

KONTAMINASI TIMBAL (Pb) PADA IKAN : *LITERATUR REVIEW*

Viela Luckycia^{1*}, Lilis Sulistyorini², Firda Azkiya Nisa' Fadholi³, Khansa Abida Arumdapta⁴, Wildy Ariabima Kresnaya⁵

Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga^{1,2,3,4,5}

*Corresponding Author : luckyciaviela@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan aktivitas industri menyebabkan pencemaran, termasuk kontaminasi logam berat seperti timbal (Pb). Timbal, yang bersifat toksik dan dapat terakumulasi pada tubuh ikan, menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia melalui proses biomagnifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kontaminasi timbal pada ikan dan dampaknya terhadap kesehatan manusia. Metode yang digunakan adalah kajian literatur dengan menelaah 25 artikel penelitian relevan yang diterbitkan dalam sepuluh tahun terakhir (2014–2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Pb dalam air di sebagian besar lokasi penelitian masih berada di bawah ambang batas baku mutu menurut PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 0,01 mg/L. Namun, di Sungai Gajah Wong dan Sungai Winongo, Yogyakarta, kadar Pb masing-masing mencapai 0,228 mg/L dan 0,054 mg/L. Meskipun kadar Pb dalam air rendah di beberapa lokasi, kadar Pb dalam ikan melebihi baku mutu SNI 7387:2009, yaitu 0,3 mg/kg, dengan kadar tertinggi sebesar 11,35 mg/kg pada organ viscera ikan di Sungai Winongo. Pencemaran ini terutama disebabkan oleh limbah domestik, industri, dan aktivitas pelabuhan. Konsumsi ikan yang terkontaminasi Pb berisiko menyebabkan gangguan organ, gangguan reproduksi, hingga peningkatan risiko keguguran dan kelahiran prematur. Langkah strategis diperlukan untuk mengurangi dampak pencemaran, seperti pengelolaan limbah dan pengawasan aktivitas industri.

Kata kunci : kadar timbal, kontaminasi timbal (Pb), logam berat

ABSTRACT

The increasing industrial activity has led to environmental pollution, including heavy metal contamination such as lead (Pb). Lead, being toxic and capable of bioaccumulating in fish, poses a serious threat to human health through biomagnification. This study aims to identify lead contamination in fish and its impacts on human health. The method employed is a literature review by examining 25 relevant research articles published within the last ten years (2014–2024). The findings indicate that Pb levels in water at most study locations remain below the quality standard threshold set by Government Regulation No. 82 of 2001, which is 0.01 mg/L. However, in Gajah Wong River and Winongo River in Yogyakarta, Pb levels reached 0.228 mg/L and 0.054 mg/L, respectively. Despite low Pb levels in water at some locations, Pb levels in fish exceeded the quality standard threshold set by SNI 7387:2009, which is 0.3 mg/kg, with the highest level recorded at 11.35 mg/kg in fish viscera from the Winongo River. The primary sources of contamination include domestic waste, industrial waste, and port activities. Consuming fish contaminated with Pb can result in organ damage, reproductive disorders, and an increased risk of miscarriage and premature birth. Strategic measures, such as waste management and industrial activity monitoring, are required to mitigate the impacts of pollution on the environment and public health.

Keywords : heavy metals, lead (Pb) contamination, lead level

PENDAHULUAN

Perairan memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Indonesia sebagai negara kepulauan memanfaatkan sumber daya air yang kaya untuk menunjang kegiatan penduduknya, seperti sumber air bersih, irigasi pertanian, maupun perikanan. Selain itu, dengan perkembangan industri yang pesat di Indonesia, perairan juga dimanfaatkan sebagai pembuangan akhir limbah cair yang dihasilkan, baik proses produksi maupun domestik (Purwanto et al., 2020). Pembuangan limbah ke badan air atau laut ini lah yang akan

menurunkan kualitas air di perairan tersebut. Limbah yang tidak dikelola dengan baik dan dilepaskan ke perairan akan menyebabkan pencemaran air (Romdhonia et al., 2023). Salah satu pencemar utama adalah timbal yang berasal dari aktivitas industri.

Timbal adalah logam berwarna abu-abu mengkilap yang mudah berubah menjadi gelap saat terpapar udara (Noviandri Lina, 2024). Ketika timbal larut dalam perairan, ia dapat mempengaruhi biota air yang hidup di lingkungan perairan yang telah tercemar oleh logam berat tersebut (Arkianti et al., 2019). Baku mutu yang ditetapkan pemerintah untuk timbal dalam air sangat bervariasi tergantung pada jenis dan fungsi perairan. Misalnya, untuk sungai dan danau kelas 1–3 batasnya adalah 0,03 mg/L, sedangkan untuk kelas 4 mencapai 0,5 mg/L. Di sisi lain, batas aman timbal di perairan laut untuk kegiatan wisata bahari adalah 0,005 mg/L dan untuk biota laut sebesar 0,008 mg/L (PP No. 22 Tahun 2021). Timbal yang masuk ke perairan akan menyebabkan terjadinya bioakumulasi di dalam tubuh ikan dan bersifat toksik (Pradona & Partaya, 2022).

Ikan cenderung mengabsorpsi logam berat melalui makanan ataupun udara pada perairan tercemar melalui insang (Purwanto et al., 2020). Sifat timbal yang toksik dan terakumulasi pada tubuh ikan akan memberikan efek yang tidak baik bagi kesehatan manusia. Logam berat seperti timbal yang terakumulasi dalam jaringan tubuh ikan dapat berpindah ke manusia melalui rantai makanan. Fenomena ini disebut biomagnifikasi, yaitu proses akumulasi zat pencemar yang meningkat pada setiap tingkat trofik dalam ekosistem. Akumulasi timbal dalam tubuh manusia dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan serius, seperti kerusakan perkembangan otak pada anak-anak, anemia, serta gangguan fungsi darah (Romdhonia et al., 2023). Paparan timbal pada manusia dapat meningkatkan kadar asam aminolevulinat (ALA) dalam darah, memendekkan usia sel darah merah, serta mengganggu produksi dan jumlah sel darah merah (Juliana C et al., 2017). Melihat besarnya risiko kesehatan yang mungkin ditimbulkan, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kontaminasi logam berat timbal (Pb) pada ikan serta potensi bahayanya terhadap kesehatan manusia, khususnya melalui konsumsi ikan dari perairan yang tercemar.

METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode literature review atau studi pustaka, yakni dengan menelaah berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, dan referensi relevan lainnya yang mendukung topik penelitian. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam dan perkembangan terkini terkait isu yang dikaji (Cahyono E et al., 2019). Adapun literatur yang digunakan terdiri dari artikel penelitian asli (*original research*), baik dari publikasi nasional maupun internasional, yang diterbitkan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir (2014–2024) dan dapat diakses secara terbuka (*open access*). Penelusuran artikel menggunakan mesin pencarian Google Scholar, Science Direct, Pubmed, dan Mdpi dengan kata kunci “Kontaminasi Timbal” dan “Timbal pada Ikan”. Sebanyak 25 artikel penelitian yang relevan dengan masalah dan topik penelitian dikumpulkan dan ditelaah kemudian disajikan untuk menganalisa hasil kontaminasi timbal pada ikan.

HASIL

Sebagian besar lokasi yang dianalisis menunjukkan kadar timbal (Pb) dalam air yang masih kurang dari batas maksimal yang telah ditentukan, yaitu 0,01 mg/L, sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah nomor 82 Tahun 2001. Tetapi, masih ada beberapa lokasi sungai dengan kadar Pb-nya melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Misalnya, pada Sungai Gajah Wong dengan kadar Pb mencapai 0,228 mg/L, Sungai Winongo dengan 0,054 mg/L, Sungai Tenggang Semarang dengan 0,03 mg/L, dan Pantai Utara Jawa yang tercatat

sebesar 0,452 mg/L. Angka-angka ini menunjukkan bahwa terjadi pencemaran logam berat, khususnya timbal, di beberapa lokasi tersebut.

Meskipun kadar Pb dalam air pada sebagian besar lokasi terpantau rendah, kandungan Pb dalam ikan yang ditemukan di sungai-sungai tersebut masih tergolong tinggi. Sebagian besar ikan di lokasi tersebut menunjukkan kadar Pb yang melampaui kadar maksimal yang ditetapkan dalam SNI 7387:2009, yaitu 0,3 mg/kg. Contohnya, ikan yang berasal dari Sungai Winongo memiliki kadar Pb yang sangat tinggi, mencapai 11,35 mg/kg pada organ viscera. Organ viscera, yang meliputi hati dan lambung, memang dikenal sebagai tempat utama akumulasi logam berat (Busira et al., 2020). Namun, pada daerah industri pesisir Manyar dan Gresik, kandungan Pb dalam ikan ditemukan kurang dari baku mutu yang telah ditetapkan oleh SNI, menunjukkan bahwa pencemaran logam berat lebih terkonsentrasi di beberapa area lain. Aktivitas industri, pembuangan limbah domestik, dan kegiatan pelabuhan di lokasi-lokasi tersebut menjadi penyebab utama pencemaran timbal yang mengancam kualitas air dan kehidupan akuatik di sekitarnya.

Tabel 1. Daftar Artikel Literatur Tentang Kontaminasi Timbal (Pb) pada ikan

Judul artikel	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Populasi Sampel	dan Hasil Penelitian	Kesimpulan
Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Sungai Lemat Kabupaten Magelang	Nisa Arkianti, Nur Kusuma di Dewi, dan Nana Kariada Tri Martuti (2019)	Penelitian ini bersifat observasional analitik. Penentuan stasiun pengamatan menggunakan purposive sampling ikan diambil secara composite.	Tiga stasiun pengamatan yaitu antara Sungai Kroco dan Sungai Cacaban, sebelum area RSUD Muntilan Kabupaten Magelang, Dusun Ngasem Desa Gunung Pring.	Analisis logam berat timbal (Pb) pada air (Pb) di air Sungai Lemat berada di bawah batas deteksi, sesuai dengan PP No. 82 Tahun 2001 (0,01 mg/L). Namun, kadar Pb pada ikan berkisar antara 0,3042-0,7268 mg/Kg, melebihi batas SNI 7389:2009.	Konsentrasi timbal (Pb) di air Sungai Lemat berada di bawah 0,01 mg/L, sehingga masih sesuai dengan baku mutu PP No. 82 Thn 2001. Namun, kadar Pb dalam ikan berkisar 0,03–0,08 µg/g dan telah melampaui batas aman SNI 7387:2009.
Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Nila (Oreochromis niloticus) di Sungai Gajah Wong, Yogyakarta	Jean Queen Dozy Busira, Guruh Prihatmo, Suhendra Pakpahan (2020)	Penelitian dilakukan di Sungai Wong, Yogyakarta yang terbagi menjadi 3 stasiun. Metode ekstraksi yang digunakan adalah metode <i>aqua regia digestible</i> .	Populasi: Ikan nila di Sungai Gajah Wong, Yogyakarta dengan ukuran 17-24 cm dan berat 99-230 gram. Sampel: 75 sampel yang terdiri dari 45 sampel organ, 15 sampel air, dan 15 sampel sedimen	Konsentrasi rata-rata Pb pada air adalah 0,228 mg/L, sedimen 2,090 mg/kg, dan pada organ ikan nila: konsumsi, musculus 0,7976 mg/kg, os 1,9626 mg/kg, dan viscera 1,1706 mg/kg. Ikan nila memiliki BCF rendah (kurang dari 100).	Kadar Pb pada air dan tubuh ikan nila melebihi baku mutu aman, sedangkan kadar Pb pada sedimen masih tergolong aman.
Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Nila (Oreochromis niloticus) dan Ikan Bawal (Colossoma macropomum) di Sungai	Annabelle Indryana Purwanto, Guruh Prihatmo, Suhendra Pakpahan (2020)	Sampel ikan akan diekstraksi dengan menggunakan <i>aqua regia digestible</i> . Pengukuran kadar Pb ekstrak menggunakan AAS	Total ada 120 sampel yang digunakan Bagian ikan yang diteliti adalah organ viscera, tulang dan daging masing-masing 5 replikat.	Kadar Pb dalam air (0,054 mg/L) melebihi batas PP No. 82/2001, sementara Pb dalam sedimen aman (38,29 mg/kg). Pada ikan nila dan bawal, Pb tertinggi ditemukan di viscera.	Kandungan timbal (Pb) dalam air melebihi baku mutu, menandakan pencemaran serius. Meskipun sedimen masih aman, tetap menjadi tempat akumulasi logam berat. Ikan,

Judul artikel	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Populasi Sampel	dan Hasil Penelitian	Kesimpulan
Winongo, Yogyakarta		Data diolah menggunakan software SPSS 21			terutama bagian viscera dan tulang, dapat menjadi bioindikator pencemaran.
Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) di dalam Tubuh Ikan Wader (<i>Barbodes binotatus</i>) dan Air Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor	Azizah & Pengambilan sampel menggunakan random purposive sampling di lima stasiun yang mewakili daerah aliran sungai bagian hulu, hilir, kawasan industri emas, area penambangan liar, dan kawasan irigasi. Sampel ikan diambil dari Sungai Cikaniki segmen Kabupaten Bogor dari hulu ke hilir sungai.	Populasi penelitian seluruh air yang mengalir di daerah aliran Sungai Cikaniki dan seluruh ikan yang hidup di sungai.	Kadar kadmium di Sungai Cikaniki (0,02 mg/L) melebihi baku mutu 0,01 mg/L. Kandungan Pb pada ikan Wader (0,4–0,7 mg/kg), kadmium (<0,4 mg/kg), dan merkuri (0,630–1,029 mg/kg) semuanya melampaui ambang batas FAO/WHO, masing-masing sebesar 0,3; 0,1; dan 0,5 mg/kg.	Kadar Cd di Sungai Cikaniki melebihi ambang batas, sementara Pb dan Hg masih aman. Namun, kandungan Pb, Cd, dan Hg pada ikan melampaui batas FAO/WHO 2000.	
Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Daging Ikan di Tanjung Mas Semarang	Pradona S., Partaya (2022)	Penelitian menggunakan rancangan observasional dengan penetapan pengambilan sampel menggunakan teknik purposive random sampling.	Populasi penelitian ialah seluruh air yang berada di aliran Tanjung Mas dan seluruh ikan yang hidup di aliran tersebut.	Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar Pb di lokasi III, IV, dan V melebihi batas baku mutu PP RI No. 22 Tahun 2021 (0,05 mg/L). Sampel ikan di lokasi V juga melampaui ambang batas SNI daging ikan tercatat 7387:2009 (2,0 mg/kg), antara 0,00–9,973 mg/kg, dan di lokasi V melebihi baku aktivitas kapal dan mutu, dengan nilai limbah industri di sekitar kawasan pelabuhan dan industri.	Kadar timbal (Pb) di perairan Tanjung Mas, Semarang berkisar 0,00–0,015 mg/L, dengan sebagian titik melebihi ambang batas. Kandungan Pb pada daging ikan tercatat 0,00–9,973 mg/kg, dan di lokasi V melebihi baku aktivitas kapal dan mutu, dengan nilai limbah industri di BCF tergolong sedang.
Analisis Kandungan Kadmium (Cd) Dan Timbal (Pb) Pada Ikan Belanak Di Wilayah Industri Pesisir	Romdhonia N., Pujiati R., Ningrum P (2023)	Penelitian deskriptif observasional dengan metode survei.	Populasi penelitian merupakan Ikan Belanak di wilayah Industri Pesisir Kecamatan Manyar dan Gresik dimana terdapat lima	Kadar kadmium (Cd) dan timbal (Pb) pada ikan belanak di wilayah pesisir Kecamatan Manyar dan Gresik berada di bawah ambang batas yang ditetapkan. Kadar kadmium berkisar antara -0,0631 hingga -	Sumber pencemaran Cd dan Pb berasal dari limbah domestik dan industri. Meskipun kadar Cd dan Pb pada ikan belanak di wilayah tersebut masih berada di bawah

Judul artikel	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Populasi Sampel	dan Hasil Penelitian	Kesimpulan
Kecamatan Manyar Dan Gresik			sampel yang diambil secara acak dari populasi ikan yang terjaring pada lima titik lokasi penelitian yang telah ditentukan.	0,0288 mg/kg, sementara timbal antara -0,0587 hingga -0,0542 mg/kg. Ini menunjukkan bahwa ikan belanak aman dikonsumsi, asalkan tidak berlebihan.	baku mutu, akumulasi Pb tetap aman dan tidak melebihi batas yang ditetapkan.
Occurrence and Consumer Health Risk Assessment of Heavy Metals in Frozen Demersal Fish and Cephalopod Products From Benoa Port, Bali Province	Putu Angga Wiradana, I Made Gde Sudyadnyan a Sandhika, Putu Eka Sudaryatma, I Gede Widhiantara, Made Nyandra, Adnorita Fandah Oktariani, Setyo Budi Kurniawan (2024)	Sampel diambil sebanyak 17 produk demersal ikan cephalopod dari distributor produk perikanan di Benoa Port pada Bulan Juli 2022	Sampel terdiri dari 34 produk fillet ikan yang mencakup 17 produk ikan demersal dan 17 produk cephalopod. Setiap sampel memiliki berat rata-rata 500 gram.	Kadar logam berat dalam ikan demersal dan cephalopod berada di bawah batas yang ditetapkan oleh lembaga kesehatan internasional, dengan THQ kurang dari 1, yang menunjukkan tidak ada risiko kesehatan bagi konsumen. TCR juga menunjukkan tidak ada risiko kanker terkait konsumsi kedua produk perikanan ini.	Kadar logam berat dalam ikan demersal dan cephalopod dari Benoa Port aman untuk konsumsi, dengan bioakumulasi logam berat pada kedua produk tersebut tidak menimbulkan risiko kesehatan bagi konsumen.
Analysis of Pollution Levels of Heavy Metals of Lead (Pb) And Copper (Cu) In Freshwater Fish In Lake Toba Water	Eva P. Fine E. S (2023)	Penelitian dilakukan selama bulan Agustus-September 2022 di Danau Toba. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik <i>purposive sampling</i>	Sampel air diambil sebanyak 250 ml pada setiap masing-masing 3 stasiun. Sampel ikan juga diambil dari masing-masing dengan panjang 40-60 cm (± 1.2 kg)	Konsentrasi logam berat pada ikan air tawar menunjukkan kadar Pb antara 0,0386 hingga 0,0700 ppm, dan Cu antara 0,0059 hingga 0,0325 ppm. Nilai faktor biokonsentrasi (BCF) ikan air tawar (Pb di Danau Toba. 0,401-0,721) dan Cu (2,347- 8,325).	Terdapat keterkaitan yang signifikan antara kandungan logam timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada ikan dengan kondisi parameter lingkungan perairan (Pb di Danau Toba.
Lead Content Analysis in Fish As Early Warning System For Food Safety in Rawa Bangkau Waters of South Kalimantan	Yasmin Arifin Sofiani Purwanto (2020)	Z, P, D, T. Penelitian dilakukan pada bulan Juli-September 2020 di tengah outlet Rawa Bangkau. Pengambilan sampel menggunakan jaring insang	Sampel ikan diambil dengan berbagai jenis, diantaranya ikan papuyu, gabus, toman, biawan, lainnya	Sebanyak 77% sampel ikan tidak memenuhi standar kualitas SNI dan EU untuk timbal, sementara hanya 16% yang memenuhi kedua standar tersebut, 7% lainnya hanya memenuhi standar SNI. Ini menunjukkan bahwa sebagian ikan aman untuk dikonsumsi.	Konsumsi ikan dari perairan Rawa Bangaku berisiko membahayakan kesehatan karena kandungan timbal yang tinggi. Diperlukan pengelolaan yang terpadu untuk mengurangi pencemaran dan memastikan keamanan pangan.
Analisis Risiko Kesehatan	Glori Djoko (2024)	K, R Survei lapangan dan analisis laboratorium	60 sampel dari 4 TPI (Logending,	Sebanyak 90% sampel ikan melebihi batas aman Pb 0,20 mg/kg, dengan	Kandungan Pb pada ikan di 4 TPI dapat memicu terjadinya

Judul artikel	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Populasi dan Sampel	Hasil Penelitian	Kesimpulan
Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) Pada Ikan Di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Di Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen		(ANOVA, RQ, ECR)	Argopeni, Karang Duwur, Pasir)	rata-rata tertinggi ditemukan di TPI Karangduwur (4,95 mg/kg). Argopeni menunjukkan risiko di lokasi dengan kesehatan tertinggi (RQ paparan tinggi. 3922,19, ECR 0,0572 mg/kg-hari).	risiko kesehatan signifikan masyarakat khususnya dengan pengelolaan risiko dan bioremediasi sangat penting untuk menurunkan kadar Pb.
Analisis Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Dalam Daging Ikan Kakap Merah (Lutjanus Sp.) Di Tpi Kluwut Brebes	Endang T. H, Nana K. (2020)	Observasi analitik menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	9 ekor ikan kakap merah, masing-masing 1 kg/ekor (pengulangan 3 kali)	Kandungan Pb dan Cd pada ikan kakap merah berada di bawah batas aman yang ditetapkan BPOM RI 2018, dengan Pb tertinggi 0,0939 mg/kg dan Cd tertinggi 0,0953 mg/kg.	Meski masih aman, perairan di TPI Kluwut menunjukkan adanya kontaminasi logam berat, dan bioakumulasi dapat menjadi risiko jangka panjang bagi masyarakat.
Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Timbal (Pb) Dalam Biota Laut Pada Masyarakat Sekitar Teluk Kendari	Syarifuddin Muhammad, Sarto (2018)	Observasi analitik dengan pendekatan ARKL dan EKL (cross-sectional)	30 sampel ikan (3 jenis) dan kerang dari 6 tambak; 110 responden (proportional sampling)	Kandungan Pb dalam ikan: 0,0027–0,0095 mg/kg, kerang: 0,1026–0,1097 mg/kg; tingkat risiko konsumsi ikan RQ=1,29, kerang RQ=4,03. Konsumsi kerang memberikan risiko kesehatan lebih tinggi.	Masyarakat sekitar Teluk Kendari memiliki risiko kesehatan akibat konsumsi ikan dan kerang yang tercemar Pb (RQ>1). Diperlukan pengendalian sumber pencemaran dan konsumsi aman.
Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dalam Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>) yang Hidup di Sungai Kalitengah, Sidoarjo	Weda M, T, Tarzan P(2016)	Penelitian Observasional dengan analisis deskriptif, menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	Ikan nila dari 5 Stasiun di Sungai Kali Tengah	Kandungan timbal (Pb) pada ikan nila antara 0,146 ppm-0,174 ppm, ikan nila yang melebihi batas baku mutu 0,008 ppm	Di Sungai Kali Tengah terdapat ikan nila yang kandungannya melebihi batas maksimal yang telah ditetapkan yang mana dapat menimbulkan risiko kesehatan jika dikonsumsi
Heavy Metal Concentration s in Fish from River Tano in Ghana and the Health Risks Posed to Consumers	Nyantakyi et al. (2021)	Metode penelitian meliputi pengambilan sampel ikan dari Sungai Tano.	Populasi dalam penelitian ini adalah ikan yang terdapat di Sungai Tano, Ghana. Sampel yang diambil terdiri dari 18 ikan yang mewakili 10 spesies berbeda.	Konsentrasi timbal (Pb), kadmium (Cd), arsenik (As), merkuri (Hg), kromium (Cr), dan seng (Zn) pada beberapa spesies ikan melebihi batas aman FAO/WHO, terutama untuk arsenik dan merkuri. Penilaian risiko menunjukkan	Ikan dari Sungai Tano, Ghana, terkontaminasi dengan logam berat, dengan arsenik (As), merkuri (Hg), dan kromium (Cr) melebihi batas aman FAO/WHO. Meski timbal (Pb), seng (Zn), dan kadmium

Judul artikel	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Populasi Sampel	dan Hasil Penelitian	Kesimpulan
				bahwa kadar Pb, Cd, (Cd) aman, tetap dan Zn aman, namun ada risiko non-As, Cr, dan Hg berisiko karsinogenik dan karsinogenik dan non-karsinogenik.	
Assessment of Potentially Toxic Metals in Fish from Lake Manyara, Northern Tanzania	Sawe S., et al.. (2023)	Pengambilan Sampel ikan lele Afrika dan tilapia dari Danau Manyara, Tanzania.	Populasi merupakan seluruh ikan lele dan ikan tilapia yang hidup di Danau Manyara. 10 ikan lele Afrika (<i>Clarias gariepinus</i>) dan 10 sampel tilapia (<i>Oreochromis amphielas</i>) yang diambil berdasarkan berat (9–10 kg) dari setiap titik pengambilan. Total pengambilan sampel dilakukan di lima lokasi pendaratan ikan di Danau Manyara.	Konsentrasi logam berat tertinggi ditemukan pada ikan lele Afrika, dengan tembaga (Cu) mencapai 16,91 mg/kg dan nikel (Ni) 0,91 mg/kg. Tilapia memiliki konsentrasi seng (Zn) tertinggi, 52,80 mg/kg, sementara timbal (Pb) berkisar antara 0,38 hingga 0,81 mg/kg. Semua konsentrasi tembaga (Cu) dan nikel (Ni) menurut FAO/WHO. Tidak ada perbedaan signifikan antara spesies ikan, namun konsumsi disarankan dibatasi hingga 2,2 kg per minggu untuk mengurangi risiko kesehatan.	Konsentrasi logam berat dalam ikan dari Danau Manyara tidak melebihi batas aman yang ditetapkan oleh FAO dan WHO, menunjukkan bahwa ikan tersebut aman untuk dikonsumsi. Ikan lele Afrika memiliki konsentrasi tembaga (Cu) dan nikel (Ni) tertinggi, sedangkan tilapia memiliki konsentrasi seng (Zn) tertinggi. Namun, semua konsentrasi logam berat berada dalam batas aman.
Heavy Metal Content in a Fish of the Barguzin River (Eastern Cisbaikalia) and Assessment of Potential Risks to Human Health	Bazarsaduev S., Shiretorova V., Nikitina E., Zhigzhitzhap ova S., taraskin V., Bazarshapov T., Dong S., Radnaeva L. (2023)	Pengambilan Sampel ikan jenis roach, bream, crucian carp, perch, dan northern pike melalui nelayan lokal yang memiliki izin menangkap ikan di Sungai Barguzin.	Populasi dalam penelitian ini adalah ikan yang terdapat di Sungai Barguzin, yang ditangkap oleh nelayan yang terdiri dari 6 spesies ikan.	Penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat, termasuk timbal (Pb), dalam jaringan otot ikan dari Sungai Barguzin berada dalam batas aman. Kadar Pb dan Kadar Cd tidak melebihi batas yang diizinkan oleh organisasi internasional.	Meskipun terdapat akumulasi logam berat dalam ikan, kandungan timbal (Pb) dalam jaringan otot ikan berada dalam batas aman dan tidak melebihi nilai maksimum yang diizinkan (MAC). Penilaian risiko kesehatan menggunakan THQ (Target Hazard Quotient) dan HI (Hazard Index) menunjukkan apabila mengonsumsi ikan yang berasal dari Sungai Barguzin tidak menyebabkan risiko non-karsinogenik yang signifikan, karena semua nilai THQ dan HI berada di bawah satu.

Judul artikel	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Populasi dan Sampel	Hasil Penelitian	Kesimpulan
Lead, Mercury and Cadmium in Fish and Shellfish from the Indian Ocean and Red Sea (African Countries): Public Health Challenges	Isidro Jose et al. (2020)	Kajian pustaka dengan pengumpulan data sekunder	Data berbagai jenis makanan laut dari negara-negara Afrika	Beberapa makanan laut memiliki kadar logam berat di atas batas aman, menunjukkan risiko kesehatan masyarakat	Pentingnya kontrol ketat dan monitoring terhadap logam berat dalam makanan laut.
Target Hazard Quotient Evaluation Of Cadmium And Lead In Fish From Caspian Sea	Yalda B. & Zahra K. (2016)	Pengukuran konsentrasi logam berat ikan dengan AAS, perhitungan Target Hazard Quotient (THQ)	6 spesies ikan dari Laut Kaspia	THQ menunjukkan risiko logam berat rendah untuk konsumsi ikan oleh orang dewasa dan anak-anak	Konsumsi ikan dari wilayah ini memiliki risiko logam berat yang rendah namun tetap perlu perhatian pada beberapa spesies.
Arsenic, mercury, cadmium and lead contents in Algerian continental and marine farming fish and human health risk assessment due to their consumption	Boubeker Khellaf et al. (2023)	Sampel dianalisis menggunakan metode terakreditasi yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya Chevallier et al. (2015).	Sebanyak 180 sampel, termasuk 145 ikan, 15 pakan, dan 20 sampel air dari area peternakan, dikumpulkan antara Maret dan Oktober 2021. Sampel ikan diambil dari berbagai jenis ikan serta berbagai tempat pembudidayaan ikan di Aljazair.	Kontaminan utama di jaringan otot ikan adalah arsenik (As), otot diikuti merkuri (Hg), sementara kadar timbal (Pb) dan kadmium (Cd) umumnya rendah. Meskipun tidak ditemukan risiko efek non-karsinogenik bagi kesehatan manusia, risiko kanker sedikit meningkat pada konsumsi ikan tilapia merah dan sea bream karena kadar arsenik total.	Konsentrasi arsenik dan merkuri dalam otot ikan menunjukkan risiko non-karsinogenik yang rendah bagi konsumen. Risiko karsinogenik sedikit lebih tinggi pada konsumsi ikan nila merah dan bream. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi arsenik anorganik dalam jaringan ikan.
Human exposure in Italy to lead, cadmium and mercury through fish and seafood product consumption from Eastern Central Atlantic Fishing Area	Silvia Zaza , et al. (2015)	Pengukuran kadar Cd dan Pb dilakukan menggunakan Quadrupole Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Q-ICP-MS) dengan spektrometer Elan 6000 (Perkin Elmer Italia).	450 sampel dibeli dari berbagai gerai ritel di Italia, dengan memilih sampel yang dikumpulkan dari Area Penangkapan Utama FAO 34.	Studi ini menemukan bahwa konsentrasi logam berat bervariasi antar spesies, dengan Pb pada cumi-cumi dan udang mencapai 240–270 mg/kg, dan Hg tertinggi pada ikan todak dan ikan laut. 54% dan 36% Eropa (54% dan 36% Italia. Hal ini dari ML). Cumi-cumi menunjukkan kadar Cd tertinggi pada 440 mg/kg, diikuti ikan todak (120 mg/kg).	Disimpulkan bahwa EWI tidak melebihi TWI dan PTWI untuk logam yang dinilai, bahkan untuk persentil ke-95 konsumen di Italia. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi makanan laut di Italia aman terkait paparan logam berat.
Arsenic, cadmium, lead	Konrad M. Patryk et al.	Kontaminan diukur	Sampel dari spesies ikan air	Tingkat kontaminasi unsur-unsur pada ikan tawar	Konsumsi ikan air yang diuji

Judul artikel	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Populasi dan Sampel	Hasil Penelitian	Kesimpulan
and mercury content and health risk assessment of consuming freshwater fish with elements of chemometric analysis	(2022)	menggunakan metode dianalisis menggunakan atomic absorption spectrometry (AAS) and inductively coupled plasma - mass spectrometry (ICP-MS).	tawar sebanyak 212. Sampel tersebut terdiri dari 74 sampel ikan (sudah mati, disiapkan dengan benar di toko ikan), 66 sampel ikan asap, dan 72 sampel ikan yang diasamkan dalam cuka spirit (tidak semua spesies ikan yang acar diselidiki tersedia dalam ketiga bentuk: mentah, asap, dan acar).	menunjukkan variasi signifikan, dengan arsenik (23,3–59.290,1 µg/kg), kadmium (0,02–97,0 µg/kg), merkuri (9,04–606,3 µg/kg), dan timbal vendace, (0,04–171,4 µg/kg). Penilaian risiko, termasuk THQ dan HI, THQ dan HI menunjukkan bahwa konsumsi trout asap, bahwa semua perch asap, pike-perch spesies ikan tersebut dapat memberikan efek non-karsinogenik.	dapat menimbulkan risiko karsinogenik, terutama pada trout coklat, bream, belut Eropa, dan pike-perch, karena nilai CR yang tinggi. Namun, nilai THQ dan HI menunjukkan bahwa semua spesies ikan tersebut dapat memberikan efek non-karsinogenik.
Analisis Kadar Timbal (Pb) pada Ikan Cakalang yang Diperdagangkan di Tempat Pelelangan Ikan Paotere, Kota Makassar	Nurasisah, Nurul U., Suharsih T. (2018)	Menggunakan model penelitian deskriptif kuantitatif	Populasi dalam penelitian ini adalah Ikan cakalang yang ada di Tempat Pelelangan Ikan.	Kandungan timbal pada ikan cakalang yang diuji menggunakan metode AAS menunjukkan kadar rata-rata terendah 0,0067 mg/kg dan tertinggi 0,0486 mg/kg, dan 5 mg/kg, dan rata-rata sampel lainnya dari 0,02568 mg/kg (terdapat kadar timbal).	Dari 10 sampel yang dianalisis, 5 sampel diambil dari lokasi A dengan rata-rata kandungan timbal 0,02294 mg/kg, dan 5 sampel lainnya dari lokasi B dengan rata-rata kandungan timbal 0,02836 mg/kg.
Studi Pencemaran Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Ikan Tongkol (Euthynnus sp.) di Pantai Utara Jawa	Izza Hananingtyas (2017)	Penelitian ini bersifat deskriptif dengan pendekatan cross sectional study.	Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh ikan tongkol (Euthynnus sp) yang berasal dari Pantai Utara Jawa. Sampel penelitian ini diambil secara purposive sampling.	Di lima daerah Pantai Utara Jawa, kadar rata-rata timbal (Pb) pada ikan tongkol adalah 0,2760 mg/kg dan kadmium (Cd) 0,156 mg/kg. Sebanyak 40% sampel mengandung kadmium melebihi batas aman BPOM dan SNI, yaitu timbal 0,3 mg/kg dan kadmium 0,1 mg/kg.	Di Pantai Utara Pulau Jawa, 4 dari 10 sampel ikan tongkol mengandung timbal melebihi batas aman. 6 sampel mengandung kadmium melebihi batas aman.
Kandungan logam berat timbal (Pb) pada ikan nila (Oreochromis niloticus) di Sungai Tenggang, Semarang, Jawa Tengah	Dana Yuli A et al. (2019)	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode purposive sampling.	Sampel ikan nila diambil dari perairan sebanyak 5 ekor ikan pada masing-masing stasiun penelitian.	Konsentrasi timbal (Pb) di Sungai Tenggang, Semarang, melebihi batas aman di sebagian besar stasiun. Stasiun 1 memiliki konsentrasi tertinggi (0,247 mg/l), dan stasiun 2 dan stasiun 3 masing-masing 0,0755 mg/l menunjukkan	Konsentrasi timbal (Pb) di Sungai Tenggang melebihi batas aman, dengan kadar 0,0755-0,1425 mg/l di air dan 1,106-4,242 mg/kg pada ikan nila. BCF menunjukkan

Judul artikel	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Populasi Sampel	dan Hasil Penelitian	Kesimpulan
				(memenuhi) dan 0,1452 mg/l.	akumulasi rendah, namun konsumsi ikan nila sebaiknya tidak melebihi 0,63 kg per minggu.
Determination of LC50 of Lead Nitrate for a fish, <i>Labeo rohita</i> (Hamilton Buchanan)	Braich S., & Kaur M. (2015)	O. Uji toksisitas akut menggunakan metode standar APHA, dengan analisis probit untuk menghitung LC50.	Ikan <i>Labeo rohita</i> berusia <1 tahun dengan berat 10±2 g, panjang 10±1 cm, diaklimatisasi selama 15 hari.	LC50 untuk <i>Labeo rohita</i> adalah 34,20 mg/l dengan kematian meningkat seiring dengan konsentrasi durasi paparan.	Uji toksisitas akut berguna untuk menilai kesehatan ekosistem perairan dan menentukan batas aman bahan dengan toksik.

PEMBAHASAN

Paparan logam berat seperti timbal (Pb) di wilayah pesisir tidak hanya menjadi isu ekologis semata, melainkan juga telah berkembang menjadi permasalahan serius dalam bidang kesehatan masyarakat. Logam berat adalah jenis zat pencemar yang bersifat toksik dan berbahaya, terutama apabila terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup dalam jangka waktu yang panjang dan dalam kadar yang melebihi baku mutu yang telah ditentukan oleh standar lingkungan maupun kesehatan. Paparan yang terus-menerus dan tanpa disadari dapat menyebabkan penumpukan logam berat dalam jaringan tubuh, yang pada akhirnya mengganggu keseimbangan fisiologis serta menimbulkan berbagai gangguan kesehatan. Dalam kasus logam berat Pb, akumulasi ini diketahui memiliki efek yang sangat merugikan bagi kesehatan, seperti merusak fungsi sistem saraf pusat, mengganggu komposisi darah, serta menyebabkan kerusakan serius pada organ-organ penting seperti ginjal, paru-paru, dan organ vital lainnya (Haryanti E & Martuti N, 2020).

Hasil dari kajian literatur menunjukkan bahwa pencemaran logam berat Pb memiliki pola penyebaran dan dampak yang kompleks. Proses ini dimulai dari berbagai aktivitas manusia, baik yang berasal dari sektor industri, domestik, maupun kegiatan ekonomi lainnya yang memproduksi limbah. Limbah ini kemudian mencemari lingkungan, terutama perairan seperti sungai dan laut, serta sedimen di dasar perairan tersebut. Logam berat yang telah mencemari lingkungan kemudian masuk ke rantai makanan melalui proses akumulasi dalam organisme air, seperti kerang dan ikan. Proses ini dikenal sebagai biomagnifikasi, yaitu peningkatan konsentrasi bahan beracun dalam jaringan organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi. Akhirnya, logam berat tersebut mencapai manusia sebagai konsumen akhir, yang mengkonsumsi ikan dan makanan laut lainnya secara rutin, terutama di komunitas pesisir.

Kerang, salah satu biota laut yang hidup menetap dan menyaring air laut untuk mendapatkan makanan, sering digunakan sebagai bioindikator pencemaran logam berat. Hal ini karena kerang sangat rentan mengakumulasi logam berat seperti Pb dalam jaringan tubuhnya, terutama ketika berada di perairan yang telah tercemar. Fakta ini menjadi semakin penting karena kerang merupakan salah satu jenis makanan yang berasal dari laut, banyak orang mengetahui dan juga bahkan mengonsumsinya. Oleh karena itu, risiko terjadinya toksisitas kronis akibat konsumsi kerang yang terkontaminasi logam berat menjadi perhatian utama, khususnya pada kelompok rentan seperti anak-anak, yang secara fisiologis lebih sensitif terhadap efek neurotoksik dari logam berat. Penelitian menunjukkan bahwa ikan juga dapat berfungsi sebagai bioindikator pencemaran lingkungan. Sebagai contoh, Sungai Gajah Wong

dan Sungai Winongo di Yogyakarta menjadi lokasi yang cukup menonjol dalam beberapa penelitian karena menunjukkan kadar Pb yang tinggi, baik dalam air maupun dalam tubuh ikan yang ditangkap dari perairan tersebut. Pencemaran tersebut sebagian besar disebabkan oleh pembuangan limbah domestik, industri rumah tangga, serta aktivitas industri berskala besar yang tidak dikelola dengan baik. Sumber utama dari limbah yang mengandung Pb termasuk limbah elektroplating, limbah dari proses pembuatan dan daur ulang baterai, serta limbah pigmen yang digunakan dalam berbagai produk industri. Di sisi lain, aktivitas transportasi air di pelabuhan, seperti yang terjadi di kawasan Pelabuhan Tanjung Mas, juga memberikan kontribusi signifikan terhadap pencemaran Pb di wilayah pesisir. Limbah yang dihasilkan oleh kendaraan air, baik berupa bahan bakar, oli, maupun zat kimia lainnya, dapat mencemari perairan sekitar dan menambah beban pencemaran logam berat.

Pb merupakan logam beracun sangat berbahaya bagi manusia karena dapat memasuki tubuh melalui berbagai jalur, salah satunya yang paling umum adalah melalui makanan yang dikonsumsi dan telah terkontaminasi, seperti kerang dan ikan. Ikan yang hidup di lingkungan tercemar memiliki potensi besar untuk menyerap dan menyimpan Pb dalam jaringan tubuhnya. Jika ikan tersebut dikonsumsi secara rutin, maka akumulasi Pb dalam tubuh manusia dapat terjadi, yang pada akhirnya berisiko menyebabkan keracunan logam berat (Haryanti E & Martuti N, 2020). Risiko ini meningkat secara signifikan pada kelompok rentan seperti anak-anak, wanita dalam usia reproduktif, dan ibu hamil, karena sistem metabolisme mereka lebih sensitif terhadap paparan zat toksik.

Paparan Pb pada manusia dapat menyebabkan dua jenis efek toksik, yaitu efek akut dan efek kronis (Kusumastuti et al., 2020). Efek toksisitas akut biasanya muncul secara cepat setelah seseorang terpapar Pb dalam dosis tinggi dalam waktu singkat, dan ditandai dengan gejala seperti masalah pada ginjal, sakit kepala, mual, kram perut, serta penurunan produksi urin (oliguria). Sementara itu, efek toksisitas kronis lebih berbahaya karena timbul setelah paparan terjadi terus-menerus dalam jangka panjang dan gejalanya sering kali tidak langsung disadari. Efek jangka panjang ini meliputi kelelahan kronis, gangguan pada sistem reproduksi, kerusakan permanen pada ginjal, serta peningkatan risiko keguguran dan kelahiran prematur pada ibu hamil. Risiko ini menjadikan pencemaran Pb sebagai masalah serius yang memerlukan perhatian dari berbagai pihak.

Dengan mempertimbangkan dampak ekologis dan kesehatan masyarakat yang ditimbulkan oleh logam berat Pb, maka diperlukan langkah-langkah strategis dan terintegrasi untuk mengurangi dampak pencemaran ini. Upaya tersebut mencakup pengelolaan limbah yang lebih baik, penguatan regulasi lingkungan, peningkatan kesadaran masyarakat tentang bahaya konsumsi biota laut dari perairan tercemar, serta pelaksanaan monitoring berkala terhadap kadar logam berat dalam lingkungan dan bahan pangan laut. Penanganan yang tepat dan berkelanjutan sangat diperlukan untuk melindungi kesehatan masyarakat, khususnya mereka yang tinggal di kawasan pesisir yang rentan terhadap paparan logam berat.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar timbal (Pb) dalam air di sebagian besar lokasi penelitian masih berada di bawah batas baku mutu yang ditetapkan oleh PP No. 82 Tahun 2001, yang sebesar 0,01 mg/L. Namun, terdapat dua lokasi yaitu Sungai Gajah Wong dan Sungai Winongo di Yogyakarta memiliki kadar Pb dalam air sungai melampaui nilai baku mutu dengan masing-masing sebesar 0,228 mg/L dan 0,054 mg/L. Kadar Pb dalam ikan yang ditemukan di sebagian besar lokasi penelitian juga melebihi batas baku mutu SNI 7387:2009, yaitu 0,3 mg/kg. Tingginya kandungan Pb dalam ikan meskipun kadar Pb dalam air rendah menunjukkan adanya bioakumulasi logam berat pada ikan. Faktor utama penyebab pencemaran Pb di lokasi penelitian adalah limbah domestik, limbah industri, serta aktivitas

transportasi seperti di pelabuhan Tanjung Mas. Dampak yang ditimbulkan akibat konsumsi ikan yang mengandung Pb adalah dapat mengganggu fungsi organ, gangguan reproduksi, hingga peningkatan risiko keguguran dan kelahiran prematur pada kelompok rentan seperti ibu hamil. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan pencemaran logam berat pada perairan meliputi pengelolaan limbah yang lebih baik, dan pengawasan terhadap aktivitas industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan terimakasih atas dukungan, inspirasi dan bantuan kepada semua pihak dalam membantu peneliti menyelesaikan penelitian ini, termasuk pada peserta yang telah bersedia berpartisipasi dalam penelitian hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D., Suprpto, D., & Febrianto, S. (2019) "Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Di Sungai Tenggang, Semarang, Jawa Tengah *Heavy Metal Concentration of Pb in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the Tenggang River, Semarang, Central Java,*" *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 8(3), 242-249.
- Arkianti, N., Kusuma Dewi, N., & Martuti Nana. (2019). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan di Sungai Lamat Kabupaten Magelang. *Life Sciences*, 8, 54–63. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/LifeSci>
- Azizah & Maslahat. (2021). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) di dalam Tubuh Ikan Wader (*Barbodes binotatus*) dan Air Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor. *LIMNOTEK Perairan Darat Tropis di Indonesia 2021*, 28(2): 83-93
- Bazarsadueva S., Shiretorova V., Nikitina E., Zhigzhitzhapova S., taraskin V., Bazarshapov T., Dong S., Radnaeva L. (2023). *Heavy Metal Content in Fish of the Barguzin River (Eastern Cisbaikalia) and Assessment of Potential Risks to Human Health*
- Busira, D., Prihatmo, G., & Pakpahan, S. (2020). Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pad Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Sungai Gajah Wong, Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Biologi Di Era Pandemi COVID-19*, 372–379. <http://journal.uinalauddin.ac.id/index.php/psb/>
- Cahyono E, Sutomo, & Hartono A. (2019). Literatur Review ; Panduan Penulisan Dan Penyusunan. *Jurnal Keperawatan*, 12(2), 1–12.
- Hananingtyas, I. (2017). Studi Pencemaran Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Ikan Tongkol (*Euthynnus sp.*) di Pantai Utara Jawa. *Journal of Tropical Biology*, 1(2).
- Haryanti E, & Martuti N. (2020). Analisis Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Daging Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp.*) Di TPI Kluwut Brebes. *Life Sciences*, 9(2), 149–160. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/LifeSci>
- Juliana C, Nurjazuli, & Suhartono. (2017). Hubungan Kadar Timbal dalam Darah dengan Jumlah Eritrosit, MCV dan MCH Pada Ibu Hamil di Daerah Pantai. *Jurnal Higiene*, 3(3), 161.
- Khellaf, B., Bouayad, A., Benouadah, A., Hamdi, T., Chekri, R., & Jitaru, P. (2023). Arsenic, mercury, cadmium and lead contents in Algerian continental and marine farming fish and human health risk assessment due to their consumption. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102943>
- Kusumastuti, D., Setiaini, 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, 8(5), 687–693. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>
- Mahalina, W., & Purnomo, T. (2016). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dalam Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Hidup di Sungai Kalitengah, Sidoarjo. *LenteraBio*, 5(1).
- Muhammad, S., & Sarto. (2018). Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Timbal (Pb) Dalam Biota Laut Pada Masyarakat Sekitar Teluk Kendari. *Berita Kedokteran Masyarakat* 34(10).
- Noviandri Lina. (2024, October 2). Timbal(Pb) 101: Semua Yang Kamu Perlu Tahu Tentang Timbal. <https://www.pureearth.org/timbal101-1/>
- Nyantakyi A., Wiafe S., Akoto O., Baffoe B. (2021). Heavy Metal Concentrations in Fish from River Tano in Ghana and the Health Risks Posed to Consumers. *Journal Environ Public Health*.
- Pane, E. P., & Siahaan, F. E. (2023). *Analysis of Pollution Levels of Heavy Metals of Lead (Pb) And Copper (Cu) In Freshwater Fish In Lake Toba Water. JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 12(2), 385–395. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i2.53714>
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. (2021).
- Pradona, S., & Partaya. (2022). Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Daging Ikan di Tanjung Mas Semarang. *Life Sciences*, 11(2), 143–150. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/LifeSci>
- Purwanto, A. I., Prihatmo, G., & Pakpahan, S. (2020). 70 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dan Ikan Bawal (*Colossoma macropomum*) di Sungai Winongo, Yogyakarta. *Sciscitatio*, 1(2), 70–78.
- Romdhonia, N. F., Pujiati, R. S., & Ningrum, P. T. (2023). Analisis Kandungan Kadmium (Cd) Dan Timbal (Pb) Pada Ikan Belanak Di Wilayah Industri Pesisir Kecamatan Manyar Dan Gresik. *Ikesma*, 19(3), 211–221. <https://doi.org/10.19184/ikesma.v19i3.38926>
- Sandhika, P., Eka Sudaryatma, P., Fandah, & Kurniawan Setyo, B. (2024). *Occurrence and Consumer Health Risk Assessment of Heavy Metals in Frozen Demersal Fish and Cephalopod Products From Benoa Port, Bali Province. Jurnal Kesehatan Lingkungan*.41–50.DOI:<https://doi.org/10.20473/jkl.v16i1.2024.41-50>.
- Sawe, S., Amasi, A. & Wynants, M. (2023). *Assessment of Potentially Toxic Metals in Fish from Lake Manyara, Northern Tanzania. Bull Environ Contam Toxicol* 111, 39.
- Singh, B., & Manjeet, K. (2015). *Determination of LC50 of Lead Nitrate for a fish, Labeo rohita (HamiltonBuchanan). International Journal of Scientific Research*, 4(8).
- Tamele, I., & Loureiro, P. (2020). *Lead, Mercury and Cadmium in Fish and Shellfish from the Indian Ocean and Red Sea (African Countries): Public Health Challenges. Journal of Marine Sciene and Engineering*, 8(5).
- Zaza, S., Balogh, K., Palmery, M., & Stacchini, A. (2015). *Human exposure in Italy to lead, cadmium and mercury through fish and seafood product consumption from Eastern Central Atlantic Fishing Area. Journal of Food Composition and Analysis*, 40. 148-153.