secara umum, kandungan Pb dalam sedimen tidak melebihi baku mutu, nilai faktor kontaminasi rendah ( $CF < 1$ ) dan indeks geoakumulasi (I-geo) tidak tercemar (I-geo  $\leq 0$ ).

Kata Kunci: Air, Aktivitas Manusia, Biota, Ekosistem, Pencemar Lingkungan

#### ABSTRACT

Human activities in the Balikpapan coastal area, such as industry, shipping, ports, and settlements, can release waste into coastal ecosystems. One of the toxic wastes for aquatic biota in coastal ecosystems is Lead (Pb), whose metal can precipitate and accumulate in mangrove sediments. This study aimed to determine the Pb content and the level of Pb metal

contamination in sediments. Sediment samples were taken from 6 stations using PVC pipes immersed in the Graha Indah Mangrove Center area, Balikpapan. The sediment samples were acid digested and analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) AA-7000 at a wavelength of 217 nm. It was found that the concentration of Pb in the sediment was between 2.23 and 14.0 ng/g with an average of  $6.24 \pm 3.09$  ng/g (dry weight). The comparison of Pb content between stations differed significantly ( $p < 0.05$ ). However, there was no significant difference in Pb content ( $p > 0.05$ ) when compared based on the source of the pollutant. Human activities may influence variations in the Pb content in sediments as a source of Pb waste at the study site, water circulation from rivers containing organic and inorganic materials containing Pb, and the influence of tidal currents from Balikpapan Bay. In general, the Pb content in sediments does not exceed quality standards, the contamination factor value is low ( $CF < 1$ ), and the accumulation index (I-geo) is not polluted ( $I\text{-geo} \leq 0$ ).

Keywords: Water, Human Activities, Biota, Ecosystems, Environmental Pollutants

## PENDAHULUAN

Pesisir merupakan salah satu wilayah yang rentan terhadap perubahan lingkungan karena mempertemukan dua entitas sehingga perubahan di darat ataupun laut akan mempengaruhi kondisi pesisir. Beberapa aktivitas manusia yang berpotensi mempengaruhi wilayah pesisir berupa kegiatan industri, pertambangan, alih fungsi lahan menjadi perkebunan, pertanian, perikanan, pemukiman berpotensi menurunkan kualitas perairan yang berasal sekitar daerah aliran sungai (Huzairiah *et al.*, 2022; Ritonga, 2014; Ritonga *et al.*, 2022; Samson *et al.*, 2013). Salah satu hasil buangan industri dan aktifitas manusia di darat yang mengandung logam berat adalah timbal (Pb). Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang dapat memberikan efek negatif terhadap ekosistem wilayah pesisir, terutama ekosistem mangrove. Mangrove merupakan tanaman pesisir yang berfungsi sebagai agen bioremediasi alami karena secara alami mangrove dapat menyerap kandungan logam berat di alam dan fungsi ini disebut sebagai biosorpsi. Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan pada konsentrasi tertentu mampu dinetralkan oleh mangrove. Mangrove menjadi salah satu tumbuhan pesisir yang dapat digunakan dan dikembangkan untuk menangani masalah pencemaran logam berat pada lingkungan (Hastuti *et al.*, 2013).

Salah satu wilayah pesisir Indonesia yang berpotensi sebagai biosorpsi alami di wilayah Kalimantan Timur adalah Mangrove Center Graha Indah Balikpapan. Selain digunakan sebagai kawasan salah satu wisata ekologi di Kota Balikpapan, kawasan ini juga digunakan sebagai objek penelitian tentang perairan, sedimen maupun biotanya (Papatungan *et al.*, 2022; Wulandari *et al.*, 2020). Secara geografis, sisi utara dari mangrove center ini berbatasan langsung dengan fasilitas permukiman dan industri dari Kawasan Industri Kariangau (KIK). Sedangkan di sisi selatannya berbatasan dengan pelabuhan Somber, dok kapal, tambak ikan dan udang, dan pemukiman penduduk. Sebagai konsekuensinya, beberapa kegiatan tersebut sangat berpotensi peningkatan logam Pb pada sedimen mangrove (Makinuddin, 2002). Salah satu pendekatan yang perlu dilakukan untuk mengetahui terjadinya kontaminasi Pb di ekosistem mangrove adalah dengan melakukan kajian tentang seberapa besar nilai potensi tercemarnya wilayah sedimen mangrove akibat aktifitas manusia di wilayah pesisir.

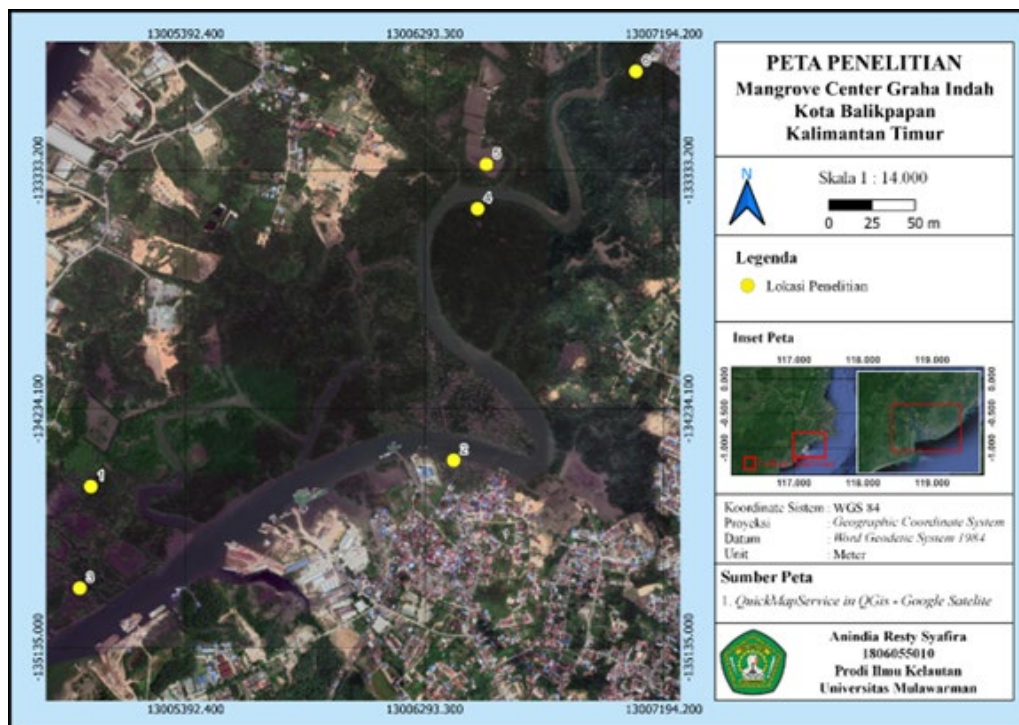
Pada dasarnya penelitian tentang logam berat di wilayah pesisir Balikpapan telah dilakukan oleh beberapa peneliti yakni (Marzuki, 2014); (Dewi *et al.*, 2018) dan (Sitorus.,

2020). Namun, penelitian tersebut lebih banyak dilakukan di perairan, sedimen dan biota di Teluk Balikpapan. Sampai sekarang, informasi tentang logam Pb pada sedimen di wilayah ekosistem mangrove di daerah hulu Teluk Balikpapan, khususnya Mangrove Center Graha Indah. Karenanya, perlu dilakukan investigasi tentang kandungan timbal (Pb) di sedimen mangrove pada kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan, Kalimantan Timur.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat

Penelitian konsentrasi logam berat pada Timbal (Pb) pada sedimen di Mangrove Center Graha Indah Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur dilakukan pada bulan Juli 2022 (Gambar 1). Analisa destruksi sampel sedimen dilakukan pada bulan Oktober di Laboratorium Ruang Analisis Kimia dan Tekstur Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman. Kemudian, analisis penentuan konsentrasi logam timbal (Pb) dilakukan pada bulan Oktober di Laboratorium Kualitas Air, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, tabung reaksi, *Global Positioning System* (GPS), saringan, alumunium foil, *mortar dan pestle*, pipa paralon, timbangan analitik (ALJ 220-4), labu ukur, botol kaca, *centrifuge* (PLC-025), tabung sentrifugasi, *thermo Scientific type 2200* dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) merk Shimizu AA 7000. Sedangkan bahan penelitian yang digunakan di penelitian ini adalah sedimen mangrove sebagai bahan uji, asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 65%, asam perklorat ( $\text{HClO}_4$ ) 60%, aquadest, larutan standar Timbal (Pb) 1000 mg/L.

### Prosedur Penelitian

Pengambilan sampel sedimen dilakukan di 6 lokasi yang berbeda berdasarkan pertimbangan adanya potensi masukan limbah yang mengandung logam Pb dari wilayah daratan, aktivitas pelabuhan, dok kapal dan pemukiman. Masing-masing sampel sedimen diambil 1 kali dengan 2 kali ulangan di stasiun yang berbeda berdasarkan pertimbangan wilayah penelitian di Mangrove Graha Indah Balikpapan (Tabel 1).

Tabel 1. Koordinat titik stasiun pengambilan sampel sedimen

Stasiun	Koordinat		Keterangan
	Lintang	Bujur	
1	01°12'30,2'' LS	116°49'34,4'' BT	Lokasi di dalam area mangrove, dekat aktivitas pelabuhan, dok kapal, dan pemukiman
2	01°12'27,0'' LS	116°50'18,6'' BT	Lokasi di pinggir aliran sungai, berada di area mangrove, dekat aktivitas pelabuhan, dok kapal, dan pemukiman
3	01°12'42.62" LS	116°49'33.04" BT	Lokasi di dalam area mangrove, dekat aktivitas pelabuhan, dok kapal, dan pemukiman
4	01°11'56,3'' LS	116°50'21,5'' BT	Lokasi mangrove yang masih alami, dan lokasi jauh dari aktivitas pelabuhan, dok kapal, dan pemukiman
5	01°11'50,9'' LS	116°50'22,6'' BT	Area restorasi mangrove dan bekas tambak, dan lokasi jauh dari aktivitas pelabuhan dok kapal, dan pemukiman
6	01°11'39,5'' LS	116°50'40,8'' BT	Area restorasi mangrove, lokasi jauh dari aktivitas pelabuhan, dok kapal dan dekat pemukiman

Pengambilan sampel sedimen dilakukan menggunakan pipa PVC berdiameter 7,5 cm dengan panjang 30 cm secara tegak lurus di permukaan sedimen (0-10 cm) mengacu pada standar *American Society For Testing And Materials* (ASTM, 2008). Pipa paralon yang sudah masuk pada permukaan sedimen, kemudian diangkat kembali dengan cara menutup bagian atas pipa. Hal tersebut dilakukan agar pipa kedap udara, sehingga sedimen yang ada di dalam pipa terangkat. Sampel diangkat dan diukur menurut kedalamannya. Kemudian, pipa tersebut diambil dan dibuka menggunakan gerinda tangan. Masing – masing sedimen dipotong menggunakan pisau *stainless steel* dan dimasukkan ke dalam kantong plastik sesuai dengan kode sampel yang telah ditandai sebelumnya untuk menghindari kontaminasi. Masing – masing sampel dimasukkan ke *cool box* yang telah ditaburi dengan es batu dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

Masing-masing sampel sedimen dimasukkan ke dalam oven selama  $\pm 3$  hari atau 72 jam dengan suhu  $60^{\circ}\text{C}$ . Sampel sedimen yang sudah dikeringkan kemudian dihomogenkan dan digerus sampai halus menggunakan alat *mortar* dan *pestle*. Sampel sedimen yang tidak diproses tetap disimpan di dalam freezer dengan suhu  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Metode destruksi sampel sedimen di penelitian ini mengikuti prosedur yang telah dilakukan oleh Keistina *et al.*, (2020) yang telah dimodifikasi. Sampel sedimen yang telah homogen ditimbang  $\pm 1,000$  g dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Masing – masing sampel ditambahkan 1 ml asam perklorat ( $\text{HClO}_4$ ) 60% dan 5 ml asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 65%, kemudian didiamkan selama satu malam ( $\pm 24$  jam). Pada hari berikutnya, sampel dipanaskan di *hot plate* pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam 30 menit yang kemudian ditingkatkan menjadi  $130^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam, dan ditingkatkan menjadi  $150^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam 30 menit (sampai uap kuning habis). Setelah uap kuning habis, suhu ditingkatkan menjadi  $170^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam, dan ditingkatkan kembali menjadi  $200^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam sampai terbentuk uap putih. Destruksi dinyatakan selesai jika terbentuk endapan putih atau sisa larutan jernih sekitar 1 ml. Hasil ekstrak didinginkan, kemudian diencerkan dengan air bebas ion (*aquadest*) menjadi 10 ml dan lalu dikocok hingga sempurna. Larutan sampel tersebut kemudian diukur konsentrasi Pb dengan alat *Atomic Absorption Spectrophotometers* (AAS) AA-7000 – Shimadzu pada panjang gelombang 217,0 nm. Konsentrasi Pb pada sedimen di penelitian ini dilaporkan berdasarkan berat kering dalam ng/g.

### Analisis Statistik

Hasil data konsentrasi Pb pada sedimen dianalisis pada Microsoft windows excel dan SPSS (versi 19.0). Hasil olahan data berupa tabel dan grafik dipaparkan dan dijelaskan secara deskriptif (minimum, maksimum dan standar deviasi). Konsentrasi Pb pada sedimen dibandingkan dengan baku mutu logam berat berdasarkan Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra atau ANZECC/ARMCANZ, (2000) dengan nilai 50000 ng/g. Dikarenakan data di penelitian ini tidak terdistribusi dengan normal, maka perbedaan konsentrasi Pb di enam stasiun yang berbeda dilakukan dengan Kruskal Wallis. Uji Mann-Whitney dilakukan untuk mengetahui apakah konsentrasi Pb pada sedimen di dua wilayah penelitian ini berbeda nyata atau tidak berdasarkan sumber bahan pencemarnya. Tingkat kepercayaan atau signifikansi yang digunakan di penelitian ini adalah  $\alpha = 0.05$ .

### Faktor Kontaminasi dan Indeks Geoakumulasi

Faktor kontaminasi (CF) digunakan sebagai referensi untuk menentukan tingkat kontaminasi bahan pencemar Pb berdasarkan konsentrasinya pada sedimen (Hakanson, 1980):

$$CF = \frac{C_1}{C_2}$$

Keterangan:

$C_1$  = Konsentrasi logam Pb hasil pengamatan

$C_2$  = Konsentrasi logam Pb di alam sebelumnya

Nilai  $C_2$  merupakan konsentrasi rata-rata logam berat Pb yang ada di lingkungan sebelumnya (2625 ng/g) berdasarkan hasil investigasi yang telah dilakukan oleh (Sitorus *et al.*,

2020). Interpretasi faktor kontaminasi sedimen Hakanson, (1980) dikelompokkan menjadi tingkat kontaminasi rendah ( $CF < 1$ ), sedang ( $1 < CF < 3$ ), cukup ( $3 < CF < 6$ ), dan sangat tinggi ( $CF > 6$ ).

Indeks Geoakumulasi (I-Geo) adalah indeks yang digunakan untuk menentukan pengkayaan kandungan logam berat pada sedimen akibat aktivitas manusia. Nilai indeks I-geo dapat diketahui berdasarkan persamaan (Benson *et al.*, 2017):

$$I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{C_n}{1,5 B_n} \right]$$

Keterangan:

$\log_2$  : 0,301

$C_n$  : konsentrasi logam Pb dalam sampel sedimen

1,5 : Konstanta

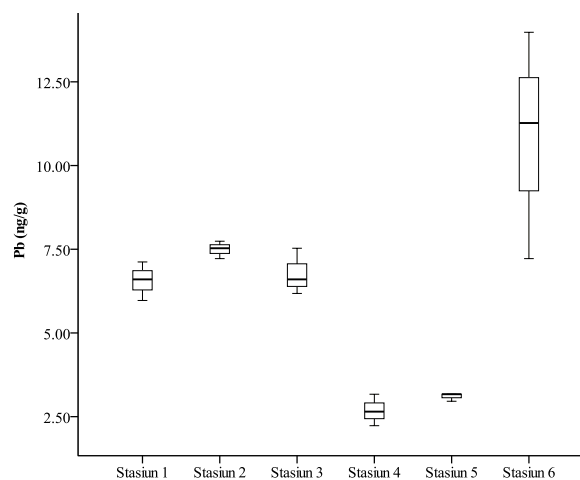
$B_n$  : Konsentrasi rerata normal logam Pb di lingkungan sebelumnya (2625 ng/g) berdasarkan (Sitorus *et al.*, 2020).

Interpretasi nilai I-geo dilakukan berdasarkan Benson *et al.*, (2017), dengan pengelompokan tidak tercemar ( $I\text{-geo} \leq 0$ ), tidak tercemar hingga tercemar sedang ( $0 < I\text{-geo} < 1$ ), tercemar sedang ( $1 < I\text{-geo} < 2$ ), tercemar sedang hingga berat ( $2 < I\text{-geo} < 3$ ), tercemar berat ( $3 < I\text{-geo} < 4$ ), tercemar berat hingga sangat berat ( $4 < I\text{-geo} < 5$ ), dan tercemar sangat berat ( $I\text{-geo} \geq 5$ ).

## HASIL

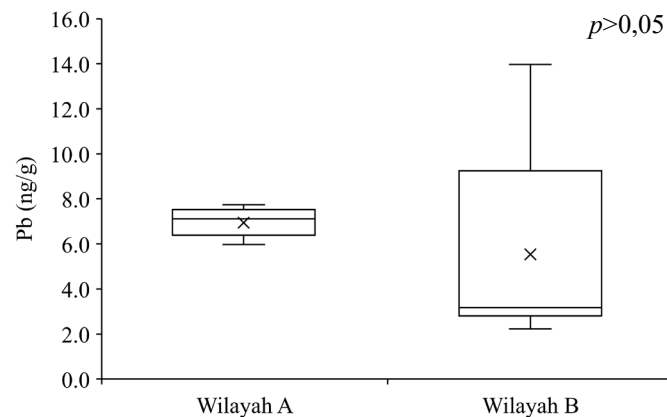
### Kandungan Pb pada Sedimen

Kandungan Pb dalam sedimen memiliki berkisar 2,23-14,0 ng/g dengan rerata  $6,24 \pm 3,09$  ng/g. Konsentrasi Pb terendah ditemukan di stasiun 4 ( $2,68 \pm 0,47$  ng/g), sedangkan tertinggi terdapat di stasiun 6 ( $10,8 \pm 3,40$  ng/g) (Gambar 2). Berdasarkan baku mutu ANZECC/ARMCANZ, (2000) dengan 50000 ng/g, kandungan Pb dalam sedimen di kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan pada stasiun 1-6 masih jauh di bawah standar baku mutu sedimen. Terdapat perbedaan yang signifikan ( $p < 0,05$ ) antara kandungan Pb pada sedimen di lokasi yang berbeda berdasarkan uji Kruskal-Wallis ( $Chi\text{-Square} = 14,7$ ).



Gambar 2. Kandungan Pb pada Sedimen di Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan

Berdasarkan sumber bahan pencemarnya, distribusi Pb pada sedimen dibagi menjadi 2 wilayah. Wilayah A terdiri dari stasiun 1, 2 dan 3 (berdekatan dengan wilayah sungai, pelabuhan, dok kapal dan pemukiman), wilayah B terdiri dari stasiun 4, 5 dan 6 (jauh dari pelabuhan dan dok kapal). Hasil analisis menunjukkan bahwa sedimen yang mengandung Pb yang tertinggi berada di wilayah A ( $6,94 \pm 0,63$  ng/g), dan terendah berada di wilayah B ( $5,54 \pm 4,33$  ng/g). Namun, tidak terdapat perbedaan signifikan ( $p > 0,05$ ) antara wilayah A dan B di penelitian ini berdasarkan uji Mann-Whitney (Gambar 3).



Gambar 3. Kandungan Pb (ng/g) pada Sedimen di Dua Wilayah yang Berbeda di Kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan

### Faktor Kontaminasi dan Indeks Geoakumulasi

Hasil analisis faktor kontaminasi (CF) pada Pb di sedimen Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan berkisar 0,001-0,005. Nilai faktor kontaminasi tertinggi dan terendah ditemukan di stasiun 6 dan 4 dengan nilai masing-masing  $0,0041 \pm 0,0013$  dan  $0,0010 \pm 0,0002$ . Secara umum, nilai rerata CF untuk Pb pada sedimen yang dikumpulkan dari kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan adalah  $0,002 \pm 0,001$  yang termasuk dalam tingkat kontaminasi rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa semua kriteria nilai CF untuk Pb pada stasiun 1-6 termasuk dalam tingkat kontaminasi rendah. Kemudian, nilai indeks geoakumulasi (I<sub>geo</sub>) pada Pb antara 0,0002-0,0011 dengan reratanya adalah  $0,0005 \pm 0,0002$ . Nilai I<sub>geo</sub> tertinggi dan terendah ditemukan di stasiun 6 dengan nilai  $0,0008 \pm 0,0003$  dan 4 dengan nilai  $0,0002 \pm 0,0000$  (Tabel 3). Karenanya, tingkat kontaminasi Pb pada sedimen di lokasi penelitian ini termasuk kategori tidak tercemar.

Tabel 3. Tingkat Kontaminasi (CF) dan Indeks Geoakumulasi (I-geo) Logam Pb pada Sedimen.

Stasiun	CF	Tingkat Kontaminasi	I-geo	Kategori
1	0.0023	Rendah	0.0005	Tidak tercemar
	0.0025	Rendah	0.0005	Tidak tercemar
	0.0027	Rendah	0.0005	Tidak tercemar
2	0.0028	Rendah	0.0006	Tidak tercemar
	0.0029	Rendah	0.0006	Tidak tercemar
	0.0029	Rendah	0.0006	Tidak tercemar

	0.0025	Rendah	0.0005	Tidak tercemar
3	0.0024	Rendah	0.0005	Tidak tercemar
	0.0029	Rendah	0.0006	Tidak tercemar
	0.0009	Rendah	0.0002	Tidak tercemar
4	0.0010	Rendah	0.0002	Tidak tercemar
	0.0012	Rendah	0.0002	Tidak tercemar
	0.0011	Rendah	0.0002	Tidak tercemar
5	0.0012	Rendah	0.0002	Tidak tercemar
	0.0012	Rendah	0.0002	Tidak tercemar
	0.0053	Rendah	0.0011	Tidak tercemar
6	0.0043	Rendah	0.0009	Tidak tercemar
	0.0028	Rendah	0.0006	Tidak tercemar
Rerata ± SD	0,002 ± 0,001	Rendah	0,0005 ± 0,0002	Tidak tercemar

SD = Standard Deviasi

## PEMBAHASAN

Analisis kandungan Pb di sedimen di penelitian ini berkisar 2,23-14,0 ng/g. Temuan ini menunjukkan bahwa semua sampel sedimen masih di bawah baku mutu (50000 ng/g) dan masih aman bagi kehidupan biota di ekosistem mangrove. Berdasarkan lokasinya, kandungan Pb tertinggi dan terendah berada di stasiun 6 dan 4. Tingginya konsentrasi Pb di stasiun 6 mungkin lebih disebabkan oleh adanya proses penumpukan material organik yang mengandung Pb pada sedimen di sekitar mangrove secara berkelanjutan dari lingkungan sekitar. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ghost *et al.*, (2013) bahwa proses akumulasi Pb di ekosistem mangrove dapat terjadi dikarenakan adanya masukan bahan organik yang mengandung Pb dari berbagai macam aktifitas manusia yang mengandung Pb di daratan. Meskipun ukuran sedimen tidak dianalisis di penelitian ini, adanya faktor kerapatan ion yang lebih stabil pada bahan organik dan sedimen yang halus di wilayah mangrove dapat berpotensi mengikat dan meningkatkan konsentrasi Pb dari sekitarnya (Maslukah, 2013). Berdasarkan lokasinya, stasiun 6 ini relatif lebih tinggi, berdekatan dengan anak sungai, *jetty*, bangunan pengelola mangrove, dan berseberangan dengan pembibitan mangrove. Berdasarkan hasil investigasi, media tanah humus yang digunakan pengelola untuk bibit mangrove berasal dari wilayah lain. Ketika hujan terjadi, bahan organik yang mengandung Pb pada media tanam tersebut mungkin terdistribusi dan terakumulasi ke stasiun 6. Hal ini sesuai dengan hasil investigasi yang dilakukan oleh Hong *et al.*, (2021) bahwa sebaran logam berat di lingkungan dapat dipengaruhi oleh faktor musim, salah satunya adalah hujan. Demikian juga pada saat anak sungai di sekitar *jetty* terjadi fenomena pasang, air tersebut naik kepermukaan dan menggenangi stasiun 6. Akibatnya, proses pengangkutan material organik dan anorganik yang mengandung Pb dari daratan ke perairan dapat terperangkap dan terakumulasi di stasiun ini. Marchand *et al.*, (2006) dan Liu *et al.*, (2016) berpendapat bahwa tekstur sedimen, komposisi mineralogi, dan transpor fisika-kimia merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi distribusi dan akumulasi logam berat dalam sedimen.

Disisi lain, rendahnya kandungan Pb di stasiun 4 mungkin berkaitan dengan faktor lokasi sumber pencemar. Berdasarkan lokasinya, stasiun 4 ini berada di lokasi mangrove yang masih alami, jauh dari aktivitas pelabuhan, dok kapal, dan pemukiman. Ditambah dengan adanya pasokan air tawar dan faktor dinamika pasang surut di sekitar sungai Sumber dapat



menurunkan konsentrasi Pb pada sedimen. Karenanya, potensi peningkatan kandungan Pb pada sedimen dari berbagai sumber pencemar di stasiun 4 rendah. Temuan ini didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Lv *et al.*, (2021) bahwa aktivitas manusia dan kondisi hidrodinamik perairan merupakan faktor penting yang mempengaruhi distribusi logam berat di daerah penelitian.

Pada saat hasil penelitian ini dibandingkan dengan hasil penelitian di lokasi yang berbeda, didapatkan kandungan Pb pada sedimen di penelitian ini relatif lebih rendah daripada yang diinvestigasi oleh Edward (2014); Dewi *et al.*, (2018); Sukaryono & Dewa (2018) dan (Sitorus., 2020). Namun, nilai rerata Pb T-Hg pada sedimen di penelitian ini lebih tinggi daripada yang dilakukan oleh (Huzairiah *et al.*, 2022). Berdasarkan hasil perbandingan literatur, diduga perbedaan lokasi penelitian, tingkat akumulasi Pb pada sedimen serta beberapa faktor lainnya seperti keragaman aktivitas perkapalan, pertanian dan pertambangan mungkin memainkan peran penting dalam perbedaan konsentrasi Pb yang diamati.

Berdasarkan perbedaan lokasi antropogeniknya, kandungan Pb yang terendah berada di wilayah B yakni stasiun pengambilan sampel sedimen di stasiun yang berjauhan dengan aktifitas pelabuhan, dok kapal dan pemukiman. Sebaliknya, distribusi Pb yang lebih tinggi berada di wilayah A yaitu sekitar sungai, pelabuhan, dok kapal dan pemukiman (Gambar 1). Tingginya nilai kandungan Pb di wilayah A sangat mungkin disebabkan adanya beberapa aktifitas manusia yang dapat menghasilkan limbah Pb dari aktivitas pelabuhan, bongkar muat barang, dok kapal dan pemukiman penduduk. Temuan ini sesuai dengan dengan hasil investigasi yang dilakukan oleh beberapa peneliti bahwa kandungan Pb pada sedimen di lokasi penelitian dapat disebabkan oleh adanya berbagai macam sumber Pb yang berdekatan di lokasi penelitian (Makinuddin, 2002; Marzuki, 2014). Namun, adanya pengaruh pola sirkulasi air dari Sungai Sumber dan Wein serta fenomena pasang surut dari Teluk Balikpapan dapat berpengaruh terhadap pengenceran penurunan konsentrasi Pb di wilayah A dan B. Sehingga, perbedaan kandungan Pb pada sedimen di kedua wilayah tersebut tidak terjadi secara signifikan ( $p>0,05$ ). Temuan ini sesuai dengan hasil investigasi yang dilakukan oleh Maharjan *et al.*, (2021) di Sungai Miri, Malaysia bahwa aktifitas hidrodinamika air laut berupa pasang surut dapat mengencerkan dan menurunkan kandungan logam berat di perairan.

Secara umum, konsentrasi Pb pada sedimen di semua stasiun di penelitian ini berada pada tingkat kontaminasi rendah ( $CF<1$ ) atau tidak tercemar. Temuan ini mengindikasikan bahwa kandungan Pb yang terdapat pada sedimen di kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan masih aman dan tidak berbahaya bagi kehidupan biota. Secara umum, nilai CF di penelitian ini jauh lebih rendah dibanding hasil investigasi yang dilakukan oleh Edward Edward, (2014) di Teluk Wawobatu, Sulawesi Tenggara dengan nilai  $0,48 \pm 0,36$ . Namun, hasil penelitian ini relatif lebih tinggi dibanding hasil penelitian yang dilakukan oleh Noor *et al.*, (2021) di pesisir Kota Makassar yang menemukan nilai CF hanya  $0.001 \pm 0.000$ .

Berdasarkan nilai indeks geoaccumulation (I-geo), tidak ada satupun stasiun penelitian yang masuk kategori tercemar (I-geo $>0$ ). Temuan ini mengindikasikan bahwa kawasan mangrove Graha Indah Balikpapan masih aman dan mendukung kehidupan biotanya. Pada dasarnya, investigasi tentang nilai I-geo juga dilakukan oleh beberapa peneliti di wilayah Indonesia seperti Edward, (2014) di Sulawesi Tenggara, Sukaryono & Dewa, (2018) di Teluk Ambon dan Huzairiah *et al.*, (2022) di Pangkal Pinang, Bangka Belitung, dimana semua nilai indeks geoakumulasinya termasuk tidak tercemar (I-geo $<0$ ). Secara umum, bervariasinya nilai CF dan I-geo di penelitian ini mungkin lebih disebabkan oleh perbedaan lokasi pengambilan

sampel sedimen dan perbedaan kandungan Pb baik yang berasal dari proses alami maupun aktivitas manusia. Temuan ini sesuai dengan hasil investigasi yang dilakukan oleh Sukaryono & Dewa, (2018) di pesisir Teluk Ambon, dimana nilai faktor kontaminasi Pb pada sedimen dapat dipengaruhi oleh perbedaan geografi dan juga jumlah kandungan Pb pada sedimen.

## KESIMPULAN

Kandungan Pb pada sedimen dari kawasan perairan kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan masih dibawah nilai standar baku mutu. Nilai faktor kontaminasi (CF) dan indeks geoakumulasi (I-geo) masih termasuk dalam kategori tingkat kontaminasi rendah (CF < 1) dan tidak tercemar (I-geo<0). Perbedaan nilai CF dan I-geo dapat dipengaruhi oleh perbedaan lokasi penelitian dan kandungan Pb yang terdapat pada sedimen. Terdapat perbedaan yang signifikan ( $p < 0,05$ ) antara kandungan Pb pada sedimen di lokasi pengambilan sampel yang berbeda. Disisi lain, tidak terdapat perbedaan signifikan ( $p > 0,05$ ) antara dua wilayah yang berbeda berdasarkan sumber bahan pencemarnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada PNPB Universitas Mulawarman tahun 2022 yang telah mensponsori penelitian ini dan Bapak Agus Bei selaku pengelola kawasan Mangrove Center, Graha Indah, Balikpapan. Tidak lupa juga diucapkan terimakasih kepada Firman, Herianto (Tenga pendidik dan mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, UNMUL), Laboratorium Kualitas air, Biodiversitas Akuatik Universitas Mulawarman yang telah mendukung penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- ANZECC/ARMCANZ. (2000). *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra. 8 Januari 2023. <https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/anzecc-armcanz-2000-guidelines-voll.pdf>
- ASTM. (2008). *Standard Practices For Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances*. ASTM International. 10 Januari 2023. <https://www.astm.org/d4543-08e01.html>
- Benson, N. U., Udosen, E. D., Essien, J. P., Anake, W. U., Adedapo, A. E., Akintokun, O. A., Fred-Ahmadu, O. H., & Olajire, A. A. (2017). Geochemical Fractionation and Ecological Risks Assessment of Benthic Sediment-Bound Heavy Metals from Coastal Ecosystems of the Equatorial Atlantic Ocean. *International Journal of Sediment Research*, 32(3), 410–420. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.07.007>
- Dewi, G. A. Y., Samson, S. A., & Usman, U. (2018). Analisis Kandungan Logam Berat Pb dan Cd di Muara Sungai Manggar Balikpapan. *ECOTROPIC*, 12(2), 117–124. <https://doi.org/10.24843/ejes.2018.v12.i02.p02>
- Edward. (2014). Kandungan Logam Berat dalam Sedimen di perairan Teluk Wawobatu, Kendari, Sulawesi Tenggara. *Depik*, 3(2), 157–165. <https://doi.org/10.13170/depik.3.2.1537>
- Ghosh, S., Bakshi, M., Mahanty, S., & Chaudhuri, P. (2022). Assessment of Role of Rhizosphere Process in Bioaccumulation of Heavy Metals in Fine Nutritive Roots of

- Riparian Mangrove Species in River Hooghly: Implications to Global Anthropogenic Environmental Changes. *Marine Pollution Bulletin*, 174(1), 113157. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113157>
- Hakanson, L. (1980). An Ecological Risk Index For Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach. *Water Research*, 14(8), 975–1001.
- Hastuti, E. D., Anggoro, S., & Pribadi, R. (2013). Pengaruh Jenis dan Kerapatan Vegetasi Mangrove terhadap Kandungan Cd dan Cr Sedimen di Wilayah Pesisir Semarang dan Demak. *Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan, 11 September 2012*, 331–336.
- Hong, H., Zhang, B., & Lu, H. (2021). Seasonal Variation and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal in an Estuarine Mangrove Wetland. *Water (Switzerland)*, 13(15), 1–10. <https://doi.org/10.3390/w13152064>
- Huzairiah, M., Nugraha, M. A., & Pamungkas, A. (2022). Kontaminasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Sedimen Estuari Baturusa, Kota Pangkalpinang. *Journal of Tropical Marine Science*, 5(1), 19–29. <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v5i1.2558>
- Kristiana, Prasetya, A. T., & Kasmui. (2020). Perbandingan Metode Destruksi Sedimen Sungai Kaligarang pada Analisis Logam Cu Menggunakan Flame Atomic Absorption Spectrometer (FAAS). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(2), 99–105.
- Liu, S., Shi, X., Yang, G., Khokiattiwong, S., & Kornkanitnan, N. (2016). Concentration Distribution and Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Western Gulf of Thailand. *Environmental Earth Sciences*, 75(4), 1–14.
- Lv, J., Hu, R., Wang, N., Zhu, L., Zhang, X., Yuan, X., & Liu, B. (2021). Distribution and Movement of Heavy Metals in Sediments Around the Coastal Areas Under the Influence of Multiple Factors: A Case Study From the Junction of the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Chemosphere*, 278, 130352. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130352>
- Maharjan, A. K., Wong, D. R. E., & Rubiyatno, R. (2021). Level and Distribution of Heavy Metals in Miri River, Malaysia. *Tropical Aquatic and Soil Pollution*, 1(2), 74–86. <https://doi.org/10.53623/tasp.v1i2.20>
- Makinuddin, N. (2002). Kelembagaan Pengelolaan Teluk Balikpapan. *Tirta Pela*, 9(1), 1–8.
- Marchand, C., Lallier-Vergès, E., Baltzer, F., Albéric, P., Cossa, D., & Baillif, P. (2006). Heavy Metals Distribution in Mangrove Sediments Along the Mobile Coastline of French Guiana. *Marine Chemistry*, 98(1), 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marchem.2005.06.001>
- Marzuki, I. (2014). Analisis Logam Berat pada Sedimen Laut Asal Pantai Melawai Balikpapan Kalimantan Timur. *Proceeding on Int. Conference Ofthe Indonesian Chemical Society (ICICS-2014)*, 1–5.
- Maslukah, L. (2013). Hubungan Antara Konsentrasi Logam Berat Pb , Cd , Cu , Zn dengan Bahan Organik dan Ukuran Butir dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat , Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(1), 55–62.
- Noor, R. J., Kabangnga, A., & Fathuddin, F. (2021). Distribusi Spasial dan Faktor Kontaminasi Logam Berat di Pesisir Kota Makassar. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(1), 93–101. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i1.9619>
- Paputungan, M. S., Suryana, I. R. R. I., Loto, N., Dharmawan, I. W. E., & Fitriani, Z. (2022). Studi Pendahuluan: Pengukuran Stok Karbon Mangrove pada Tiga Kondisi Mangrove yang Berbeda di Mangrove Center Balikpapan. *Prosiding Forum Ilmiah Nusantara*, 129–137.
- Ritonga, I. R. (2014). Distribusi Logam Berat (Cd, Cu, Pb, Zn, dan Ni) Akibat Aktifitas

- Pertambangan Batubara di Perairan Sekerat Kalimantan Timur. *Seminar Nasional Kelautan IX: Kemandirian dalam Rekayasa Teknologi Kelautan dan Pengelolaan Sumberdaya Laut*. Universitas Hang Tuah Surabaya, 24 April 2014, 84–93.
- Ritonga, I. R., Bureekul, S., Ubonyaem, T., Chanrachkij, I., & Sompongchaiyakul, P. (2022). Mercury Content and Consumption Risk of 8 Species Threadfin Bream (*Nemipterus* spp.) Caught Along the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 175(February), 113363. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113363>
- Samson, S. A., Ritonga, I. R., & Budiarsa, A. A. (2013). Telaah Ekotoksikologi pada Beberapa sungai di Kab. Kutai Kartanegara Berdasarkan Aktifitas Antropogenik. *Seminar Nasional Perikanan Indonesia*, 21-22 November 2013, 373–379.
- Sitorus, S., Ilang, Y., & Nugroho, R. A. (2020). Analisis Kadar Logam Pb, Cd, Cu, As pada Air, Sedimen dan Bivalvia di Pesisir Teluk Balikpapan. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 7(2), 89. <https://doi.org/10.31258/dli.7.2.p.89-94>
- Sukaryono, I. D., & Dewa, R. P. (2018). Pemantauan Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Sedimen di Pesisir Teluk Ambon dalam Sebagai Indikasi Tingkat Pencemaran. *Majalah BIAM*, 14(1), 1–7. <https://doi.org/10.29360/mb.v14i1.3554>
- Wulandari, M., Harfadli, M. M., & Rahmania. (2020). Penentuan Kondisi Kualitas Perairan Muara Sungai Somber, Balikpapan, Kalimantan Timur dengan Metode Indeks Pencemaran (Pollution Index). *SPECTA Journal of Technology*, 4(2), 23–34. <https://doi.org/10.35718/specta.v4i2.186>