

Biokonsentrasi dan Batas Konsumsi Aman Logam Pb pada Ikan Bandeng dari Tambak Pantai Tirang, Semarang, Jawa Tengah***Bioconcentration and Safe Consumption Limits of Pb Metal in Milkfish from the Tirang Beach Fish Farm, Semarang, Central Java***

Tri Handayani, Haeruddin, Arif Rahman

Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan

Departemen Sumber Daya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah-50275

Corresponding authors: Thandayani483@gmail.com*Diserahkan: 10 Januari 2026; Direvisi: 19 Maret 2026; Diterima: 28 April 2026***ABSTRAK**

Tambak Pantai Tirang, Semarang, Jawa Tengah merupakan kawasan budidaya ikan bandeng yang berpotensi terpapar pencemaran logam berat timbal akibat aktivitas antropogenik serta pengaruh aliran Sungai Tapak dan perairan laut. Penelitian ini bertujuan menganalisis konsentrasi Pb dalam air dan daging ikan bandeng, menghitung nilai *Bioconcentration Factor*, serta menentukan batas konsumsi aman ikan bandeng bagi masyarakat. Penelitian dilakukan pada bulan September–November 2024 menggunakan metode pendekatan *survei* dengan teknik *purposive* sampling pada tiga stasiun pengamatan. Analisis kandungan Pb pada sampel air dan daging ikan dilakukan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter kualitas air masih berada dalam kisaran yang mendukung kegiatan budidaya. Konsentrasi Pb dalam air berkisar antara 0,01–0,167 mg/l, sedangkan konsentrasi Pb dalam daging ikan bandeng berkisar 0,983–1,8 mg/kg. Nilai *Bioconcentration Factor* Pb pada ikan bandeng menunjukkan kategori akumulatif rendah pada stasiun 1 dan stasiun 2 ($BCF < 100$), masing-masing sebesar 5,9 dan 19,167, sedangkan pada stasiun 3 termasuk dalam kategori akumulatif sedang ($100 \leq BCF \leq 1000$) dengan nilai tertinggi sebesar 360. Batas konsumsi aman ikan bandeng dari tambak Pantai Tirang diperoleh sebesar 0,966 kg/minggu untuk orang dewasa dan 0,290 kg/minggu untuk anak-anak. Hasil ini menegaskan pentingnya pemantauan kualitas perairan secara berkala untuk meminimalkan risiko paparan logam berat melalui konsumsi ikan.

Kata Kunci: Faktor Biokonsentrasi; Kualitas Air; Logam Berat; Timbal**ABSTRACT**

Tirang Beach ponds, Semarang, Central Java, are milkfish aquaculture areas that are potentially exposed to lead heavy metal contamination due to anthropogenic activities as well as the influence of the Tapak River inflow and marine waters. This study aimed to analyze Pb concentrations in water and milkfish muscle, calculate the Bioconcentration Factor, and determine the safe consumption limits of milkfish for the community. The study was conducted from September to November 2024 using a survey approach with purposive sampling at three observation stations. Pb concentrations in water and milkfish samples were analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results indicated that water quality parameters remained within ranges suitable for aquaculture activities. Pb concentrations in water ranged from 0.01 to 0.167 mg/l, while Pb concentrations in milkfish muscle ranged from 0.983 to 1.8 mg/kg. The Bioconcentration Factor of Pb in milkfish showed a low accumulation category at stations 1 and 2 ($BCF < 100$), with values of 5.9 and 19.167, respectively, whereas station 3 exhibited a moderate accumulation category ($100 \leq BCF \leq 1000$) with the highest value of 360. The safe consumption limit of milkfish from Tirang Beach ponds was estimated at 0.966 kg/week for adults and 0.290 kg/week for children. These findings highlight the importance of regular water quality monitoring to minimize the risk of heavy metal exposure through fish consumption.

Keywords: *Bioconcentration Factor, Heavy metals, Lead, Water Quality.***PENDAHULUAN**

Kawasan tambak di Pantai Tirang memperoleh suplai air dari dua sumber utama, yaitu aliran Sungai Tapak dan perairan laut di Pantai Tirang. Kedua sumber air tersebut berperan penting dalam menjaga sirkulasi dan ketersediaan air bagi kegiatan budidaya perikanan di kawasan tambak. Seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia dan perkembangan

kawasan industri di wilayah sekitarnya. Sungai Tapak dan Pantai Tirang menghadapi tantangan serius berupa pencemaran perairan. Pencemaran tersebut dapat berasal dari berbagai sumber, seperti limbah domestik dari pemukiman penduduk, aktivitas pertanian, serta limbah industri yang masuk ke perairan dan terbawa hingga ke wilayah tambak (Clara *et al.*, 2022). Kondisi ini menyebabkan kualitas perairan tambak di Pantai Tirang berpotensi mengalami penurunan akibat masuknya berbagai bahan pencemar yang terbawa oleh aliran sungai maupun arus laut. Berkembangnya berbagai jenis industri di wilayah hulu Sungai Tapak berpotensi tinggi menimbulkan pencemaran perairan akibat pembuangan limbah yang masuk ke badan sungai dan selanjutnya mengalir hingga ke muara Sungai Tapak (Suryani *et al.*, 2018). Perairan muara Sungai Tapak di Semarang juga berfungsi sebagai saluran akhir dari beberapa sungai lain, sehingga berbagai material yang terangkut oleh aliran sungai akan bermuara dan berpotensi terakumulasi di perairan muara Sungai Tapak sebelum akhirnya terbawa menuju laut (Larasati *et al.*, 2021). Akumulasi bahan pencemar tersebut kemudian dapat mempengaruhi kondisi perairan di sekitar Pantai Tirang, termasuk kawasan tambak yang memanfaatkan perairan tersebut sebagai sumber utama kegiatan budidaya ikan bandeng. Perbedaan titik pengambilan sampel ditetapkan untuk merepresentasikan variasi tingkat pengaruh aliran Sungai Tapak terhadap tambak, mulai dari lokasi yang berada dekat dengan Pantai Tirang pada stasiun 1, bagian tengah tambak pada stasiun 2, hingga area yang paling dekat dengan Sungai Tapak pada stasiun 3 yang berpotensi mengalami akumulasi kontaminan lebih tinggi.

Salah satu logam berat yang berpotensi menjadi sumber pencemar dan dapat menurunkan kualitas lingkungan perairan adalah Pb. Sumber pencemaran di Sungai Tapak berasal dari aktivitas pemukiman penduduk serta kegiatan industri dimana menjadi perhatian utama karena lokasinya berada dekat dengan badan air Sungai Tapak (Raharjo *et al.*, 2018). Timbal memiliki sifat yang tidak bisa terurai sehingga cenderung terakumulasi di lingkungan perairan maupun di dalam tubuh makhluk hidup. Pencemaran logam berat seperti timbal berpotensi mengganggu pertumbuhan, menurunkan kualitas, serta membahayakan keamanan biota perairan, termasuk ikan bandeng (Martuti *et al.*, 2024).

Ikan bandeng (*Chanos chanos*) merupakan salah satu jenis ikan yang sering dimanfaatkan sebagai bioindikator pencemaran logam berat di perairan. Kemampuan hidup dan tumbuh di lingkungan tambak memungkinkan ikan ini menyerap serta mengakumulasi logam berat, meskipun pada konsentrasi yang relatif rendah di perairan. Kandungan logam berat dalam tubuh ikan bandeng dapat terus meningkat akibat proses akumulasi biologis yang berlangsung secara berkelanjutan (Hastuti dan Alfiah, 2024). Ikan bandeng yang dibudidayakan di tambak Pantai Tirang berpotensi menjadi bioindikator yang efektif dalam mendeteksi pencemaran logam berat, terlebih karena komoditas ini merupakan jenis ikan yang paling banyak dibudidayakan di kawasan tersebut. Keberadaan logam berat dalam tubuh ikan bandeng juga berpotensi menimbulkan efek toksik bagi manusia yang mengonsumsinya (Fadlilah *et al.*, 2023). Akumulasi logam berat seperti Pb dan kadmium (Cd) di dalam tubuh manusia dapat menyebabkan masalah kesehatan, termasuk gangguan sistem saraf, sistem reproduksi, kerusakan ginjal, dan risiko kanker (Haeruddin *et al.*, 2021).

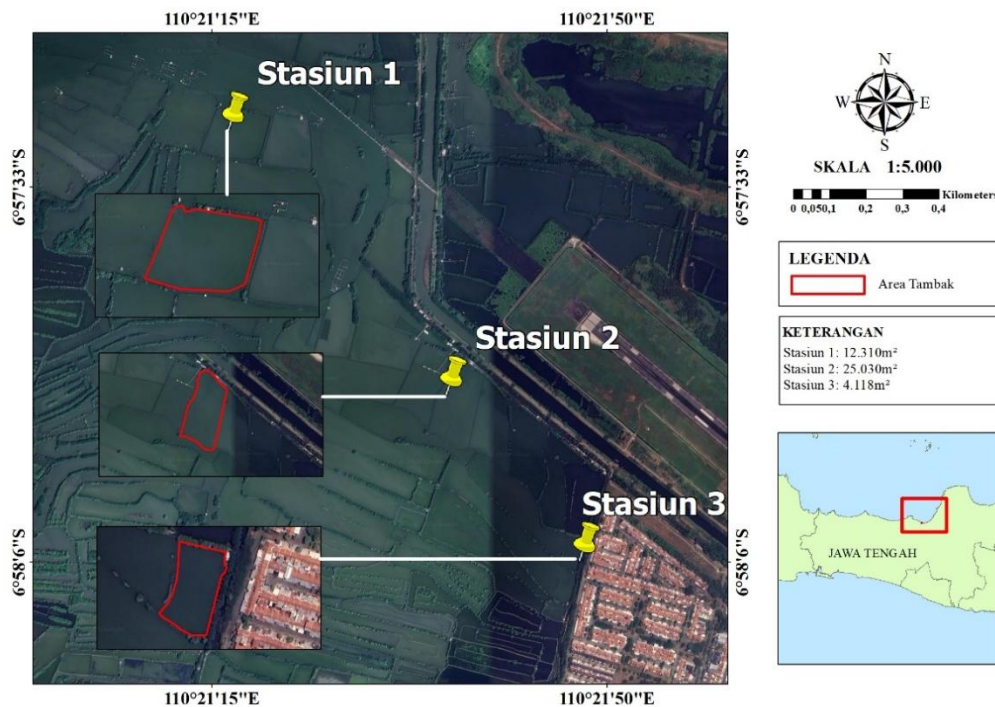
Berdasarkan kondisi tersebut, Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui konsentrasi logam berat Pb pada air dan daging ikan bandeng dari tambak Pantai Tirang;
2. Mengetahui *Bioconcentration Factor* (BCF) logam berat Pb pada daging ikan bandeng dari tambak Pantai Tirang;
3. Mengetahui batas konsumsi aman ikan bandeng dari tambak Pantai Tirang.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan pada bulan September - November 2024 yang berlokasi di tambak ikan bandeng Pantai Tirang, Semarang, Jawa Tengah. Pengambilan sampel untuk mengetahui kadar logam Pb pada daging ikan bandeng dan di perairan tambak dilakukan pada 3 stasiun dengan 3 kali pengulangan pada setiap stasiun. Sampel air dan ikan bandeng diambil tiga kali pada setiap stasiun pengamatan sebagai bentuk pengulangan teknis di lokasi yang sama. Analisis konsentrasi logam berat Pb dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang dan Laboratorium Terpadu FMIPA Sublab Kimia Universitas Negeri Semarang. Lokasi Penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Stasiun Penelitian

Materi dan Metode

Materi pada penelitian ini berupa pengambilan sampel air, ikan serta pengukuran kualitas air di Tambak Bandeng, Pantai Tirang. Sampel air dan ikan akan diukur kandungan logam berat di laboratorium dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan survei. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan karena data yang diperoleh berupa nilai numerik konsentrasi Pb pada air dan jaringan ikan bandeng, serta parameter kualitas perairan yang dianalisis untuk melihat pola distribusi dan tingkat akumulasi logam berat. Menurut Triyanto *et al.* (2024), metode survei merupakan metode Penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan kondisi atau situasi yang terjadi di lapangan secara aktual.

Alat yang digunakan untuk sampling lapangan adalah pancing untuk menangkap ikan bandeng, botol sampel sebagai wadah sampel, GPS, ember, kertas label, alat tulis dan kamera. pengukuran kualitas air berupa suhu, salinitas, pH dan oksigen terlarut (DO) dengan menggunakan *water checker* Horiba LAQUA PD210.

Prosedur penelitian

Metode sampling yang digunakan dalam penelitian ini adalah *purposive sampling*. *Purposive sampling* merupakan metode penentuan sampel yang didasarkan pada pertimbangan tertentu oleh peneliti sesuai dengan tujuan penelitian (Salim dan Taha, 2023). Pemilihan metode ini didasarkan pada arah aliran Sungai Tapak yang masuk ke area tambak, sehingga diduga memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kualitas perairan di setiap lokasi pengamatan. Perbedaan titik pengambilan sampel ditetapkan untuk merepresentasikan variasi tingkat pengaruh aliran Sungai Tapak terhadap tambak, mulai dari lokasi yang berada dekat dengan pantai tirang pada stasiun 1, bagian tengah tambak pada stasiun 2, hingga area paling dekat dengan sungai tapak yang berpotensi mengalami akumulasi kontaminan logam Pb lebih tinggi pada stasiun 3.

Pengambilan sampel air dilakukan pada tiga stasiun pengamatan, dengan tiga kali pengulangan pada setiap stasiun. Sampel air diambil pada kedalaman ± 30 cm di bawah permukaan air untuk mewakili kondisi perairan tambak yang berinteraksi langsung dengan organisme budidaya. Sampel air dimasukkan ke dalam botol sampel berukuran 600 mL, kemudian ditambahkan HNO_3 sebagai pengawet.

Ikan bandeng diambil dari setiap stasiun pengamatan sebanyak tiga ekor, tanpa mempertimbangkan umur maupun berat, sehingga diperoleh sembilan sampel ikan dari tiga stasiun penelitian. Pengambilan tiga ekor ikan pada setiap stasiun bertujuan untuk memperoleh ulangan sampel yang dapat digunakan sebagai pembanding kandungan logam berat Pb dalam tubuh ikan pada lokasi yang sama. Pengambilan ikan dilakukan secara aktif menggunakan metode pemancingan. Ikan bandeng yang telah tertangkap dimasukkan ke dalam plastik yang telah diberi label sesuai stasiun dan ulangan, kemudian disimpan dalam *cool box* sebelum dianalisis di laboratorium menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Metode yang digunakan dalam uji konsentrasi logam berat Pb pada air di tambak ikan bandeng adalah SNI 6989.8-2009 bagian 8: tentang cara uji Pb secara spektrofotometri serapan atom (SSA) - nyala. Sampel air yang telah diawetkan dibawa ke Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro untuk dianalisis. Pengukuran konsentrasi logam berat Pb dilakukan dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) pada panjang gelombang 283,3 nm.

Sebanyak 5 mL sampel air dimasukkan ke dalam wadah pengukuran dan dianalisis sesuai prosedur alat untuk memperoleh nilai konsentrasi Pb.

Metode yang digunakan dalam uji konsentrasi logam berat Pb pada ikan bandeng (*Chanos chanos*) mengacu pada SNI 6989.84:2019 tentang Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA Sublab Kimia Universitas Negeri Semarang. Sebelum pengukuran, sampel daging ikan bandeng terlebih dahulu melalui tahap destruksi basah. Setelah proses destruksi selesai, larutan sampel diambil sebanyak 5 mL untuk dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) pada panjang gelombang 283,31 nm guna menentukan konsentrasi logam berat Pb dalam jaringan ikan bandeng.

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini berupa faktor biokonsentrasi dan batas konsumsi aman pada ikan bandeng di Tambak Pantai Tirang.

a. Bioconcentration Factor (BCF)

Untuk mengetahui kemampuan ikan bandeng dalam mengakumulasi logam berat Pb dengan rumus faktor biokonsentrasi (BCF), yang mengacu pada Arnot dan Gobas (2006) dengan rumus sebagai berikut:

$$BCF = C_b/C_w$$

Keterangan:

C_b = Kandungan logam berat dalam jaringan lunak organisme (mg/kg)

C_w = Kandungan logam berat dalam air (mg/l)

Menurut Selanno dan Siahainenia (2023), Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu akumulatif rendah ($BCF < 100$), akumulatif sedang ($100 \leq BCF \leq 1000$), dan akumulatif tinggi ($BCF > 1000$).

b. Maximum Weekly Intake (MWI)

Perhitungan *Maximum Weekly Intake* (MWI) dilakukan untuk mengetahui batas maksimum konsumsi bahan pangan tercemar logam berat per minggu (Kusumadiani *et al.*, 2024). Perhitungan MWI dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut (Dewi *et al.*, 2017):

$$MWI (g) = \text{Berat Badan} \times PTWI$$

Menurut Haeruddin *et al.* (2021), asumsi berat badan rata-rata yang digunakan dalam penilaian risiko kesehatan adalah 50 kg untuk orang dewasa dan 15 kg untuk anak-anak. Nilai *Provisional Tolerable Weekly Intake* (PTWI) merupakan angka toleransi asupan maksimum per minggu yang masih dapat ditoleransi oleh tubuh, mengacu pada rekomendasi *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA). Untuk logam berat Pb, nilai PTWI yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,025 mg/kg berat badan per minggu, sebagaimana digunakan dalam berbagai kajian toksikologi pangan dan lingkungan.

c. Maximum Tolerable Intake (MTI)

Nilai *Maximum Weekly Intake* (MWI) dapat digunakan untuk menghitung batas maksimum konsumsi daging ikan yang aman dikonsumsi dalam satu minggu (Romdhonia *et al.*, 2023). Perhitungan MTI dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut (Siringoringo *et al.*, 2022):

$$MTI = MWI/C_t$$

Keterangan:

MWI = *Maximum Weekly Intake* (mg/minggu)

C_t = Konsentrasi logam berat dalam daging ikan (mg/kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Konsentrasi Logam Berat Pb

Berdasarkan hasil analisis konsentrasi logam berat Pb di tambak ikan bandeng menggunakan AAS didapat kadar logam timbal dalam air di tambak yaitu <0,01-0,167 mg/kg. Stasiun 1 menunjukkan konsentrasi tertinggi, yaitu sebesar 0,167 mg/l. Sedangkan kadar logam timbal pada daging ikan bandeng yaitu 0,983-1,800 mg/kg. Konsentrasi Pb pada ikan bandeng di Stasiun 1 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,983 mg/kg, di Stasiun 2 sebesar 1,342 mg/kg, dan di Stasiun 3 sebesar 1,800 mg/kg. Data lengkap hasil analisis konsentrasi Pb pada air dan ikan bandeng disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Konsentrasi Logam Berat Pb dalam Air Tambak Pantai Tirang.

Stasiun	Konsentrasi Pb Dalam Air (mg/l)		Konsentrasi Pb Dalam Ikan Bandeng (mg/kg)	
	Rataan	Standar Deviasi	Rataan	Standar Deviasi
1	0,167	0,115	0,983	0,052
2	0,070	0,112	1,342	0,166
3	<0,01	0	1,800	0,195
Baku Mutu	0,008 mg/l*		0,3 mg/kg**	

Keterangan:

*Baku Mutu Logam Berat (mg/l) pada Air Laut Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

****Baku Mutu Berdasarkan BPOM No.9 Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemar Logam Berat Dalam Pangan Olahan.**

Bioconcentration Factor (BCF)

Hasil analisis konsentrasi logam berat Pb dalam air tambak menunjukkan adanya variasi antar stasiun, dengan seluruh lokasi pengambilan sampel melebihi baku mutu yang ditetapkan. Kondisi ini berdampak langsung terhadap nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) pada ikan bandeng. Hasil perhitungan nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) pada ikan bandeng dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Faktor Biokonsentrasi Logam Berat Pb dalam Ikan Bandeng Tambak Pantai Tirang.

Stasiun	Konsentrasi Pb dalam air (mg/l)	Konsentrasi Pb dalam Ikan Bandeng (mg/kg)	<i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)
1	0,167	0,983	5,9
2	0,070	1,342	19,167
3	<0,01	1,800	360
Standar Deviasi	0,081	0,016	200,72

Berdasarkan perhitungan, diperoleh faktor biokonsentrasi antar stasiun memiliki hasil yang berbeda. Pada stasiun 1 didapatkan hasil 5,9 dan stasiun 2 didapatkan hasil 19,167 sedangkan pada stasiun 3 memiliki nilai BCF tertinggi yaitu sebesar 360. Pada stasiun 3, konsentrasi Pb dalam air terdeteksi di bawah batas deteksi alat, yaitu <0,01 mg/l. Oleh karena itu, dalam perhitungan BCF digunakan nilai setengah dari batas deteksi, yaitu 0,005 mg/l, sesuai dengan pendekatan estimasi standar dalam studi toksikologi lingkungan.

Maximum Tolerable Intake (MTI)

Berdasarkan hasil perhitungan *Maximum Tolerable Intake* (MTI), Untuk orang dewasa (Tabel 4), nilai MTI rata-rata mencapai 0,966 kg/minggu. Stasiun 1, yang memiliki konsentrasi logam berat Pb terendah dalam ikan bandeng, menghasilkan batas toleransi konsumsi tertinggi yaitu 1,272 kg/minggu, sedangkan pada stasiun 2 sebesar 0,931 kg/minggu, dan stasiun 3 sebesar 0,694 kg/minggu. Sementara itu, untuk anak-anak (Tabel 5), nilai MTI rata-rata sebesar 0,290 kg/minggu, dengan batas konsumsi tertinggi pada stasiun 1 sebesar 0,381 kg/minggu, diikuti oleh stasiun 2 sebesar 0,279 kg/minggu, dan yang terendah pada stasiun 3 sebesar 0,208 kg/minggu. Hasil perhitungan *Maximum Tolerable Intake* (MTI) pada orang dewasa dan anak-anak dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. *Maximum Tolerable Intake* (MTI) Logam Berat Pb Tambak Pantai Tirang pada Orang Dewasa.

Stasiun	Konsentrasi Pb dalam Ikan Bandeng (mg/kg)	MWI (mg/minggu)	MTI (Kg/minggu)
1	0,983	1,25	1,272
2	1,342	1,25	0,931
3	1,800	1,25	0,694
Rataan	1,375	1,25	0,966
Standar Deviasi	0,409	0	0,290

Tabel 5. *Maximum Tolerable Intake* (MTI) Logam Berat Pb Tambak Pantai Tirang pada Anak-anak.

Stasiun	Konsentrasi Pb dalam Ikan Bandeng (mg/kg)	MWI (mg/minggu)	MTI (Kg/minggu)
1	0,983	0,375	0,381
2	1,342	0,375	0,279
3	1,800	0,375	0,208
Rataan	1,375	0,375	0,290
Standar Deviasi	0,409	0	0,087

Variabel Lingkungan Lokasi Penelitian

Pengukuran variabel kualitas perairan yang meliputi suhu, salinitas, pH, dan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) dilakukan secara langsung di lapangan pada saat penelitian berlangsung untuk memperoleh gambaran kondisi kualitas air perairan tambak. Meskipun kegiatan budidaya ikan bandeng dilakukan secara tradisional, penilaian kualitas air dalam penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 8005:2014 tentang Produksi Ikan Bandeng Ukuran Konsumsi Secara Semi-Intensif di Tambak. Penggunaan acuan tersebut dilakukan karena hingga saat ini belum tersedia standar nasional yang secara spesifik mengatur parameter kualitas air untuk sistem pembesaran ikan bandeng pada tambak tradisional.

Berdasarkan hasil pengukuran, suhu rata-rata di ketiga stasiun adalah 31,98°C, dengan suhu tertinggi tercatat di Stasiun 2 sebesar 32,80°C, sedangkan Stasiun 1 sebesar 31,37°C dan Stasiun 3 sebesar 31,77°C. Rata-rata salinitas yang terukur di ketiga stasiun adalah 31,99 ppt. Untuk pH, diperoleh rata-rata sebesar 7,10, dengan nilai tertinggi di Stasiun 3 sebesar 7,11, Stasiun 1 sebesar 7,10, dan Stasiun 2 sebesar 7,07. Sementara itu, nilai oksigen terlarut (DO) 3,27 mg/l, dan Stasiun 2 memiliki nilai terendah yaitu 2,47 mg/l.

Pembahasan

Konsentrasi Logam Berat Pb

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi Pb dalam air tambak di Pantai Tirang berkisar antara $<0,01$ - $0,167$ mg/l. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VIII (Baku Mutu Air Laut), baku mutu konsentrasi Pb untuk perairan laut kategori biota laut adalah sebesar $0,008$ mg/l. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi Pb pada stasiun 1 dan stasiun 2 telah melampaui baku mutu dengan nilai konsentrasi $0,167$ mg/l dan $0,070$ mg/l.

Tingginya kadar Pb di stasiun 1 secara spesifik dipengaruhi oleh posisi geografisnya yang menerima aliran masuk langsung dari perairan Pantai Tirang serta dinamika pasang surut air laut. Sebagai area yang berbatasan langsung dengan laut lepas, stasiun 1 menjadi titik pertama yang terpapar massa air laut saat terjadi pasang. Kondisi perairan pada pukul 09.30 WIB saat sampling dilakukan menunjukkan fenomena pasang menuju daratan dengan ketinggian pasang mencapai $5,3$ cm. Sebagai area yang berbatasan langsung dengan laut lepas, stasiun 1 menjadi wilayah yang paling rentan terhadap akumulasi Pb akibat intrusi massa air tersebut sebelum mengalami proses pengenceran lebih lanjut di area yang lebih dalam (Syafira *et al.*, 2023).

Stasiun 2, terletak di pertengahan kawasan tambak, sehingga kondisi arus cenderung bersifat statis atau memiliki kecepatan yang rendah. Arus yang tenang ini menciptakan kondisi hidrodinamika yang memungkinkan terjadinya waktu tinggal (*retention time*) massa air yang lebih lama. Akibatnya, partikel tersuspensi yang membawa logam berat Pb memiliki kesempatan lebih besar untuk mengendap ke dasar perairan melalui proses sedimentasi dibandingkan menetap pada kolom air. Konsentrasi logam timbal yang rendah atau tidak terdeteksi juga dapat dipengaruhi oleh iklim seperti curah hujan (Parikesit *et al.*, 2025).

Stasiun 3 menunjukkan konsentrasi Pb dalam air yang paling rendah dibandingkan dengan Stasiun 1 dan 2. Rendahnya kadar Pb di Stasiun 3 juga dipengaruhi oleh dinamika perairan yang cenderung terisolasi dengan tingkat pergantian air yang rendah. Meskipun sirkulasi air yang lambat biasanya berisiko menumpuk polutan, dalam konteks ini, kondisi air yang sangat tenang di ujung tambak mempercepat proses sedimentasi logam berat ke dasar perairan. Menurut Anisyah *et al.* (2016), logam berat seperti Pb cenderung mengendap di dasar perairan karena tidak dapat terurai secara alami, sehingga membentuk endapan dalam sedimen. Ikan bandeng yang mencari makan di dasar tambak berpotensi lebih tinggi menyerap Pb dari sedimen maupun pakan alami yang telah terkontaminasi.

Analisis kandungan logam berat Pb pada jaringan tubuh ikan bandeng menunjukkan hasil yang berbanding terbalik dengan konsentrasi Pb di air. Kandungan logam berat Pb pada ikan bandeng di tambak di Pantai Tirang berkisar antara $0,983$ - $1,8$ mg/l. Namun demikian, kadar Pb di seluruh stasiun telah melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh BPOM No.9 Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat Dalam Pangan Olahan, yaitu $0,3$ mg/kg. Berbanding balik dengan hasil Pb dalam air yang tinggi di stasiun 1. Kadar Pb pada ikan di Stasiun 1 tercatat lebih rendah dibandingkan dengan Stasiun 2 dan Stasiun 3, dengan nilai rata-rata mencapai $0,983$ mg/kg. Fenomena ini mengindikasikan bahwa tingkat akumulasi logam berat pada biota tidak hanya ditentukan oleh konsentrasi polutan di kolom air pada saat pengambilan sampel, tetapi juga dipengaruhi oleh durasi paparan, kondisi fisiologis biota, dan dinamika lingkungan di masing-masing stasiun. Rendahnya akumulasi pada daging ikan di lokasi tersebut dibandingkan dengan stasiun lainnya diduga berkaitan dengan mobilitas air yang tinggi karena dekat dengan laut terbuka, sehingga ikan tidak terpapar polutan dalam kondisi statis. Namun demikian, kadar Pb di seluruh stasiun tersebut secara signifikan telah melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh BPOM No. 9 Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat Dalam Pangan Olahan, yaitu sebesar $0,3$ mg/kg.

Stasiun 2 menunjukkan konsentrasi Pb dalam daging ikan bandeng yang lebih tinggi dibandingkan stasiun 1. Tingginya kadar Pb di lokasi ini dipengaruhi oleh posisi geografis tambak yang berada di tengah kawasan, sehingga berpotensi menerima limpasan limbah (*run-off*) dari petakan tambak di sekitarnya. Selain itu, peningkatan akumulasi pada jaringan tubuh ikan di lokasi ini berkaitan erat dengan kondisi lingkungan yang fluktuatif dan sirkulasi air yang cenderung lambat di bagian tengah tambak. Karakteristik arus yang tenang di area tambak tertentu dapat mempercepat laju pengendapan logam berat, sehingga memperbesar peluang masuknya logam tersebut ke dalam rantai makanan melalui biota dasar perairan. Menurut Nuri *et al.* (2023), tingkat akumulasi logam berat dalam jaringan tubuh ikan merupakan refleksi dari konsentrasi polutan yang ada di lingkungan perairannya.

Kadar Pb dalam daging ikan bandeng di stasiun 3 menunjukkan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1 dan stasiun 2. Sedangkan, stasiun 3 memiliki konsentrasi Pb terendah di kolom air permukaan ($<0,01$ mg/l). Pengambilan sampel air umumnya dilakukan di lapisan permukaan, sementara logam timbal memiliki massa jenis yang berat dan waktu tinggal (*residence time*) yang singkat di kolom air hanya sekitar 14 hari. Di stasiun 3, yang terletak di ujung tambak dengan sirkulasi air yang sangat minim, logam Pb cepat mengalami proses sedimentasi dan flokulasi, sehingga tidak terdeteksi di permukaan namun menumpuk di dasar perairan (Ma'rifa *et al.*, 2024). Ikan bandeng adalah perenang yang aktif dan memiliki mobilitas tinggi, sehingga tidak menetap secara statis di satu titik koordinat stasiun. Tingginya kadar Pb pada daging ikan di stasiun 3 mengindikasikan bahwa ikan-ikan tersebut telah berpindah-pindah di dalam area tambak dan terpapar polutan dalam durasi yang lama. Karena logam berat bersifat kumulatif dan sulit diekskresikan, konsentrasi yang ditemukan di dalam daging merupakan hasil akumulasi dari berbagai lokasi yang pernah disinggahi ikan, ditambah dengan paparan intensif saat ikan berada di area endapan Stasiun 3 yang kaya akan sedimen terkontaminasi (Sanjivanie *et al.*, 2017).

Lokasi Stasiun 3 yang berada di bagian paling ujung tambak menyebabkan sirkulasi air menjadi lebih terbatas, sehingga memperbesar peluang terjadinya akumulasi logam berat. Menurut Ma'rifa *et al.* (2024), logam Pb memiliki waktu tinggal (*residence time*) yang relatif singkat di kolom air, sekitar 14 hari, sehingga cenderung cepat mengendap ke dasar

perairan. Dengan minimnya pergantian air, Pb yang terbawa dari aliran sebelumnya dapat mengendap di sedimen dan terakumulasi, sehingga meningkatkan risiko penyerapan oleh ikan melalui proses bioakumulasi.

Bioconcentration Factor (BCF)

Faktor biokonsentrasi logam berat Pb pada ikan bandeng di tambak di Pantai Tirang berkisar antara 5,9-360. Hal ini dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti perbedaan kandungan bahan organik dalam sedimen, tingkat pH, dan interaksi antara logam berat dengan partikel dalam air yang mempengaruhi ketersediaan Pb untuk diserap oleh ikan. Menurut Pradona dan Partaya (2022), aktivitas masyarakat yang dilakukan setiap hari berpotensi memberikan dampak negatif terhadap ekosistem perairan melalui masuknya bahan pencemar dan limbah hasil kegiatan ekonomi, seperti aktivitas industri serta penggunaan perahu bermotor, yang dapat menyebabkan pencemaran logam berat Pb.

Stasiun 1 memiliki hasil bersifat akumulatif rendah, yang berarti bahwa meskipun Pb terdapat dalam air, kemampuannya untuk terakumulasi dalam jaringan ikan bandeng relatif kecil. Sedangkan, stasiun 2 dan 3 memiliki hasil BCF bersifat akumulatif sedang, yang berarti bahwa meskipun Pb terdapat dalam air, kemampuannya untuk terakumulasi dalam jaringan ikan bandeng relatif sedang. BCF pada stasiun 1 merupakan stasiun yang memiliki hasil BCF terendah diantara 2 stasiun lainnya yaitu sebesar 5,9. Tinggi rendahnya kadar logam berat yang terakumulasi dalam suatu makhluk hidup berdasarkan pada urutan rantai makanan. Makhluk hidup yang berada pada tingkatan tertinggi dalam rantai makanan, maka tingkat akumulasi logam berat juga semakin tinggi (Widyawati dan Kuntjoro, 2021).

Nilai BCF yang tinggi yaitu sebesar 360 di stasiun 3 menunjukkan bahwa ikan bandeng di lokasi ini memiliki tingkat akumulasi Pb yang lebih besar dibandingkan dengan dua stasiun lainnya. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi tingginya BCF adalah kondisi perairan di Stasiun 3 yang berada di bagian paling ujung tambak dengan sirkulasi air yang lebih terbatas. Terbatasnya aliran air dapat menyebabkan logam berat seperti Pb mengendap dalam sedimen dan tersedia dalam bentuk yang lebih mudah diserap oleh biota. Selain itu, nilai BCF yang tinggi juga mengindikasikan bahwa meskipun konsentrasi Pb dalam air relatif lebih rendah dibandingkan dengan Stasiun 1 dan 2, ikan bandeng di Stasiun 3 memiliki kecenderungan lebih besar untuk mengakumulasi Pb dalam tubuhnya melalui proses bioakumulasi. Menurut Hastuti dan Alfifah (2024), kandungan logam berat dalam biota air cenderung meningkat seiring waktu karena sifatnya yang dapat terakumulasi secara biologis, sehingga biota air dapat berperan sebagai penanda tingkat pencemaran logam dalam lingkungan perairan. Bila ikan dikonsumsi, timbal yang terakumulasi dalam tubuh manusia dapat mengancam kesehatan.

Maximum Tolerable Intake (MTI)

Hasil perhitungan *Maximum Tolerable Intake* (MTI) diperoleh bahwa batas toleransi maksimum konsumsi ikan bandeng untuk orang dewasa rata-rata sebesar 0,966 kg/minggu. Rendahnya nilai MTI di Stasiun 3 menunjukkan bahwa ikan bandeng dari lokasi ini memiliki tingkat akumulasi Pb yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya, sehingga batas konsumsi yang aman bagi manusia menjadi lebih rendah. Menurut Agustina *et al.* (2019), MTI juga merupakan salah satu mekanisme untuk meminimalisasi efek logam berat terhadap kesehatan manusia. Perbedaan nilai MTI di setiap stasiun dipengaruhi oleh kadar Pb dalam daging ikan, di mana semakin tinggi kandungan Pb, semakin kecil jumlah ikan yang dapat dikonsumsi secara aman dalam seminggu. Menurut Kristian dan Rahardjo (2024), kandungan Pb pada ikan sangat berbahaya apabila dikonsumsi oleh manusia dan terakumulasi secara berlebihan pada tubuh. Apabila akumulasi logam berat khususnya timbal apabila memapar pada tubuh manusia melebihi batas aman yang telah ditetapkan akan dapat menimbulkan risiko kesehatan seperti reaksi keracunan yang dapat ditandai dengan ciri-ciri seperti pucat, rasa sakit serta kelumpuhan.

Hasil perhitungan *Maximum Tolerable Intake* (MTI) diperoleh bahwa batas toleransi maksimum konsumsi ikan bandeng untuk anak-anak rata-rata sebesar 0,290 kg/minggu. Nilai MTI tertinggi ditemukan di Stasiun 1 dengan 0,381 kg/minggu, diikuti oleh Stasiun 2 sebesar 0,279 kg/minggu, sedangkan Stasiun 3 memiliki hasil MTI terendah yaitu 0,208 kg/minggu. Nilai MTI yang lebih rendah di Stasiun 3 mengindikasikan bahwa ikan bandeng dari lokasi ini memiliki kandungan Pb yang lebih tinggi dibandingkan dengan ikan dari Stasiun 1 dan 2, sehingga jumlah konsumsi yang aman bagi anak-anak lebih terbatas. Anak-anak lebih rentan terhadap paparan logam berat dibandingkan orang dewasa karena sistem metabolisme mereka masih dalam tahap perkembangan dan memiliki tingkat penyerapan yang lebih tinggi. Menurut Shoalichin *et al.* (2022), manusia yang secara rutin mengonsumsi ikan yang telah terkontaminasi timbal akan memiliki akumulasi logam berat timbal dalam tubuhnya sehingga menyebabkan berbagai gangguan dan penyakit. Sehingga apabila ikan yang dikonsumsi oleh manusia memiliki kadar timbal lebih besar dari batas toleransi, maka akan bersifat toksik bagi tubuh manusia.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan kadar logam berat dalam tubuh ikan adalah perlakuan sebelum panen melalui proses pemberokan atau depurasi. Pemberokan dilakukan dengan menempatkan ikan pada media air bersih yang terkontrol dan bebas dari sumber pencemar logam berat dalam periode tertentu, umumnya tanpa pemberian pakan, sehingga memungkinkan terjadinya pengurangan logam berat melalui proses ekskresi dan metabolisme tubuh ikan. Efektivitas pemberokan sangat dipengaruhi oleh kualitas lingkungan perairan, seperti suhu, pH, dan oksigen terlarut, yang berperan dalam meningkatkan laju metabolisme dan detoksifikasi logam berat (Zhang *et al.*, 2019). Hastuti dan Alfifah (2024) juga menyatakan bahwa kondisi perairan yang optimal selama pemberokan dapat mempercepat penurunan akumulasi logam berat pada ikan budidaya. Namun demikian, logam berat Pb memiliki sifat persisten dan cenderung terikat kuat pada jaringan tertentu, sehingga proses pemberokan tidak selalu mampu menghilangkan Pb secara keseluruhan dari tubuh ikan (Ali *et al.*, 2020).

Masyarakat sekitar yang mengonsumsi ikan bandeng sebagai sumber pangan perlu memperhatikan jumlah dan frekuensi konsumsinya agar paparan logam berat yang masuk ke dalam tubuh tidak melebihi *Maximum Tolerable Intake* (MTI) atau batas toleransi maksimum asupan mingguan. Selain itu, ikan bandeng hasil budidaya tidak hanya dikonsumsi

oleh masyarakat sekitar, tetapi juga dipasarkan dan dikirim ke pabrik pengolahan, sehingga potensi paparan logam berat dapat meluas ke konsumen di wilayah lain. Sehubungan dengan potensi risiko paparan logam berat akibat konsumsi ikan bandeng, pemantauan secara berkala perlu dilakukan karena ikan merupakan salah satu sumber protein hewani utama bagi masyarakat, sementara keberadaan kontaminan logam berat pada ikan dapat menimbulkan dampak kesehatan yang merugikan dalam jangka panjang (Setiyoko *et al.*, 2025). Menurut Muhammad dan Sarto (2018), Untuk mengatasi potensi risiko kesehatan berdasarkan hasil *Maximum Tolerable Intake* (MTI) yang rendah, hendaknya pemerintah atau instansi terkait dapat mengurangi sumber pencemar perairan dengan menegakkan sanksi dari setiap peraturan yang ada berkenaan dengan pengelolaan limbah seperti limbah industri dan perhotelan. Serta melakukan upaya pengawasan terhadap pencemaran perairan, keamanan pangan dan masyarakat pengonsumsi biota yang berada di Pantai Tirang.

KESIMPULAN

Kesimpulan Hasil penelitian menunjukkan bahwa Konsentrasi Pb dalam air tambak menunjukkan bahwa Stasiun 1 memiliki nilai rata-rata tertinggi sebesar 0,167 mg/l, diikuti Stasiun 2 sebesar 0,07 mg/l, dan terendah pada Stasiun 3 (<0,01 mg/l). Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, konsentrasi Pb pada Stasiun 1 dan Stasiun 2 telah melebihi baku mutu yang ditetapkan. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) menunjukkan bahwa pada Stasiun 1 dan Stasiun 2 memiliki nilai <100 yang mengindikasikan tingkat akumulasi rendah, sedangkan pada Stasiun 3 berada pada kisaran $100 \leq \text{BCF} \leq 1000$ yang menunjukkan tingkat akumulasi sedang. Berdasarkan perhitungan batas konsumsi aman, rata-rata konsumsi ikan bandeng yang masih aman adalah sekitar 0,966 kg per minggu untuk orang dewasa dan 0,290 kg per minggu untuk anak-anak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan arahan, bimbingan, kritik dan saran dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D. Y., D. Suprpto, dan S. Febrianto. 2019. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) di Sungai Tenggang, Semarang, Jawa Tengah. *Management of Aquatic Resources Journal* (Maquares). 8(3): 242-249.
- Ali, H., E. Khan, dan I. Ilahi. 2020. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation*. *Journal of Chemistry*. 670305: 1–14.
- Anisyah, A. U., T. Joko, dan N. Nurjazuli. 2016. Studi Kandungan dan Beban Pencemaran Logam Timbal (Pb) pada Air Balas Kapal Barang dan Penumpang di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 4(4): 843-851.
- Clara, J., H. Haeruddin, dan D. Ayuningrum. 2022. Analisis Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Air, Sedimen, dan Tiram (*Crassostrea* sp.) di Sungai Tapak, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Jfmr (Journal Of Fisheries and Marine Research)*. 6(1): 55-65.
- Collin, M. S., S. K. Venkatraman, N. Vijayakumar, V. Kanimozhi, S. M. Arbaaz. R. S. Stacey, and S. Swamiappan. 2022. *Bioaccumulation Of Lead (Pb) And Its Effects on Human: A Review*. *Journal Of Hazardous Materials Advances*. 7. 100094.
- Dewi, M. A., D. Suprpto, dan S. Rudiyanti. 2017. Kadar Logam Berat Tembaga (Cu), Kromium (Cr) pada Sedimen dan Jaringan Lunak *Anadara Granosa* di Perairan Tambak Lorok Semarang. *Management of Aquatic Resources Journal* (MAQUARES). 6(3): 197-204.
- Food and Agriculture Organization/World Health Organization. 2004. *Summary of Evaluations Ferformade by the Jint FAO/WHO Expert Committee of Food Additives* (JECFA 1956-2003). United State (US): International Life Sciences InstitutePress.
- Haeruddin, H., I. Widowati, A. Rahman, M. Rumanti, dan S. B. Iryanthony. 2021. *Bioconcentration of Lead (Pb) and Cadmium (Cd) in Green-Lipped Mussels (Perna viridis) in the Coastal Waters of Semarang Bay, Indonesia*. *AACL Bioflux*. 14(3): 1581-1595.
- Hastuti, E., dan Y. Alfifah. 2024. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal pada Ikan Bandeng yang Dibudidayakan di Tambak Kota Semarang. *Jkm (Jurnal Kesehatan Masyarakat) Cendekia Utama*. 12(1): 42-53.
- Kristian, G., dan D. Rahardjo. 2024. Analisis Risiko Kesehatan Konsenterasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan di Tempat Pelelangan Ikan (TPI) di Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen. *Jurnal Ilmiah Kajian Humaniora*. 8(6): 48-63.
- Kusumadiani, T. A., S. Redjeki, dan B. Yulianto. 2024. Kajian Tingkat Timbal (Pb) di Perairan Pantai Semarang: Studi Kasus pada Kerang Darah. *Journal of Marine Research*. 13(3): 502-510.
- Larasati, N. N., S. Y. Wulandari, L. Maslukah, M. Zainuri, dan K. Kunarso. 2021. Kandungan Pencemar Detejen dan Kualitas Air di Perairan Muara Sungai Tapak, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*. 3(1): 1-13.
- Ma'rifa, A., N.N. Dewi, dan S. Adriyanto. 2024. Analisis Bioakumulasi Logam Berat (Pb, As) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) di Tambak Tradisional Desa Banjar Kemuning, Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Perikanan*. 14(1): 93-102.

- Martuti, N. K. T., B. Widianarko, dan B. Yulianto. 2016. *Copper Accumulations on Avicennia marina* in Tapak, Tugurejo, Semarang, Indonesia. *Water Technology Journal*. 4(1): 40-45.
- Muhammad, S., dan S. Sarto. 2018. Analisis Risiko Kesehatan Akibat Paparan Timbal (Pb) dalam Biota Laut pada Masyarakat Sekitar Teluk Kendari. *Berita Kedokteran Masyarakat*. 34(10): 385-393.
- Parikesit, P. A., N. N. Dewi, N. V. Hidayati, W. Octoriani, dan S. Andriyono. 2025. Studi Komparasi Bioakumulasi Logam Berat Pb Pada Tambak Tradisional Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) Di Pantura Jawa Timur: Gresik, Sidoarjo, dan Pasuruan. *Journal Of Aquatropica Asia*. 10(1): 85-93.
- Peraturan Pemerintah, R. I. 2021. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Romdhonia, N. F., R. S. Pujiati, dan P. T. Ningrum. 2023. Analisis Kandungan Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Ikan Belanak di Wilayah Industri Pesisir Kecamatan Manyar dan Gresik. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*. 19(3): 211-221.
- Raharjo, P., M. Raharjo, dan O. Setiani. 2018. Analisis Risiko Kesehatan dan Kadar Timbal dalam Darah: (Studi Pada Masyarakat yang Mengonsumsi Tiram Bakau (*Crassostrea gigas*) di Sungai Tapak Kecamatan Tugu Kota Semarang). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 17(1): 9-15.
- Salim, A. N., dan L. Taha. 2023. Analisis Risiko Timbal (PB) dalam Tiram (*Crassostrea* sp.) Terhadap Pola Asupan Masyarakat di Kawasan Estuaria Kelurahan Buloa Kecamatan Tallo Kota Makassar. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*. 23(2): 332-342.
- Sanjivanie, H. A., N. K. T. Martuti, dan S. Ngabekti. 2017. Bioakumulasi Kadmium pada Ikan Bandeng di Tambak Wilayah Tapak Semarang. *Life Science*. 6(1): 18-23.
- Selanno, D. A., and L. Siahainenia. 2023. *Bioconcentration of Plumbum (Lead) and Cadmium on Mangrove Crab Scylla Spp. in Mangrove Ecosystem Passo Ambon Indonesia*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1207(1): 012026.
- Setiyoko, R., S. B. Annisa, M. Ikbali, A. T. Kurniawan, T. Azi, dan M. T. N. Situmorang. 2025. Monitoring Kualitas Ikan Laut Dengan Parameter Logam Cd Dan Pb Di Provinsi DKI Jakarta. *Journal Of Sciencetech Research and Development*. 7(1): 1261-1267.
- Shoalichin, L. M., K. Khairuddin, dan M. Yamin. 2022. *Analisis Of Lead (Pb) Heavy Metal Content in Climbing Perch Fish (Anabas Testudineus) Derived from Rawa Taliwang Lake, West Sumbawa Regency*. *Jurnal Biologi Tropis*. 22(3): 834-839.
- Siringoringo, V. T., D. Pringgenies, dan A. Ambariyanto. 2022. Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb) pada *Perna viridis* di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*. 11(3): 539-546.
- Standar Nasional Indonesia, SNI, 8005. 2014. Produksi Ikan Bandeng (*Chanos Chanos*, Forsskal 1792) Ukuran Konsumsi Secara Semu Intensif di Tambak.
- Standar Nasional Indonesia, SNI, 6989.84:2019. Air dan Air Limbah - Bagian 84: Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total Secara AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)-flame.
- Suryani, A., K. Nirmala, dan D. Djokosetyanto. 2018. Akumulasi Logam Berat (Timbal dan Tembaga) pada Air, Sedimen dan Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsskal, 1775) di Pertambakan Ikan Bandeng Dukuh Tapak, Kelurahan Tugurejo, Kota Semarang. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(3): 271-278.
- Syafira, A. R., I. R. Ritonga, M. S. Paputungan, dan I. Suryana. 2023. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Sedimen Mangrove di Kawasan Mangrove Center Graha Indah, Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Perikanan Unram*. 13(1): 220-231.
- Triyanto, H. C., R. T. A. Nuraini, dan D. Haryanti. 2024. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Air, Sedimen, dan Lamun (*Thalassia hemprichii*) di Pulau Kelapa Dua, Kepulauan Seribu. *Journal of Marine Research*. 13(1): 37-44.
- Widyawati, M. E., dan S. Kuntjoro. 2021. Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Air di Sungai Buntung Kabupaten Sidoarjo. *Lenterabio: Berkala Ilmiah Biologi*. 10(1): 77-85.
- Zhang, C., Q. Qiao, J. D. A. Piper, and B. Huang. 2019. *Assessment of Heavy Metal Pollution from Sediment and Water in the Jinsha River Basin, China*. *Science of the Total Environment*. 646: 1123-1131.