

ANALISIS PENCEMARAN LOGAM BERAT PADA SEDIMEN PERMUKAAN DI DASAR PERAIRAN LAUT PULAU PASARAN

Abdul Hamid¹, Etty Riani², Lina Warlina³

Magister Studi Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka,
Jl. Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan 15438 ¹²³

e-mail: *¹abdulhamid543@gmail.com, ²etty_riani_harsono@yahoo.com, ³
warlina@ecampus.ut.ac.id

ABSTRACT

Estuaries are areas with a high risk of contamination caused by heavy metal accumulation, namely nickel (Ni), cadmium (Cd), lead (Pb), and mercury (Hg). The contamination usually comes from anthropogenic activities, such as household chores, shipping, and industrial activities. One of the water areas located around the estuary area is the sea waters on Pasaran Island. This area is known as one of the centers for producing salted fish in Lampung Province, Indonesia. The area also catches and cultivates seafood, such as fish and shellfish. This study aims to analyze the level of pollution of heavy metals, namely Ni, Cd, Pb, and Hg in surface sediments at the seabed of Pasaran Island. The research design is a descriptive quantitative method by assessing the Geoaccumulation Index (Igeo) to analyze the contamination levels. The results showed that the surface sediments on the seabed of Pasaran Island had no indications of Ni, Cd, and Hg contamination. However, the Igeo calculation results indicated Pb contamination with levels of heavy to very heavy pollution.

Keywords: *pollution, heavy metals, sediments, Pasaran Island.*

ABSTRAK

Kawasan muara merupakan salah satu ekosistem perairan yang sering mengalami kontaminasi logam berat seperti nikel (Ni), cadmium (Cd), timbal (Pb), dan merkuri (Hg). Kontaminasi tersebut biasanya berasal dari aktivitas manusia seperti kegiatan rumah tangga, aktivitas perkapalan, dan kegiatan industri. Salah satu wilayah perairan yang terletak di sekitar kawasan muara adalah perairan laut di sekitar Pulau Pasaran. Kawasan ini terkenal sebagai salah satu sentra pembuatan ikan asin di Provinsi Lampung, Indonesia. Kawasan tersebut juga digunakan sebagai tempat penangkapan dan budi daya sumber daya kelautan seperti ikan dan kerang. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis tingkat pencemaran logam berat jenis Ni, Cd, Pb, dan Hg yang terdapat pada sedimen permukaan di dasar laut Pulau Pasaran. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan menganalisis tingkat pencemaran menggunakan Geoaccumulation Index (Igeo). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sedimen permukaan di dasar laut Pulau Pasaran tidak terindikasi mengalami pencemaran Ni, Cd, dan Hg. Meski demikian, hasil penghitungan Igeo mengindikasikan adanya kontaminasi Pb dengan tingkat pencemaran berat hingga tercemar sangat berat.

Kata kunci: *pencemaran, logam berat, sedimen, Pulau Pasaran.*

Pendahuluan

Ekosistem muara merupakan salah satu ekosistem perairan yang sering mengalami kontaminasi akibat polutan yang berasal dari aktivitas manusia (Dan *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022) seperti aktivitas perkapalan (Reddy *et al.*, 2004; Takarina *et al.*, 2021), kegiatan industri manufaktur, dan limbah rumah tangga (Ali *et al.*, 2016). Sebagai

zona interaksi yang kompleks antara proses fluvial dan marin, muara dapat bertindak sebagai perangkat geokimia untuk logam berat yang terikat dalam sedimen (Sun *et al.*, 2015) sehingga memiliki kemampuan untuk menyimpan sejumlah besar logam berat (Caeiro *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2017; Niu *et al.*, 2021; Dan *et al.*, 2022; Harmesa *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022). Terkait hal tersebut, Yakovlev *et al.* (2022) menyebut kawasan muara sebagai *global filter* bagi perairan laut.

Kontaminasi logam berat di dalam ekosistem perairan merupakan sebuah masalah yang serius pada tingkat global karena menimbulkan dampak yang besar, tidak hanya terhadap ekosistem tetapi juga bagi kesehatan manusia (Pinzón-Bedoya *et al.*, 2020; Monchanin *et al.*, 2021; Takarina *et al.*, 2021; Melake *et al.*, 2022; Zheng *et al.*, 2023). Beberapa studi melaporkan adanya kontaminasi logam berat di dalam biota akuatik yang dikaitkan dengan tingginya konsentrasi logam berat yang terkandung di dalam ekosistem perairan (Islam *et al.*, 2020; Agah, 2021; dan Pan *et al.*, 2022). Biota akuatik seperti ikan dan kerang yang memiliki hubungan cukup dekat dengan manusia di dalam rantai pangan secara berkelanjutan akan menimbulkan risiko kesehatan yang cukup serius apabila terkontaminasi logam berat dan dikonsumsi oleh manusia (Yi *et al.*, 2011; Jović & Stanković, 2014; Bosch *et al.*, 2016; Arisekar *et al.*, 2020; Bristy *et al.*, 2021; Soegianto *et al.*, 2022). Peningkatan risiko kesehatan pada fungsi otak, kardiovaskuler, sistem imun, sistem reproduksi, pertumbuhan, kanker hingga kematian dapat terjadi akibat paparan logam berat seperti nikel atau Ni (ATSDR, 2005), kadmium atau Cd (ATSDR, 2012), timbal atau Pb (ATSDR, 2020), dan merkuri atau Hg (ATSDR, 2022).

Salah satu wilayah perairan yang terletak di sekitar kawasan muara adalah perairan di Pulau Pasaran, Bandar Lampung, yang berada di kawasan Teluk Lampung. Pulau ini terkenal sebagai salah satu sentra pembuatan ikan asin di Provinsi Lampung. Selain itu, beberapa kegiatan ekonomi kelautan lainnya yang terdapat di kawasan Pulau Pasaran antara lain penangkapan ikan teri, cumi, kepiting, serta pembudidayaan ikan kerapu dan kerang hijau (Ali, 2015). Pulau Pasaran terletak sekitar 300 meter di sebelah selatan muara Sungai Belau. Menurut Sembel (2011) dan Ferrer (2022), terdapat banyak aktivitas perbaikan kapal, pengecatan kapal, dan tempat berlabuh kapal-kapal nelayan di Sungai Belau.

Beberapa studi telah melaporkan adanya kontaminasi logam berat yang melebihi baku mutu di perairan Pulau Pasaran, seperti logam berat jenis kadmium atau Cd (Sembel, 2011; Nurulita, 2018; Putri, 2020) dan timbal atau Pb (Sembel, 2011; Rahmah *et al.*, 2019; Putri, 2020). Selain itu, studi lainnya juga telah dilakukan di wilayah yang memiliki karakteristik yang sama dengan perairan Pulau Pasaran, khususnya yang berkaitan dengan adanya aktivitas perkapalan. Reddy *et al.* (2004) melaporkan bahwa selain Cd dan Pb, terdapat kontaminasi nikel (Ni) di kawasan perairan yang digunakan sebagai tempat aktivitas perkapalan. Sementara itu, beberapa penelitian lainnya (Neşer *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2020; dan Chen *et*

al., 2022) melaporkan adanya kontaminasi merkuri (Hg) di kawasan dengan karakteristik yang sama dengan kawasan perairan Pulau Pasaran. Oleh karena itu diperlukan adanya penelitian untuk menghitung risiko lingkungan yang diakibatkan oleh adanya logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat pencemaran yang timbul akibat keberadaan logam berat jenis kadmium (Cd), nikel (Ni), timbal (Pb), dan merkuri (Hg) yang terkandung di dalam sedimen permukaan yang terdapat di dasar perairan laut Pulau Pasaran.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Sumber informasi utama di dalam penelitian ini berasal dari data hasil pengukuran yang dilakukan oleh Riani (2022), yakni berupa data konsentrasi logam berat kadmium (Cd), nikel (Ni), timbal (Pb), dan merkuri (Hg) yang terdapat pada sedimen permukaan di dasar perairan laut Pulau Pasaran. Lokasi penelitian ini terletak di kawasan perairan laut Pulau Pasaran yang juga berada di sekitar muara Sungai Belau yang secara administratif berada di Kelurahan Kota Karang, Kecamatan Telukbetung Timur, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.

Risiko lingkungan yang akan timbul akibat pencemaran logam berat dapat dianalisis secara kuantitatif menggunakan beberapa instrumen, salah satunya adalah *Geoaccumulation Index* (I_{geo}) (Williams & Antonie, 2020; Purbonegoro, 2022; Yakovlev *et al.*, 2022). I_{geo} digunakan untuk menghitung tingkat pencemaran dengan memperhitungkan variasi litosfer (Purbonegoro, 2022). I_{geo} menilai kadar logam berat dan unsur metaloid dalam sedimen dengan membandingkan status konsentrasi saat ini dengan tingkat pra-industri. I_{geo} dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Müller, 1986):

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{Ci}{1,5 Bi} \right)$$

dimana C_i adalah konsentrasi unsur i yang terdapat di dalam sampel sedimen. B_i adalah *geochemical background* atau konsentrasi alami unsur i di dalam batuan serpih (*middle shale*), yakni 0,3 ppm untuk Cd, 67,5 ppm untuk Ni, 21 ppm untuk Pb, 0,19 ppm untuk Hg (Turekian & Wedepohl, 1961). Konstanta 1,5 digunakan untuk mengkompensasi kemungkinan perubahan yang disebabkan oleh faktor antropogenik atau perubahan litologi pada sedimen (Liu *et al.*, 2021). Menurut Müller (1986), nilai I_{geo} dapat diklasifikasikan menjadi: tidak tercemar ($I_{geo} \leq 0$); tidak tercemar hingga tercemar sedang ($0 < I_{geo} \leq 1$); tercemar sedang ($1 < I_{geo} \leq 2$); tercemar sedang hingga tercemar berat ($2 < I_{geo} \leq 3$); tercemar berat ($3 < I_{geo} \leq 4$); tercemar berat hingga tercemar sangat berat ($4 < I_{geo} \leq 5$); tercemar sangat berat ($I_{geo} > 5$). Selain I_{geo} , studi pustaka juga digunakan di dalam penelitian

ini untuk memperkaya analisis terkait risiko lingkungan yang secara teoritis akan timbul akibat pencemaran logam berat.

Pembahasan

Hasil penghitungan *Geoaccumulation Index* (I_{geo}) pada kadmium (Cd), nikel (Ni), dan merkuri (Hg) menunjukkan angka di bawah nol (lihat Tabel 1). Nilai ini mengindikasikan bahwa sedimen dasar perairan laut di Pulau Pasaran berstatus 'tidak tercemar'. Meski demikian, nilai I_{geo} pada timbal (Pb) menunjukkan status 'tercemar berat hingga tercemar sangat berat'. Dengan demikian, kawasan perairan laut di Pulau Pasaran memiliki risiko yang cukup tinggi terhadap bahaya pencemaran timbal (Pb).

Tabel 1. Hasil penghitungan *Geo-accumulation Index* (I_{geo})

Logam Berat	Nomor Sampel	Ci	Bi	I_{geo}	Status Pencemaran
• Cd	• Sampel Cd-1	• 0,903	• 0,3	• -2,469	• Tidak tercemar
	• Sampel Cd-2	• 0,956	• 0,3	• -2,387	• Tidak tercemar
	• Sampel Cd-3	• 0,881	• 0,3	• -2,505	• Tidak tercemar
• Ni	• Sampel Ni-1	• 0,011	• 67,5	• -1,014	• Tidak tercemar
	• Sampel Ni-2	• 0,012	• 67,5	• -0,889	• Tidak tercemar
	• Sampel Ni-3	• 0,011	• 67,5	• -1,014	• Tidak tercemar
• Pb	• Sampel Pb-1	• 1,634	• 21	• 4,516	• Tercemar Berat hingga Tercemar Sangat Berat
	• Sampel Pb-2	• 1,540	• 21	• 4,430	• Tercemar Berat hingga Tercemar Sangat Berat
	• Sampel Pb-3	• 1,163	• 21	• 4,025	• Tercemar Berat hingga Tercemar Sangat Berat
• Hg	• Sampel Hg-1	• 0,078	• 0,19	• -6,669	• Tidak tercemar
	• Sampel Hg-2	• 0,087	• 0,19	• -6,510	• Tidak tercemar
	• Sampel Hg-3	• 0,087	• 0,19	• -6,499	• Tidak tercemar

Sumber: Riani dan Hasil Analisis, 2022

Pencemaran timbal (Pb) di kawasan perairan bersifat sangat berbahaya bagi lingkungan. Studi yang dilakukan oleh Shuhaimi-Othman *et al.* (2015) melaporkan bahwa timbal dengan konsentrasi 0,63 mg/l dapat bersifat mematikan terhadap jenis ikan *Rasbora sumatrana*, sedangkan pada konsentrasi 1,99 mg/l dapat mematikan jenis ikan *Poecilia reticulata*. Meskipun habitat kedua ikan tropis tersebut berada di air tawar, namun apabila sumber kontaminasi timbal berasal dari limbah industri yang dibuang ke sungai, maka tidak menutup kemungkinan terjadi ancaman pada kelangsungan hidup kedua jenis biota tersebut.

Dampak mematikan Pb terhadap biota sungai juga dilaporkan oleh Rogers *et al.* (2003). Menurut Rogers *et al.* (2003), pada konsentrasi sebesar 1,04 mg/l, kontaminasi timbal dapat bersifat mematikan terhadap jenis ikan *Oncorhynchus mykiss*, meskipun Kementerian Kelautan dan Perikanan (2011) mengkategorikan jenis ikan yang berasal dari Amerika Serikat ini sebagai IAS atau *Invasive Alien Species*. Sebuah studi lainnya yang dilakukan oleh Phoonaploy *et al.* (2019) melaporkan adanya peningkatan *low-density lipoprotein*/LDL, atau yang sering disebut dengan istilah kolesterol “jahat”, yang diakibatkan oleh paparan Pb dengan konsentrasi 0,005 mg/l pada jenis ikan gabus atau *Channa striata*.

Adapun dampak timbal terhadap jenis biota perairan muara, yakni pada jenis ikan belanak atau *Mugil cephalus*, telah dilaporkan oleh Hajirezaee *et al.* (2021). Secara fisiologis, paparan timbal dengan konsentrasi 0,0015 mg/l selama 4 hari berkaitan dengan peningkatan gula darah pada ikan *Mugil cephalus*. Sementara itu, konsentrasi timbal sebesar 0,0025 mg/l mengakibatkan peningkatan *malondialdehid* (MDA), yakni senyawa organik yang mengindikasikan terjadinya stres pada ikan (Hajirezaee *et al.*, 2021). Menurut Hajirezaee *et al.* (2021), semakin tinggi paparan timbal yang diterima, semakin tinggi pula tingkat MDA pada ikan *Mugil cephalus*.

Selain terjadi pada ikan (*fine fish*), kontaminasi timbal juga dapat berpengaruh terhadap kondisi fisiologis dan histologis kerang-kerangan (*shellfish*) yang banyak dibudidayakan di perairan Pulau Pasaran. Sebuah studi yang dilakukan oleh Hariharan *et al.* (2014) melaporkan bahwa toksisitas timbal berpengaruh terhadap penurunan tingkat kelangsungan hidup kerang hijau atau *Perna viridis*. Tie (1997) menjelaskan bahwa keracunan timbal menimbulkan penurunan nafsu makan pada kerang hijau yang diidentifikasi dengan adanya penurunan nilai *feeding rate*. Penurunan nilai *feeding rate* dikaitkan dengan perubahan kondisi kontrol saraf pada silia yang ada di dalam insang kerang (Tie, 1997). Sementara itu, studi yang dilakukan oleh Peng *et al.* (2015) melaporkan adanya dampak yang signifikan terhadap enzim antioksidan pada kerang darah atau *Anadara granosa* yang diakibatkan oleh toksisitas timbal. Jika terus berlanjut tanpa upaya penanganan yang serius, kondisi semacam ini akan memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan kerang dan berimplikasi pada hasil panen dan kondisi perekonomian para nelayan, mengingat kerang hijau dan kerang darah merupakan komoditas yang cukup banyak diandalkan di Pulau Pasaran.

Potensi paparan timbal menjadi semakin tinggi karena beberapa jenis ikan kawasan muara seperti ikan belanak/*Mugil cephalus* merupakan jenis ikan yang hidup di dasar perairan (Islam *et al.*, 2009) sehingga lebih rentan terpapar sedimen logam berat (Sultana & Rao, 1998; Yilmaz, 2005; Chouba *et al.*, 2007). Secara potensial, kondisi serupa juga terjadi pada beberapa jenis kerang seperti *Anadara granosa* atau kerang darah dan *Perna viridis* atau kerang hijau. Dampak lanjutan bagi kesehatan manusia juga mungkin timbul, karena ikan belanak, kerang darah, dan kerang hijau merupakan komoditas perairan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat.

Kesimpulan

Kawasan perairan laut di sekitar Pulau Pasaran tidak terindikasi tercemar logam berat jenis nikel (Ni), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg). Akan tetapi, kawasan perairan laut di sekitar Pulau Pasaran terindikasi tercemar logam berat jenis timbal (Pb). Pencemaran ini secara teoritis berpotensi menimbulkan gangguan pada ekosistem perairan apabila terus berlangsung dalam periode tertentu. Oleh karena itu, demi mendukung perencanaan di bidang lingkungan, diperlukan analisis tahap lanjut terhadap beberapa sumber atau kegiatan yang diduga menjadi penyebab pencemaran timbal (Pb) yang telah terjadi di kawasan perairan laut di sekitar Pulau Pasaran.

Tingkat pencemaran timbal (Pb) di kawasan perairan laut di sekitar Pulau Pasaran telah masuk ke dalam kategori tercemar berat hingga tercemar sangat berat. Oleh karena itu, tindakan represif juga diperlukan di dalam perencanaan lingkungan dalam rangka menanggulangi pencemaran timbal (Pb) yang telah terjadi saat ini. Inovasi di bidang penanggulangan pencemaran timbal (Pb) di kawasan perairan juga perlu untuk dikembangkan melalui berbagai studi atau penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada IPB University selaku penyedia data konsentrasi logam berat di perairan Pulau Pasaran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Yayasan Pondok Pesantren Sunan Pandanaran sebagai lembaga yang memberikan dana penelitian.

Daftar Pustaka

- Agah, H. (2021). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment, fish, and human hair from Chabahar Bay, Makoran, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112345. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112345>
- Ali, M. (2015). Potensi Wisata Bahari Pulau Pasaran Bandar Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Swasembada Pangan Polinela*, 568-575.
- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 5, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- Arisekar, U., Shakila, R. J., Shalini, R., & Jeyasekaran, G. (2020). Human health risk assessment of heavy metals in aquatic sediments and freshwater fish caught from Thamirabarani River, the Western Ghats of South Tamil Nadu. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111496. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111496>
- ATSDR/Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2005). *Toxicological Profile for Nickel*. Atlanta, GA.: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- _____. (2012). *Toxicological Profile for Cadmium*. Atlanta, GA.: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- _____. (2020). *Toxicological Profile for Lead*. Atlanta, GA.: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

- _____. (2022). *Toxicological Profile for Mercury*. Atlanta, GA.: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Bristy, M. S., Sarker, K. K., Baki, M. A., Quraishi, S. B., Hossain, M. M., Islam, A., & Khan, M. F. (2021). Health risk estimation of metals bioaccumulated in commercial fish from coastal areas and rivers in Bangladesh. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 86, 103666. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103666>
- Bosch, A. C., O'Neill, B., Sigge, G. O., Kerwath, S. E., & Hoffman, L. C. (2016). Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(1), 32-48. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7360>
- Caeiro, S., Costa, M. H., Ramos, T. B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., Medeiros, G., & Painho, M. (2005). Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators*, 5(2), 151-169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.02.001>
- Chen, J., Zhang, H., Xue, J., Yuan, L., Yao, W., & Huixian Wu. (2022). Study on spatial distribution, potential sources, and ecological risk of heavy metals in the surface water and sediments at Shanghai Port, China. *Marine Pollution Bulletin*, 181, 113923. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113923>
- Chouba, L., Kraiem, M., Njimi, W., Tissaoui, C. H., Thompson, J. R., & Flower, R. J. (2007). Seasonal variation of heavy metals (Cd, Pb, and Hg) in sediments and in mullet, *Mugil cephalus* (Mugilidae), from the Ghar El Melh Lagoon (Tunisia). *Transitional Waters Bulletin (TWB)*, 4, 45-52. <https://doi.org/10.1285/i1825229Xv1n4p45>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129531>
- Ferrer, V. S. (2022). *Sungai Way Belau Bandar Lampung Dipenuhi Sampah*. Diambil pada 6 Oktober 2022, dari situs World Wide Web: <https://lampung.tribunnews.com/2022/01/10/sungai-way-belau-bandar-lampung-dipenuhi-sampah>
- Hajirezaee, S., Ajdari, A., & Azhang, B. (2021). Metabolite profiling, histological and oxidative stress responses in the grey mullet, *Mugil cephalus* exposed to the environmentally relevant concentrations of the heavy metal, Pb (NO₃)₂. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 244, 109004. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109004>
- Hariharan, G., Purvaja, R., & Ramesh, R. (2014). Toxic Effects of Lead on Biochemical and Histological Alterations in Green Mussel (*Perna viridis*) Induced by Environmentally Relevant Concentrations. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 77(5), 246-260. <https://doi.org/10.1080/15287394.2013.861777>
- Hu, X., Shi, X., Su, R., Jin, Y., Ren, S., & Li, X. (2022). Spatiotemporal patterns and influencing factors of dissolved heavy metals off the Yangtze River Estuary, East China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 182, 113975. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113975>
- Islam, M. A., Das, B., Quraishi, S. B., Khan, R., Naher, K., Hossain, S. M., Karmaker, S., Latif, S. A., & Hossen, M. B. (2020). Heavy metal contamination and ecological risk assessment in water and sediments of the Halda river, Bangladesh: A natural fish breeding ground. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111649. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111649>

- Islam, R., Hossain, M. B., Das, N. G., & Rafi, R. U. N. (2009). Food and feeding behavior of grey mullet *Mugil cephalus* of Bangladesh coastal water. *Bangladesh Journal of Progressive Science & Technology*, 7, 273-276.
- Jović, M., & Stanković, S. (2014). Human exposure to trace metals and possible public health risks via consumption of mussels *Mytilus galloprovincialis* from the Adriatic coastal area. *Food and chemical toxicology*, 70, 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.05.012>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2011). *Detail - IAS - Invasive Alien Species - Pink Salmon*. Diambil pada 21 November 2022, dari situs World Wide Web: http://www.bkipm.kkp.go.id/bkipmnew/ias/ias_dtl/65
- Li, R., Tang, X., Guo, W., Lin, L., Zhao, L., Hu, Y., & Liu, M. (2020). Spatiotemporal distribution dynamics of heavy metals in water, sediment, and zoobenthos in mainstream sections of the middle and lower Chang Jiang River. *Science of The Total Environment*, 714, 136779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136779>
- Liu, X., Li, D., & Song, G. (2017). Assessment of heavy metal levels in surface sediments of estuaries and adjacent coastal areas in China. *Frontiers of Earth Science*, 11(1), 85-94. <https://doi.org/10.1007/s11707-016-0569-0>
- Melake, B. A., Nkuba, B., Groffen, T., De Boeck, G., & Bervoets, L. (2022). Distribution of metals in water, sediment and fish tissue. Consequences for human health risks due to fish consumption in Lake Hawassa, Ethiopia. *Science of The Total Environment*, 843, 156968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156968>
- Monchanin, C., Devaud, J. M., Barron, A. B., & Lihoreau, M. (2021). Current permissible levels of metal pollutants harm terrestrial invertebrates. *Science of The Total Environment*, 779, 146398. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146398>
- Müller, G. (1986). Schadstoffe in Sedimenten - Sedimente als Schadstoffe. *Mitt. österr. geol. Ges.*, 79, 107-126.
- Neşer, G., Kontas, A., Ünsalan, D., Uluturhan, E., Altay, O., Darılmaz, E., Küçüksezgin, F., Tekoğul, N., & Yercan, F. (2012). Heavy metals contamination levels at the Coast of Aliağa (Turkey) ship recycling zone. *Marine Pollution Bulletin*, 64(4), 882-887. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.02.006>
- Niu, L., Cai, H., Jia, L., Luo, X., Tao, W., Dong, Y., & Yang, Q. (2021). Metal pollution in the Pearl River Estuary and implications for estuary management: The influence of hydrological connectivity associated with estuarine mixing. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112747. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112747>
- Nurulita, N. (2018). *Biokonsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau (Perna viridis Linn, 1754) yang Dibudidayakan di Perairan Pulau Pasaran*. Bandar Lampung: Skripsi Universitas Lampung.
- Pan, B., Wang, Y., Li, D., Wang, T., & Du, L. (2022). Tissue-specific distribution and bioaccumulation pattern of trace metals in fish species from the heavily sediment-laden Yellow River, China. *Journal of Hazardous Materials*, 425, 128050. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128050>
- Peng, C., Zhao, X., Han, Y., Shi, W., Liu, S., & Liu, G. (2015). Toxic Effects of Chronic Sub-Lethal Cu²⁺, Pb²⁺ and Cd²⁺ on Antioxidant Enzyme Activities in Various Tissues of the Blood Cockle, *Anadara granosa*. *Journal of Residuals Science & Technology*, 12(3), 125-131. <https://doi.org/10.12783/issn.1544-8053/12/3/2>
- Phoonaploy, U., Tengjaroenkul, B., & Neeratanaphan, L. (2019). Effects of electronic waste on cytogenetic and physiological changes in snakehead fish (*Channa striata*).

- Environmental monitoring and assessment*, 191(6), 1-11.
<https://doi.org/10.1007/s10661-019-7509-x>
- Pinzón-Bedoya, C. H., Pinzón-Bedoya, M. L., Pinedo-Hernández, J., Urango-Cardenas, I., & Marrugo-Negrete, J. (2020). Assessment of Potential Health Risks Associated with the Intake of Heavy Metals in Fish Harvested from the Largest Estuary in Colombia. *International journal of environmental research and public health*, 17(8), 2921.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17082921>
- Purbonegoro, T. (2022). Penggunaan Indeks Pencemaran Logam Berat dalam Sedimen di Wilayah Pesisir: Studi Kasus Segara Anakan Cilacap Jawa Tengah. *Oseana*, 47, 1, 12-19. <https://intra.lipi.go.id/datapublikasi/2022/1652482484.pdf>
- Putri, Y. O. (2020). *Kajian Kandungan Logam Berat Cd, Cu, Pb, Cr, dan Mn pada Mangrove di Teluk Lampung Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom*. Bandar Lampung: Skripsi Universitas Lampung.
- Rahmah, S., Maharani, H. W., & Efendi, E. (2019). Konsentrasi logam berat Pb dan Cu pada sedimen dan kerang darah (*Anadara granosa* Linn, 1758) di Perairan Pulau Pasaran, Kota Bandar Lampung. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 6(1), 22-27. <https://doi.org/10.29103/aa.v6i1.887>
- Reddy, M. S., Basha, S., Kumar, V. G. S., Joshi, H. V., & Ramachandraiah, G. (2004). Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Alang–Sosiya ship scrapping yard, India. *Marine Pollution Bulletin*, 48(11–12), 1055-1059. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.12.011>
- Riani, E. (2022). *Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi, Nomor Kontrak 001/E5/PG.02.00PT/2022: Penyediaan Bahan Baku Farmasi dan Kosmetik Berbasis Teripang Pasir (*Holothuria scabra*) serta Upaya Pelestariannya*. Bogor: IPB University.
- Rogers, J. T., Richards, J. G., & Wood, C. M. (2003). Ionoregulatory disruption as the acute toxic mechanism for lead in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology*, 64(2), 215-34. [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(03\)00053-5](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(03)00053-5)
- Sembel, L. (2011). Analisis Logam Berat Pb, Cd dan Cr Berdasarkan Tingkat Salinitas di Estuari Sungai Belau Teluk Lampung. *Prosiding Seminar Nasional: Pengembangan Pulau-Pulau Kecil*, 85-92.
https://ejournal.unpatti.ac.id/ppr_paperinfo_ink.php?id=264
- Shuhaimi-Othman, M., Yakub, N., Ramle, N. A., & Abas, A. (2015). Comparative toxicity of eight metals on freshwater fish. *Toxicology and Industrial Health*, 31(9), 773-782.
<https://doi.org/10.1177/0748233712472519>
- Soegianto, A., Wahyuni, H. I., Yulianto, B., Manaf, L. A. (2022). Health risk assessment of metals in mud crab (*Scylla serrata*) from the East Java Estuaries of Indonesia. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 90, 103810.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103810>
- Sultana, R., & Rao, D. (1998). Bioaccumulation Patterns of Zinc, Copper, Lead, and Cadmium in Grey Mullet, *Mugil cephalus* (L.), from Harbour Waters of Visakhapatnam, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60, 949–955. <https://doi.org/10.1007/s001289900720>
- Sun, Z., Mou, X., Tong, C., Wang, C., Xie, Z., Song, H., Sun, W., & Lv, Y. (2015). Spatial variations and bioaccumulation of heavy metals in intertidal zone of the Yellow River estuary, China. *Catena*, 126, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.037>

- Takarina, N. D., Purwiyanto, A. I. S., & Suteja, Y. (2021). Cadmium (Cd), Copper (Cu), and Zinc (Zn) levels in commercial and non-commercial fishes in the Blanakan River Estuary, Indonesia: A preliminary study. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112607. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112607>
- Tie, Y. (1997). Biochemical and Physiological Responses of The Green Mussel, *Perna viridis* L. to Some Heavy Metals. *NUS Repository*. <https://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/180512>
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *GSA Bulletin*, 72(2), 175–192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *GSA Bulletin*, 72(2), 175–192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)
- Wang, Z., Lin, K., & Liu, X. (2022). Distribution and pollution risk assessment of heavy metals in the surface sediment of the intertidal zones of the Yellow River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113286. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113286>
- Williams, J. A., & Antoine, J. (2020). Evaluation of the elemental pollution status of Jamaican surface sediments using enrichment factor, geoaccumulation index, ecological risk and potential ecological risk index. *Marine Pollution Bulletin*, 57, 111288. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111288>
- Yakovlev, E., Puchkov, A., Malkov, A., & Bedrina, D. (2022). Assessment of heavy metals distribution and environmental risk parameters in bottom sediments of the Pechora River estuary (Arctic Ocean Basin). *Marine Pollution Bulletin*, 182, 113960. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113960>
- Yi, Y., Yang, Z., & Zhang, S. (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159(10), 2575-2585. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011>
- Yilmaz, A. B. (2005). Comparison of Heavy Metal Levels of Grey Mullet (*Mugil cephalus* L.) and Sea Bream (*Sparus aurata* L.) Caught in İskenderun Bay (Turkey). *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 29(2), Article 10.
- Zheng, K., Zeng, Z., Tian, Q., Huang, J., Zhong, Q., & Huo, X. (2023). Epidemiological evidence for the effect of environmental heavy metal exposure on the immune system in children. *Science of The Total Environment*, 868, 161691. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161691>
- Zheng, X., Xu, X., Lu, F., Wang, Q., Zeng, Z., & Huo, X. (2021). High serum IgG subclass concentrations in children with e-waste Pb and Cd exposure. *Science of The Total Environment*, 764, 142806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142806>