

## Cadmium (Cd) Concentration in Mudskipper, Water and Sediment in the Mangrove Area of Pemangkat West Kalimantan

(Konsentrasi Kadmium (Cd) pada Ikan Tembakul, Air, dan Sedimen di Kawasan Mangrove Pemangkat Kalimantan Barat)

Nurhidayanti, Mega Sari Juane Sofiana, Ikha Safitri\*

Program Studi Ilmu Kelautan, FMIPA, Universitas Tanjungpura  
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat 78124, Indonesia

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

Manuscript received: 30 June 2023. Revision accepted: 17 July 2023.

### Abstract

Mangrove vegetation has a wide range of distribution on the Indonesian coast, including Pemangkat, Sambas Regency, and West Kalimantan. Near this area, there are various activities, such as industrial, fishing, and shipping which are possible sources of heavy metal pollution. Water pollution caused by heavy metals is one of the serious problems. This condition can reduce water quality and has an impact on aquatic organisms. Monitoring of water quality needs to be done to reduce health problems and maintain the stability of aquatic ecosystems. Mudskipper (*Boleophthalmus* sp.) can be used as a bioindicator due to its ability to accumulate heavy metals from the environment, especially in mangrove areas. Heavy metal such as cadmium (Cd) is difficult to decompose and toxic to the environment and biota. This heavy metal pollution may originate from port and fisheries activities. The aim of this study was to determine the Cd content in the Mudskipper, waters, and sediment samples. Sampling was carried out at two stations. Analysis of the Cd content was done using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The result showed that concentrations of Cd in the waters and sediment samples were above the threshold. Meanwhile, the Cd level in Mudskipper flesh was still below the maximum limit.

Keywords: *heavy metal, cadmium (Cd), mudskipper, Pemangkat, West Kalimantan*

### Abstrak

Vegetasi mangrove memiliki sebaran yang luas di pesisir Indonesia, termasuk Pemangkat, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat. Di dekat kawasan ini terdapat berbagai kegiatan seperti industri, perikanan dan pelayaran yang berpotensi menjadi sumber pencemaran logam berat. Pencemaran air yang disebabkan oleh logam berat merupakan salah satu masalah serius. Kondisi ini dapat menurunkan kualitas air dan berdampak pada organisme perairan. Pemantauan kualitas air perlu dilakukan untuk mengurangi gangguan kesehatan dan menjaga stabilitas ekosistem perairan. Becak (*Boleophthalmus* sp.) dapat dijadikan sebagai bioindikator karena kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat dari lingkungan terutama di kawasan mangrove. Logam berat seperti kadmium (Cd) sulit terurai. Selain itu, juga beracun bagi lingkungan dan biota. Pencemaran logam berat ini dapat berasal dari kegiatan pelabuhan dan perikanan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan Cd pada sampel ikan gelodok, perairan, dan sedimen. Pengambilan sampel dilakukan di dua stasiun. Analisis kandungan Cd dilakukan dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Cd di perairan dan sampel sedimen berada di atas ambang batas. Sedangkan kadar Cd pada daging Gelodok masih di bawah batas maksimal.

Kata kunci: logam berat, kadmium (Cd), ikan Tembakul, Pemangkat, Kalimantan Barat.

### PENDAHULUAN

Mangrove merupakan salah satu ekosistem yang banyak ditemukan di wilayah pesisir Indonesia. Vegetasi ini banyak tumbuh di daerah intertidal dengan

kandungan bahan organik tinggi (Kordi, 2012). Pada tahun 2009, Provinsi Kalimantan Barat memiliki luas hutan mangrove sebesar 149.344,189 ha (Dahuri, 2003; Saputro *et al.*, 2009).

Sedangkan, Kabupaten Sambas memiliki luas sekitar 7.872 ha (Badan Pusat Statistik, 2013), dimana  $\pm 229$  ha berada di Kecamatan Pemangkat (BPS Kabupaten Sambas, 2013). Secara ekologi, ekosistem mangrove berperan sebagai *feeding ground*, *spawning ground*, *nursery ground* (Rangkuti *et al.*, 2017), dan habitat berbagai jenis organisme akuatik seperti moluska, krustasea, dan ikan (Nagelkerken *et al.*, 2008; Finlayson *et al.*, 2015), termasuk Ikan Tembakul. Secara umum, ikan Tembakul (*Boleophthalmus* sp.) hidup di daerah berlumpur atau perairan dangkal dekat hutan mangrove (Nanami dan Takegaki, 2005). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, ikan Tembakul banyak dilaporkan sebagai bioindikator kualitas lingkungan (Santoso *et al.*, 2020; Sangur *et al.*, 2021), termasuk pencemaran logam berat. Ikan merupakan organisme penting dalam studi pencemaran logam berat, karena ikan bergerak bebas dan dan mengasimilasi logam berat (Kaur *et al.*, 2018).

Pencemaran logam berat merupakan permasalahan serius (Haq-Nawaz *et al.*, 2011; Sia Su *et al.*, 2013) yang membutuhkan perhatian dan penanganan dari berbagai pihak. Logam berat bersifat toksik terhadap lingkungan dan organisme (Lata *et al.*, 2013), serta menyebabkan degradasi habitat dan keanekaragaman hayati (Sarah *et al.*, 2019; Tabrez *et al.*, 2021). Pencemaran logam berat dapat berasal dari berbagai aktivitas manusia (Rahimzadeh *et al.*, 2017), seperti kegiatan industri dan pertanian (He *et al.*, 2005; Tchounwou *et al.*, 2012), penambangan logam (AnvariFar *et al.*, 2018), aktivitas pelabuhan, perikanan, transportasi dan *docking* kapal (Nugraha, 2009). Logam berat seperti timbal (Pb), cadmium (Cd), dan merkuri (Hg) banyak ditemukan di wilayah pesisir dan laut (Şireli *et al.*, 2006; WHO, 2008; Marques *et al.*, 2019) dengan tingkat toksisitas tinggi (Javed *et al.*, 2018). Logam tersebut dapat terakumulasi di air, sedimen, dan diabsorpsi oleh organisme (Di Bella *et al.*, 2015; Naccari *et al.*, 2015; Adeboyejo *et al.*, 2018; Fadhlil, 2019) melalui siklus air dan rantai makanan

(Rodríguez *et al.*, 2015; Ziyaadini *et al.*, 2017).

Di Kecamatan Pemangkat, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat terdapat berbagai aktivitas industri, perikanan, dan perkapalan yang memungkinkan sebagai sumber pencemaran logam berat. Monitoring terhadap kualitas perairan perlu dilakukan untuk mengurangi permasalahan kesehatan dan menjaga stabilitas ekosistem perairan (Khan *et al.*, 2018). Ancaman pencemaran logam berat dapat diketahui dengan menganalisis sampel air, sedimen, dan biota akuatik (Bazzi *et al.*, 2014). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan logam kadmiun (Cd) pada ikan Tembakul, air, dan sedimen di vegetasi mangrove Pemangkat, Kalimantan Barat.

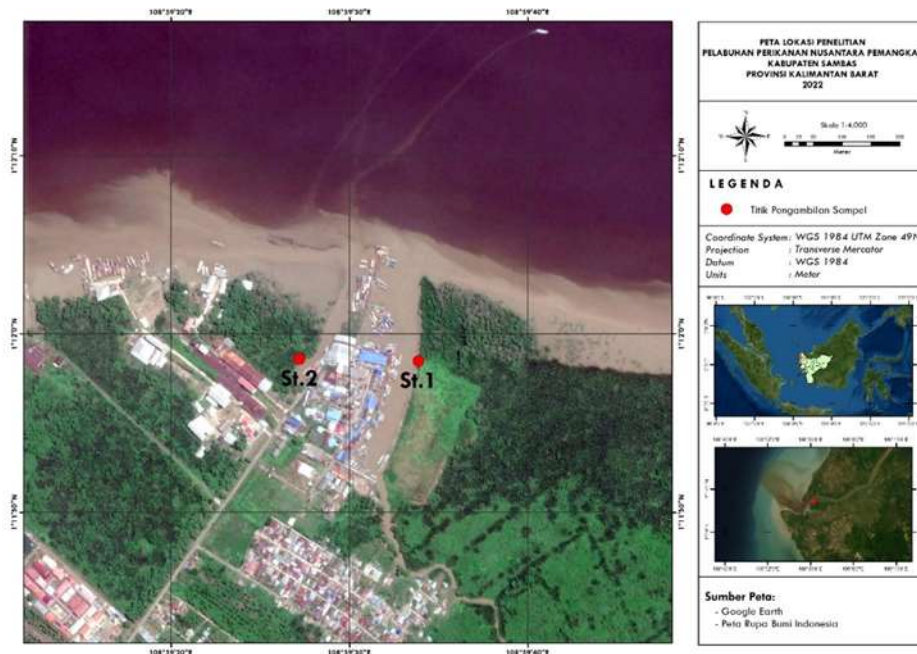
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2021 di kawasan mangrove Pemangkat, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat (Gambar 1). Pengambilan sampel air, sedimen dan ikan Tembakul dilakukan secara in-situ di dua stasiun pengamatan dengan dua kali pengulangan. Penentuan titik lokasi dilakukan menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan keberadaan sumber cemaran logam berat. Stasiun I dekat dengan PPN Pemangkat dan stasiun II dekat dengan industri pengolahan produk perikanan. Analisis kandungan logam berat dilakukan di Laboratorium PT. Sucofindo Cabang Pontianak, Kalimantan Barat.

Pengambilan sampel ikan Tembakul dilakukan pada saat surut terendah sebanyak 10 individu, sampel air diambil dan dimasukkan ke dalam botol sampel 250 mL, dan sampel sedimen diambil menggunakan sekop pada kedalaman antara 0-30 cm kemudian disimpan dalam plastik sampel. Sampel air dan sedimen ditambahkan dengan HNO<sub>3</sub> pekat untuk menghambat aktivitas biologi dari mikroorganisme yang ada. Kemudian, sampel disimpan dalam *coolbox* untuk analisis lebih lanjut di laboratorium (APHA, 1998). Preparasi sampel ikan Tembakul dilakukan dengan memisahkan antara

bagian daging dan tulang. Sampel dibersihkan dengan air mengalir, kemudian dihaluskan menggunakan *blender*. Pengukuran konsentrasi kadmium (Cd)

dilakukan menggunakan *Atomic Adsorption Spectrophotometer* (AAS) Series 240 FS.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di kawasan ekosistem mangrove Pemangkat Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat

Pengukuran secara kuantitatif kandungan logam kadmium (Cd) dilakukan menggunakan metode standar (AOAC, 2016). Sampel daging ikan Tembakul ditimbang sebanyak 1 g, kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL. Selanjutnya, sampel ditambahkan 10 mL HNO<sub>3</sub> pekat, 6 mL HClO<sub>4</sub> pekat, dan 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Setelah itu, sampel dipanaskan dengan suhu 50°C dalam ruangan asam sampai larutan tercampur sempurna dan timbul asap putih, kemudian didinginkan. Lalu, ditambahkan 10 mL HCl 2N, didiamkan selama 30 menit untuk mempercepat proses destruksi. Langkah selanjutnya, sampel disaring menggunakan kertas saring Whatman No.1. Selanjutnya, dipipet larutan sebanyak 1 mL, dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, lalu ditambahkan akuades hingga tanda batas. Sampel siap dianalisis menggunakan AAS. Sampel air sebanyak 100 mL ditambahkan HNO<sub>3</sub> pekat sebanyak 5 mL, kemudian dipanaskan hingga larutan tercampur sempurna.

Selanjutnya, dipipet larutan sebanyak 1 mL, dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas. Setelah itu, larutan dianalisis dengan SSA.

Kadar logam cadmium (Cd) pada ikan Tembakul, air, dan sedimen dihitung dengan menggunakan rumus, sebagai berikut:

$$Cd (\mu\text{g/kg}) = \frac{(D - E) \times Fp \times V}{W}$$

- Di mana:
- D : Konsentrasi sampel (mg/kg)
  - E : Konsentrasi blanko sampel (mg/kg)
  - Fp: Faktor pengenceran
  - V : Volume akhir sampel yang disiapkan (L)
  - W : Berat sampel (kg)

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Identifikasi dan Karakterisasi ikan Tembakul

Berdasarkan Froese dan Pauly (2022), klasifikasi dari ikan Tembakul (Gambar 2) yaitu:

Kingdom : Animalia  
 Phylum : Chordata  
 Class : Actinopteri  
 Ordo : Gobiiformes  
 Family : Gobiidae  
 Genus : *Boleophthalmus*

Ikan Tembakul (*Boleophthalmus* sp.) memiliki tubuh berbentuk elips seperti torpedo, dengan ujung ekor membulat. Tubuh bagian atas berwarna kecokelatan dan putih pada bagian bawah. Bagian kepala dan sirip punggung memiliki bintik-

bintik biru kehijauan. Jenis ini banyak ditemukan di area mangrove dengan jenis substrat berlumpur. Di lokasi penelitian, jenis ikan Tembakul ini banyak menghabiskan waktunya di darat, memanjat akar pohon mangrove, melompat dan berjalan di atas lumpur. Al-behbehani dan Ebrahim (2010) menyatakan bahwa kemampuan tersebut didukung dengan adanya sirip dada yang telah berevolusi menjadi kaki yang kokoh dan dapat digunakan untuk berjalan di lumpur.



Gambar 2. Ikan Tembakul (*Boleophthalmus* sp.) dari vegetasi mangrove Pemangkat Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat

#### Kandungan Logam Kadmium (Cd) pada ikan Tembakul

Kadmium (Cd) merupakan logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi yang dapat menyebabkan keracunan kronis pada manusia apabila terkontaminasi (Prabowo *et al.*, 2016). Kontaminasi logam Cd yang ada di lingkungan ke biota perairan dapat terjadi melalui saluran pernapasan dan sistem pencernaan (Nemliche, 2017). Identifikasi awal kandungan logam berat pada bioindikator sangat berperan penting dalam keberhasilan biomonitoring sebelum efek pencemaran logam berat berdampak buruk pada seluruh populasi atau komunitas (Georgieva *et al.*, 2016; de Almeida Duarte *et al.*, 2017; Bouzahouane *et al.*, 2018). Kandungan logam Cd pada sampel ikan Tembakul dari vegetasi mangrove Pemangkat, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan baku mutu pangan SNI 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemar Logam Berat Dalam Makanan, kandungan logam Cd pada sampel ikan

Tembakul dari vegetasi mangrove Pemangkat masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan (Tabel 1). Hasil penelitian sebelumnya oleh Santoso *et al.* (2021) yang dilakukan di area mangrove Ambon, kadar Cd pada tubuh ikan Tembakul dalam rentang 0,0057-0,0062 ppm. Penelitian lain melaporkan adanya konsentrasi logam Cd yang bervariasi pada bagian tubuh ikan Tembakul, yaitu hati (0,372mg/kg), ginjal (0,178 mg/kg), dan lendir kulit (0,509 mg/kg) (Santoso *et al.*, 2021). Selain itu, logam Cd juga dapat terakumulasi di organ lain, yaitu jaringan otot (Liu *et al.*, 2019), insang, operkulum, sisik, tulang, (Ikram *et al.*, 2010; Buhari dan Ismail, 2016), saluran pencernaan (Dange dan Manoj, 2015), dan gonad ikan (Renieri *et al.*, 2014). Han *et al.* (2015) melakukan percobaan paparan logam Cd pada organ testis ikan Tembakul (*Boleophthalmus pectinirostris*) dan menghasilkan bentuk morfologi testis yang abnormal. Efek yang dihasilkan tergantung pada dosis/konsentrasi, cara dan durasi paparan (Ouedraogo *et al.*, 2012; Bhuyan *et al.*, 2017).

Tabel 1. Konsentrasi logam Cd pada sampel ikan Tembakul

| Logam Berat | Ikan Tembakul (mg/kg) |        | Baku Mutu Pangan (SNI 7387: 2009) |
|-------------|-----------------------|--------|-----------------------------------|
|             | St. I                 | St. II |                                   |
| Cd          | 0,107                 | 0,084  | 0,1 (mg/kg)                       |

Ikan Tembakul dapat menyerap logam berat melalui berbagai jenis paparan, seperti kontak langsung, menelan partikel tersuspensi dalam air, pernafasan (Barbee *et al.*, 2014) dengan cara pertukaran ion logam berat terlarut melalui membran lipofilik (insang), serta adsorpsi permukaan jaringan dan membran. Jenis paparan akan berdampak pada distribusi logam berat dalam jaringan ikan yang berbeda (Kaur *et al.*, 2018). Insang merupakan bagian utama untuk penyerapan logam berat yang ada di dalam air dan sangat rentan terhadap akumulasi logam berat karena kontak terus-menerus dengan lingkungan (Hermenean *et al.*, 2017; Shah *et al.*, 2020).

Ikan Tembakul sering digunakan untuk biomonitoring kualitas air, terutama di ekosistem mangrove. Secara umum, ikan sangat sensitif dan dapat merespon secara cepat terhadap kualitas lingkungan perairan (Salgado *et al.*, 2019; Sinha *et al.*, 2020; Adeogun *et al.*, 2020). Vegetasi mangrove sebagian besar hidup di perairan dengan substrat berlumpur, dimana jenis substrat tersebut mengakumulasi banyak nutrisi dan mineral termasuk logam berat. Oleh karena itu, tubuh ikan Tembakul yang

hidup terendam lumpur juga dapat mengakumulasi logam berat (Sangur *et al.*, 2021). Selain itu, ikan Tembakul juga memiliki toleransi yang luas terhadap stres lingkungan, memiliki tingkat adaptasi tinggi terhadap bahan cemaran organik maupun anorganik (Polgar *et al.*, 2010; Dabruzzi *et al.*, 2011; Ansari *et al.*, 2014), terpapar secara langsung dan dapat mengakumulasi berbagai jenis polutan, serta bersifat *euryhaline* (Ansari *et al.*, 2014; Bertrand *et al.*, 2018). Ikan Tembakul terdistribusi secara luas dengan tingkat kelimpahan yang tinggi di alam, menempati trofik puncak rantai makanan, serta dapat menjadi bioindikator efek toksik jangka panjang dari polutan (Hidayaturrahmah *et al.*, 2019).

#### Kandungan Logam Kadmium (Cd) pada Sampel Air dan Sedimen

Berdasarkan baku mutu baku PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kadar logam Cd pada sampel air dan sedimen di area mangrove Pemangkat, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat berada di atas ambang batas (Tabel 2).

Tabel 2. Kandungan Logam Kadmium (Cd) 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 |                                  |
| Cd          | 0,190      | 0,027  | 0,084          | 0,09   | 0,001 mg/L                       |

Tinggi rendahnya konsentrasi logam disebabkan oleh jumlah masukan logam berat ke perairan dan manajemen pengelolaan limbah (Putra *et al.*, 2013). Pada lokasi penelitian, tingginya konsentrasi logam Cd di air dan sedimen disebabkan karena lokasi penelitian dekat dengan sumber utama pencemaran, serta

menjadi pusat aktivitas perikanan dan perkapalan, seperti jalur lalu lintas kapal, docking dan bongkar muat kapal. Çoban *et al.* (2009) juga menambahkan bahwa logam berat yang terlarut dalam air laut bervariasi. Hasil penelitian sebelumnya, kadar Cd pada sampel air dari area mangrove Ambon dekat dengan aktivitas

industri yaitu sebesar 0,033 mg/L (Santoso *et al.*, 2021). Hal ini didukung oleh hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pencemaran logam Pb dan Cd di air laut dan sedimen Ambon disebabkan adanya aktivitas masyarakat, pemukiman penduduk, aktivitas transportasi tradisional (perahu dan *speedboat*), galangan kapal, serta keberadaan PLTD (Souisa, 2017, Male *et al.*, 2017). Hasan *et al.* (2016) berpendapat bahwa kegiatan galangan kapal dan kegiatan pelabuhan merupakan sumber pencemaran logam Cd di Teluk Bengal.

Di lingkungan perairan, sedimen merupakan sumber kontaminasi logam berat (Gu *et al.*, 2016; Gu dan Lin, 2016). Logam berat dapat diserap dan diendapkan bersama sedimen, seiring dengan terbentuknya ikatan sedimen-logam berat. Hal ini dapat terjadi karena sifat fisika dan kimia sedimen (Pekey, 2006; Okafor dan Opuene, 2007; Bibak *et al.*, 2018). Di lokasi penelitian, jenis substrat yang didominasi oleh lumpur kaya dengan kandungan bahan organik. Logam berat yang ada akan berikatan dengan bahan organik yang ada pada sedimen tersebut. Selain itu, ukuran partikel sedimen dapat mempengaruhi tinggi rendahnya kandungan logam berat kadmium pada sedimen. Kandungan kadmium akan meningkat seiring dengan semakin halus ukuran butir sedimen. Partikel sedimen yang halus memiliki luas permukaan yang besar dengan kerapatan ion yang lebih stabil untuk mengikat logam dibandingkan dengan partikel sedimen yang lebih besar (Sahara, 2009). Menurut penelitian Siska (2008), bahwa kandungan logam berat tertinggi terdapat pada sedimen berupa lumpur, lempung, pasir berlumpur dan campuran ketiganya dibandingkan yang berupa pasir murni.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Konsentrasi logam berat Cd pada sampel air dan sedimen berada di atas ambang batas. Sedangkan, kandungan Cd pada ikan Tembakul masih di bawah batas maksimal yang telah ditentukan.

### Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian berikutnya yaitu dilakukan penelitian lanjutan berupa pengamatan polutan organik yang ada di sekitar ekosistem mangrove Pemangkat, Kabupaten Sambas

## DAFTAR PUSTAKA

- Adeboyejo, A.O., Clarke, E.O., Hammed, A.M., & Adaramoye, R.O. (2018). Hematological and Hepatic Responses of the African Catfish *Clarias gariepinus* to Sublethal Exposure of Industrial Effluents from Ologe Lagoon Environs, Lagos, Nigeria. *J. Food Sci. Eng.*, 8, 198–209. doi:10.17265/2159-5828/2018.05.002
- Adeogun, A.O., Ibor, O.R., Omiwole, R., Chukwuka, A.V., Adewale, A.H., Kumuyi, O., & Arukwe, A. (2020). Sex-Differences in Physiological and Oxidative Stress Responses and Heavy Metals Burden in the Black Jaw Tilapia, *Sarotherodon melanotheron* from a Tropical Freshwater Dam (Nigeria). *Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol.*, 229, 108676. doi: 10.1016/j.cbpc.2019.108676. Epub 2019 Nov 26.
- Al-behbehani, B.E. & Ebrahim, H.M.A. (2010). Environmental Studies on the Mudskippers in the Intertidal Zone of Kuwait Bay. *Nat.Sci.*, 8(5), 79–89.
- Ansari, A.A., Trivedi, S., Saggi, S., & Rehman, H. (2014). Mudskipper: A Biological Indicator for Environmental Monitoring and Assessment of Coastal Waters. *J. Entomol. Zool.*, 2(6), 22–33.
- AnvariFar, H., Amirkolaie, A.K., Jalali, A.M., Miandare, H.K., Sayed, A.E.D.H., Üçüncü, S., & Romano, N. (2018). Environmental Pollution and Toxic Substances: Cellular Apoptosis as a Key Parameter in a Sensible Model Like Fish. *Aquat. Toxicol.*, 204, 144–159. doi: 10.1016/j.aquatox.2018.09.010.
- 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.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2016). Official Methods of Analysis of Official Analytical of Chemist. Airlington: The Assocation of Official Analytical Chemists, 18 end Washington DC.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sambas. (2013). Sambas dalam Angka 2012. BPS Sambas.
- Barbee, N.C., Ganio, K., & Swearer, S.E. (2014). Integrating Multiple Bioassays to Detect and Assess Impacts of Sublethal Exposure to Metal Mixtures in an Estuarine Fish. *Aquat. Toxicol.*, 152, 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.04.012>
- Bertrand, L., Monferrán, M.V., Mouneyrac, C., Amé and M.V. (2018). Native crustacean species as a bioindicator of freshwater ecosystem pollution: A multivariate and integrative study of multi-biomarker response in active river monitoring. *Chemosphere*, 206, 265–277. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.00.
- Bhuyan, M., Bakar, M., Akhtar, A., Hossain, M., Ali, M., & Islam, M. (2017). Heavy Metal Contamination in Surface Water and Sediment of the Meghna River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 8, 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2017.10.003>.
- Bibak, M., Sattari, M., Agharokh, A., Tahmasebi, S., & Namin, J. (2018). Assessing Some Heavy Metals Pollutants in Sediments of The Northern Persian Gulf (Bushehr Province). *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 5, 175-179. doi:10.15171/EHEM.2018.24
- Bouzahouane, H., Barour, C., Sleimi, N., & Ouali K. (2018). Multi-biomarkers Approach to the Assessment of the Southeastern Mediterranean Sea health status: Preliminary Study on Stramonita Haemastoma used as a Bioindicator for Metal Contamination. *Chemosphere*, 207, 725–741. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.118>.
- Buhari, T.R. & Ismail, A. (2016). Correlations between Geo-Chemical Speciation of Heavy Metals (Cu, Zn, Pb, Cd and Ni) in Surface Sediments and Their Concentrations in Giant Mudskipper (*Periophthalmodon schlosseri*) Collected from the West Coast of Peninsular Malaysia. *GEP.*, 04(01), 28–36. doi: 10.4236/gep.2016.41003.
- Çoban, B., Balkis, N., & Aksu, A. (2009). Heavy Metal Level in Sea Water and Sediments of Zonguldak, Turkey. *J. Black Sea Mediterranean Environment*, 15, 23-32.
- Dabruzzi, T.F., Fangué, N.A., Kadir, N.N., & Bennett, W.A. (2019). Thermal Niche Adaptations of Common Mudskipper (*Periophthalmus kalolo*) and Barred Mudskipper (*Periophthalmus argentilineatus*) in Air and Water. *J. Therm. Biol.*, 81, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.023>.
- Dahuri, R. (2003). Keanekaragaman Hayati Laut: Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Dange, S. & Manoj, K. (2015). Bioaccumulation of Heavy Metals in Sediment, Polychaetes (Annelid) Worms, Mud Skipper and Mud Crab at Purna River Estuary, Navsari, Gujarat, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(9): 571–575.
- de Almeida Duarte, L.F., de Souza, C.A., Pereira, C.D.S., & Pinheiro, M.A.A. (2017). Metal Toxicity Assessment by Sentinel Species of Mangroves: In Situ Case Study Integrating Chemical and Biomarkers Analyses. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 145: 367–376. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.051

- Di Bella, G., Potorti, A.G., Turco, V.L., Bua, D., Licata, P., Cicero, N., & Dugo, G. (2015). Trace Elements in *Thunnus thynnus* from Mediterranean Sea and Benefit-risk Assessment for Consumers. *Food Addit. Contam.*, 8, 175–181. DOI:10.1080/19393210.2015.1030347.
- Fadhlin, A. (2019). Analisis Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Ikan Gulamah (*Johnius belangerii*) di Perairan Belawan Provinsi Sumatera Utara. Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara. [Skripsi].
- Finlayson, C.M., Horwitz, P., & Weinstein, P. (2015). *Wetlands and Human Health*, Netherlands.
- Froese, R. & Pauly, D. Editors. (2022). *FishBase. Boleophthalmus*. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=296174> on 2022-11-24.
- Georgieva, E., Yancheva, V., Velcheva, I., Iliev, I., Vasileva, T., Bivolarski, V., & Stoyanova, S. (2016). Histological and Biochemical Changes in Liver of Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) under Metal Exposure. *North-West. J. Zool.*, 12(2), 261–270.
- Gu, Y.G., Wang, X.N., Lin, Q., Du, F.Y., Ning, J.J., Wang, L.G., & Li, Y.F. (2016). Fuzzy Comprehensive Assessment of Heavy Metals and Pb Isotopic Signature in Surface Sediments from A Bay Under Serious Anthropogenic Influences: Daya Bay China. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 126, 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.011>.
- Gu, Y.G. & Lin, Q. (2016). Trace Metals in A Sediment Core from The Largest Mariculture Base of The Eastern Guangdong Coast South China: Vertical Distribution, Speciation, and Biological Risk. *Marine Pollution Bulletin*, 113, 520-525. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.08.029
- Han, Y.L., Sheng, Z., Liu, G. Di., Long, L.L., Wang, Y.F., Yang, W.X., & Zhu, J.Q. (2015). Cloning, Characterization and Cadmium Inducibility of Metallothionein in the Testes of the Mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 119, 1–8. doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.04.055
- Hasan, M., Khan, M.Z., Khan, M., Aktar, S., Rahman, M., Hossain, F., & Hasan, A.S.M. (2016). Heavy Metals Distribution and Contamination in Surface Water of the Bay of Bengal Coast. *Cogent Environmental Science*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1140001>.
- Haq-Nawaz, B., Rubina, K., & Muhammad, A.H. (2011). Biosorption of Pb (II) and Co (II) on Red Rose Waste Biomass. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 30, 81-7. doi.org/10.30492/ijcce.2011.6093.
- Hermenean, A., Gheorghiu, G., Stan, M.S., Herman, H., Onita, B., Ardelean, D.P., Ardelean, A., Braun, M., Zsuga, M., & Kéki, S. (2017). Biochemical, Histopathological and Molecular Responses in Gills of *Leuciscus cephalus* Exposed to Metals. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 73, 607–618. doi: 10.1007/s00244-017-0450-5.
- Hidayaturrahmah, Mabur, Santoso, H.B., Sasmita, R., Rahmy, U.S.A., & Badruzsaufari. (2019). Protein Profiles of Giant Mudskipper and Its Potential Use as Biomarker Candidate for Heavy Metal Contamination in Barito Estuary, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(3), 745–753.
- Ikram, M.M., Ismail, A., Yap, C.K., & Nor Azwady, A.A. (2010). Levels of Heavy Metals (Zn, Cu, Cd, and Pb) in Mudskippers (*Periophthalmodon schlosseri*) and Sediments Collected from Intertidal Areas at Morib and Remis, Peninsular Malaysia. *Toxicol*



- Environ Chem., 92(8), 1471–1486. <https://doi.org/10.1080/02772241003614304>.
- Javed, H., Islam, A., Chauhan, A., Kumar, S., & Kumar, S. (2018). Efficacy of engineered GO Amberlite XAD-16 picolylamine sorbent for the trace determination of Pb (II) and Cu (II) in fishes by solid phase extraction column coupled with inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Sci. Rep.*, 8, 17560. doi: 10.1038/s41598-018-35656-1.
- Kaur, S., Khera, K., & Kondal, J. (2018). Heavy metal induced histopathological alterations in Liver, Muscle and Kidney of Freshwater Cyprinid, *Labeo rohita* (Hamilton). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2), 2137–2144.
- Khan, M., Ding, X., Khan, S., Brusseau, M., Khan, A., & Nawab, J. (2018). The Influence of Various Organic Amendments on the Bioavailability and Plant Uptake of Cadmium Present in Mine-Degraded Soil. *Science of the Total Environment*, 636, 810–817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.299>.
- Kordi, G.M. (2012). *Ekosistem Mangrove: Potensi, Fungsi dan Pengelolaan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Lata, G., Chari, H.N.V., Sarma, V.V., & Ingole, B. (2013). Variation in Heavy Metals Concentration in the Edible Oyster *Crassostrea madrasensis*, Clam *Polymesoda erosa* and Grey Mullet *Liza aurata* from Coastline of India. *Indian Journal of Science*, 2, 59-63. <http://drs.nio.org/drs/handle/2264/4252>
- Liu, Q., Xu, X., Zeng, J., Shi, X., Liao, Y., Du, P., & Shou, L. (2019). Heavy Metal Concentrations in Commercial Marine Organisms from Xiangshan Bay, China, and the Potential Health Risks. *Mar. Pollut. Bull.*, 141(36), 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.058>.
- Male, Y., Malle, D., Bijang, C., Fransina, E., Seumahu, C., Dolaitery, L., Landu, S., & Gaspersz, N. (2017). Analysis of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) Metals Content on Sediment Inner Part of Ambon Bay. *Journal of Chemical Research*, 5(1), 22–31. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2017.5-yus>.
- Marques, D.S., Patrícia, G.C., Gustavo, M.S., Janaína, G.C., Indianara, F.B., & Adalto, B. (2019). Selection of Biochemical and Physiological Parameters in the Croaker *Micropogonias furnieri* as Biomarkers of Chemical Contamination in Estuaries using a Generalized Additive Model (GAM). *Science of the Total Environment*, 647(1), 1456–1467. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.049
- Naccari, C., Cicero, N., Ferrantelli, V., Giangrosso, G., Vella, A., Macaluso, A., Naccari, F., & Dugo, G. (2015). Toxic Metals in Pelagic, Benthic and Demersal Fish Species from Mediterranean FAO Zone 37. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 95, 567–573. doi: 10.1007/s00128-015-1585-6.
- Nagelkerken, I., Blaber, S.J.M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L.G., Meynecke, J.-O., Pawlik, J., Penrose, H.M., Sasekumar, A., Somerfield, P.J. (2008). The Habitat Function of Mangroves for Terrestrial and Marine Fauna: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 155-185. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.007>
- Nanami, A. & Takegaki, T. (2005). Age and growth of the mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris* in Ariake Bay, Kyushu, Japan. *Fisheries Research*, 74: 24–34. doi:10.1016/j.fishres.2005.04.005.
- Nemmiche, S. (2017). Oxidative Signaling Response to Cadmium Exposure. *Toxicol. Sci.*, 156(1), 4–10. doi: 10.1093/toxsci/kfw222.
- Nugraha, W.A. (2009). Kandungan Logam Berat Pada Air dan Sedimen di Perairan Socah dan Kwanyar Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Kelautan*, 2, 1907-9931. DOI: <https://>

- doi.org/10.21107/jk.v2i2.863
- Okafor, E. & Opuene, K. (2007). Preliminary Assessment of Trace Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 233-240.
- Ouedraogo, M., Baudoux, T., Stévigny, C., Nortier, J., Colet, J.-M., Efferth, T., Qu, F., Zhou, J., Chan, K., Shaw, D., Pelkonen, O., Duez, P. (2012). Review of Current and 'Omics' Methods for Assessing the Toxicity (Genotoxicity, Teratogenicity and Nephrotoxicity) of Herbal Medicines and Mushrooms. *J. Ethnopharmacol.*, 140(3), 492–512. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.01.059>
- Pekey, H. (2006). Heavy Metals Pollution Assessment in Sediments of The Izmit Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 123, 219-231. DOI:10.1007/s10661-006-9192-y
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup [JDIH BPK RI] LN.2021/No.32, TLN No.6634, [jdih.setkab.go.id](http://jdih.setkab.go.id): 374 hlm.
- Polgar, G. (2010). Mudskippers: An Introduction for Aquarists. *Conscientious Aquarist Magazine*, 1–14.
- Prabowo, R., Purwanto, & Sunoko, H.R. (2016). Akumulasi Cadmium (Cd) pada Ikan Wader Merah (*Puntius bramoides* C.V), di Sungai Kaligarang. *Jurnal MIPA*, 39(1), 1-10.
- 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.
- Rahimzadeh, M.R., Rahimzadeh, M.R., Kazemi, S., Moghadamnia, A.A. (2017). Cadmium Toxicity and Treatment: An Update. *Caspian J. Intern. Med.*, 8, 135–145. doi 10.22088/cjim.8.3.135
- Rangkuti, A.M., Cordova, M.R., Rahmawati, A., Yulma, Adimu, H.E. (2017). *Ekosistem Pesisir & Laut Indonesia*. Jakarta: Bumi Aksara. 482 pp.
- Renieri, E., Alegakis, A., Kiriakakis, M., Vinceti, M., Ozcagli, E., Wilks, M., & Tsatsakis, A. (2014). Cd, Pb and Hg Biomonitoring in fish of the Mediterranean Region and Risk Estimations on Fish Consumption. *Toxics*, 2(3), 417–442. <https://doi.org/10.3390/toxics2030417>.
- Rodriguez, A., Kildegaard, K.R., Li, M., Borodina, I., & Nielsen, J. (2015). Establishment of a Yeast Platform Strain for Production of p-coumaric Acid Through Metabolic Engineering of Aromatic Amino Acid Biosynthesis. *Metabolic Engineering*, 31, 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2015.08.003>
- Sahara, E. (2009). Distribusi Pb dan Cu pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen di Pelabuhan Benoa, Bali. *Jurnal Kimia*, 2, 75-80.
- Salgado, L.D., Marques, A.E.M.L., Kramer, R.D., Oliveira, F.G de., Moretto, S.L., Lima, B.A. de Silva, & de Assis, H.C. (2019). Integrated Assessment of Sediment Contaminant Levels and Biological Responses in Sentinel Fish Species *Atherinella brasiliensis* from a Sub-Tropical Estuary in South Atlantic. *Chemosphere*, 15–27. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.204.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/134077>.
- Santoso, H.B., Suhartono, E., Yunita, R., & Biyatmoko, D. (2020). Mudskipper

- Fish as a Bio-indicator for Heavy Metals Pollution in a Coastal Wetland. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 24(7), 1073–1095. DOI:10.21608/ejabf.2020.144402.
- Santoso, H.B., Hidayaturrahmah, Suhartono, E., Yunita, R., Biyatmoko, D., & Anggraini, D. (2021). Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment and Giant Mudskipper (*Periophthalmodon schlosseri*) in the Coastal Wetlands of Kuala Lupak Estuary of the Barito River, Indonesia. *AAFL Bioflux*, 14(5), 2878–2893. <http://www.bioflux.com.ro/aafl>.
- Saputro, GB., Hartini, S., Sukardjo, S., Susanto, Al., & Poniman, A. (2009). *Peta Mangroves Indonesia. Pusat Survey Sumber Daya Alam Laut, Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (BAKOSURTANAL)*. 329 hlm.
- Sarah, R., Baby, T., Nida, I., Abeer, H., & Elsayed, F.A.A. (2019). Bioaccumulation of Heavy Metals in *Channa punctatus* (Bloch) in River Ramganga (U.P.), India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(5), 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.02.009>.
- Shah, N., Khan, A., Ali, R., Marimuthu, K., Uddin, M.N., Rizwan, M., Rahman, K.U., Alam, M., Adnan, M., & Muhammad. (2020). Monitoring Bioaccumulation (in Gills and Muscle Tissues), Hematology, and Genotoxic Alteration in *Ctenopharyngodon idella* Exposed to Selected Heavy Metals. *BioMed Res. Int.*, 2020, 6185231. DOI: 10.1155/2020/6185231
- Sia Su, G.L., Gliceria, B.R., & Maria, L.L.S.S. (2013). Bioaccumulation and Histopathological Alteration of Total Lead in Selected Fishes from Manila Bay, Philippines. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(4), 353–355. DOI: 10.1016/j.sjbs.2013.03.003
- Sinha, A.K., Romano, N., Shrivastava, J., Monico, J., & Bishop, W.M. (2020). Oxidative Stress, Histopathological Alterations and Anti-Oxidant Capacity in Different Tissues of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) Exposed to a Newly Developed Sodium Carbonate Peroxyhydrate Granular Algaecide Formulated with Hydrogen Peroxide. *Aquat Toxicol.*, 218, 105348. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105348>
- Şireli, U.T., Göncüoğlu, M., Yildirim, Y., Gücükoğlu, A., & Çakmak, Ö. (2006). Assessment of Heavy Metals (Cadmium and Lead) in Vacuum Packaged Smoked Fish Species (Mackerel, *Salmo salar* and *Oncorhynchus mykiss*) Marketed in Ankara (Turkey). *Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 23(3–4), 353–356.
- Siska, I.M. (2008). Korelasi Antara Kedalaman Sedimen di Pelabuhan Benoa dan Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu. *Jurnal Kimia*, 2, 61-70.
- Souisa, G. (2017). Konsentrasi Logam Berat Cadmium dan Timbal pada Air dan Sedimen di Teluk Ambon. *Tunas-Tunas Riset Kesehatan*, 7(1), 1–7.
- Tabrez, S., Torki, A.Z., & Mehjbeen, J. (2021). Bioaccumulation of Heavy Metals and Their Toxicity Assessment in *Mystus* Species. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(2), 1459–1464. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.085>
- Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., & Sutton, D.J. (2012). Heavy Metal Toxicity and the Environment. *Exp Suppl.*, 101, 133-64. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4\_6.
- WHO. (2008). *The Global Burden of Diseases: 2004 Update* Geneva: World Health Organization. [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GBD\\_report\\_2004\\_update\\_full.pdf](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004_update_full.pdf).
- Ziyaadini M., Yousefiyanpour Z., Ghasemzadeh J., & Zahedi M.M. (2017). Biota-sediment accumulation factor and concentration of heavy metals (Hg, Cd, As, Ni, Pb and Cu) in

sediments and tissues of *Chiton lamyi*  
(Mollusca: Polyplacophora:  
Chitonidae) in Chabahar Bay, Iran.

Iranian Journal of Fisheries Sciences,  
16(4), 1123-1134.