

Gambaran Histopatologi Insang Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscogutattus*) sebagai Bioindikator Perairan Teluk Kupang, NTT

Aisyah Lukmini^{1*}, Shobikhuliatul Jannah Juanda¹, Sri Rahayu Nuban¹, Muhammad Fajar Panuntun¹

¹ Program Studi Teknologi Budidaya Perikanan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Jalan Prof. Dr. Herman Yohanis Lasiana Kotak Pos 1152 Kupang 85011, * Email Korespondensi : aisyahlukmini46@gmail.com.

Abstrak. Pencemaran di perairan Teluk Kupang akibat aktivitas antropogenik menimbulkan dampak negatif bagi kehidupan organisme akuatik di dalamnya. Tetapi sampai saat ini informasi mengenai dampak dari pencemaran tersebut terhadap organisme akuatik masih belum banyak dilaporkan. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2023 di perairan Teluk Kupang. Tujuannya untuk mengetahui pengaruh polutan yang ada di Teluk Kupang terhadap respon fisiologis ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscogutattus*) yang ditunjukkan melalui gambaran histopatologi organ insang. Sebanyak 40 ekor sampel ikan kerapu macan digunakan dalam penelitian ini. Preparasi histologi dimulai dengan membedah ikan dengan menggunakan *dissecting set* dan mengambil organ insang. Insang yang diambil kemudian dimasukkan ke dalam wadah sampel yang berisi larutan formalin 10% dan kemudian dilakukan pembuatan preparat histologinya. Pembuatan preparat histologi dilakukan di RS. Siloam Kota Kupang. Preparasi histopatologi tersebut meliputi *Fiksasi, Dehidrasi, Clearing, Infiltrasi, Embedding, Sectioning*, peletakan pada *object glass, Affixing, Deparafinisasi, Staining, Mounting* dan *Labelling*. Pewarnaan spesimen menggunakan pewarnaan HE. Analisis histopatologi dilakukan dengan cara mengamati gambaran histopatologi organ insang secara mikroskopik. Analisis histopatologi dilakukan dengan cara mengamati gambaran histopatologi organ secara mikroskopik pada perbesaran 150-400x. Hasil penelitian menunjukkan adanya kerusakan pada jaringan insang berupa hiperplasia lamela sekunder, proliferasi sel mukus, fusi lamela sekunder, kongesti, telangiektasis, dan nekrosis.

Kata kunci : Ikan Kerapu Macan, Histopatologi, Teluk Kupang

Pendahuluan

Polutan antropogenik memberikan dampak paling besar pada perairan dan ekosistem pesisir di Indonesia. Menurut Vatria (2010), aktivitas industri, domestik, dan pertanian merupakan tiga kategori aktivitas utama yang berkontribusi terhadap pencemaran pesisir. Kegiatan antropogenik tersebut menghasilkan kontaminan berupa pestisida, mikropastik, dan logam berat (Farag *et al.*, 2021; Munno *et al.*, 2023; Taslima *et al.*, 2022). Toksisitas subletal dari ketiga bahan tersebut terhadap biota akuatik sudah banyak dilaporkan. Paparan pestisida dapat menurunkan tingkat kelangsungan hidup dan laju pertumbuhan ikan, menimbulkan stres oksidatif, gangguan endokrin, dan menyebabkan abnormalitas behavior ikan (Rachmi, 2020; Singh, 2021; Abd El-Gawad *et al.*, 2012; Leite *et al.*, 2023). Akumulasi mikropastik di dalam tubuh ikan dapat menyebabkan kematian sel, stres oksidatif, dan genotoksitas (Khan *et al.*, 2023). Malformasi pada organ reproduksi merupakan salah satu dampak dari toksistas logam berat pada ikan (Taslima *et al.*, 2022).

Pencemaran di perairan Teluk Kupang akibat aktivitas antropogenik sudah pernah dilaporkan. Menurut Megarini *et al.* (2015), perairan Teluk Kupang yang menghadap hotel menunjukkan tingkat kekeruhan, minyak, dan lemak yang lebih tinggi dari nilai yang dapat diterima di sejumlah lokasi pengambilan sampel air laut. Berdasarkan penelitian Nalle *et al.* (2020), kualitas air Teluk Kupang termasuk dalam kisaran terkontaminasi ringan hingga sedang. Penelitian mengenai dampak negatif dari pencemaran di Teluk Kupang sudah beberapa kali diteliti. Kerusakan ekosistem terumbu karang di Teluk Kupang telah mencapai 30,6% (Foenay *et al.*, 2011). Nilai indeks keanekaragaman fitoplankton di perairan Teluk Kupang tergolong sedang, yang menunjukkan bahwa perairan Teluk Kupang mengalami gangguan pada ekosistemnya akibat banyaknya polutan (Priyambodo *et al.*, 2024).

Ikan adalah salah satu bioindikator yang dapat menunjukkan dampak dari aktivitas antropogenik di pesisir (Purwanto *et al.*, 2020). Taufik (2011) menemukan bahwa konsentrasi residu pestisida paling tinggi terdapat pada ikan. Polutan di perairan masuk ke dalam tubuh ikan melalui beberapa cara yaitu melalui rantai makanan dan difusi pasif (Rahmadani dan Damai, 2023). Setelah terabsorpsi, polutan akan mengalami bioakumulasi dalam jaringan tubuh ikan. Selanjutnya untuk mengetahui dampak kontaminasi dari polutan tersebut pada jaringan tubuh

ikan, umumnya dilakukan dengan analisis histopatologi. Analisis histopatologi pada ikan dilakukan dengan mengamati perubahan pada jaringan organ seperti insang, ginjal, usus, dan hati yang dapat menunjukkan adanya infeksi atau kerusakan akibat patogen atau kontaminan. Perubahan histopatologis ikan dapat memberikan informasi mengenai kondisi ekosistem perairan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengamati kerusakan pada jaringan organ ikan yang terpapar oleh polutan. Terjadi kerusakan pada insang, hati dan ginjal yaitu hiperplasia, hemoragi dan nekrosis ikan mas yang dipaparkan moluskisida niklosamida pada konsentrasi 0,01 mg.L⁻¹ (Supriyono *et al.*, 2013). Hasil analisa histopatologi menunjukkan adanya hiperplasia dan fusi lamela pada jaringan insang ikan betok akibat paparan logam berat kromium (Prasetyo *et al.*, 2022). Paparan mikroplastik polistirena dengan dosis 2,5 % selama 90 hari meningkatkan abnormalitas dan abrasi pada usus halus (Rashid *et al.*, 2024).

Pada ekosistem terumbu karang, ikan kerapu berperan sebagai predator dalam rantai makanan (Marlinda *et al.*, 2023). Sehingga ikan ini rentan mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi. Logam berat yang belum tereliminasi selanjutnya akan terakumulasi pada organisme predator (Septya *et al.*, 2024). Bioakumulasi merupakan penumpukan yang terjadi secara terus menerus didalam organ tubuh biota dari lingkungannya (Haryanti dan Nana, 2020). Proses dimana bahan kimia dari lingkungan masuk ke dalam tubuh organisme melalui rantai makanan dan akhirnya meningkatkan konsentrasinya pada makhluk hidup dikenal sebagai biomagnifikasi. Semakin tinggi kedudukan makhluk hidup dalam rantai makanan maka akan semakin berpotensi untuk terkontaminasi dan mengakumulasi polutan dalam tubuh termasuk manusia yang menempati posisi puncak dalam rantai makanan. Menurut Triadayani *et al.* (2009), efek toksik timbal menyebabkan kerusakan jaringan hati ikan kerapu bebek (*Cromileptes altivelis*) berupa degenerasi lemak, degenerasi hidrofik, perdarahan, kongesti, dan nekrosis hepatitis. Ketika ikan yang terkontaminasi logam berat dikonsumsi oleh manusia maka efek toksiknya berpindah dan mengakibatkan gangguan kesehatan (Paundanan *et al.*, 2015). Menurut Wulandari *et al.* (2021), paparan logam berat dapat menimbulkan dampak berbahaya bagi tubuh, seperti kanker, gagal ginjal, gangguan pernafasan, dan masalah pada kulit.

Ikan kerapu sangat di sukai di Indonesia karena rasanya yang enak (Rumondang *et al.*, 2022). Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) mencatat angka konsumsi ikan di NTT hingga Oktober 2023 mencapai 53,06 kilogram per kapita (KKP, 2023). Sampai saat ini, penelitian mengenai dampak dari polutan di Teluk Kupang terhadap kerusakan jaringan di insang masing sangat terbatas. Ditemukan kerusakan jaringan ginjal dan insang pada ikan kakatua (*Scarrus ghobban*) dan kerusakan jaringan insang dan usus pada ikan kerapu bebek (*Cromileptes altivelis*) yang diambil dari perairan Teluk Kupang (Juanda *et al.*, 2023; Juanda *et al.*, 2024). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh polutan yang ada di Teluk Kupang terhadap respon fisiologis ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) berdasarkan analisis histopatologi organ insang. Informasi yang diperoleh bisa menjadi gambaran bagi masyarakat khususnya yang tinggal di sekitar perairan Teluk Kupang tentang efek dari polutan yang dihasilkan melalui aktivitas antropogenik terhadap kehidupan biota akuatik.

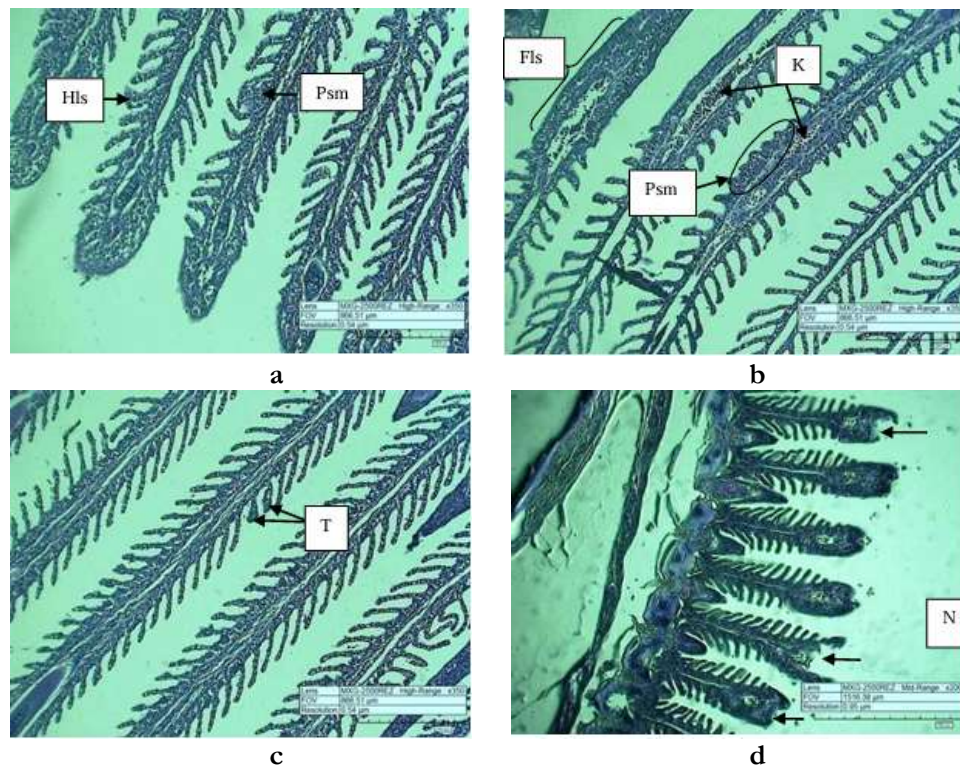
Bahan dan Metode

Pengambilan sampel ikan dilakukan selama bulan Juli 2023 di perairan Teluk Kupang. Sampel ikan yang digunakan adalah ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) sebanyak 40 ekor. Preparasi histologi dimulai dengan membedah ikan dengan menggunakan *dissecting set* dan mengambil organ insang. Insang yang diambil kemudian dimasukkan ke dalam wadah sampel yang berisi larutan formalin 10% dan kemudian dilakukan pembuatan preparat histologinya. Pembuatan preparat histologi dilakukan di RS. Siloam Kota Kupang. Preparasi histopatologi tersebut meliputi *Fiksasi*, *Dehidrasi*, *Clearing*, *Infiltrasi*, *Embedding*, *Sectioning*, peletakan pada *object glass*, *Affixing*, *Deparafinisasi*, *Staining*, *Mounting* dan *Labelling*. Pewarnaan spesimen menggunakan pewarnaan HE. Analisis histopatologi dilakukan dengan cara mengamati gambaran histopatologi organ insang secara mikroskopik pada perbesaran 150-400x. Selanjutnya dilakukan perbandingan struktur histopatologi masing-masing organ dengan gambaran histopatologi yang didapatkan dari referensi jurnal yang relevan. Perbandingan tersebut mencakup struktur jaringan mikroskopik dari organ serta kerusakannya. Hasil yang diperoleh kemudian dibahas secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk gambar.

Hasil dan Pembahasan

Insang merupakan organ pertama yang terpapar zat toksik yang ada di perairan karena kontak langsung dengan air selama proses respirasi (Lestari *et al.*, 2018). Insang memiliki lapisan epitel yang tipis dan berhubungan langsung dengan lingkungan luar sehingga berpeluang besar terpapar oleh bahan pencemar yang ada di perairan (Saputra *et al.*, 2013). Sel epitel insang ikan berfungsi sebagai tempat terjadinya akumulasi beberapa logam berat, khususnya logam kelas B, yang memiliki daya toksisitas tinggi. Logam-logam ini, seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), dan kadmium (Cd), dapat terikat dalam sel epitel insang dan mempengaruhi kesehatan ikan. Tembaga (Cu)

merupakan logam berat kelas B yang reaktif terhadap ligan sulfur dan nitrogen yang dapat berikatan dengan metaloenzim dan terikat dalam sel epitel insang (Pratiwi *et al.*, 2019). Toksisitas logam – logam berat yang melukai insang dan struktur jaringan luar lainnya, dapat menimbulkan degradasi sel atau kerusakan jaringan dan akhirnya menyebabkan kematian ikan akibat terganggunya proses anoxemia, yaitu terhambatnya fungsi pernapasan yakni sirkulasi dan ekskresi gas-gas penting seperti oksigen dan karbondioksida (Lukas, 2010).



Gambar 1. Histopatologi Organ Insang kerapu macan perbesaran 150-400x. Keterangan: **Hls**: Hiperplasia lamela sekunder; **Psm**: Proliferasi sel mukus; **Fls**: Fusi lamela sekunder; **K**: Kongesti; **T**: Telangiektasis; **N**: nekrosis

Pemeriksaan histopatologi organ insang ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) menunjukkan sejumlah kerusakan diantaranya hiperplasia lamela sekunder, proliferasi sel mukus, fusi lamela sekunder, kongesti, telangiektasis, dan nekrosis. Kondisi membengkaknya jaringan karena jumlah sel yang terus bertambah dikenal dengan hiperplasia. Salah satu penyebab terjadinya hiperplasia pada insang adalah masuknya logam berat atau bentuk pencemaran lingkungan yang lain (Prasetyo *et al.*, 2022). Hiperplasia yang ditemukan pada penelitian ini adalah hiperplasia pada lamela sekunder. Hiperplasia lamela sekunder merupakan reaksi fisiologis yang mendorong proliferasi sel epitel insang secara cepat untuk melindungi jaringan dari bahan kimia berbahaya. Hal ini diduga merupakan akibat dari kontaminasi logam berat yang ada di perairan Teluk Kupang. Kadang (2005) menemukan adanya kandungan Cu, Pb, dan Cd, pada air laut, sedimen, insang, hepatopankreas, dan daging dari *Anadara granosa* yang dikumpulkan dari perairan Teluk Kupang. Dimana konsentrasi dari logam berat Pb tidak memenuhi baku mutu. Kania *et al.* (2020) melaporkan adanya kerusakan jaringan insang berupa hiperplasia berat dengan skor 3,60 pada sampel ikan nila yang diambil dari sungai Wangi di Jawa Barat. Sungai ini terdeteksi mengandung merkuri, kadmium, dan timbal. Pada konsentrasi yang tinggi, logam berat dapat terdistribusi dan terakumulasi di insang, hati, otot, dan saluran pencernaan sebagai jaringan metabolisme aktif (Purwanto *et al.*, 2020).

Proliferasi sel mukus adalah respon lanjutan dari hiperplasia, dimana terjadi peningkatan jumlah sel penghasil mukus yang berfungsi melindungi jaringan dari iritasi dan infeksi. Sel - sel mukus pada lamella primer membentuk lapisan mukus yang melindungi insang dari abrasi dan agar lamella-lamellanya tidak saling menempel (Zayda dan Retnoaji, 2021). Akan tetapi meningkatnya mukus pada lamella akan menyebabkan difusi oksigen terganggu sehingga mengakibatkan ikan mengalami hipoksia (kekurangan oksigen dalam jaringan). Pada tahap kronis, proliferasi sel lamela sekunder menyebabkan hampir semua lamelanya menyatu (fusi). Fusi lamela

sekunder merupakan kondisi dimana terjadi penyatuan atau penggabungan lamela sekunder sehingga mengurangi jumlah atau luas permukaan insang yang tersedia untuk proses pertukaran gas. Proliferasi sel mukus selanjutnya dapat menyebabkan fusi lamella sekunder pada jaringan insang akibat meleburnya dua atau lebih jaringan epitelium lamella sekunder (Juanda dan Edo, 2018). Proliferasi sel mukus yang ditemukan dalam penelitian ini diduga akibat paparan logam berat yang ada di perairan Teluk Kupang, salah satunya adalah Pb. Timbal (Pb) berdifusi ke dalam tubuh ikan melalui insang. Hal ini menimbulkan respon peradangan pada insang dengan cara menghasilkan banyak mukus (Lestari *et.al.*, 2018). Bereaksinya logam berat Pb dengan lendir insang menyebabkan insang diselimuti lendir yang mengandung Pb, sehingga akhirnya dapat mengganggu proses pernafasan dan metabolisme tubuh (Sahetapy, 2011). Terganggunya proses pernafasan akan menyebabkan laju konsumsi oksigen menurun. Laju konsumsi oksigen dapat menurun hingga 0,34 mg O₂/gr berat tubuh/jam akibat paparan timbal (Sahetapy, 2011).

Kongesti atau disebut juga dengan hiperemi adalah meningkatnya volume darah dalam pembuluh darah sehingga kapiler darah membengkak. Kuantitas eritrosit pada pembuluh darah secara histopatologi mencirikan kongesti pada insang (Pazra, 2008). Secara umum, ada dua cara terjadinya kongesti : (1) kongesti aktif, yaitu ketika aliran darah ke jaringan atau organ meningkat, dan (2) kongesti pasif, yaitu ketika aliran darah ke jaringan atau organ menurun. Paparan zat – zat kimia merupakan salah satu penyebab terjadinya kongesti pada insang (Jamin dan Erlangga, 2016). Yolanda *et.al.* (2017) melaporkan adanya kerusakan insang berupa kongesti dan fusi lamela yang akut pada ikan nila yang dipapar dengan timbal (Pb) sebesar 25,06 mg/l. Ditemukan kerusakan insang berupa fusi lamela sekunder dan kongesti lamela pada ikan *Siganus rivulatus* yang diambil dari Benghazi Sea Port yang tercemar logam berat timbal dan kadmium Jenjan *et al.* (2023).

Telangiectasis terjadi akibat adanya penyumbatan lamela sekunder yang kemudian menyebabkan lamela sekunder membesar sehingga terlihat seperti gelembung balon (Nisa *et al.*, 2021). Telangiectasis merupakan respon lanjutan dari kongesti (Juanda *et.al.*, 2023). Kongesti adalah kondisi di mana terjadi penumpukan darah dalam pembuluh darah akibat gangguan sirkulasi. Hal ini sering kali disebabkan oleh peningkatan volume darah di kapiler, yang dapat terjadi akibat pembengkakan jaringan atau penyempitan bagian lain dari jaringan tersebut. Ketika tekanan dalam pembuluh darah meningkat, ini dapat menyebabkan pembuluh darah kecil di dekat permukaan kulit atau selaput lendir melebar atau bahkan pecah, yang dikenal sebagai telangiectasis. Ikan yang hidup di lingkungan yang tercemar polutan kimia rentan mengalami telangiectasis di insang (Sukardi, 2024). Telangiectasis yang ditemukan pada penelitian ini diduga akibat paparan logam berat. Kadang (2005) menemukan adanya kandungan Cu, Pb, dan Cd pada insang *Anadara granosa* yang dikumpulkan dari Teluk Kupang. Penelitian oleh Chaudhary *et al.* (2023) menemukan bahwa ikan mas (*Labeo rohita*) yang terpapar kromium klorida mengalami kerusakan insang berupa telangiectasis. Paparan logam berat dapat menyebabkan degradasi sel hingga kerusakan jaringan insang (Sudrajat *et al.*, 2020).

Kongesti yang berkepanjangan dapat mengakibatkan nekrosis, yaitu kematian sel akibat kekurangan oksigen dan nutrisi. Ketika aliran darah terhambat, sel-sel di area tersebut tidak mendapatkan cukup oksigen, yang menyebabkan sel mengalami degenerasi dan akhirnya mati. Salah satu penyebab terjadinya nekrosis pada insang adalah paparan logam berat. Ditemukan kerusakan berupa degenerasi dan nekrosis lamela pada insang ikan *Labeo rohita* yang diambil dari sungai Ravi yang sudah dikonfirmasi tercemar oleh logam berat Pb dan Cu (Sultana *et al.* 2016). Nekrosis juga ditemukan pada insang ikan nila yang dipapar dengan timbal sebesar 16,06 ppm (Musada *et al.*, 2022). Robbins dan Kumar (1995) dalam Setyawan *et al.* (2013) menyatakan bahwa kerusakan insang yang diawali dari edema hingga nekrosis merupakan suatu bentuk adaptasi sel terhadap pengaruh zat – zat toksik, termasuk logam berat. Menurut Palar (1994), masuknya zat-zat kimia berbahaya terjadi melalui pembentukan ion-ion logam yang larut dalam lemak. Karena dapat larut dalam lemak, ion-ion logam dapat melewati membran sel dan menumpuk (terakumulasi) di dalam sel dan organ-organ lainnya.

Kesimpulan

Pencemaran di Teluk Kupang telah dikonfirmasi melalui beberapa penelitian. Efek dari pencemaran tersebut bisa diketahui salah satunya dari hasil analisis histopatologi organisme akuatik yang hidup didalamnya. Berdasarkan hasil analisis histopatologi pada organ insang dari ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) yang diambil dari perairan Teluk Kupang, ditemukan kerusakan berupa hiperplasia lamela sekunder, proliferasi sel mukus, fusi lamela sekunder, kongesti, telangiectasis, dan nekrosis.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Pertanian Negeri Kupang yang telah mendanai penelitian ini melalui Pendanaan Penelitian Terapan Stimulus (PTS) PNPB Tahun Anggaran 2023 dengan nomor kontrak 02/P3M/SP DIPA- 023.18.2.677616/2023.

Daftar Pustaka

- Abd El-Gawad Eman, A., Abbass, A.A., dan Shaheen, A.A. 2012. Risks induced by pesticides on fish reproduction. *The Global Journal of Fisheries and Aqua*, Vol. No. 5 : 329-338.
https://fvtm.stafpu.bu.edu.eg/Fish%20Diseases%20and%20mangement/1015/publications/Amany%20Abdel%20Rahman%20Abbass%20Mohammed%20Awadalla_RISKS%20INDUCED%20BY%20PESTICIDES%20ON%20FISH%20REPRODUCTION.pdf
- Chaudhary, A., Javaid, K.G., Bughio, E., Faisal, N. 2023. Study on histo-biochemical biomarkers of chromium induced toxicity in *Labeo rohita*. *Emerging Contaminants*, Vol. 9, Issue 1, March 2023, 100204.
<https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100204>
- Farag, M.R., Alagawany, M., Bilal, R.M., Gewida, A.G.A., Dhamaa, K., Abdel-Latif, H.M.R., Amer, M.S., Rivero-Perez, N., Zaragoza-Bastida, A., Binnaser, Y.S., Batiha, G.E., dan Naeil, M.A.E. 2021. An Overview on the Potential Hazards of Pyrethroid Insecticides in Fish, with Special Emphasis on Cypermethrin Toxicity. *Animals*, Vol. 11, No. 7, 1880. <https://doi.org/10.3390/ani11071880>
- Foenay, R.I., Mardani N.K., dan Wiryatno, D. 2011. Penilaian efektivitas pengelolaan taman wisata alam laut (TWAL) Teluk Kupang Nusa Tenggara Timur. *Ecotrophic*, Vol. 6, No. 2 : 133 – 138.
<https://ojs.unud.ac.id/index.php/ecotrophic/article/view/13364>
- Haryanti, E.T. dan Martuti, N.K.T. 2020. Analisis Cemarkan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Daging Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp.*) Di TPI Kluwut Brebes. *Life Science*, Vol. 9, No. 2.
<https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/UnnesJLifeSci/article/view/47158>
- Jamin dan Erlangga. 2016. Pengaruh Insektisida Golongan Organofosfat Terhadap Benih Ikan Nila Gift (*Oreochromis niloticus*, Bleeker): analisis histologi hati dan insang. *Acta Aquatica*, 3:2 (Oktober, 2016): 46-53.
<https://doi.org/10.29103/aa.v3i2.324>
- Jenjan, H.B.B., Efekrin, S.M., Alghamari, A.A., Eldurssi, I.S., Gheth, E.M.M., dan Elgabaroni, A.S. 2023. Histopathological Changes Induced by Heavy Metals (Lead and Cadmium) in *Siganus rivulatus* fish Collected from the Benghazi Sea Port. *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*, eISSN 2707-7179.
https://www.researchgate.net/publication/377808505_Histopathological_Changes_Induced_by_Heavy_Metals_Lead_and_Cadmium_in_Siganus_rivulatus_fish_Collected_from_the_Benghazi_Sea_Port
- Juanda, S.J. dan Edo, S.I., 2018. Histopatologi Insang, Hati dan Usus Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) di Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. *Sainstek Perikanan*, 14(1):23-29. <https://doi.org/10.14710/ijfst.14.1.23-29>
- Juanda, S.J., Lukmini, A., Rahman, I. S., Panuntun, M.F. 2023. Histopatologi Ginjal Dan Insang Ikan Kakatua (*Scarus Ghobban*) Yang Diambil Dari Perairan Teluk Kupang, NTT. *Prosiding Seminar Nasional Ke-6 Politeknik Pertanian Negeri Kupang. Inovasi dan Teknologi Pertanian Untuk Menwujudkan Sistem Pangan Berkelanjutan* : 392-401. Kupang, 7 Desember 2023 : Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat.
<https://ejurnal.politanikoe.ac.id/index.php/psnp/article/view/304>
- 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*, Vol 13, No. 1 : 137-150. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i1.41175>
- Kadang L. 2005. Analisis status pencemaran logam berat Pb, Cd dan Cu di perairan teluk kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. Tesis. Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSL). IPB. Bogor.
- Kania, M.H.P., Yuli, H.E., Umi, Z. 2020. Gill Histopathological Analysis Of Tilapia In Wangi River Waters. *RJOAS*, Vol. 10(106) : 115 -118. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2020-10.12>
- Khan, M. L., Hassan, H.U., Khan, F. U., Ghaffar, R. A., Rafiq, N., Bilal, M., Khooharo, A. R., Ullah, S., Jafari, H., Nadeem, K., Siddique, M. A. M., dan Arai, T. 2023. Effects of microplastics in freshwater fishes health and the implications for human health. *Brazilian Journal of Biology*, Vol. 84.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.272524>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2023. *Angka Konsumsi Ikan Provinsi Nusa Tenggara Timur Dalam Angka Tahun 2023*. Jakarta (ID) : KKP.
- Leite, T., Mameri, D., Branco, P., Vieira, I., Oliveira, M., dan Santos, J.M. 2023. Swimming under Pressure: The Sub-Lethal Effects of a Pesticide on the Behaviour of Native and Non-Native Cypriniformes Fish. *Fishes*, Vol. 8, 462. <https://doi.org/10.3390/fishes8090462>
- Lukas, A.Y.H. 2010. Toksisitas Logam Berat Cu pada berbagai pH Terhadap Konsumsi Oksigen dan Respon Hematologi Ikan Nila Gift (*Oreochromis sp.*). Tesis. Program Studi Ilmu Akuakultur. IPB. Bogor.

- Marlinda, M., Jamal, M., dan Asni, A. 2023. Inventarisasi Jenis Dan Ukuran Ikan Kerapu (Famili *Serranidae*) Yang Didaratkan Di TPI Pontap Palopo dan PPI Balambang Luwu. *Jurnal Pelagis*, Vol 1, No 1 : 34-40. <https://doi.org/10.3390/fishes8090462>
- Megarini, I., Suwari, S., Gimin, R. 2015. Model Prediksi Pengaruh Limbah Cair Hotel Terhadap Kualitas Air Laut Di Pesisir Teluk Kupang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, Vol. 22, No. 3 : 289-297. <https://doi.org/10.22146/jml.18753>
- Munno, K., Hoopes L., Lyons K., Drymon M., Frazier B., Rochman, C.M. 2023. High microplastic and anthropogenic particle contamination in the gastrointestinal tracts of tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) caught in the western North Atlantic Ocean. *Environmental Pollution*, Volume 344, 1 March 2024, 123185. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123185>
- Musada, Z., Indrwati, E., Mulyani, S. 2022. Gambaran Histologi Organ Insang Dan Hati Pada Berbagai Umur Ikan Nila *Oreochromis niloticus* Yang Dipapar Logam Timbal. *J. of Aquac. Environment*, Vol 5(1) 08-13. <https://doi.org/10.35965/jae.v5i1.1952>
- Nalle, T., Santoso, P., dan Suwari. 2020. Kajian Kualitas Air Terhadap Populasi Makroalga Di Pesisir Teluk Kupang Nusa Tenggara Timur. *JVIP*, Vol. 1, No. 1 : 23 - 34. <http://dx.doi.org/10.35726/jvip.v1i1.792>
- Nisa, M., Mahasri., G, Sulmartiwi, L. Gill and skin pathology of hybrid grouper (*E. fuscoguttatus* x *E. lanceolatus*) infested *Zeylanicobdella arugamensis* worms in different infestations degree. *Earth and Environmental Science*, 679 (2021) 012006. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/679/1/012006/pdf>
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Paundanan, M., Rianib, E., dan Anwar, S., 2015. Kontaminasi Logam Berat Merkuri (Hg) Dan Timbal (Pb) Pada Air, Sedimen Dan Ikan Selar Tetengkek (*Megalaspis cordyla* L) Di Teluk Palu, Sulawesi Tengah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Vol. 5, No. 2 : 161-168. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jpsl/article/view/10959>
- Pazra, D.F. 2008. Gambaran Histopatologi Insang, Otot Dan Usus Pada Ikan Lele (*Clarias* spp.) Asal Dari Daerah Bogor. Skripsi. Fakultas Kedokteran Hewan. IPB. Bogor.
- Prasetyo, Y.E., Abida, I.W., dan Laksani, M.R.T. 2022. Histopatologi Jaringan Insang Ikan Betok (*Anabas testudineus* Bloch, 1792) Akibat Paparan Logam Berat Kromium (Cr) Di Sungai Desa Geluran Kabupaten Sidoarjo. *Juvenil*, Vol. 3, No. 4 : 134-142. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v3i4.17615>
- Pratiwi, D.N., Nugroho A., dan Yustiati, A. 2019. Bioakumulasi Ion Tembaga Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L.) Di Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal), Bantul. *Jurnal Akuatika Indonesia*, Vol. 4 No. 2 : 57-64. <https://jurnal.unpad.ac.id/akuatika-indonesia/article/view/25260>
- Priyambodo, H.Y., Santiari, M., dan Wiguna, G.A. 2024. Keanekaragaman dan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Teluk Kupang Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Biologi Edukasi*, Vol. 16, No. 1 : 14-22. <https://jurnal.usk.ac.id/JBE/article/view/38246>
- Purwanto, A.I., Prihatmo, G., dan Pakpahan, S. 2020. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dan Ikan Bawal (*Colossoma macropomum*) di Sungai Winongo, Yogyakarta. *Sciscitatio*, Vol. 1, No. 2 : 70-78. <https://doi.org/10.21460/sciscitatio.2020.12.31>
- Rachmi, Z. 2020. Efek toksisitas deterjen dan pestisida terhadap pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Agricultural and Tropical Animals Sciences*, Vol. 1, No. 1 : 28-34. <https://uniki.ac.id/jurnal/index.php/fanik/article/view/55/66>
- Rahmadani, T.B.C. dan Diniariwisan, D. 2023. Pencemaran Logam Berat Jenis Kadmium (Cd) Di Perairan Dan Dampak Terhadap Ikan (Review). *Jurnal Ganec Suara*, Vol. 17, No.2 : 440-445. <https://doi.org/10.35327/gara.v17i2.440>
- Rashid, E., Hussain, S.M., Sarker, P.K., Ali, S., dan Paray B.A. 2024. Assessment of polystyrene microplastics as dietary additives in aquaculture species, *Catla catla*: Alters growth, feed utilization, nutritional composition, hematology and gut histopathology. *Aquaculture Reports*, Vol. 36. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102100>
- Rumondang, dkk. 2022. *Budidaya Ikan Kerapu*. Yogyakarta : Deepublish.
- Sahetapy, J.M.F. 2011. Toksisitas Logam Berat Timbal (Pb) Dan Pengaruhnya Pada Konsumsi Oksigen Dan Respon Hematologi Juvenil Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*). Tesis. Program Studi Ilmu Akuakultur. IPB. Bogor.
- Sahetapy, J.M.F. 2011. Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap Konsumsi Oksigen Juvenil Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*). *Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, Volume 7, Nomor 2, Oktober 2011: hal. 42-48. https://ejournal.unpatti.ac.id/ppr_iteminfo_lnk.php?id=1162

- Saputra, H.M., Marusin, N., dan Santoso, P. 2013. Struktur Histologis Insang dan Kadar Hemoglobin Ikan Asang (*Osteochilus hasselti* C.V) di Danau Singkarak dan Maninjau, Sumatera Barat. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 2(2) – Juni 2013 : 138-144. <http://jbioua.fmipa.unand.ac.id/index.php/jbioua/article/view/51/48>
- Septya, L.dan Pauzi, R.Y. 2024. Potensi dan Ancaman Kesehatan Masyarakat Kalimantan dari Bioakumulasi Logam Berat pada Ikan Sungai. Review. *Journal of Biotropical Research and Nature Technology*, Vol. 2, Issue 2. <https://e-journal.upr.ac.id/index.php/borneo/article/view/12763>
- Singh, S. 2021. Effects of pesticides and metals on the oxidative stress of fish—a need for Consideration. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, Vol. 8, No. 8 : 155-160. DOI: <http://dx.doi.org/10.22192/ijarbs.2021.08.08.019>
- Setyawan, N., Kariada, N., Peniati, E. 2013. Mikro Anatomi Insang Ikan Sebagai Indikator Pencemaran Logam Berat Di Perairan Kaligarang Semarang. *Unnes Journal of Life Science*, 2 (1) (2013). <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/UnnesJLifeSci/article/view/2844>
- Sudrajat, Astuti, D., dan Mustakim, M. 2020. Analisis Histopatologis Insang Dan Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Fe Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Yang Dibudidayakan Di Kolam Bekas Tambang Kota Samarinda. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, Volume 7, Nomor 1 : 36-42. <https://dli.ejournal.unri.ac.id/index.php/DLI/article/view/7483>
- Sultana, T., Butt, K., Sultana, S., Al-Ghanim, K., Mubashra, R., Bashir, N., Ahmed, Z., Ashraf, A. and Mahboob, S., 2016. Histopathological changes in liver, gills and intestine of *Labeo rohita* inhabiting industrial waste contaminated water of river Ravi. *Pakistan J. Zool.*, 48: 1171-1177. https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/histopathological_changes_in_liver_gills_and_intestine1171-1177_36_qpjz-0429-2015_0.pdf
- Supriyono, E., Yosmaniar, Nirmala, K. dan Sukenda. 2013. Toksisitas moluskisida niklosamida terhadap pertumbuhan dan kondisi histopatologi juwana ikan mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Iktiologi Indonesia*, Vol.13. No.1 : 77-84. <https://doi.org/10.32491/jii.v13i1.113>
- Taufik, I. 2011. Pencemaran Pestisida Pada Perairan Perikanan Di Sukabumi-Jawa Barat. *Media Akuakultur*, Vol. 6, No.1 : 69-75. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/ma/article/view/556/0>
- Taslima, K., Al-Emran, Md., Rahman, M.S., Hasan, J., Ferdous, Z., Rohani, Md. Fazle., dan Shahjahan, Md. 2022. Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. *Toxicology Reports*, Vol. 9 : 858-868. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.013>
- Triadayani, A.E., Aryawati, R., dan Diansyah. G. 2010. Pengaruh Logam Timbal (Pb) Terhadap Jaringan Hati Ikan Kerapu Bebek (*Cromileptes altivelis*). *Maspari Journal*. 01(1): 42-47. <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/maspari/article/view/1078>
- Vatria. 2010. Berbagai Kegiatan Manusia Yang Dapat Menyebabkan Terjadinya Degradasi Ekosistem Pantai Serta Dampak Yang Ditimbulkannya. *Jurnal Belian*, Vol. 9 : 47-54. <http://repository.polnep.ac.id/xmlui/bitstream/handle/123456789/151/07-belvi.pdf?sequence=1>
- Wulandari, D.D, Izzatunnisaa, S., Herzhaputraa, D.D. dan Ayu Wuryaningruma. 2021. Literatur Review : Akumulasi Dan Toksisitas Logam Berat: Kadmium (Cd), Kromium (Cr) Dan Nikel (Ni). *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Vol.11, No.2 : 93-98. <https://ejurnal.poltekkes-manado.ac.id/index.php/jkl/article/view/1739>
- Zayzda M.Z dan Retnoaji B. 2021. Struktur Histologi Insang pada *Combtooth blennies* (Blenniidae) di Pantai Krakal, Gunung Kidul, Yogyakarta. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 23 (2) : 107-112. <https://doi.org/10.22146/jfs.65832>