

TEMUAN AKUMULASI LOGAM BERAT PADA IKAN DENGAN METODE ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY (AAS)

Febiana Natasha ^{*1}

Gery Pratama ²

Hilfi Pardi ³

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Indonesia

*e-mail: febia6616@gmail.com ¹, gerypatama0606@gmail.com ², hilfipardi@umrah.ac.id ³

Abstrak

Pencemaran air oleh logam berat memiliki dampak serius terhadap kehidupan akuatik, khususnya ikan, karena logam berat dapat merusak organisme tersebut. Penelitian ini berfokus pada penggunaan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kandungan logam berat pada ikan. Melalui tinjauan literatur sistematis, ditemukan bahwa sungai merupakan perairan yang paling sering terkontaminasi oleh logam berat di seluruh dunia. Terdapat 13 jenis logam berat yang sering terakumulasi pada ikan, antara lain timbal, merkuri, kadmium, tembaga, kromium, perak, arsenik, kobalt, mangan, nikel, seng, besi, dan selenium. Hasil analisis menggunakan metode AAS menunjukkan konsentrasi logam berat yang sangat tinggi pada tubuh ikan. Selain itu, satu spesies ikan dapat mengandung lebih dari 2 jenis logam berat. Oleh karenanya, metode AAS dalam mengidentifikasi logam berat dinilai bagus sebelum melakukan pengembangan lebih lanjut dalam penanganan pencemaran logam berat dalam perairan dan melindungi kesehatan ekosistem akuatik.

Kata kunci: logam berat, ikan, perairan, AAS

Abstract

Water pollution by heavy metals has a serious impact on aquatic life, especially fish, as heavy metals can damage these organisms. This study focuses on the use of Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method to identify and analyse heavy metal content in fish. Through a systematic literature review, it was found that rivers are the most frequently contaminated waters by heavy metals worldwide. There are 13 types of heavy metals that often accumulate in fish, including lead, mercury, cadmium, copper, chromium, silver, arsenic, cobalt, manganese, nickel, zinc, iron, and selenium. Analyses using the AAS method showed very high concentrations of heavy metals in fish. In addition, one fish species can contain more than 2 types of heavy metals. Therefore, the AAS method in identifying heavy metals is considered good before further development in handling heavy metal pollution in waters and protecting the health of aquatic ecosystems.

Keywords: heavy metals, fish, waters, AAS

PENDAHULUAN

Ikan, sebagai sumber protein pangan, memiliki kekurangan karena tidak dapat bertahan lama. Kehandalannya sebagai komoditas cepat berkurang sehingga membutuhkan proses pengolahan tambahan (Zakariya, 2020). Ada berbagai teknik pengolahan ikan yang dapat diterapkan, seperti pembuatan abon, bakso, *nugget*, pengalengan, pengasinan, dan sejenisnya (Yuwono, Fibrianto, & Wulandari, 2020). Keberadaan industri ini memberikan nilai tambah pada hasil tangkapan ikan, mengubahnya menjadi komoditas dengan nilai jual yang tinggi (Arif, Purwangka, & Muningsgar, 2020).

Akan tetapi, realitasnya, penggunaan ikan sebagai bahan baku produk olahan terhambat oleh air yang tercemar. Dalam Peraturan Pemerintah RI No. 82 tahun 2001, dijelaskan bahwa pencemaran air merupakan proses terhimpunnya komponen asing ke dalam perairan sebagai dampak aktivitas manusia sehingga kualitas air menurun dan tidak lagi bisa dikonsumsi (Karila et al., 2022). Pencemaran air dapat disebabkan oleh faktor internal (berasal dari alam, seperti dekomposisi sampah organik dan perubahan fungsi lahan, seperti erosi di hulu sungai) dan faktor eksternal (ulah manusia)(I Wayan Eka Artajaya, 2022).

Pencemaran air, khususnya oleh logam berat, memiliki dampak yang signifikan pada komponen kehidupan, terutama ikan, karena logam berat merupakan zat beracun yang dapat merusak organisme akuatik (Yuni, 2020). Kegiatan pertambangan, peleburan logam, industri lainnya, limbah domestik yang mengandung logam, serta penggunaan pupuk dengan kandungan logam menjadi sumber utama pencemaran logam berat pada wilayah perairan (Rahayu & Mangkoedihardjo, 2022).

Pada tubuh makhluk hidup, logam berat dapat masuk melalui dua jalur utama, yakni secara langsung dari lingkungan abiotik seperti air dan sedimen, atau melalui makanan yang mereka konsumsi. Sebagai contoh, dengan insang, makanan ataupun kulitnya, ikan dapat menyerap langsung logam berat (Soegianto, 2023). Jika logam berat tersebut terakumulasi dalam jumlah besar pada organ ikan, kemudian ikan tersebut dikonsumsi oleh manusia akan berakibat buruk pada kesehatan. Jenis makanan seperti ini perlu diperhatikan oleh manusia karena akan menentukan kesehatannya (Kusumawati, Setiani, & Joko, 2020).

Sebagai ilustrasi, apabila seseorang mengonsumsi ikan yang terkontaminasi logam berat, seperti timbal (Pb), logam ini akan mengakumulasinya dalam tubuh makhluk hidup dalam kurun waktu yang lama, mengakibatkan risiko kesehatan yang memburuk dalam waktu pendek. Dalam waktu yang pendek, paparan timbal akan berakibat pada sakit perut, hipertensi, kekurangan darah merah atau anemia, sakit kepala, gangguan pendengaran, menurunnya berat badan, kesulitan tidur, iritasi, hilangnya nafsu makan, dan otot yang melemah. Sementara itu, organ otak dan ginjal pada orang dewasa yang rusak, keguguran pada wanita hamil, fertilitas yang menurun pada pria, kelumpuhan, kanker, koma, hingga kematian merupakan dampak jangka panjang dari paparan timbal (Safitri, Riswanda, & Armanda, 2022).

Untuk mengidentifikasi kandungan logam berat dalam ikan, dapat digunakan metode AAS, yang merupakan singkatan dari *Atomic Absorption Spectrophotometry*. AAS dapat diartikan sebagai teknik analisis kuantitatif yang memanfaatkan pengukuran penyerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam kondisi bebas (Alisa, Albirqi P, & Faizal, 2020). Prinsip dasar AAS ini adalah mengatomisasi sampel cairan menggunakan nebulizer. Nebulizer tersebut menyedot larutan sampel dan tetesan halus sebagai hasil yang disemprot ke dalam pembakar atom yang sedang hidup (Zahro, Rahmasari, Nur, & Wirasti, 2023). Mengingat kemampuannya dalam mendeteksi unsur dalam suatu sampel, metode AAS menjadi relevan dalam mengangkat topik identifikasi logam berat, khususnya pada ikan. Penulisan ini bertujuan untuk menganalisis logam berat yang mencemari ikan dan mengidentifikasi konsentrasi logam berat pada ikan dengan memanfaatkan metode AAS.

METODE

Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur sistematis sebagai metode penelitian. Penelitian ini sendiri tidak terikat oleh tempat karena data-data didapatkan secara *online*. Adapun waktu penelitian dimulai dari tanggal 30 November-13 Desember 2023. Ada tiga tahapan menurut (Larasati, Yusril, & Zukri, 2021) dalam penggunaan metode ini, yakni tahap perencanaan, tahap tinjauan dan tahap melaporkan hasil.



Gambar 1. Tahapan dalam Metode Tinjauan Literatur Sistematis

Mula-mula, Research Question (RQ) disusun guna merancang berjalannya penelitian. Ada tiga RQ yang mendasari penelitian yakni apa saja jenis perairan yang tercemari logam

berat? (RQ1), apa saja jenis logam berat yang mengakumulasi pada ikan? (RQ2), dan bagaimana hasil akumulasi logam berat pada ikan dengan metode AAS? (RQ3).

Selanjutnya, pada tahap tinjauan, dilaksanakan identifikasi topik terlebih dahulu dengan tiga cara. Tiga cara yang dimaksud adalah mengidentifikasi kata kunci, penentuan data, dan pencarian data. Ada 3 penggunaan kata kunci dalam penelitian ini yakni *heavy metal*, *fish*, *contamination*, dan *waters*. Kata kunci ini kemudian digunakan pada *website* Google Scholar, Scencedirect, dan Linkspringer. Dengan kata kunci ini, didapatkan 275 artikel dari tahun 2019-2023.

Data-data yang diperoleh kemudian dilakukan seleksi berdasar kriteria inklusi dan kriteria eksklusi. Proses penyeleksian ini dilakukan dengan membaca judul dan abstrak yang ada pada artikel. Adapun kriteria inklusi dari penelitian ini adalah fokus penelitian pada jenis logam berat yang terakumulasi pada ikan, setidaknya dua RQ dapat terjawab dari setiap artikel, dan artikelnya berbahasa Inggris. Sementara itu, kriteria eksklusi yakni kebalikan dari kriteria inklusi.

Data yang merupakan artikel kemudian diberi penilaian terhadap kualitasnya. Tujuan penelitian yang jelas dan selaras dengan hasil menjadi parameter pada penilaian kualitas. Data dengan kualitas yang baik akan diekstraksi sesuai dengan RQ.

Tahap yang terakhir adalah melaporkan hasil. Dalam penyajian hasil, terdapat 30 artikel yang menjadi data paling akhir. Dengan 28 dari 30 artikel dapat menjawab RQ1 terkait perairan yang tercemari logam berat. Kemudian, dengan keseluruhan total artikel, RQ2 dapat terjawab mengenai jenis-jenis logam berat yang terakumulasi pada ikan. Terakhir, RQ3 dapat terjawab dengan 30 artikel mengenai hasil analisis besarnya logam berat yang terakumulasi pada ikan dengan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari tinjauan yang telah dilakukan didapatkan hasil penelitian seperti gambar berikut
Tabel 1. Hasil Tinjauan Literatur Sistematis

No.	RQ1	RQ2	RQ3	Referensi
1.	Perairan Pesisir di Teluk Banten	1. Timbal (Pb) 2. Merkuri (Hg) 3. Kadmium (Cd) 4. Tembaga (Cu)	1. Timbal < 0,030 mg/kg. 2. Merkuri < 0,001 mg/kg. 3. Kadmium < 0,005 mg/k 4. Tembaga 0,699 – 10,920 mg/kg.	(Lestari, Sulistiono, & Effendi, 2021)
2.	Danau Tempe, Sidenreng, dan Lapompakka	Timbal (Pb) Kadmium (Cd)	Tidak terdeteksi akumulasi logam Timbal dan Kadmium pada ikan di Danau Tempe, Sidenreng, dan Lapompakka (0,000 mg/kg)	(Rahim et al., 2022)
3.	Danau Maninjau, Sumatra Barat	1. Timbal (Pb) 2. Merkuri (Hg) 3. Kromium (Cr) 4. Perak (Ag) 5. Arsenik (As) 6. Tembaga (Cu)	Spesies <i>Osphronemus goramy</i> 1. Timbal (Pb) 185 mg/kg 2. Merkuri (Hg) 0,43 mg/kg 3. Kromium (Cr) < 5 mg/kg 4. Perak (Ag) < 14,66 mg/kg 5. Arsenik (As) 0,43 mg/kg 6. Tembaga (Cu) 83 mg/kg Spesies <i>Cyprinus carpio</i> 1. Timbal (Pb) 152 mg/kg 2. Merkuri (Hg) < 0,50 mg/kg 3. Kromium (Cr) 50 mg/kg 4. Perak (Ag) 15 mg/kg 5. Arsenik (As) < 0,50 mg/kg 6. Tembaga (Cu) 121 mg/kg Spesies <i>Oreochromis niloticus</i> 1. Timbal (Pb) 149 mg/kg 2. Merkuri (Hg) < 0,50 mg/kg	(Syandri, Azrita, Mardiah, & Elfrida, 2023)

			3. Kromium (Cr) 50 mg/kg 4. Perak (Ag) 15 mg/kg 5. Arsenik (As) < 0,50 mg/kg 6. Tembaga (Cu) 160 mg/kg	
4.	Perairan Laut di Tuban, Jawa Timur	Timbal (Pb)	Konsentrasi timbal (Pb) pada ikan Mackerel Tuna segar berkisar 0.33 – 14.41 mg/kg. Konsentrasi timbal (Pb) pada ikan Mackerel Tuna asap berkisar 1.30 – 22.20 mg/kg.	(Megasari et al., 2019)
5.	Danau Tempe, Kabupaten Wajo	Timbal (Pb)	1. Konsentrasi timbal (Pb) pada daging ikan sebesar 0,07 – 4,73 ppm dengan rata-rata $2,25 \pm 1,76$. 2. Konsentrasi timbal (Pb) pada ginjal ikan sebesar 6,52 – 435,30 ppm and $101,26 \pm 137,86$.	(Risna, Andriani, Ashraf, Omar, & Sari, 2020)
6.	Sungai dan Ogun Eleyele, Nigeria	1. Arsenik (As) 2. Kadmium (Cd) 3. Kobalt (Co) 4. Kromium (Cr) 5. Mangan (Mn) 6. Nikel (Ni) 7. Timbal (Pb)	Logam berat memiliki konsentrasi pada spesies ikan <i>Clarias gariepinus</i> yang terdiri dari arsenik (As), kadmium (Cd), kobalt (Co), kromium (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni), dan timbal (Pb). Sedangkan, logam berat memiliki konsentrasi pada spesies ikan <i>Sarotherodon melanotheron</i> yang terdiri dari Arsenik (As), kadmium (Cd), kobalt (Co), kromium (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni) dan timbal (Pb)	(Adegbola, Aborisade, & Adetutu, 2021)
7.	Cekungan Ankrobah dan Pra	1. Timbal (Pb) 2. Merkuri (Hg) 3. Arsenik (As) 4. Kadmium (Cd)	1. Timbal (Pb) 0,04 – 0,42 mg/kg. 2. Merkuri (Hg) 0,40 – 0,60 mg/kg. 3. Arsenik (As) 0 – 0,04 mg/kg. 4. Kadmium (Cd) 0 – 0,08 mg/kg.	(Kortei et al., 2020)
8.	Sungai di wilayah Delta Niger, Nigeria	1. Nikel (Ni) 2. Kadmium (Cd) 3. Kromium (Cr) 4. Tembaga (Cu) 5. Timbal (Pb)	1. Nikel (Ni) tidak terdeteksi dalam sampel. 2. Kadmium (Cd) 24.62 ± 12.11 mg/kg. 3. Kromium (Cr) 0.43 ± 0.66 mg/kg. 4. Tembaga (Cu) 33.48 ± 15.54 mg/kg. 5. Timbal (Pb) 10.59 ± 9.12 mg/kg.	(Ihunwo, Dibofori-Orji, Olowu, & Ibezim-Ezeani, 2020)
9.	Teluk Banten	1. Merkuri (Hg) 2. Timbal (Pb) 3. Kadmium (Cd) 4. Tembaga (Cu)	1. Merkuri (Hg) < 0,030 mg/kg. 2. Timbal (Pb) < 0,005 mg/kg 3. Kadmium (Cd) < 0,001 mg/kg.	(Sagala, Sulistiono, & Batu, 2021)

			4. Tembaga (Cu) 0,224 – 0,437 mg/kg.	
10.	Teluk Banten,	1. Timbal (Pb) 2. Merkuri (Hg)	Konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada daging dan insang ikan sebesar 0 – 0,149 mg/kg. Konsentrasi logam berat merkuri (Hg) pada daging dan insang ikan sebesar 0 – 0,064 mg/kg.	(Ubay et al., 2022)
11.	Muara Sungai Blanakan	1. Kadmium (Cd) 2. Tembaga (Cu) 3. Seng (Zn)	1. Kadmium (Cd) 0,845 – 2,230 mg/kg 2. Tembaga (Cu) 0 – 18,640 mg/kg 3. Seng (Zn) 21,540 – 105,520 mg/kg	(Takarina, Purwiyanto, & Suteja, 2021)
12.	Sungai di Duduksampeyan, Gresik, Jawa Timur	Nikel (Ni)	Konsentrasi logam berat Nikel (Ni) pada insang ikan <i>Barbonymus gonionotus</i> sebesar 1,85095 ppm. Konsentrasi logam berat Nikel (Ni) pada hati ikan <i>Barbonymus gonionotus</i> sebesar 4,3982 ppm.	(Purwanti, Arroisi, Rahardja, & Sulmartiwi, 2019)
13.	Perairan pesisir atau Pantai Jawa Timur (Prigi dan Muncar) dan Bali (Kedonganan)	Merkuri (Hg)	Konsentrasi logam berat merkuri (Hg) pada ikan pada pesisir pantai Kedonganan sebesar $0,938 \pm 0,45$ mg/kg. Konsentrasi logam berat merkuri (Hg) pada ikan pada pesisir pantai Prigi sebesar $0,58 \pm 0,65$ mg/kg. Konsentrasi logam berat merkuri (Hg) pada ikan pada pesisir pantai Muncar tidak terdeteksi.	(Sartimbul, Amandani, Yona, & Fuad, 2021)
14.	Teluk Kao, Maluku Utara	1. Seng (Zn) 2. Tembaga (Cu) 3. Timbal (Pb) 4. Nikel (Ni) 5. Merkuri (Hg) 6. Mangan (Mn)	Konsentrasi logam berat pada ikan <i>Gerres abbreviatus</i> berdasarkan proses identifikasi pada daging, insang, dan hati: 1. Seng (Zn) 35,56 – 61,31 mg/kg. 2. Tembaga (Cu) 0,58 – 1,45 mg/kg. 3. Timbal (Pb) 0,56 – 2,85 mg/kg. 4. Nikel (Ni) 0,45 – 0,67 mg/kg. 5. Merkuri (Hg) 0,021 – 0,028 mg/kg. 6. Mangan (Mn) 0,13 – 1,06 mg/kg. Konsentrasi logam berat pada ikan <i>Parastromateus niger</i> berdasarkan proses identifikasi pada daging, insang, dan hati: 1. Seng (Zn) 35,68 – 89,86 mg/kg.	(Pertiwi, Iksan, & Ariyanto, 2021)

			2. Tembaga (Cu) 0 – 0,99 mg/kg.	
			3. Timbal (Pb) 1,19 – 2,89 mg/kg.	
			4. Nikel (Ni) 0,02 – 0,80 mg/kg.	
			5. Merkuri (Hg) 0,004 – 0,61 mg/kg.	
			6. Mangan (Mn) 0,15 – 0,60 mg/kg.	
15.	Teluk Kao, Maluku Utara	1. Seng (Zn) 2. Tembaga (Cu) 3. Mangan (Mn) 4. Timbal (Pb) 5. Nikel (Ni) 6. Merkuri (Hg) 7. Kadmium (Cd)	Konsentrasi logam berat pada ikan <i>Lethrinus sp</i> berdasarkan proses identifikasi pada daging dan insang ikan. 1. Seng (Zn) 27,33 – 46,44 mg/kg 2. Tembaga (Cu) 0,60 – 0,84 mg/kg 3. Mangan (Mn) 0,18 – 0,84 mg/kg 4. Timbal (Pb) 0,36 – 2,45 mg/kg 5. Nikel (Ni) 0,15 – 0,53 mg/kg 6. Merkuri (Hg) 0,013 – 0,029 mg/kg 7. Kadmium (Cd) 0 – 0,01 mg/kg Konsentrasi logam berat pada ikan <i>Caranx ignobilis</i> berdasarkan proses identifikasi pada daging dan insang. 1. Seng (Zn) 21,13 – 53,93 mg/kg 2. Tembaga (Cu) 0 – 0,08 mg/kg 3. Mangan (Mn) 0,10 – 0,39 mg/kg 4. Timbal (Pb) 1,31 – 2,62 mg/kg 5. Nikel (Ni) 0,04 – 0,78 mg/kg 6. Merkuri (Hg) 0,010 – 0,017 mg/kg 7. Kadmium (Cd) 0 – 0,02 mg/kg	(Pertiwi, Ariyanto, Edward, Lessy, & Putri, 2023)
16.	Sungai Krueng Sabee, Aceh	1. Kadmium (Cd) 2. Tembaga (Cu) 3. Timbal (Pb)	1. Logam kadmium (Cd) berada pada rentang 0.0544 – 0.2683 mg/kg 2. Logam tembaga (Cu) berada pada rentang 4.4149 – 14.8160 mg/kg 3. Logam timbal (Pb) berada pada rentang 0.9186– 15.4954 mg/kg	(Nasir et al., 2021)

17.	Instalasi Budidaya Air Tawar, Jawa Timur.	Kadmium (Cd)	Konsentrasi logam kadmium berkisar pada 0,03 dan 0,015 mg/L	(Adam, Maftuch, Kilawati, & Risjani, 2019)	
18.	Unit Pengelola Budidaya Air Tawar, Jawa Timur	Hg	-	(Hayati et al., 2019)	
19.	Sungai Nigeria	Ogun, Barat Daya	1. Timbal (Pb) 2. Kadmium (Cd) 3. Nikel (Ni) 4. Seng (Zn) 5. Mangan (Mn)	Pada insang, hati dan otot ikan <i>Oreochromis niloticus</i> , hanya ditemukan konsentrasi logam timbal, kadmium, dan mangan. Pada insang, hati dan otot ikan <i>Parachanna obscura</i> , hanya ditemukan logam kadmium, nikel, seng, dan mangan. Pada insang, hati dan otot ikan <i>Malapterurus electricus</i> , hanya ditemukan logam kadmium, nikel dan mangan. Pada insang, hati dan otot ikan <i>Chrysichthys nigrodigitatus</i> , hanya ditemukan logam mangan saja.	(Ayanda, Ekhaton, & Bello, 2019)
20.	Dachen Fishing Ground, Cina Timur	Laut	1. Seng (Zn) 2. Tembaga (Cu) 3. Arsen (As) 4. Timbal (Pb) 5. Krom (Cr) 6. Kadmium (Cd) 7. Merkuri (Hg)	Konsentrasi logam pada ikan demersal jika diurutkan dari yang tertinggi, maka seng bernilai 16,910 mg/kg, tembaga bernilai 2,810 mg/kg, arsen bernilai 0,301 mg/kg, timbal bernilai 0,264 mg/kg, krom bernilai 0,074 mg/kg, kadmium bernilai 0,067 mg/kg, dan merkuri bernilai 0,044 mg/kg.	(Huang et al., 2022)
21.	Sungai Karnaphuli, Bangladesh		1. Arsen (As) 2. Kromium (Cr) 3. Kadmium (Cd) 4. Timbal (Pb)	Pada ikan, logam berat arsen, krom, kadmium dan timbal terakumulasi dalam ikan dengan nilai masing-masing 1.59, 0.73, 0.41 and 1.13 mg/kg di musim panas dan 1.81, 0.92, 0.52 and 1.45 mg/kg di musim dingin.	(Ali et al., 2020)
22.	Pasar Ribeirão Preto, Negara Bagian São Paulo, Brasil	Kota	Merkuri (Hg)	Konsentrasi merkuri berada pada antara 2,64 – 2,94 $\mu\text{g/g}$	(Oliveira, Dias, Souza, & da Veiga, 2023)
23.	Bendungan Mangla		1. Kadmium (Cd) 2. Tembaga (Cu) 3. Krom (Cr) 4. Timbal (Pb)	Pada ikan, konsentrasi Cd sekitar $41,7 \pm 0,13 \mu\text{g/g}$, konsentrasi Cu sekitar $21,5 \pm 0,22 \mu\text{g/g}$, konsentrasi Cr sekitar $15,3 \pm 0,11 \mu\text{g/g}$ untuk bagian insang	(Khan et al., 2023)

				dan untuk bagian otaknya dan konsentrasi Pb sekitar	
24.	Pantai Laut Cox's Bazar, Bangladesh	1. Timbal (Pb) 2. Arsenik (As)		Pada ikan <i>C. punctata</i> , masing-masing memiliki konsentrasi arsen dan timbal yang tinggi yakni $3,65 \pm 0,08$ dan $3,29 \pm 0,07$ ppm. Sedangkan, pada ikan <i>H. nehereus</i> , masing-masing memiliki konsentrasi arsen dan timbal yakni 0,05 dan $3,26 \pm 0,07$ ppm.	(Billah et al., 2023)
25.	Sungai Tanguar Haor, Bangladesh	1. Besi (Fe) 2. Magnesium (Mg) 3. Krom (Cr) 4. Tembaga (Cu) 5. Seng (Zn) 6. Kadmium (Cd) 7. Timbal (Pb)		Untuk logam besi, magnesium, dan seng, konsentrasinya berpotensi meningkat. Konsentrasi Cr pada ikan <i>C. reba</i> sebanyak 0,35 mg/kg dan <i>L. caibasu</i> sebanyak 0,31 mg/kg. Konsentrasi Cu pada <i>C. reba</i> sebanyak 0,57 mg/kg. Konsentrasi Cd pada <i>C. striat</i> sebanyak 0,05 mg/kg. Konsentrasi Pb pada <i>M. armatus</i> sebanyak 0,54 mg/kg.	(Das Pinkey et al., 2024)
26.	Laguna Xincun, Laut Cina Selatan	1. Tembaga (Cu) 2. Timbal (Pb) 3. Seng (Zn) 4. Kadmium (Cd) 5. Merkuri (Hg) 6. Arsen (As) 7. Krom (Cr)		Ikan karnivora di sumbu positif 1 didominasi terkontaminasi Cd, Cr, Zn, Cu, As dan Hg dengan persentase 72,3%. Sedangkan, ikan karnivora di sumbu positif 2 didominasi terkontaminasi oleh Pb dengan persentase 13,8%	(Feng et al., 2020)
27.	Teluk Singa, Laut Mediterania Barat Laut	1. Kobalt (Co) 2. Nikel (Ni) 3. Tembaga (Cu) 4. Seng (Zn) 5. Perak (Ag) 6. Kadmium (Cd) 7. Merkuri (Hg) 8. Timbal (Pb)		Konsentrasi logam berat pada ikan teri lebih tinggi daripada ikan sarden, kecuali timbal.	(Chouvelon et al., 2019)
28.	Laut Barat Samudera Hindia	1. Merkuri (Hg) 2. Selenium (Se)		Konsentrasi Hg berkisar antara 0,050 hingga $5.79 \mu\text{g/g}$, dengan rata-rata $1,39 \pm 1.44 \mu\text{g/g}$. Selanjutnya, rerata konsentrasi Se pada otot ikan hiu adalah $0,324 \mu\text{g/g}$.	(Wang et al., 2023)
29.	Sungai di Karu, Keffi, Kokona dan Nasarawa	1. Krom (Cr) 2. Kadmium (Cd) 3. Timbal (Pb) 4. Tembaga (Cu) 5. Mangan (Mn) 6. Nikel (Ni)		Konsentrasi krom di Karu, Keffi, Kokona dan Nasarawa masing-masing berkisar $2,31 - 6,99 \text{ mg/kg}$, $2,02 - 3,32 \text{ mg/kg}$, $5,00 - 5,17 \text{ mg/kg}$, dan $2,92 - 6,86 \text{ mg/kg}$. Konsentrasi kadmium	(Mohammad & Tabugbo, 2023)

			hanya terdeteksi di Kokona berkisar 0,06 mg/kg. Konsentrasi timbal di Karu, Keffi, Kokona dan Nasarawa masing-masing berkisar 0,01 – 0,48 mg/kg, 0,08 mg/kg, 0,93 – 1,93 mg/kg, dan 0,003 – 0,24 mg/kg. Konsentrasi timbal berkisar pada 18,82 – 61,15 mg/kg di Karu, 14,86 – 33,74 mg/kg di Kokona, 3,85 – 24,52 mg/kg di Nasarawa, dan 8,48 – 16,92 mg/kg di Keffi. Konsentrasi mangan (Mn) berkisar antara 73,63 – 124,60 mg/kg di Karu, 48,79 – 99,5 mg/kg di Nasarawa, 78,52 – 85,49 mg/kg di Keffi, dan 32,07 – 60,86 mg/kg. Kandungan nikel (Ni) berkisar antara 2,48 – 3,36 mg/kg di Karu, 0,78 mg/kg di Keffi, 2,67 mg/kg di kolam Kokona, dan 1,67 mg/kg di sungai Nasarawa.	
30.	Sungai Turag di Kota Dhaka, Bangladesh	1. Krom (Cr) 2. Seng (Zn) 3. Besi (Fe) 4. Nikel (Ni) 5. Timbal (Pb) 6. Tembaga (Cu)	Konsentrasi tertinggi terdapat pada Cr. Tren penurunan konsentrasi logam pada otot ikan adalah $Cr > Zn > Fe > Ni > Pb > Cu$ untuk <i>Heteropneustes fossilis</i> , $Cr > Zn > Fe > Cu > Pb > Ni$ untuk <i>Channa punctatus</i> dan $Cr > Zn > Fe > Cu > Ni > Pb$ untuk <i>Channa striata</i> . Di antara ketiga spesies yang diteliti, konsentrasi logam berat dapat diurutkan sebagai berikut: <i>Heteropneustes fossilis</i> > <i>Channa punctatus</i> > <i>Channa striata</i> .	(Hossain et al., 2021)

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa masih banyak jenis perairan yang tercemari oleh logam berat di dunia. Mulai dari sungai, danau, teluk, waduk, pesisir laut, laguna, laut, dan instalansi perairan. Adapun perairan yang didapatkan dalam penelitian ini adalah Perairan Pesisir di Teluk Banten, Danau Tempe, Sidenreng, dan Lapompakka, Danau Maninjau di Sumatra Barat, Perairan Laut di Tuban, Danau Tempe di Kabupaten Wajo, Sungai Ogun dan Eleyele di Nigeria, Teluk Banten, Muara Sungai Blanakan, Sungai Ogun di Nigeria Barat Daya, Dachen Fishing Ground di Laut Cina Timur, Sungai Karnaphuli di Bangladesh, Sungai di Duduksampeyan, Perairan Pesisir atau Pantai Jawa Timur (Prigi dan Muncar) dan Bali (Kedonganan), Teluk Kao di Maluku Utara, Sungai Krueng Sabee di Aceh, Instalasi Budidaya Air Tawar (IBAT) di Punten, Unit Pengelola Budidaya Air Tawar di Jawa Timur, Pasar Kota Ribeirão Preto, Negara Bagian São Paulo, Brasil, Bendungan Mangla, Pantai Laut Cox's Bazar di Bangladesh, Sungai Tanguar Haor di Bangladesh, Laguna Xincun di Laut Cina Selatan, Teluk Singa di Laut Mediterania Barat Laut, Sungai di Karu, Keffi, Kokona dan Nasarawa, dan Sungai Turag di Kota Dhaka, Bangladesh. Sungai menjadi perairan yang paling sering terkontaminasi cemaran logam berat di dunia berdasarkan nama-

nama perairan di atas. Dengan adanya jenis-jenis perairan tersebut, maka RQ1 dapat terjawab dengan baik.

Selanjutnya, RQ2 dan RQ3 juga dapat terjawab dengan baik. Total logam berat yang sering mengakumulasi pada ikan adalah 13 logam berat. Adapun logam berat yang dimaksud adalah timbal, merkuri, kadmium, tembaga, kromium, perak, arsenik, kobalt, mangan, nikel, seng, besi, dan selenium. Jika dianalisis dengan metode AAS, konsentrasi logam berat yang telah terakumulasi pada ikan sangat tinggi. Selain itu, dalam satu spesies ikan mampu mengandung lebih dari 2 jenis logam berat di tubuhnya.

Ikan yang terakumulasi logam berat akan membahayakan keberhasilan kehidupannya. Sifatnya yang toksik dapat memberikan pengaruh yang negatif pada pertumbuhan individu, fungsi fisiologis, mortalitas, dan reproduksi pada ikan (Fatima et al., 2020). Logam berat ini bisa terakumulasi melalui insang, jalur pencernaan, dan permukaan tubuh. Jika ikan dikonsumsi oleh manusia dan organisme lainnya, akan berakibat buruk pada kesehatan tubuh.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, simpulan yang dapat ditarik adalah masih banyak tempat-tempat perairan yang tercemari oleh logam berat. Perairan yang paling dominan tercemari oleh logam berat adalah sungai. Selanjutnya, ada 13 logam berat yang mengakumulasi dalam ikan di mana setiap spesies bisa mengandung lebih dari 2 logam berat. Hasil penelitian dengan menggunakan metode AAS menunjukkan bahwasannya konsentrasi logam berat yang terkandung dalam ikan sangat tinggi sehingga akan membahayakan kesehatan ikan, manusia dan organisme lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M. A., Maftuch, M., Kilawati, Y., & Risjani, Y. (2019). The effect of cadmium exposure on the cytoskeleton and morphology of the gill chloride cells in juvenile mosquito fish (*Gambusia affinis*). *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45(4), 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.11.011>
- Adegbola, I. P., Aborisade, B. A., & Adetutu, A. (2021). Health risk assessment and heavy metal accumulation in fish species (*Clarias gariepinus* and *Sarotherodon melanotheron*) from industrially polluted Ogun and Eleyele Rivers, Nigeria. *Toxicology Reports*, 8, 1445–1460. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.07.007>
- Ali, M. M., Ali, M. L., Proshad, R., Islam, S., Rahman, Z., Tusher, T. R., ... Al, M. A. (2020). Heavy metal concentrations in commercially valuable fishes with health hazard inference from Karnaphuli river, Bangladesh. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(10), 2646–2662. <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1676635>
- Alisa, C. A. G., Albirqi P, M. S., & Faizal, I. (2020). Kandungan Timbal dan Kadmium pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Untung Jawa, Jakarta. *Akuatika Indonesia*, 5(1), 21. <https://doi.org/10.24198/jaki.v5i1.26523>
- Arif, M., Purwangka, F., & Muningsgar, R. (2020). Analisis Risiko Perencanaan Industri Pengolahan Ikan di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Kutaraja. *Akuatika Indonesia*, 5(2), 55. <https://doi.org/10.24198/jaki.v5i2.27635>
- Ayanda, I. O., Ekhatior, U. I., & Bello, O. A. (2019). Determination of selected heavy metal and analysis of proximate composition in some fish species from Ogun River, Southwestern Nigeria. *Heliyon*, 5(10), e02512. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02512>
- Billah, M. M., Khan, A., Sikdar, B., Alam, M. S., Acharjee, U. K., & Hasan, M. F. (2023). Detection of heavy metals from *Harpodon nehereus*, *Channa punctata* and *Pampus chinensis* dried fishes and toxicity study of *Channa punctata* on embryonic zebrafish. *Journal of King Saud University - Science*, 35(10), 102963. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102963>
- Chouvelon, T., Strady, E., Harmelin-Vivien, M., Radakovitch, O., Brach-Papa, C., Crochet, S., ... Chiffolleau, J.-F. (2019). Patterns of trace metal bioaccumulation and trophic transfer in a

- phytoplankton-zooplankton-small pelagic fish marine food web. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 1013–1030. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.047>
- Das Pinkey, P., Nesha, M., Bhattacharjee, S., Chowdhury, M. A. Z., Fardous, Z., Bari, L., & Koley, N. J. (2024). Toxicity risks associated with heavy metals to fish species in the Transboundary River – Linked Ramsar Conservation Site of Tanguar Haor, Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269, 115736. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115736>
- Feng, W., Wang, Z., Xu, H., Zhang, D., Zhang, H., & Zhu, W. (2020). Species-specific bioaccumulation of trace metals among fish species from Xincun Lagoon, South China Sea. *Scientific Reports*, 10(1), 21800. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77917-y>
- Hayati, A., Wulansari, E., Armando, D. S., Sofiyanti, A., Amin, M. H. F., & Pramudya, M. (2019). Effects of in vitro exposure of mercury on sperm quality and fertility of tropical fish *Cyprinus carpio* L. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45(2), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.06.005>
- Hossain, M. N., Rahaman, A., Hasan, M. J., Uddin, M. M., Khatun, N., & Shamsuddin, S. M. (2021). Comparative seasonal assessment of pollution and health risks associated with heavy metals in water, sediment and Fish of Buriganga and Turag River in Dhaka City, Bangladesh. *SN Applied Sciences*, 3(4), 509. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04464-0>
- Huang, H., Li, Y., Zheng, X., Wang, Z., Wang, Z., & Cheng, X. (2022). Nutritional value and bioaccumulation of heavy metals in nine commercial fish species from Dachen Fishing Ground, East China Sea. *Scientific Reports*, 12(1), 6927. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10975-6>
- I Wayan Eka Artajaya, N. K. F. P. P. (2022). FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB TERJADINYA PENCEMARAN AIR DI SUNGAI BINDU. *Jurnal Hukum Saraswati (JHS)*, 3(2). <https://doi.org/10.36733/jhshs.v3i2.2961>
- Ihunwo, O. C., Dibofori-Orji, A. N., Olowu, C., & Ibezim-Ezeani, M. U. (2020). Distribution and risk assessment of some heavy metals in surface water, sediment and grey mullet (*Mugil cephalus*) from contaminated creek in Woji, southern Nigeria. *Marine Pollution Bulletin*, 154, 111042. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111042>
- Karila, R. J., Fadilah, M., Darrusyamsu, R., Farma, S. A., Fitri, R., & Selaras, G. H. (2022). Mini Riset Uji Fisik Sederhana Keefektifan Eco-enzyme untuk Pencemaran Air. *Symbiotic: Journal of Biological Education and Science*, 3(2), 83–89. <https://doi.org/10.32939/symbiotic.v3i2.75>
- Khan, B. N., Ullah, H., Ashfaq, Y., Hussain, N., Atique, U., Aziz, T., ... Alasmari, A. F. (2023). Elucidating the effects of heavy metals contamination on vital organ of fish and migratory birds found at fresh water ecosystem. *Heliyon*, 9(11), e20968. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20968>
- Kortei, N. K., Heymann, M. E., Essuman, E. K., Kpodo, F. M., Akonor, P. T., Lokpo, S. Y., ... Tettey, C. (2020). Health risk assessment and levels of toxic metals in fishes (*Oreochromis niloticus* and *Clarias anguillaris*) from Ankobrah and Pra basins: Impact of illegal mining activities on food safety. *Toxicology Reports*, 7, 360–369. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.02.011>
- Kusumawati, D., Setiani, O., & Joko, T. (2020). Analisis Frekuensi Konsumsi Makanan Laut dan Kandungan Logam berat Pb dalam Darah Wanita Usia Subur (WUS) di Wilayah Kerja Puskesmas Bandarharjo. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 8(5), 687–693. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jkm.v8i5.27988>
- Larasati, I., Yusril, A. N., & Zukri, P. Al. (2021). Systematic Literature Review Analisis Metode Agile Dalam Pengembangan Aplikasi Mobile. *Sistemasi*, 10(2), 369. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v10i2.1237>
- Lestari, K. O., Sulistiono, S., & Effendi, H. (2021). Heavy metal (Hg, Cd, Pb, Cu) in the long whiskered catfish (*Mystus gulio* Hamilton, 1822) in Bojonegara Coastal Waters of Banten Bay, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 869(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/869/1/012011>

- Megasari, M., Wahyono, P., Latifa, R., Waluyo, L., Fauzi, A., & Setyawan, D. (2019). Lead (Pb) Level of Fresh and Smoked Mackerel Tuna (*Euthynnus affinis*) in Tuban, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 276(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/276/1/012032>
- Mohammad, I. A., & Tabugbo, B. I. (2023). Assessment of Heavy Metal Content in Fish Obtained from Selected Rivers Assessment of Heavy Metal Content in Fish Obtained from Selected Rivers and Ponds of Nasarawa West Region , Nasarawa State. *Progress in Chemical and Biochemical Research*, 6(3), 244–260. <https://doi.org/10.48309/pcbr.2023.409486.1270>
- Nasir, M., Muchlisin, Z., Saiful, S., Suhendrayatna, S., Munira, M., & Iqhrammullah, M. (2021). Heavy Metals in the Water, Sediment, and Fish Harvested from the Krueng Sabee River Aceh Province, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 22(9), 224–231. <https://doi.org/10.12911/22998993/141643>
- Oliveira, T. A. S., Dias, R. K. S., Souza, L. R. R., & da Veiga, M. A. M. S. (2023). The effect of selenium co-ingestion on mercury bioaccessibility in contaminated fish of the Amazon region. *Environmental Advances*, 14, 100450. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100450>
- Pertiwi, R. T. A., Ariyanto, D., Edward, Lessy, M. R., & Putri, B. (2023). Significant metal buildup within the organs of *Lethrinus* sp. and *Caranx ignobilis* (Forsskal 1775) from Kao Bay waters, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1260(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1260/1/012046>
- Pertiwi, R. T. A., Iksan, K. H., & Ariyanto, D. (2021). Accumulation and distribution of heavy metals in *Gerres abbreviatus* (Bleeker 1850) and *Parastromateus niger* (Bloch, 1795) in Kao Bay, North Maluku, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 890(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/890/1/012010>
- Purwanti, I., Arroisi, W., Rahardja, B. S., & Sulmartiwi, L. (2019). Bioaccumulation and histopathological effect on the gills and liver of silver barb (*Barbonymus gonionotus*) exposed to the heavy metal nickel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236, 012098. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/236/1/012098>
- Rahayu, D. R., & Mangkoedihardjo, S. (2022). Kajian Bioaugmentasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Perairan Menggunakan Bakteri (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Sungai Krueng Sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), 2301–9271. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i1.82791>
- Rahim, S. W., Sriramadani, N., Kudsiah, H., Suwarni, Nadiarti, & Yanuarita, D. (2022). Analysis of lead (Pb) and cadmium (Cd) concentration in Tawes Fish *Barbonymus gonionotus* (Bleeker, 1850) in Lakes of Tempe, Sidenreng and Lapompakka, South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1119(1), 012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1119/1/012087>
- Risna, A., Andriani, I., Ashraf, A., Omar, S. B. A., & Sari, D. K. (2020). Histopathological Study of Kidney and Meat of Bungo Fish (*Glossogobius* sp) contaminated by Lead Metal (Pb) in Lake Tempe, Wajo Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 486(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/486/1/012011>
- Safitri, R., Riswanda, J., & Armanda, F. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Organ-Organ Ikan Baung (*Hemibagrus nemurus*) Di Perairan Sungai Musi Kota Palembang Dan Sumbangasihnya Pada Materi Perubahan Lingkungan Kelas X SMA/MA. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi*, 5(1), 94–101. Retrieved from <http://proceedings.radenfatah.ac.id/index.php/semnaspbio>
- Sagala, L., Sulistiono, & Batu, D. T. F. L. (2021). Heavy metal contents of Hg, Cd, Pb, and Cu in splendid ponyfish *Eubleekeria splendens* (Cuvier, 1829) meat in Banten Bay, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 322, 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132201022>
- Sartimbul, A., Amandani, J. A., Yona, D., & Fuad, M. A. Z. (2021). Mercury content of *Sardinella lemuru* caught in East Java and Bali waters. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1),

012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012004>
- Soegianto, A. (2023). *Dampak Logam Berat terhadap Biologi Ikan* (1st ed.). Pekalongan: PT Nasya Expanding Management.
- Syandri, H., Azrita, Mardiah, A., & Elfrida. (2023). Isolation and Analysis of Heavy Metal Content in Scales from Three Species of Farmed Fish in Lake Maninjau. *BIO Web of Conferences*, 74, 01002. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237401002>
- 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>
- Ubay, M., Sulistiono, Lumbanbatu, D., Affandi, R., Riani, E., Subhan, B., ... Wahyudewantoro, G. (2022). Heavy metal content (Pb, Hg) in threadfin bream (*Nemipterus* sp.) from Banten Bay, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1119(1), 012088. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1119/1/012088>
- Wang, M.-H., Chen, C.-F., Albarico, F. P. J. B., Tsai, W.-P., Chen, C.-W., & Dong, C.-D. (2023). Mercury and selenium concentrations and their toxicological implications in silky sharks *Carcharhinus falciformis* (Elasmobranchii: Chondrichthyes) in the northwestern Indian Ocean. *Regional Studies in Marine Science*, 66, 103165. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103165>
- Yuni, D. P. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59–65.
- Yuwono, S. S., Fibrianto, K., & Wulandari, E. S. (2020). *Teknologi Pengolahan Pada Industri Ikan dan Hasil Laut* (1st ed.). Malang: Media Nusa Creative.
- Zahro, K., Rahmasari, K. S., Nur, A. V., & Wirasti, W. (2023). Analysis of Cr and Pb in Green Mussels from the Fish Auction Site, Klidang Lor, Batang Using AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(3), 262–268.
- Zakariya, A. F. (2020). Pemberdayaan Nelayan dalam Mambangun Kekuatan Ekonomi Melalui Kegiatan Produk Pengolahan Ikan Di Desa Karangagung. *Islamic Management and Empowerment Journal*, 2(2), 133–150. <https://doi.org/10.18326/imej.v2i2.133-150>