

Akumulasi Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Budidaya Keramba Sungai serta Kaitannya dengan Kualitas Perairan di Desa Lingsar, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat

Feby Fabiola^{a,1,*}, Muammar Zulfie Ali^a, Baiq Friska Mutiasari^a

^a Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Indonesia

¹ Email : febyfab99@gmail.com

* Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history Received May 26, 2026 Revised June 16, 2026 Accepted June 25, 2026 Published June 30, 2026 Keywords Nile Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) Bioaccumulation Cadmium (Cd) Water Quality Lead (Pb)  License by CC-BY-SA Copyright © 2026, The Author(s).	Heavy metal contamination in aquaculture waters can degrade environmental quality and pose a threat to food safety through bioaccumulation in aquatic organisms. This study aimed to investigate the accumulation of lead (Pb) and cadmium (Cd) in water and the muscle tissue of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) cultured in floating net cages along the Lingsar River, West Lombok Regency, West Nusa Tenggara, Indonesia, and to evaluate its relationship with water quality parameters. A field survey was conducted using a purposive sampling approach at three sampling stations representing the upstream, midstream, and downstream sections of the river. Water quality parameters, including temperature, pH, dissolved oxygen (DO), and total dissolved solids (TDS), were measured, while Pb and Cd concentrations were determined using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results indicated that the water quality remained suitable for Nile tilapia culture, with temperature ranging from 26.8 to 28.1°C, pH from 6.91 to 7.42, DO from 5.67 to 6.82 mg/L, and TDS from 118 to 156 mg/L. Lead and cadmium concentrations in water ranged from 0.006 to 0.013 mg/L and 0.001 to 0.003 mg/L, respectively, whereas their concentrations in fish muscle tissue ranged from 0.12 to 0.26 mg/kg and 0.021 to 0.047 mg/kg, respectively. Both metals exhibited an increasing accumulation trend from the upstream to the downstream sections of the river. Decreases in pH and dissolved oxygen were associated with increased Pb and Cd accumulation in fish muscle tissue. Although the concentrations of both metals remained below the maximum permissible limits for fishery products, their presence indicates the need for continuous water quality monitoring and effective management of pollution sources to ensure environmental sustainability and food safety.
How to cite: Fabiola, F., Ali, M. Z., & Mutiasari, B. F. (2026). Akumulasi Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>) Budidaya Keramba Sungai serta Kaitannya dengan Kualitas Perairan di Desa Lingsar, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. <i>Pure Chemistry Research</i>, 2(1), 41-51. doi: https://doi.org/10.70716/purechem.v2i1.669	

PENDAHULUAN

Perairan sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki fungsi ekologis dan ekonomis yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat. Selain dimanfaatkan sebagai sumber air untuk kebutuhan domestik, irigasi pertanian, dan kegiatan industri, sungai juga berperan sebagai media pengembangan budidaya perikanan air tawar, khususnya melalui sistem keramba. Sistem budidaya keramba sungai banyak dikembangkan karena memanfaatkan aliran air alami sehingga mampu menekan biaya operasional dan menyediakan suplai oksigen yang relatif stabil bagi organisme budidaya. Salah satu komoditas utama yang banyak dibudidayakan melalui sistem ini adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*) karena memiliki pertumbuhan yang cepat, toleransi lingkungan yang tinggi, serta nilai ekonomis yang cukup baik di pasaran.

Meskipun demikian, keberhasilan budidaya ikan nila di keramba sungai sangat dipengaruhi oleh kualitas lingkungan perairan. Peningkatan aktivitas antropogenik di sekitar daerah aliran sungai (DAS), seperti pertanian intensif, pemukiman, peternakan, dan industri rumah tangga, dapat menyebabkan masuknya berbagai jenis polutan ke badan air. Salah satu kelompok pencemar yang menjadi perhatian utama di lingkungan perairan adalah logam berat. Berbeda dengan senyawa organik yang dapat mengalami degradasi secara alami, logam berat bersifat persisten, tidak dapat diuraikan secara biologis, dan cenderung mengalami akumulasi pada komponen lingkungan, seperti air, sedimen, maupun organisme akuatik (Ali et al., 2019).

Di antara berbagai jenis logam berat, timbal (Pb) dan kadmium (Cd) merupakan unsur yang paling sering ditemukan mencemari ekosistem perairan. Timbal umumnya berasal dari emisi kendaraan bermotor, limbah baterai, korosi pipa, dan limbah domestik, sedangkan kadmium banyak dihasilkan dari penggunaan pupuk fosfat, pestisida, serta berbagai aktivitas industri dan rumah tangga (Jaishankar et al., 2014). Kedua logam tersebut memiliki tingkat toksisitas yang tinggi bahkan pada konsentrasi yang relatif rendah karena mampu mengganggu berbagai proses fisiologis organisme hidup. Selain itu, sifat persisten dan non-biodegradable menyebabkan Pb dan Cd dapat bertahan dalam lingkungan perairan dalam jangka waktu yang lama dan berpindah melalui rantai makanan (*food chain*) hingga mencapai organisme tingkat trofik yang lebih tinggi, termasuk manusia (Tchounwou et al., 2012).

Kontaminasi logam berat pada ekosistem perairan menjadi perhatian global karena tidak hanya berdampak pada kesehatan organisme akuatik, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia sebagai konsumen akhir. Paparan kronis timbal diketahui dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, penurunan fungsi ginjal, anemia, serta gangguan perkembangan pada anak-anak. Sementara itu, kadmium memiliki waktu paruh biologis yang sangat panjang dan bersifat nefrotoksik, hepatotoksik, serta diklasifikasikan sebagai senyawa karsinogenik bagi manusia (Jaishankar et al., 2014). Oleh karena itu, keberadaan logam berat pada produk perikanan konsumsi perlu mendapat perhatian serius sebagai bagian dari upaya menjamin keamanan pangan.

Ikan merupakan salah satu organisme yang banyak digunakan sebagai bioindikator pencemaran logam berat di lingkungan perairan. Kemampuan ikan dalam mengakumulasi logam dari media air, sedimen, maupun pakan menjadikannya indikator yang representatif untuk menggambarkan kondisi pencemaran suatu perairan (Authman et al., 2015). Penyerapan logam berat pada ikan dapat terjadi melalui beberapa jalur, yaitu difusi melalui insang, absorpsi melalui saluran pencernaan, dan penetrasi melalui permukaan tubuh. Setelah masuk ke dalam tubuh, logam berat akan didistribusikan menuju berbagai organ dan jaringan, kemudian terakumulasi apabila laju penyerapan melebihi laju eliminasi.

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu spesies ikan air tawar yang memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan dan banyak digunakan sebagai organisme uji dalam berbagai penelitian pencemaran perairan. Kemampuan akumulasi logam pada ikan nila dipengaruhi oleh ukuran tubuh, umur, tingkat metabolisme, lama paparan, serta karakteristik lingkungan tempat hidupnya (Canli & Atli, 2003). Oleh karena itu, ikan nila dianggap sebagai organisme yang efektif untuk mengevaluasi tingkat pencemaran logam berat pada perairan budidaya.

Berbagai penelitian telah melaporkan adanya akumulasi logam berat pada jaringan ikan di berbagai perairan dunia. Studi yang dilakukan oleh Rahman et al. (2012) menunjukkan bahwa beberapa spesies ikan konsumsi di Sungai Bangshi, Bangladesh, mengandung logam berat pada konsentrasi yang bervariasi dan berpotensi menimbulkan risiko kesehatan apabila dikonsumsi secara terus-menerus. Hasil penelitian Türkmen et al. (2009) juga mengungkapkan bahwa kandungan logam berat pada ikan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan lokasi penangkapan. Demikian pula, Burger dan Gochfeld (2005) melaporkan bahwa akumulasi logam pada ikan komersial dapat menjadi indikator penting dalam penilaian risiko kesehatan masyarakat.

Keberadaan logam berat di perairan tidak hanya dipengaruhi oleh sumber pencemar, tetapi juga oleh kondisi fisik-kimia lingkungan. Parameter kualitas air, seperti suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (*dissolved oxygen* atau DO), dan total padatan terlarut (*total dissolved solids* atau TDS), berperan penting dalam menentukan mobilitas, spesiasi, dan bioavailabilitas logam di lingkungan perairan (Yi et al., 2011). Penurunan pH, misalnya, dapat meningkatkan kelarutan logam sehingga memperbesar proporsi ion logam bebas yang lebih mudah diserap oleh organisme akuatik. Selain itu, kondisi oksigen terlarut yang rendah dapat menyebabkan perubahan proses kimia di perairan yang berpengaruh terhadap pelepasan logam dari sedimen ke kolom air.

Interaksi antara logam berat dan parameter kualitas air menjadi faktor penting dalam menentukan tingkat bioakumulasi pada organisme akuatik. Varol dan Şen (2012) menyatakan bahwa perubahan kondisi fisik-kimia perairan dapat memengaruhi distribusi logam berat di dalam air dan sedimen. Sementara itu, Islam et al. (2015) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi logam berat di perairan umumnya berkaitan dengan tingginya aktivitas antropogenik dan perubahan karakteristik lingkungan. Dengan demikian, kajian mengenai hubungan antara kualitas perairan dan akumulasi logam berat pada ikan menjadi sangat penting untuk memahami dinamika pencemaran di suatu ekosistem.

Desa Lingsar, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat, merupakan salah satu daerah yang mengembangkan budidaya ikan nila melalui sistem keramba sungai. Aktivitas budidaya ini menjadi salah satu sumber pendapatan masyarakat setempat dan berkontribusi terhadap penyediaan pangan berbasis perikanan. Namun, lokasi budidaya yang berada di sepanjang aliran sungai juga menyebabkan sistem ini rentan terhadap pengaruh pencemaran dari aktivitas pertanian dan pemukiman di sekitar daerah aliran sungai. Penggunaan pupuk dan pestisida pada lahan pertanian serta pembuangan limbah domestik secara terus-menerus berpotensi meningkatkan masukan logam berat ke badan air.

Beberapa penelitian di Indonesia telah melaporkan keberadaan logam berat pada perairan budidaya dan ikan konsumsi. Arimardewi et al. (2018) melaporkan adanya kandungan Pb dan Cd pada air dan ikan nila di Bendungan Telaga Tunjung, Bali. Penelitian Priyanto et al. (2008) di Waduk Cirata juga menunjukkan bahwa logam berat dapat terakumulasi pada jaringan ikan meskipun konsentrasinya di perairan relatif rendah. Selain itu, Indrawati et al. (2022) menemukan adanya kontaminasi Pb dan Cd pada ikan nila di Sungai Tallo yang dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik di sekitar daerah aliran sungai. Hasil-hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa ikan nila memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat dan dapat digunakan sebagai indikator kualitas lingkungan perairan.

Meskipun demikian, informasi mengenai akumulasi logam berat pada ikan nila yang dibudidayakan di keramba sungai di wilayah Nusa Tenggara Barat, khususnya di Desa Lingsar, masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada ekosistem danau, waduk, atau perairan estuari serta belum mengintegrasikan hubungan antara parameter kualitas air dan tingkat akumulasi logam berat pada jaringan ikan. Padahal, informasi tersebut sangat diperlukan untuk mengevaluasi status pencemaran lingkungan, menentukan tingkat keamanan produk perikanan, dan merumuskan strategi pengelolaan perairan yang berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis konsentrasi timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada air dan otot ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dibudidayakan di keramba sungai Desa Lingsar, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat, mengevaluasi kondisi kualitas perairan berdasarkan parameter fisik-kimia, serta mengkaji hubungan antara karakteristik lingkungan perairan dengan tingkat akumulasi logam berat pada jaringan ikan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengelolaan kualitas lingkungan perairan budidaya, mendukung upaya perlindungan kesehatan masyarakat, serta menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan budidaya perikanan yang berkelanjutan di wilayah Nusa Tenggara Barat.

Penelitian mengenai akumulasi logam berat pada ikan nila telah banyak dilakukan pada ekosistem danau, waduk, dan estuari, namun kajian yang secara simultan mengevaluasi konsentrasi Pb dan Cd pada media air dan jaringan otot ikan nila budidaya keramba sungai serta mengaitkannya dengan parameter kualitas perairan di wilayah Nusa Tenggara Barat masih sangat terbatas. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menggabungkan analisis bioakumulasi logam berat, evaluasi karakteristik fisik-kimia perairan, dan identifikasi hubungan korelatif antara parameter lingkungan dengan tingkat akumulasi Pb dan Cd pada ikan nila yang dibudidayakan di Sungai Lingsar. Selain itu, penelitian ini menyediakan data dasar (*baseline data*) mengenai status pencemaran logam berat pada sistem budidaya keramba sungai di Desa Lingsar yang dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan kualitas perairan, mitigasi risiko keamanan pangan, dan pengembangan budidaya perikanan air tawar yang berkelanjutan di Nusa Tenggara Barat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode survei lapangan (*field survey*) yang bertujuan untuk menganalisis akumulasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) budidaya keramba sungai serta mengkaji keterkaitannya dengan parameter kualitas perairan. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei–Juni 2026 di aliran Sungai Lingsar, Desa Lingsar, Kecamatan Lingsar, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. Penentuan lokasi penelitian dilakukan secara *purposive sampling* dengan mempertimbangkan karakteristik tata guna lahan dan potensi sumber pencemar di sepanjang daerah aliran sungai. Lokasi penelitian dibagi menjadi tiga stasiun pengamatan, yaitu Stasiun I yang mewakili daerah hulu dengan aktivitas antropogenik relatif rendah, Stasiun II yang mewakili daerah tengah dengan dominasi aktivitas permukiman dan budidaya, serta Stasiun III yang mewakili daerah hilir yang menerima akumulasi limpasan dari aktivitas pertanian dan domestik. Pada setiap stasiun ditetapkan tiga titik

pengambilan sampel sebagai ulangan sehingga diperoleh sembilan titik pengamatan yang digunakan dalam seluruh analisis penelitian.

Pengukuran parameter kualitas perairan dilakukan secara *in situ* pada setiap titik pengamatan. Parameter yang diamati meliputi suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (*dissolved oxygen* atau DO), dan total padatan terlarut (*total dissolved solids* atau TDS). Pengukuran suhu dan pH dilakukan menggunakan *multiparameter water quality meter* yang telah dikalibrasi sebelum digunakan, sedangkan DO diukur menggunakan DO meter digital dan TDS diukur menggunakan TDS meter portabel. Setiap parameter diukur sebanyak tiga kali pada masing-masing titik pengamatan dan hasilnya dinyatakan sebagai nilai rata-rata $\pm$ standar deviasi. Hasil pengukuran kualitas air kemudian dibandingkan dengan baku mutu air untuk kegiatan budidaya perikanan berdasarkan ketentuan yang berlaku di Indonesia guna mengetahui tingkat kesesuaian lingkungan perairan sebagai media budidaya ikan nila.

Pengambilan sampel air untuk analisis logam berat dilakukan menggunakan botol polietilen berdensitas tinggi (*high density polyethylene*, HDPE) berkapasitas 500 mL yang telah dibersihkan dan dibilas menggunakan larutan asam nitrat (HNO_3) 10% serta akuades bebas ion. Sampel air diambil pada kedalaman sekitar 20–30 cm dari permukaan perairan, kemudian segera diawetkan dengan penambahan HNO_3 pekat hingga pH kurang dari 2 untuk mencegah presipitasi dan adsorpsi logam pada dinding wadah. Selanjutnya, sampel disimpan dalam *coolbox* bersuhu $\pm 4^\circ\text{C}$ selama proses transportasi menuju laboratorium. Analisis kadar timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sampel air dilakukan melalui proses destruksi asam mengacu pada metode standar *American Public Health Association* (APHA, 2017), kemudian konsentrasi logam ditentukan menggunakan instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Konsentrasi logam dinyatakan dalam satuan mg/L.

Sampel ikan nila (*Oreochromis niloticus*) diambil secara acak dari keramba pada setiap titik pengamatan dengan ukuran relatif seragam, yaitu memiliki panjang tubuh sekitar 18–25 cm dan bobot berkisar antara 200–300 g. Sebanyak tiga ekor ikan dari masing-masing titik pengamatan digunakan sebagai replikasi biologis. Sampel ikan dimasukkan ke dalam kantong plastik steril, diberi label, dan disimpan di dalam *coolbox* yang berisi es selama transportasi ke laboratorium. Preparasi sampel dilakukan dengan memisahkan jaringan otot dorsal (daging punggung) menggunakan pisau bedah *stainless steel* steril untuk meminimalkan risiko kontaminasi silang. Jaringan otot kemudian dicuci menggunakan akuades bebas ion, dikeringkan dengan kertas tisu, dihomogenkan, dan ditimbang sesuai kebutuhan analisis. Sebanyak ± 1 gram sampel daging didestruksi menggunakan campuran asam nitrat (HNO_3) dan asam perklorat (HClO_4) hingga diperoleh larutan jernih. Hasil destruksi selanjutnya dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk menentukan konsentrasi Pb dan Cd yang dinyatakan dalam satuan mg/kg berat basah (*wet weight*).

Untuk menjamin validitas hasil analisis, seluruh peralatan gelas yang digunakan dalam penelitian direndam terlebih dahulu dalam larutan HNO_3 10% selama 24 jam, kemudian dibilas menggunakan akuades bebas ion dan dikeringkan sebelum digunakan. Analisis logam berat dilakukan menggunakan larutan standar bersertifikat dengan pembuatan kurva kalibrasi pada beberapa konsentrasi berbeda. Setiap sampel dianalisis sebanyak tiga kali pengulangan (*triplicate*) dan hasil pembacaan instrumen dinyatakan sebagai nilai rata-rata. Pengendalian mutu analisis dilakukan melalui pengukuran blanko, uji presisi, dan uji perolehan kembali (*recovery test*) untuk memastikan bahwa metode yang digunakan memiliki tingkat akurasi dan ketelitian yang memadai.

Data hasil pengukuran kualitas perairan dan konsentrasi logam berat disajikan dalam bentuk nilai rata-rata dan standar deviasi. Sebelum dilakukan analisis statistik inferensial, data terlebih dahulu diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro–Wilk dan homogenitas varians menggunakan uji Levene pada taraf kepercayaan 95%. Hubungan antara parameter kualitas perairan (suhu, pH, DO, dan TDS) dengan konsentrasi Pb dan Cd pada jaringan otot ikan dianalisis menggunakan uji korelasi Pearson apabila data berdistribusi normal dan homogen, sedangkan data yang tidak memenuhi asumsi parametrik dianalisis menggunakan uji korelasi Spearman. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics versi 26 dengan tingkat signifikansi sebesar $\alpha = 0,05$. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan untuk menjelaskan pengaruh kondisi lingkungan perairan terhadap akumulasi logam berat pada ikan nila budidaya keramba di Sungai Lingsar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran parameter fisik-kimia perairan pada lokasi budidaya keramba di Sungai Lingsar menunjukkan bahwa kondisi lingkungan secara umum masih berada dalam kisaran yang mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Parameter yang diamati meliputi suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (*dissolved oxygen*, DO), total padatan terlarut (*total dissolved solids*, TDS), serta konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada media air. Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi kondisi lingkungan antarstasiun pengamatan, dengan kecenderungan penurunan kualitas perairan dari bagian hulu menuju hilir.

Tabel 1. Karakteristik Fisik-Kimia Perairan dan Konsentrasi Logam Berat pada Air

Parameter	Rentang Nilai yang Ditemukan	Pola Distribusi	Interpretasi
Suhu (°C)	26,8–28,1	Relatif stabil	Sesuai untuk pertumbuhan ikan nila
pH	6,91–7,42	Menurun ke arah hilir	Masih mendekati netral
DO (mg/L)	5,67–6,82	Menurun ke arah hilir	Masih di atas batas minimum budidaya
TDS (mg/L)	118–156	Meningkat ke arah hilir	Menunjukkan peningkatan zat terlarut
Cd air (mg/L)	0,001–0,003	Meningkat ke arah hilir	Konsentrasi relatif rendah

Keterangan: Nilai yang disajikan merupakan rentang hasil pengukuran pada tiga stasiun pengamatan yang mewakili bagian hulu, tengah, dan hilir Sungai Lingsar selama periode penelitian. Parameter kualitas air meliputi suhu, pH, *dissolved oxygen* (DO), dan *total dissolved solids* (TDS), sedangkan konsentrasi timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA/AAS). Interpretasi kondisi perairan mengacu pada baku mutu kualitas air untuk kegiatan budidaya perikanan air tawar yang berlaku di Indonesia.

Berdasarkan Tabel 1, suhu perairan berada pada kisaran 26,8–28,1°C dan relatif stabil di seluruh stasiun pengamatan. Kisaran suhu tersebut menunjukkan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan ikan nila karena masih berada pada rentang optimum bagi aktivitas metabolisme, pertumbuhan, dan reproduksi ikan. Stabilitasnya suhu selama penelitian mengindikasikan bahwa aliran Sungai Lingsar masih mampu menjaga keseimbangan termal meskipun terdapat aktivitas budidaya dan pemanfaatan lahan di sekitarnya.

Nilai pH perairan berkisar antara 6,91–7,42 dengan kecenderungan menurun dari bagian hulu menuju hilir. Meskipun masih berada pada kisaran netral yang sesuai untuk budidaya ikan air tawar, penurunan pH menunjukkan adanya perubahan karakteristik kimia perairan yang diduga dipengaruhi oleh masuknya bahan organik dan limpasan dari aktivitas pertanian maupun permukiman. Penurunan pH berpotensi meningkatkan kelarutan logam berat sehingga fraksi logam dalam bentuk ion bebas menjadi lebih mudah tersedia bagi organisme akuatik. Kondisi tersebut penting karena bioavailabilitas logam merupakan salah satu faktor utama yang menentukan tingkat akumulasi logam pada ikan.

Kadar oksigen terlarut (DO) selama penelitian berada pada kisaran 5,67–6,82 mg/L. Nilai tersebut masih memenuhi kebutuhan minimum bagi kehidupan ikan nila, meskipun terlihat adanya kecenderungan penurunan menuju stasiun hilir. Penurunan DO diduga berkaitan dengan meningkatnya aktivitas dekomposisi bahan organik dan respirasi mikroorganisme akibat bertambahnya beban limbah domestik maupun limpasan dari lahan pertanian. Semakin rendah konsentrasi oksigen terlarut, semakin besar kemungkinan ikan mengalami stres fisiologis yang pada akhirnya dapat meningkatkan kerentanan terhadap paparan berbagai bahan pencemar, termasuk logam berat.

Parameter *total dissolved solids* (TDS) menunjukkan nilai antara 118–156 mg/L dengan kecenderungan meningkat dari hulu ke hilir. Peningkatan TDS mengindikasikan bertambahnya jumlah zat terlarut di dalam perairan, baik berupa ion anorganik maupun senyawa organik hasil aktivitas antropogenik. Tingginya kandungan zat terlarut dapat memengaruhi mobilitas, distribusi, dan ketersediaan logam berat melalui berbagai proses kimia, seperti adsorpsi, desorpsi, dan pembentukan kompleks logam, sehingga berpotensi meningkatkan peluang terjadinya bioakumulasi pada organisme akuatik.

Selain parameter kualitas air, analisis logam berat pada media air menunjukkan bahwa konsentrasi Pb berkisar antara 0,006–0,013 mg/L, sedangkan Cd berkisar antara 0,001–0,003 mg/L. Kedua logam menunjukkan pola distribusi yang sama, yaitu meningkat dari stasiun hulu menuju stasiun hilir. Meskipun konsentrasinya masih tergolong rendah, pola peningkatan tersebut mengindikasikan adanya akumulasi masukan pencemar sepanjang aliran sungai yang kemungkinan berasal dari aktivitas pertanian, permukiman, serta limbah domestik di sekitar daerah aliran Sungai Lingsar.

Kondisi fisik-kimia perairan yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa Sungai Lingsar masih memiliki kualitas lingkungan yang relatif baik untuk mendukung kegiatan budidaya ikan nila. Kisaran suhu yang stabil mencerminkan bahwa kondisi hidrologi sungai masih mampu menjaga keseimbangan termal sehingga proses fisiologis ikan, seperti respirasi, metabolisme, dan pemanfaatan pakan, dapat berlangsung secara optimal. Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh langsung terhadap laju metabolisme ikan, sehingga perubahan suhu yang ekstrem dapat menurunkan pertumbuhan maupun daya tahan tubuh ikan terhadap tekanan lingkungan.

Meskipun demikian, kecenderungan penurunan nilai pH dan DO serta peningkatan TDS dari hulu ke hilir menunjukkan bahwa kualitas perairan mengalami perubahan seiring bertambahnya aktivitas manusia di sepanjang daerah aliran sungai. Masuknya limpasan dari lahan pertanian, aktivitas domestik, dan sisa pakan budidaya diduga menjadi penyebab meningkatnya kandungan bahan organik dan zat terlarut di dalam air. Kondisi tersebut sejalan dengan berbagai penelitian yang melaporkan bahwa aktivitas antropogenik merupakan faktor utama yang memengaruhi perubahan karakteristik fisik-kimia perairan dan meningkatkan risiko pencemaran logam berat.

Penurunan pH memiliki implikasi penting terhadap dinamika logam berat di lingkungan perairan. Pada kondisi yang lebih asam, logam berat cenderung berada dalam bentuk ion bebas yang lebih mudah larut dan lebih mudah diserap oleh organisme akuatik. Dengan demikian, meskipun konsentrasi Pb dan Cd pada media air masih relatif rendah, perubahan kondisi kimia perairan dapat meningkatkan bioavailabilitas logam sehingga berpotensi memperbesar akumulasi pada jaringan ikan. Oleh karena itu, parameter kualitas air tidak hanya berfungsi sebagai indikator kesehatan ekosistem, tetapi juga menjadi faktor yang mengendalikan perilaku logam berat di lingkungan perairan.

Peningkatan nilai TDS yang diikuti oleh meningkatnya konsentrasi Pb dan Cd pada stasiun hilir semakin memperkuat dugaan bahwa daerah tersebut menerima akumulasi berbagai bahan terlarut dari aktivitas di bagian hulu sungai. Zat terlarut yang tinggi dapat meningkatkan mobilitas logam melalui interaksi dengan partikel tersuspensi maupun senyawa organik terlarut. Selain itu, penurunan DO pada lokasi yang sama menunjukkan adanya peningkatan konsumsi oksigen akibat proses dekomposisi bahan organik. Kombinasi kondisi tersebut mencerminkan adanya tekanan lingkungan yang berpotensi meningkatkan risiko pencemaran logam berat apabila tidak dilakukan pengelolaan secara berkelanjutan. Meskipun seluruh parameter kualitas air masih berada dalam kisaran yang memenuhi persyaratan umum budidaya ikan air tawar, pola perubahan yang diamati menunjukkan adanya indikasi awal penurunan kualitas lingkungan pada bagian hilir Sungai Lingsar. Oleh karena itu, pemantauan kualitas perairan secara berkala perlu dilakukan untuk mendeteksi perubahan kondisi lingkungan sejak dini, sekaligus sebagai dasar dalam penyusunan strategi pengelolaan daerah aliran sungai yang berkelanjutan guna menjaga produktivitas budidaya ikan nila dan meminimalkan risiko akumulasi logam berat pada organisme akuatik. Analisis kandungan logam berat pada jaringan otot ikan nila (*Oreochromis niloticus*) menunjukkan bahwa seluruh sampel telah mengandung timbal (Pb) dan kadmium (Cd), meskipun konsentrasinya masih berada pada tingkat yang relatif rendah. Variasi konsentrasi logam ditemukan antarstasiun pengamatan dengan kecenderungan peningkatan dari bagian hulu menuju hilir Sungai Lingsar. Pola tersebut mengindikasikan bahwa akumulasi logam pada ikan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan perairan dan tingkat paparan pencemar di masing-masing lokasi budidaya.

Tabel 2. Konsentrasi Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Otot Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Jenis Logam Berat	Rentang Konsentrasi (mg/kg Berat Basah)	Lokasi Konsentrasi Tertinggi	Status Keamanan Pangan
Timbal (Pb)	0,12–0,26	Stasiun Hilir	Aman (Berada di bawah ambang batas maksimum)

Jenis Logam Berat	Rentang Konsentrasi (mg/kg Berat Basah)	Lokasi Konsentrasi Tertinggi	Status Keamanan Pangan
Kadmium (Cd)	0,021–0,047	Stasiun Hilir	Aman (Berada di bawah ambang batas maksimum)

Keterangan: Konsentrasi logam berat dinyatakan dalam satuan mg/kg berat basah (*wet weight*) dan diperoleh dari hasil analisis jaringan otot ikan nila yang dikumpulkan pada tiga stasiun pengamatan di Sungai Lingsar. Status keamanan pangan ditentukan berdasarkan perbandingan dengan batas maksimum cemaran logam berat pada produk perikanan sesuai regulasi yang berlaku di Indonesia. Seluruh sampel ikan menunjukkan kadar Pb dan Cd masih berada di bawah ambang batas maksimum sehingga secara umum masih layak dikonsumsi.

Berdasarkan Tabel 2. konsentrasi timbal (Pb) pada jaringan otot ikan nila berkisar antara 0,12–0,26 mg/kg berat basah, sedangkan konsentrasi kadmium (Cd) berada pada kisaran 0,021–0,047 mg/kg berat basah. Konsentrasi tertinggi kedua logam ditemukan pada ikan yang dibudidayakan di stasiun hilir, sementara konsentrasi terendah terdapat pada stasiun hulu. Pola distribusi tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan akumulasi logam seiring bertambahnya masukan bahan pencemar sepanjang aliran Sungai Lingsar.

Meskipun konsentrasi Pb dan Cd meningkat menuju bagian hilir, seluruh nilai yang diperoleh masih berada di bawah batas maksimum cemaran logam berat untuk produk perikanan. Hasil ini menunjukkan bahwa ikan nila hasil budidaya keramba di Sungai Lingsar masih tergolong aman untuk dikonsumsi masyarakat. Namun demikian, keberadaan logam berat pada seluruh sampel ikan mengindikasikan bahwa proses bioakumulasi telah berlangsung sehingga diperlukan perhatian terhadap pengelolaan kualitas lingkungan perairan secara berkelanjutan.

Keberadaan timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada seluruh sampel ikan nila menunjukkan bahwa kedua logam tersebut telah memasuki rantai makanan di ekosistem Sungai Lingsar. Meskipun konsentrasi logam pada media air relatif rendah, sifat logam berat yang persisten menyebabkan logam dapat terakumulasi secara bertahap di dalam jaringan organisme akuatik. Bioakumulasi terjadi ketika laju penyerapan logam dari lingkungan lebih besar dibandingkan kemampuan organisme untuk mengeliminasi atau mendetoksifikasinya. Akibatnya, konsentrasi logam dalam tubuh ikan akan meningkat seiring lamanya waktu paparan.

Pola peningkatan konsentrasi Pb dan Cd dari hulu menuju hilir menunjukkan bahwa lokasi budidaya yang berada di bagian hilir menerima tekanan pencemaran yang lebih besar dibandingkan bagian hulu. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh akumulasi limpasan dari aktivitas pertanian, permukiman, dan limbah domestik yang terbawa mengikuti aliran sungai. Selain itu, sistem budidaya keramba yang memanfaatkan aliran sungai secara langsung menyebabkan ikan terus-menerus terpapar logam yang terdapat pada media air maupun partikel tersuspensi.

Proses masuknya logam berat ke dalam tubuh ikan dapat berlangsung melalui beberapa jalur, yaitu difusi melalui insang, absorpsi melalui saluran pencernaan akibat konsumsi pakan dan partikel tersuspensi, serta kontak langsung melalui permukaan tubuh. Setelah memasuki sistem sirkulasi, logam akan didistribusikan ke berbagai organ, seperti hati, ginjal, insang, dan jaringan otot. Walaupun organ hati dan ginjal umumnya menjadi lokasi utama akumulasi logam karena berperan dalam proses metabolisme dan detoksifikasi, jaringan otot tetap menjadi bagian yang sangat penting untuk dianalisis karena merupakan bagian ikan yang dikonsumsi oleh manusia.

Konsentrasi Pb yang lebih tinggi dibandingkan Cd pada penelitian ini mengindikasikan bahwa timbal memiliki tingkat paparan yang lebih besar di lingkungan budidaya. Perbedaan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh variasi sumber pencemar, karakteristik kimia masing-masing logam, serta perbedaan kemampuan ikan dalam menyerap dan mengeliminasi logam dari tubuhnya. Timbal umumnya berasal dari aktivitas domestik, korosi material logam, dan limpasan permukaan, sedangkan kadmium lebih banyak berkaitan dengan penggunaan pupuk fosfat dan bahan kimia pertanian. Oleh karena itu, karakteristik penggunaan lahan di sekitar daerah aliran Sungai Lingsar diduga turut menentukan pola distribusi kedua logam tersebut.

Walaupun kadar Pb dan Cd pada seluruh sampel ikan masih berada di bawah ambang batas maksimum yang diperbolehkan untuk produk perikanan, keberadaan logam berat tetap perlu menjadi perhatian karena sifatnya yang akumulatif. Konsumsi ikan yang mengandung logam berat secara terus-menerus dalam jangka

panjang dapat meningkatkan paparan logam pada tubuh manusia, terutama apabila kualitas perairan terus mengalami penurunan. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keamanan pangan saat ini masih terjaga, tetapi upaya pemantauan kualitas air, pengendalian sumber pencemar, serta pengelolaan budidaya yang berkelanjutan perlu terus dilakukan untuk mencegah peningkatan akumulasi logam berat di masa mendatang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan karakteristik kualitas perairan memiliki keterkaitan yang erat dengan tingkat akumulasi timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada jaringan otot ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Parameter kualitas air yang diamati, yaitu pH, *dissolved oxygen* (DO), dan *total dissolved solids* (TDS), memperlihatkan pola hubungan yang konsisten terhadap peningkatan kandungan logam pada ikan. Penurunan nilai pH dan DO diikuti oleh peningkatan konsentrasi Pb dan Cd, sedangkan peningkatan nilai TDS menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan meningkatnya akumulasi logam berat pada jaringan ikan.

Tabel 3. Hubungan Parameter Kualitas Air dengan Akumulasi Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Otot Ikan Nila

Parameter Air	Hubungan Korelasi	Penjelasan Mekanisme Fisiologis/Kimiawi
pH	Negatif (pH rendah = logam pada ikan meningkat)	Kondisi perairan yang lebih asam meningkatkan kelarutan logam sehingga jumlah ion logam bebas bertambah dan lebih mudah diserap melalui insang ikan.
DO	Negatif (DO rendah = logam pada ikan meningkat)	Penurunan oksigen terlarut menyebabkan ikan mengalami stres fisiologis dan meningkatkan frekuensi ventilasi insang sehingga peluang masuknya logam ke dalam tubuh menjadi lebih besar.
TDS	Positif (TDS meningkat = logam pada ikan meningkat)	Peningkatan zat terlarut mencerminkan bertambahnya ion anorganik dan senyawa organik yang memengaruhi mobilitas, distribusi, dan bioavailabilitas logam berat di perairan.

Keterangan: Hubungan antara parameter kualitas air dan akumulasi logam berat disusun berdasarkan pola perubahan yang diamati selama penelitian serta didukung oleh mekanisme fisiologis dan kimia yang telah dilaporkan dalam berbagai penelitian terdahulu. Hubungan negatif menunjukkan bahwa penurunan nilai parameter kualitas air diikuti oleh peningkatan akumulasi logam pada jaringan ikan, sedangkan hubungan positif menunjukkan bahwa peningkatan nilai parameter diikuti oleh meningkatnya akumulasi logam berat.

Berdasarkan Tabel 3, penurunan nilai pH merupakan salah satu faktor yang berpotensi meningkatkan akumulasi Pb dan Cd pada jaringan otot ikan nila. Sebaliknya, peningkatan nilai TDS menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan meningkatnya kandungan logam pada ikan. Selain itu, penurunan kadar oksigen terlarut (DO) juga berkaitan dengan meningkatnya akumulasi logam, yang mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan perairan berperan penting dalam menentukan tingkat paparan logam berat terhadap organisme budidaya.

Hubungan negatif antara pH dan akumulasi logam menunjukkan bahwa kondisi perairan yang semakin asam meningkatkan bioavailabilitas timbal dan kadmium. Pada pH rendah, logam lebih banyak berada dalam bentuk ion bebas sehingga lebih mudah berdifusi melalui permukaan insang dan memasuki sistem sirkulasi ikan. Setelah masuk ke dalam tubuh, logam akan berikatan dengan protein maupun molekul biologis lainnya dan selanjutnya terdistribusi ke berbagai jaringan. Meskipun hati dan ginjal merupakan organ utama penyimpanan logam, sebagian logam juga akan terakumulasi pada jaringan otot sehingga berpotensi menjadi sumber paparan bagi manusia yang mengonsumsi ikan.

Penurunan kadar oksigen terlarut (DO) juga berkontribusi terhadap peningkatan akumulasi logam melalui mekanisme fisiologis ikan. Pada kondisi hipoksia, ikan akan meningkatkan frekuensi dan volume ventilasi insang untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Peningkatan aliran air yang melewati insang menyebabkan luas kontak antara jaringan insang dan media perairan menjadi lebih besar, sehingga peluang masuknya ion logam ke dalam tubuh juga meningkat. Kondisi ini menjelaskan mengapa lokasi dengan kadar DO lebih rendah cenderung menunjukkan kandungan Pb dan Cd yang lebih tinggi pada jaringan ikan.

Sementara itu, peningkatan nilai *total dissolved solids* (TDS) menunjukkan semakin tingginya jumlah zat terlarut di dalam perairan, baik berupa ion anorganik maupun senyawa organik. Keberadaan zat-zat tersebut dapat memengaruhi mobilitas, spesiasi, dan distribusi logam berat sehingga meningkatkan peluang logam untuk tetap berada di kolom air dan tersedia bagi organisme akuatik. Oleh karena itu, perubahan nilai TDS tidak hanya mencerminkan kondisi kualitas air, tetapi juga dapat digunakan sebagai indikator meningkatnya potensi paparan logam berat pada sistem budidaya keramba.

Meskipun konsentrasi Pb dan Cd pada jaringan otot ikan nila masih berada di bawah batas maksimum cemaran logam berat yang diperbolehkan untuk produk perikanan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses bioakumulasi telah terjadi pada seluruh stasiun pengamatan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa ikan nila mampu menyerap logam berat dari lingkungan meskipun konsentrasi logam pada media air relatif rendah. Dengan demikian, keamanan produk perikanan di lokasi penelitian masih dapat dikategorikan baik, tetapi memerlukan pengawasan secara berkala untuk mengantisipasi peningkatan konsentrasi logam akibat bertambahnya aktivitas antropogenik di sepanjang daerah aliran Sungai Lingsar.

Keberadaan logam berat dalam jumlah kecil sekalipun perlu mendapat perhatian karena sifatnya yang persisten dan akumulatif. Apabila masukan pencemar berlangsung secara terus-menerus tanpa pengendalian, konsentrasi logam di lingkungan maupun pada jaringan ikan berpotensi meningkat hingga melampaui batas aman. Oleh sebab itu, pengelolaan limbah domestik, penggunaan pupuk dan pestisida secara bijaksana, serta pemantauan kualitas perairan secara berkala merupakan langkah penting untuk menjaga keamanan pangan dan keberlanjutan usaha budidaya ikan nila di Sungai Lingsar.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas fisik-kimia perairan memiliki peranan penting dalam mengendalikan tingkat bioakumulasi timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Penurunan nilai pH dan DO serta peningkatan TDS berhubungan dengan meningkatnya akumulasi logam pada jaringan otot ikan, yang menunjukkan bahwa perubahan kondisi lingkungan dapat memengaruhi bioavailabilitas logam berat di perairan. Meskipun kadar Pb dan Cd yang ditemukan masih berada di bawah ambang batas maksimum yang diperbolehkan, pola peningkatan konsentrasi dari hulu menuju hilir menjadi indikasi adanya tekanan antropogenik yang perlu diwaspadai.

Hasil penelitian ini memberikan informasi dasar mengenai kondisi kualitas perairan dan keamanan ikan nila budidaya di Sungai Lingsar, sekaligus menjadi dasar ilmiah bagi upaya pengelolaan daerah aliran sungai secara terpadu. Pemantauan kualitas air dan kandungan logam berat secara berkelanjutan, disertai pengendalian sumber pencemar dari sektor pertanian maupun domestik, diharapkan mampu mempertahankan kualitas lingkungan perairan serta menjamin keamanan produk perikanan bagi masyarakat di masa mendatang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, karakteristik fisik-kimia perairan di lokasi budidaya keramba Sungai Lingsar masih berada dalam kisaran yang mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Nilai suhu, pH, oksigen terlarut (DO), dan total padatan terlarut (TDS) masih memenuhi persyaratan umum untuk budidaya perikanan air tawar. Namun demikian, terdapat kecenderungan penurunan kualitas perairan dari bagian hulu menuju hilir yang ditunjukkan oleh penurunan nilai pH dan DO serta peningkatan TDS. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya tekanan antropogenik yang berasal dari aktivitas pertanian, pemukiman, dan kegiatan domestik di sepanjang daerah aliran Sungai Lingsar.

Logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) terdeteksi pada seluruh sampel air dan jaringan otot ikan nila dengan pola distribusi yang menunjukkan peningkatan konsentrasi ke arah hilir. Konsentrasi Pb pada otot ikan berkisar antara 0,12–0,26 mg/kg, sedangkan konsentrasi Cd berkisar antara 0,021–0,047 mg/kg. Hasil ini menunjukkan bahwa ikan nila yang dibudidayakan di keramba Sungai Lingsar telah mengalami proses

bioakumulasi logam berat yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan perairan dan tingkat paparan pencemar di masing-masing stasiun pengamatan.

Analisis korelasi menunjukkan bahwa penurunan pH dan DO berhubungan dengan peningkatan akumulasi Pb dan Cd pada jaringan otot ikan, sedangkan peningkatan TDS cenderung meningkatkan ketersediaan logam di perairan. Meskipun konsentrasi logam berat yang ditemukan masih berada di bawah batas maksimum cemaran yang diperbolehkan untuk produk perikanan, keberadaan Pb dan Cd pada seluruh sampel mengindikasikan perlunya pemantauan kualitas perairan dan kandungan logam secara berkala. Upaya pengendalian sumber pencemar di daerah aliran sungai serta pengelolaan budidaya yang berkelanjutan diperlukan untuk menjaga keamanan pangan, kesehatan lingkungan, dan keberlangsungan usaha budidaya ikan nila di Desa Lingsar, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. K., Shaheen, N., Islam, M. S., Habibullah-Al-Mamun, M., Islam, S., Mohiduzzaman, M., & Bhattacharjee, L. (2015). Dietary intake of trace elements from cultured fish and human health risk assessment. *Food Control*, 54, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.019>
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, Article 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Authman, M. M. N., Zaki, M. S., Khallaf, E. A., & Abbas, H. H. (2015). Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 6(4), 1–13. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000328>
- Canli, M., & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal levels and fish size in freshwater fish species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 54(2), 129–133. [https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(02\)00068-0](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00068-0)
- Hidayah, A. M., Purwanto, P., & Soeprbowati, T. R. (2014). Biokonsentrasi faktor logam berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada ikan nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 16(1), 1–9. <https://doi.org/10.14710/bioma.16.1.1-9>
- Indrawati, E., Musada, Z., Tantu, A. G., & Renal. (2022). Status pencemaran logam berat timbal dan kadmium di Sungai Tallo menggunakan bioindikator ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 22(2), 343–352.
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M., & Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Priyanto, N., Dwiitno, & Ariyani, F. (2008). Kandungan logam berat (Hg, Pb, Cd, dan Cu) pada air, sedimen, dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Waduk Cirata. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 3(1), 69–78.
- Rahman, M. S., Molla, A. H., Saha, N., & Rahman, A. (2012). Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry*, 134(4), 1847–1854. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.099>
- Selmi, S., Wiharto, W., & Patang, P. (2019). Analisis air, substrat tanah dan cemaran logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada Waduk Tunggu Pampang Kelurahan Bitoa, Kota Makassar. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5(2), 214–226. <https://doi.org/10.26858/jptp.v5i2.9626>
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Türkmen, M., Türkmen, A., Tepe, Y., Töre, Y., & Ateş, A. (2009). Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas. *Food Chemistry*, 113(1), 233–237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.071>

- Varol, M., & Şen, B. (2012). Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*, 92, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.011>
- Yi, Y., Yang, Z., & Zhang, S. (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159(10), 2575–2585. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011>