

## Histological Analysis of Gill and Liver of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) In the Batang Arau River, Padang City

Aulia Devani Putri<sup>1</sup>, Sandi Fransisco Pratama<sup>1\*</sup>, Irma Leilani Eka Putri<sup>1</sup>, Fadilaturahmah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Indonesia

\*Corresponding author: [sfpratama@fmipa.unp.ac.id](mailto:sfpratama@fmipa.unp.ac.id)

Received March 25, 2026

Revised April 14, 2026

Accepted April 27, 2026

**ABSTRACT.** *The Batang Arau River is one of the main rivers in Padang City which is used intensively for various domestic, industrial and transportation activities, so it has the potential to experience a decline in water quality. Water pollution can have a direct impact on aquatic organisms, especially fish, which can be demonstrated through changes in vital organ tissue. Gills and liver are organs that are sensitive to environmental changes. This study aims to determine the histological profile of the gills and liver of tilapia (*Oreochromis niloticus*) that live in the Batang Arau River. This research uses descriptive methods with qualitative and quantitative approaches. Tilapia fish samples were taken from three different locations on the Batang Arau River, namely agricultural areas (T1), rubber factory industrial areas (T2), and densely populated areas (T3). Gills and liver were prepared using the paraffin method with Hematoxylin Eosin (HE) staining. Histological observations were carried out using a light microscope, then the level of tissue damage was analyzed using a scoring method based on the percentage of cell damage. The water quality parameters measured are temperature and pH. The results showed that there were histological changes in the gills in the form of primary lamella hyperplasia, secondary lamella distortion, lamella fusion, edema, epithelial lifting, congestion and necrosis, as well as in the liver in the form of sinusoid dilatation, congestion, vacuole degradation, sinusoid congestion, karyorrhexis and karyolysis. The highest level of histological damage was found at the T3 location, while lower damage was found at T1 and T2.*

**Keywords:** histology, gills, liver, nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Batang Arau River.

**ABSTRAK.** Sungai Batang Arau merupakan salah satu sungai utama di Kota Padang yang dimanfaatkan secara intensif untuk berbagai aktivitas domestik, industri, dan transportasi, sehingga berpotensi mengalami penurunan kualitas perairan. Pencemaran perairan dapat berdampak langsung terhadap organisme akuatik, khususnya ikan, yang dapat ditunjukkan melalui perubahan jaringan organ vital. Insang dan hati merupakan organ yang sensitif terhadap perubahan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui profil histologi insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang hidup di Sungai Batang Arau. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Sampel ikan nila diambil dari tiga lokasi berbeda di Sungai Batang Arau, yaitu kawasan pertanian (T1), kawasan industri pabrik karet (T2), dan kawasan padat penduduk (T3). Organ insang dan hati dipreparasi menggunakan metode parafin dengan pewarnaan Hematoxylin Eosin (HE).

Pengamatan histologi dilakukan menggunakan mikroskop cahaya, kemudian tingkat kerusakan jaringan dianalisis dengan metode skoring berdasarkan persentase kerusakan sel. Parameter kualitas air yang diukur yaitu suhu dan pH. Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan histologi pada insang berupa hiperplasia lamela primer, distorsi lamela sekunder, fusi lamela, edema, *epithelium lifting*, kongesti, dan nekrosis, serta pada hati berupa dilatasi sinusoid, kongesti, degradasi vakuola, kongesti sinusoid, karioreksis, dan kariolisis. Tingkat kerusakan histologi tertinggi ditemukan pada lokasi T3, sedangkan kerusakan lebih rendah ditemukan pada T1 dan T2.

**Kata kunci:** histologi, insang, hati, ikan nila (*Oreochromis niloticus*), Sungai Batang Arau.

## 1. PENDAHULUAN

Sungai Batang Arau merupakan salah satu sungai utama yang melintasi Kota Padang (Pratama & Sandra, 2023). Sungai ini memiliki peran penting bagi masyarakat, seperti sumber baku air minum PDAM, MCK (mandi, cuci, kakus), peternakan, pengaliran pertanian, perkebunan, maupun kegiatan industri (Salfia & Prarikeslan, 2025). Selain itu, sungai ini juga dimanfaatkan sebagai jalur transportasi, tempat berlabuh kapal dagang dari Mentawai (Rahayu *et al.*, 2024). Sungai ini juga berfungsi sebagai kawasan rekreasi sejak pembangunan Jembatan Siti Nurbaya (Putri, 2017). Tingginya intensitas pemanfaatan tersebut berdampak pada penurunan kemampuan sungai dalam mempertahankan fungsi ekologisnya. Kondisi ini semakin diperburuk dengan tingginya potensi beban pencemaran yang bersumber dari sektor domestik, industri, dan pertanian (Salfia & Prarikeslan, 2025). Limbah dari sektor tersebut yang dibuang tanpa pengolahan dapat menimbulkan bau, meningkatkan kekeruhan air, serta bersifat toksik bagi organisme akuatik, khususnya ikan (Dahruji *et al.*, 2017).

Ikan merupakan organisme yang sensitif terhadap perubahan kualitas perairan (Hertika *et al.*, 2021). Sensitivitas ini terutama terlihat pada insang dan hati (Riani, 2010). Insang merupakan organ yang memiliki kontak langsung dengan air, sehingga menjadi bagian tubuh ikan yang pertama kali terpapar dan merespons perubahan kualitas perairan akibat pencemaran (Amalia *et al.*, 2016). Hati berperan penting sebagai organ detoksifikasi yang paling banyak mengakumulasi zat toksik (Nuraeni *et al.*, 2021). Insang yang berfungsi dalam pertukaran gas dan osmoregulasi rentan mengalami perubahan histologi, seperti hipertrofi, fusi lamela, hingga nekrosis (Juanda *et al.*, 2024). Sementara itu, hati dapat mengalami kerusakan sel hepatosit akibat penumpukan zat beracun (Fajrah, 2020). Perubahan-perubahan tersebut terjadi pada tingkat seluler dan sering kali tidak dapat diamati secara kasat mata, sehingga diperlukan pendekatan histologi untuk mengidentifikasi dan mendeskripsikan kondisi jaringan-jaringan secara detail pada tingkat mikroskopis.

Metode histologi memungkinkan pengamatan perubahan jaringan pada tingkat seluler, baik akibat paparan akut maupun kronis, sehingga sering digunakan untuk menilai dampak kontaminasi pada ikan (Ameur *et al.*, 2012). Analisis ini juga relevan untuk mendeteksi efek jangka panjang dari polutan dalam konsentrasi rendah tetapi kronis (Abiona *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pendekatan histologi pada organ insang dan hati dapat memberikan gambaran mengenai kondisi kesehatan ikan yang hidup di suatu perairan.

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu spesies ikan air tawar yang banyak ditemukan dan dibudidayakan di Indonesia. Spesies ini relatif toleran terhadap variasi lingkungan serta sering digunakan dalam penelitian perairan dan toksikologi (Indrawati *et al.*, 2022). Namun, penelitian mengenai analisis histologi insang dan hati ikan nila di wilayah Sumatera Barat masih terbatas. Beberapa penelitian histologi di Sumatera Barat telah dilakukan pada ikan asang (*Osteochilus hasseltii*) (Mandia *et al.*, 2013; Saputra *et al.*, 2013), ikan mas (*Cyprinus carpio*), ikan tawes (*Barbonymus gonionotus*) (Billah *et al.*, 2023), dan ikan nilam (*Osteochilus vittatus*) (Billah *et al.*, 2023; Atifah *et al.*, 2024). Sementara itu, penelitian histologi ikan nila baru dilaporkan di Danau Maninjau dengan fokus pada organ insang (Mandia *et al.*, 2021). Penelitian terkait kualitas perairan di Sungai Batang Arau masih terbatas pada parameter fisika dan kimia. Penelitian sebelumnya lebih menekankan pada analisis parameter kualitas perairan, seperti suhu, pH, logam berat (Nasution & Afdal, 2016; Ofiyen & Puryanti, 2022). DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TDS (*Total Dissolved Solids*) dan TSS (*Total Suspended Solids*) (Salfia & Prarikeslan, 2025). Hingga saat ini belum terdapat penelitian yang menganalisis kondisi jaringan insang dan hati ikan nila di Sungai Batang Arau melalui pendekatan histologi. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui gambaran perubahan struktur jaringan insang dan hati ikan nila yang hidup di Sungai Batang Arau, sehingga dapat memberikan informasi ilmiah mengenai kondisi kesehatan ikan serta kontribusi data biologis dalam kajian kualitas perairan sungai tersebut.

## 2. METODE

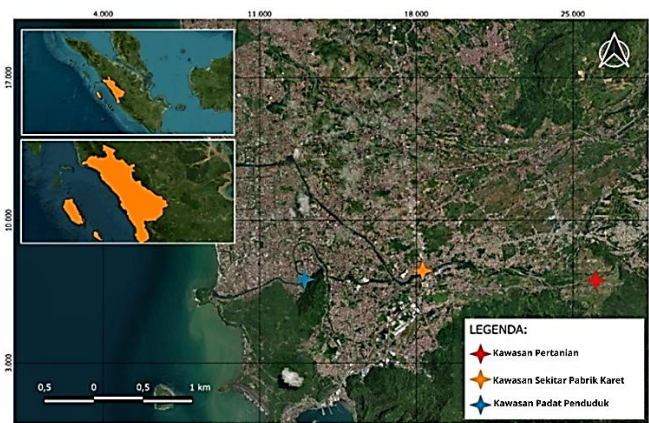
Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif, yang bertujuan untuk mendeskripsikan secara rinci kondisi histologi insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) serta kualitas air di Sungai Batang Arau. Pendekatan kualitatif digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kerusakan histologi pada organ tersebut dan kondisi perairan Sungai Batang Arau, sedangkan pendekatan kuantitatif diterapkan melalui perhitungan skoring kerusakan histologi serta pengukuran parameter kualitas air untuk memperoleh data yang dapat dianalisis secara objektif.

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi pH meter, termometer, alat pancing, *dip net* (alat tangkap manual), alat bedah (*dissecting set*), *hotplate*, *microtome*, oven, kaset *embedding*, tabung falcon, bunsen, *staining jar chamber*, beaker glass, balok kayu/holder, kuas, *showcase*, kaca objek, kaca penutup (*cover glass*), dan mikroskop cahaya. Bahan yang digunakan meliputi ikan nila (*Oreochromis niloticus*), larutan bouin, NaCl 0,9%, alkohol berbagai konsentrasi, akuades, tisu, mayer albumin, entellan, parafin, toluol, xylol, pewarna Hematoxylin Eosin (HE), spiritus, dan kertas kalender.

## 2.2 Prosedur Penelitian

### 2.2.1 Koleksi Sampel



**Gambar 1.** Peta lokasi koleksi sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada tiga titik di Sungai Batang Arau, Kota Padang, yang merepresentasikan karakteristik lingkungan berbeda, yaitu kawasan pertanian (T1), sekitar pabrik karet (T2), dan kawasan padat penduduk (T3). Penentuan titik pengamatan bertujuan untuk menggambarkan variasi kualitas air di sepanjang aliran sungai. Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dikoleksi menggunakan pancing dan *dip net* dengan metode *purposive sampling*, sebanyak tiga individu pada setiap titik. Jumlah sampel tersebut ditetapkan berdasarkan pendekatan penelitian yang bersifat deskriptif dengan analisis histopatologi, di mana setiap individu menghasilkan banyak unit pengamatan mikroskopis melalui beberapa bidang pandang sehingga tetap representatif dalam menggambarkan kondisi jaringan. Sampel yang diperoleh kemudian difiksasi menggunakan larutan Bouin dan disimpan dalam tabung falcon untuk analisis histologi lebih lanjut.

### 2.2.2 Pembuatan Sediaan Preparat

Preparat histologi dibuat menggunakan metode parafin dengan pewarnaan Hematoxylin Eosin (HE) mengacu pada Retnoaji *et al.* (2023) dengan beberapa modifikasi. Sampel difiksasi dalam larutan Bouin, kemudian melalui tahap dehidrasi dengan alkohol bertingkat, *clearing* menggunakan toluol, dan infiltrasi parafin. Jaringan selanjutnya di-*embedding* dalam parafin, dipotong menggunakan mikrotom setebal 5  $\mu$ m, dan ditempatkan pada kaca objek yang dilapisi albumin. Preparat kemudian diwarnai dengan metode HE melalui tahap deparafinasi, rehidrasi, pewarnaan, dehidrasi kembali, dan *clearing*, lalu ditutup dengan kaca penutup menggunakan entellan.

### 2.2.3 Pengamatan dan Skoring Kerusakan Histologi Insang dan Hati

Preparat histologi insang dan hati diamati menggunakan mikroskop cahaya pada perbesaran 400 $\times$  dan 1000 $\times$ . Penilaian kerusakan jaringan dilakukan pada preparat menggunakan aplikasi ZEISS. Penelitian menggunakan tiga ikan sebagai ulangan biologi dengan lima bidang pandang sebagai ulangan

teknis. Jumlah sel rusak dan sel total dihitung menggunakan aplikasi ImageJ, kemudian persentase kerusakan dihitung dengan rumus:

$$\text{Persentase kerusakan (\%)} = \frac{\text{Jumlah sel yang rusak}}{\text{Jumlah sel keseluruhan}} \times 100\%$$

Tingkat kerusakan jaringan diklasifikasikan menurut metode skoring Peebua *et al.* (2006), yaitu (–) tidak terdapat kerusakan, (+) kerusakan ringan (<25%), (++) kerusakan sedang (25–75%), dan (+++) kerusakan berat (>75%), yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kerusakan.

#### 2.2.4 Uji Kualitas Air

Parameter kualitas air yang diukur pada setiap lokasi meliputi suhu dan pH. Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter digital yang telah dikalibrasi dengan larutan buffer standar, sedangkan suhu diukur menggunakan termometer yang telah dikalibrasi.

#### 2.3 Analisis Data

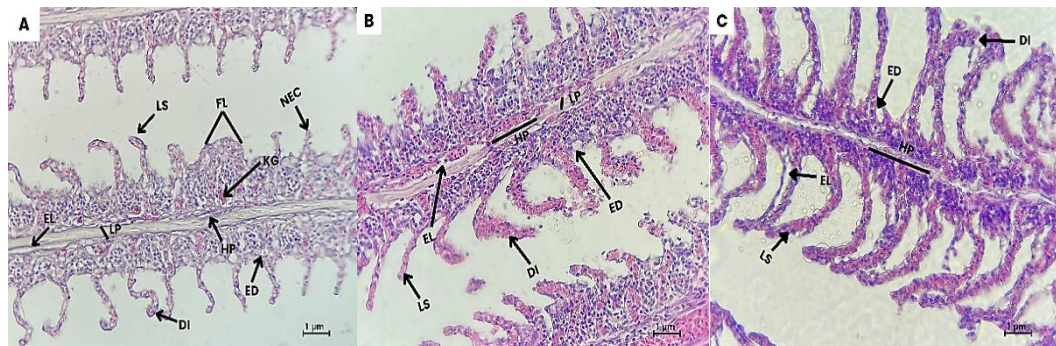
Data hasil penelitian histologi organ insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dianalisis secara deskriptif kualitatif. Sementara itu, data skoring kerusakan histologi pada insang dan hati dianalisis secara deskriptif kuantitatif berdasarkan metode dari Peebua *et al.* (2006), dengan beberapa modifikasi. Data hasil histologi ditampilkan dalam bentuk gambar yang dilengkapi uraian deskriptif, sedangkan hasil skoring kerusakan jaringan pada insang dan hati serta parameter kualitas air disajikan dalam tabel, kemudian dipertegas dengan penjelasan deskriptif sebagai pendukung.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai analisis histologi insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) di perairan Sungai Batang Arau, Kota Padang, telah dilakukan pada tiga titik pengambilan sampel dengan karakteristik lingkungan yang berbeda.

#### 3.1 Histologi Insang Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

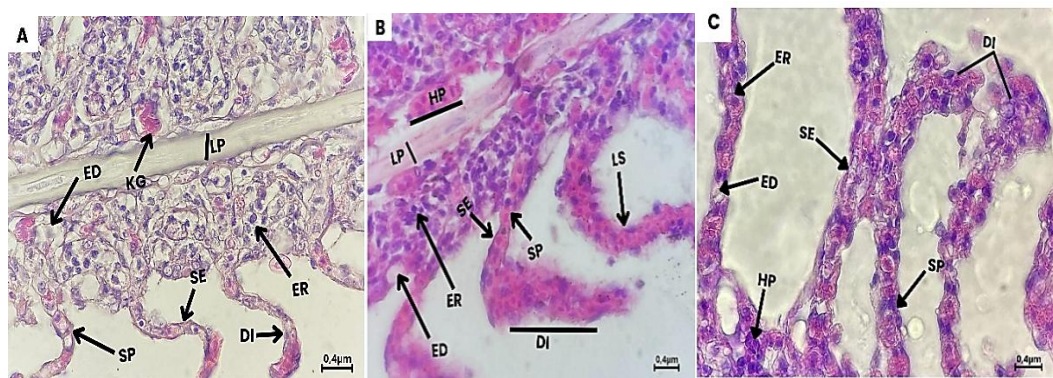
Hasil pengamatan histologi insang ikan nila menunjukkan adanya variasi perubahan jaringan pada setiap titik pengamatan di Sungai Batang Arau, Kota Padang, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Struktur dasar insang masih dapat dikenali, yaitu lamela primer (LP) dan lamela sekunder (LS), namun ditemukan beberapa perubahan histologi dengan tingkat intensitas yang berbeda pada masing-masing lokasi.



**Gambar 2.** Struktur histologi insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) (A = T1 ; B = T2 dan C = T3).

(FL) Fusi lamela, (LP) Lamela primer, (LS) Lamela sekunder (HP) Hiperplasia, (DI) Distorsi, (KG) Kongesti, *Epithelium lifting* (EL), (ED) Edema, (NEC) Nekrosis. Perbesaran 400x.

Terdapat beberapa perubahan histologi yang dapat diidentifikasi pada perbesaran 400x seperti pada Gambar 2 yaitu berupa hiperplasia, fusi lamela, distorsi, kongesti epithelium lifting, edema dan nekrosis. Hiperplasia yang ditemukan pada penelitian ini merupakan bentuk respons adaptif jaringan insang terhadap paparan zat iritan atau bahan toksik di perairan (Adawiyah, 2022). Penebalan lapisan epitel akibat peningkatan jumlah sel berfungsi sebagai mekanisme perlindungan untuk mengurangi penetrasi zat berbahaya ke dalam tubuh ikan, meskipun kondisi ini dapat meningkatkan jarak difusi oksigen sehingga menurunkan efisiensi respirasi (Sugiantari *et al.*, 2022). Perubahan lain yang sering muncul bersamaan dengan hiperplasia adalah distorsi lamela sekunder yang ditandai dengan perubahan bentuk lamela, termasuk *curling* atau pembengkokan ujung lamela. Distorsi tersebut dapat mengurangi luas permukaan insang yang berperan dalam pertukaran gas sehingga berpotensi mengganggu proses respirasi ikan (Sianturi *et al.*, 2022). Kondisi ini juga sering disertai dengan *epithelium lifting* dan edema yang terjadi akibat akumulasi cairan pada ruang subepitel sebagai respons terhadap peningkatan permeabilitas pembuluh darah (Irene *et al.*, 2021; Soegianto, 2023). Pada kondisi tekanan lingkungan yang lebih tinggi, hiperplasia dan edema dapat berkembang menjadi fusi lamela sekunder akibat proliferasi sel epitel yang berlebihan dan peningkatan produksi mukus (Mandia *et al.*, 2021). Selain itu, adanya kongesti menunjukkan terhambatnya aliran darah lokal pada jaringan insang (Juanda *et al.*, 2023). Sedangkan nekrosis menandakan kerusakan jaringan yang lebih lanjut akibat gangguan fisiologis yang berlangsung cukup lama (Lekatompessy *et al.*, 2021).



**Gambar 3.** Struktur histologi insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) (A = T1; B = T 2 dan C = T3). (LP) Lamela primer, (LS) Lamela sekunder, (HP) Hiperplasia, (ED) Edema, (SE) Sel epitel, (SP) Sel pilar, (ER) Eritrosit, (ED) Edema, (KG) Kongesti, (DI) Distorsi, (HP) Hiperplasia. Perbesaran 1000x.

Pengamatan lanjutan menggunakan perbesaran 1000× (Gambar 3) memperlihatkan struktur jaringan insang secara lebih jelas, termasuk lapisan sel epitel, sel pilar, dan eritrosit. Jenis kerusakan yang teridentifikasi pada perbesaran ini umumnya sama dengan pengamatan pada perbesaran 400×, namun perubahan histologi tampak lebih jelas dan detail. Secara umum, jenis kerusakan yang ditemukan dalam penelitian ini juga sering dilaporkan pada histologi insang ikan nila di perairan

Sumatera Barat. Mandia *et al.* (2021) melaporkan kerusakan insang ikan nila di Danau Maninjau berupa fusi lamela, telangiectasia, hiperplasia, hingga hilangnya struktur lamela. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Sugiantari *et al.* (2022) pada ikan nila di Danau Batur, Bali, yang menunjukkan kerusakan berupa hiperplasia, edema, dan fusi lamela. Sementara itu, Kania *et al.* (2020) melaporkan kerusakan insang berupa hiperplasia lamela, hemoragi, dan edema. Meskipun demikian, terdapat beberapa perbedaan jenis kerusakan antara penelitian ini dan penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini tidak ditemukan telangiectasia maupun hemoragi seperti yang dilaporkan pada penelitian terdahulu. Sebaliknya, penelitian ini menemukan bentuk kerusakan lain berupa distorsi lamela dalam bentuk *curling*, yang tidak dilaporkan pada penelitian-penelitian tersebut. Perbedaan jenis kerusakan tersebut menunjukkan bahwa pola kerusakan insang ikan nila dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan perairan. Sejalan dengan hal tersebut, hasil penelitian ini juga menunjukkan adanya variasi tingkat kerusakan histologi insang ikan nila pada setiap lokasi pengamatan yang berkaitan dengan perbedaan kondisi lingkungan perairan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Skoring kerusakan insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

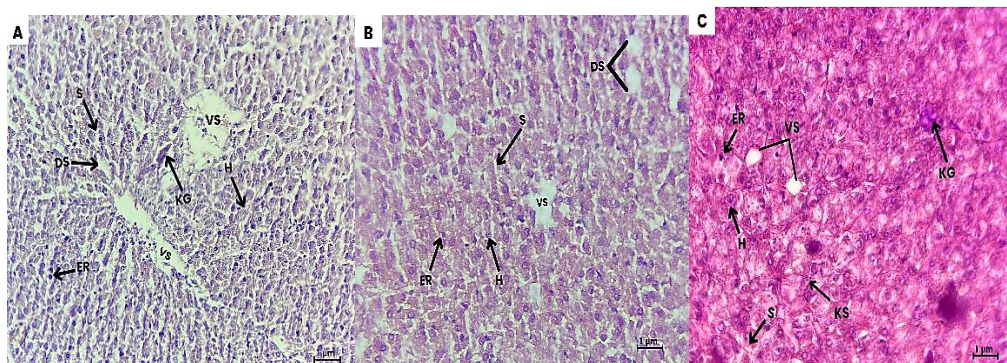
| Lokasi | Rata- Rata Skor Kerusakan (%) | Tingkat Kerusakan |
|--------|-------------------------------|-------------------|
| T1     | 12,67 $\pm$ 1,44              | Ringan            |
| T2     | 13,45 $\pm$ 2,29              | Ringan            |
| T3     | 16,73 $\pm$ 1,33              | Ringan            |

Hasil skoring kerusakan histologi insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) menunjukkan bahwa seluruh lokasi pengamatan masih berada pada kategori kerusakan ringan (Tabel 1). Rendahnya nilai kerusakan pada T1 berkaitan dengan kondisi lokasi yang berada di wilayah pedesaan dengan aktivitas manusia yang relatif rendah. Namun, pengambilan sampel yang dilakukan setelah terjadinya banjir bandang berpotensi meningkatkan kekeruhan perairan akibat resuspensi sedimen serta masuknya material organik dan anorganik ke dalam kolom air, yang dapat memicu respons adaptif pada jaringan insang seperti hiperplasia dan edema (Syam, 2024). Nilai kerusakan pada T2 sedikit lebih tinggi dibandingkan T1, yang diduga berkaitan dengan lokasi pengambilan sampel yang berada di sekitar area pembuangan limbah pabrik karet serta permukiman penduduk di sepanjang tepi sungai, sehingga berpotensi meningkatkan masukan limbah domestik dan industri ke badan perairan (Lusiyana & Herda, 2021). Sementara itu, nilai kerusakan tertinggi ditemukan pada T3 yang terletak di kawasan hilir sungai dan wilayah perkotaan dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Kondisi ini memungkinkan terjadinya akumulasi limbah domestik serta berbagai aktivitas antropogenik dari bagian hulu hingga hilir sungai yang memberikan tekanan lingkungan lebih besar terhadap organisme akuatik. Secara keseluruhan, variasi perubahan histologi insang ikan nila pada setiap lokasi pengamatan menunjukkan adanya respons jaringan terhadap perbedaan kondisi lingkungan perairan di sepanjang Sungai Batang Arau. Pola peningkatan nilai skoring kerusakan dari T1 hingga T3 sejalan dengan meningkatnya intensitas

aktivitas manusia di sekitar sungai, yang menunjukkan bahwa insang merupakan organ yang sensitif terhadap perubahan kualitas perairan dan dapat digunakan sebagai indikator biologis dalam penilaian kondisi lingkungan akuatik (Amalia *et al.*, 2016; Juanda *et al.*, 2024).

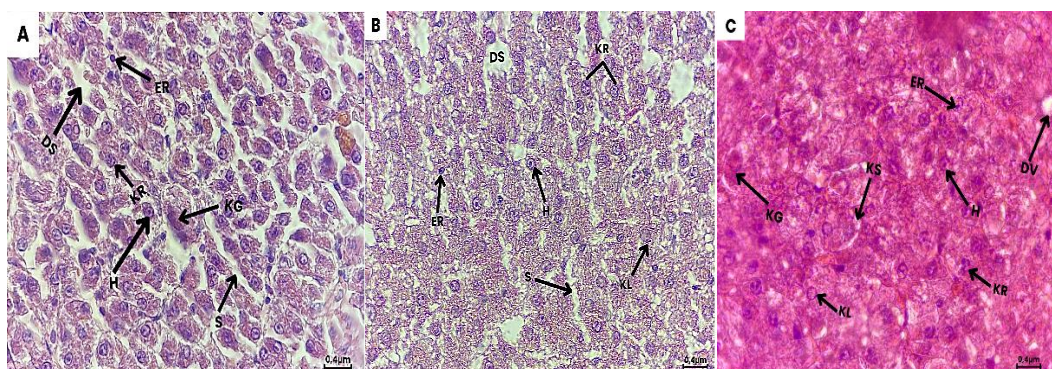
### 3.2 Histologi Hati Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Hasil pengamatan histologi hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) menunjukkan adanya variasi struktur jaringan sebagai bentuk respons biologis terhadap kondisi lingkungan perairan Sungai Batang Arau, Kota Padang. Struktur dasar jaringan hati seperti vena sentralis, hepatosit, dan sinusoid masih dapat dikenali pada seluruh titik pengamatan, meskipun terdapat beberapa perubahan histologis dengan tingkat intensitas yang berbeda (Gambar 4 dan Gambar 5).



**Gambar 4.** Struktur histologi hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) (A = T1; B = T2 dan C = T3). (VS) Vena sentralis, (H) Hepatosit, (S) Sinusoid, (ER) Eritrosit, (DS) Dilatasi sinusoid, (KG) Kongesti, (KS) Kongesti Sinusoid. Perbesaran 400x.

Pengamatan pada perbesaran 400x (Gambar 4) menunjukkan beberapa kerusakan yang teridentifikasi seperti dilatasi sinusoid, kongesti, dan kongesti sinusoid. Dilatasi sinusoid ditandai dengan pelebaran lumen sinusoid yang mencerminkan respons jaringan terhadap peningkatan tekanan aliran darah atau gangguan regulasi vaskular akibat masuknya senyawa asing dalam konsentrasi rendah (Graharti *et al.*, 2023). Kondisi ini sering diikuti oleh kongesti, yaitu penumpukan eritrosit di dalam sinusoid akibat perlambatan aliran darah (Ringgi *et al.*, 2023). Kombinasi kedua perubahan tersebut menunjukkan adanya gangguan sirkulasi darah tahap awal yang umumnya masih bersifat reversibel dan belum menyebabkan kerusakan permanen pada jaringan hati.



**Gambar 5.** Struktur histologi hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) (A = T1; B = T2 dan C = T3). (H) Hepatosit, (S) Sinusoid, (ER) Eritrosit, (DS) Dilatasi sinusoid, (KG) Kongesti, (KR)

Karioreksis, (KL) Kariolisis, (DV) Degradasi Vakuola. Perbesaran 1000x.

Pengamatan lanjutan pada perbesaran 1000× (Gambar 5) menunjukkan detail struktur seluler hati dengan lebih jelas dan jenis kerusakan yang lebih kompleks dibandingkan perbesaran 400x. Ditemukan perubahan inti sel berupa karioreksis dan kariolisis. Karioreksis merupakan fragmentasi inti akibat kerusakan kromatin, sedangkan kariolisis ditandai dengan hilangnya pewarnaan inti akibat degradasi DNA (Harissa, 2025). Perubahan ini menunjukkan penurunan kemampuan hepatosit dalam mempertahankan fungsi normal. Selain itu, degradasi vakuola pada sitoplasma hepatosit mengindikasikan gangguan metabolisme dan penyimpanan zat dalam sel hati (Mumtazah *et al.*, 2021). Kongesti sinusoid yang teramati juga menunjukkan gangguan aliran darah intrahepatik yang menyebabkan akumulasi eritrosit dalam lumen sinusoid (Wicaksono *et al.*, 2015).

Secara umum jenis kerusakan yang ditemui hampir sama dengan beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian Wahidi *et al.*, (2025) melaporkan kerusakan hati ikan nila di Sungai Porong, Jawa Timur, berupa kongesti, vakuolisasi (degradasi vakuola) , dan nekrosis. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Tuska *et al.* (2025) pada hati ikan nila di Sungai Brantas Jawa Timur, yang menunjukkan kerusakan berupa nekrosis. Meskipun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan variasi jenis kerusakan yang lebih beragam dibandingkan dengan kedua penelitian tersebut. Selain ditemukannya kongesti dan degradasi vakuola yang juga dilaporkan pada penelitian sebelumnya, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa bentuk perubahan histopatologi lain, yaitu dilatasi sinusoid, kongesti sinusoid, karioreksis, dan kariolisis. Variasi jenis kerusakan ini menunjukkan bahwa jaringan hati ikan nila pada lokasi penelitian mengalami respons patologi yang lebih kompleks, yang berkaitan dengan perbedaan kondisi lingkungan. Dengan demikian, meskipun terdapat kesamaan pola kerusakan dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini memberikan tambahan informasi mengenai ragam perubahan histopatologi hati ikan nila yang lebih luas sebagai respons terhadap kondisi lingkungan perairan.

**Tabel 2.** Skoring kerusakan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

| Lokasi | Rata-Rata Skor Kerusakan (%) | Tingkat Kerusakan |
|--------|------------------------------|-------------------|
| T1     | 14,08 ± 3,79                 | Ringan            |
| T2     | 14,98 ± 0,87                 | Ringan            |
| T3     | 22,13 ± 6,56                 | Ringan            |

Hasil skoring kerusakan histologi hati (Tabel 2) menunjukkan bahwa seluruh lokasi pengamatan masih berada pada kategori kerusakan ringan (+). Nilai rata-rata kerusakan pada T1 tercatat sebesar 14,08 ± 3,79%, pada T2 sebesar 14,98 ± 0,87%, dan nilai tertinggi ditemukan pada T3 yaitu 22,13 ± 6,56%. Meskipun ketiga lokasi berada dalam kategori kerusakan yang sama, peningkatan nilai dari T1 hingga T3 menunjukkan adanya perbedaan tingkat tekanan lingkungan pada masing-masing lokasi. Nilai kerusakan yang lebih rendah pada T1 diduga berkaitan dengan kondisi wilayah yang masih

didominasi area pedesaan dengan aktivitas antropogenik yang relatif rendah. Pemanfaatan sungai di lokasi ini umumnya terbatas untuk irigasi sehingga potensi masuknya limbah ke perairan lebih kecil. Namun demikian, pengambilan sampel yang dilakukan setelah kejadian banjir bandang berpotensi meningkatkan kekeruhan akibat resuspensi sedimen di dasar sungai, sehingga perubahan histologi hati yang teramati kemungkinan masih berada pada tahap awal hingga menengah (Syam, 2024).

Nilai kerusakan yang sedikit lebih tinggi pada T2 menunjukkan adanya peningkatan tekanan lingkungan dibandingkan T1. Lokasi ini berada di sekitar area pembuangan limbah pabrik karet serta permukiman yang cukup padat, sehingga potensi masukan limbah industri dan domestik ke badan sungai menjadi lebih besar. Kondisi tersebut dapat meningkatkan paparan bahan pencemar terhadap organisme akuatik, termasuk ikan nila (Zilfa *et al.*, 2023). Sementara itu, nilai kerusakan tertinggi ditemukan pada T3 yang berada di bagian hilir Sungai Batang Arau dan didominasi kawasan perkotaan. Pada bagian hilir sungai, berbagai bahan pencemar dari aktivitas manusia di daerah hulu cenderung terakumulasi, baik yang berasal dari limbah domestik maupun aktivitas antropogenik lainnya. Akumulasi bahan pencemar ini meningkatkan tekanan lingkungan pada organisme akuatik sehingga perubahan histologi hati yang terjadi menjadi lebih kompleks dibandingkan lokasi lainnya. Peningkatan nilai kerusakan histologis hati ikan nila dari T1 hingga T3 menunjukkan adanya pengaruh kondisi lingkungan perairan terhadap integritas jaringan hati. Tingkat kerusakan yang lebih tinggi pada T2 dan T3 mengindikasikan bahwa tekanan lingkungan di lokasi tersebut lebih besar dibandingkan T1. Perbedaan ini berkaitan dengan variasi kualitas air antar lokasi, terutama suhu dan pH. Suhu yang lebih tinggi serta kondisi pH yang kurang optimal dapat memicu stres fisiologis, meningkatkan laju metabolisme, serta berpotensi menyebabkan gangguan pada sel seperti degenerasi dan nekrosis (Wang *et al.*, 2025). Namun demikian, mekanisme pengaruh parameter kualitas air terhadap perubahan histologi tersebut dibahas lebih lanjut pada bagian kualitas perairan. Temuan ini memperkuat bahwa hati ikan nila merupakan organ yang sensitif terhadap perubahan lingkungan dan dapat digunakan sebagai indikator biologis (Fajrah, 2020; Sianturi *et al.*, 2022)

### **3.3 Habitat dan Kualitas Air**

Kondisi habitat dan kualitas air merupakan komponen penting yang mencerminkan tingkat kesehatan suatu perairan serta berperan dalam menunjang kehidupan organisme akuatik. Lokasi penelitian di Sungai Batang Arau, Kota Padang (Gambar 6) menunjukkan adanya variasi karakteristik habitat pada setiap titik pengamatan yang berpotensi mempengaruhi kondisi lingkungan perairan dan organisme yang hidup di dalamnya.



**Gambar 6.** Lokasi pengambilan sampel, (A) Titik 1, (B) Titik 2, (C) Titik 3.

Titik 1 (T1) berada di hulu sungai di kawasan pedesaan dengan aktivitas antropogenik relatif rendah dan didominasi lahan pertanian, sehingga sungai dimanfaatkan sebagai saluran irigasi dan umumnya mencerminkan habitat yang lebih stabil. Namun, pengambilan sampel setelah banjir bandang berpotensi meningkatkan kekeruhan akibat resuspensi sedimen dan masuknya material organik maupun anorganik ke perairan (Erwanto *et al.*, 2024). Titik 2 (T2) berada di area yang dipengaruhi aktivitas industri dan permukiman padat, berdekatan dengan pembuangan limbah pabrik karet sehingga air tampak keruh dan berbau, yang mengindikasikan penurunan kualitas lingkungan akibat kombinasi limbah industri dan domestik (Qulub, 2025). Sementara itu, Titik 3 (T3) berada di kawasan perkotaan mendekati muara sungai dengan tekanan antropogenik tertinggi. Kepadatan permukiman dan akumulasi sampah rumah tangga menyebabkan peningkatan tekanan lingkungan, karena wilayah hilir umumnya menerima akumulasi bahan pencemar dari bagian hulu dan tengah sungai (Kadim & Pasingi, 2024).

**Tabel 3.** Pengukuran kualitas air di Sungai Batang Arau

| Lokasi | Parameter |      |
|--------|-----------|------|
|        | Suhu (°C) | pH   |
| T1     | 30,3      | 7,91 |
| T2     | 33,1      | 8,74 |
| T3     | 32,8      | 7,55 |

Perbedaan karakteristik habitat tersebut tercermin pada parameter kualitas air yang diukur dalam penelitian ini, yaitu suhu dan pH (Tabel 3). Suhu perairan tertinggi tercatat pada T2 sebesar 33,1 °C, diikuti T3 sebesar 32,8 °C, sedangkan suhu terendah ditemukan pada T1 sebesar 30,3 °C yang masih berada dalam kisaran toleransi optimal ikan nila yaitu sekitar 25–32 °C (Zulhidafina & Hidayati, 2025). Peningkatan suhu pada T2 dan T3 mengindikasikan adanya pengaruh aktivitas antropogenik dan kondisi lingkungan perkotaan. Suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat laju metabolisme ikan dan meningkatkan kebutuhan oksigen, sehingga meningkatkan beban kerja insang sebagai organ respirasi utama. (Nur & Fitriah, 2021). Selain itu, peningkatan metabolisme juga dapat memicu produksi spesies oksigen reaktif (ROS) yang berlebih, sehingga menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan sel, baik pada jaringan insang

maupun hati, seperti hiperplasia pada insang serta degenerasi dan nekrosis pada hepatosit (Shah & Parveen, 2022).

Nilai pH perairan pada seluruh lokasi berada pada kisaran netral hingga basa. Nilai pH pada T1 sebesar 7,91 dan T3 sebesar 7,55 masih berada dalam kisaran toleransi optimal ikan nila, yaitu 6,5–8,5 (Indriani *et al.*, 2025). Namun, nilai pH pada T2 sebesar 8,74 sedikit melampaui batas optimal, yang mengindikasikan adanya pengaruh limbah industri dan aktivitas antropogenik di sekitar lokasi tersebut. Nilai pH yang cenderung basa dapat menyebabkan iritasi pada jaringan insang serta mengganggu keseimbangan ionik dan proses osmoregulasi, mengingat insang merupakan organ utama dalam pertukaran ion dan gas (Awwalia & Dindin, 2025). Gangguan ini dapat memicu perubahan struktur insang seperti edema dan fusi lamela. Selain itu, Ketidakseimbangan ionik dan gangguan fisiologis juga berdampak pada fungsi hati sebagai organ metabolisme dan detoksifikasi, sehingga dapat menyebabkan perubahan pada hepatosit seperti vakuolisasi, pembengkakan sel, hingga nekrosis. Perubahan tersebut merupakan respon umum terhadap stres lingkungan dan paparan zat toksik yang dapat mengganggu proses metabolisme sel hati (Wolf & Wheeler, 2018).

Kombinasi suhu tinggi dan pH yang tidak optimal, khususnya pada T2 dan T3, menunjukkan adanya tekanan lingkungan yang lebih besar dibandingkan T1. Kondisi tersebut meningkatkan beban kerja organ insang dan hati secara bersamaan, sehingga memperbesar risiko terjadinya kerusakan jaringan. Hal ini didukung oleh hasil pengamatan histologi yang menunjukkan peningkatan skor kerusakan insang dan hati pada lokasi dengan kualitas air yang lebih rendah. Secara keseluruhan, variasi kondisi habitat dari kawasan hulu hingga hilir Sungai Batang Arau tidak hanya mencerminkan perbedaan kualitas perairan, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap respon biologis ikan dalam bentuk perubahan histologis pada organ insang dan hati. Temuan ini menegaskan bahwa kedua organ tersebut merupakan indikator biologis yang sensitif terhadap perubahan lingkungan dan dapat digunakan dalam pemantauan kualitas perairan (Irene *et al.*, 2021).

Meskipun parameter kualitas air yang diukur dalam penelitian ini terbatas pada suhu dan pH, kedua parameter tersebut merupakan faktor dasar yang berperan penting dalam mempengaruhi kondisi fisiologis ikan dan dinamika lingkungan perairan (Pane *et al.*, 2023). Selain itu, pendekatan histologi yang digunakan mampu memberikan gambaran yang lebih sensitif terhadap kondisi lingkungan, karena perubahan jaringan pada organ seperti insang dan hati merupakan respon langsung terhadap berbagai faktor lingkungan (Ade, 2025). Dengan demikian, kombinasi antara data kualitas air dan respon histologis organisme tetap dapat memberikan informasi yang relevan dalam menilai kondisi perairan.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis histologi insang dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Sungai Batang Arau, Kota Padang, dapat disimpulkan bahwa profil histologi insang dan hati ikan nila yang hidup di perairan tersebut menunjukkan adanya perubahan struktur jaringan. Pada insang, perubahan yang ditemukan meliputi hiperplasia lamela primer, distorsi lamela sekunder, fusi lamela, edema, *epithelium lifting*, kongesti, dan nekrosis. Sementara itu, pada organ hati teramati dilatasi sinusoid, kongesti, degradasi vakuola, kongesti sinusoid, serta perubahan inti sel berupa karioreksis dan kariolisis. Tingkat kerusakan histologi tertinggi ditemukan pada lokasi T3, sedangkan tingkat kerusakan yang lebih rendah ditemukan pada lokasi T1 dan T2.

Sejalan dengan hasil yang diperoleh, disarankan dilakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan parameter kualitas air lainnya, seperti BOD, COD, logam berat, dan nutrisi, guna memperkuat analisis hubungan antara kondisi perairan dan tingkat kerusakan histologi pada insang dan hati ikan nila. Upaya ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif serta memperdalam pemahaman mengenai dampak lingkungan terhadap kesehatan organisme akuatik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Zoologi dan Laboratorium Penelitian Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini. Naskah ini merupakan bagian dari skripsi Aulia Devani Putri untuk Program Sarjana Sains, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Dukungan fasilitas dan lingkungan akademik yang kondusif tersebut sangat berperan dalam kelancaran seluruh tahapan penelitian hingga penyusunan naskah ini.

#### REFERENSI

- Abiona, O. O., Anifowose, A. J., Awojide, S. H., Adebisi, O. C., Adesina, B. T., & Ipinmoroti, M. O. (2019). Histopathological biomarking changes in the internal organs of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to heavy metals contamination from Dandaru pond, Ibadan, Nigeria. *Journal of Taibah University for Science*, 13(1), 903–911.
- 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.
- Ade, P. (2025). *EFEKTIVITAS PEMBERIAN EKSTRAK DAUN KIRINYUH (Chromolaena odorata L) TERHADAP RESPON INSANG IKAN NILA (Oreochromis niloticus)(Linnaeus, 1758) YANG TERINFEKSI BAKTERI Aeromonas hydrophila MELALUI HISTOLOGI*. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Amalia, W. R., Halang, B., & Naparin, A. (2016). Kandungan kadmium (Cd) pada air, daging serta mikroskop anatomi insang ikan kelabau (*Osteochillus melanopleurus*) di Muara Sungai Martapura. *Di: Prosiding Seminar Nasional Tahun*, 84–92.
- Ameur, W. Ben, de Lapuente, J., El Megdiche, Y., Barhoumi, B., Trabelsi, S., Camps, L., Serret, J., Ramos-López, D., Gonzalez-Linares, J., & Driss, M. R. (2012). Oxidative stress, genotoxicity and histopathology biomarker responses in mullet (*Mugil cephalus*) and sea bass (*Dicentrarchus*

- labrax) liver from Bizerte Lagoon (Tunisia). *Marine Pollution Bulletin*, 64(2), 241–251.
- Atifah, Y., Arianti, R. P., Vauzia, V., & Satria, R. (2024). Analysis of Tambau Water Pollution Levels Through Histopathology of Nilem Fish (*Osteochilus vittatus*). *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 26(1), 29–34.
- Awwalia, N., & Dindin, U. (2025). Studi Pengaruh Kualitas Air Hujan terhadap Kelangsungan Hidup (Survival Rate) Benih Ikan Komet (*Carassius auratus*). *Zebra: Jurnal Ilmu Peternakan Dan Ilmu Hewani*, 3(2), 1–16.
- 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.
- Dahruji, D., Wilianarti, P. F., & Hendarto, T. T. (2017). Studi pengolahan limbah usaha mandiri rumah tangga dan dampak bagi kesehatan di wilayah Kenjeran, Surabaya. *Aksiologi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 36–44.
- Erwanto, Z., Iranata, D., Maulana, M. A., Sasmita, G. E., Handoko, S., Habibi, H. J., & Hasyim, N. C. (2024). Pengembangan Alat Ukur Hidrometri Berbasis 5 Jenis Sensor Untuk Deteksi Konsentrasi Sedimen Dalam Upaya Mitigasi Bencana Banjir Sungai Bomo. *J. Teknol. Terpadu*, 12(1).
- 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.
- Graharti, R., Ruslani, N. O., & Susianti, S. (2023). Effects of *Syzygium myrtifolium* Walp Leaf Ethanol Extract Administration Against the Liver Sinusoid Appearance of Sprague-Dawley Strain Male White Rats. *Medula (Medical Profession Journal of Lampung)*, 13(2), 194–197.
- 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.
- Indrawati, E., Musada, Z., Tantu, A. G., & Renal, R. (2022). Status Pencemaran Logam Berat Timbal dan Kadmium di Sungai Tallo Menggunakan Bioindikator Ikan Nila *Oreochromis niloticus*. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 22(2), 348–361.
- Indriani, Y., Mose, N. I., Manganang, Y. A. P., Ulaan, M., & Jeti, T. (2025). Morphometric Study of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Grow-Out Ponds at the Freshwater Aquaculture Center (PBIAT) Polnustar. *Jurnal Biologi Tropis*
- Irene, C., Eddiwan, E., & Windarti, W. (2021). Study of Gill, Kidney, and Liver Structure of *Pangasius hypophthalmus* in the Tanjung Kudu Lake and Sail Rivers, Riau Province. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 4(2), 134–143.
- 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 Airnona, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. *Journal Galung Tropika*, 12(3), 282–294.
- Kadim, M. K., & Pasingi, N. (2024). Kondisi habitat fisik dan keanekaragaman makroinvertebrata sebagai indikator pencemaran di sungai Bone Gorontalo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(3), 301–310.
- 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.
- Lekatompessy, A. A., Pattipeiluhu, S. M., & Pattiasina, B. J. (2021). Histopatologi dan Ekspresi TNF- $\alpha$  (Tumor Necrosis Factor- $\alpha$ ) Terhadap Kerusakan Hati akibat Invasi Parasit pada Ikan Kembung (*Rastrelliger brachysoma*). *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 5(4), 447–452.
- Lusiyana, A. A. A., & Herda, D. (2021). Pengaruh Aktivitas Manusia terhadap Beban Pencemaran Sub DAS Sungai Rengas, Kalimantan Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 9(2), 90–100.
- Mandia, S., Marusin, N., & Santoso, P. (2013). Analisis histologis ginjal ikan Asang (*Osteochilus*

- hasseltii*) di danau Maninjau dan Singkarak, Sumatera Barat. *Jurnal Biologi UNAND*, 2(3).
- 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.
- Mumtazah, D. F., Busman, H., Kanedi, M., & Pratami, G. (2021). A modified high-fat diet and its effect on histopathological features of mice liver as an alternative diet for animal model of liver cell damage. *Biogenesis*, 9(2).
- Nasution, F. D., & Afdal, A. (2016). Profil Pencemaran Air Sungai di Muara Batang Arau Kota Padang dari Tinjauan Fisis dan Kimia. *Jurnal Fisika Unand*, 5(1), 1–6.
- Nur, M., & Fitriah, R. (2021). Analisis Kesesuaian Kualitas Air Sungai Dalam Mendukung Kegiatan Budidaya Perikanan Di Desa Batetangnga , Kecamatan Binuang , Provinsi Sulawesi Barat Feasibility Study on Water Quality for Aquaculture Purposes in Batetangnga Rivers , Binuang District , West Sulawesi *SIGANUS : Journal of Fisheries and Marine Science Vol 3 . No . 1 ( 2021 )*. 3(1).
- Nuraeni, A., Samosir, A., & Sulistiono, S. (2021). Logam Berat Timbal (Pb) Pada Hati Ikan Patin (*Pangasius djambal*) di Waduk Saguling, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 12(2), 113–123.
- Ofiyen, C., & Puryanti, D. (2022). Penentuan Kualitas Air Muara Sungai Batang Arau Melalui Pengujian Total Dissolved Solid (TDS), Total Suspended Solid (TSS), dan Kandungan Logam Berat. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 278–284.
- Pane, E. P., Arfiati, D., & Apriliyanti, F. J. (2023). Respon Fisiologis Ikan Terhadap Lingkungan Hidupnya. *Jurnal Aquatik*, 6(2), 71–83.
- Peebua, P., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Kosiyachinda, P. (2006). Histological effects of contaminated sediments in Mae Klong River Tributaries, Thailand, on Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Science Asia*, 32, 143–150.
- Putri, W. A. E. (2017). Kualitas Air Muara Sungai Batang Arau (Muara Padang) Sumatera Barat. *Jurnal Penelitian Sains*, 11(2).
- Qulub, S. (2025). Persepsi Masyarakat DAS Kanal Mangetan Terhadap Perubahan Sungai Akibat Keberadaan PT. Tjiwi Kimia. *Environmental Pollution Journal*, 157–171.
- Rahayu, L., Kamal, E., Frinaldi, A., Razak, A., & Prarikeslan, W. (2024). Analysis of the Impact of Batang Arau River Pollution on Communities and the Environment Around the River. *Jurnal Kesehatan Cendikia Jenius*, 2(1), 87–93.
- Riani, E. (2010). Kontaminasi merkuri (Hg) dalam organ tubuh ikan petek (*Leiognathus equulus*) di Perairan Ancol, Teluk Jakarta. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 11(2), 313–322.
- Ringgi, T. N., Sitompul, Y. Y., Amalo, F. A., & Winarso, A. (2023). Gambaran Patologi Anatomi dan Histopatologi Organ Visceral Kambing Kacang (*Capra aegagrus hircus*) Yang Terinfeksi Sistiserkus. *Jurnal Veteriner Nusantara*, 6(2), 293–305.
- Salfia, A. S. K., & Prarikeslan, W. (2025). ANALISIS KUALITAS AIR DAN ESTIMASI POTENSI BEBAN PENCEMARAN PADA SUNGAI BATANG ARAU, KOTA PADANG. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(03), 221–234.
- Saputra, H. M., Marusin, N., & Santoso, P. (2013). Struktur histologis insang dan kadar hemoglobin ikan Asang (*Osteochilus hasseltii* CV) di danau Singkarak dan Maninjau, Sumatera Barat. *Jurnal Biologi UNAND*, 2(2).
- Shah, Z. U., & Parveen, S. (2022). Oxidative, biochemical and histopathological alterations in fishes from pesticide contaminated river Ganga, India. *Scientific Reports*, 12(1), 3628.
- Sianturi, I. T., Kamiasi, Y., Panuntun, M. F., & Oktovianto, H. A. (2022). HISTOPATOLOGI ORGAN INSANG DAN HATI BENIH IKAN MAS (*CYPRINUS CARPIO*) HASIL PEMBENIHAN PEMBUDIDAYA DI BATUPLAT, KOTA KUPANG, NUSA TENGGARA TIMUR. *Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian*, 5(1).
- Soegianto, A. (2023). *Dampak Logam Berat terhadap Biologi Ikan*. Penerbit NEM.
- Sugiantari, I. A. P., Sukmaningsih, A. A. S. A., & Wijana, I. M. S. (2022a). Kajian Struktur Histologi Hati, Insang dan Lambung Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Danau Batur, Bangli. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 7(1), 51–59.
- Sugiantari, I. A. P., Sukmaningsih, A., & Wijana, I. M. S. (2022b). Kajian struktur histologi hati, insang dan lambung ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di danau Batur, Bangli. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 7(1), 51–59.

- Syam, S. S. (2024). IMPACT OF SEDIMENTATION ON MACROZOOBENTHOS IN BALIKPAPAN BAY. *Fish Scientiae*, 14(2), 126–133.
- 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).
- Wang, J., Zhu, C., Wang, M., Li, L., Lin, R., Han, D., Zhu, X., & Zhang, L. (2025). Effects of hypoxic stress on liver metabolism, oxidative stress, and immunity in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) at different water temperatures. *Aquaculture*, 598, 742088.
- Wicaksono, H. S., Narayani, I., & Setyawati, I. (2015). STRUKTUR HATI MENCIT (*Mus musculus* L.) SETELAH PEMBERIAN EKSTRAK DAUN KALIANDRA MERAH (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) STRUCTURE OF MICE LIVER AFTER GIVING RED CALLIANDRA LEAF EXTRACT. *Available*, 1, 258.
- Wolf, J. C., & Wheeler, J. R. (2018). A critical review of histopathological findings associated with endocrine and non-endocrine hepatic toxicity in fish models. *Aquatic Toxicology*, 197, 60–78.
- Zilfa, Z., Suhada, W. P., & Zein, R. (2023). Penggunaan ZnO/Zeolit dalam Degradasi Fenol Secara Fotolisis dan Aplikasinya Pada Limbah Karet. *Jurnal Kimia Unand*, 12(2), 19–26.
- Zulhidafina, F. F., & Hidayati, S. (2025). Analisis Profil Glukosa Darah Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Pada Suhu Yang Berbeda Di Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 4(2), 97–106.