

## TINJAUAN LITERATUR: BIOAKUMULASI LOGAM BERAT PADA IKAN DI PERAIRAN INDONESIA

Said Ali Akbar<sup>1\*</sup>, Hanis Kusumawati Rahayu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

\*Email: saidaliakbar@usk.ac.id

### ABSTRACT

Heavy metals are frequently employed in a variety of industries, including industry, agriculture, food processing, and domestic appliances. Heavy metal concentrations will be extremely high in locations with residential, mining, and manufacturing activity. The concentration of heavy metals in fish reflects the state of heavy metal pollution in the ecosystem. Heavy metal accumulation in aquatic creatures' organs can occasionally exceed the level of heavy metals in their environment. The purpose of this literature review is to give information on the bioaccumulation of heavy metals in fish in Indonesian seas. 38 fish species were recorded, and literacy parameters in the form of sample locations and levels, units and types of heavy metals discovered were summarized. Pb > Cd > Hg > Cu > As > Zn > Cr > Mn > Fe is the order of metal abundance discovered. It is advised that heavy metal contamination studies be carried out in the future as part of the government's strategy for tracking down this problem.

**Keywords:** Heavy metals, Indonesian waters, bioaccumulation, fish.

### PENDAHULUAN

Logam berat merupakan komponen penting pada lingkungan perairan, biasanya ditemukan dalam konsentrasi yang sangat rendah. Banyaknya kelimpahan logam berat yang terdapat di bumi dapat berada pada lingkungan air tawar dan laut melalui berbagai cara seperti limbah industri dan konsumen, atau bahkan dari hujan asam yang menghancurkan tanah dan melepaskan logam berat ke sungai, danau, sungai, dan air tanah. Kadar logam berat akan sangat tinggi di daerah dengan kegiatan domestik, pertambangan, dan pabrik (Ruspa dkk., 2021; Wigati dkk., 2021; Nasution, 2021). Logam berat dapat terakumulasi ke dalam ikan melalui dua cara yaitu secara langsung dan tidak langsung, yaitu jika ikan mengkonsumsi air dan makanan yang terkontaminasi melalui sistem pencernaan disebut sebagai paparan langsung, namun jika melalui membran permeabel seperti kulit dan insang disebut tidak langsung. Tingkat konsentrasi logam berat pada ikan menunjukkan status pencemaran logam berat pada lingkungan tersebut. Akumulasi logam berat dalam organ organisme akuatik terkadang dapat melebihi kadungan logam berat pada lingkungan hidupnya. Efek toksik biasanya terjadi ketika

konsentrasi penyerapan logam berat melebihi mekanisme metabolisme, penyimpanan, dan detoksifikasi (Bulolo, 2022).

Pencemaran lingkungan air tawar dan air laut di Indonesia oleh logam berat telah banyak dilaporkan terkandung arsen (As), mangan (Mn), besi (Fe), seng (Zn), kromium (Cr), merkuri (Hg), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) adalah logam penting yang mencemari air dan berbahaya bagi organisme akuatik (Sari dkk., 2017; Adinda, 2022; Ruspa dkk., 2021; Heriyanto, 2011). Banyak organisme laut seperti ikan, udang, dan kepiting terkontaminasi dengan konsentrasi logam berat dari air dan sedimen (Bulolo, 2022). Logam berat yang terakumulasi dalam ikan, efeknya dapat berpindah ke manusia ketika mengonsumsi ikan yang terkontaminasi tersebut, hal ini berakibat dapat memperburuk kesehatan manusia (Paundanan dkk., 2015). Tingkat kontaminan berbahaya di perairan merupakan faktor penting mengingat potensi efek yang ditimbulkan pada organisme itu sendiri dan status kesehatan manusia yang memanfaatkannya. Kontaminan kimia lingkungan dan pestisida pada ikan menimbulkan potensi bahaya kesehatan manusia. Berdasarkan uraian di atas maka tujuan review jurnal ini adalah untuk memberikan informasi mengenai bioakumulasi logam berat pada ikan di perairan Indonesia.

## **METODE PENELITIAN**

Tinjauan literatur ini disusun berdasarkan metode studi literatur menggunakan data primer. Adapun sumber referensi diambil dari Google Scholar dan Scindirect.com dengan tahun publikasi mulai dari 2003-2023 dengan batasan cakupan penelitian yang dilakukan pada perairan Indonesia. Parameter literasi yang digunakan yaitu informasi terkait jenis logam yang terkandung pada ikan, metoda pendeteksian logam, lokasi sampel, konsentrasi logam yang terdeteksi, dan spesies ikan yang dilakukan pada penelitian. Melalui hasil tinjauan ini dapat memberikan gambaran persebaran kontaminasi logam berat di perairan Indonesia.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Sumber Utama Logam Berat dan Status Ekologi Perairan**

Kontaminasi logam berat dalam perairan budidaya dapat menyebabkan perubahan komponen kimia lingkungan perairan tersebut, pada ikan dapat mempengaruhi perilaku, fisiologis, dan pola aliran darah, struktur sel keseimbangan ionik, fungsi hati, dan metabolisme karbohidrat (Sarkar dkk., 2022). Studi sebelumnya, menunjukkan bahwa kegiatan antropogenik dan limbah rumah tangga merupakan sumber besar logam berat yang berkontribusi terhadap

terus meningkatkan polutan logam dalam perairan di sebagian besar dunia (Cui dkk., 2022; Baby dkk., 2022).

Perkembangan dan kemajuan terkini dalam sektor pertanian, industrialisasi, dan urbanisasi berkontribusi besar terhadap peningkatan polusi logam berat di lingkungan air tawar dan laut. Antropogenik seperti penambangan dan peleburan, pembakaran penyulingan bahan bakar fosil, pembuangan dan pembuangan limbah domestik dan kota, penggunaan pestisida di sektor pertanian, irigasi limbah, aplikasi pupuk dan urea, dan debu (Sarkar dkk., 2022). Logam berat yang paling umum diselidiki dan ditemukan pada ikan dalam banyak penelitian adalah As, Cr, Cu, Mn, Zn, Fe, Pb, Cd, dan Hg. Adapun sumber utama dari logam berat dirangkum dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Sumber cemaran logam berat (Okewale dan Grobler, 2023)

Logam Berat	Sumber
As	Semikonduktor, pengawet kayu, pertambangan dan peleburan, pembangkit listrik batubara, herbisida, gunung berapi, tembakau, penyulingan minyak bumi, aditif pakan ternak, pembakaran bahan bakar fosil
Cr	Elektroplating, pigmen industri, lumpur, bahan mentah karet, keramik, <i>tanned leather</i>
Cu	Elektroplating, debu, kebakaran hutan, pertambangan, biosolids
Mn	Lumpur limbah, penambangan dan pemrosesan mineral, emisi dari paduan, produksi besi, pembakaran bahan bakar fosil.
Zn	Elektroplating, peleburan dan pemurnian, pertambangan, biosolid
Fe	Paduan besi diolah menjadi wadah, mobil, mesin, jembatan, bangunan, dan juga sumber lainnya besi sebagai obat-obatan, bahan kimia, pupuk besi, dan pestisida.
Pb	Penambangan dan peleburan bijih logam, pembakaran bensin bertimbal, limbah kota, limbah industri diperkaya dengan Pb, cat
Cd	Sumber Geogenik, peleburan dan pemurnian, pembakaran bahan bakar fosil, penerapan pupuk fosfat, lumpur limbah
Hg	Letusan gunung berapi, kebakaran hutan, emisi dari industri memproduksi soda kaustik, batu bara, gambut, dan pembakaran kayu

### Logam Berat dan Kesehatan Manusia

Makanan adalah potensi utama manusia dapat terpapar terhadap risiko logam berat (Oladoye dkk., 2022). Adanya logam berat pada ikan dapat menimbulkan potensi risiko kesehatan bagi manusia (Adani dkk., 2022). Oleh karena itu, perlu mengetahui konsentrasi kandungan logam berat agar tidak melewati nilai ambang batas (Tabel 2) (Sarkar dkk., 2022). Pencemaran logam berat semakin diakui sebagai masalah lingkungan yang serius, tingkat toksisitas yang tinggi, persistensi, dan potensi akumulasi dalam tubuh manusia menimbulkan ancaman kesehatan yang serius (Dewi dkk., 2014; Zulfahmi dkk., 2020).

**Tabel 2.** Nilai Ambang Batas (NAB) Logam Berat di Perairan

No.	Logam	Nilai Ambang Batas (mg/l)	
		MENLH*	Menkes**
1	As	0,025	0,01
2	Cr	0,002	0,05
3	Cu	0,05	2
4	Mn	-	0,4
5	Zn	0,095	3
6	Fe	0,01	0,3
7	Pb	0,005	0,01
8	Cd	0,002	0,003
9	Hg	0,002	0,001

\*Menurut KEP-51/MENLH/2004

\*\*Menurut 492/Menkes/Per/IV/2010

Logam Cd dikenal sebagai zat pengganggu endokrin dan dapat menyebabkan berkembangnya kanker payudara serta kanker prostat pada manusia (Andersson dkk., 2021). Bila Zn berada dalam jumlah yang dibatasi maka akan menjadi beracun, disisi lain kekurangan Zn dapat menyebabkan beberapa gangguan kehamilan (Carducci dkk., 2021), perkembangan penyakit kronis (Katayama, 2020), termasuk penyakit kardiovaskular (Ozyildirim dan Baltaci, 2023), juga menyebabkan kanker (Wiesmann dkk., 2020). Salah satu akibat kekurangan zat besi (Fe) dapat menyebabkan kelemahan, kerentanan, dan ketidakmampuan untuk berkonsentrasi (Mast dkk., 2020). Cu merupakan logam esensial yang diperlukan untuk sintesis hemoglobin (Gulmez dkk., 2021). Terganggunya asupan Cu dapat mengakibatkan penurunan aktivitas *cuproenzyme*, yaitu sistem kerangka dan vaskular (Garza dkk., 2022).

Logam Cr dapat mengurangi lemak tubuh dan juga meningkatkan penurunan massa tubuh. Cr bisa memiliki efek fatal yang tidak diinginkan dalam jumlah berlebih. Kekurangan Cr bisa mempengaruhi pertumbuhan dan gangguan glukosa, lipid, dan metabolisme protein (Tumolo dkk., 2020). Logam Mn pada konsentrasi tinggi menjadi berbahaya dan beracun, biasanya dapat menyebabkan gangguan neurologis dan psikologis (Ewusi dkk, 2022; Pajarillo dkk., 2021). Toksisitas Hg dapat merusak organ dalam ikan (Zulkipli dkk., 2021; Barst dkk., 2022; Seelos dkk., 2021). Sedangkan pada manusia Hg dapat menyebabkan perkembangan janin hancur karena toksisitasnya dan juga dianggap sebagai karsinogen (Guzzi dkk., 2021). Anak-anak paling rentan terhadap Pb karena memiliki ekskresi ginjal yang kurang efektif dan penyerapan pada pencernaan yang lebih besar. Otak janin menyajikan lebih besar kepekaan terhadap efek toksik Pb dibandingkan dengan otak yang dewasa (Abbaszade dkk., 2022). Gejala kram usus, kondisi anemia, dan kelelahan disebabkan oleh keracunan Pb (Proshad dkk., 2020). As bersifat karsinogen dan racun yang sangat kuat. Selain itu juga memiliki potensi untuk menghancurkan komunitas sistem ekologi (Tanamal dkk., 2021).

## Studi Logam Berat Pada Ikan di Perairan Indonesia

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan wilayah yang membentang dari 6° LU sampai 10° LS dan dari 95° BT sampai 142° BT dan terdiri dari 18.110 pulau. Tujuh puluh delapan persen wilayah Indonesia terdiri dari perairan, dan memiliki lebih dari 81.000 km garis pantai yang mewakili beberapa ekosistem pesisir dan laut tropis paling beragam di dunia. Namun, perairan dan ekosistem pesisir tropis Indonesia saat ini terancam oleh tekanan yang terkait dengan aktivitas antropogenik. Tujuh puluh lima persen dari kota-kota negara terletak di daerah pesisir, dan populasi pesisir meliputi 65% dari penduduk Indonesia (Goma dkk., 2021), atau sekitar 160 juta orang. Ekosistem yang tercemar merusak kehidupan akuatik hewan dan menurunkan nilai pasar produk makanan laut dan peningkatan penyakit bakteri.

Berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan, ditemukan bahwa urutan kelimpahan logam yang terdapat pada perairan Indonesia dengan tren seperti berikut  $Pb > Cd > Hg > Cu > As > Zn > Cr > Mn > Fe$ . Adapun persebaran dirangkum pada Tabel 3 dan Gambaran peta wilayahnya pada Gambar 1. Pb menunjukkan kelimpahan pencemaran terbesar yang diikuti dengan Cd dan Hg. Wilayah terbanyak mengandung logam Pb tercatat pada perairan pelabuhan parepare melalui ikan spesies *Lutjanus erythropterus* dengan konsentrasi total 4,0580 – 8,4590 mg/kg (Usman dkk., 2013). Selain itu pada spesies *Pterygoplichthys pardalis* pada Sungai Ciliwung, Jakarta terkandung  $2,2 \pm 0,03$  mg/kg (Ismi dkk., 2019). Kemudian, kasus pencemaran logam Fe tercatat sangat sedikit yaitu pada spesies *Lates calcarifer* di perairan Mimika Papua namun dengan kadar yang cukup tinggi yaitu 15 mg/kg (Tanjung dkk., 2019). Nilai ini telah melewati ambang batas kadar Fe yang boleh terkontaminasi yaitu  $< 1$  ppm. Selain itu logam Cd merupakan unsur terbanyak kedua di perairan Indonesia dari hasil review ini, tercatat spesies ikan *Moolgarda seheli* pada perairan di hutan Mangrove Cilacap dengan kadar Cd tertinggi sebesar 4,68 ppm (Heriyanto, 2011).

**Tabel 3.** Rekapitulasi konsentrasi logam berat pada ikan di perairan Indonesia

No.	Spesies	Lokasi Sampel	Instrumen	Bagian di Analisis	Satuan	Logam									Referensi
						As	Cr	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cd	Hg	
1	<i>Oreochromis niloticus</i>	Waduk Citara	AAS	Daging	ppb	-	-	< 1	-	-	-	65	-	44	Priyanto dan Ariyani, 2008
2	<i>Euthynnus sp.</i>	Pantai Utara Jawa	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	0,27 6	0,15 6	-	Yulaipi dan Aunurohim, 2013
3	<i>Hemibagrus nemurus</i>	Sungai Lamat	AAS	Daging	µg/L	-	-	-	-	-	-	0,51 5	-	-	Arkianti dkk., 2019
4	<i>Hypostomus plecostomus</i>	Sungai Bedadung	AAS	Daging	ppm	-	-	-	-	-	-	0,25 63	0,17 2	-	Munandar dan Eurika, 2016
5	<i>Channa striata</i>	Sungai Tondano	AAS	Daging	ppm	2 x 10 <sup>-4</sup>	-	-	-	105, 89	-	11,0 1	-	-	Maddusa dkk., 2017
7	<i>Pterygoplicht hys pardalis</i>	Sungai Ciliwung	XRF	Daging	mg/kg	0,7	2,3 ± 0,2	-	10,1	61,8 ± 0,7	-	2,2 ± 0,03	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,3	Ismi dkk., 2019
8	<i>Moolgarda seheli</i>	Hutan Mangrove Cilacap	AAS	Daging	ppm	0,59	-	-	-	10,2	-	-	4,68	-	Heriyanto, 2011
9	<i>Barbonymus gonionotus</i>	Sungai Brantas	AAS	Daging	ppm	-	-	-	-	-	-	0,11 3	-	-	Priatna dkk, 2016
10	<i>Chanos chanos</i>	Sungai Barito	AAS	Daging	ppb	-	-	7	-	-	-	6	9	19	Aji dan Indriati, 2008
11	<i>Mystus</i>	Sungai Silugonggo	AAS	Daging	ppm	-	-	-	-	-	-	0,49 7	-	-	Aina dkk., 2016
12	<i>Aequidens goldsaum</i>	Sungai Citarum	AAS	Daging	ppb	-	-	-	-	-	-	-	80	-	Budiman dkk., 2012
13	<i>Lates calcarifer</i>	Perairan Mimika	AAS	Daging	mg/kg	0,48 9	-	< 1	-	-	15	0,2	< 0,03	0,028	Tanjung dkk., 2019

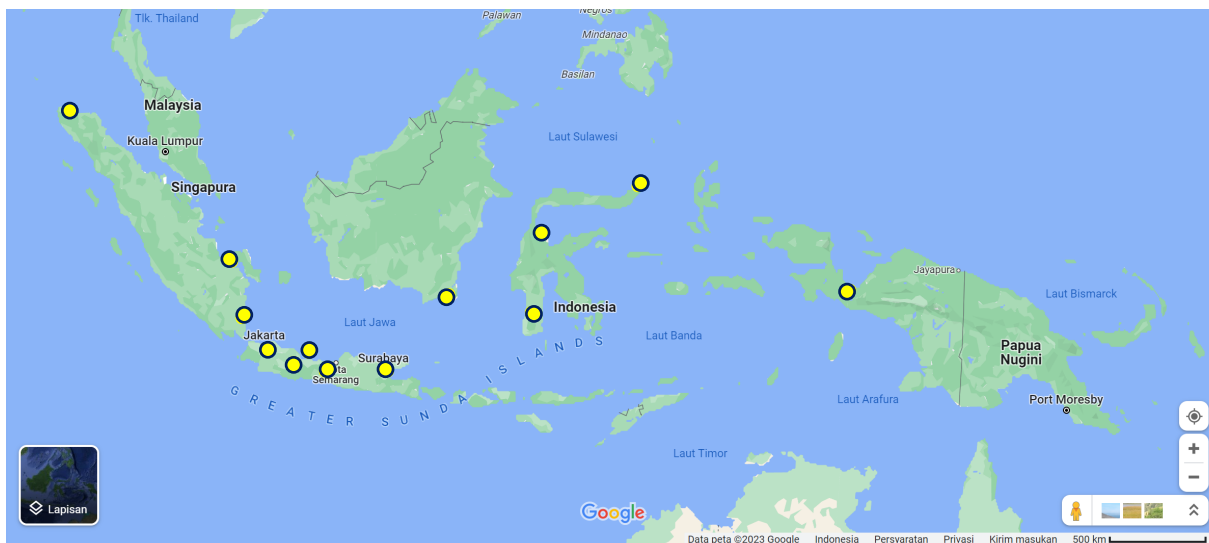
No.	Spesies	Lokasi Sampel	Instrumen	Bagian di Analisis	Satuan	Logam									Referensi
						As	Cr	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cd	Hg	
14	<i>Lutjanus erythropterus</i>	Perairan Pelabuhan Parepare	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	4,05 80	-	-	Usman dkk., 2013
15	<i>Megalaspis cordyla L</i>	Teluk Palu	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	0,73 4	-	0,046	Paundanan dkk., 2015
16	<i>Clarias Bartacus</i>	Sungai Tondano	AAS	Daging	mg/kg	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	Mabuat dkk., 2017
17	<i>Decapterus sp</i>	PPS Belawan	AAS	Daging	ppm	-	-	-	-	-	-	0,5 – 1,18	-	-	Siboro dkk., 2016
18	<i>Tylosurus crocodilus</i>	Pesisir Krueng Raya	AAS	Insang	mg/kg	-	-	-	-	-	-	< 0,00 01	-	-	Nasrun dkk., 2017
19	<i>Alopias pelagicus</i>	PPS Lampulo	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,768	Zulfahmi dkk., 2020
20	<i>Barbodes Binotatus</i>	Sungai Cikaniki	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,001	Azizah dan Maslahat, 2021
21	<i>Colossoma macropomum</i>	Sungai Winongo	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	5,23	-	-	Purwanto dkk., 2020
22	<i>Pangasius djambal</i>	Waduk Saguling	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	16,4	-	-	Nuraeni dkk., 2021
23	<i>Rastrelliger kanagurta</i>	Perairan Jabon	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	0,00 9	-	Zulkarnain dkk., 2013
24	<i>Stolephorus Sp.</i>	Pesisir Teluk Lampung	AAS	Daging	ppm	-	0,08 4	-	0,15 7	-	-	-	-	-	Sari dkk., 2017
25	<i>Tylosurus Crocodilus</i>	Pesisir Krueng Raya	AAS	Daging	ppm	-	-	-	-	-	-	0,20 01	-	-	Fadillah, 2017

No.	Spesies	Lokasi Sampel	Instrumen	Bagian di Analisis	Satuan	Logam									Referensi
						As	Cr	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cd	Hg	
26	<i>Neolissochilus Sumatranus</i>	Sungai Asahan	AAS	Daging	mg/L	-	-	-	-	-	-	< 0,054	0,007	-	Sitorus dkk., 2013
27	<i>Ostoechillus vittatus</i>	Sungai Desa Bakan	AAS	Daging	mg/kg	0,9967	-	-	-	-	-	-	0,0067	0,0103	Girikallo dkk., 2022
28	<i>Osteochilus Hasselti</i>	Sungai Tajum	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	0,029	-	Hidayati dkk., 2022
29	<i>Periophthalmodon schlosseri</i>	Muara Sungai Barito	AAS	Ginjal	mg/kg	-	-	-	-	-	-	0,300	-	-	Santoso dan Hidayaturrahmah, 2021
30	<i>Parastromateus niger</i>	Muara Angke	AAS	Daging	mg/L	-	-	-	-	-	0,22	<0,37	0,023	-	Adinda, 2022
31	<i>Glossogobius giuris</i>	Danau Tempe	AAS	Daging	ppm	-	-	-	-	-	-	0,055	-	-	Wandi dkk., 2021
32	<i>Barbonymus Schwanenfeldii</i>	Danau Siais Desa Rianiate	AAS	Daging	ppm	-	-	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02	-	Buulolo, 2022
33	<i>Cynoglossus lingua</i>	Perairan Belawan	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	0,003	-	-	Nasution, 2021
34	<i>Planiliza subviridis</i>	Segara Anakan Cilacap	AAS	Daging	mg/kg	0,0044	-	-	-	-	-	-	-	-	Haryanti, 2022
35	<i>Johnius trachycephalus</i>	Sungsang	AAS	Daging	mg/kg	-	-	-	-	-	-	0,2	0,1	-	Masito dkk., 2022
36	<i>Rasbora argyrotaenia</i>	Sungai Metro Kepanjen	AAS	Ingsang	mg/L	-	< 0,0126	-	-	-	-	-	-	-	Wigati dkk., 2021



No.	Spesies	Lokasi Sampel	Instrumen	Bagian di Analisis	Satuan	Logam									Referensi
						As	Cr	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cd	Hg	
37	<i>Mugil cephalus</i>	Muara Sungai Musi	AAS	Daging	mg/kg	-	-	0,14 43	-	-	-	0,01 10	-	0,0003 6	Ruspa dkk., 2021
38	<i>Mystus nigriceps</i>	Muara Sungai Ketingan	AAS	Ginjal	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-	Istiqoh, 2017

Pemerintah Indonesia telah menyediakan peraturan dan pedoman untuk mencegah penurunan kualitas air dan ekosistem pesisir lebih lanjut (Idris dan Triani, 2023). Namun, implementasi peraturan tersebut belum memuaskan, dan oleh karena itu, masalah kualitas air pesisir tetap menjadi masalah bagi pengelola lingkungan. Indonesia diproyeksikan mengalami pertumbuhan substansial sebesar 8% dari tahun 2020 hingga 2035, yang berarti ada tambahan 1 juta orang yang tinggal dalam jarak 50 km dari garis pantai (Badan Pusat Statistik Jakarta, 2020). Indonesia telah mempertahankan pertumbuhan ekonomi yang stabil sejak tahun 2005 (Idris dan Triani, 2023), mengakibatkan lebih banyak orang pindah ke beberapa kota besar dan meluasnya urbanisasi. Dengan kata lain, diperkirakan bahwa tekanan tambahan pada lingkungan pesisir akan terus berlanjut, yang mendorong penetapan garis dasar status dan pengetahuan terkini tentang kualitas air pesisir Indonesia. Hal ini dapat meningkatnya polusi dan perubahan lingkungan akibat ulah manusia khususnya perikanan, pesisir akuakultur, pembuangan limbah, kegiatan industri, pertanian, limbah rumah tangga, pembuatan garam, dan pariwisata yang tidak terencana.



**Gambar 1.** Peta wilayah persebaran logam berat di perairan Indonesia

Sistem akuatik bermuatan logam berat dapat mempengaruhi rantai makanan spesies ikan. Akumulasi logam berat dan sifatnya akan berefek pada ikan dengan sangat kompleks untuk dijelaskan, karena sifat dinamis ekosistem perairan. Bahaya logam berat dari sekitarnya terus menerus masuk ke lingkungan laut serta terjadi deposit ke dalam biota diperairan, kemudian ditransfer ke manusia melalui rantai makanan dan ketika konsentrasi zat ini mencapai tingkat tertentu sehingga menjadi beracun (Cui dkk., 2022; Baby dkk., 2022)

## KESIMPULAN

Tinjauan literatur ini dilakukan untuk memberikan informasi tentang konsentrasi logam berat pada ikan di perairan Indonesia. Adapun temuan yang diperoleh dari berbagai hasil penelitian bahwa kandungan logam Pb paling banyak ditemukan di perairan Indonesia dengan tren  $Pb > Cd > Hg > Cu > As > Zn > Cr > Mn > Fe$ . Ikan dapat digunakan sebagai bioindikator untuk mengevaluasi kesehatan ekosistem perairan. Ikan bertindak sebagai indikator biologis kualitas air karena afinitasnya untuk mengakumulasi logam di dalam tubuhnya yang menyebabkan perubahan parameter fisiologis, biokimia, genetik pada tubuhnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbaszade, G., Tserendorj, D., Salazar-Yanez, N., Zacháry, D., Völgyesi, P., Tóth, E., & Szabó, C. (2022). Lead and stable lead isotopes as tracers of soil pollution and human health risk assessment in former industrial cities of Hungary. *Applied Geochemistry*, *145*, 105397.
- Adani, P., Sawale, A. A., & Nandhagopal, G. (2022). Bioaccumulation of heavy metals in the food components from water and sediments in the coastal waters of Kalpakkam, Southeast coast of India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *17*, 100627.
- Adinda, Z. (2022). *Akumulasi Logam Berat Pada Ikan Bawal Hitam (Parastromateus Niger) Di Muara Angke Jakarta Utara* (Doctoral Dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia).
- Aina, L. C., Sd, E. R., & Kaswinarni, F. (2016). Biomonitoring Pencemaran Sungai Silugonggo Kecamatan Juwana Berdasarkan Kandungan Logam Berat (Pb) Pada Ikan Lundu. *Bioma: Jurnal Ilmiah Biologi*, *5*(2).
- Aji, N., & Indriati, N. (2008). Residu Logam Berat Pada Ikan Dan Kualitas Lingkungan Perairan Muara Sungai Barito Kalimantan Selatan. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, *3*(2), 147-155.
- Andersson, E. M., Sandsveden, M., Forsgard, N., Sallsten, G., Manjer, J., Engström, G., & Barregard, L. (2021). Is Cadmium a Risk Factor for Breast Cancer—Results from a Nested Case–Control Study Using Data from the Malmö Diet and Cancer Study. *Cadmium and Breast Cancer—a Nested Case–Control Study. Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, *30*(9), 1744-1752.
- Arkianti, N., Dewi, N. K., & Martuti, N. K. T. (2019). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Ikan Di Sungai Lamat Kabupaten Magelang. *Life Science*, *8*(1), 54-63.
- Azizah, M., & Maslahat, M. (2021). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Dan Merkuri (Hg) Di Dalam Tubuh Ikan Wader (*Barbodes Binotatus*) Dan Air Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor. *Limnotek: Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, *28*(2).

- Baby, R., Hussein, M. Z., Abdullah, A. H., & Zainal, Z. (2022). Nanomaterials for the treatment of heavy metal contaminated water. *Polymers*, 14(3), 583.
- Barst, B. D., Chételat, J., & Basu, N. (2022). Toxicological risk of mercury for fish and invertebrate prey in the Arctic. *Science of The Total Environment*, 836, 155702.
- Budiman, B. T. P., Dhahiyat, Y., & Rustikawati, I. (2012). Bioakumulasi Logam Berat Pb (Timbal) Dan Cd (Kadmium) Pada Daging Ikan Yang Tertangkap Di Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 3(4).
- Buulolo, I. S. (2022). *Analisis Kandungan Logam Berat Pada Daging Ikan Tengadak (Barbonymus Schwanenfeldii) Di Danau Siais Desa Rianiate Kabupaten Tapanuli Selatan* (Doctoral Dissertation, Unimed).
- Carducci, B., Keats, E. C., & Bhutta, Z. A. (2021). Zinc supplementation for improving pregnancy and infant outcome. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3).
- Cui, Y., Bai, L., Li, C., He, Z., & Liu, X. (2022). Assessment of heavy metal contamination levels and health risks in environmental media in the northeast region. *Sustainable Cities and Society*, 103796.
- Dewi, N. K., Prabowo, R., & Trimartuti, N. K. (2014). Analisis Kualitas Fisiko Kimia Dan Kadar Logam Berat Pada Ikan Mas (*Cyprinus Carpio L.*) Dan Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus L.*) Di Perairan Kaligarang Semarang. *Biosaintifika: Journal Of Biology & Biology Education*, 6(2), 109-116.
- Ewusi, A., Sunkari, E. D., Seidu, J., & Coffie-Anum, E. (2022). Hydrogeochemical characteristics, sources and human health risk assessment of heavy metal dispersion in the mine pit water–surface water–groundwater system in the largest manganese mine in Ghana. *Environmental Technology & Innovation*, 26, 102312.
- Fadillah, S. (2017). Cemar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Daging Ikan Cendro (*Tylosurus Crocodilus*) Di Pesisir Krueng Raya Kabupaten Aceh Besar (Contamination Of Heavy Metal Lead (Pb) In Flesh Of Needlefish (*Tylosurus Crocodilus*) At Krueng Raya Aceh Besar). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*, 1(3), 391-397.
- Garza, N. M., Swaminathan, A. B., Maremanda, K. P., Zulkifli, M., & Gohil, V. M. (2022). Mitochondrial copper in human genetic disorders. *Trends in Endocrinology & Metabolism*
- Girikallo, G. G., Alik, O., Liono, V. V., Joseph, W. B., & Sondakh, R. C. (2022). Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Logam Berat Pada Ikan Nilem (*Ostoechillus Vittatus*) Di Desa Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow. *Higiene: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(1), 1-6.
- Goma, E. I., Sandy, A. T., & Zakaria, M. (2021). Analisis Distribusi dan Interpretasi Data Penduduk Usia Produktif Indonesia Tahun 2020. *Jurnal Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 6(1), 20-27.
- Gulmez, C., Altinkaynak, C., Ozturkler, M., Ozdemir, N., & Atakisi, O. (2021). Evaluating the activity and stability of sonochemically produced hemoglobin-copper hybrid

nanoflowers against some metallic ions, organic solvents, and inhibitors. *Journal of bioscience and bioengineering*, 132(4), 327-336.

- Guzzi, G., Ronchi, A., & Pigatto, P. (2021). Toxic effects of mercury in humans and mammals. *Chemosphere*, 263, 127990.
- Haryanti, D. (2022). *Akumulasi Logam Berat As Pada Media Air, Sedimen, Dan Ikan Belanak (Planiliza Subviridis) Di Plawangan Timur, Segara Anakan Cilacap* (Doctoral Dissertation, Universitas Jenderal Soedirman).
- Heriyanto, N. M. (2011). Kandungan Logam Berat Padatumbuhan, Tanah, Air, Ikan Dan Udang Di Hutan Mangrove. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 8(4), 197-205.
- Hidayati, N. V., Aziz, A. S. A., Mahdiana, A., & Prayogo, N. A. (2022). Akumulasi Logam Berat Cd Pada Matriks Air, Sedimen, Dan Ikan Nilem (*Osteochilus Hasselti*) Di Sungai Tajum Kabupaten Banyumas Jawa Tengah. *Agritech: Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 24(2), 174-184.
- Idris, M., & Triani, M. (2023). Kausalitas Sumber Daya Manusia, Urbanisasi Dan Modal Manusia di Indonesia. *Jurnal Kajian Ekonomi dan Pembangunan*, 5(1), 45-54.
- Ismi, L. N., Elfidasari, D., Puspitasari, R. L., & Sugoro, I. (2019). Kandungan 10 Jenis Logam Berat Pada Daging Ikan Sapu-Sapu (*Pterygoplichthys Pardalis*) Asal Sungai Ciliwung Wilayah Jakarta. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi*, 5(2), 56-59.
- Istiqoh, R. D. (2017). *Perubahan Histopatologi Insang Ikan Keting (Mystus Nigriceps) Yang Terakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) Di Perairan Sekitar Muara Sungai Ketingan Sidoarjo, Jawa Timur* (Doctoral Dissertation, Universitas Airlangga).
- Katayama, K. (2020). Zinc and protein metabolism in chronic liver diseases. *Nutrition Research*, 74, 19.
- Mabuat, J. C., Maddusa, S. S., & Boky, H. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Arsen (As) Pada Air, Ikan, Kerang, Dan Sedimen Di Daerah Aliran Sungai Tondano Tahun 2017. *Kesmas*, 6(3).
- Maddusa, S. S., Papatungan, M. G., Syarifuddin, A. R., Maambuat, J., & Alla, G. (2017). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Zink (Zn) Dan Arsen (As) Pada Ikan Dan Air Sungai Tondano, Sulawesi Utara. *Al-Sihah: The Public Health Science Journal*.
- Masito, N., Ridho, M., & Patriono, E. (2022). *Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Daging Ikan Gulamah (Johnius Trachycephalus Bleeker) Yang Didaratkan Di Desa Sungsang Kec Banyuasin 2, Sumatera Selatan* (Doctoral Dissertation, Sriwijaya University).
- Mast, A. E., Szabo, A., Stone, M., Cable, R. G., Spencer, B. R., Kiss, J. E., & NHLBI Recipient Epidemiology Donor Evaluation Study (REDS)-III. (2020). The benefits of iron supplementation following blood donation vary with baseline iron status. *American journal of hematology*, 95(7), 784-791.

- Munandar, K., & Eurika, N. (2016). Keanekaragaman Ikan Yang Bernilai Ekonomi Dan Kandungan Logam Berat Pb Dan Cd Pada Ikan Sapu-Sapu Di Sungai Bedadung Jember. In *Proceeding Biology Education Conference* (Vol. 13, No. 1, Pp. 717-722).
- Nasrun, D., Rinidar, R., & Tr, T. A. (2017). Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) Pada Insang Ikan Cendro (*Tylosurus Crocodilus*) Di Pesisir Krueng Raya Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*, 1(3), 258-264.
- Nasution, S. A. P. (2021). *Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Ikan Lidah (Cynoglossus Lingua) Di Perairan Belawan Provinsi Sumatera Utara* (Doctoral Dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Nuraeni, A., Samosir, A., & Sulistiono, S. (2021). Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Hati Ikan Patin (*Pangasius Djambal*) Di Waduk Saguling, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 12(2), 113-123.
- Okewale, I. A., & Grobler, H. (2023). Assessment of heavy metals in tailings and their implications on human health. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(4), 100203.
- Oladoye, P. O., Olowe, O. M., & Asemoloye, M. D. (2022). Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature. *Chemosphere*, 288, 132555.
- Ozyildirim, S., & Baltaci, S. B. (2023). Cardiovascular diseases and zinc. *Biological Trace Element Research*, 201(4), 1615-1626.
- Pajarillo, E. A. B., Lee, E., & Kang, D. K. (2021). Trace metals and animal health: Interplay of the gut microbiota with iron, manganese, zinc, and copper. *Animal Nutrition*, 7(3), 750-761.
- Paundanan, M., Riani, E., & Anwar, S. (2015). Kontaminasi Logam Berat Merkuri (Hg) Dan Timbal (Pb) Pada Air, Sedimen Dan Ikan Selar Tetengkek (*Megalaspis Cordyla* L) Di Teluk Palu, Sulawesi Tengah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal Of Natural Resources And Environmental Management)*, 5(2), 161-161.
- Priatna, D. E., Purnomo, T., & Kuswanti, N. (2016). Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Dan Ikan Bader (*Barbonymus Gonionotus*) Di Sungai Brantas Wilayah Mojokerto. *Lentera Bio*, 5(1), 48-53.
- Priyanto, N., & Ariyani, F. (2008). Kandungan Logam Berat (Hg, Pb, Cd, Dan Cu) Pada Ikan, Air, Dan Sedimen Di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 3(1), 69-78.
- Proshad, R., Zhang, D., Uddin, M., & Wu, Y. (2020). Presence of cadmium and lead in tobacco and soil with ecological and human health risks in Sichuan province, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 18355-18370.
- Purwanto, A. I., Prihatmo, G., & Pakpahan, S. (2020). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Dan Ikan Bawal (*Colossoma Macropomum*) Di Sungai Winongo, Yogyakarta. *Sciscitatio*, 1(2), 70-78.

- Ruspa, I., Wike, A. E. P., & Rezi, A. (2021). *Akumulasi Logam Berat Hg, Pb Dan Cu Pada Daging Dan Insang Ikan Belanak (Mugil Cephalus) Di Muara Sungai Musi Sumatera Selatan* (Doctoral Dissertation, Sriwijaya University).
- Santoso, H. B., & Hidayatullah, B. S. S. (2021). Aplikasi Biomarker Histopatologi Hati Dan Ginjal Ikan Timpakul (*Periophthalmodon Schlosseri*) Sebagai Peringatan Dini Toksisitas Logam Berat Timbal (Pb) Di Muara Sungai Barito. In *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 6, No. 3).
- Saputra, W. I., Hasyim, M., & Junus, F. G. (2020). Perspektif Media Prancis dalam Pemberitaan Pencemaran Air di Indonesia. *Al-Munzir*, 13(1), 19-34.
- Sari, A., Hidayat, D., & Juliasih, N. L. G. R. (2017). Kajian Kandungan Logam Berat Kromium (Cr) Dan Mangan (Mn) Pada Ikan Teri Kering (*Stolephorus Sp.*) Di Pesisir Teluk Lampung Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Analit: Analytical And Environmental Chemistry*, 2(2).
- Sarkar, M. M., Rohani, M. F., Hossain, M. A. R., & Shahjahan, M. (2022). Evaluation of heavy metal contamination in some selected commercial fish feeds used in Bangladesh. *Biological Trace Element Research*, 1-11.
- Seelos, M., Beutel, M., Austin, C. M., Wilkinson, E., & Leal, C. (2021). Effects of hypolimnetic oxygenation on fish tissue mercury in reservoirs near the new Almaden Mining District, California, USA. *Environmental Pollution*, 268, 115759.
- Siboro, N. S., Sitorus, H., & Lesmana, I. (2016). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Ikan Pelagis Kecil Yang Didaratkan Di Pps Belawan Kecamatan Medan Belawan Sumatera Utara. *Aquacoastmarine*, 14(4), 52-58.
- Sitorus, R. M., Barus, T. A., & Ilyas, S. (2013). Ikan Batak (*Neolissochillus Sumatranus*) Sebagai Bioindikator Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Dan Cadmium (Cd) Di Perairan Sungai Asahan Sumatera Utara. *Jbio: Jurnal Biosains (The Journal Of Biosciences)*, 1(2), 67-79.
- Tanamal, C., Blais, J. M., Yumvihoze, E., & Chan, H. M. (2021). Health risk assessment of inorganic arsenic exposure through fish consumption in Yellowknife, Northwest Territories, Canada. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 27(4), 1072-1093.
- Tanjung, R. H. R., Suwito., Purnamasari, V., Dan Suharno.(2019). Analisis Kandungan Logam Berat Pada Ikan Kakap Putih (*Lates Calcarifer*) Di Perairan Mimika Papua. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 256-263.
- Tumolo, M., Ancona, V., De Paola, D., Losacco, D., Campanale, C., Massarelli, C., & Uricchio, V. F. (2020). Chromium pollution in European water, sources, health risk, and remediation strategies: An overview. *International journal of environmental research and public health*, 17(15), 5438.
- Usman, S., La Nafie, N., & Ramang, M. (2013). Distribusi Kuantitatif Logam Berat Pb Dalam Air, Sedimen Dan Ikan Merah (*Lutjanus Erythropterus*) Di Sekitar Perairan Pelabuhan Parepare. *Marina Chimica Acta*, 14(2).

- Wandi, A., Kantun, W., & Awaluddin, A. (2021). Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Ikan Bungo (*Glossogobius Giuris*) Yang Ditangkap Di Danau Tempe. *Siganus: Journal Of Fisheries And Marine Science*, 3(1), 182-187.
- Wiesmann, N., Tremel, W., & Brieger, J. (2020). Zinc oxide nanoparticles for therapeutic purposes in cancer medicine. *Journal of Materials Chemistry B*, 8(23), 4973-4989.
- Wigati, S. A., Kilawati, Y., & Pi, S. (2021). *Status Histologi Insang Ikan Wader (Rasbora Argyrotaenia) Di Sungai Metro Kepanjen, Malang Yang Mengandung Logam Berat Kromium (Cr)* (Doctoral Dissertation, Universitas Brawijaya).
- Yulaipi, S., & Aunurohim, A. (2013). Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Hubungannya Dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis Mossambicus*). *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 2(2), E166-E170.
- Zulfahmi, I., Nasution, D. N., Nisa, K., & Akmal, Y. (2020). Logam Berat Pada Hiu Tikus (*Alopias Pelagicus*) Dan Hiu Kejen (*Loxodon Macrorhinus*) Dari Pelabuhan Perikanan Samudera Lampulo, Banda Aceh. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(1), 47-57.
- Zulkarnain, M. N. F., Rahardja, B. S., & Alamsjah, M. A. (2013). Studi Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Spesies Ikan Kembung (*Rastrelliger Kanagurta*) Dan Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Di Perairan Manyar, Gresik Dan Di Perairan Jabon, Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan Vol*, 5(1).
- Zulkipli, S. Z., Liew, H. J., Ando, M., Lim, L. S., Wang, M., Sung, Y. Y., & Mok, W. J. (2021). A review of mercury pathological effects on organs specific of fishes. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 33(1), 76-87.