

## Occurrence of Lead (Pb) Metal in Water, Sediment, and Bioaccumulation in Giant Mudskipper (*Boleophthalmus: Gobiidae*) from the Pemangkat Mangrove Area West Kalimantan

(Keberadaan Logam Timbal (Pb) pada Air, Sedimen, dan Bioakumulasi pada Ikan Tembakul *Boleophthalmus* dari Kawasan Mangrove Pemangkat Kalimantan Barat)

Mega Sari Juane Sofiana, Ikha Safitri\*, Nurhidayanti

Marine Science Study Program, FMIPA, Tanjungpura University  
Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat 78124, Indonesia

\*Corresponding author, e-mail: [isafitri@marine.untan.ac.id](mailto:isafitri@marine.untan.ac.id)

Manuscript received: 8 April 2024. Revision accepted: 24 April 2024

### Abstract

Pemangkat is a coastal area in Sambas Regency which has a mangrove ecosystem. One of the biota found in mangrove forest areas is the Giant Mudskipper. This fish is often used as an environmental bioindicator due to its characteristics of living in the intertidal zone and being able to absorb and accumulate metals. Heavy metal pollution in marine and coastal areas has become a global problem that causes negative impacts on ecosystems, biota, and human health. One of the heavy metals that can pollute waters due to fishing and port activities is lead (Pb). Pemangkat is one of the centers of capture fisheries activities in West Kalimantan. Therefore, this research aims to analyze the content of the heavy metal of Pb in water, sediment, and Mudskipper in the Pemangkat mangrove ecosystem, Sambas, West Kalimantan. The Pb content in water, sediment, and Giant mud skipper samples was analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) at a wavelength of 283.3 nm. Accumulation of heavy metal in the biota was determined by the bioconcentration factor (BCF). The concentration of lead metal (Pb) in water and sediment samples was highest at Station II, such as 0.40 mg/L and 0.25 mg/L respectively. The metal content of Pb in Giant Mudskipper was highest at Station I (0.224 mg/kg). The BCF values for Giant Mudskipper at Stations I and II were 1.18 and 0.86.

Keywords: Lead (Pb), Mangrove, Mudskipper, *Boleophthalmus*.

### Abstrak

Pemangkat merupakan wilayah pesisir di Kabupaten Sambas yang memiliki ekosistem mangrove. Salah satu biota yang hanya ditemukan di daerah hutan mangrove adalah ikan tembakul. Ikan ini sering dijadikan bioindikator lingkungan dikarenakan karakteristiknya yang hidup di zona intertidal yang mampu menyerap dan mengakumulasi logam. Pencemaran logam berat di wilayah laut dan pesisir telah menjadi permasalahan global yang menyebabkan dampak negatif bagi ekosistem, biota, dan kesehatan manusia. Salah satu logam berat yang dapat mencemari perairan dengan adanya aktivitas perikanan dan pelabuhan adalah logam Pb. Pemangkat adalah salah satu sentra kegiatan perikanan tangkap di Kalimantan Barat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan logam berat Pb di air, sedimen, dan ikan tembakul di ekosistem mangrove Pemangkat, Sambas, Kalimantan Barat. Kandungan Pb di sampel air, sedimen dan ikan tembakul dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 283,3 nm. Akumulasi logam berat pada biota ikan tembakul ditentukan dengan faktor biokonsentrasi (BCF). Konsentrasi logam timbal (Pb) pada sampel air dan sedimen tertinggi pada Stasiun II, yaitu: 0,40 mg/L dan 0,25 mg/L secara berurutan. Kandungan logam Pb pada ikan tembakul tertinggi pada Stasiun I, yaitu 0,224 mg/kg. Nilai BCF ikan tembakul di Stasiun I dan II adalah 1,18 dan 0,86.

Kata kunci: Timbal (Pb), Mangrove, Tembakul, *Boleophthalmus*

### PENDAHULUAN

Mangrove merupakan salah satu ekosistem penting yang ditemukan di

wilayah pesisir Indonesia. Di Kalimantan Barat, hutan mangrove tersebar secara luas di delapan kabupaten/kota pesisir, termasuk Kabupaten Sambas dengan luas

6.214 ha (Badan Pusat Statistik, 2013). Dari luasan tersebut, sekitar 3,69% hutan mangrove terdapat di Kecamatan Pemangkat (BPS Kabupaten Sambas, 2013). Hutan mangrove memegang peranan penting baik secara biologi, ekologi, dan sosial budaya bagi masyarakat pesisir yang hidup di sekitar kawasan. Secara ekologi, peran mangrove sebagai *feeding*, *nesting* dan *breeding sites*, penyerap karbon (Dinilhuda et al., 2020; Aye et al., 2023), melindungi garis pantai, mengatur sedimentasi, meningkatkan kualitas perairan (Tomiczek et al., 2021; Razi et al., 2022). Selain itu, hutan mangrove juga berperan sebagai habitat berbagai jenis organisme, dimana salah satu *native species* yang ada adalah Ikan Gelodok atau Tembukul (*Boleophthalmus*). Hasil penelitian Rohmawati et al. (2021) menemukan bahwa *B. boddarti* memiliki kecenderungan hidup di ekosistem mangrove yang berada di tepi pantai dengan kelimpahan yang tinggi. Secara umum, kehidupan Ikan Tembukul sangat dipengaruhi oleh karakteristik substrat (Mahadevan and Ravi, 2015) dan kondisi pasang surut (Ravi, 2013), dimana ikan tersebut akan memanjat pada akar dan batang mangrove, berjalan dan menggali lubang di lumpur (Hui et al., 2019; Hidayat et al., 2022). Karakteristik Ikan Tembukul yang unik membuat ikan tersebut banyak dijadikan sebagai biomonitoring untuk menentukan tingkat pencemaran logam berat (Sangur et al., 2021; Looi et al., 2021), khususnya di ekosistem mangrove. Beberapa hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa organisme makrobentos yang hidup dekat dengan sedimen khususnya di zona intertidal sangat rentan terhadap kontaminasi, mampu menyerap dan mengakumulasi logam (Tavakoly et al., 2014; Veiga et al., 2019), serta mentransfer polutan melalui rantai makanan (Rajeshkumar and Li, 2018). Akumulasi logam berat dengan jumlah berlebih dalam rantai makanan dapat menyebabkan permasalahan pada kesehatan manusia (Ali et al., 2019; Liu et al., 2019).

Pencemaran logam berat di wilayah laut dan pesisir (Nindyapuspa dan Ni'am, 2018; Mwatsahu et al., 2020; Rozirwan et al., 2024) telah menjadi perhatian global karena dapat mengakibatkan berbagai dampak negatif terhadap ekosistem (Yuan et al., 2020), biota (Dan et al., 2022; Shimod et al., 2022; Melake et al., 2023), dan kesehatan manusia (Wang et al., 2020). Logam berat memiliki tingkat toksisitas tinggi, tidak dapat terurai, serta bersifat bioakumulasi dan biomagnifikasi (Oluwagbemiga et al., 2019; Taslima et al., 2022). Keberadaan logam berat dapat menimbulkan pencemaran pada badan air, sedimen, dan terakumulasi di dalam tubuh organisme akuatik yang ada di lokasi tersebut. Rozirwan et al. (2024) menyatakan bahwa sedimen berperan sebagai reservoir berbagai jenis bahan pencemar. Sedimen sebagai habitat utama berbagai jenis biota makrobentos, termasuk Ikan Tembukul sehingga memungkinkan tingginya kontaminasi (Singh et al., 2023; Bendary et al., 2023). Menurut Hasan et al. (2009), terdapat 53 unsur alam yang diklasifikasikan sebagai logam berat. Timbal (Pb) termasuk ke dalam 10 bahan kimia yang menjadi perhatian berdasarkan toksisitas dan potensi paparan pada manusia dan juga menempati urutan kedua dalam daftar prioritas zat beracun (WHO, 2021). Pencemaran logam berat, khususnya timbal dapat berasal dari aktivitas budidaya perikanan, pelabuhan, lalu lintas dan tambat kapal, dan masih dapat terdeteksi meskipun jauh dari sumber pencemaran (Purwiyanto et al., 2020). Di Kalimantan Barat, beberapa hasil penelitian sebelumnya tentang cemaran logam Pb telah banyak dilakukan. Robi et al. (2021) menemukan adanya kandungan Pb pada sampel air (0,0031 µg/L), sedimen (0,8684 µg/L), serta beberapa jenis ikan konsumsi dengan konsentrasi <0,0204 µg/g di Perairan Samudera Indah (Caksana et al., 2021). Selanjutnya, Kristianto et al. (2021) juga melaporkan adanya cemaran logam Pb pada sedimen (0,1047 - 0,4207 µg/g) di kawasan mangrove Kuala Singkawang.

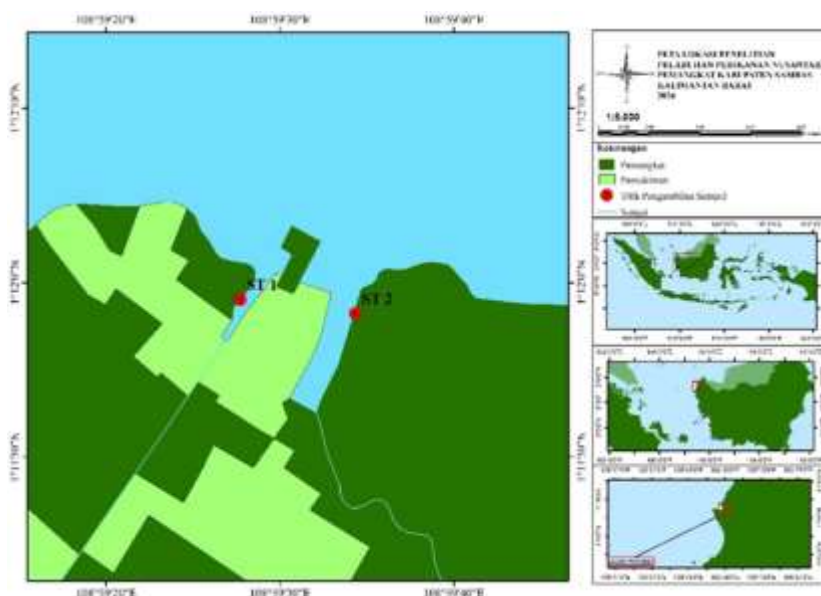
Kawasan mangrove Pemangkat berada dekat dengan pelabuhan, aktivitas

perkapalan dan penangkapan ikan, serta industri pengolahan hasil perikanan. Kondisi tersebut memungkinkan adanya kontaminasi cemaran logam berat, khususnya timbal (Pb). Logam Pb banyak dianalisis untuk penilaian kondisi kualitas suatu perairan. Pada konsentrasi tinggi, keberadaan Pb bersifat toksik dan memiliki potensi pencemaran terhadap lingkungan, biota, dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi Pb di air, sedimen, dan Ikan Tembakul di kawasan mangrove Pemangkat, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat.

### METODE

Sampel air, sedimen, dan Ikan Tembakul (*Boleophthalmus*) diambil di area hutan mangrove Kecamatan Pemangkat, Kalimantan Barat. Pengambilan sampel dilakukan di dua titik yang didasarkan pada dugaan adanya sumber cemaran logam berat, khususnya timbal (Pb). Stasiun I

berlokasi di area yang berdekatan dengan pabrik pengolahan ikan, sedangkan stasiun II berlokasi di kawasan yang ada aktivitas perkapalan dan perikanan di Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Pemangkat. Sampel air sebanyak 250 mL diambil pada saat kondisi pasang lalu dimasukkan ke dalam botol. Sedangkan, sampel sedimen dan ikan diambil pada saat kondisi air sedang surut. Pengambilan sedimen dilakukan pada kedalaman 1-10 cm dengan sekop, kemudian disimpan ke dalam plastik sampel. Sebanyak  $\pm 2$  kg dan sebanyak  $\pm 15$  individu Ikan Tembakul diambil menggunakan senapan, lalu disimpan dalam *coolbox* berisi es untuk menjaga ikan tetap segar dan mengurangi resiko pembusukan. Sebelum pengukuran konsentrasi logam Pb, dilakukan perlakuan terhadap sampel air dan sedimen. Kandungan logam timbal (Pb) dianalisis di Laboratorium PT. Sucofindo Cabang Pontianak, Kalimantan Barat.



Gambar 1. Peta pengambilan sampel air, sedimen, dan Ikan

### Preparasi Sampel Air

Sebanyak  $\pm 50$  mL sampel air ditambah 1 mL  $\text{HNO}_3$  pekat, dipanaskan menggunakan *hotplate* pada suhu 105-120°C hingga larutan menjadi setengah kering, dimana volumenya berkurang menjadi 20 mL. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke dalam labu ukur dan ditambahkan akuades hingga mencapai

volume final 50 mL (Robi et al., 2021). Kemudian, sampel dikocok supaya homogen dan siap untuk dianalisis dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Penambahan  $\text{HNO}_3$  ke dalam sampel bertujuan untuk menurunkan pH hingga  $< 2$ . Pada kondisi pH tersebut, precipitasi dan adsorpsi pada dinding wadah sampel dapat diminimalkan, juga

untuk penghambatan aktivitas mikroorganisme yang ada pada sampel tersebut. Sebetulnya, penambahan larutan asam lainnya dapat dilakukan. Namun, HNO<sub>3</sub> banyak digunakan karena sifat pengoksidasinya, yaitu dapat mengubah ion logam menjadi garam nitratnya yang bersifat sangat larut. Selain itu, destruksi sampel memang diperlukan sebelum analisis dengan AAS, dengan tujuan mengubah semua bentuk logam menjadi keadaan oksidasi tunggal (APHA, 1998).

### Preparasi Sampel Sedimen

Sampel sedimen dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam, kemudian dihaluskan menggunakan mortar. Sebanyak 1 g sampel dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan 50 mL akuades, campur menggunakan batang pengaduk (Huang et al., 2004; Narin et al., 2004). Larutan tersebut dipanaskan menggunakan *hotplate* dengan suhu antara 105 -120°C selama 1 jam untuk memungkinkan terbentuknya suspensi bening, bersamaan dengan itu, ditambahkan 10 mL larutan HNO<sub>3</sub> pekat, aduk supaya homogen hingga larutan menjadi setengah kering (volume ±20 mL). Setelah itu, larutan sampel didinginkan dan disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42. Larutan yang telah disaring dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian ditambah akuades hingga tanda batas (Hseu, 2004). Larutan siap untuk dianalisis dengan AAS.

### Preparasi Sampel Ikan Tembakul

Sampel Ikan Tembakul dicuci dan dibersihkan menggunakan air mengalir, kemudian bagian daging dipisahkan dengan bagian tulang. Selanjutnya, dilakukan destruksi basah mengacu pada APHA (2017). Sebanyak 5-10 g sampel ikan segar diambil, ditambahkan 5 mL HNO<sub>3</sub> pekat (konsentrasi 68%) untuk melepaskan unsur-unsur seperti C, H, O, N, S dalam sampel. Kemudian, campuran tersebut dipanaskan dengan *hotplate* pada suhu 105 °C hingga volume larutan berkurang setengahnya. Selanjutnya, sampel ditambahkan kembali 10 mL HNO<sub>3</sub> pekat dan HClO<sub>4</sub> pekat (konsentrasi 70%),

kemudian dipanaskan kembali pada suhu 40°C hingga uap kuningnya hilang dan pekat uap putih dari HClO<sub>4</sub> habis. Penambahan HClO<sub>4</sub> ditujukan untuk menguapkan lemak yang terkandung dalam sampel. Sebanyak ±10 mL larutan HNO<sub>3</sub> pekat dapat ditambahkan kembali untuk menyelesaikan proses destruksi apabila diperlukan. Selanjutnya, sampel didinginkan dan disaring dengan kertas Whatman No.1, dan diencerkan hingga volume 50 mL. Konsentrasi logam timbal (Pb) dianalisis dengan AAS Series 240 FS pada panjang gelombang 283,3 nm. Jumlah larutan yang dimasukkan sekitar 7 mL per 2 detik menggunakan larutan standar dengan konsentrasi rendah (>1 ppm).

### Analisis Data

Konsentrasi logam timbal (Pb) dianalisis secara kuantitatif kemudian hasil analisis dibandingkan dengan nilai ambang batas baku mutu menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Konsentrasi Pb dapat dihitung dengan persamaan, sebagai berikut :

$$Pb \text{ (mg/kg)} = \frac{(D - E) \times Fp \times V}{W}$$

Dimana:

D : Konsentrasi sampel (mg/kg) dari hasil pembacaan AAS

E : Konsentrasi blanko sampel (mg/kg) dari hasil pembacaan AAS

Fp : Faktor pengenceran

V : Volume akhir sampel yang disiapkan (L)

W : Berat sampel (kg)

### Biokonsentrasi Faktor (BCF)

Penentuan nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF) bertujuan untuk mengetahui mekanisme akumulasi logam berat pada organisme/biota perairan (Emilia, 2016). Penyerapan logam oleh biota dari sedimen terjadi melalui proses yang disebut bioakumulasi. Nilai BCF digunakan untuk mengetahui bioakumulasi logam pada Ikan Tembakul dari sedimen (Almahasheer, 2019). Faktor biokonsentrasi dapat dihitung dengan

menggunakan rumus (EPA, 2000), sebagai berikut :

$$BCF = \frac{C_t}{C_s}$$

Dimana:

BCF : Faktor Bioakonsentrasi

C<sub>t</sub> :Konsentrasi logam berat dalam tubuh organisme (mg/kg)

C<sub>s</sub> :Konsentrasi logam berat di sedimen (mg/kg).

Tabel 1. Kriteria nilai Faktor Bioakumulasi (BCF)

Nilai BCF	Kriteria
<1	Tingkat akumulasi rendah, mengindikasikan bahwa Ikan Tembakul sebagai <i>excluder</i>
1	Mengindikasikan bahwa Ikan Tembakul sebagai indikator
>1	Tingkat akumulasi tinggi, mengindikasikan bahwa Ikan Tembakul sebagai hiperakumulator

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Konsentrasi Logam Timbal (Pb) pada Sampel Air dan Sedimen

Logam timbal (Pb) memiliki beberapa sifat unik yaitu kelenturan tinggi, ulet, titik leleh rendah, dan tahan terhadap korosi (Verma et al., 2020) sehingga banyak digunakan di berbagai jenis industri. Namun, di sisi lain Pb tidak dapat terdegradasi secara alami (Nas dan Ali, 2018) dan banyak dilaporkan dapat terakumulasi serta bersifat sangat toksik terhadap lingkungan (Mousavi et al., 2022). Pada penelitian ini, terdapat akumulasi logam Pb pada sampel air dan sedimen dengan konsentrasi yang bervariasi antar stasiun pengamatan. Merujuk pada baku mutu baku PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, konsentrasi Pb dari kawasan mangrove Kecamatan Pemangkat tergolong di atas ambang batas (Tabel 1). Putra et al. (2013) menyatakan bahwa konsentrasi logam Pb yang masuk ke lingkungan perairan dipengaruhi oleh jumlah logam yang masuk dan pengelolaan limbah yang dihasilkan..

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi logam Pb di kawasan mangrove Pemangkat pada sampel air yaitu antara 0,37–0,40 mg/L, dimana nilai tersebut telah melebihi baku mutu. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Robi et al. (2021) yang melaporkan kandungan Pb pada sampel air di Samudera Indah, Kabupaten Bengkayang

sebesar 0,0031 µg/L. Lokasi tersebut berada di depan PLTU 2 Kalbar dan adanya aktivitas lalu lintas kapal yang diduga sebagai sumber cemaran logam Pb tersebut. Pelabuhan dengan aktivitas perkapalan yang tinggi, meliputi lalu lintas, bongkar muat, labuh/sandar, dan perawatan kapal di PPN Pemangkat diduga menjadi sumber utama pencemaran logam Pb di lokasi penelitian. Kegiatan pelabuhan dan pelayaran berpotensi meningkatkan kandungan Pb, dimana Pb banyak masuk ke perairan melalui limbah air balas (*ballast water*) dari kapal. Air balas tersebut mengandung timbal dengan konsentrasi sangat tinggi dan berkorelasi positif dengan pencemaran Pb di area pelabuhan (Agustriani et al., 2016). Hasil penelitian sebelumnya oleh Prayoga et al. (2021) melaporkan adanya pencemaran logam Pb pada air di bagian barat perairan Segara Anakan yang disebabkan oleh kegiatan pertanian, rumah tangga, dan industri. Cemaran logam berat di perairan dapat menyebabkan bioakumulasi dan biomagnifikasi pada organisme akuatik yang ada di lokasi tersebut.

Cemaran logam berat Pb juga terjadi pada sampel sedimen di kawasan mangrove Pemangkat. Hasil analisis menunjukkan konsentrasi Pb sebesar 0,19–0,25 mg/L, dimana nilai tersebut melebihi baku mutu berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021. Beberapa hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan di perairan Kalimantan Barat juga melaporkan adanya cemaran Pb pada sedimen, seperti

di Samudera Indah (0.1743–0.8684 µg/L) (Robi et al., 2021), kawasan mangrove Kuala Singkawang (0,1047–0,4207 µg/g) (Kristianto et al., 2021). Selain itu, akumulasi Pb juga ditemukan di sedimen perairan Ambon karena lokasi penelitian yang dekat dengan lalu lintas dan galangan kapal, serta adanya Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) (Male et al., 2017). Keberadaan logam berat Pb sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dan ukuran butiran sedimen. Kandungan logam berat akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya peningkatan bahan organik dalam sedimen (Maslukah, 2013). Setelah masuk ke lingkungan perairan, Pb dapat bercampur dengan komponen yang ada di sedimen, seperti Hydrous Ferric Oxide (HFO). Komponen sedimen dan bahan organik meningkatkan kapasitas permukaan sedimen untuk menyerap Pb. Keberadaan dan mobilitas Pb dalam sedimen juga dipengaruhi oleh karakteristik dan komposisi sedimen serta interaksinya dengan unsur-unsur lain (Mousavi et al., 2022). Pb dapat terbentuk

sebagai ion logam bebas atau bentuk kompleks dengan unsur anorganik dan organik (Kushwaha et al., 2018), seperti  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , dan  $\text{Cl}^-$  (Aliasghar zad et al., 2011). Selain itu, konsentrasi logam Pb di sedimen juga dipengaruhi oleh karakteristik substrat. Jenis substrat berlumpur memiliki ukuran partikel yang lebih kecil, sehingga memungkinkan adanya cemaran Pb dengan konsentrasi tinggi. Prayoga et al. (2021) menyatakan bahwa semakin kecil ukuran partikel, maka akan semakin besar kandungan logamnya. Sedimen dengan partikel kecil mempunyai luas permukaan lebih besar dengan kerapatan ion lebih stabil untuk mengikat logam berat. Pernyataan tersebut mendukung hasil penelitian adanya cemaran logam Pb dengan konsentrasi tinggi di Kawasan mangrove Pemangkat yang secara umum memiliki karakteristik substrat berlumpur. Cemaran Pb di sedimen menjadi permasalahan yang serius, karena pada saat Pb yang telah mencemari sedimen akan sulit dihilangkan (Abdelbary et al., 2019).

Tabel 2. Kandungan Logam Timbal (Pb) pada Sampel Air dan Sedimen.

Logam berat	Air (mg/L)		Sedimen (mg/L)		Baku Mutu (PP No. 22 Tahun 2021)
	St. I	St. II	St. I	St. II	
Pb	0,37	0,40	0,19	0,25	0,008 mg/L

### Kandungan Logam Timbal (Pb) pada ikan Tembakul

Analisis kandungan Pb pada Ikan Tembakul dilakukan karena logam tersebut bersifat toksik. Timbal merupakan neurotoksin yang menyebabkan gangguan perilaku, menurunkan kelangsungan hidup dan pertumbuhan pada ikan (Rajeshkumar dan Li, 2018). Selain itu, Pb juga berbahaya bagi makhluk hidup karena dapat menyebabkan keracunan, penyumbatan hemoglobin, merusak perkembangan otak anak, menurunkan kemampuan belajar, serta meningkatkan risiko terjadinya anemia dan penyakit lainnya (Rahim et al., 2022). Setelah Pb diserap oleh biota, logam tersebut dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui rantai makanan dan dapat membahayakan kesehatan (Liang et

al., 2023). Hasil penelitian sebelumnya banyak melaporkan adanya cemaran Pb terhadap organisme (Ashkan et al., 2023) dan lingkungan (Mousavi et al., 2022). Selain itu, Pb juga menyebabkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia (Collin et al., 2022; Raj dan Das, 2023).

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, kandungan logam Pb dalam daging Ikan Tembakul masih berada di bawah ambang batas menurut baku mutu SNI 7387:2009 dan beberapa standar internasional yang telah berlaku (Tabel 3). Keberadaan logam Pb di perairan dapat mengkontaminasi organisme akuatik melalui sistem respirasi dan pencernaan (Nemmiche, 2017). Makrobentos, termasuk ikan yang hidup pada habitat sedimen pasang surut sangat rentan terhadap

kontaminasi, mampu mengakumulasi logam berat (Veiga et al., 2019), dan mentransfer bahan yang bersifat toksik melalui rantai makanan (Rajeshkumar dan Li, 2018). Ikan dapat menyerap logam berat melalui dua cara, yaitu penyerapan dari makanan melalui saluran pencernaan dan air, dan paparan non-makanan melalui membran permeabel seperti kulit, insang dan otot (Rajeshkumar dan Li, 2018). Hasil penelitian sebelumnya oleh Looi et al. (2021) menemukan kandungan Pb yang bervariasi pada Ikan Tembakul (*Periophthalmodon schlosseri*), yaitu sisik (0,77 mg/kg), insang (0,96 mg/kg), hati (0,16 mg/kg), *muscle* (0,09 mg/kg), dan saluran pencernaan (1,43 mg/kg). Penelitian lainnya oleh Santoso et al.

(2021) mengungkapkan adanya kontaminasi logam Pb pada *P. schlosseri* di estuari Sungai Barito yang melebihi batas maksimum baku mutu (0,452-0,626 mg/kg). Selain itu, penelitian oleh Buhari dan Ismail (2017) bahwa sisik ikan *P. schlosseri* yang diambil dari Sungai Puluh, Malaysia ditemukan mengakumulasi Pb dengan konsentrasi paling tinggi (19,14 mg/kg) dibandingkan dengan organ lainnya. Oleh karena itu, Ikan Tembakul sering dijadikan sebagai bioindikator untuk mengetahui status kesehatan suatu lingkungan perairan. Ikan memiliki tingkat sensitivitas tinggi dan respon cepat pada saat terjadi perubahan kualitas perairan secara ekstrim (Adeogun et al., 2020).

Tabel 3. Konsentrasi logam Pb pada sampel ikan Tembakul

Logam Berat	Ikan Tembakul (mg/kg)		Baku Mutu Pangan (SNI 7387: 2009)	CODEX STAN 193-2015 (Amandemen 2015)	European Commission (EC) No 1881/2006
	St. I	St. II			
Pb	0,224	0,215	0,3 mg/kg	0,3 mg/kg	0,3 mg/kg

### Faktor Biokonsentrasi (BCF)

BCF merupakan perbandingan konsentrasi logam Pb dalam tubuh Ikan Tembakul dengan konsentrasi logam yang ada di sedimen, yang dapat digunakan sebagai bioindikator dalam menilai status pencemaran suatu lingkungan. Hal ini memungkinkan untuk mengevaluasi efektivitas bioakumulasi logam berat dalam tubuh organisme (Zhao et al., 2012), sehingga dapat memberikan gambaran tentang kecepatan penyerapan dan ekskresi logam berat oleh biota akuatik (Coulibaly, 2013).

Berdasarkan hasil analisis, nilai BCF pada Ikan Tembakul yang ditemukan di kawasan mangrove Kecamatan Pemangkat berkisar antara 0,86 - 1,18 (Tabel 4). Kondisi tersebut menandakan tingkat akumulasi rendah di stasiun II yang mengindikasikan bahwa Ikan Tembakul bersifat sebagai *excluder*. Sedangkan, pada stasiun I menunjukkan adanya tingkat akumulasi tinggi (BCF>1), mengindikasikan kemampuan Ikan Tembakul sebagai hiperakumulator.

Kondisi ini dapat dapat membahayakan Ikan Tembakul yang ada di lokasi tersebut. Yulaipi dan Aunurohim (2013) menjelaskan bahwa tingkat akumulasi logam berat sangat dipengaruhi oleh upaya tubuh ikan dalam proses detoksifikasi dan ekskresi. Hal inilah yang juga dapat mengakibatkan variasi nilai BCF antar stasiun pengamatan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bioakumulasi logam berat pada tubuh ikan berhubungan signifikan dengan jenis/spesies. Komala et al. (2022) melaporkan ikan *Rasbora argyrotaenia* memiliki nilai BCF sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan *Oreochromis niloticus*.

Laju akumulasi logam berat pada ikan berfluktuasi tergantung pada karakteristik senyawa kimia, konsentrasi dan jenis/spesies ikan (Sarong et al., 2015), umur, ukuran, tingkat trofik, dan perilaku makan (Arifin, 2011). Akumulasi bahan pencemar tersebut terjadi melalui jalur serapan non-makanan (Suheryanto dan Ismarti, 2018). Nilai BCF dapat bervariasi yang sangat dipengaruhi oleh tingkat trofik,

struktur rantai makanan, dan riwayat hidup suatu organisme (El-moselhy et al., 2019). Stadia telur atau larva cenderung memiliki nilai BCF yang lebih rendah dibandingkan dengan ikan pada stadia juvenil dan dewasa. Nilai BCF yang lebih rendah

mungkin terjadi pada tahap awal kehidupan karena kapasitas pertumbuhan yang lebih besar (ECHA, 2017). Selain itu, tahap hidup yang berbeda memiliki kapasitas metabolisme yang berbeda (Fitzsimmons et al., 2007).

Tabel 4. Nilai Faktor Biokonsentrasi pada Ikan Tembakul

Stasiun	Faktor Biokonsentrasi (BCF)
I	1,18
II	0,86

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Logam timbal (Pb) pada sampel air dan sedimen dari kawasan mangrove Pemangkat memiliki konsentrasi di atas baku mutu. Sedangkan, konsentrasi Pb pada sampel Ikan Tembakul masih berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan baik secara nasional maupun internasional. Berdasarkan nilai BCF, Ikan Tembakul yang ada di lokasi tersebut dapat bersifat sebagai *excluder* maupun hiperakumulator logam berat yang ada di lingkungan perairan.

### Saran

Perlu adanya penelitian lanjutan terkait cemaran logam berat pada vegetasi mangrove yang ada di Pemangkat, Kalimantan Barat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelbary, S., Elgamal, M.S., Farrag, A. (2019). Trends in *Heavy Metals Tolerance and Uptake by Pseudomonas aeruginosa*. 1-12. doi: 10.5772/intechopen.85875.
- Adeogun, A.O., Ibor, O.R., Khan, E.A., Chukwuka, A.V., Omogbemi, E.D., Arukwe, A. (2020). Detection and Occurrence of Microplastics in the Stomach of Commercial Fish Species from a Municipal Water Supply Lake in Southwestern Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 31035–31045. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09031-5>.
- Ali, H., Khan, E., Ilahi, I. (2019). *Environmental Chemistry And Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation*. J. Chem., 6730305. doi: 10.1155/2019/6730305.
- Aliasghar zad, N., Molaei, A., Oustan, S. (2011). Pollution Induced Community Tolerance (PICT) of Microorganisms in Soil Incubated with Different Levels of Pb. *Int. J. Environ. Ecol. Eng.*, 5, 838-842.
- Almahasheer, H. (2019). High Levels of Heavy Metals in Western Arabian Gulf Mangrove Soils. *Molecular Biology Reports*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11033-019-04603-2>.
- Agustriani, F., Purwiyanto, A.I.S., Suteja, Y. (2016). Enrichment Valuation of Heavy Metal (Pb) and Contamination Level of Ballast Water in Tanjung Api-Api waters, Sumatera Selatan. *Omni-Akuatika*, 12, 114–118.
- APHA. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- APHA. (2017). *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* 23th Edition. American Public Health Association. 8-57.
- Arifin, Z. (2011). Konsentrasi Logam Berat Di Air, Sedimen Dan Biota Di Teluk Kelabat, Pulau Bangka. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3(1),



- 104-114.
- Ashkan, M.F. (2023). Lead: Natural Occurrence, Toxicity to Organisms and Bioremediation by Lead-degrading Bacteria: A Comprehensive Review. *J. Pure. Appl. Microbiol.*, 17(3), 1298-1319. doi:10.22207/JPAM.17.3.26
- Aye, W.N., Tong, X., Li, J., Tun, A.W. (2023). Assessing the Carbon Storage Potential of a Young Mangrove Plantation in Myanmar. *Forests*, 14, 824. <https://doi.org/10.3390/f14040824>.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sambas. (2013). *Sambas dalam Angka 2012*. BPS Sambas.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI 7387:2009 tentang Batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan. 29 pp.
- Bendary, R.E., Goher, M.E., El-Shamy, A.S. (2023). Taxonomic and Functional Diversity of Macroinvertebrates in Sediment and Macrophyte Habitats: A Case Study, the Ibrahimia Canal, Nile River, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(2), 129–135.
- Buhari, T.R. dan Ismail, A. (2017). Biomonitoring of Heavy Metals (Cu, Zn, Pb, Cd and Ni) in the West Coast of Peninsular Malaysia using Giant Mudskipper *Periophthalmodon schlosseri* (Pallas 1770). *J. Life Sci. Biomed.*, 7, 90–109.
- Caksana, M.U., Aritonang, A.B., Risiko, Muliadi, Sofiana, M.S.J. (2021). Analisis Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Ikan di Pantai Samudra Indah Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(3), 109-118.
- Collin, S., Baskar, A., Geevarghese, D.M., Ali, N.M.V.S., Bahubali, P., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, G.I., Senatov, F., Koppala, S., Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: A review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 3, 100064. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2022.100064>.
- Coulibaly, S. (2013). Bioaccumulation des métaux lourds et effets biologiques induits chez *Saratherodon melanotheron rüppell*, 1852 pêché dans la Baie de Bietri en Lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 214 pp.
- Dan, S.F., Udoh, E.C., Wang, Q. (2022). Contamination and ecological risk assessment of heavy metals, and relationship with organic matter sources in surface sediments of the Cross River Estuary and nearshore areas. *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129531.
- Dinilhuda, A., Akbar, A.A., Jumiaty, Herawati, H. (2020). Potentials of mangrove ecosystem as storage of carbon for global warming mitigation. *Biodiversitas*, 21(11), 5353-5362. doi: 10.13057/biodiv/d211141.
- El-moselhy, M., Othman, Abdul, E. (2019). Bioaccumulation of Heavy Metals in Some Tissues of Fish in the Red Sea, Egypt. *Egypt J. Basic. Appl. Sci.*, 1(2), 97-105. doi: 10.1016/j.ejbas.2014.06.001.
- Emilia, I., Putri, Y.P., Jumingin, Rizal, S., Rangga. (2016). Biokonsentrasi Timbal dan Kadmium Terhadap *Penaeus merguensis* dalam Air dan Sedimen di Perairan Desa Sungsang I. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(2), 215-227. doi:10.31851/sainmatika.v19i2.9874.
- Environmental Protection Agency. (2000). *Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants with freshwater invertebrates*, 2nd ed. EPA 600/R-99/064. Duluth, MN and Washington, DC.
- European Chemicals Agency (ECHA). (2017). *Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment (Chapter R.11: PBT/vPvB assessment)*.

- <https://doi.org/10.2823/128621>.
- Fitzsimmons, P.N., Lien, G.J., Nichols, J.W. (2007). A compilation of in vitro rate and affinity values for xenobiotic biotransformation in fish, measured under physiological conditions. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.* 145(4), 485-506. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.12.011>.
- Hasan, S.A., Fariduddin, Q., Ali, B., Hayat, S., Ahmad, A. (2009). Cadmium: Toxicity and Tolerance in Plants. *J. Environ. Biol.*, 30(2), 16574.
- Hidayat, S., Wicaksono, A., Raharjeng, A., Jin, D.S.M., Alam, P., Retnoaji, B. (2022). The morphologies of mudskipper pelvic fins in relation to terrestrial and climbing behaviour. *Proc. Zool. Soc.*, 75, 83-93. doi:10.1007/s12595-021-00422-1.
- Hseu, Z.Y. (2004) Evaluating Heavy Metal Contents in Nine Composts Using Four Digestion Methods. *Bioresource Technology*, 95, 53-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.008>
- Hui, N.Y., Mohamed, M., Ammin, O.M.N., Tokiman, L. (2019). Diversity and behaviour of mudskippers of Tanjung Piai, Pontian, Johor. *IOP Con. Ser. Earth. Environ. Sci.*, 269, 012037. doi:10.1088/1755-1315/269/1/012037.
- Komala, P.S., Azhari, R.M., Hapsari, F.Y., Edwin, T., Ihsan, T., Zulkarnaini, Harefa, M. (2022). Comparison of bioconcentration factor of heavy metals between endemic fish and aquacultured fish in Maninjau Lake, West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(8), 4026-4032. doi: 10.13057/biodiv/d230821.
- Kristianto, D., Warsidah, Nurdiansyah, I. (2021). Kandungan Logam Berat Merkuri (H) dan Timbal (Pb) pada Kepiting Bakau (*Scylla serrata*) dan Sedimen di Wilayah Mangrove Kuala Singkawang Kalimantan Barat. *Jurnal Teknosains Kodepena*, 1(2), 64-73.
- Kushwaha, A., Hans, N., Kumar, S., Rani, R. (2018). A critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbe-plant system and bioremediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 1035-1045. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.049>.
- Liang, W., Wang, X., Zhang, X., Niu, L., Wang, J., Wang, X., Zhao, X. (2023). Water quality criteria and ecological risk assessment of lead (Pb) in China considering the total hardness of surface water: A national-scale study. *Science of The Total Environment*, 858(1), 159554. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159554>.
- Liu, J., Cao, L., and Dou, S. (2019). Trophic transfer, biomagnification and risk assessments of four common heavy metals in the food web of Laizhou Bay, the Bohai Sea. *Sci. Total Environ.*, 670, 508–522. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.140.
- Looi, L.J., Aris, A.Z., Isa, N.M., Yusoff, F.M., Haris, H. (2021) Elemental Composition and Health Risk Assessment of Giant Mudskipper (*Periophthalmodon schlosseri*) from the Intertidal Zone of the West Coast of Peninsular Malaysia. *Front. Mar. Sci.*, 7, 618284. doi: 10.3389/fmars.2020.618284.
- Mahadevan, G. dan Ravi, V. (2015). Distribution of mudskippers in the mudflats of muthupet, Southeast coast of India. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 3(2), 268-272.
- Male, Y.T., Malle, D., Bijang, C.M., Fransina, E.G., Seumahu, C.A., Dolaitery, M.L., Landu, S., Gasperz, N. (2017). Analisis Kadar Logam Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Sedimen di Teluk Ambon bagian Dalam. *Indo. J. Chem. Res.*, 5(1), 434-443.
- 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. Bul. Oseanograf. Mar., 2, 55-62. doi: 10.14710/buloma.v2i3.6951.
- Melake, B.A., Endalew, S.M., Alamirew, T.S., Temesegen, L.M. (2023). Bioaccumulation and Biota-Sediment Accumulation Factor of Metals and Metalloids in Edible Fish: A Systematic Review in Ethiopian Surface Waters. *Environmental Health Insights*, 17.
- Mousavi, S.M., Brodie, G., Payghamzadeh, K., Raiesi, T., Srivastava, A.K. (2022). Lead Bioavailability in the Environment: Its Exposure and Effects. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 10(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.32598/JAEHR.10.1.1256>.
- Mwatsahu, S.H., Wanjau, R., Tole, M., Munga, D. (2020). Heavy metal contamination in water, sediments, and fauna of selected areas along the Kenyan coastline. *Ocean Life*, 4(1), 37-47. doi: 10.13057/oceanlife/o040105.
- Nas, F.S. dan Ali, M. (2018). The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: A review. *MOJ. Eco. Environ. Sci.*, 3(4), 265-8. doi:10.15406/mojes.2018.03.00098.
- Nemliche, S. (2017). Oxidative Signaling Response to Cadmium Exposure. *Toxicol. Sci.*, 156(1), 4-10. doi: 10.1093/toxsci/kfw222.
- Nindyapuspa, A. dan Ni'am, A.C. (2018). Distribution of heavy metals (Cu and Fe) in sea water of Gresik coastal area. *E3S Web of Conferences*, 31, 04012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183104012>.
- Oluwagbemiga, A.P., Olatayo, A.A., Funso, A.I. (2019). Coastal Marine Sediment Heavy Metals Contamination of a Transgressive Marine Science: Research & Development. *Journal Marine Science: Research and Development*, 9(2).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VIII tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Prayoga, G., Hariyadi, S., Sulistiono, Effendi, H. (2021). Heavy metal (Pb, Hg, Cu) contamination level in sediment and water in Segara Anakan Lagoon, Cilacap, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 744, 012055. doi:10.1088/1755-1315/744/1/012055.
- Purwiyanto, A.I.S., Suteja, Y., Ningrum, P.S., Putri, W.A.E., Agustriani, F., Cordova, M.R., Koropitan, A.F. (2020). Concentration and adsorption of Pb and Cu in microplastics: a case study in aquatic environment. *Marine pollution bulletin*, 158, 111380.
- Putra, C., Siregar, Y., & Anita, S. (2013). Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) Pada Sedimen, Air dan Ikan Tembakul (*Periophthalmus* sp.) di Perairan Dumai. *Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau*, 1, 5-24.
- Rahim, S.W., Sriramadani, N., Kudsiah, H., Suwarni, Nadiarti, Yanuarita, D. (2022). Analysis of lead (Pb) and cadmium (Cd) concentration in Tawes Fish *Barbonymus gonionotus* (Bleeker, 1850) in Lakes of Tempe, Sidenreng and Lapompakka, South Sulawesi. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1119, 012087. doi:10.1088/1755-1315/1119/1/012087.
- Raj, K. dan Das, A.P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.02.001>.
- Rajeshkumar, S. dan Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicol. Rep.*, 5, 288-295. doi:10.1016/j.toxrep.2018.01.007.
- Razi, M.A.M., Adnan, M.S., Ahmad, M.A.,

- Salleh, A.M., Bukari, S.M., AlGheethi, A.A.S.A., Mokhtar, A. (2022). Application of Coastal Protection Structure for Mangrove Rehabilitation & Rejuvenation of West Coast Johor. Case Study: Tanjong Labuh, Batu Pahat, Johor. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 1022, 012064. doi:10.1088/1755-1315/1022/1/012064
- Robi, Aritonang, A.B., Sofiana, M.S.J. (2021). Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Samudera Indah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. Jurnal Laut Khatulistiwa, 4(1), 20-28.
- Ravi, V. (2013). Food and Feeding Habits of the Mudskipper, *Boleophthalmus boddarti* (Pallas, 1770) from Pichavaram Mangroves, Southeast Coast of India. Intl. J. Mar.Sci., 3(12), 98-104. doi: 10.5376/ijms.2013.03.0012.
- Rohmawati, V.D., Latuconsina, H., Hasan, Z. (2021). Komunitas Ikan pada Habitat Mangrove Berbeda di Banyuurip, Ujung Pangkah-Kabupaten Gresik. Jurnal Agribisnis Perikanan (Agrikan), 14(1), 73-79.
- Rozirwan, Az-Zahrah, S.A.F., Khotimah, N.N., Nugroho, R.Y., Putri, W.A.E., Fauziah, Melki, Agustriani, F., Siregar, Y.I. (2024). Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Water, Sediment, and Polychaeta (*Neoleanira tetragona*) from Coastal Areas Affected by Aquaculture, Urban Rivers, and Ports in South Sumatra. Journal of Ecological Engineering, 25(1), 303–319. <https://doi.org/10.12911/22998993/175365>
- Sangur, K., Leiwakabessy, F., Tuaputty, H., Tuwankotta, L.V., Samloy, S.V., Ratila, C., Salakory, O.B., Matulesy, C., Rumahlatu, D. (2021). Mudskipper as an Indicator Species for Lead, Cadmium and Cuprum Heavy Metal Pollution in the Mangrove, Ambon, Indonesia. Journal of Ecological Engineering, 22(4), 1–19. <https://doi.org/10.12911/22998993/134077>
- Santoso, H.B., Hidayaturrahmah, Suhartono, E., Yunita, R., Biyatmoko, D. (2021). *Ikan Gelodok Sebagai Bioindikator Pencemaran Logam Berat*. Scripta Cendekia: Kalimantan Selatan, 124 pp.
- Sarong, M.A., C. Jihan, Z.A. Muchlisin, N. Fadli, S. Sugianto. (2015). Cadmium, lead and zinc contamination on the oyster *Crassostrea gigas* muscle harvested from the estuary of Lamnyong River, Banda Aceh City, Indonesia. AACL Bioflux, 8(1):1-6.
- Shimod, K.P., Vineethkumar, V., Prasad, T.K., Jayapal, G. (2022). Effect of urbanization on heavy metal contamination: a study on major townships of Kannur District in Kerala, India. Bulletin of the National Research Centre, 46(1).
- Singh, V., Singh, N., Rai, S.N., Kumar, A., Singh, A.K., Singh, M.P., Sahoo, A., Shekhar, S., Vamanu, E., Mishra, V. (2023). Heavy Metal Contamination in the Aquatic Ecosystem: Toxicity and Its Remediation Using Eco-Friendly Approaches. Toxics, 11(2).
- Suheryanto dan Ismarti. (2018). Bio-concentration factors of copper (Cu) and lead (Pb) in seagrass and some fish from coast Batam, Riau Islands, Indonesia. IOP Conf. Series: Journal of Physics, 1095, 012038 doi:10.1088/1742-6596/1095/1/012038.
- Taslina, K., Al-Emran M, Rahman MS, Hasan J, Ferdous Z, Rohani MF, Shahjahan M. 2022. Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish - A review. Toxicology reports, 9, 858–868.
- Tavakoly, S.S.B., Hashim, R., Rezayi, M., Salleh, A., & Safari, O. (2014). A review of strategies to monitor water and sediment quality for a sustainability assessment of marine environment. Environ. Sci. Poll. Res., 21, 813–833. doi:10.1007/s11356-013-2217-5.
- Tomiczek, T., Wargula, A., Hurst, N.,

- Bryant, D., Provost, L. (2021). Engineering With Nature: The Role of Mangroves in Coastal Protection. ERDC/TN EWN-21-1, 1-19.
- Veiga, K., Pedro, C.A., Ferreira, S.M.F., Gonçalves, S.C. (2019). Monitoring Metal Pollution on Coastal Lagoons using *Cerastoderma edule* - A Report from a Moderately Impacted System in Western Portugal (Óbidos Lagoon). Environ. Sci. Poll. Res., 26, 2710–2721. doi: 10.1007/s11356-018-3705-4.
- Verma, J., Kumari, S., Dhasmana, A. (2020). Toxic Effect of Lead on Earth's Life. IJIRT, 7(1), 673-676.
- Wang, R., Zhang, L., Chen, Y., Zhang, S., Zhuang, T., Wang, L., Xu, M., Zhang, N., Liu, S. (2020). Elevated non-essential metals and the disordered metabolism of essential metals are associated to abnormal pregnancy with spontaneous abortion. Environment International, 144, 106061.
- World Health Organization (WHO). (2021). Exposure to Lead: A Major Public Health Concern. In Preventing Disease through Healthy Environments; World Health Organization: Geneva, Switzerland, p. 6.
- Yuan, Y., Sun, T., Wang, H., Liu, Y., Pan, Y., Xie, Y., Huang, H., Fan, Z. (2020). Bioaccumulation and health risk assessment of heavy metals to bivalve species in Daya Bay (South China Sea): Consumption advisory. Marine pollution bulletin, 150.
- Yulaiipi, S. dan Aunurohim. (2013). Bioakumulasi logam berat Timbal (Pb) dan hubungannya dengan laju pertumbuhan ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*). Jurnal Sains dan Seni Pomits, 2(2), 166–170.
- Zhao, L., Yang, F., Yan, X., Huo, Z., Zhang G. (2012). Heavy Metal Concentrations in Surface Sediments and Manila Clams (*Ruditapes philippinarum*) from the Dalian Coast, China after the Dalian Port Oil Spill. Biological Trace Element Research, 149(2), 241–247. doi:10.1007/s12011-012-9412-y..