

Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Air dan Ikan di Tambak Medan Belawan Sumatera Utara

(Iron (Fe) Heavy Metal Content in Water and Fish in Medan Belawan Pond, North Sumatra)

Syukriah^{1*}, Hidayat Fauziansyah¹, Siti Amira¹

¹Program Studi Biologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan
Jl. Lapangan Golf, Desa Durian Jangak, Kecamatan Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara
20353

Penulis Korespondensi: syukriah@uinsu.ac.id

Abstact

Medan Belawan District is the third largest fishing industry in Medan. Poor water quality in Medan Belawan District makes the fishing industry in this region has a number of problems with fish quality. This study aims to determine the levels of iron heavy metals (Fe) in pond water, aquaculture products and Bioconcentration factor of iron (Fe) in fish and shirmp in Medan Belawan. This study used the Purposive Sampling method with sampling at three points including *Oreochromis niloticus* ponds, shrimp ponds and *Oreochromis mossambicus* ponds. Ferrous heavy metal testing is carried out using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), then the analysis of heavy metal content in each sample will be compared with PP No. 22 of 2021. The test results of iron metal content in pond water exceed quality standards. The content of iron metal (Fe) in pond water 1, 2 and 3 is 0.51, 0.93 and 1.19 mg / L. Iron content (Fe), in shrimp is 10.0 mg/kg, tilapia (*Oreochromis niloticus*) 8.36 mg/kg and tilapia (*Oreochromis mossambicus*) 6.24 mg / kg. This result shows that the total Fe ion content is above the safe limit standard for Fe contaminants in food based on FAO / WHO (2011) of 0.8 mg/kg.

Keywords: *BCF, Fish, Iron, Medan Belawan, Shrimp*

Abstrak

Kecamatan Medan Belawan merupakan lokasi industri perikanan terbesar ke tiga di Kota Medan. Kualitas air yang buruk pada Kecamatan Medan Belawan membuat industri perikanan di wilayah ini menghadapi sejumlah permasalahan terhadap kualitas ikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar logam berat besi (Fe) pada air tambak, hasil budidaya perikanan dan *Bioconcentration factor* logam berat besi (Fe) pada ikan dan udang di Medan Belawan. Penelitian ini menggunakan metode Purposive Sampling dengan pengambilan sampel di tiga titik yaitu tambak budidaya ikan nila, udang dan ikan mujair. Pengujian logam berat besi dilakukan dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) kemudian analisis kandungan logam berat di setiap sampel akan dibandingkan dengan PP No. 22 Tahun 2021. Hasil pengujian kandungan logam besi pada air tambak melebihi standar baku mutu. Kandungan logam besi (Fe) pada air tambak 1, 2 dan 3 masing-masing sebesar 0,51, 0,93 dan 1,19 mg/L. Kandungan kadar besi (Fe) pada daging ikan nila 8,36 mg/kg, pada udang sebesar 10,0 mg/kg dan mujair 6,24 mg/kg. Hasil ini menunjukkan kandungan total ion Fe berada jauh di atas standar batas aman adanya kontaminan Fe dalam pangan berdasarkan FAO/WHO (2011) sebesar 0,8 mg/kg.

Kata Kunci: *BCF, Besi, Ikan, Medan Belawan, Udang*

PENDAHULUAN

Industri perikanan merupakan salah satu produsen pangan global utama. Produksi perikanan pada tahun 2018 mencapai 96,4 juta ton (FAO, 2020). Produsen perikanan budidaya terbesar kedua di dunia adalah Indonesia (FAO, 2020). Tahun 2018, budidaya perikanan Indonesia menghasilkan total sekitar 5,5 juta ton (FAO, 2018).

Sumatera Utara termasuk kedalam provinsi penghasil budidaya perikanan kedua terbesar di Indonesia setelah Jawa Timur dengan total produksi sebanyak 185.591 ton. Setelah Kabupaten Langkat dan Batubara, Kota Medan merupakan salah satu dari tiga daerah utama budidaya udang di Provinsi Sumatera Utara. Tahun 2017 produksi udang di Kota Medan sebanyak 1.232 ton (BPS, 2018). Kecamatan Medan Labuhan, Medan Belawan, dan Medan

Marelan merupakan tiga lokasi pesisir Kota Medan yang menambak ikan.

Salah satu lokasi usaha budidaya perikanan yang terletak pada koordinat 3° 44' 55,5" Lintang Utara dan 98° 38' 19" Bujur Timur di Medan adalah Desa Sicanang Kecamatan Medan Belawan. Industri perikanan di Medan Belawan menghadapi sejumlah tantangan, di antaranya persediaan kualitas air yang buruk, kualitas lingkungan yang buruk, perubahan iklim dan lainnya. Air yang digunakan para penambak bersumber dari wilayah aliran air sungai Belawan serta air terjun hamparan perak, sehingga pada saat terjadinya hujan, banyak terdapat sampah pada aliran sungai yang bersumber dari TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Selain itu, penyebab utama kerusakan air di Kecamatan Medan Belawan adalah akibat dari dampak degradasi habitat konversi lahan, pembangunan pabrik serta pengembangan kawasan dan bisnis di sepanjang perairan Sungai Belawan (Manullang dan Khairul, 2020).

Urbanisasi dan perkembangan industri yang pesat dalam satu dekade terakhir telah memicu beberapa kekhawatiran serius terhadap keselamatan lingkungan. Upaya peningkatan mata pencaharian dan energi menyebabkan pelepasan terus menerus polutan kimia termasuk logam berat ke dalam hampir semua matriks lingkungan (Ezemonye et al., 2019). Secara global, logam berat telah menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia dan integritas ekosistem (Vrhovnik et al., 2013; Ogbomida et al., 2018). Kualitas air telah menjadi tantangan utama di dunia saat ini karena tercemar oleh limbah industri dan perkotaan yang sebagian besar dihasilkan oleh aktivitas manusia (Ojutiku and Okojevo, 2017). Logam-logam berat dapat memasuki lingkungan perairan melalui limpasan permukaan dan dari alam itu sendiri, seperti pelapukan geologis dan diturunkan melalui pembuangan limbah dari berbagai sumber antropogenik, termasuk industri, pertambangan (Gu et al., 2014), pertambangan (Lacerda, 2006), dan limbah rumah tangga (Ju, et al., 2017; Garai et al., 2021).

Saat ini telah terjadi Pencemaran logam berat di wilayah perairan Belawan, yang dibuktikan oleh beberapa hasil studi terdahulu yang mendapatkan biota laut telah terpapar Pb dengan konsentrasi 0.052 mg/L dan Cd dengan konsentrasi 0.0042 mg/L (Siagian, 2004; Indirawati, 2017). Dari hasil analisa yang dilakukan oleh Siboro et.al., (2016) menggunakan

beberapa parameter lingkungan menemukan bahwa di dalam tubuh ikan pelagis kecil terdapat logam Pb pada perairan belawan. Ashar et al., 2014 menemukan kandungan Cd yang telah melebihi ambang standar baku mutu pada air tambak dan air sungai di Kelurahan Terjun Medan. Dimana kandungan Cd air tambak yaitu pada ketiga lokasi sampel yaitu stasiun I, II dan III secara berturut-turut sebesar 0,01381 mg/L, 0,01296 mg/L dan 0,01289 mg/L. Sedangkan kandungan Cd air sungai pada ketiga lokasi sampel yaitu stasiun I, II dan III secara berturut-turut sebesar 0,01475 mg/L, 0,01204 mg/L dan 0,01432 mg/L dengan nilai baku mutu 0,01 mg/L. Sedangkan pada udang windu juga menunjukkan adanya kandungan Cd pada ketiga lokasi sampel yaitu stasiun I,II dan III secara berturut-turut sebesar 0,13811 mg/kg, 0,12965 mg/kg, 0,12077 mg/kg sebesar namun belum melebihi baku mutu yaitu 1,0 mg/kg.

Logam berat yang memiliki dampak cukup berbahaya pada manusia diantaranya yaitu arsen (As), timbal (Pb), besi (Fe), Cadmium (Cd) dan merkuri (Hg). Logam berat termasuk materi yang tidak dapat musnah (persisten) dan berpotensi terkumpul kembali melalui rantai makanan (bioakumulasi) bersamaan dengan dampak jangka panjang yang dapat menimbulkan dampak merugikan pada biota laut dan darat. Karena kemampuan logam berat untuk bertahan di lingkungan, kontaminasi logam berat menjadi masalah yang signifikan di perairan terutama terhadap kegiatan budidaya udang dan ikan (Ajiboye et al., 2011; Syakti et al., 2015; Ju, et al., 2017; Garai et al., 2021). Paparan logam berat harus diperhatikan karena berbahaya apabila terpapar dengan konsentrasi yang berlebih (Sfakianakis et al., 2015).

Beberapa penelitian telah membuktikan kemampuan ikan untuk mengakumulasi logam ini dalam dagingnya karena banyak logam memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan kompleks dengan zat organik (Jonathan et al., 2017). Logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh ikan melalui dua mekanisme yaitu secara langsung dan tidak langsung. Paparan logam berat secara langsung terjadi ketika ikan mengkonsumsi makanan maupun air yang terkontaminasi melalui sistem pencernaan. Sedangkan paparan logam berat secara tidak langsung terjadi ketika paparan logam berat masuk melalui insang maupun kulit melalui membran permealabel. Efektoksik umumnya terjadi ketika mekanisme metabolisme

lebih kecil dari pada konsentrasi penyerapan logam berat (Akbar dan Rahayu, 2023). Logam-logam ini cenderung tidak diekskresikan dan diteruskan ke rantai makanan hingga organisme yang lebih tinggi, termasuk manusia (Jara-Marini et al., 2009). Konsumsi ikan yang terkontaminasi logam berat dan elemen makanan lainnya berpotensi mengancam kesehatan masyarakat, bahkan pada konsentrasi rendah. Akumulasinya dapat mencapai tingkat toksik pada sistem biologis (Damian, 2014). Dari latar belakang masalah tersebut maka penulis meneliti tentang kadar kandungan logam berat besi (Fe) yang terdapat pada air, lumpur, ikan dan udang di tambak Medan Belawan sehingga akan dapat direkomendasi cara menanggulangi dampak dari pencemaran logam berat besi (Fe) terhadap mutu, budidaya perikanan dan resiko bagi kesehatan manusia. Untuk menjawab rumusan masalah ini kami melakukan penelitian dengan menggunakan metode *Purposive Sampling* dengan pengambilan sampel di tiga titik yaitu tambak budidaya ikan nila, udang dan ikan mujair kemudian mengukur konsentrasi logam berat besi (Fe) dan menganalisis dampaknya terhadap kesehatan biota dan kesehatan manusia.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan di daerah tambak kelurahan Sicanang, kecamatan Medan Belawan dan pengujian sampel di Laboratorium Penguji Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Medan (LP-BSPJI) pada bulan Juli sampai September 2023.

Rancangan Penelitian

Metode yang dipakai dalam menentukan lokasi sampling dalam memperoleh sampel yaitu *Purposive Sampling* dimana diambil pada 3 (tiga) stasiun pengamatan sampel. Penelitian ini menggunakan sampel air tambak, udang, ikan mujair dan ikan nila yang dibudidaya di kawasan tambak Medan Belawan.

Prosedur Kerja

a. Penentuan stasiun pengambilan sampel

Dasar pertimbangan dalam penentuan lokasi penelitian di 3 stasiun yaitu:

- Stasiun I yaitu tambak yang budidaya ikan nila

- Stasiun II yaitu tambak yang budidaya udang
- Stasiun III yaitu tambak yang budidaya ikan mujair

b. Pengukuran parameter lingkungan

Dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hal-hal lingkungan apa saja yang memiliki pengaruh terhadap kondisi air tambak. Parameter yang diukur temperatur, derajat keasaman (pH), salinitas, *Dissolved Oxygen* (DO), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD). Pengukuran derajat keasaman (pH) diukur menggunakan pH meter digital dengan cara menghidupkan pH meter terlebih dahulu melalui tombol on kemudian pH meter dicelupkan ke dalam sampel air yang telah diambil dan dicatat angkanya. Pengukuran salinitas menggunakan refractometer. Pengukuran suhu menggunakan termometer karena pengerjaannya bersamaan. Pengukuran DO dapat menggunakan DO meter dengan cara mencelupkan probe yang ada pada alat ke dalam air dan otomatis akan memperlihatkan nilai oksigen terlarut. Probe yang digunakan telah dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan larutan elektrolit. Pengukuran COD dan BOD dilakukan di laboratorium menggunakan metode Uji SNI 06-6989.15-2019 dan SNI 06-2503-1991.

c. Pengambilan sampel Air

Pengambilan air mengikuti standar SNI.6989.57:2008 yang setiap stasiunnya diambil air menggunakan alat berupa ember dan dilemparkan melalui jembatan sebanyak 3 kali agar air menyatu dengan baik. Metode pengambilan sampel air adalah gabungan (*composite*) yang nantinya disatukan dalam botol polietilen sebanyak 2000 ml. Setelah didapat air yang dibutuhkan, maka dimasukkan HNO₃ pekat 2 ml hingga pH < 2.

d. Pengambilan Sampel Ikan

Diambil masing-masing 1 sampel ikan nila, udang dan ikan mujair dari masing-masing stasiun I, II dan III. Pengambilan sampel menggunakan jala berukuran 2 x 4m² secara tradisional yaitu menebar jala di sekitaran tambak secara acak. Setiap sampel akan diukur menggunakan kertas milimeter blok dan penggaris serta ditimbang menggunakan neraca analitik. Selanjutnya

sampel dimasukkan dalam *cool box* dan diberi es batu, ditutup rapat.

e. **Pengujian Logam Berat**

Pengujian logam berat pada air, udang, ikan, menggunakan alat bernama *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) yang diatur pada panjang gelombang tertentu untuk setiap logam yang diuji sesuai dengan SNI. Data yang dihasilkan nantinya akan dibandingkan dengan baku mutu yang ada pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup menggunakan metode STORET (Sulistia, 2018).

Analisis Data

Analisis kandungan logam berat di setiap sampel akan dibandingkan dengan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk sampel air dan SNI 7387:2009 tentang atas maksimum cemaran logam berat dalam pangan untuk sampel daging. Perhitungan Bioconcentration Factor (BCF) menggunakan rumus:

$$BCF = \frac{\text{kandungan logam berat pada daging ikan}}{\text{kandungan logam berat pada air}} \quad (1)$$

Keterangan:

1. Nilai BCF > 1000 L/Kg, dikategorikan sebagai akumulatif tinggi.
2. Nilai BCF antara 100-1000 L/Kg, dikategorikan sebagai akumulatif sedang.
3. Nilai BCF < 100 L/Kg, dikategorikan sebagai akumulatif rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran parameter lingkungan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hal-hal lingkungan apa saja yang memiliki pengaruh terhadap kondisi air tambak. Parameter yang diukur yaitu temperatur, pH, salinitas, DO, COD dan BOD.

Hasil pengukuran suhu relatif sama (Tabel 1) untuk stasiun I yakni 30°C dan stasiun II yakni 31,9°C sedangkan pada stasiun III yakni 33,4°C masih berada dalam kisaran normal untuk kehidupan biota air. Suhu memiliki pengaruh universal dalam mengatur proses alami di perairan, karena mempengaruhi komponen biotik dan abiotik. Suhu juga berpengaruh pada toksisitas logam berat terhadap biota perairan.

Apabila terjadi peningkatan suhu, proses pemasukan logam berat dalam tubuh akan meningkat dan reaksi pembentukan ikatan antara logam berat dengan protein dalam tubuh semakin cepat. Suhu pada air dapat memiliki pengaruh yang cukup penting bagi kelangsungan hidup, reproduksi, pertumbuhan, tingkah laku, morfologi dan pergantian kulit pada udang. Disamping itu suhu juga berpengaruh terhadap kelarutan gas-gas, kecepatan reaksi unsur dan senyawa yang terkandung dalam air (Hendrajat et al., 2018).

Tabel 1. Pengukuran parameter lingkungan di Tambak Medan Belawan Sumatera Utara

Parameter	Stasiun			Baku Mutu*
	1	2	3	
Temperatur (°C)	30.9	31.9	33.4	±30
pH (%)	6.36	6.30	6.60	6-9
Salinitas (o/oo)	0.5	0.5	0.6	
DO (mg/L)	5.93	4.98	3.78	3
COD (mg/L)	434	758	515	40
BOD (mg/L)	123	250	173	6

*Standar kualitas air berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021.

Hasil pengukuran pH pada stasiun I, II dan III, sebesar 6.36, 6.30, 6.60 relative sama dimana masih berada dalam kisaran ambang batas baku mutu menurut PPRI No. 22 tahun 2021 adalah 6-9. Hal ini menunjukkan nilai pH pada lingkungan perairan tambak Medan Belawan masih dalam kategori normal untuk kehidupan biota air. Nilai pH penting diketahui sebagai parameter kualitas air untuk kelangsungan biota air. Faktor yang dapat mempengaruhi nilai pH diantaranya keadaan tanah, pertumbuhan alga di dalam air, adanya sisa makanan yang membusuk dan timbunan bahan organik, turunnya hujan dan terjadinya pergolakan arus (Budiastuti et al., 2016).

Hasil pengukuran DO air untuk di stasiun I, II dan III masih berada di ambang batas baku mutu sebesar 5,93 mg/L, 4,98 mg/L dan 3,78 mg/L menurut peraturan Standar kualitas air berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021. Oksigen terlarut (DO) merupakan faktor pembatas bagi lingkungan perairan, dimana sebagian besar organisme perairan tidak dapat memanfaatkan oksigen bebas secara langsung. Silalahi berpendapat dalam Ginting et al., (2014) DO dapat dipengaruhi oleh gerakan air yang dapat mengabsorpsi dari udara ke dalam air, dan juga adanya bahan-bahan organik yang harus dioksidasi oleh mikroorganisme. Semakin tinggi

kadar DO dalam air maka semakin baik kualitas air.

Hasil pengujian kadar COD pada pada stasiun I sebesar 434 mg/L, stasiun II sebesar 758 mg/L dan stasiun III sebesar 515 mg/L dimana nilai tersebut melebihi baku mutu standar kualitas air berdasarkan PPRI No.22 Tahun 2021 yaitu 40 mg/L. COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. Berbeda dengan kadar DO, sebaliknya semakin tinggi kadar COD dalam air maka semakin tinggi pula tingkat cemaran dalam air. Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam. Salah satu faktor yang dapat mengakibatkan tingginya kadar COD air yaitu tingginya kadar logam berat yang berfluktuasi dengan kadar COD salah satunya besi. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, oleh karena itu diperlukan pengolahan yang tepat dimana dapat mengurangi baik secara kualitas dan kuantitas konsentrasi bahan organik di dalam air (Metcalf dan Eddy, 1991).

Sedangkan hasil pengujian BOD stasiun I adalah 123 mg/L, stasiun II adalah 250 mg/L dan stasiun III adalah 173 mg/L dimana nilai tersebut melebihi baku mutu standar kualitas air berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021 yaitu 6 mg/L. BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly, 1988; Boyd, 1990; Metcalf dan Eddy, 1991). Sama seperti COD, semakin tinggi kadar BOD maka semakin buruk kualitas air hal ini juga dapat menjadi faktor tingginya kadar logam berat dalam air salah satunya besi. BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Beberapa peneliti menambahkan bahwa pengertian BOD tidak hanya menyatakan jumlah oksigen, tetapi juga menyatakan jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan (Mays, 1996). Nilai BOD yang tinggi dari nilai baku mutu mampu mengakibatkan terhambatnya

pertumbuhan pada ikan dan udang yang dibudidaya (Nur, dan Ladyka, 2022).

Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air di Tambak Medan Belawan

Hasil penelitian kandungan logam berat besi (Fe) pada air pada stasiun I, II dan III di tambak Medan Belawan. Hasil pengukuran kandungan logam berat dalam air dinyatakan dalam mg/L.

Tabel 2. Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air di Tambak Medan Belawan Sumatera Utara

Parameters	Satuan	Hasil	Baku Mutu
		0.51 (1)	
Besi (Fe)	mg/L	0.93 (2)	0.3
		1.19 (3)	

*Standar kualitas air berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021. Konsentrasi besi (Fe) pada air tambak Medan Belawan pada stasiun I yaitu 0.51 mg/L, stasiun II yaitu 0.93 mg/L dan stasiun III yaitu 1.19 mg/L. Hasil yang diperoleh melewati standar baku mutu berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021.

Hasil pengujian logam besi (Fe) terdeteksi di ketiga tambak dan melebihi baku mutu standar kualitas air berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021 untuk keperluan perikanan. Kandungan logam besi (Fe) pada air tambak 1, 2 dan 3 masing-masing sebesar 0,51, 0,93 dan 1,19 mg/L. Pada umumnya logam berat masuk ke lingkungan melalui dua cara, yaitu secara natural dan antropogenik. Terlepasnya logam berat ke lingkungan secara alami terjadi karena ada pelapukan sedimen akibat cuaca dan erosi. Sedangkan, masuknya logam berat ke dalam lingkungan secara antropogenik diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti pelapisan logam, penggunaan pestisida, pertambangan dan lain sebagainya (Ali dan Khan 2018).

Tinggi rendahnya kandungan logam berat pada air disebabkan berbagai faktor salah satunya banyak industri yang membuang limbahnya ke badan air. Logam berat ini dibawa oleh arus air dan nantinya akan menuju muara. Selain itu, derasnya aliran arus sungai juga akan mengencerkan bahan pencemar yang menyebabkan tingkat pencemaran perairan menjadi sangat rendah (Endrawati, 2015). Letak dari tambak Medan Belawan ini berada di hilir Sungai belawan sehingga hasil pengujian beberapa logam berat menunjukkan kadar melebihi baku mutu. Hal ini mengindikasikan bahwa di hilir sungai Belawan telah terjadi

pencemaran limbah logam berat besi (Fe) dalam konsentrasi yang cukup tinggi.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kandungan logam berat besi (Fe) pada stasiun I, II dan III berada diatas batas baku mutu yaitu 0,3 mg/L hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kadar COD dan BOD yang tidak sesuai dengan baku mutu berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021 yaitu 40 mg/L untuk kadar COD dan 6 mg/L untuk baku mutu BOD (Tabel 1). Sedangkan nilai baku mutu efluen BOD pada tambak udang menurut Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan KEP. 28/MEN/2004 yaitu sebesar < 45 mg/L dan nilai baku mutu BOD ideal untuk air laut menurut Kep-51/MENKLH/2004 adalah <20 mg/L. Konsentrasi BOD yang tinggi dapat menjadi indikasi tingginya cemaran pada air salah satunya yaitu logam berat dan mengancam kehidupan organisme perairan karena menurunnya kadar oksigen dalam air sehingga dapat menjadi sumber distribusi penyakit. Analisis BOD ditunjukkan untuk mengetahui jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh makhluk hidup aerob dalam mengoksidasi bahan organik menjadi air dan karbondioksida. Konsentrasi BOD erat kaitannya dengan suhu dan DO. Jika suhu tinggi maka konsentrasi DO menjadi berkurang. Jika suhu sedang maka konsentrasi DO menjadi normal. Namun bila konsentrasi DO rendah, maka kebutuhan oksigen BOD akan terganggu dan proses penguraian bahan pencemar tidak berjalan dengan baik. Semakin tinggi kadar BOD maka semakin banyak bahan pencemar yang terkandung dalam air. Konsentrasi COD pada air tambak juga tidak sesuai dengan baku mutu berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2021 yaitu 6 mg/L (Akbar dan Rahayu, 2023).

Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Ikan dan Udang di Tambak Medan Belawan

Hasil penelitian kandungan daging ikan dan udang pada stasiun I, II, dan III Medan Belawan. Hasil pengukuran kandungan logam berat dalam daging dinyatakan dalam satuan mg/kg.

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa logam besi terdeteksi di dalam daging ikan nila, udang dan mujair. Hasil uji menunjukkan besi yang terkandung pada ikan nila sebesar 8.36, udang sebesar 10,0 mg/kg dan mujair 6,24 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa adanya cemaran logam berat besi (Fe) pada daging ikan nila, udang dan ikan mujair yang

melebihi standar baku mutu yang diperbolehkan oleh FAO/WHO yaitu 0,8 mg/kg. Sedangkan menurut Badan Standarisasi Nasional tahun 2009 batas maksimum cemaran logam berat besi (Fe) pada pangan yaitu sebesar 1 mg/kg (BSN, 2009).

Tabel 3. Kandungan logam berat pada udang dan ikan di tambak Medan Belawan Sumatera Utara

Parameters	Satuan	Hasil	Baku Mutu
		8.36 (1)	
Besi (Fe)	mg/kg	10 (2)	0.8
		6.24 (3)	

*Kandungan logam berat besi (Fe) pada daging ikan dan udang diukur di tiga stasiun yang berbeda. Pada stasiun I konsentrasinya 8.36 mg/kg, stasiun II konsentrasinya 10.0 mg/kg dan stasiun III konsentrasinya 6.24 mg/kg. Hasil ini menunjukkan kandungan total ion Fe berada jauh di atas standar batas aman adanya kontaminan Fe dalam pangan berdasarkan FAO/WHO (2011) sebesar 0,8 mg/kg.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat besi (Fe) tertinggi terdapat pada udang. Setiap biota perairan memiliki kemampuan alami dalam mengabsorpsi logam berat termasuk diantaranya udang dan ikan. Kemampuan udang mengabsorpsi logam berat dapat dilakukan melalui absorpsi logam ke dalam insang maupun absorpsi pergantian kulit yang kemudian masuk ke saluran cerna lewat aktivitas makan (Komalasari et al., 2019). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ismiarti et al., pada tahun 2018 kitosan pada limbah kulit udang memiliki kemampuan dalam absorpsi logam berat besi (Fe) pada air sumur. Kitosan merupakan hasil dari deasetilasi kitin. Senyawa ini bagian dari biopolimer alam yang bersifat polikationik sehingga mampu mengakumulasi logam berat. Selain dapat digunakan sebagai bioakumulasi logam berat, senyawa kitosan juga mampu menyerap zat warna tekstil.

Selain udang, Ikan juga merupakan sumber makanan yang kaya akan nutrisi, termasuk makronutrien yang diperlukan untuk berfungsinya organisme hidup. Adanya logam berat besi (Fe) dalam daging ikan memiliki dampak yang berbahaya bagi manusia baik secara langsung maupun tidak langsung salah satunya yaitu menimbulkan risiko penyakit. Ikan memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat. Ikan mengakumulasi sejumlah besar logam di jaringannya, terutama di otot. Banyak faktor yang mempengaruhi kandungan logam dalam jaringan ikan, seperti kualitas lingkungan, musim, jenis ikan, stadium dan umur kematangan (Łuczynańska

and Paszczyk, 2019). Menurut Nyeste et al., (2019) pola makan spesifik kelompok umur suatu spesies tertentu dan kapasitas bioindikator dari kelompok umur yang berbeda juga penting. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi tingkat kandungan logam berat pada ikan untuk memastikan bahwa ikan tersebut tidak membahayakan manusia dan menjaga konsentrasi di bawah tingkat yang diizinkan (Sivaperumal et al., 2007; Palaniappan dan Karthikeyan, 2009; Uysal et al., 2009).

Badan pengawas dari berbagai negara telah membentuk tentang konsentrasi maksimum logam berat yang diizinkan dalam bahan makanan seperti *World Health Organization* (WHO), *Food and Agriculture Organization* (FAO) dan *European Union* (EU), sedangkan di Indonesia sendiri ada BPOM.

Unsur mikro seperti besi (Fe) disebut juga mikro elemen terdapat dalam tubuh manusia dalam jumlah kurang dari 0,01%, dan kebutuhan harian biasanya kurang dari 100 mg/hari (Brzozowska, 1998). Unsur-unsur ini, yang terdapat dalam konsentrasi fisiologis, diperlukan agar organisme hidup dapat berfungsi dengan baik. Unsur mikro tersebut adalah komponen dari banyak enzim dan mengambil bagian dalam banyak proses kehidupan. Selain itu juga terlibat dalam sintesis hormon dan zat lain, membantu mengatur pertumbuhan, perkembangan dan fungsi sistem reproduksi dan kekebalan tubuh (Marín-Guirao et al., 2008; EFSA, 2017; Nieder et al., 2018; Lall dan Kaushik, 2021). Unsur mikro tersebut dapat menyebabkan efek kesehatan yang berbahaya jika terakumulasi dalam tubuh organisme yang konsentrasinya di atas ambang batas yang diperlukan untuk fungsi metabolisme. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa zat besi berkaitan dengan penyakit Parkinson (Han et al., 2013; Manea et al., 2020).

Keterbatasan penelitian ini hanya berfokus pada pemeriksaan kualitas ikan dan udang ditinjau dari kandungan besi. (Chezhian et al., 2015). Prashanth et al., (2015) menyatakan bahwa logam-logam ini sangat penting, karena berperan penting dalam proses biologis. Di antara vertebrata, ikan mempunyai keunikan karena mempunyai dua jalur perolehan logam: dari air melalui insang dan dari makanan melalui usus (jalur serapan langsung dan trofik). Jalur serapan langsung lebih penting, karena insang merupakan organ target utama toksisitas logam pada ikan (Sauliute dan Svecevičius, 2015). Ali dan Khan

(2018) dan Garai et al., (2021) melaporkan bahwa logam berat dapat masuk ke dalam tubuh ikan langsung dari air dan sedimen, melalui insang/kulit, dan dari makanan/mangsa melalui saluran pencernaan. Menurut Jovanović et al., (2017), organisme yang hidup di lingkungan perairan menyerap logam langsung dari lingkungan dan mencemari air dan makanan, kemudian menumpuknya di jaringannya dan memasukkannya ke dalam rantai makanan, yang merupakan masalah bagi manusia.

Dalam konsentrasi tinggi logam berat besi dalam tubuh dapat menghambat laju pertumbuhan, fotosintesis, merubah bentuk sel, memperkecil ukuran sel dan yang paling fatal dapat menyebabkan kematian. Kandungan logam berat dalam tubuh organisme ditentukan oleh kadar logam berat yang terlarut dalam air dan oleh kandungan agen pengikat logam berat dalam tubuh makhluk hidup tersebut. Kandungan karbohidrat protein, dan lemak menjadi agen yang berperan penting dalam proses pengikatan logam berat (Puspasari, 2017).

Besi (Fe) merupakan mineral penting bagi setiap sel hidup dan diperlukan untuk sintesis mioglobin, hemoglobin dan enzim tertentu. Defisiensi Fe menyebabkan kelemahan, kerentanan dan ketidakmampuan berkonsentrasi (Akoto et al., 2014). Anderson dan Fitzgerald, (2010) mempelajari bahwa salah satu kekurangan nutrisi yang paling umum di dunia adalah kekurangan Fe pada anemia seperti malaria. Penyakit anemia memberikan kinerja yang buruk dalam transportasi sirkulasi dan juga mengurangi pasokan oksigen ke otot, kurang efisien karena penurunan kandungan mioglobin dan mengganggu kapasitas daya tahan (Erdman dan Zeisel, 2012).

Secara fisik keberadaan konsentrasi besi (Fe) yang tinggi pada dapat memberi warna kuning dan memberikan kesempatan pada bakteri pemakan besi untuk hidup sehingga air berbau amis dan berbahaya bagi kesehatan. Pada Besi (Fe) salah satu komponen umum limbah industri dan pertambangan yang sering dibuang ke lingkungan perairan. Fe^{2+} dianggap lebih beracun bagi ikan dibandingkan bentuk besi Fe^{3+} (Decker dan Menendez, 1974). Biokonsentrasi zat besi tertinggi dalam jaringan ikan ditemukan di hati dan gonad, sedangkan penurunan di otak, otot dan jantung (EL 1989; Heerden et al., 1991). Omar et al., (2014), dalam penelitiannya, membuktikan bahwa hati ikan merupakan organ target zat besi.

Gangguan pernafasan akibat penyumbatan fisik pada insang diduga sebagai mekanisme yang memungkinkan terjadinya toksisitas zat besi (Dalzell dan Macfarlane 1999). Karena permukaan insang ikan cenderung bersifat basa, besi yang larut dapat teroksidasi menjadi senyawa besi yang tidak larut yang kemudian menutupi lamela insang dan menghambat respirasi (Abbas et al., 2002).

Senyawa besi yang mengendap mempunyai dampak yang serius mulai dari berkurangnya area insang untuk respirasi, kerusakan epitel pernafasan dan berakhir dengan mati lemasnya ikan dan kematian. Pada ikan nila (*Tilapia sparrmanii*), besi menyebabkan hiperplasia dan nekrosis lamela sekunder (Wepener, 1990). Gonzalez et al., (1990) mengemukakan bahwa gangguan pernafasan merupakan faktor signifikan dalam kematian *Salvelinus fontinalis* (Mitchill) akibat paparan zat besi, dan (Heerden et al., 1991) mengamati penurunan aktivitas, batuk, menguap, gerakan spasmodik dan peningkatan gerakan operkuler pada *Tilapia sparrmanii* (Smith) yang terpapar zat besi. Peuranen et al., (1994) setuju dengan penelitian sebelumnya, mengamati endapan besi pada permukaan epitel insang pada ikan trout coklat *Salmo trutta* L., yang terkena besi. Mereka melaporkan kerusakan insang selama paparan 0,8-1,7 mg l⁻¹ besi pada pH 5 dan 6. Mereka berpendapat bahwa karena besi hanya terdeteksi di permukaan, dan tidak di dalam epitel insang, maka zat tersebut menimbulkan toksisitas melalui tindakan pada permukaan insang. Sebuah studi pemindaian mikrograf elektron pada insang *T. sparrmanii* setelah paparan konsentrasi besi subletal selama 72 jam dalam sistem aliran kontinu, menunjukkan keruntuhan insang serta peningkatan jumlah sel lender (EL, 1989). Runtuhnya insang mengurangi jarak difusi antara air dan darah, dan bermanfaat bagi konsumsi oksigen ikan. Selain itu, senyawa besi dapat mengendap di permukaan telur ikan sehingga menyebabkan kematian karena kekurangan oksigen (Svobodová, 1993). *Clarias gariepinus* menunjukkan pertumbuhan yang terbatas ketika diberi makanan kaya Fe (Baker et al., 1997).

Bioconcentration Factor (BCF) Logam Berat (Fe)

Bioconcentration Factor (BCF) dihitung dengan konsentrasi zat uji dalam/pada ikan atau jaringan tertentu (dalam mg/kg) dibagi dengan

konsentrasi zat kimia dalam media sekitarnya (sebagai mg/L atau mg/Kg). Maka dalam penelitian ini nilai BCF dihitung dengan kadar logam pada daging ikan dibagi dengan kadar logam pada air tambak. Untuk hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. *Bioconcentration factor* logam berat besi (Fe) pada ikan dan udang di tambak Medan Belawan Sumatera Utara

Parameters	Hasil
	16,39 (rendah) (1)
Besi (Fe)	52,63 (rendah) (2)
	6.24 (rendah) (3)

**Bioconcentration Factor* (BFC) logam berat besi (Fe) pada ikan dan udang diukur di tiga stasiun yang berbeda. Pada stasiun I konsentrasinya 16,39, stasiun II konsentrasinya 52.63, dan stasiun III konsentrasinya 6.24. Hasil ini menunjukkan *Bioconcentration Factor* (BFC) logam berat besi (Fe) pada ikan dan udang termasuk rendah.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai BCF menunjukkan bahwa kategori akumulasi logam berat besi (Fe) pada ikan dan udang termasuk rendah. Ikan mempunyai kemampuan dalam mengakumulasi logam berat di dalam tubuhnya yang dikenal sebagai faktor pemekat biologi atau nilai faktor biokonsentrasi (BCF). *Bioconcentration Factor* (BCF) merupakan indikator kecenderungan suatu zat kimia terakumulasi dalam organisme hidup. Biokonsentrasi adalah pemasukan dan retensi suatu zat dalam suatu organisme seluruhnya melalui respirasi dari air di ekosistem perairan atau dari udara di ekosistem darat. Kategori BCF rendah ini disebabkan oleh bioviabilitas dari logam berat. Bioavailabilitas logam adalah ketersediaan logam berat pada lingkungan yang masih mampu diabsorpsi oleh organisme yang memberikan efek racun pada tubuhnya sendiri. Bioavailabilitas logam berat inilah yang memberikan dampak atas seberapa banyak logam yang terserap pada tubuh organisme. Hal ini juga yang menyebabkan konsentrasi logam air belum tentu berbanding lurus dengan konsentrasinya pada ikan (Hidayah dan Soeprbowati, 2014; Busira et al., 2020).

Pada umumnya logam berat masuk ke lingkungan melalui dua cara, yaitu secara natural dan antropogenik. Terlepasnya logam berat ke lingkungan secara alami terjadi karena ada pelapukan sedimen akibat cuaca dan erosi. Sedangkan, masuknya logam berat ke dalam

lingkungan secara antropogenik diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti pelapisan logam, penggunaan pestisida, pertambangan dan lain sebagainya (Ali et al., 2013). Menurut Istarani dan Pandebesie (2014) bahan pencemar masuk ke dalam perairan akan mengalami tiga jenis proses akumulasi, yaitu fisik, kimia, dan biologis. Pembuangan limbah industri mengandung bahan berbahaya dengan tingkatan toksisitas yang tinggi mempengaruhi kemampuan biota akuatik untuk menimbun logam dengan bahan pencemar langsung terakumulasi secara fisik dan kimiawi. Akumulasi secara biologis masuk melalui rantai makanan.

Kandungan logam berat yang ditemukan pada tubuh biota akuatik lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan logam berat dalam perairan sebagai lingkungan hidupnya. Hal ini karena akumulasi logam berat untuk membentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik di dalam tubuh sehingga logam berat terfiksasi dan tidak langsung dieksresi oleh organisme tersebut (Istarani dan Pandebesie, 2014). Akumulasi terjadi ketika ikan meminum air ataupun memakan makanannya yang telah melalui kontak dengan perairan tersebut. Maka, semakin dekat jarak interaksi konsumsi di dalam rantai makanan antara sumber kontaminan dan organisme menyebabkan semakin besar cemaran logam berat yang akan diserap (Pradona, S., 2022).

KESIMPULAN

Hasil pengujian logam besi pada air terdeteksi di ketiga tambak dan melebihi baku mutu dengan kandungan logam besi (Fe) pada air tambak 1, 2 dan 3 masing-masing sebesar 0,51, 0,93 dan 1,19 mg/L. Kandungan kadar besi (Fe), pada ikan nila 8,36 mg/kg, udang sebesar 10,0 mg/kg, dan mujair 6,24 mg/kg. Hasil ini menunjukkan kandungan total ion Fe berada jauh di atas standar batas aman adanya kontaminan Fe dalam pangan berdasarkan FAO/WHO (2011) sebesar 0,8 mg/kg. *Bioconcentration factor* (BCF) logam berat besi pada ikan dan udang termasuk rendah. Kandungan logam besi (Fe) tertinggi terdapat pada tambak 3 dengan nilai 1,19 mg/L sedangkan yang terendah terdapat pada tambak 1 dengan hasil 0,50 mg/L. Kandungan besi (Fe) pada ikan tertinggi terdapat pada udang dengan nilai 10,0 mg/kg dan yang terendah terdapat pada ikan mujair dengan nilai 6,24 mg/kg. Penelitian ini berfokus pada kandungan logam berat besi

(Fe) pada ikan dan udang, direkomendasikan pada penelitian selanjutnya agar dapat melakukan pengujian terhadap species yang lain untuk parameter penelitian logam berat yang sama atau jenis cemaran air yang berbeda untuk lokasi penelitian yang sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LP2M) Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2009. *[SNI] Standar Nasional Indonesia Nomor 7387:2009. Tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan*. Jakarta.
- European Food Safety Authority. 2017. Dietary Reference Values for Nutrients Summary Report. [Online] Available at <https://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/e15121>[Accessed: 5 Aug 2023]
- Abbas, H.H., Zaghoul, K.H., dan Mousa, M.A., 2002. Effect of some heavy metal pollutants on some biochemical and histopathological changes in Blue tilapia, *Oreochromis aureus*. *J. Agric. Res.* 80, 1395–1411.
- Ajiboye, O., Yakubu, A., Adams, T., 2011. A Review of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metal Contamination of Fish from Fish Farms. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* [Online] 15. <https://doi.org/10.4314/jasem.v15i1.65706> [Accessed: 10 Aug 2023].
- Akbar, S.A., Rahayu, H.K., 2023. Tinjauan Literatur: Bioakumulasi Logam Berat Pada Ikan Di Perairan Indonesia. *Lantanida Journal.* 11, 51. <https://doi.org/10.22373/lj.v11i1.17834>
- Akoto, O., Bismark Eshun, F., Darko, G., Adei, E., 2014. Concentrations and health risk assessments of heavy metals in fish from the Fosu Lagoon. *Int. J. Environ. Res.* 8, 403–410.
- Ali, H., Khan, E. 2018. Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *J. Environ. Chem. Lett.* 16, 903–917. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0734-7>
- Ali, H., Khan, E., Anwar, M. 2013. Chemosphere Phytoremediation of heavy metals —

- Concepts and applications. *J. Chemosphere* 91, 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Anderson, J. dan Fitzgerald, C. 2010. Iron: An Essential Nutrient Review. [Online] Available at URL <http://www.ext.colostate.edu/pubs/foodnut/09356.html> [Accessed: 9 Aug 2022].
- Ashar, Y.K., Naria, E., dan Dharma, S. 2014. Analisis Kandungan Kadmium (Cd) dalam Udang Windu (*Penaeus monodon*) yang Berada di Tambak Sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Kelurahan Terjun Kota Medan tahun 2014. *Jurnal Lingkungan Dan Keselamatan Kerja* 3.
- Badan Pusat Statistik. 2018. Kota Medan dalam Angka 2018. Badan Pus. Stat. [Online] Available at Badan Pusat Statistik Kota Medan (bps.go.id)
- Baker, R.T.M., Martin, P., Davies, S.J. 1997. Ingestion of sub-lethal levels of iron sulphate by African catfish affects growth and tissue lipid peroxidation. *J. Aquat. Toxicol.* 40, 51–61. [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(97\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(97)00047-7)
- Boyd, C.E. 1990. *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.
- Brzozowska, A. 1998. *Składniki mineralne. In Żywnienie Człowieka. Podstawy Nauki o Żywieniu; Gawęcki, J., Hryniewiecki, L., Eds. PWN: Warsaw, Poland.*
- Budiastuti, N.A.Y.D.M.R.P. 2016. Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal Di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *J. Kesehat. Masy.* 4, 118–119.
- Busira, J.J.Q.D., Prihatmo, G., Pakpahan, S. 2020. Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Sungai Gajah Wong, Yogyakarta 372–379.
- Chezian, C., Murthy, S., Prasad, S., Kasav, J.B. 2015. Exploring Factors that Influence Smoking Initiation and Cessation among Current Smokers. *J. Clin. Diagnostic Res.* 9, 8–12. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12047.5917>
- Dalzell, D.J.B., Macfarlane, N.A.A. 1999. The toxicity of iron to brown trout and effects on the gills: a comparison of two grades of iron sulphate. *J. Fish Biol.* 55, 301–315. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00680.x>
- Damian, E.C. 2014. Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish Sourced from Environmentally Stressed Axis of River Niger: Threat to Ecosystem and Public Health. *Int. J. Environ. Prot. Policy* 2, 126. <https://doi.org/10.11648/j.ijepp.20140204.11>
- Decker, C. dan Menendez, R. 1974. Acute toxicity of iron and Aluminium to brook trout, in: *Proceedings of the West Virginia Academy of Science*. pp. 159–67.
- EL, V.R., 1989. The bioconcentration of atrazine, zinc and iron in *Tilapia sparrmanii* (Cichlidae). *Camp. Biochem. Physiot.* [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(91\)90052-U](https://doi.org/10.1016/0742-8413(91)90052-U)
- Endrawati, E.S. dan H. 2015. Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tanjung Emas Semarang. *J. Kelaut. Trop.* 18, 38–45.
- Erdman Jr, J. W., Macdonald, I. A., & Zeisel, S.H. 2012. *Present Knowledge in Nutrition. 10th edition*. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Ezemonye, L.I., Adebayo, P.O., Enuneku, A.A., Tongo, I., Ogbomida, E. 2019. Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *J. Toxicol. Reports.* 6, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.11.010> [Accessed at: 5 Jul. 2023]
- FAO. 2020. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*.
- Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., Saha, N.C. 2021. Effect of Heavy Metals on Fishes: Toxicity and Bioaccumulation. *J. Clin. Toxicol.* 11, 1. https://www.researchgate.net/publication/353848075_Effect_of_Heavy_Metals_on_Fishes_Toxicity_and_Bioaccumulation, [Accessed at: 7 Jul. 2023]
- Ginting, A., P.P. dan N. 2014. Kandungan Logam Berat timbal (Pb) pada Air, Sedimen dan kerang Darah (*Anadara granosa*) di Pantai Belawan, Provinsi Sumatera utara. *Univ. Sumatera Utara* 1, 24–32.

- Gonzalez, R.J., Grippo, R.S., Dunson, W.A. 1990. The disruption of sodium balance in brook charr, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill), by manganese and iron. *J. Fish Biol.* 37, 765–774. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb02540.x>
- Gu, Y.G., Li, Q.S., Fang, J.H., He, B.Y., Fu, H.B., Tong, Z.J. 2014. Identification of heavy metal sources in the reclaimed farmland soils of the pearl river estuary in China using a multivariate geostatistical approach. *J. Ecotoxicol. Environ. Saf.* 105, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.04.003>
- Han, S., Auger, C., Castonguay, Z., Appanna, V.P., Thomas, S.C., Appanna, V.D. 2013. The unravelling of metabolic dysfunctions linked to metal-associated diseases by blue native polyacrylamide gel electrophoresis. *Anal. Bioanal. Chem.* 405, 1821–1831. <https://doi.org/10.1007/s00216-012-6413-9>
- Heerden, E.G. Van, Van Vuren, J.H.J., Du Preez, H.H. 1991. Bioconcentration of atrazine, zinc and iron in the blood of *Tilapia sparrmanii* (cichlidae). *Comp. Biochem. Physiol. Part C, Comp.* 100, 629–633. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(91\)90052-U](https://doi.org/10.1016/0742-8413(91)90052-U)
- Hendrajat, E.A., Ratnawati, E., Mustafa, A. 2018. Penentuan Pengaruh Kualitas Tanah Dan Air Terhadap Produksi Total Tambak Polikultur Udang Vaname Dan Ikan Bandeng Di Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur Melalui Aplikasi Analisis Jalur. *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.* 10, 179–195. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.21675>
- Hidayah, A.M., Purwanto, P., Soeprbowati, T.R. 2014. Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *J. Bioma Berk. Ilm. Biol.* [Online] 16, 1. <https://doi.org/10.14710/bioma.16.1.1-9> [Accessed: 7 Jul. 2022]
- Indirawati, S. 2017. Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd dan keluhan kesehatan pada masyarakat di kawasan Pesisir Belawan. *J. Jumantik* 2, 54–60.
- Ismiarti, R., Atmono, Tondano, T.P. 2018. Perbandingan Kitosan Dari Limbah Udang Windu Dan Kitosan Murni Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe) Pada Air Sumur Gali. *J. Rekayasa, Teknol. dan Sains* 2, 103–110.
- Istarani, F. dan Pandebesie, E.S. 2014. Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) 3, 1–6.
- Jara-Marini, M.E., Soto-Jiménez, M.F., Páez-Osuna, F. 2009. Trophic relationships and transference of cadmium, copper, lead and zinc in a subtropical coastal lagoon food web from SE Gulf of California. *J. Chemosphere* 77, 1366–1373. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.09.025>
- Jonathan, MP., Muñoz-Sevilla, NP., Góngora-Gómez, AM., Varela, RGL., Sujitha, SB., Escobedo-Urías, DC., and Villegas, L. 2017. Bioaccumulation of trace metals in farmed pacific oysters *Crassostrea gigas* from SW Gulf of California coast, Mexico. *J. Chemosphere* 187.
- Jovanović, D.A., Marković, R. V., Teodorović, V.B., Šefer, D.S., Krstić, M.P., Radulović, S.B., Ivanović Ćirić, J.S., Janjić, J.M., Baltić, M. 2017. Determination of heavy metals in muscle tissue of six fish species with different feeding habits from the Danube River, Belgrade—public health and environmental risk assessment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 11383–11391. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8783-1>
- Ju, YR., Chen, CW., Chen, CF., Chuang, XY., dan Dong, C. 2017. Assessment of heavy metals in aquaculture fishes collected from southwest coast of Taiwan and human consumption risk. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 124, 314–325. 124, 314–325.
- Komalasari, A., Afriyansyah, B., Ihsan, M., Nugraha, M.A. 2019. Bioakumulasi Logam Berat Pb dan Cu terhadap *Penaeus merguensis* di Perairan Teluk Kelabat Bagian Dalam. *J. Kelaut. Trop.* 22, 1. <https://doi.org/10.14710/jkt.v22i1.3727>
- L.D. Lacerda, J.A.S. dan R.M.M. 2006. Copper emission factors from intensive shrimp aquaculture. *Baseline / Mar. Pollut. Bull.* 52, 784–1832.
- Lall, S.P., Kaushik, S.J. 2021. Nutrition and metabolism of minerals in fish. *Animals* 11, 1–41. <https://doi.org/10.3390/ani11092711>
- Łuczynska, J., Paszczyk, B. 2019. Health risk assessment of heavy metals and lipid quality indexes in freshwater fish from lakes of Warmia and Mazury Region, Poland. *Int. J.*

- Environ. Res. Public Health* 16. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193780>
- Manea, D.N., Ienciu, A.A., Ștef, R., Șmuleac, I.L., Gergen, I.I., Nica, D.V. 2020. Health risk assessment of dietary heavy metals intake from fruits and vegetables grown in selected old mining areas—A case study: The banat area of southern carpathians. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145172>
- Manullang, H.M., and Khairul, K. 2020. Monitoring Biodiversitas Ikan Sebagai Bioindikator Kesehatan Lingkungan Di Ekosistem Sungai Belawan. *J. Ilmu Alam dan Lingkungan*. 11.
- Marín-Guirao, L., Lloret, J., Marin, A. 2008. Carbon and nitrogen stable isotopes and metal concentration in food webs from a mining-impacted coastal lagoon. *Sci. Total Environ.* 393, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.12.023>
- Mays, L. 1996. Water resources handbook. McGraw-Hill, New York.
- Metcalf dan Eddy. 1991. Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse. 3rd ed. (Revised by: G. Tchobanoglous and F.L. Burton). McGraw-Hill, Inc. New York, Singapore.
- Nieder, R., Benbi, D.K., Reichl, F.X. 2018. Microelements and Their Role in Human Health, Soil Components and Human Health. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1222-2_7
- Nur, J., dan Ladyka, V.A.A. 2022. Analisis Kadar BOD dan COD Pada Air Tambak di Desa X Bekasi 10, 97–102.
- Nyeste, K., Dobrocsi, P., Czeglédi, I., Czédli, H., Harangi, S., Baranyai, E., Simon, E., Nagy, S.A., Antal, L. 2019. Age and diet-specific trace element accumulation patterns in different tissues of chub (*Squalius cephalus*): Juveniles are useful bioindicators of recent pollution. *Ecol. Indic.* 101, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.001>
- Ogbomida, E.T., Nakayama, S.M.M., Bortey-Sam, N., Oroszlany, B., Tongo, I., Enuneku, A.A., Ozekeke, O., Ainerua, M.O., Fasipe, I.P., Ezemonye, L.I., Mizukawa, H., Ikenaka, Y., Ishizuka, M. 2018. Accumulation patterns and risk assessment of metals and metalloids in muscle and offal of free-range chickens, cattle and goat in Benin City, Nigeria. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 151, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.069>
- Ojutiku, Okojevo, R.O. 2017. Bioaccumulation of Some Heavy Metals in three Selected Fish Species from Chanchaga River, Minna Niger State, Nigeria. *Niger. J. Fish. Aquac.* 5, 44–49.
- Omar, W.A., Saleh, Y.S., Marie, M.A.S. 2014. Integrating multiple fish biomarkers and risk assessment as indicators of metal pollution along the Red Sea coast of Hodeida, Yemen Republic. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 110, 221–231. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.004>
- Palaniappan, P.R., Karthikeyan, S. 2009. Bioaccumulation and depuration of chromium in the selected organs and whole body tissues of freshwater fish *Cirrhinus mrigala* individually and in binary solutions with nickel. *J. Environ. Sci.* 21, 229–236. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62256-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62256-1)
- Peuranen, S., Vuorinen, P.J., Vuorinen, M., Hollender, A. 1994. The effects of iron, humic acids and low pH on the gills and physiology of brown trout (*Salmo trutta*). *J. Ann. Zool. Fennici* 31, 389–396.
- Pradona, S., dan P. 2022. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Daging Ikan di Tanjung Mas. *J. Life Sci.* 11, 143–150.
- Puspasari, R.. 2017. Logam Dalam Ekosistem Perairan. BAWAL Widya Ris. *Jurnal Perikan. Tangkap* 1, 43. <https://doi.org/10.15578/bawal.1.2.2006.43-47>
- Sauliute, G., Svecevičius, G. 2015. Heavy metal interactions during accumulation via direct route in fish: A review. *Zool. Ecol.* 25, 77–86. <https://doi.org/10.1080/21658005.2015.1009734>
- Sfakianakis, D.G., Renieri, E., Kentouri, M., Tsatsakis, A.M. 2015. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environ. Res.* 137, 246–255. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.014>
- Siagian, L. 2004. Pengaruh Pencemaran Logam Berat Pb, Cd, Cr Terhadap Biota Laut Dan

- Konsumennya di Kelurahan Bagan Deli Belawan. USU.
- Siboro, NS., Sitorus, H., and Lesmana, I. 2016. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Pelagis Kecil yang Didaratkan Di Pps Belawan Kecamatan Medan Belawan Sumatera Utara. *Aquacoastmarine* 14.
- Sivaperumal, P., Sankar, T. V., Viswanathan Nair, P.G. 2007. Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *Food Chem.* 102, 612–620. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.041>
- Sulistia, S. 2018. Konsentrasi logam berat dari daerah pemukiman di Sungai Cisadane. *J. Rekayasa Lingkungan* 11, 56–62.
- Svobodová Z, 1993. *Water Quality and Fish Health*. Rome. FAO
- Syakti, A.D., Demelas, C., Hidayati, N. V., Rakasiwi, G., Vassalo, L., Kumar, N., Prudent, P., Doumenq, P. 2015. Heavy metal concentrations in natural and human-impacted sediments of Segara Anakan Lagoon. *Indonesia. Environ. Monit. Assess.* 187. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4079-9>
- Umayal, R. C., dan L.A.C., 1988. *Limnology: Laboratory and field guide, Physico-chemical factors, Biological factors*. National Book Store, Inc. Publisher, Metro Manila.
- Uysal, K., Köse, E., Bülbül, M., Dönmez, M., Erdoğan, Y., Koyun, M., Ömeroğlu, Ç., Özmal, F. 2009. The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/Turkey). *Environ. Monit. Assess.* 157, 355–362. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0540-y>
- Vrhovnik, P., Arrebola, J.P., Serafimovski, T., Dolenc, T., Šmuc, N.R., Dolenc, M., Mutch, E. 2013. Potentially toxic contamination of sediments, water and two animal species in Lake Kalimanci, FYR Macedonia: Relevance to human health. *Environ. Pollut.* 180, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.004>
- Wepener V. 1990. The effect of heavy metals at different pH values on the haematology and metabolic enzymes of *Tilapia sparrmanii* (Cichlidae).