

Bioaccumulation of Cadmium in *Channa striata* Fish from the Miai River, Banjarmasin, South Kalimantan

Nurhilaliyyah¹, Heri Budi Santoso^{1*}, Muhamat¹, Hamedha Dhaka Kusuma Taufiq¹

¹Departement of Biology, Faculty of Mathematics & Natural Sciences, Lambung Mangkurat University, Indonesia;

Article History

Received : May 16th, 2026

Revised : May 27th, 2026

Accepted : June 03th, 2026

*Corresponding Author: **Heri Budi Santoso**, Departement of Biology, Faculty of Mathematics & Natural Sciences, Lambung Mangkurat University, Banjarbaru, Indonesia;
Email: heribudisantoso@ulm.ac.id

Abstract: The Miai River in Banjarmasin is a habitat for the snakehead fish (*Channa striata*) located in a densely populated area with high human activity, potentially polluted by heavy metals such as cadmium. This study is important to monitor heavy metal concentration & their risks to the health & sustainability of the river ecosystem. The method used was purposive sampling with samples in the form of river water & snakehead fish (*C. striata*) at two different stations. Heavy metal analysis used Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results showed that kadmium concentration in water & fish at both stations were still safe or below the established quality standards. There was a significant negative correlation between the two ($r=-0.472$) & between cadmium concentration in fish & fish weight ($r:-0.424$). The conclusion of this study is that cadmium concentration in water can reduce fish quality & potentially pose a health risk to humans. The implications of this study emphasize the need for routine monitoring & preventive measures for heavy metal contamination.

Keywords: Bioaccumulation; Bioconcentration; Cadmium; *Channa striata*.

Pendahuluan

Sungai merupakan komponen vital yang menunjang keberlangsungan hidup organisme karena berfungsi sebagai penyedia nutrisi dan air, serta habitat bagi berbagai spesies akuatik (Wang & He, 2022). Keberadaan sungai yang sehat menentukan stabilitas ekologis dan kualitas lingkungan, khususnya di kawasan perkotaan dengan aktivitas manusia yang tinggi (Vörösmarty *et al.*, 2010). Akan tetapi, kondisi sungai di kawasan tersebut sangat dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik, seperti pembuangan limbah domestik dan industri secara langsung ke badan sungai yang berpotensi menjadi sumber pencemaran logam berat yang bersifat toksik serta persisten (Yin *et al.*, 2021). Selain itu, logam berat juga dapat mengalami bioakumulasi dan biokonsentrasi pada organisme akuatik melalui paparan langsung dari media perairan maupun rantai makanan (Ali *et al.*, 2019).

Salah satu jenis logam berat berbahaya yang banyak ditemukan di lingkungan perairan

akibat aktivitas antropogenik adalah kadmium (Cd) (Jaishankar *et al.*, 2014). Pada ekosistem perairan, kadmium dapat terakumulasi pada jaringan organisme akuatik, terutama ikan, dan menyebabkan gangguan fisiologis akibat sifat toksiknya (Lipy *et al.*, 2021). Pencemaran kadmium pada air sungai di Indonesia telah dilaporkan, seperti di Sungai Kapuas Kecil dengan kadar masih di bawah baku mutu (Purnaini & Saziati, 2023). Selain itu, terdapat laporan akumulasi kadmium pada organ saluran cerna, insang, hati, dan ginjal pada ikan haruan (*Channa striata*) di Sungai Citarum Hulu dengan kadar 0,129 mg.kg⁻¹ (Budiman *et al.*, 2012). Temuan tersebut menunjukkan bahwa ikan berpotensi digunakan sebagai bioindikator pencemaran logam berat (Authman *et al.*, 2015).

Sejalan dengan hal tersebut, Sungai Miai, yang terletak di daerah pemukiman padat di Banjarmasin, Kalimantan Selatan, juga terpapar berbagai aktivitas antropogenik, termasuk limbah rumah tangga dan keberadaan tempat pembuangan sampah di dekatnya yang dapat

menjadi sumber potensial kontaminasi logam (Azzahra *et al.*, 2025). Akan tetapi, data empiris tentang kadar kadmium dalam air, akumulasi kadmium dalam daging ikan, serta dampak kadmium terhadap berat ikan masih terbatas. Selain itu, penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada kandungan logam berat di air atau pada jaringan ikan *C. striata* secara terpisah, sehingga hubungan antara kualitas air, bioakumulasi kadmium, dan respons biologis ikan belum banyak dikaji secara terpadu.

Kondisi tersebut membuka peluang dilakukannya penelitian dengan kebaruan berupa kajian terintegrasi yang menelaah kadar kadmium pada perairan Sungai Miai, bioakumulasi kadmium pada ikan *C. striata*, serta hubungannya dengan berat ikan sebagai indikator biologis. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai konsentrasi kadmium dalam badan air sungai, tingkat akumulasi kadmium pada tubuh ikan (Ali, *et al.*, 2019), serta dampak biologis yang ditimbulkan terhadap ikan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan penggunaan ikan sebagai bioindikator kualitas lingkungan perairan di kawasan permukiman padat, sekaligus menjadi dasar pertimbangan dalam pengelolaan ekosistem perairan yang lebih berkelanjutan.

Bahan dan Metode

Sampling air dan ikan

Sampel air dan ikan *C. striata* dikumpulkan dari Sungai Miai, Banjarmasin, yang terdiri dari dua titik berbeda dengan masing-masing tiga ulangan. Lokasi pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan tujuan dan mempertimbangan sumber polusi. Stasiun 1 terletak di daerah pemukiman yang terkontaminasi kadmium dari aktivitas antropogenik, sementara stasiun 2 terletak di dekat tempat pembuangan sampah yang terkontaminasi kadmium dari lindi.

Analisis sampel air

Analisis sampel air dilakukan di Balai Standardisasi dan Layanan Industri (BSPJI) Banjarbaru. Sampel air Sungai dianalisis dengan menambahkan 5 mL HNO₃ pekat dan 500 mL sampe air dari kedua stasiun. Kemudian pekat selama 15 menit hingga terbentuk endapan

berwarna putih keabuan. Selanjutnya larutan disaring dan didinginkan, selanjutnya dianalisis menggunakan AAS dengan Panjang gelombang 228.8 nm (Khatoun, *et al.*, 2024).

Analisis sampel ikan

Analisis sampel air dilakukan di Balai Standardisasi dan Layanan Industri (BSPJI) Banjarbaru. Sampel ikan dianalisis dengan menggunakan 10 gram sampel daging ikan yang dimasukkan ke dalam cawan porselen dan dibakar di dalam furnace dengan suhu 500 °C hingga menjadi abu. Selanjutnya abu ditambahkan 65% HNO₃ ke dalam cawan dan dipindahkan ke dalam labu ukur. Analisis dilakukan menggunakan AAS dengan Panjang gelombang 228.8 nm (Sachchu, *et al.*, 2025).

Analisis data

Data penelitian k&ungan kadmium pada air Sungai dan ikan dianalisis secara statistic dan dib&ingan dengan baku mutu yang berlaku (Baku Mutu Sungai Republik Indonesia dari Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan SNI Nomor 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemaram Logam Berat dalam Pangan). Sedangkan tingkat pengaruh antara variable bebas dan variable terikat dianalisis menggunakan uji *Pearson Product Moment*.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian

Kadar kadmium pada air sungai

Data pada tabel 1, kadar kadmium dari kedua stasiun didapatkan rerata yang kadar keduanya masih di dalam batas aman baku mutu < 0.1 mg.L⁻¹.

Tabel 1. Rerata kadar kadmium pada air Sungai Miai dib&ingan dengan baku mutu air

Stasiun	Rerata kadar kadmium air Sungai (mg/L)	Baku mutu (mg/L)*
1	0.00030 ± 0.0000158	0.1
2	0.00042 ± 0.0000173	

*) Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Kadar kadmium pada daging ikan *C. striata*

Sampel daging ikan dari kedua stasiun masih dalam batas baku mutu ($<0.1 \text{ mg.kg}^{-1}$) seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rerata kadar kadmium

Stasiun	Rerata kadar kadmium pada ikan (mg/L)	Baku mutu (mg/kg)*
1	0.0050 ± 0.0004	
2	0.0014 ± 0.0004	0.1

*) SNI Nomor 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemaram Logam Berat dalam Pangan

Korelasi kadar kadmium air dan daging ikan *C. striata*

Analisis korelasi hubungan kadar kadmium pada air Sungai Miai dan kadar kadmium pada daging ikan *C. striata* didapatkan nilai koefisien negatif tersebut termasuk dalam tingkat moderat yang signifikan (Tabel 3), yang bermakna semakin tinggi kadar kadmium pada air Sungai maka semakin rendah kadar kadmium yang terakumulasi dalam daging ikan, atau sebaliknya.

Tabel 3. Korelasi kadar kadmium pada air sungai dengan daging ikan *C. Striata*

	Nilai koefisien korelasi	Tingkat korelasi
Kadar kadmium pada air dan pada daging ikan	-0.47226	Medium (negatif)

Keterangan:

Positif (+) : indikasi hubungan tidak langsung,
 Negatif (-) : indikasi hubungan bertolakbelakang.

Korelasi kadar kadmium pada daging ikan dengan berat ikan

Hasil korelasi kadar kadmium pada daging ikan dengan berat ikan menunjukkan korelasi negatif yang signifikan atau moderat (Tabel 4). Korelasi tersebut menunjukkan perbandingan terbalik keduanya, di mana semakin besar kadar kadmium pada daging ikan akan semakin kecil atau rendah bobot berat ikan, atau sebaliknya.

Faktor biokonsentrasi (BCF) pada ikan *C. striata*

Analisis faktor biokonsentrasi (BCF) pada kedua titik berbeda seperti yang terlihat pada Tabel 5, termasuk dalam kategori akumulasi rendah atau tidak signifikan (<100).

Tabel 4. Korelasi kadar kadmium pada daging ikan dengan berat ikan *C. Striata*

	Nilai koefisien korelasi	Tingkat korelasi
Kadar kadmium pada daging ikan dan berat ikan	-0.424593	Medium (negatif)

Keterangan:

Positif (+) : indikasi hubungan tidak langsung,
 Negatif (-) : indikasi hubungan bertolakbelakang.

Tabel 5. Nilai BCF pada tubuh ikan *C. Striata*

Stasiun	Nilai BCF	Kategori akumulasi
1	16.66	Rendah
2	3.33	Rendah

Keterangan:

0 - 100 : akumulasi rendah (tidak signifikan)
 100 – 1000 : akumulasi menengah (signifikan)
 >1000 : akumulasi tinggi (sangat signifikan)

Pembahasan

Kadar kadmium pada air sungai

Kadar kadmium dari kedua titik penelitian masih dalam batas aman standar baku, yakni 0.1 mg/L . Hal itu mengindikasikan bahwa kadar kadmium pada sungai Miai saat ini belum berpotensi membahayakan bagi lingkungan perairan dan biota air yang ada di dalamnya, khususnya ikan *C. striata*. Menurut Halang (2022), kadar kadmium juga pernah diukur pada Sungai Barito di kawasan Banjar Raya Kalimantan Selatan, yang termasuk dalam satu kawasan dengan Sungai Miai, memiliki kadar kurang dari 0.002 mg.L^{-1} yang mengindikasikan di bawah batas aman untuk kehidupan biota akuatik di dalamnya. Penelitian lain dilakukan oleh Rohmah *et al.* (2023) di Sungai Citarum Jawa Barat, kadar kadmium yang terukur sebesar 0.007 mg.L^{-1} atau masih dalam kategori aman.

Kadar kadmium pada stasiun 1 memiliki nilai lebih rendah dibandingkan stasiun 2. Hal tersebut dikarenakan pada stasiun 1 merupakan kawasan pemukiman yang menghasilkan limbah rumah tangga, sementara stasiun 2 terletak di dekat kawasan TPS. Kadar kadmium di kedua titik yang rendah dimungkinkan karena adanya berbagai faktor. Sifat kadmium yang tidak mudah larut dalam air yang menyebabkan senyawa kadmium cenderung mengendap pada sedimen sungai, sehingga kadar di perairan lebih rendah.

Selain itu, adanya faktor hujan saat penelitian dilakukan, membuat kadmium mengalami terlompas dan mengalami pengenceran oleh air hujan (Setyono *et al.*, 2024). Faktor lain yang dapat berpengaruh terhadap kadar kadmium dalam air adalah pasang surut dan arus sungai. Keduanya memiliki peran dalam distribusi dan konsentrasi logam berat di sungai (Silrat *et al.*, 2024).

Kadmium yang ditemukan di aliran sungai dapat berasal dari aktivitas rumah tangga (Najihah & Rachmadiarti, 2023). Produk pembersih rumah tangga menjadi salah satu sumber pencemar kadmium yang umum ditemukan di daerah pemukiman (Iwegbue *et al.*, 2019). Penelitian menemukan sekitar dua puluh tiga sampel produk pembersih rumah tangga di pasar lokal Baghdad, Irak, mengandung kadmium tinggi (Yousif *et al.*, 2023). Kasus cemaran produk pembersih rumah tangga pernah terjadi di kawasan padat penduduk di Sungai Pelus, Banyumas, Jawa Tengah membuat kadar kadmium di perairan tersebut cukup tinggi sebesar 25.59 mg.L⁻¹ (Lukmanulhakim *et al.*, 2023).

Sumber cemaran kadmium pada stasiun 2 diindikasikan berasal dari TPS yang terletak tidak jauh dari stasiun. Keberadaan logam berat seperti kadmium di sekitar tempat pembuangan sampah berkaitan dengan adanya limbah lindi. Cemaran logam berat terdeteksi dua hingga empat kali lebih tinggi pada jarak satu kilometer dari saluran pembuangan limbah lindi di tiga tempat pembuangan akhir sampah di kawasan Sungai Cisadane (Sulistyowati *et al.*, 2023). Keberadaan limbah lindi di kawasan TPS tentu berkaitan dengan akumulasi sampah, di mana keduanya saling berkaitan dan dapat meningkatkan kadar kadmium di sekitarnya. Pemantauan dan pengelolaan sampah yang baik dan kontinyu diperlukan untuk meminimalisir terjadinya cemaran limbah lindi ke perairan di masa mendatang (Fadhilah & Laila, 2020).

Kadar kadmium pada daging ikan *C. striata*

Hasil pengukuran rerata kadar kadmium pada daging ikan *C. striata* di stasiun 2 (0.005 mg.kg⁻¹) lebih tinggi dibandingkan stasiun 1 (0.0014 mg.kg⁻¹). Kadar keduanya masih di bawah nilai ambang batas (0.1 mg.kg⁻¹). Kadar kadmium pada sampel ikan yang rendah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Akumulasi

kadmium pada ikan bergantung dari dosis, rute paparan, waktu paparan, status biologis ikan, serta kondisi lingkungan perairan (Lee *et al.*, 2025). Rute paparan kadmium pada ikan, umumnya melalui jalur pernapasan melalui insang dan jalur digesti. Namun pada beberapa spesies ikan, paparan logam berat seperti kadmium dapat terjadi melalui kulit (Luo *et al.*, 2020).

Faktor lingkungan seperti salinitas, temperatur, dan pH air mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat pada ikan haruan (Legiarsi *et al.*, 2022). Salinitas tinggi pada perairan mengubah formasi ion logam untuk berikatan dengan ion klorida, sehingga toksisitas kadmium dan akumulasi pada ikan menurun (El-Sharkawy *et al.*, 2025). Perairan dengan pH rendah membuat tingkat akumulasi kadmium meningkat pada daging biota akuatik (He *et al.*, 2023). Temperatur yang tinggi, termasuk saat musim kemarau, meningkatkan kadar kadmium dalam perairan yang berkorelasi dengan peningkatan akumulasi pada daging ikan (Das *et al.*, 2023).

Faktor lain akumulasi logam berat pada ikan juga dipengaruhi oleh pasang surut dan arus sungai. Saat pasang, logam berat akan mengalami pengenceran oleh volume air. Sedangkan arus air, berpengaruh terhadap pergeseran logam berat dari satu titik lokasi ke lokasi lain (Nurwahdania *et al.*, 2024). Ikan *C. striata* dalam penelitian disampling saat kondisi pasang, di mana kadar kadmium dalam air rendah. Sementara apabila ikan disampling saat kondisi air surut, besar kemungkinan kadar kadmium dalam air tinggi (Septiana *et al.*, 2024).

Kadar kadmium dalam daging ikan *C. striata* dalam penelitian ini yang masih di bawah ambang batas dapat dikarenakan kadmium sebagian besar terakumulasi dalam ginjal. Meski kadmium dimetabolisme pertama kali dalam hati ikan, namun kadmium akan terakumulasi di dalam ginjal sebelum diekskresikan (Moiseenko & Gashkina, 2020). Kadar kadmium pada hati dan ginjal ikan yang tinggi berhubungan dengan senyawa metallothionein (MT). Senyawa MT disintesis di hati sebagai mekanisme detoksifikasi dengan mengikat ion kadmium dan membentuk ikatan kompleks Cd-MT (Banaee *et al.*, 2023).

Kompleks Cd-MT ditranspor dari hati menuju seluruh tubuh, seperti insang, daging,

dan ginjal. Akumulasi kadmium di organ lain seperti ikan dan sisik dapat dieleminasi melalui depurasi. Penelitian pada ikan Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) didapatkan bahwa laju eleminasi kadmium pada sisik ikan lebih cepat dari organ lain (Xue *et al.*, 2023). Namun, kadmium yang terakumulasi pada organ lain tetap akan bermuara. Selanjutnya kompleks Cd-MT akan bermuara di tubulus ginjal sebagai organ ekskresi utama tubuh ikan (Liu *et al.*, 2022)

Korelasi kadar kadmium air sungai dengan kadar pada daging ikan *C. striata*

Berdasarkan hasil kadar kadmium pada air dan akumulasi kadmium pada otot ikan *C. striata*, diperoleh adanya korelasi negatif dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0.47226 atau tingkat sedang. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kadar kadmium dalam air dan otot ikan *C. striata* saling berkaitan secara signifikan. Logam berat di perairan seperti kadmium dapat mengendap dan terakumulasi di dalam sedimen, sehingga kadar logam berat di air lebih rendah dibanding sedimen (Robi *et al.*, 2021). Meski kadmium pada air rendah, sifat karnivora ikan *C. striata* dapat memungkinkan terjadinya biomagnifikasi kadmium dalam ototnya (Laudiño *et al.*, 2023).

Hubungan terbalik antara kadar kadmium di dalam air dan otot ikan juga dapat dipengaruhi oleh mekanisme detoksifikasi kadmium oleh MT di dalam otot ikan. Afinitas Cd-MT yang tinggi, membuat kadmium semakin terakumulasi dalam otot ikan. Selain itu, laju ekskresi kadmium dari dalam otot ikan juga cenderung lambat dibanding laju akumulasinya, sehingga tingkat bioakumulasi kadmium pada ikan tinggi (Sadeghpour *et al.*, 2025).

Korelasi kadar pada daging ikan dengan berat ikan

Kadar kadmium dalam otot ikan memiliki korelasi negatif dengan berat otot ikan (nilai koefisien -0.424593). Nilai tersebut menunjukkan bahwa kadar kadmium pada ikan snakehead berbanding terbalik dengan berat ikan (Parvez *et al.*, 2025). Ukuran ikan termasuk berat badan mempengaruhi akumulasi logam berat seperti kadmium (Jiang *et al.*, 2022). Ikan berukuran besar cenderung untuk mengakumulasi logam berat pada dan ginjal

dibandingkan dengan otot. Akumulasi jangka panjang logam berat pada ikan, yang menyebabkan hati mengalami penurunan kemampuannya untuk mendetoksifikasi (Sulaiman, *et al.*, 2025).

Akumulasi logam berat pada ikan berkaitan dengan laju pertumbuhan ikan. Semakin besar ukurannya, maka logam berat yang terakumulasi dalam otot akan mengalami pengenceran (dilute) dengan tersebar di otot yang semakin luas (Li *et al.*, 2023). Selain itu, pertumbuhan pada ikan juga berkorelasi dengan pertumbuhan sisiknya. Semakin ikan berukuran besar, sisik akan mengalami penebalan yang dapat berguna sebagai proteksi penyerapan logam berat secara dermal (Simfukwe *et al.*, 2025). Akumulasi logam berat pada ikan menyebabkan sistem imun ikan berkurang, sehingga pertumbuhan ikan juga terhambat (Wang *et al.*, 2022). Selain itu, pertumbuhan ikan yang dihambat oleh logam berat terjadi karena adanya kerusakan insang untuk bernapas (Saputri *et al.*, 2023).

Faktor Biokonsentrasi (BCF) pada ikan *C. striata*

Hasil perhitungan nilai Bioconcentration Factor (BCF) menunjukkan bahwa ikan *C. striata* di Sungai Miai Banjarmasin di kedua titik, yakni 16.66 pada stasiun 1 dan 3.33 pada stasiun 2. Nilai tersebut menginterpretasikan bahwa ikan *C. striata* pada penelitian ini mampu mengakumulasi kadmium dari lingkungan sungai. Nilai BCF menjadi parameter kemampuan ikan untuk mengakumulasi zat kimia dari lingkungan atau sebagai rasio perbandingan zat toksik dalam tubuh ikan dengan lingkungan perairan. Semakin tinggi nilai BCF semakin tinggi kemampuan bioakumulasinya (Komala *et al.*, 2022). Akumulasi yang tinggi pada ikan berpotensi menimbulkan efek biomagnifikasi logam berat dalam rantai makanan di perairan sungai (Jais *et al.*, 2020).

Nilai BCF pada penelitian di kedua titik terbilang rendah dan tidak signifikan. Ikan disebut mampu mengakumulasi logam berat saat nilai $BCF > 1$, namun apabila nilai $BCF < 100$ dikatakan tidak signifikan (USEPA, 1991). Rendahnya nilai BCF menunjukkan rendahnya akumulasi logam berat pada otot ikan dari pada lingkungan. Nilai BCF menginterpretasikan perilaku makan dari suatu spesies ikan (Pinkey,

et al., 2024). Dalam penelitian ini, rendahnya BCF pada penelitian ini kemungkinan terjadi karena perilaku makan mereka yang memakan organisme non bentik. Nilai BCF juga berkorelasi dengan kadar kadmium pada perairan yang cenderung rendah, sehingga organisme yang berperan sebagai mangsa ikan haruan cenderung mengakumulasi sedikit logam berat.

Meski nilai BCF pada penelitian ini rendah dan tidak signifikan, namun ikan haruan memiliki nilai BCF yang lebih tinggi dibandingkan dengan ikan sungai lainnya seperti *Puntius binotatus*, *Homaloptera nebulosa*, dan *Tor soro*. Hal tersebut menginterpretasikan kemampuan adaptasi dan toleransi ikan haruan terhadap perubahan lingkungan ekstrem, termasuk cemaran logam. Berdasarkan hal tersebut, ikan haruan dapat digunakan sebagai indikator pencemar logam (Pebriani *et al.*, 2022).

Kesimpulan

Kadar kadmium pada air Sungai Miai Banjarmasin dan pada ikan *C. striata* yang berhabitat di dalamnya memiliki kadar di bawah baku mutu. Terdapat korelasi negatif antara kadar keduanya, serta antara kadar kadmium pada otot ikan *C. striata* dengan berat badannya. Nilai BCF pada ikan *C. striata* rendah dan tidak signifikan. Hasil penelitian menginterpretasikan adanya dampak cemaran kadmium pada ekosistem perairan dan organisme di dalamnya seperti ikan *C. striata*, serta risiko Kesehatan ekosistem dan manusia yang tetap ada meski kadar kadmium di bawah baku mutu.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Standardisasi dan Layanan Industri (BSPJI) Banjarbaru atas bantuan analisis kadar kadmium serta kepada semua pihak yang telah membantu dalam pengambilan sampel di Sungai Miai Banjarmasin.

Referensi

Ali, H.; Khan, E. & Ilahi, I. (2019). Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of*

- Chemistry, 2019(1): 1-14.
<https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Authman, M.M.N.; Zaki, M.S.; Khallaf, E.A. & Abbas, H. (2015). Use of Fish as Bio-indicator of the Effects of Heavy Metals Pollution. *Journal Aquaculture Research and Development*, 6(4): 1-13.
<https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000328>
- Azzahra, Y.; Santoso, H.B. & Muhamat (2025). Assessment of Lead (Pb) Bioaccumulation in Seluang Fish (*Rasbora* sp.) & Water Quality Analysis in Miai River. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(1): 827-834.
<https://doi.org/10.29303/jbt.v25i1.8553>
- Banaee, M.; Beitsayah, A.; Prokić, M.D.; Petrović, T.G.; Zeidi, A. & Faggio, C. (2023). Effects of cadmium chloride & biofertilizer (Bacilar) on biochemical parameters of freshwater fish, *Alburnus mossulensis*. *Comparative Biochemistry & Physiology Part C*, 268: 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109614>
- Budiman, B.T.P.; Dhahiyat, Y. dan Hamdani, H. (2012). Bioakumulasi Logam Berat Pb pada Daging Ikan yang Tertangkap di Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 3(4): 261-270.
- Das, S.; Kar, I. & Patra, A.K. (2023). Cadmium induced bioaccumulation, histopathology, gene regulation in fish & its amelioration – A review. *Journal of Trace Elements in Medicine & Biology*, 79: 1-21.
<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127202>
- El-Sharkawy, M.; Alotaibi, M.O.; Li, J.; Du, D. & Mahmoud, E. (2025). Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications & Management Strategies: A Review. *Sustainability*, 17(701): 1-29.
<https://doi.org/10.3390/su17020701>
- Halang, B. (2022). Kadmium Pada Air dan Ikan Lundu Sungai Barito Kawasan Banjar Raya. In: *Prosiding Seminar Nasional Biologi FMIPA UNM*. Makassar. pp. 475-483.
- He, Y.; Fang, H.; Pan, X.; Zhu, B.; Chen, J.; Wang, J.; Zhang, R.; Chen, L.; Qi, X. & Zhang, H. (2023). Cadmium Exposure in Aquatic Products & Health Risk

- Classification Assessment in Residents of Zhejiang, China. *Foods*, 12(3094): 1-11. <https://doi.org/10.3390/foods12163094>
- Iwegbue, C.M.A.; Emakunu, O.S.; Lari, B.; Egbuiese, F.E.; Tesi, G.O.; Nwajei, G.E. & Martincigh, B.S. (2019). Risk of human exposure to metals in some household hygienic products in Nigeria. *Toxicology Reports*, 6: 914-923. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.08.014>
- Jais, N.; Ikhtiar, M.; Gafur, A.; Abbas, H.H. dan Hidayat (2020). Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr) yang Terdapat Dalam Air dan Ikan Di Sungai Tallo Makassar. *Window of Public Health Journal*, 1(3): 261-274. <https://doi.org/10.33096/woph.v1i3.65>
- Jaishankar, M.; Tseten, T.; Anbalagan, N.; Mathew, B.B. & Beeregowda, K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2). <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Vörösmarty, C.J.; McIntyre, P.B.; Gessner, M.O.; Dudgeon, D.; Prusevich, A.; Green, P.; Glidden, S.; Bunn, S.E.; Sullivan, C.A.; Liermann, C.R. & Davies, P.M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467: 555-561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Jiang, X., Wang, J., Pan, B., Li, D., Wang, Y., & Liu, X. (2022). Assessment of heavy metal accumulation in freshwater fish of Dongting Lake, China: Effects of feeding habits, habitat preferences & body size. *Journal of Environmental Sciences*, 112: 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.05.004>
- Khatoon, N., Ali, S., Hussain, A., Huang, J., Yu, Z., & Liu, H. (2024). Human health risks assessment of toxic metals via water, food, & soil: A case study of Northern areas (Ghizer & Gilgit) of Pakistan. *Result in Engineering*, 24: 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103333>
- Komala, P.S., Azhari, R.M., Hapsari, F.Y., Edwin, T., Ihsan, T., Zulkarnaini, dan Harefa, M. (2022). Comparison of bioconcentration factor of heavy metals between endemic fish & aquacultured fish in Maninjau Lake, West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(8): 4026-4032. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230821>
- Laudiño, F.A., Agtong, R.J.M., Elvira, M.V., Fukuyama, M., & Jumawan, J.C. (2023). Accumulation of heavy metals on the muscles of striped snakehead murrel *Channa striata* in Lake Mainit, Philippines, & the association of its consumption on human health. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100269>
- Lee, J.W., Jo, A.H., Kang, Y.J., Lee, D., Choi, C.Y., Kang, J.C., & Kim, J.H. (2025). Review of Cadmium Bioaccumulation in Fish Exposed to Cadmium. *Toxics*, 13(7): 1-16. <https://doi.org/10.3390/toxics13010007>
- Legiarsi, K., Khairuddin, & Yamin, M. (2022). Analysis of Cadmium (Cd) Heavy Metal Content in Headsnake Fish (*Channa striata*) Derived from Rawa Taliwang Lake, West Sumbawa Regency 2021. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(2): 595-601. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i2.3509>
- Li, D., Pan, B., Wang, Y., Han, X., & Lu, Y. (2023). Bioaccumulation & health risks of multiple trace metals in fish species from the heavily sediment-laden Yellow River. *Marine Pollution Bulletin*, 188: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114664>
- Lipy, E.P., Hakim, M., Mohanta, L.C., Islam, D., Lyzu, C., Roy, D.C., Jahan, I., Akhter, S., Raknuzzaman, M., & Sayed, M. A. (2021). Assessment of Heavy Metal Concentration in Water, Sediment & Common Fish Species of Dhaleshwari River in Bangladesh & their Health Implications. *Biological Trace Element Research*, 199: 4295-4307. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02552-7>
- Liu, Y., Chen, Q., Li, Y., Bi, L., Jin, L., & Peng, R. (2022). Toxic Effects of Cadmium on Fish (Review). *Toxics*, 10(622): 1-19. <https://doi.org/10.3390/toxics10100622>
- Lukmanulhakim, R.C., Hidayati, N.V., dan Baedowi, M. (2023). Analisis K&ungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan

- Kromium (Cr) pada Matriks Air di Sungai Pelus Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. *Jurnal Maiyah*, 2(1): 41-50. <https://doi.org/10.20884/1.maiyah.2023.2.1.8295>
- Luo, W., Wang, D., Xu, Z., Liao, G., Chen, D., Huang, X., Wang, Y., Yang, S., Zhao, L., Huang, H., Li, Y., Wei, W., Long, Y., & Du, Z. (2020). Effects of cadmium pollution on the safety of rice & fish in a rice-fish coculture system. *Environment International*, 143: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105898>
- Moiseenko, T.I., & Gashkina, N.A. (2020). Distribution & bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd & Pb) in fish: influence of the aquatic environment & climate. *Environmental Research Letters*, 15: 1-19. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbf7c>
- Najihah, N., dan Rachmadiarti, F. (2023). Analisis Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tumbuhan Air di Sungai. *Lentera Bio*, 12(2): 239-247. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n3.p414-422>
- Nurwahdania, Khairuddin, & Yamin, M. (2024). Analysis of Cadmium (Cd) Levels in Tilapia Fish (*Oreochromis mossambicus*) from Ponds in Palibelo. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(3): 784-790. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i3.7456>
- Parvez, I., Ahmed, S., Tasnim, N., Pervin, R., Alam, M.A., Khan, M.N., Ara, Y., Rashid, H., & Pradit, S. (2025). Heavy metal contamination in freshwater habitats impairs the growth & reproductive health of wild spotted snakehead *Channa punctata* (Channidae) in Bangladesh. *Heliyon*, 11: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42543>
- Pebriani, M., Barus, T.A., & Ilyas, S. (2022). Fish diversity & heavy metal accumulation of Pb, Cu & Zn after Mount Sinabung Eruption in Benuken River, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(1): 187-194. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230124>
- Pinkey, P.D., Neshia, 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 & Environmental Safety*, 269: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115736>
- Purnaini, R., & Saziati, O. (2023). Potential of Heavy Metal Pollution (Cd) in the Kapuas Kecil River. *Jurnal Presipitasi*, 20(1): 77-84. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v20i1.77-84>
- Sachchu, M.M.H., Hasan, M., Hossain, M.K., Ahmed, S., Eva, T.N., Lima, M.N.J., Hossain, A., & Alam, M.A. (2025). Heavy metal contamination in Pangas Catfish of farm ponds aquaculture in different locations in Bangladesh: A risk assessment study. *Food Chemistry Advances*, 8: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101044>
- Sadeghpour, A., Jamili, S., Khara, H., Mashinchian, A., & Jamshidi, S. (2025). Expression of metallothionein gene in kidney tissue of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) after exposure to cadmium chloride. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 24(2): 333-351.
- Saputri, A., Khairuddin, & Yamin, M. (2023). Analysis of Cadmium (Cd) Heavy Metal Content in Mosambique Tilapia Fish (*Oreochromis mossambicus*) Derived from Rawa Taliwang Lake to Enrich Ecotoxicology Lecture Material in 2022. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(2): 390-397. <https://doi.org/10.29303/jbt.v23i2.4845>
- Septiana, A., Khairuddin, & Yamin, M. (2024). Analysis of Heavy Metal Cadmium (Cd) Content in Snakehead Fish (*Channa striata*) from Lake Rawa Taliwang. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(3): 1349-1385. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i3.7323>
- Setyono, P., Sunarhadi, R.M.A., Putri, D.S., Fauziah, I., & rianto, R., Sari, Y.D., & Firdausi, E. (2024). Analysis of cadmium (Cd) & iron (Fe) heavy metal content in the river around Putri Cempo landfill, Surakarta. *IOP Conference Series: Earth & Environmental Science*, 1414: 1-10.

- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1414/1/012006>
- Silrat, K., Yottiam, A., Leelakun, P., Vibhatabhu, P., & Srithongouthai, S. (2024). Effects of tidal current on pollution load index & potential risk of heavy metals in water column of the Chao Phraya River estuary. *E3S Web Conference*, 557: 1-12. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455701002>
- Simfukwe, K., Jere, W., & Msukwa, A.V. (2025). Heavy metal contamination in riverine fish from the Lilongwe River, Malawi: Implications for human health risk. *Environmental Pollution & Management*, 2: 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.epm.2025.06.003>
- Sulaiman, M.A., Zafar, M.M., Divya, Anjum, S., Gaurav, K., Sinha, R.K., & Kumari, A. (2025). Deciphering the accumulation of potentially toxic metals & their relation with size in the five commercially important fish species from the middle stretch of the River Ganga. *Next Research*, 2: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100650>
- Sulistiyowati, L., Nurhasanah, N., Riani, E., & Cordova, M.R. (2023). Heavy metals concentration in the sediment of the aquatic environment caused by the leachate discharge from a landfill. *Global Journal of Environmental Science & Management (GJESM)*, 9(2): 323-336. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2023.02.11>
- USEPA (1991). *Technical Support Document For Water Quality-based Toxics Control (EPA/505/2-90-001)*. Washington D.C.
- Wang, H., & He, G. (2022). Rivers: Linking nature, life, & civilization. *River*, 1: 25-36. <https://doi.org/10.1002/rvr2.7>
- Wang, S., Xie, S., Zhang, C., Pan, Z., Sun, D., Zhou, A., Xu, G., & Zou, J. (2022). Interactions effects of nano-microplastics & heavy metals in hybrid snakehead (*Channa maculata* ♀ × *Channa argus* ♂). *Fish & Shellfish Immunology*, 124: 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.03.045>
- Xue, Y., Huang, J., Wang, J.Q., & Li, F.Y. (2023). Tissue-Specific Accumulation & Depuration of Cadmium in Tilapia: Role of Salinity & Cadmium Concentration. *Applied Ecology & Environmental Research*, 21(5): 4177-4194. https://doi.org/10.15666/aer/2105_41774194
- Yin, X., Wei, R., Chen, H., Zhu, C., Liu, Y., Wen, H., Guo, Q., & Ma, J. (2021). Cadmium isotope constraints on heavy metal sources in a riverine system impacted by multiple anthropogenic activities. *Science of the Total Environment*, 750: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141233>
- Yousif, M.I., Al-Swefee, D., & Jabbar, M.H. (2023). Determination of some heavy metals concentration in selected liquid soap, fruit & vegetable sterilizers used in Baghdad, Iraq. *IASR Journal of Agriculture & Life Science (IJALS)*, 3(3): 1-8.