



**PENDEKATAN HISTOLOGI INSANG DAN HATI IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*)
SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS PERAIRAN ALAMI DI INDONESIA:
LITERATUR REVIEW**

¹Aulia Devani Putri, ¹Gabriella Jessica Agatha, ^{2*}Sandi Fransisco Pratama

^{1,2}Program Studi Biologi, Universitas Negeri Padang, Indonesia

*Corresponding author E-mail: sfpratama@fmipa.unp.ac.id

DOI : 10.30605/biogenerasi.v11i1.8090

Accepted : 21 Januari 2025 Approved : 1 Februari 2026 Published : 2 Februari 2025

Abstract

The quality of freshwater in Indonesia has declined due to increasing anthropogenic pressures, particularly from heavy metals, agricultural waste, and industrial waste. A bioindicator approach based on the biological response of aquatic organisms is needed to complement conventional water quality monitoring. This review article aims to examine changes in the histology of the gills and liver of tilapia (*Oreochromis niloticus*) as a bioindicator of freshwater quality in Indonesia. The method used was a literature review of scientific articles obtained from Google Scholar, Garuda, and ScienceDirect. Articles were selected based on the suitability of the research location in Indonesia, the use of tilapia as the object, and the histological analysis of the gills and/or liver. The results of the review show that water pollution in Indonesian lakes and rivers, especially by heavy metals and anthropogenic activities, consistently causes histological changes in the gills and liver of tilapia. The dominant lesions in the gills included hyperplasia, edema, lamella fusion, epithelial lifting, and telangiectasis, while in the liver, fatty degeneration, hydropic degeneration, cytoplasmic vacuolation, karyolysis, and karyorrhexis were found. These patterns of change reflect the cause-and-effect relationship between the type and intensity of pollutants and the degree of tissue damage. These findings confirm that the histological approach to tilapia gills and liver has strong potential as a biological bioindicator in monitoring and sustainable management of freshwater quality in Indonesia.

Keywords : Tilapia (*Oreochromis niloticus*), gill histology, liver histology, bioindicator, water quality, water pollution

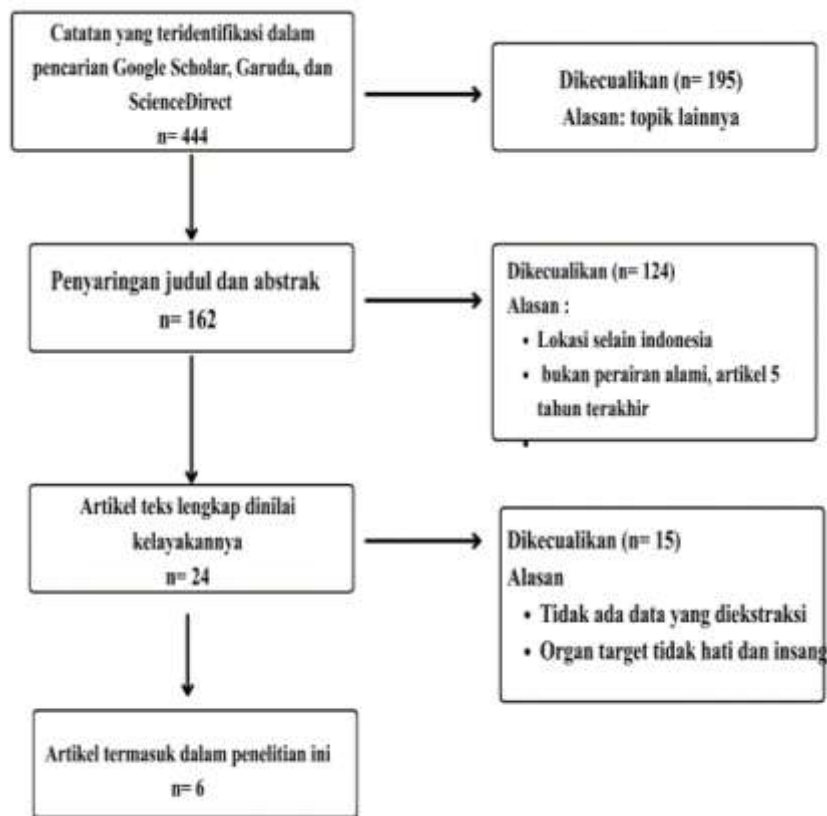
PENDAHULUAN

Kualitas perairan tawar di Indonesia terus mengalami tekanan akibat meningkatnya aktivitas antropogenik, seperti limbah domestik, pertanian, dan industri (Billah *et al.*, 2023). Masuknya berbagai polutan ke badan perairan berpotensi menurunkan kualitas lingkungan serta menimbulkan dampak biologis pada organisme akuatik (Parinduri *et al.*, 2024). Pemantauan kualitas perairan umumnya dilakukan melalui parameter fisika dan kimia, namun pendekatan tersebut belum sepenuhnya mampu menggambarkan dampak biologis jangka panjang dari pencemaran (Rahardjanto, 2019). Penggunaan bioindikator menjadi pendekatan penting untuk melengkapi penilaian kualitas perairan. Ikan sering dimanfaatkan sebagai bioindikator karena sensitif terhadap perubahan lingkungan dan mampu merefleksikan kondisi perairan secara biologis (Hertika *et al.*, 2021). Salah satu spesies yang banyak digunakan adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*), mengingat penyebarannya yang luas di perairan Indonesia, toleransinya terhadap variasi lingkungan, serta nilai ekonominya yang tinggi (Fidela *et al.*, 2024). Pendekatan histologi pada organ target, khususnya insang dan hati, banyak digunakan untuk mendeteksi dampak pencemaran perairan (Atifah *et al.*, 2019). Insang berperan langsung dalam respirasi dan osmoregulasi sehingga Insang berperan langsung dalam respirasi dan osmoregulasi sehingga menjadi bagian pertama yang berinteraksi langsung dengan bahan toksik di perairan (Anggraeni & Pratama, 2025). Sedangkan hati berfungsi dalam metabolisme dan detoksifikasi, sehingga perubahan histologis pada organ ini mencerminkan respons fisiologis ikan terhadap paparan zat pencemar (Fajrah, 2020). Berbagai penelitian di Indonesia melaporkan adanya perubahan histologi insang dan hati *Oreochromis niloticus*, seperti hiperplasia, fusi lamela, degenerasi sel, dan nekrosis, yang berkaitan dengan kondisi perairan tercemar (Wahidi *et al.*, 2025; Sugiantari *et al.*, 2022).

Meskipun demikian, hasil penelitian terkait histologi insang dan hati *Oreochromis niloticus* sebagai bioindikator kualitas perairan di Indonesia masih tersebar dan belum dirangkum secara sistematis. Oleh karena itu, artikel review ini bertujuan untuk mengkaji temuan-temuan penelitian mengenai perubahan histologi insang dan hati ikan nila sebagai bioindikator kualitas perairan di Indonesia, serta menilai potensinya dalam mendukung pemantauan dan pengelolaan perairan tawar secara berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini merupakan studi literature review yang bertujuan mengkaji pendekatan histologi insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai bioindikator kualitas perairan di Indonesia. Literatur dikumpulkan melalui basis data Google Scholar, Garuda, dan ScienceDirect menggunakan kata kunci *Oreochromis niloticus*, histologi insang, histologi hati, bioindikator, kualitas perairan, pencemaran perairan, dan Indonesia, dalam bahasa Indonesia dan Inggris. Seleksi artikel dilakukan berdasarkan kriteria inklusi, yaitu penelitian yang menggunakan ikan nila (*Oreochromis niloticus*), menganalisis histologi insang dan atau hati, berkaitan dengan kualitas perairan, dan dilakukan di Indonesia. Artikel yang tidak menyajikan data histologi, menggunakan spesies lain, atau tidak relevan dikecualikan dari kajian. Data yang dikumpulkan meliputi lokasi penelitian, jenis perairan, sumber atau jenis polutan, organ yang dianalisis, serta temuan histologis utama. Data dianalisis secara deskriptif-kualitatif dan disajikan dalam bentuk narasi serta tabel ringkasan untuk merangkum dan mengidentifikasi pola perubahan histologi ikan nila sebagai bioindikator kualitas perairan di Indonesia.



Gambar 1. Diagram alir PRISMA

HASIL PENELITIAN

Hasil kajian literatur terhadap berbagai artikel ilmiah menunjukkan bahwa pencemaran perairan alami di Indonesia memberikan dampak yang nyata terhadap struktur histologis ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Penelitian yang dianalisis mencakup ekosistem sungai dan danau dengan sumber pencemar berupa logam berat, aktivitas antropogenik, dan limbah industri, yang memengaruhi variasi organ target serta tingkat keparahan kerusakan jaringan. Organ yang paling sering dianalisis adalah insang dan hati karena perannya yang penting dalam respirasi dan detoksifikasi. Ringkasan lokasi penelitian, jenis polutan, organ yang dianalisis, serta temuan histologis utama disajikan pada Tabel 1.

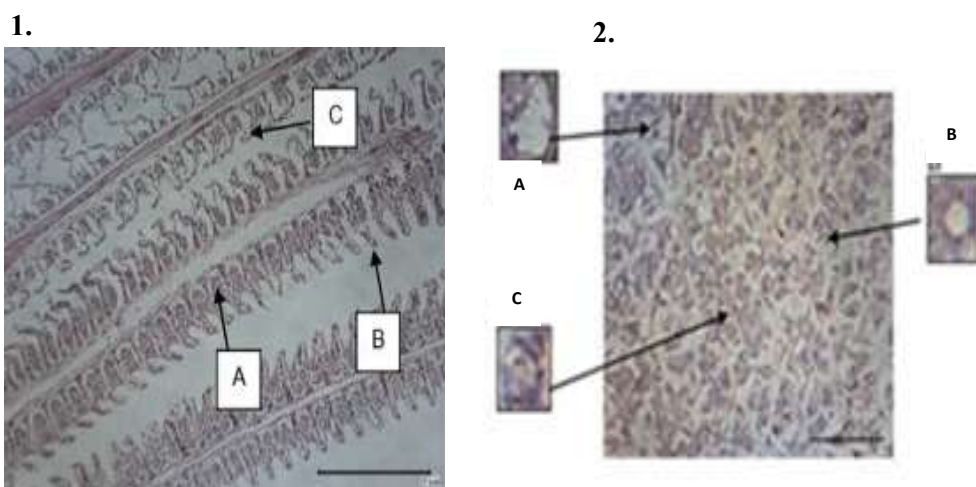
Tabel 1. Ringkasan penelitian histologi insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai bioindikator kualitas perairan di Indonesia.

No.	Lokasi Penelitian	Jenis Polutan	Organ yang Dianalisis	Temuan Histologi	Referensi
1.	Danau Batur, Bali	Logam berat (Fe, Cu) dan aktivitas antropogenik	Insang, Hati, Lambung	Insang: hiperplasia, edema, fusi lamela; Hati: kariolisis, karioreksis, degenerasi lemak; Lambung: deskuamasi epitel	(Sugiantari <i>et al.</i> , 2022)
2.	Sungai Porong, Jawa Timur	Lumpur lapindo	Insang, Hati, Ginjal	Insang: edema, hiperplasia, fusi, nekrosis; Hati: degenerasi, vakuolasi, necrosis; Ginjal: degenerasi & hemoragi	(Wahidi <i>et al.</i> , 2025)

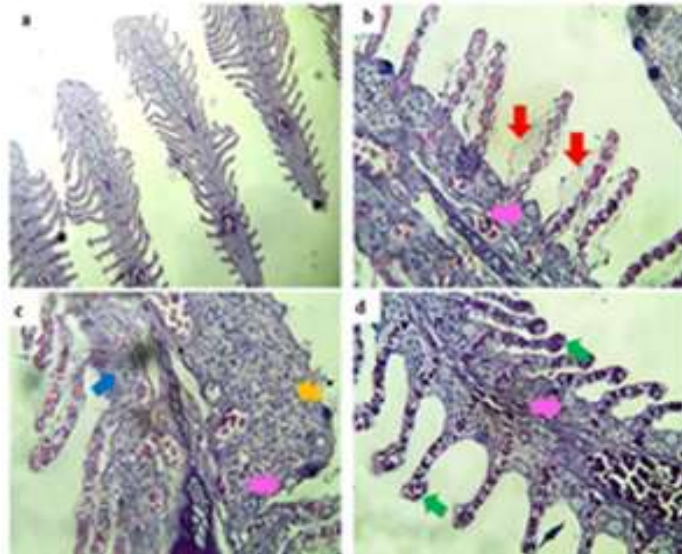
3.	Danau Maninjau, Sumatera Barat	Pencemaran perairan umum (floating net cages)	Insang	Hipertropi, fusi lamela, kerusakan struktur hingga hilangnya lamela	(Mandia <i>et al.</i> , 2021)
4.	Sungai Lebong, Bengkulu	Limbah tambang emas (logam berat)	Insang	Epithelial lifting, fusi lamela, hiperplasia, telangiectasis	(Lestari <i>et al.</i> , 2025)
5.	Sungai Wangi, Pasuruan	Logam berat (Pb, Hg, Cd)	Insang	Hiperplasia lamela, dan edema akibat paparan logam berat	(Kania <i>et al.</i> , 2020)
6.	Sungai Brantas, Jawa Timur	Logam berat	Insang, Hati, Ovarium (organ reproduksi)	Insang & hati: nekrosis, peradangan, hiperplasia oosit: diameter menurun & tidak normal	(Tuska <i>et al.</i> , 2025)

Perubahan histologi insang

Beberapa penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) mengalami perubahan histologis yang konsisten ketika terpapar pencemaran perairan alami. Pada Danau Batur, Bali, paparan logam berat Fe dan Cu yang berasal dari aktivitas antropogenik menyebabkan perubahan struktur insang berupa hiperplasia epitel, edema, serta fusi lamela sekunder (Sugiantari *et al.*, 2022). Temuan serupa juga dilaporkan di Sungai Porong, Jawa Timur, yang terdampak pencemaran lumpur Lapindo, di mana insang ikan nila menunjukkan edema, hiperplasia, fusi lamela, hingga nekrosis jaringan, yang mengindikasikan tingkat kerusakan jaringan yang lebih lanjut (Wahidi *et al.*, 2025). Hasil-hasil tersebut menegaskan bahwa insang merupakan organ yang sangat responsif terhadap perubahan lingkungan.



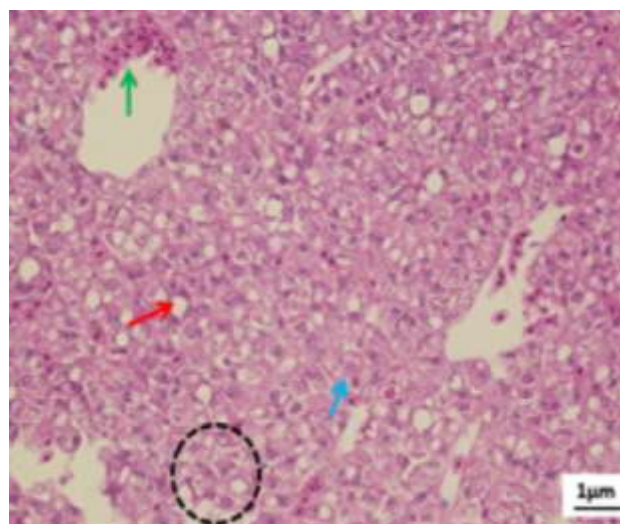
Gambar 2. (1) Histologi insang ikan nila, (A) hiperplasia, (B) Edema lamela sekunder, (C) Fusi lamela sekunder, (2) Histologi hati ikan nila, (A) melemak, (B) Kariolosis, (C) Karioreksis (Sugiantari *et al.*, 2022) Perubahan histologis insang ikan nila juga dilaporkan pada berbagai ekosistem danau dan sungai lainnya di Indonesia. Pada Danau Maninjau, Sumatera Barat, insang ikan nila mengalami hipertrofi, fusi lamela, serta kerusakan struktur lamela hingga hilangnya sebagian lamela (Mandia *et al.*, 2021). Di Sungai Lebong, Bengkulu, insang ikan nila menunjukkan epithelial lifting, hiperplasia, fusi lamela, dan telangiectasis akibat paparan limbah tambang emas (Lestari *et al.*, 2025). Selain itu, insang ikan nila dari Sungai Wangi, Pasuruan, yang terpapar Pb, Hg, dan Cd mengalami hiperplasia lamela, dan edema (Kania *et al.*, 2020). Pada Sungai Brantas, Jawa Timur, perubahan histologis insang meliputi nekrosis, peradangan, dan hiperplasia jaringan (Tuska *et al.*, 2025).



Gambar 3. Variasi lesi histologi insang ikan nila Telangiektasis (hijau), hiperplasia (blue), epithelial lifting (merah), fusi lamela (kuning), mukus (pink) (Lestari *et al.*, 2025)

Perubahan histologi hati

Perubahan histologis hati ikan nila dilaporkan pada beberapa lokasi penelitian di perairan alami Indonesia. Pada Danau Batur, Bali, hati ikan nila menunjukkan degenerasi lemak, kariolisis, dan karioreksis akibat paparan logam berat dan aktivitas antropogenik (Sugiantari *et al.*, 2022). Pada Sungai Porong, Jawa Timur, pencemaran lumpur Lapindo menyebabkan perubahan histologis hati berupa degenerasi hidropik, vakuolasi sitoplasma, dan nekrosis hepatosit (Wahidi *et al.*, 2025). Perubahan hati juga dilaporkan pada Sungai Brantas, Jawa Timur. Hati ikan nila dari lokasi ini mengalami nekrosis, peradangan, dan hiperplasia jaringan, bersamaan dengan perubahan histologis pada insang dan organ reproduksi (Tuska *et al.*, 2025).



Gambar 4. Degenerasi (biru) , Kongesti (hijau),

Vakuola (merah), Nekrosis (hitam)

(Wahidi *et al.*, 2025).

PEMBAHASAN

Perubahan histologis pada insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dirangkum dalam Tabel 1 menunjukkan pola respons jaringan yang konsisten terhadap tekanan pencemaran perairan alami di Indonesia. Pola tersebut

memperlihatkan keterkaitan yang jelas antara jenis pencemar, intensitas paparan, dan tingkat kerusakan jaringan pada organ target utama. Insang dan hati menampilkan karakteristik lesi histologis yang berbeda, namun saling melengkapi dalam merefleksikan kondisi lingkungan perairan.

Oleh karena itu, interpretasi temuan dalam pembahasan ini difokuskan pada perubahan dan mekanisme respons jaringan insang dan hati sebagai indikator biologis terhadap degradasi kualitas perairan, dengan menekankan hubungan sebab akibat antara paparan pencemar dan perubahan struktur jaringan.

Perubahan histologi insang

Hiperplasia epitel insang merupakan salah satu perubahan histologis yang paling sering dilaporkan pada hampir seluruh lokasi penelitian. Hiperplasia didefinisikan sebagai peningkatan jumlah sel epitel yang menyebabkan penebalan jaringan lamela (Adawiyah, 2022). Kondisi ini umumnya muncul sebagai respons adaptif terhadap paparan kronis logam berat dan limbah antropogenik, dengan tujuan mengurangi penetrasi zat toksik ke dalam aliran darah ikan. Namun demikian, penebalan epitel tersebut secara tidak langsung meningkatkan jarak difusi oksigen, sehingga berpotensi menurunkan efisiensi respirasi ikan (Sugiantari *et al.*, 2022; Kania *et al.*, 2020). Seiring berlanjutnya paparan pencemar, respons adaptif ini sering diikuti oleh perubahan patologis lain, salah satunya berupa edema insang. Edema insang ditandai dengan akumulasi cairan pada jaringan lamela akibat meningkatnya permeabilitas pembuluh darah (Juanda *et al.*, 2024). Kerusakan ini umumnya disebabkan oleh iritasi kimiawi dari logam berat seperti Pb, Hg, dan Cd yang merusak integritas membran sel dan dinding kapiler. Akumulasi cairan tersebut menyebabkan jarak difusi oksigen semakin besar, sehingga memperparah gangguan respirasi pada ikan yang terpapar pencemar dalam jangka waktu lama (Wahidi *et al.*, 2025). Pada kondisi tekanan lingkungan yang lebih tinggi, edema dan hiperplasia sering berkembang menjadi fusi lamela sekunder.

Fusi lamela sekunder terjadi ketika lamela-lamela insang saling menyatu akibat proliferasi sel epitel yang berlebihan dan produksi mukus yang meningkat (Juanda *et al.*, 2024). Lesi ini banyak ditemukan pada perairan dengan tingkat pencemaran tinggi, baik yang disebabkan oleh logam berat maupun oleh akumulasi bahan organik dari aktivitas budidaya intensif (Prasetyo *et al.*, 2022). Fusi lamela menyebabkan berkurangnya luas permukaan respirasi secara signifikan dan mencerminkan tekanan lingkungan yang berlangsung secara kronis (Mandia *et al.*, 2021). Selain itu, paparan logam berat tertentu juga dapat memicu terjadinya epithelial lifting sebagai bentuk gangguan awal pada struktur

lamela (Soegianto, 2023). Epithelial lifting merupakan kondisi terlepasnya lapisan epitel dari jaringan penunjang lamela akibat gangguan keseimbangan osmotik dan kerusakan ikatan antar sel (Juanda *et al.*, 2023). Lesi ini umumnya dikaitkan dengan paparan logam berat yang berasal dari limbah pertambangan dan sering dianggap sebagai tahap awal kerusakan insang. Apabila paparan pencemar terus berlanjut, epithelial lifting dapat berkembang menjadi lesi yang lebih berat, seperti nekrosis jaringan insang (Lestari *et al.*, 2025).

Perubahan histologi hati

Hati berfungsi sebagai pusat metabolisme dan detoksifikasi, sehingga menjadi organ yang sangat rentan terhadap akumulasi senyawa toksik dalam tubuh ikan (Aryani *et al.*, 2025). Paparan pencemar dalam jangka waktu tertentu umumnya memicu gangguan metabolisme sel hati sebagai respons awal terhadap stres lingkungan. Salah satu bentuk perubahan awal tersebut adalah degenerasi lemak (steatosis), yang ditandai dengan akumulasi lipid di dalam sitoplasma hepatosit (Rosmaidar *et al.*, 2017). Kondisi ini terjadi akibat terganggunya metabolisme lemak sebagai respons terhadap stres toksik kronis, seperti paparan logam berat Fe dan Cu yang dilaporkan pada ikan nila di Danau Batur. Degenerasi lemak mencerminkan tahap awal kerusakan hati yang masih bersifat adaptif sebelum berkembang menjadi lesi yang lebih berat (Sugiantari *et al.*, 2022).

Seiring meningkatnya intensitas dan durasi paparan pencemar, gangguan metabolisme tersebut dapat berkembang menjadi cedera sel yang lebih nyata, salah satunya berupa degenerasi hidropik. Degenerasi hidropik ditandai dengan pembengkakan sel akibat akumulasi cairan intraseluler yang terjadi ketika fungsi pompa ion membran sel terganggu oleh zat toksik, sehingga keseimbangan osmotik tidak dapat dipertahankan (Atifah & Harahap, 2019). Lesi ini banyak ditemukan pada hati ikan nila yang terpapar lumpur Lapindo di Sungai Porong, yang mengandung berbagai senyawa berbahaya dan memberikan tekanan toksik yang tinggi terhadap jaringan hati (Wahidi *et al.*, 2025).

Pada kondisi paparan yang berlanjut, degenerasi hidropik sering disertai dengan vakuolasi sitoplasma, yaitu pembentukan rongga-rongga berisi cairan atau lipid di dalam sel hati (Rifaldi, 2020). Vakuolasi menunjukkan gangguan metabolisme sel yang lebih lanjut dan umumnya ditemukan pada ikan yang terpapar pencemar dalam konsentrasi sedang hingga tinggi.

Meskipun perubahan ini masih dapat bersifat reversibel, paparan pencemar yang berlangsung secara terus-menerus berpotensi mendorong terjadinya kerusakan sel yang bersifat permanen, seperti nekrosis (Wahidi *et al.*, 2025).

Kerusakan sel hati yang lebih berat tercermin dari perubahan pada inti sel, yaitu kariolisis dan karioreksis. Kariolisis ditandai dengan hilangnya struktur inti akibat degradasi DNA, sedangkan karioreksis menunjukkan fragmentasi inti sel (Harissa, 2025). Kedua lesi ini merupakan indikator kerusakan sel yang bersifat irreversibel dan umumnya terjadi akibat stres oksidatif tinggi yang dipicu oleh akumulasi logam berat dalam jaringan hati. Temuan kariolisis dan karioreksis menandakan kegagalan mekanisme pertahanan seluler dan mencerminkan dampak toksik pencemar terhadap fungsi detoksifikasi hati ikan nila (Sugiantari *et al.*, 2022).

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan telaah terhadap enam penelitian di berbagai perairan alami Indonesia, pencemaran perairan terutama oleh logam berat dan aktivitas antropogenik terbukti menimbulkan perubahan histologis yang konsisten pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Insang merupakan organ yang paling rentan, dengan pola lesi dominan berupa hiperplasia, edema, fusi lamela, epithelial lifting, dan telangiektasis, yang mencerminkan respons langsung terhadap degradasi kualitas perairan. Perubahan histologis juga ditemukan pada hati, ginjal, dan organ reproduksi, yang mengindikasikan terganggunya fungsi detoksifikasi, ekskresi, dan reproduksi akibat paparan pencemar. Keceragaman pola kerusakan jaringan di berbagai lokasi menegaskan bahwa ikan nila memiliki sensitivitas tinggi terhadap pencemaran dan berpotensi kuat digunakan sebagai bioindikator kualitas perairan berbasis pendekatan histopatologi.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan lokasi dan melakukan standarisasi metode histopatologi agar hasil antarstudi lebih mudah dibandingkan. Integrasi analisis histologi dengan parameter kualitas perairan dan kadar pencemar dalam jaringan ikan juga perlu dikembangkan untuk memperkuat hubungan antara tingkat pencemaran dan respons biologis. Pendekatan ini penting sebagai dasar pemantauan lingkungan dan pengelolaan perairan berkelanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

- Adawiyah, R. (2022). *Bioakumulasi logam berat PB dan CD terhadap Histologi Insang ikan mujair (Oreochromis Mossambicus) di sungai Bengawanjero Desa Bojoasri Kecamatan Kalitengah Kabupaten Lamongan*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Anggraeni, N. P., & Pratama, S. F. (2025). *Insang Zebrafish sebagai Model Penelitian Toksisitas : Literatur Review*. 9, 12112–12123.
- Aryani, A. D., Rahmiati, R., Handarini, K., & Hariyani, N. (2025). ANALISIS KADAR LOGAM BERAT TIMBAL (PB) DAN CADMIUM (CD) PADA IKAN DEMERSAL DI TEMPAT PELELANGAN IKAN KABUPATEN LAMONGAN. *JURNAL AGROSAINS: Karya Kreatif Dan Inovatif*, 10(1), 1–18.
- Atifah, Y., & Harahap, F. S. (2019). Effect of Heavy Metal Spread on River Flows from Gold Mining Toward Water Biota in Batang Gadis Mandailing Natal River. *Budapest Int. Res. Exact Sci. J*, 2(1), 37–43.
- Atifah, Y., Lubis, M., Lubis, L. T., & Maulana, A. (2019). *Pencemaran Pestisida pada Sungai Batang Gadis, Mandailing Natal, Sumatera Utara Pesticide Pollution in Batang Batang Mandailing River, North Sumatra*.
- Billah, K. K. B. K. K., Razak, A., Ahda, Y., & Atifah, Y. (2023). The Analysis of The Level Of Water Pollution in Lake Tambau Nagari Kampung Batu Dalam Danau Kembar District Solok Regency Through a Histopathological Study of Fish Kidneys. *Jurnal Serambi Biologi*, 8(2), 205–211.
- Fajrah, S. (2020). Kandungan logam berat (Hg, Pb) dan histopatologi (insang, daging, hati, limpa) ikan selar tetengkek (*Megalaspis cordyla* L) di Teluk Palu. *Journal of Enviromental Science Sustainable*, 1(1), 1–12.
- Fidela, W., Febriani, A., Hamdani, A., Ramalia, A., Putri, D. D. N., Hasibuan, F. F., Ayesa, M., Huda, N., Eriza, R., & Febriani, Y. (2024). Pengaruh Suhu Air Terhadap Bukaian Operkulum dan Metabolisme pada Ikan Nila (*Oreochormis niloticus*). *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 4(1), 757–766.

- Harissa, A. P. (2025). Nuclear Changes in the Form of Karyorrhexis and Karyopyknosis in Oral Mucosal Epithelial Cells of Smokers. *Journal of Indonesian Dental Association*, 8(1), 19–23.
- Hertika, A. M. S., Arfiati, D., Lusiana, E. D., & Putra, R. B. D. S. (2021). Analisis hubungan kualitas air dan kadar gula darah gambusia affinis di perairan Sungai Brantas. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 5(3), 522–530.
- Juanda, S. J., Lukmini, A., Rahman, I. S., & Panuntun, M. F. (2024). Histopatologi organ ikan kerapu bebek (*Cromileptes altivelis*) sebagai bioindikator perairan Teluk Kupang, NTT. *Journal of Marine Research*, 13(1), 137–150.
- Juanda, S. J., Lukmini, A., Rahman, I. S., & Putri, R. R. (2023). Histopatologi organ dan hematologi ikan lele hasil perbenihan di Airmona, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. *Journal Galung Tropika*, 12(3), 282–294.
- Kania, M. H. P., Yuli, H. E., Umi, Z., & Johanda, P. J. (2020). GILL HISTOPATHOLOGICAL ANALYSIS OF TILAPIA IN WANGI RIVER WATERS. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 106(10), 115–118.
- Lestari, D. F., Atmaja, V. Y., Kamilah, S. N., Febrianti, E., Retno, F., Turnando, H., & Risditama, I. (2025). Histopathology of Gills Fish in Rivers Contaminated by Heavy Metals from Artisanal Gold Mining Waste in Lebong Regency, Bengkulu Province. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 26(02), 186–200.
- Mandia, S., Susanti, S., & Maharani, A. D. (2021). INDIKATOR HISTOPATOLOGI PENCEMARAN AIR PADA INSANG IKAN NILA (*Oreochromis niloticus* L). *Jurnal Bioconcetta*, 6(2), 72–78. <https://doi.org/10.22202/bc.2020.v6i2.4>
- Parinduri, F., Parinduri, S. H., & Nasution, A. J. (2024). Analisis Zat Kimia Berbahaya Dan Kepunahan Biota Dalam Fisika Lingkungan. *Gravity Journal*, 3(2), 41–55.
- Prasetyo, Y. E., Abida, I. W., Laksani, M. R. T., & Putri, R. R. (2022). Histopatologi Jaringan Insang Ikan Betok (*Anabas testudineus* Bloch, 1792) Akibat Paparan Logam Berat Kromium (Cr) DI Sungai Desa Geluran Kabupaten Sidoarjo. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 3(4), 134–142.
- Rahardjanto, A. (2019). *BIOINDIKATOR (Teori Dan Aplikasi Dalam Biomonitoring)* (Vol. 1). UMMPress.
- Rifaldi, A. (2020). *Review Status Kerusakan Jaringan Mata Kerapu Tikus (C. Altivelis) Yang Terinfeksi VNN Dengan Uji In Vivo Pemberian Protein Rekombinan Chlorella Vulgaris*. Universitas Brawijaya.
- Rosmaidar, R., Nazaruddin, N., Balqis, U., & TR, T. A. (2017). PENGARUH PAPARAN TIMBAL (Pb) TERHADAP HISTOPATOLOGIS HATI IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) (The effect of lead (Pb) exposure to the histopathology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) liver). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*, 1(4), 742–748.
- Soegianto, A. (2023). *Dampak Logam Berat terhadap Biologi Ikan*. Penerbit NEM.
- Sugiantari, I. A. P., Sukmaningsih, A., & Wijana, I. M. S. (2022). Kajian struktur histologi hati, insang dan lambung ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di danau Batur, Bangli. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 7(1), 51–59.
- Tuska, H. S. A., Residiwati, G., Hariati, A. M., Sanusi, A., Ciptadi, G., Rumhayati, B., Susanto, H., & Aulanni'am, A. (2025). Ecotoxicological effects of heavy metal contamination on reproductive health and gamete quality in female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from the Brantas River Basin, Indonesia. *Veterinary World*, 18(6), 1634.
- Wahidi, B. R., Hakimah, N., Suhermanto, A., Triyastuti, M. S., & Utami, D. A. S. (2025). Histopathological Analysis of Gills, Liver, and Kidneys of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Affected by Feverish Lapindo Mud in Porong River, Sidoarjo-East Java. *Journal of Aquaculture & Fish Health*, 14(1).