

STUDI KOMPARASI BIOAKUMULASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) PADA TAMBAK TRADISIONAL IKAN BANDENG (*Chanos chanos*) DI PANTURA JAWA TIMUR: GRESIK, SIDOARJO, DAN PASURUAN

COMPARATIVE STUDY OF LEAD (PB) HEAVY METAL BIOACCUMULATION IN TRADITIONAL MILKFISH (*Chanos chanos*) PONDS ON THE NORTH COAST OF EAST JAVA: GRESIK, SIDOARJO, AND PASURUAN

Prismadian Aji Parikesit¹, Nina Nurmalia Dewi², Nuning Vita Hidayati³, Widyanti Octoriani⁴, Sapto Andriyono^{5,*}

¹Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

²Departemen Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

³Program Magister Sumberdaya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia

⁴Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Tidar, Magelang, Indonesia

⁵Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

*email penulis korespondensi: sapto.andriyono@fpk.unair.ac.id

Abstrak

Ikan bandeng (*Chanos chanos*) merupakan potensi perikanan payau. Budidaya ikan bandeng di Jawa Timur masih menggunakan sistem tradisional, dimana air baku tambak menggunakan aliran air sungai setempat dan pasang surut air laut. Budidaya ikan bandeng secara tradisional memiliki kelemahan yaitu sulit menjaga kualitas air sehingga mudah tercemar oleh limbah rumah tangga maupun limbah industri. Bioakumulasi logam berat merupakan proses peningkatan konsentrasi suatu zat yang masuk kedalam tubuh makhluk hidup. Salah satu logam berat yang dapat mencemari perairan yaitu logam timbal (Pb). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi limbah timbal (Pb) yang terkandung pada air, sedimen, dan daging ikan bandeng pada tambak tradisional Desa Watuagung (Gresik), Desa Kalanganyar (Sidoarjo), dan Desa Jarangan (Pasuruan). Selain itu, untuk mengetahui tingkat pencemaran Pb di Desa Watuagung (Gresik), Desa Kalanganyar (Sidoarjo), dan Desa Jarangan (Pasuruan). Metode penelitian ini dilakukan dengan mengambil data secara acak (*purposive random sampling*) pada tiga lokasi yang berbeda dengan tiga stasiun pada setiap lokasi yang diuji. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kandungan logam Pb pada air dan daging ikan bandeng tidak terdeteksi, sedangkan pada sedimen terjadi akumulasi logam Pb dengan kadar masih dibawah baku mutu dan masih layak untuk kegiatan budidaya ikan bandeng. Tingkat pencemaran logam Pb pada ketiga lokasi tambak (Gresik), (Sidoarjo), dan (Pasuruan) masih tergolong aman. Nilai indeks pencemaran Igeo, CF, dan BCF masih dibawah ambang batas dan masih tergolong aman.

Kata Kunci: Ikan Bandeng, Logam Berat, Timbal, Bioakumulasi

Abstract

*Milkfish (*Chanos chanos*) is a potential brackish water fishery. Milkfish cultivation in East Java still uses a traditional system, where the raw water of the pond uses local river water flow and sea tides. Traditional milkfish cultivation has the disadvantage that it is difficult to maintain water quality so that it is easily contaminated by household waste and industrial waste. Bioaccumulation of heavy metals is the process of increasing the concentration of a substance that enters the body of a living creature. One of the heavy metals that can pollute waters is lead. This study aims to determine the concentration of lead (Pb) waste contained in water, sediment, and milkfish meat in traditional ponds in Watuagung Village (Gresik), Kalanganyar Village (Sidoarjo), and Jarangan Village (Pasuruan). In addition, to determine the level of Pb pollution in Watuagung Village (Gresik), Kalanganyar Village (Sidoarjo), and Jarangan Village (Pasuruan). This research method is by purposive random sampling by taking samples at three different locations, each location has three stations that are tested. The results of this study, the Pb metal content in water and milkfish meat was not detected, in the sediment there was an accumulation of Pb metal but the levels were still below the quality standards and were still suitable for milkfish cultivation activities. The level of Pb metal pollution in the three pond locations (Gresik), (Sidoarjo), and (Pasuruan) was still relatively safe. The pollution index Igeo, CF, and BCF were still below the quality standards and were still safe.*

Keywords: Milkfish, Heavy Metal, Lead, Bioaccumulation

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki prospek dan potensi yang cukup besar dibidang perikanan dan kelautan, salah satu komoditi unggulan sektor perikanan payau adalah ikan bandeng (Huniyah *et al.*, 2015). Ikan bandeng (*Chanos chanos*) merupakan salah satu ikan yang memiliki ekonomis tinggi dan banyak dipelihara di tambak air payau di Indonesia. Bandeng merupakan ikan konsumsi yang memiliki protein tinggi dan harganya relatif murah bagi masyarakat Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, budidaya bandeng telah berkembang pesat (Mas'ud, 2011). Keunggulan ikan bandeng (*Chanos chanos*) sebagai komoditas budidaya unggulan yakni dapat tumbuh dengan baik dilingkungan perairan Indonesia, selain itu bandeng juga mampu beradaptasi dengan salinitas yang tinggi (0-158 ppt), ikan ini juga tidak bersifat kanibal dan lebih tahan terhadap penyakit (Marhawati dan Ma'ruf, 2018).

Secara umum budidaya ikan bandeng dibedakan menjadi 2 yaitu sistem tradisional dan sistem intensif. Budidaya ikan bandeng sistem tradisional memerlukan waktu yang lebih lama dan tidak efisien. Tambak tradisional biaya operasionalnya lebih murah dan tidak mengeluarkan biaya besar untuk pakan. Namun budidaya tradisional memiliki kelemahan yaitu menjaga kualitas air (Ula dan Kusnadi, 2017). Pembudidaya di desa masih banyak yang menggunakan sistem tradisional, sehingga baku mutu air tambak langsung menggunakan aliran air sungai setempat. Maka dari itu, sumber cemaran limbah logam berat didapat langsung dari aktivitas daratan disekitar sungai atau sumber perairan tambak (Ma'rifa *et al.*, 2024).

Produksi bandeng di Indonesia menunjukkan trend yang positif dari tahun ke tahun berdasarkan data Dinas Perikanan tahun 2017, Jawa Timur merupakan sentra produksi bandeng terbesar dengan hasil produksi sebesar 311.666 Ton. Salah satu kabupaten yang menjadi sentra bandeng di Provinsi Jawa Timur adalah Kabupaten Gresik dengan luas lahan tambak tahun 2017 mencapai 32.000 hektare atau 46% dari seluruh luas tambak yang terdapat di Jawa Timur dan total produksi ikan bandeng di Kabupaten Gresik mencapai angka 53.844 Ton (BPS, 2019). Jumlah produksi ikan bandeng setiap tahunnya mengalami peningkatan. Selain itu, Kabupaten Sidoarjo juga merupakan kawasan yang memiliki potensi dalam sektor perikanan tambak hasilnya berupa udang dan bandeng. Total luas tambak khususnya di Kabupaten Sidoarjo mencapai 15.539 hektar atau sebesar 21,9% dari total luasan wilayah di Kabupaten Sidoarjo (Shofa dan Navastara, 2015). Bandeng menjadi komoditas

unggulan di Kabupaten Sidoarjo dengan total produksi pada tahun 2021 mencapai 34.548.900 kg (BPS, 2022). Pada tahun 2017, Kabupaten Pasuruan mampu memproduksi ikan bandeng dengan total 12.955 ton dan menjadikan kabupaten ini menjadi penyumbang hasil dari produksi ikan bandeng terbesar ke 5 di Jawa Timur dan memiliki pertumbuhan rata-rata 3.41% tiap tahunnya (BPS, 2019).

Budidaya bandeng yang baik umumnya dilakukan pada media air tambak yang bersih dan tidak tercemar bahan asing. Kualitas air dan lingkungan sekitar dapat mempengaruhi dan menentukan kualitas bandeng yang dibudaya. Ikan bandeng menjadi komoditi yang berpotensi dirugikan oleh pencemaran serta penurunan kualitas air tambak. Penurunan mutu air pada kegiatan budidaya dapat berpengaruh terhadap keberhasilan budidaya (Scabra dan Setyowati, 2019). Permasalahan yang dapat dijumpai dalam tambak tradisional yaitu pencemaran logam berat yang disebabkan oleh aktivitas pabrik industri dan limbah rumah tangga yang masuk ke perairan.

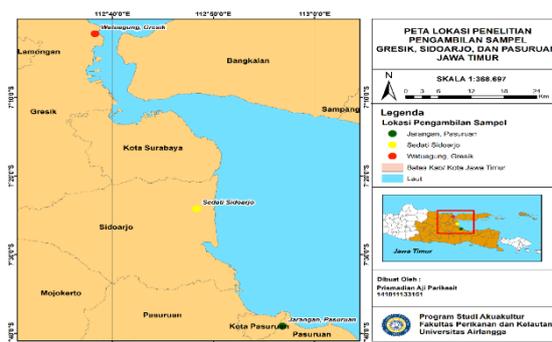
Bioakumulasi merupakan proses peningkatan konsentrasi suatu zat melalui rantai makan yang masuk ke dalam tubuh hewan. Selain masuk melalui makanan, logam berat dapat juga masuk melalui insang dan permukaan kulit (Triastuti *et al.*, 2015). Logam berat biasanya ditemukan sangat sedikit dalam air. Secara alamiah, yaitu kurang dari 1 µg/l. Di samping itu jenis air (air tawar, air payau, dan air laut) juga mempengaruhi kandungan logam di dalamnya (Darmono, 2001). Salah satu logam berat yang bisa mencemari perairan adalah Timbal (Pb). Timbal merupakan salah satu logam berat non esensial yang sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (toksisitas) pada makhluk hidup. Racun ini bersifat kumulatif, artinya sifat racunnya akan timbul apabila terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar dalam tubuh makhluk hidup. Timbal diserap oleh organisme air dapat melalui tiga cara yakni melalui alat pernapasan (insang), permukaan tubuh, dan dari makanan atau air melalui sistem pencernaan (Darmono, 1995).

Tujuan dilakukannya penelitian ini, yaitu untuk mengetahui konsentrasi limbah timbal (Pb) yang terkandung dalam air, sedimen dan daging ikan bandeng pada tambak tradisional Desa Watuagung (Gresik), Desa Kalanganyar Sedati (Sidoarjo), dan Desa Jarangan (Pasuruan). Selain itu untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat timbal (Pb) di Desa Watuagung (Gresik), Desa Kalanganyar Sedati (Sidoarjo), dan Desa Jarangan (Pasuruan).

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024, dengan lokasi pengambilan sampel dilakukan di tambak bandeng tradisional. Pengambilan sampel dilakukan di tiga lokasi berbeda yaitu Desa Watuagung, Kecamatan Bungah, Kabupaten Gresik (7°01'56.0"S 112°38'16.9"E), Desa Kalanganyar, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo (7°24'10.5"S 112°48'20.6"E) dan Desa Jarangan, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Pasuruan (7°39'05.5"S 112°56'49.5"E) (Gambar 1). Untuk pengujian logam berat timbal dilakukan di Laboratorium PT. Angler BioChemLab Surabaya.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *sechi disk* untuk mengukur kecerahan, pH meter untuk mengukur keasaman pH air, DO meter untuk mengukur DO dan suhu, refraktometer untuk mengukur salinitas, ember / wadah untuk menampung sampel sedimen, plastik untuk tempat wadah ikan bandeng dan sedimen, *coolbox* untuk penyimpanan sampel selama perjalanan dan botol *Polyethylen* atau botol kaca untuk menampung sampel air tambak.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ikan bandeng, sedimen, dan air kolam yang diambil di tambak tradisional dari ketiga lokasi. Selain itu penambahan es batu untuk proses transportasi agar suhu terjaga dan tidak berubah.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk pengambilan sampel yang diambil untuk diteliti yaitu menggunakan metode *purposive random sampling* (Notoadmojo, 2010). *Purposive random sampling* digunakan untuk mengambil data secara acak tanpa menghitung jarak dengan asumsi bahwa sampel dapat mewakili suatu wilayah dan mampu menggambarkan lokasi penelitian secara keseluruhan. Pengambilan sampel air, sedimen dan ikan bandeng dilakukan di tiga tambak yang berbeda setiap lokasinya.

Pengambilan Sampel Ikan Bandeng

Sampel ikan bandeng diambil dari tiga lokasi berbeda dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Lokasi tambak bandeng berada di Desa Watuagung Gresik, Desa Kalanganyar Sedati, dan Desa Jarangan Pasuruan dengan menggunakan metode *random sampling* yaitu pengambilan sampel secara acak. Terdapat tiga titik pengambilan sampel, sampel diambil kurang lebih 1 kg atau 5% dari populasi tambak (Prasetya, 2004).

Pengambilan Sampel Air

Pengambilan sampel air menggunakan botol kaca atau botol *polyethylene* sebanyak 500ml disetiap titik pengambilan. Jumlah sampel ini diharapkan cukup untuk analisis parameter yang diperlukan sesuai penelitian sebelumnya. Sampel air yang terkumpul kemudian dimasukkan kedalam *coolbox* dan diberi es batu agar tidak terjadi perubahan secara biologi dan kimiawi, selanjutnya *box* ditransportasikan ke laboratorium untuk dilakukan pengujian kandungan logam berat timbal (Pb).

Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen tambak ikan bandeng dapat menggunakan ember atau pipa PVC dengan kedalaman yang bervariasi. Jumlah sedimen yang diambil sebanyak 300gram disetiap titik pengambilan sampel dan kemudian dimasukkan kedalam plastik klip. Plastik berisi sedimen ditransportasikan ke laboratorium untuk pengamatan logam berat timbal (Pb) (Notoadmojo, 2010).

Pengujian Sampel Laboratorium

Pengujian logam berat Timbal (Pb) pada sampel daging ikan bandeng, sampel air tambak, dan sampel sedimen diuji di laboratorium. Analisa data menggunakan acuan *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) (Tran dan Pham, 2015).

Analisis Data

Geo-Accumulation Index (Igeo)

Prediksi pengayaan sedimen oleh unsur logam dapat terjadi dengan berbagai cara, salah satu cara yang umum adalah dengan menggunakan indek geoakumulasi (*Geoaccumulation Index*, I-geo) (Ahmad, 2013). Tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen ditentukan dengan menggunakan Kriteria Index Geoakumulasi: Igeo < 0 (tidak tercemar); 0 < Igeo < 1 (tidak tercemar hingga sedang); 1 < Igeo < 2 (pencemaran sedang); 2 < Igeo < 3 (pencemaran sedang hingga tinggi); 3 < Igeo < 4 (pencemaran tinggi); 4 < Igeo < 5 (pencemaran sangat tinggi); dan 5 < Igeo < 6 (sangat tercemar) (Rabee *et al.*, 2011).

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \frac{[C_n]}{1.5 B_n}$$

C_n : konsentrasi logam sampel pada sedimen
B_n : konsentrasi standart logam berat di alam (20 mg/kg (Hakanson, 1980))

Contamination Factor (CF)

CF merupakan rasio konsentrasi logam yang terukur dalam sedimen dengan konsentrasi logam yang secara alami ada dalam kerak bumi (*background*). Kategori nilai CF dibagi ke dalam empat kelas yaitu tingkat kontaminasi rendah (CF<1), kontaminasi sedang (1≤CF< 3), kontaminasi cukup (3≤CF<6), dan kontaminasi sangat tinggi (CF≥6). Menurut Raj *et al.*, (2013) CF dapat dihitung dengan rumus:

$$CF = \frac{C_n}{B_n}$$

C_n : Konsentrasi logam berat pada sedimen
B_n : Konsentrasi standar logam berat di alam (Pb = 20mg/kg (Hakanson, 1980))

Bioconcentration Factor (BCF)

Menurut Lamai *et al.* (2005), BCF merupakan parameter yang berguna untuk mengevaluasi potensi biota dalam mengakumulasi logam. Nilai BCF dihitung berdasarkan hasil bagi antara kadar logam berat yang terakumulasi pada daging ikan bandeng dengan kadar logam berat di air. Amriani dan Hardiyanto (2011) menyatakan bahwa nilai BCF memiliki tiga kategori yaitu 1) Nilai BCF lebih >1000 masuk dalam kategori sifat akumulatif tinggi, 2) Nilai BCF 100-1000 masuk dalam kategori sifat akumulatif sedang, 3) Nilai BCF <100 masuk dalam akumulatif rendah.

Tabel 1. Uji Logam Pb Pada Air Tambak

No	Lokasi	Hasil Uji Pb (mg/l)			Rata-rata	Baku Mutu** (mg/l)	Deskripsi
		T1	T2	T3			
1	Desa Watuagung, Gresik	ND*	ND*	ND*	ND*	0,008	Tidak Melampaui
2	Desa Kalanganyar, Sidoarjo	ND*	ND*	ND*	ND*		Tidak Melampaui
3	Desa Jarangan, Pasuruan	ND*	ND*	ND*	ND*		Tidak Melampaui

*ND= Non Detected

**KepMen LH no. 51 Tahun 2004

Tabel 2. Uji Logam Pb Pada Sedimen

No	Lokasi	Hasil Uji Pb (mg/kg)			Rata-rata	Baku Mutu* (mg/kg)	Deskripsi
		T1	T2	T3			
1	Desa Watuagung, Gresik	13,5	10,4	12,4	12,1	50	Tidak Melampaui
2	Desa Kalanganyar, Sidoarjo	21,5	10,3	13,9	15,2		Tidak Melampaui
3	Desa Jarangan, Pasuruan	12,6	10,2	13,9	12,2		Tidak Melampaui

*ANZECC (Australian and New Zealand Environment and Conversation Council), 2000

Tabel 3. Uji Logam Pb Pada Daging Ikan Bandeng

No	Lokasi	Hasil Uji Timbal (mg/kg)			Rata-rata	Baku Mutu** (mg/kg)	Deskripsi
		T1	T2	T3			
1	Desa Watuagung Gresik	ND*	ND*	ND*	ND*	0,30	Tidak Melampaui
2	Desa Kalanganyar Sidoarjo	ND*	ND*	ND*	ND*		Tidak Melampaui
3	Desa Jarangan Pasuruan	ND*	ND*	ND*	ND*		Tidak Melampaui

*ND= Not Detected **SNI No. 7387, 2009

$$BCF = \frac{C_{fish}}{C_{water}} \text{ and } BCF = \frac{C_{fish}}{C_{sediment}}$$

C_{fish} : Konsentrasi logam berat yang terukur pada sampel ikan

C_{water} : Konsentrasi logam berat dalam air.

C_{sediment} : Konsentrasi logam berat yang terukur dalam sedimen.

HASIL

Pemeriksaan Logam Pb Pada Air Tambak

Pada penelitian telah berhasil melakukan uji laboratorium logam berat timbal (Pb) pada media air tambak tradisional ikan bandeng (*Chanos chanos*) di tiga lokasi dan tiga stasiun, yaitu di Desa Watuagung Kecamatan Bungah Gresik, Desa Kalanganyar Sedati Sidoarjo, dan Desa Jarangan Kecamatan Rejoso Pasuruan. Berikut hasil pemeriksaan air tambak dapat dilihat pada Tabel 1.

Pemeriksaan Logam Pb Pada Sedimen

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan, didapatkan hasil pemeriksaan pada sedimen di tiga lokasi dan tiga stasiun yang berada di Desa Watuagung Kecamatan Bungah Gresik, Desa Kalanganyar Kecamatan Sedati Sidoarjo, dan Desa Jarangan Kecamatan Rejoso Pasuruan. Berikut hasil pemeriksaan sedimen dapat dilihat pada Tabel 2.

Logam Pb Pada Daging Ikan Bandeng

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan, diperoleh data pada pemeriksaan daging ikan pada ketiga lokasi dan tiga stasiun. Berikut data hasil pemeriksaan daging ikan bandeng dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 4. Perhitungan Indeks Pencemaran Logam Pb

No	Lokasi	Indeks Pencemaran			
		Igeo	CF	BCF _{air}	BCF _{sedimen}
1	Desa Watuagung Gresik	0,1214	0,605	Tidak Dapat Dihitung	Tidak Dapat Dihitung
2	Desa Kalanganyar Sidoarjo	0,1525	0,76	Tidak Dapat Dihitung	Tidak Dapat Dihitung
3	Desa Jarangan Pasuruan	0,1224	0,61	Tidak Dapat Dihitung	Tidak Dapat Dihitung

Tabel 5. Parameter Kualitas Air

No	Parameter Kualitas Air	Lokasi Stasiun			Nilai Optimal
		Gresik	Sidoarjo	Pasuruan	
1	Suhu	35,2°C	35,7°C	37,8°C	28-32°C (SNI, 2014)
2	pH	7,7	8,1	8,4	6,5-9 (Irawan dan Handayani, 2021)
3	Salinitas	33,3 ppt	34,3 ppt	34,3 ppt	15-25 ppt (Arfiati <i>et al.</i> , 2022)
4	DO	5,68 mg/l	5,64 mg/l	5,48 mg/l	>3,5 mg/l (SNI, 2014)
5	Kecerahan	27,3 cm	35,8 cm	38,5 cm	30-45 cm (Sudinno <i>et al.</i> , 2015)

Indeks Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb)

Nilai Igeo logam berat timbal (Pb) pada ketiga tambak Gresik, Sidoarjo dan Pasuruan masing-masing adalah 0,1214, 0,1525, dan 0,1224. Nilai Igeo ketiga lokasi berada diantara $0 < Igeo < 1$, termasuk kategori tidak tercemar hingga tercemar sedang. Sedangkan untuk nilai CF tambak Gresik, Sidoarjo dan Pasuruan masing-masing didapatkan nilai 0,605, 0,76, dan 0,61. Nilai CF ketiga lokasi tambak termasuk kedalam kelas tingkat kontaminasi rendah karena CF berada dibawah 1. Untuk BCF_{air} dan BCF_{sedimen} tidak dapat dihitung karena tidak terdeteksinya logam berat timbal (Pb) pada air tambak dan daging ikan bandeng (*Chanos chanos*).

Nilai Parameter Kualitas Air Tambak

Hasil pengukuran kualitas air tambak secara insitu meliputi suhu, pH, salinitas, oksigen terlarut (DO) dan kecerahan. Secara umum kualitas air tambak di ketiga lokasi penelitian masih berada pada kondisi optimal untuk mendukung kehidupan ikan. Dari parameter diatas, rata-rata suhu dan salinitas ketiga lokasi pengambilan sampel telah melewati batas optimal yaitu $> 32^{\circ}\text{C}$ dan 15-25 ppt. Nilai rata-rata parameter lainnya seperti pH, oksigen terlarut (DO), dan kecerahan masih dibawah nilai optimal, dan masih terbilang aman untuk budidaya ikan bandeng. Air merupakan media untuk kehidupan ikan, sehingga kualitas air yang baik dan optimal diperlukan untuk kegiatan budidaya ikan bandeng.

PEMBAHASAN

Hasil pengujian kandungan logam timbal (Pb) pada ketiga lokasi sampling tidak terdeteksi (ND) dan berada dibawah baku mutu untuk cemaran kandungan logam timbal pada air tambak sebesar 0,008 mg/l menurut KepMen LH nomor 51 tahun 2004. Rendahnya konsentrasi ini diperkirakan logam berat akan terakumulasi

pada sedimen dibandingkan pada kolom air. Konsentrasi logam timbal yang rendah atau tidak terdeteksi juga dapat dipengaruhi oleh iklim seperti curah hujan. Pengambilan sampel pada bulan November termasuk curah hujan yang cukup tinggi, sehingga terjadi peningkatan volume air dan penurunan kelarutan konsentrasi logam timbal (Darmono, 1995).

Sumber cemaran logam berat Pb yang paling memungkinkan pada kawasan ini adalah dari bahan bakar minyak dan asap kendaraan. Kawasan Gresik (Werdianti, 2018), Sidoarjo (Khasanah *et al.*, 2021) dan Pasuruan (Santika, 2023) yang merupakan kawasan sub urban dan menjadi salah satu kawasan industri di Jawa Timur. Karakteristik bahan bakar kendaraan di Indonesia masih memiliki kandungan Pb yang terbawa asap kendaraan Bersama debu-debu tersapu dan masuk dalam perairan (Gusnita, 2012).

Selain itu, pembudidaya di ketiga lokasi masih memakai sistem tradisional dalam budidaya ikan bandeng. Maka dari itu, air tambak yang digunakan untuk proses budidaya masih mengandalkan pasang surut air laut dan menggunakan aliran air dari sungai sekitar tambak. Pencemaran logam Pb didapat dari aktivitas sekitar tambak seperti limbah baterai dan limbah cat (Nurcahyo *et al.*, 2023), kemudian aktivitas limbah industri seperti sparepart mesin kapal dan aktivitas perkapalan berupa oli kapal, bahan bakar kapal yang tumpah (Wulandari *et al.*, 2012), dan cat pelapis kapal. Tambak di Desa Watuagung, Gresik menggunakan air dari ujung aliran sungai Bengawan Solo yang bermuara ke Laut Utara Jawa Timur. Cemaran logam Pb di Desa Watuagung didapat dari limbah rumah tangga seperti limbah buangan cat, selain itu adanya aktivitas pabrik permesinan kapal yang tidak jauh dari lokasi tambak dan aktivitas perkapalan di pelabuhan JIPE Gresik yang merupakan salah satu pelabuhan tersibuk di Jawa Timur (Rifqi, 2017). Air baku tambak di

Desa Kalanganyar, Sidoarjo menggunakan air dari Kali Tanjung Utara dan Sungai Sedati yang bermuara ke Selat Madura. Sumber cemaran limbah logam Pb didapat langsung dari aktivitas sekitar kali Tanjung Utara, Sungai Sedati, dan Selat Madura melalui aliran air (Ma'arifa *et al.*, 2024). Pb didapat dari limbah rumah tangga seperti baterai, cat, aktivitas perkapalan nelayan sekitar atau limbah industri sekitar Kalanganyar seperti pembuatan baja galvanis. Air baku tambak desa Jarangan Pasuruan menggunakan air dari sungai Kalisodo (Ulumudin dan Purnomo, 2022). Sumber cemaran logam Pb didapat langsung dari aktivitas sekitar tambak seperti limbah rumah tangga berupa baterai, oli atau bahan bakar perkapalan oleh nelayan. Selain itu aktivitas industri seperti pembuatan baterai elektronik dan pembuatan bahan baku mobil yang tidak jauh dari lokasi tambak juga merupakan salah satu sumber cemaran logam Pb. Proses masuknya timbal ke perairan dapat melalui rantai makanan, insang, atau difusi melalui permukaan kulit sehingga terserap oleh tubuh organisme, pada konsentrasi tertentu dapat merusak organ tubuh ikan bandeng (Awaluddin *et al.*, 2020).

Pada tabel 2 nilai logam Pb pada sedimen didapat rata-rata 12,1 mg/kg, 15,2 mg/kg dan 12,2 mg/kg. Konsentrasi rata-rata ketiga lokasi penelitian masih berada dibawah baku mutu berdasarkan Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (Anzecc, 2000) yang menetapkan batas maksimum logam berat timbal (Pb) pada sedimen tambak sebesar 50 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa tambak pada ketiga lokasi penelitian masih tergolong layak dan aman untuk budidaya ikan bandeng. Logam Pb mudah mengendap dalam sedimen dan mudah menghilang karena logam Pb memiliki kelarutan yang rendah dalam air sehingga mudah mengendap dan terakumulasi pada sedimen (Binkowski, 2017).

Pb dalam air tambak bandeng dapat teradsorpsi ke dalam sedimen. Proses ini didukung oleh keberadaan bahan organik dan partikulat lain dalam air yang dapat mengikat timbal dan menyebabkannya mengendap di dasar kolam (Mingdong *et al.*, 2018). Pb memiliki residence time yang cukup singkat sekitar 14 hari dalam perairan dan berat atom Pb senilai 207,20 g/mol memudahkan logam ini mengendap pada sedimen (Anggraeny, 2010). Proses masuknya logam Pb ke dalam sedimen karena bersumber dari kegiatan antropogenik manusia kemudian masuk ke lingkungan perairan dalam bentuk larut maupun partikulat dan akan mengendap di dasar tambak (Awaluddin *et al.*, 2020). Manajemen dan pergantian kualitas air yang tepat dalam sistem budidaya bandeng dapat

membantu mengencerkan dan menghilangkan kontaminan, termasuk Pb dari air.

Logam berat timbal (Pb) pada air tambak di ketiga lokasi masih berada dibawah baku mutu 0,008 mg/l menurut KepMen LH nomor 51 tahun 2004, berarti air tambak masih aman untuk biota air. Namun apabila melihat nilai Pb pada sedimen, terdapat kandungan logam Pb yang berarti bahwa ada akumulasi logam berat. Akumulasi kandungan Pb pada sedimen jauh lebih tinggi dibandingkan pada air, karena zat logam berat umumnya akan terbawa oleh partikel halus seperti pasir sebelum akhirnya mengendap pada sedimen tambak. Proses sedimentasi akan terjadi secara terus-menerus, sehingga menyebabkan akumulasi logam berat dalam sedimen meningkat (Mahardika dan Salami, 2012).

Hasil logam timbal (Pb) dalam kandungan daging ikan bandeng (*Chanos chanos*) pada ketiga lokasi penelitian tidak berhasil ditemukan (ND). Sebagaimana yang telah ditetapkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7387 (2009) tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam ikan dan hasil olahan yaitu 0,30 mg/kg, sedangkan dari hasil pengujian pada ketiga lokasi penelitian tidak didapatkan hasil logam timbal (Pb) pada daging ikan bandeng. Akumulasi logam berat pada daging ikan bandeng bisa terjadi secara biologis melalui rantai makanan. Plankton yang menjadi pakan alami ikan bandeng menyerap zat cemaran logam berat, kemudian ikan menyerap zat logam berat dari proses biologis yang dilakukan yaitu dengan cara mengonsumsi plankton yang telah mengalami bioakumulasi logam berat (Martuti, 2012). Zat logam Pb yang telah terserap oleh ikan bandeng, akan masuk terakumulasi dalam tubuh dan jaringan organ ikan dalam jangka waktu yang cukup lama. Mekanisme masuknya logam berat Pb pada ikan dimungkinkan dari media air yang langsung masuk dan bersinggungan dengan insang dan organ mulut ikan. Kandungan logam berat pada ikan juga dapat masuk melalui rantai makanan (plankton dan detritus di sedimen) yang termakan oleh ikan (Awaluddin *et al.*, 2020). Asupan Pb yang aman pada manusia setiap hari menurut WHO adalah 0.2-0.4 mg/hari. Dengan asumsi bahwa setiap orang mengonsumsi ikan sebanyak 250gram/hari. Berdasarkan data ini, maka hasil uji ikan yang berasal dari Desa Watuagung, Desa Kalanganyar, dan Desa Jarangan masih layak untuk dikonsumsi oleh manusia (Diah, 2016).

Nilai Igeo logam berat Pb pada ketiga lokasi tambak penelitian adalah 0,1214, 0,1525, dan 0,1224 (Tabel 4). Berdasarkan status indeks geoakumulasi yang dikategorikan oleh Rabee *et al* (2011), dari hasil yang diperoleh dapat diketahui

bahwa indeks geo-akumulasi logam berat Pb pada sedimen tambak budidaya ikan bandeng (*Chanos chanos*) di Gresik, Sidoarjo, dan Pasuruan berada pada status tidak tercemar hingga tercemar sedang karena termasuk kategori $0 < I_{geo} < 1$. Cemaran logam berat Pb pada ketiga lokasi masih dalam kondisi normal. Nilai CF pada logam berat Pb 0,605, 0,76, dan 0,61 (Tabel 4).

Berdasarkan status faktor kontaminasi (CF) yang dikategorikan oleh Raj *et al* (2013), hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa faktor kontaminasi logam berat Pb pada sedimen tambak budidaya ikan bandeng di Gresik, Sidoarjo, dan Pasuruan menunjukkan tingkat kontaminasi rendah karena memiliki nilai kurang dari satu dan berada pada kategori $CF < 1$. Nilai BCF_{air} dan $BCF_{sedimen}$ pada ketiga lokasi penelitian tidak dapat dihitung dikarenakan hasil uji pada sampel air tidak terdeteksi. Menurut Lamai *et al* (2005), BCF kurang dari 100 termasuk akumulasi yang rendah. Dengan demikian BCF pada tambak tradisional ikan bandeng di Desa Watuagung Kecamatan Bungah Gresik, Desa Kalanganyar Kecamatan Sedati Sidoarjo, dan Desa Jarangan Kecamatan Rejoso Pasuruan termasuk rendah dan aman untuk kegiatan budidaya. Nilai BCF yang rendah dikarenakan akumulasi logam Pb tidak terdeteksi (rendah) pada ikan bandeng, selain itu faktor lingkungan seperti kualitas air dan musim juga dapat mempengaruhi rendahnya nilai BCF (Komala *et al.*, 2022).

Hasil pengukuran suhu, pH, salinitas, oksigen terlarut, dan kecerahan menunjukkan bahwa kualitas air tambak budidaya di Desa Watuagung Kecamatan Bungah Gresik, Desa Kalanganyar Kecamatan Sedati Sidoarjo, dan Desa Jarangan Kecamatan Rejoso Pasuruan masih dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan ikan bandeng. Suhu pada tambak di Desa Watuagung berkisar 35 - 35,2°C, Desa Kalanganyar berkisar 35,4 - 35,9°C, dan Desa Jarangan berkisar 37,3 - 38,2°C. Menurut SNI (2014) kisaran suhu yang baik untuk budidaya ikan bandeng berkisar 28-32°C. Suhu sangat mempengaruhi aktivitas metabolisme dalam tubuh ikan, suhu yang meningkat kadar oksigen terlarutnya semakin menurun, sehingga mempengaruhi kecepatan metabolisme ikan bandeng dan mempengaruhi sistem kekebalan tubuh ikan yang juga menurun. Proses kegiatan industri disekitar tambak bandeng prosesnya akan menimbulkan reaksi panas (Maniagasi *et al*, 2013).

Derajat keasaman (pH) pada ketiga lokasi penelitian berkisar 7,5 – 9, sesuai dengan nilai optimal tambak bandeng menurut Irawan dan Handayani (2021) yaitu 6,5 – 9. Nilai pH memiliki kaitan dengan logam timbal (Pb), menurut

Darmono (1995) bahwa perairan yang mengandung logam berat akan bersifat lebih asam dibandingkan yang bebas logam berat. Perubahan derajat keasaman pada satu perairan akan mempengaruhi kelarutan Pb dalam air tersebut.

Salinitas di ketiga lokasi penelitian berkisar 33-36 ppt, sedangkan nilai salinitas yang sesuai untuk tambak bandeng 15-25 ppt (Arfiati *et al.*, 2022). Salinitas dapat mempengaruhi bioakumulasi logam berat timbal dalam perairan. Perairan dengan salinitas rendah logam beratnya yang terkandung juga tinggi, sebaliknya pada salinitas yang tinggi konsentrasi logam berat yang terkandung lebih sedikit (Suryono, 2006). Hal ini karena partikel organik dalam perairan akan menggumpal dan mempercepat pengendapan logam berat.

Oksigen terlarut (DO) pada ketiga lokasi penelitian berkisar 5,46 – 5,73 mg/l. Hal ini telah sesuai dengan nilai optimal sesuai SNI (2014) yaitu > 3 mg/l. Oksigen terlarut dalam suatu perairan didapatkan melalui difusi dari udara yang masuk kedalam air, aerasi mekanis, dan fotosintesis plankton. Logam Pb yang masuk ke perairan didapat dari aktivitas mekanisme aerasi pada tambak bandeng. Kekurangan oksigen terlarut diperairan dapat menghambat pertumbuhan ikan dan menyebabkan stress (Maniagasi *et al.*, 2013).

Kecerahan ketiga lokasi rata-rata berkisar 24,5 – 40cm. Hal ini telah sesuai dengan nilai optimal kecerahan dalam perairan tambak bandeng yaitu 30-45cm (Sudinno *et al.*, 2015). Nilai kecerahan suatu perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti waktu pengukuran, keadaan cuaca, padatan tersuspensi dan kelimpahan fitoplankton (Aziz *et al.*, 2015). Kecerahan air tambak yang rendah dapat meningkatkan toksisitas timbal karena partikel-partikel pada Pb lebih mudah diserap oleh organisme akuatik dalam air yang keruh. Selain itu, kecerahan air yang rendah juga dapat mempengaruhi bioakumulasi logam berat Pb pada ikan bandeng. Semakin rendah kecerahan air, maka semakin tinggi bioakumulasi Pb pada ikan bandeng (Triastuti *et al.*, 2015).

KESIMPULAN

Secara keseluruhan logam Pb pada air, sedimen, dan ikan bandeng pada lokasi tambak di Desa Watuagung (Gresik), Desa Kalanganyar Sedati (Sidoarjo), dan Desa Jarangan (Pasuruan) masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh pemerintah sehingga aman dan layak untuk budidaya ikan bandeng. Tingkat pencemaran logam berat Pb masih termasuk kategori yang aman. Indeks Igeo termasuk kriteria tidak tercemar hingga tercemar sedang,

CF masuk kedalam kelas kontaminasi rendah, dan BCF masih tergolong akumulasi rendah karena BCF <100.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu penelitian ini hingga selesai. Sebagian penelitian ini didanai program hibah penelitian dengan no Kontrak penelitian No.1806/B/ UN3.LPPM/ PT.01.03/ 2024 dengan Nomor Hibah No 040/E5/PG.02.00.PL/2024. Semoga artikel ini dapat memberikan informasi dan manfaat dikemudian hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019. Nilai Produksi Ikan Menurut Kabupaten/Kota dan Sub Sektor Perikanan di Provinsi Jawa Timur, 2017. Badan Pusat Statistik Jawa Timur.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2022. Kabupaten Sidoarjo Dalam Angka 2022. Badan Pusat Statistik Bogor.
- [SNI] Badan Standardisasi Nasional. 2014. SNI 8005:2014. Produksi Bandeng Ukuran Konsumsi Secara Intensif di Tambak. Standar Nasional Indonesia: Jakarta.
- [SNI] Badan Standardisasi Nasional. 2014. SNI 8005:2014. Produksi Bandeng Ukuran Konsumsi Secara Intensif di Tambak. Standar Nasional Indonesia: Jakarta.
- [SNI] Badan Standardisasi Nasional. 2009. SNI 7387:2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Pada Pangan. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- [SNI] Badan Standardisasi Nasional. 2009. SNI 7387:2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Pada Pangan. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Ahmad, F, 2013. Distribusi Dan Prediksi Tingkat Pencemaran Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni) Dalam Sedimen Di Perairan Pulau Bangka Menggunakan Indeks Beban Pencemaran Dan Indeks Geoakumulasi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1), 170-181.
- Amriani, B, H dan Hadiyanto, A. 2011. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Kerang Darah (*Anadara granosa* L.) dan Kerang Bakau (*Polymesoda bengalensis* L.) di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2), 45-50.
- Anggraeny, Y. A. 2010. Analisis Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Dan Hg Pada Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Di Perairan Bojonegara, Kecamatan Bojonegara, Kabupaten Serang. Skripsi. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB-Bogor
- Anzecc, A. (2000). Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra, 1, 1-314.
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council. 2000. *ANZECC Interim Sediment Quality Guidelines Report for the Environmental Research Institute of the Supervising Scientist Sydney, Australia*. ANZECC ISQG-Low.
- Awaluddin., Kabangnga, A dan Noor, R. J. 2020. Kajian Cemaran Timbal (Pb) pada Tambak Tradisional Ikan Bandeng (*Chanos chanos*). *Jurnal Berkala Kesehatan*, 6(2), 62-68.
- Aziz, R., Nirmala, K., Affandi, R dan Prihadi, T. 2015. Kelimpahan plankton penyebab bau lumpur pada budidaya ikan bandeng menggunakan pupuk N: P. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 14(1), 58–68.
- Binkowski, Ł. J. 2017. The influence of environmental conditions on lead transfer from spent gunshot to sediments and water. Other routes for Pb poisoning. *Chemosphere*, 187, 330-337.
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Jakarta: UI Press
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Jakarta: UI Press.
- Diah, B, M. 2016. Analisis Kandungan Timbal (Pb), Cadmium (Cd) pada Air dan Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) di Tambak Kota dan Kabupaten Pekalongan. Skripsi. Fakultas Perikanan Universitas Pekalongan.
- Effendi, F., Tresnaningsih, E., Sulistomo, A. W., Wibowo, S dan Hudoyo, K. S. 2012. Penyakit Akibat Kerja Karena Pajanan Logam Berat. Direktorat Bina Kesehatan Kerja dan Olahraga Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya Hayati Lingkungan. Kanisius. Yogyakarta.
- Gusnita, D. 2012. Pencemaran logam berat timbal (Pb) di udara dan upaya penghapusan bensin bertimbal. *Berita Dirgantara*, 13(3).
- Hakanson, L. 1980. Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach. *Water Research*, 14(5), 975–1001.
- Hunyah, A., Alamsjah, M, A dan Pursetyo, K, T. 2015. Analisis Finansial Pembesaran Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) Pada Tambak Tradisional Dengan Sistem Monokultur Dan Polikultur Di Kecamatan Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur. *JIPK: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 7(2), 169-176.
- Irawan, D dan Handayani, L. 2021. Studi Kesesuaian Kualitas Perairan Tambak Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) di Kawasan Ekowisata Mangrove Sungai Tatah. *Budidaya Perairan*, 9(1), 10-18.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Berita Negara Republik Indonesia. Jakarta.
- Khasanah, U., Mindari, W., & Suryaminarsih, P. 2021. Kajian pencemaran logam berat pada lahan sawah di kawasan industri Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 73-81.
- Komala, P. S., Azhari, R. M., Hapsari, F. Y., Edwin, T., Ihsan, T., Zulkarnaini, Z., and Harefa, M. 2022. Comparison of bioconcentration factor of heavy metals between endemic fish and aquacultured

- fish in Maninjau Lake, West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(8).
- Lamai, C., Kruatrachue, M., Pokethitiyooka, P., Upathame and Sounthomsarathoola, V. 2005. Toxicity and Accumulation of Lead and Cadmium in The Filamentous Green Alga *Cladophora Fracta* Lo. F. Muller Ex Vah Kotzing: *A Laboratory Study*. *Sci Asia*, 3(1),121 -127.
- Ma'rifa, A., Dewi, N. N dan Adriyanto, S. 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.
- Mahardika, D. I dan Salami, I. R. S. 2012. Profil distribusi pencemaran logam berat pada air dan sedimen aliran sungai dari air lindi TPA Sari Mukti. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(1), 30.
- Maniagasi, R., Tumembouw, S. S dan Mudeng, Y. 2013. Analisis kualitas fisika kimia air di areal budidaya ikan Danau Tondano Provinsi Sulawesi Utara. *E-Journal Budidaya Perairan*, 1(2), 29-37.
- Marhawati, M dan Ma'ruf, M. I. 2018. Analisis Faktor-Faktor yang Memengaruhi Produksi Ikan Bandeng di Kecamatan Ma'Rang Kabupaten Pangkep. *Jurnal Ekonomi Dan Pendidikan*, 1(2), 50-57.
- Martuti, N. K. T. 2012. Kandungan logam berat cu dalam ikan bandeng, studi kasus di tambak wilayah Tapak Semarang. In *Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.
- Mas'ud, F. 2011. Prevalensi dan Derajat Infeksi *Dactylogyrus* sp. Pada Insang Benih Bandeng (*Chanos chanos*) di Tambak Tradisional, Kecamatan Glagah, Kabupaten Lamongan. *JIPK: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*.
- Mingdong, C., Huangzhong, Y., Xiaohua, J., & Yigang, L. 2018. Optimization on microwave absorbing properties of carbon nanotubes and magnetic oxide composite materials. *Applied Surface Science*, 434, 1321-1326.
- Notoadmojo, S. 2010. Metodologi Penelitian Kesehatan. Jakarta: Rineka Cipta.
- Nurchayyo, R., Setyoko, A. T., & Habiburrahman, M. 2023. Pengelolaan limbah baterai bekas sebagai limbah B3. UI Publishing. Jakarta.
- Prasetya, I. 2004. Logika dan Prosedur Penelitian. Jakarta: STIA-LAN Press.
- Rabee, A.M., Y.F. Al-Fatlawy, A.A.H.N.A. Own, and M. Nameer. 2011. Using pollution index (PLI) and geoaccumulation index (I_{geo}) for the assessment of heavy metals pollution in Tigris River Sediment in Bagdad Region. *J. of Al-Nahrain University*, 14(4),108-114.
- Raj, S., Jee, P.K and Panda, C, R. 2013. Textural and heavy metal distribution in sediments of Mahanadi Estuary, East Coast of India. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 42(3),370-374.
- Rifqi, A. 2017. Analisis Dampak Pelabuhan (JIPE) Gresik terhadap Potensi Desa Mengare Menggunakan Metode SWOT-Delphi. *Wahana: Tridarma Perguruan Tinggi*, 69(2), 28-38.
- Santika, S. A. 2023. Isolasi Bakteri X Terhadap Penurunan Kadar Timbal (Pb) Di Kawasan Pasuruan Industrial Estate Rembang (Pier) Kabupaten Pasuruan. Skripsi. Universitas Islam Lamongan.
- Scabra, A. R., & Setyowati, D. N. A. 2019. Peningkatan mutu kualitas air untuk pembudidaya ikan air tawar di Desa Gegerung Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Abdi Insani*, 6(2), 267-275.
- Shofa, S. U dan Navastara, A. M. 2015. Faktor Penentu Pengembangan Industri Pengolahan Perikanan Di Kabupaten Sidoarjo melalui Pengembangan Ekonomi Lokal. *Jurnal Teknik ITS*, 4(2), C76– C80.
- Sudinno, D., Jubaedah, I da Anas, P. 2015. Kualitas air dan komunitas plankton pada tambak pesisir Kabupaten Subang, Jawa Barat. *Jurnal Penyuluhan Perikanan Dan Kelautan*, 9(1), 13–28.
- Suryono, C. A. 2006. Bioakumulasi Logam Berat melalui Sistem Jaringan Makanan dan Lingkungan pada Kerang Bulu *Anadara inflata*. *Ilmu Kelautan*. 9(1), 1-9.
- Tran, Q, H and Pham, K, P. 2021. Determination of Trace Toxic Metal (As, Cd, Pb) in Freshwater Fish of Vietnam by ICP-MS. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(1), 163-169.
- Triastuti, R, J., Aditama, S dan Rahardja, B, S. 2015. Studi Bioakumulasi Timbal (Pb) Pada Ikan Bandeng Di Tambak Sekitar Perairan Sungai Buntung, Kabupaten Sidoarjo. *JIPK: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 7(1), 115-120.
- Ula, M dan Kusnadi, N. 2017. Analisis Usaha Budidaya Tambak Bandeng Pada Teknologi Tradisional Dan Semi Intensif Di Kabupaten Karawang. *Forum Agribisnis*, 7(1), 49-66.
- Ulumudin, M. M., & Purnomo, T. (2022). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Papyrus (*Cyperus papyrus* L.) di Sungai Wangi Pasuruan. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 273-283.
- Werdianti, T. (2018). Analisis Tingkat Pencemaran Logam Berat (Cu, Zn, Dan Fe) Pada Sedimen Permukaan Di Perairan Kawasan Industri Gresik (Kig) Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Wulandari, E., Herawati, E. Y., & Arfiati, D. (2012). Kandungan logam berat Pb pada air laut dan tiram *Saccostrea glomerata* sebagai bioindikator kualitas perairan Prigi, Trenggalek, Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 1(1), 10-14.