

## Bioaccumulation of The Heavy Metal Lead (Pb) in Herbivorous and Carnivorous Fishes Within The Seagrass Ecosystem of Nusmapi Island

(Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Herbivora dan Karnivora pada Ekosistem Lamun di Pulau Nusmapi)

Luky Sembel<sup>1\*</sup>, Emmanuel Manangkalangi<sup>2</sup>, Abraham W. Manumpil<sup>2</sup>, Lutfi<sup>2</sup>, Selvi Tebaiy<sup>2</sup>, Jemmy Manan<sup>1</sup>, Paskalina T. Lefaan<sup>3</sup>, Anjeli S. Paisey<sup>2</sup>, Frida Loinenak<sup>1</sup>, Duaitd Kolibongso<sup>1</sup>

1. Marine Science Department Papua University
2. Fisheries Science Department Papua University
3. Biology Department Papua University

\* Corresponding author : [lukysembel76@gmail.com](mailto:lukysembel76@gmail.com)

### ABSTRACT

Nusmapi Island, located in Doreri Bay, Manokwari Regency, West Papua Province, is exposed to various anthropogenic activities that may introduce pollutants transported from the mainland. Fish are commonly used as bioindicators of aquatic pollution due to their ability to accumulate contaminants through food webs. This study was conducted on Nusmapi Island from June to August 2020 to examine differences in lead (Pb) concentrations among fish species and trophic groups. Fish samples represented two trophic groups: carnivores and herbivores that feed on algae and seagrass. Pb concentrations in fish muscle were analyzed using a Shimadzu AA-6880 atomic absorption spectrophotometer (AAS). The results showed that the average Pb concentration in the carnivorous group was 0.88 mg/kg, while the herbivorous group exhibited a higher average concentration of 1.13 mg/kg. The highest Pb concentration was recorded in *Siganus spinus* (1.34 mg/kg), whereas the lowest concentration was found in *Neoniphon sammara* (0.27 mg/kg). Elevated Pb levels in sediments and seagrass around Nusmapi Island may exert continuous environmental pressure on marine biota. As Pb concentrations in these environmental compartments exceed threshold levels, they may serve as major sources of contamination entering the food chain, increasing the toxicological risk for fish occupying higher trophic levels.

**Keywords:** heavy metal Pb, bioaccumulation, Doreri Bay

### ABSTRAK

Pulau Nusmapi merupakan daerah yang berada di kawasan Teluk Doreri Kabupaten Manokwari yang merupakan daerah yang terdampak akibat padatnya berbagai aktivitas dari daratan yang ditransport secara langsung maupun tidak langsung. Ikan merupakan organisme yang sering digunakan sebagai bioindikator untuk menilai tingkat pencemaran suatu perairan. Penelitian dilakukan pada bulan Juni - Agustus Tahun 2020. Sampel ikan yang diambil terdiri dari dua kelompok trofik, yaitu karnivora dan herbivora yang memakan alga dan lamun. Tujuan utama penelitian ini adalah menguji perbedaan konsentrasi Pb berdasarkan spesies dan kelompok trofiknya guna memahami distribusi polutan di wilayah tersebut. Daging ikan sebanyak 30 g hingga 50 g diambil pada bagian punggung, selanjutnya daging ditimbang lalu dibungkus dengan aluminium foil. Daging ikan di destuksi dan dianalisis dengan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS). Konsentrasi Pb pada kelompok karnivora adalah sebesar 0,88 mg/kg, sedangkan pada kelompok herbivora sebesar 1,13 mg/kg. Konsentrasi tertinggi ditemukan pada *Siganus spinus* (1,34 mg/kg), sementara konsentrasi terendah pada *Neoniphon sammara* (0,27 mg/kg). Mengingat logam Pb telah melampaui ambang batas pada sedimen dan lamun akan menjadi sumber utama polusi yang masuk ke dalam rantai makanan dan pada akhirnya menempatkan ikan sebagai tingkat trofik yang lebih tinggi pada posisi rentan secara toksikologis.

**Kata kunci:** logam berat Pb, bioakumulasi, Teluk Doreri

## PENDAHULUAN

Pulau Nusmapi merupakan daerah yang berada di kawasan Teluk Doreri Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat yang merupakan daerah yang terdampak akibat padatnya berbagai aktivitas sehingga menjadi tempat berkumpulnya polutan dari daratan yang ditransport secara langsung maupun tidak langsung melalui 5 sungai yang mengalir di wilayah yang relatif semi tertutup. Sumber aktivitas antropogenik berasal dari limbah perkotaan, limbah pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), limbah bengkel kapal (Fasarkhan), perhotelan, pemukiman penduduk dan dari berbagai limbah industri. Kemudian adanya aktivitas kapal pelni dan kapal tradisional yang digunakan sebagai alat transportasi dengan menggunakan bahan bakar yang dapat berpotensi terjadinya tumpahan maupun tercecer minyak ke lingkungan perairan (Sembel & Manan 2018). Dahulunya pada zaman Belanda ada sebuah perusahaan kayu nasional yang sering merendam kayu dengan menggunakan bahan kimia di sekitar lokasi *Yankarwar Coastal*. Kondisi ini mengakibatkan perairan Teluk Doreri sangat rentan terhadap berbagai tekanan ekologis serta membahayakan bagi kehidupan masyarakat yang ada disekitarnya (Sembel *et al.*, 2021). Sumber-sumber tersebut telah menghasilkan konsentrasi yang tinggi di perairan Teluk Doreri seperti nitrat, fosfat dan logam berat yang telah melewati baku mutu KLH No 51 Tahun 2004 (Sembel *et al.*, 2019).

Ekosistem padang lamun di wilayah pesisir memiliki peran ekologis yang vital sebagai habitat asuhan (*nursery ground*), tempat mencari makan (*feeding ground*), dan tempat berlindung bagi berbagai biota

laut, termasuk berbagai spesies ikan (Manangkalangi *et al.*, 2022). Namun, posisi ekosistem ini yang berdekatan dengan daratan membuatnya sangat rentan terhadap paparan polutan dari aktivitas antropogenik. Salah satu ancaman utama adalah kontaminasi logam berat seperti timbal (Pb), yang bersifat persisten, toksik, dan sulit terdegradasi secara alami, sehingga kehadirannya dalam konsentrasi tertentu dapat mengganggu keseimbangan ekosistem pesisir (El-Sharkawy *et al.*, 2025; Kirthiga, 2025).

Ikan merupakan organisme yang sering digunakan sebagai bioindikator untuk menilai tingkat pencemaran suatu perairan karena kemampuannya dalam mengakumulasi kontaminan melalui jaringan-jaringan makanan. Akumulasi logam Pb dalam jaringan ikan tidak hanya berdampak buruk pada kesehatan ikan itu sendiri, tetapi juga menjadi ancaman bagi predator pada tingkat trofik yang lebih tinggi, termasuk manusia yang mengonsumsinya (Beñianu *et al.*, 2024; Oros, 2025). Di perairan Manokwari, khususnya sekitar Pulau Nusmapi, tekanan lingkungan akibat aktivitas domestik, buangan limbah, dan operasional transportasi laut berpotensi meningkatkan beban logam berat pada biota yang berasosiasi dengan lamun (Sembel & Manan, 2018; Sembel *et al.*, 2019; Sembel *et al.*, 2021; Karubuy *et al.*, 2023).

Tingkat bioakumulasi logam berat pada ikan sangat dipengaruhi oleh kebiasaan makan dan posisi trofiknya dalam ekosistem. Kelompok ikan herbivora dan karnivora memiliki mekanisme paparan yang berbeda; herbivora terpapar melalui konsumsi produsen primer seperti lamun dan alga, sementara karnivora

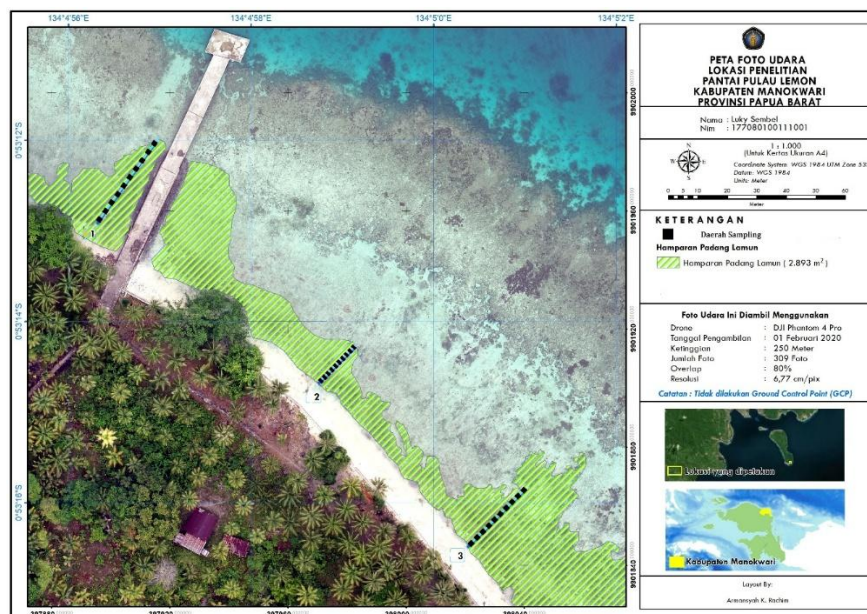
melalui pemangsa organisme lain yang mungkin telah mengandung polutan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa jenis makanan dan interaksi dengan media lingkungan seperti sedimen merupakan faktor kunci dalam menentukan beban logam berat dalam jaringan organisme laut, misalnya lamun (Sembel *et al.*, 2021) dan otot ikan (Zainuri *et al.*, 2011; Oros, 2025). Oleh karena itu, memahami perbedaan akumulasi antar kelompok trofik menjadi penting untuk memetakan risiko kontaminasi secara menyeluruh.

Penelitian ini mendeskripsikan konsentrasi logam Pb pada lima spesies ikan yang ditemukan di Pulau Nusmapi, yaitu kelompok karnivora (*Neoniphon sammara*, *Neoniphon argenteus*, *Myripristis pralinia*) dan kelompok herbivora (*Siganus fuscescens*, *Siganus spinus*). Tujuan utama penelitian ini adalah menguji perbedaan konsentrasi Pb berdasarkan spesies dan kelompok trofiknya guna memahami distribusi polutan di wilayah tersebut. Hasil dari

penelitian ini diharapkan dapat memberikan data dasar mengenai kesehatan lingkungan di perairan Pulau Nusmapi serta menjadi bahan rujukan dalam pengelolaan wilayah pesisir di Papua Barat.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di pulau Nusmapi Teluk Doreri Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat pada bulan Juni - Agustus Tahun 2020. Secara geografis, lokasi Pulau Nusmapi (lokasi 13 4.081441 BT dan -0.885875 LS). Penentuan lokasi penelitian berdasarkan aktivitas yang terjadi sering berdampak di Teluk Doreri (Gambar 1). Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jaring insang (*gillnet*) untuk menangkap sampel ikan, *cool box* untuk pengawetan sementara, kamera digital, kaliper digital berketelitian, timbangan digital, serta peralatan gelas laboratorium. Bahan yang digunakan adalah 5 spesies ikan target, larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) pekat untuk destruksi sampel, dan akuades.



Gambar 1. Lokasi penelitian Pulau Nusmapi

*Neoniphon samara**Siganus spinus*

Gambar 2. Ikan karnivora dan ikan herbivora

Sampel ikan yang diambil terdiri dari dua kelompok trofik, yaitu karnivora (*Neoniphon samara*, *Neoniphon argenteus*, dan *Myripristis pralinia*) yang terutama memakan kelompok zoobentos dan ikan, serta herbivora (*Siganus fuscescens* dan *Siganus spinus* yang memakan alga dan lamun (Allen & Erdmann, 2012).

Setiap spesies diambil sebanyak 2-9 individu dengan ukuran yang relatif bervariasi untuk mewakili berbagai ukuran/umur. Ikan yang tertangkap diidentifikasi spesiesnya, diukur panjang total dan bobotnya, kemudian bagian otot (daging) diambil sebagai sampel untuk dianalisis di laboratorium.

Analisis logam berat Pb (Timbal) dilakukan mengikuti prosedur standar (SNI atau AOAC). Daging ikan sebanyak 30 g hingga 50 g diambil pada bagian punggung di bawah sirip dorsal dengan menggunakan pisau bedah. Selanjutnya, daging ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian alat 0,01 g lalu dibungkus dengan aluminium foil, diberi label, dan disimpan di dalam freezer agar sampel tidak rusak. Daging ikan didestruksi menggunakan asam kuat (HNO<sub>3</sub>) dan dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui kandungan logam berat Pb. Konsentrasi logam dinyatakan dalam

satuan mg/kg berat basah atau berat kering.

Kandungan logam berat Pb pada daging ikan diperoleh dari data primer yang dianalisis dengan menggunakan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS) Shimadzu tipe AA-6880. AAS memiliki prinsip kerja dengan menyerap banyaknya energi secara proporsional terhadap logam berat pada sampel. Analisis logam berat yang dilakukan di Lab ProLink IPB dan mengacu pada APHA *et al.* (2012). Larutan sampel yang diinjeksikan sebanyak 2 liter per menit ke AAS menggunakan udara asetilen untuk mengukur logam berat Pb dengan panjang gelombang 283,3 nm.

Larutan sampel dialirkan melewati *nebulizer* menuju *spray chamber*, aerosol dicampur dengan bahan bakar dan gas oksidan, lalu dialirkan menuju kepala *burner*. Selanjutnya, larutan sampel dieksitasi menggunakan udara asetilen dan air, kemudian energinya dibaca oleh detektor.

Data konsentrasi Pb yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui nilai rata-rata dan standar deviasi pada setiap spesies. Untuk menguji hipotesis perbedaan konsentrasi, digunakan analisis statistik berikut:

- Uji ANOVA Satu Arah (*One-Way ANOVA*): Digunakan untuk melihat

apakah terdapat perbedaan signifikan konsentrasi Pb antar 5 spesies ikan.

- Uji-t (*Independent Sample t-test*): Digunakan untuk membandingkan perbedaan konsentrasi Pb antara kelompok trofik karnivora dan herbivora.
- Seluruh pengujian statistik dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui rantai makanan *Ikan Herbivora dan Karnivora* yang sering mengonsumsi lamun atau alga yang telah menyerap logam berat Pb dari sedimen. Secara langsung logam berat Pb yang terlarut dalam air masuk melalui insang dan permukaan kulit. Berdasarkan analisis laboratorium terhadap kandungan logam berat timbal (Pb) pada otot ikan di Pulau Nusmapi, diperoleh variasi konsentrasi yang cukup beragam baik antar spesies

maupun antar kelompok trofik (Tabel 1).

Secara keseluruhan, rata-rata konsentrasi Pb pada kelompok karnivora adalah sebesar 0,88 mg/kg, sedangkan pada kelompok herbivora menunjukkan nilai yang lebih tinggi yaitu sebesar 1,13 mg/kg. Spesies dengan konsentrasi tertinggi ditemukan pada *Siganus spinus* (1,34 mg/kg), sementara konsentrasi terendah terdapat pada *Neoniphon sammara* (0,27 mg/kg).

Berdasarkan hasil uji ANOVA Satu Arah (*One-Way ANOVA*), ditemukan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik pada konsentrasi Pb di antara kelima spesies ikan yang diteliti ( $F(4, 17) = 0,93$ ;  $p > 0,05$ ). Meskipun secara absolut nilai rata-rata *Siganus spinus* tampak lebih tinggi, namun tingginya variasi nilai antar individu (standar deviasi yang besar) menyebabkan perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik.

Tabel 1. Konsentrasi rata-rata logam Pb pada ikan di Pulau Nusmapi

Kelompok Trofik	Spesies	Jumlah sampel (n)	Ukuran Panjang Total (mm)	Kisaran Konsentrasi Individu (mg/kg)	Rata-rata $\pm$ SD
<b>Karnivora</b>	<i>N. sammara</i>	2	141,40-169,00	0,00 - 0,53	0,27 $\pm$ 0,37
	<i>N. argenteus</i>	3	104,50-173,00	0,73 - 1,15	0,91 $\pm$ 0,22
	<i>M. pralinia</i>	5	130,50-157,00	0,00 - 2,66	1,11 $\pm$ 1,15
	<b>Total</b>	<b>10</b>		<b>0,00 - 2,66</b>	<b>0,88 <math>\pm</math> 0,85</b>
<b>Herbivora</b>	<i>S. fuscescens</i>	3	136,85-150,05	0,42 - 0,57	0,51 $\pm$ 0,08
	<i>S. spinus</i>	9	80,10-162,20	0,49 - 2,73	1,34 $\pm$ 0,81
	<b>Total</b>	<b>12</b>		<b>0,42 - 2,73</b>	<b>1,13 <math>\pm</math> 0,80</b>

Tabel 2. Hasil uji ANOVA satu arah konsentrasi Pb antar spesies

Sumber Keragaman		Degrees of Freedom (df)	Sum of Squares (SS)	Mean Square (MS)	F-hitung	P-value
Antar (Spesies)	Kelompok	4	2,82	0,705	0,932	0,468
Dalam (Error)	Kelompok	17	12,86	0,756		
<b>Total</b>		<b>21</b>	<b>15,68</b>			

Tabel 3. Hasil uji-t perbandingan konsentrasi Pb berdasarkan kelompok trofik

Kelompok Trofik	N	Rata-rata (mg/kg)	Standar Deviasi	t-hitung	P-value (2-tailed)
Karnivora	10	0,88	0,85	-0,415	0,682
Herbivora	12	1,13	0,78		

Uji-t dilakukan untuk melihat apakah ada perbedaan nyata antara kelompok ikan pemakan daging (karnivora) dan pemakan tumbuhan (herbivora). Hasil uji-t menunjukkan bahwa secara statistik tidak terdapat perbedaan signifikan antara konsentrasi Pb pada kelompok trofik karnivora dan herbivora ( $t_{(20)} = -0,41$ ;  $p > 0,05$ ).

Hasil uji statistik menunjukkan nilai *P-value* yang lebih besar dari 0,05 ( $p > 0,05$ ), yang berarti hipotesis nol ( $H_0$ ) diterima. Hal ini mengindikasikan bahwa baik jenis spesies maupun posisi trofik bukan merupakan faktor penentu utama perbedaan akumulasi Pb pada lokasi penelitian di Pulau Nusmapi. Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor :

1. Sumber Pencemaran yang Merata: Logam Pb di perairan Pulau Nusmapi kemungkinan telah terdistribusi secara luas baik dalam kolom air maupun sedimen, sehingga semua organisme di hamparan lamun tersebut terpapar pada tingkat yang serupa.

2. Variasi Individu yang Tinggi: Nilai standar deviasi yang besar (terutama pada *M. pralinia* dan *S. spinus*) menunjukkan adanya perbedaan respon biologis antar individu yang sangat kontras, yang bisa disebabkan oleh perbedaan usia ikan atau durasi mereka menetap di lokasi sampling.
3. Ketersediaan Hayati (Bioavailability): Meskipun jenis makanannya berbeda, aksesibilitas logam Pb di lingkungan lamun mungkin sangat tinggi bagi seluruh biota yang berasosiasi di sana, sehingga jalur penyerapan lewat insang (absorpsi air) menjadi sama dominannya dengan jalur makanan.

Lokasi Pulau Nusmapi merupakan daerah yang sering terdampak akibat padatnya berbagai aktivitas di Teluk Doreri. Sumber aktivitas antropogenik berasal dari limbah perkotaan, limbah pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), limbah bengkel kapal (Fasarkhan), perhotelan, pemukiman penduduk serta dari berbagai limbah industry. Kemudian adanya aktivitas kapal pelni dan kapal

tradisional yang digunakan sebagai alat transportasi dengan menggunakan bahan bakar yang dapat berpotensi terjadinya tumpahan maupun tercecer minyak ke lingkungan perairan (Sembel & Manan 2018).

Ikan terabsorpsi oleh logam berat melalui dua cara, yaitu permukaan insang dan kulit (*water exposure*) dan saluran makanan (*diet exposure*) (Sembel *et al.* 2021). Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh biota akuatik melalui rantai makanan. Logam Berat Pb yang masuk melalui insang dan kulit akan diserap serta masuk ke dalam sistem sirkulasi, selanjutnya terakumulasi pada bagian tertentu khususnya pada bagian yang banyak lemak. Lambung pada ikan merupakan salah satu tempat penyerapan logam berat yang paling penting. Setelah diserap di lambung akan diserap oleh kapiler darah untuk didistribusikan keseluruh tubuh organisme, selanjutnya akan melewati hati sebelum masuk ke gudang penyimpanan seperti empedu, ginjal, dan daging.

Konsentrasi logam Pb yang tinggi pada jaringan otot ikan di Pulau Nusmapi diduga juga dipengaruhi oleh kondisi polusi pada habitat hidupnya. Tingginya konsentrasi logam Pb pada jaringan otot ikan di Pulau Nusmapi sangat dipengaruhi oleh kondisi polusi pada media lingkungannya. Sembel *et al.* (2021) melaporkan bahwa konsentrasi Pb di sedimen Pulau Nusmapi mencapai 46,769 mg/kg dan pada lamun sebesar 7,785 mg/kg, yang mana nilai tersebut jauh melampaui konsentrasi di kolom air yang hanya sebesar 0,007 mg/L. Kondisi ini menjelaskan mengapa akumulasi pada ikan cenderung tinggi, karena sedimen bertindak sebagai reservoir utama logam berat yang secara terus-menerus

melepaskan polutan ke dalam rantai makanan (Kirthiga, 2025; Oros, 2025).

Pada kelompok herbivora, tingginya akumulasi pada *Siganus* spp. diduga kuat berasal dari jalur makanan, di mana ikan ini mengonsumsi lamun yang telah mengakumulasi Pb dari sedimen secara masif. Sesuai dengan temuan Sembel *et al.* (2021) mengenai tingginya kadar Pb pada jaringan lamun, proses pemindahan logam dari produsen primer ke konsumen tingkat satu menjadi jalur utama masuknya kontaminan ke dalam tubuh ikan herbivora (Beñianu *et al.*, 2024; Oros, 2025). Selain melalui pakan, kebiasaan ikan Baronang yang mencari makan di dasar perairan juga diduga meningkatkan risiko tertelannya partikel sedimen yang terkontaminasi (Zainuri *et al.*, 2011).

Bagi kelompok ikan karnivora seperti famili Holocentridae (*Neoniphon* spp. dan *M. pralinia*), meskipun tidak memakan lamun secara langsung, mereka terpapar melalui konsumsi mangsa tingkat rendah yang juga hidup berasosiasi dengan sedimen tercemar. Kelompok ikan ini terutama mengonsumsi kelompok zoobentos dan ikan (Allen & Erdmann, 2012).

Fenomena tidak adanya perbedaan signifikan antar kelompok trofik dalam penelitian ini menunjukkan bahwa paparan logam di Pulau Nusmapi bersifat merata (*ubiquitous*). Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Sembel & Manan, 2018; Sembel *et al.*, 2019; Sembel *et al.*, 2021) yang menyatakan bahwa aktivitas domestik dan transportasi laut di sekitar Manokwari memberikan kontribusi polutan yang konsisten terhadap ekosistem pesisirnya, sehingga memicu bioakumulasi pada seluruh tingkatan trofik ikan.

Informasi hasil penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan dalam melakukan

pengelolaan untuk menjaga keberlangsungan hidup dan keberadaan ikan Herbivora dan Karnivora di Pulau Nusmapi, Teluk Doreri.. Secara ekotoksikologi, tingginya kadar Pb di sedimen dan lamun di Pulau Nusmapi menciptakan tekanan lingkungan yang konstan bagi biota. Mengingat Pb adalah logam non-esensial yang tidak memiliki fungsi biologis, keberadaannya yang melampaui ambang batas pada sedimen dan lamun menjadi sumber utama polusi yang masuk ke dalam rantai makanan, yang pada akhirnya menempatkan ikan sebagai tingkat trofik yang lebih tinggi pada posisi yang rentan secara toksikologis. Logam berat timbal (Pb) dapat menyebabkan penyakit anemia, gangguan ginjal, gangguan neurlogis, keterbelakangan mental pada anak-anak.

Penelitian yang sama perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk memantau serta mengevaluasi pencemaran logam berat yang terjadi setiap tahunnya. Hasilnya dapat digunakan sebagai pedoman dalam memperbarui aturan setiap tahun mengenai pembuangan limbah seperti limbah industri, limbah domestik, dan limbah pertanian yang mengarah ke perairan Teluk Doreri

### KESIMPULAN

Kelompok Ikan Kanivora dan Herbovora tidak terjadi perbedaan konsentrasi Pb berdasarkan spesies maupun kelompok trofiknya. Meskipun demikian, pemantauan kualitas perairan dan uji laboratorium secara berkala sangat penting untuk memastikan produk perikanan tetap aman. Konsumen disarankan untuk memperoleh ikan dari sumber perairan yang tidak tercemar guna menghindari risiko paparan logam berat

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Pimpinan dan Staf Dosen Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Papua serta Pemerintahan Provinsi Papua Barat yang membantu dalam pembiayaan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G.R, Erdmann, M.V. 2012. Reef Fishes of The East Indies. Volumes III. Tropical Reef Research, Perth, Australia. p 1292.
- Bețianu, C., Cozma, P., Gavrilescu, M. 2024. Human Health Hazards and Risks Generated by The Bioaccumulation of Lead from The Environment in The Food Chain. *In: Kumar, N., Jha, A.K. (Eds). Lead Toxicity Mitigation: Sustainable Nexus Approaches. Environmental Contamination Remediation and Management. Springer, Cham. pp 73-123. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-46146-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-46146-0_5).*
- El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., Mahmoud, E. 2025. Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications and Management Strategies: A review. *Sustainability*, 17(2), 701. <https://doi.org/10.3390/su17020701>
- Karubuy, R. I. S., Manan, J., Manangkalangi, M., Sembel, L., & Saleky, D. 2023. Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Gastropoda *Conus* spp. di Hamparan Lamun Perairan Pesisir Manokwari, Propinsi Papua Barat. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(3), 433-441. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i3.15872>
- Kirthiga, S. S. 2025. Silent toxins: The Global Pathways and Consequences of Heavy Metals in Coastal Beach Ecosystems. *In: Mehmood, M.A., Bhat, R.A., Dar, G.H. (Eds.). Global Perspectives of Toxic Metals in Bio Environs. Springer, Cham. pp 331-356. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-89725-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-89725-2_12)*

- Manangkalangi E, Sembel L, Tebaiy S, Manuputty A, Rumayomi M R, Musyeri P, Sawaki D, Orissu D, Manumpil A. W, Kaber Y. 2022. Evaluation of Seagrass Beds as A Foraging and Nursery Habitat Based on The Structure of The Fish Community in Nusmapi Island, West Papua, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(10), 5165-5174. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231024>
- Oros, A. 2025. Bioaccumulation and Trophic Transfer of Heavy Metals In Marine Fish: Ecological and Ecosystem-Level Impacts. *J. Xenobiot.*, 15(2), 59. <https://doi.org/10.3390/jox15020059>
- Sembel, L., Manan, J. 2018. Kajian Kualitas Perairan pada Kondisi Pasang Surut di Teluk Sawaibu Manokwari. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*. 2(1), 1-14. [https://doi.org/10.30862/jsaifpikunipa\\_2018.Vol.2.No.1.28](https://doi.org/10.30862/jsaifpikunipa_2018.Vol.2.No.1.28)
- Sembel, L., Manangkalangi, E., Mardiyadi, Z., Manumpil, A.W. 2019. Kualitas Perairan di Teluk Doreri Kabupaten Manokwari. *Jurnal Enggano*, 4(1), 52-64. <https://doi.org/10.31186/jenggano.4.1.52-64>
- Sembel, L., Setijawati D., Yona, D., Manangkalangi, E., Musyeri, P., Risjani, Y. 2021. Studi Pendahuluan Logam Berat pada Lamun *Cymodocea rotundata* di Teluk Doreri Kabupaten Manokwari. *Musamus Fisheries and Marine Journal*, 3(2), 86-94. <https://doi.org/10.35724/mfmj.v3i2.3379>
- Zainuri, M., Sudrajat, Siboro, E. S. 2011. Kadar Logam Berat Pb pada Ikan Beronang (*Siganus* sp.), Lamun, Sedimen dan Air di Wilayah Pesisir Kota Bontang-Kalimantan. *Jurnal Kelautan*, 4(2), 102-118. <https://doi.org/10.21107/jk.v4i2.874>