

**Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Jaringan Lunak Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Keramba Jaring Apung Waduk Gajah Mungkur Wonogiri**

*Analysis of Cadmium (Cd) Heavy Metal Content in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Soft Tissue in Floating Net Cages of Gajah Mungkur Wonogiri Reservoir*

Fransiska Romana Gina Srikayanti\*, Churun A'in, Siti Rudiyantri

Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan

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

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

Corresponding authors: [yunitaika@gmail.com](mailto:yunitaika@gmail.com)

*Diserahkan: 28 Juni 2024; Direvisi: 5 Februari 2025; Diterima: 19 April 2025.*

**ABSTRAK**

Waduk Gajah Mungkur merupakan salah satu waduk multiguna yang terletak di Wonogiri. Kegiatan budidaya perikanan umumnya dilaksanakan dengan sistem keramba jaring apung (KJA). Tingginya potensi perikanan memberikan kemanfaatan bagi masyarakat sekitar, namun posisi waduk yang menjadi muara dari beberapa sungai mengkhawatirkan terjadinya akumulasi bahan pencemar. Ikan nila merupakan ikan dominan dari kegiatan budidaya di Waduk Gajah Mungkur. Identifikasi akumulasi kadmium pada ikan nila memberikan gambaran nyata tentang potensi risiko kesehatan bagi konsumen serta dampak lingkungan yang lebih luas. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui variasi kandungan kadmium dalam air, insang, dan daging ikan nila, serta mengetahui nilai *bioconcentration factor* (BCF) dan *maximum tolerable intake* (MTI). Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2023. Metode penelitian menggunakan survei. Metode pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling* pada 3 stasiun dengan 3 titik setiap stasiun. Analisis kandungan kadmium menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Hasil analisis menunjukkan kandungan kadmium dalam air berada di bawah baku mutu (<0,01 mg/L), sedangkan insang dan daging ikan nila secara rata-rata melebihi baku mutu (insang 0,143 mg/kg dan daging 0,1178 mg/kg dengan baku mutu 0,1 mg/kg). Nilai BCF yang diperoleh menunjukkan potensi bioakumulasi rendah (<250). Nilai MTI untuk anak-anak 0,892 gram, remaja 2,377 gram, dan orang dewasa 4,16 gram. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan antara kandungan kadmium yang terabsorpsi dalam insang dan daging ikan nila.

**Kata Kunci:** BCF; kadmium; MTI; nila; Waduk Gajah Mungkur.

**ABSTRACT**

*Gajah Mungkur Reservoir is one of the multipurpose reservoirs located in Wonogiri. Aquaculture activities are generally carried out with a floating net cage system. The purpose of this study was to determine the cadmium content in water, gills, and flesh of tilapia, the difference in cadmium content absorbed in the gills and flesh of tilapia, and to determine the value of bioconcentration factor (BCF) and maximum tolerable intake (MTI). The research was conducted in June 2023. The research method used a survey. The sampling method used purposive sampling at 3 stations with 3 points at each station. Cadmium content was analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method. The results of the analysis showed that the cadmium content in water was below the quality standard (<0.01 mg/L), while tilapia gills and flesh on average exceeded the quality standard (gills 0.14 mg/kg and flesh 0.15 mg/kg with a quality standard of 0.1 mg/kg). The BCF values obtained indicate low bioaccumulation potential (<250). MTI values for children were 0.892 grams, adolescents 2.377 grams, and adults 4.16 grams. The calculation results show that there is no difference between the cadmium content absorbed in the gills and flesh of tilapia..*

**Keywords:** BCF; cadmium; Gajah Mungkur Reservoir; MTI; tilapia.

**PENDAHULUAN**

Waduk Gajah Mungkur (WGM) merupakan perairan tawar buatan yang dibuat dengan membendung sungai. WGM memiliki fungsi sebagai pengendali banjir daerah aliran Sungai Bengawan Solo, irigasi pertanian, kegiatan budidaya perikanan, penyediaan tenaga listrik, dan tempat pariwisata. Kegiatan budidaya perikanan yang ada di waduk umumnya menggunakan keramba jaring apung (KJA). Kondisi waduk secara umum memiliki luas daerah tangkapan air sekitar 1.350 km<sup>2</sup>, memiliki 10 sub daerah aliran sungai seluas 1.260 km<sup>2</sup>, 74% daerah tangkapan air berada di Kabupaten Wonogiri, daerah pasang surut seluas 6.000 Ha dengan luas sekitar 804 Ha dimanfaatkan untuk pertanian, dan memiliki sabuk hijau

dengan luas sekitar 996 Ha (Sukmono, 2018). Daerah tangkapan air yang luas membuat WGM menampung limbah pencemar dari berbagai kegiatan karena letaknya berdampingan dengan masyarakat dan menjadi muara dari aliran sungai yang tersebar di berbagai kecamatan.

Pencemaran yang merisaukan yaitu pencemaran logam berat karena sifat logam berat yang beracun dan berbahaya. Pencemaran logam berat dapat berasal dari kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, gas buangan kendaraan, pertambangan, pertanian serta pembakaran limbah padat dan cair, sedangkan pencemaran logam berat alami berasal dari aktivitas vulkanik, aktivitas mata air panas, erosi, infiltrasi, dan sebagainya (Sall *et al.*, 2020). Logam berat pencemar yang ditemukan pada aliran air dan sungai antara lain timbal, kadmium, besi, merkuri, arsenik, tembaga, kromium, dan seng. Biota yang ada di perairan memiliki potensi terpapar logam berat seperti kadmium yang dapat terakumulasi dalam tubuh ikan. Penelitian mengenai kandungan logam berat kadmium dalam ikan dapat dijadikan sebagai rekomendasi konsumsi yang aman serta mendorong pengelolaan perikanan yang berkelanjutan guna melindungi masyarakat dari dampak toksik jangka panjang.

Spesies ikan dapat digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi pencemaran logam berat di ekosistem air tawar (Kortei *et al.*, 2020). Ikan dapat mengakumulasi logam berat dalam tubuh dari berbagai sedimen, air hingga makanan karena menjadi bagian dalam rantai makanan akuatik (Ayanda *et al.*, 2019). Salah satu jenis ikan yang tersebar dan dibudidayakan di perairan tawar adalah ikan nila. Ikan nila banyak dibudidayakan karena memiliki nilai ekonomis dalam pasar dan cenderung mudah untuk dibudidayakan. Ikan nila dapat mengakumulasi kadmium yang berasal dari sedimen, sedangkan untuk logam lainnya diakumulasi dari air (Ahsan *et al.*, 2022). Logam berat yang terdapat dalam jaringan dapat memodifikasi berbagai enzim dan sistem metabolit ikan dan spesies air tawar lainnya sehingga dapat menyebabkan perubahan metabolisme, fisiologis, dan histologis (Mehmood *et al.*, 2019).

Penelitian yang terkait dengan kandungan kadmium di perairan WGM dan jaringan lunak ikan nila masih terbatas sehingga penelitian pada topik tersebut sangat diperlukan untuk menjadi pengetahuan dan acuan bagi penelitian selanjutnya. Selain itu, hasil penelitian dapat digunakan Pemerintah Kabupaten Wonogiri sebagai bahan pertimbangan dalam merumuskan kebijakan pengelolaan.

Tujuan penelitian adalah mengetahui tingkat kandungan kadmium dalam perairan WGM dan jaringan lunak ikan nila berupa insang dan daging, mengetahui perbedaan kandungan kadmium yang terabsorpsi pada insang dan daging ikan nila, serta mengetahui nilai BCF dan MTI berdasarkan kandungan kadmium yang diperoleh.

## MATERI DAN METODE

### Materi

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2023 dengan dua tahapan berupa pengambilan sampel dan analisis laboratorium. Pengambilan sampel dilakukan pada 11 Juni 2023. Data pendukung dalam penelitian berupa data parameter kualitas air yang diambil secara *in situ* sebanyak 3 titik pada setiap stasiun dengan total 3 stasiun. Data parameter kualitas air yang diukur adalah suhu, kecerahan, pH, dan DO. Analisis laboratorium dilaksanakan pada tanggal 12 Juni-11 Juli 2023 di Laboratorium Penelitian Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro.

Alat yang digunakan antara lain GPS untuk menentukan koordinat, *pH meter* untuk mengukur nilai pH, *DO meter* untuk mengukur oksigen terlarut, *water sampler* untuk mengambil sampel air, termometer untuk mengukur suhu, *Secchi disk* untuk mengukur kecerahan, botol sampel untuk menyimpan sampel air, plastik *zipper* untuk menyimpan sampel jaringan lunak, *cool box* untuk menyimpan botol sampel air dan plastik *zipper* berisi jaringan lunak, timbangan untuk mengukur bobot ikan. Bahan dalam penelitian antara lain sampel air waduk, jaringan lunak ikan nila berupa insang dan daging, dan larutan  $\text{HNO}_3$  sebagai pengawet sampel air.

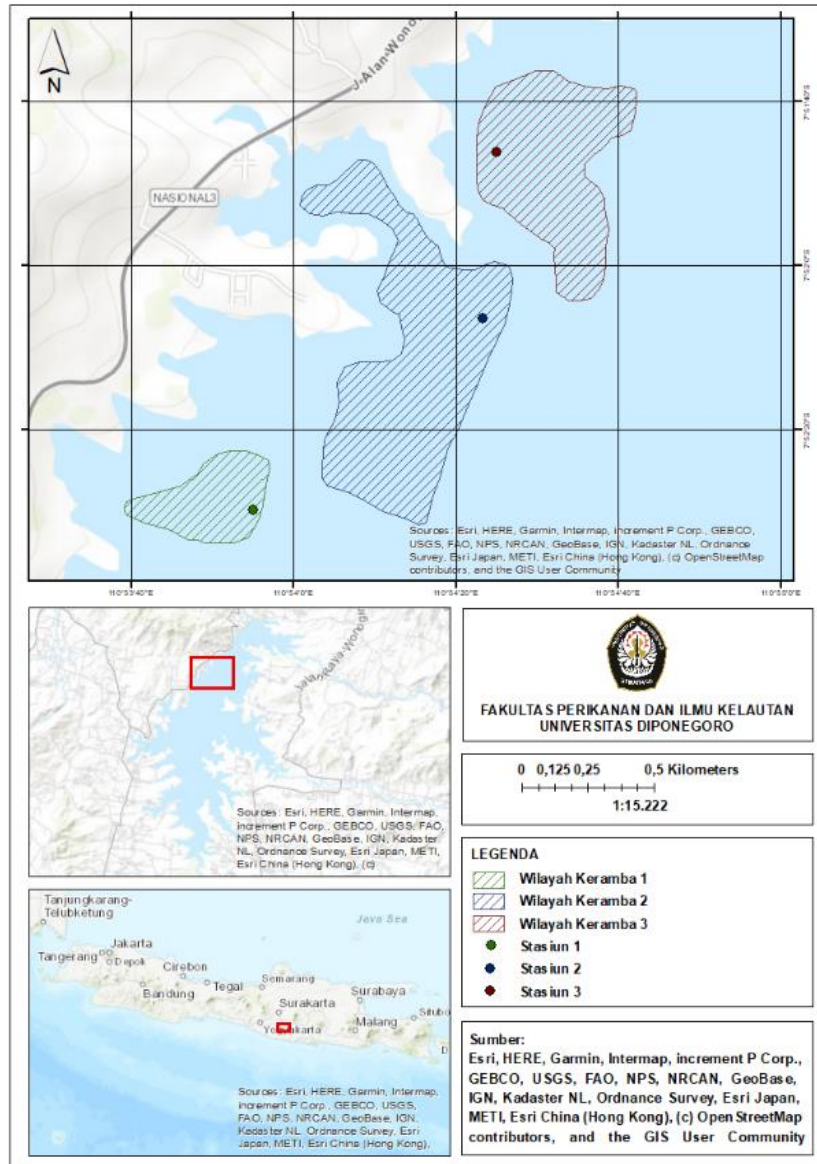
### Metode

Pengumpulan data menggunakan metode survei dengan melakukan pengamatan, pengukuran, dan pengambilan sampel langsung di lapangan (Gambar 1). Metode survei digunakan untuk mendapatkan sampel air dan ikan nila sebagai objek penelitian serta melakukan pengamatan kondisi lingkungan melalui pengukuran variabel fisika (suhu dan kecerahan) dan kimia (pH dan oksigen terlarut) di KJA. Metode pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling*. Menurut Sugiyono (2013), *purposive sampling* merupakan teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu. Pertimbangan dalam penelitian ini yakni penentuan titik pengambilan sampel mewakili setiap stasiun penelitian.

### Pengambilan Sampel

Sampel ikan memiliki berat sekitar 100-200 gram/ekor. Sampel ikan diambil sebanyak 3 ekor dari setiap stasiun sebagai perwakilan dari 3 titik pengambilan sampel pada setiap stasiun. Selanjutnya dilakukan pengukuran morfometri ikan dan pencatatan. Pembedahan dilakukan setelah pengukuran dan pencatatan morfometri selesai. Bagian ikan yang diambil untuk dianalisis kandungan logam beratnya adalah insang dan daging yang dikompositkan. Sampel ikan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam plastik *zipper*, diberi label, dan dimasukkan ke dalam *cool box*. Penelitian menggunakan sampel berupa daging ikan karena daging adalah jaringan yang dikonsumsi oleh manusia, sedangkan insang dipilih karena menjadi organ yang terus-menerus terpapar air.

Sampel air diambil menggunakan *water sampler* pada kolom perairan, dikompositkan, kemudian dimasukkan ke botol sampel plastik dengan volume 250 ml dan diberi larutan  $\text{HNO}_3$  hingga pH berada di kisaran nilai 1-2. Sampel air diambil pada 3 titik di setiap stasiun. Kandungan kadmium dalam sampel jaringan lunak ikan nila dan air waduk dianalisis di Laboratorium Penelitian Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro.



Gambar 1. Peta Sebaran Titik Pengambilan Sampel

**Analisis Data**

**1. Faktor Biokonsentrasi (Bioconcentration Factor (BCF))**

Faktor biokonsentrasi adalah rasio antara konsentrasi bahan kimia dalam biota akuatik dengan konsentrasi bahan kimia dalam air. BCF menunjukkan kecenderungan penumpukan bahan kimia dalam organisme akuatik berupa ikan (Zhao et al., 2022). Nilai BCF dapat dihitung menggunakan rumus (Burkhard, 2021):

$$BCF = \frac{C_{biota}}{C_{air}}$$

Keterangan:

BCF : Bioconcentration Factor

C biota : Konsentrasi bahan kimia dalam organisme

C air : Konsentrasi bahan kimia dalam air

**2. Maximum Tolerable Intake (MTI)**

Bahan pangan yang terkontaminasi logam berat memiliki batas maksimum konsumsi. Batas konsumsi ditetapkan oleh World Health Organization (WHO) dan Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive (JEFCA) dengan estimasi total rata-rata paparan kadmium dari semua makanan berkisar 40-60% dari asupan mingguan yang dapat ditoleransi (Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI)) sebesar 7 µg/kg bb (0,007 mg/kg bb). Perhitungan MWI menggunakan rumus:

$$MWI = BB \times PTWI$$

Keterangan:

MWI : Maximum Weekly Intake (mg)

BB : Rata-rata berat anak-anak 15 kg, remaja 40 kg, dan orang dewasa 70 kg

PTWI : Provisional Tolerable Weekly Intake Cd 0,007 mg/kg bb

Selanjutnya, untuk mengetahui nilai MTI, perhitungan dilakukan menggunakan rumus:

$$MTI = \frac{MWI}{Ct}$$

Keterangan:

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

Ct : Konsentrasi logam berat dalam jaringan lunak (mg/kg)

### 3. Uji Independent Sample T-Test

Uji normalitas menggunakan uji normalitas Shapiro Wilk dan dihitung menggunakan perangkat lunak *IBM SPSS Statistics 25*. Pengambilan keputusan berdasarkan:

- Jika nilai signifikansi  $<0,05$ , maka data penelitian tidak berdistribusi normal;
- Jika nilai signifikansi  $>0,05$ , maka data penelitian berdistribusi normal;

Uji-t merupakan uji lanjutan untuk mengetahui perbedaan kandungan logam berat pada daging dan insang. Syarat dilakukannya uji *independent sample t-test* adalah data berdistribusi normal. Uji ini dihitung menggunakan perangkat lunak *IBM SPSS Statistics 25*. Prinsip pengambilan keputusan yakni:

- Jika nilai signifikansi (*2-tailed*)  $<0,05$ , maka terdapat perbedaan signifikan antara kandungan kadmium dalam insang dan daging ikan nila;
- Jika nilai signifikansi (*2-tailed*)  $>0,05$ , maka tidak terdapat perbedaan signifikan antara kandungan kadmium dalam insang dan daging ikan nila.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kandungan Kadmium

Tabel 1. Konsentrasi Kadmium dan Perhitungan BCF

Stasiun (Titik)	Konsentrasi Kadmium			BCF
	Perairan (mg/L)	Jaringan Lunak (mg/kg)		
		Insang	Daging	
1(1)	<0,01*	0,08	0,28	36
1(2)	<0,01*	0,02	0,19	21
1(3)	<0,01*	0,40	0,22	62
2(1)	<0,01*	0,24	0,08	32
2(2)	<0,01*	0,09	0,04	13
2(3)	<0,01*	0,10	0,12	22
3(1)	<0,01*	0,08	0,12	20
3(2)	<0,01*	0,18	<0,01*	18,5
3(3)	<0,01*	0,10	<0,01*	10,5

Keterangan: \*Tidak terdeteksi

Kandungan kadmium seluruh sampel air waduk  $<0,01$  mg/L menandakan kandungan kadmium dalam air sesuai dengan baku mutu menurut PP No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup bagian II, Baku Mutu Air Danau dan Sejenisnya Kelas 2 dengan batas maksimum 0,01 mg/L. Logam berat kadmium dalam insang yang tertinggi adalah 0,40 mg/kg dan terendah 0,02 mg/kg, dimana nilai rata-rata yang diperoleh sebesar 0,143 mg/kg. Logam berat kadmium dalam daging tertinggi sebesar 0,28 mg/kg dan terendah  $<0,01$  mg/kg, dimana nilai rata-rata 0,1178 mg/kg dengan catatan nilai  $<0,01$  mg/kg diasumsikan menjadi 0,005 mg/kg untuk perhitungan. Kandungan logam berat kadmium yang ditemukan dalam jaringan lunak ikan nila lebih tinggi daripada air dimungkinkan karena kadmium yang masuk ke perairan mengendap dalam sedimen sesuai dengan pernyataan Widowati *et al.* (2008) dalam Anwar *et al.* (2022) yang menyatakan logam berat yang masuk ke perairan akan mengendap dalam sedimen dan akan masuk ke dalam rantai makanan sehingga dapat masuk ke dalam tubuh biota melalui fitoplankton, zooplankton, dan organisme lain yang akan dikonsumsi ikan.

Berdasarkan rata-rata, kandungan kadmium dalam insang lebih tinggi daripada kadmium dalam daging ikan nila. Hal tersebut dengan Olatunji *et al.* (2021) yang menyatakan akumulasi logam berat lebih tinggi pada hati, ginjal, dan insang daripada gonad dan otot ikan. Meskipun lebih rendah dibanding kandungan kadmium dalam insang, kadmium dalam daging juga telah melampaui baku mutu SNI No. 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemar Logam Berat dalam Pangan dengan Kategori Pangan Ikan dan Produk Perikanan Termasuk Moluska, Krustase dan Ekinodermata serta Amfibi dan Reptil untuk Ikan dan Hasil Olahannya dengan batas maksimum 0,1 mg/kg. Kandungan kadmium yang melampaui baku mutu dapat terjadi karena cemaran kadmium dapat masuk melalui perantaraan makanan. Ikan nila yang tergolong omnivora dan cenderung herbivora menyebabkan tingginya kemungkinan masukan cemaran. Fitoplankton tidak selektif dalam penyerapan unsur kimia sehingga menyebabkan kadmium juga dapat terserap (Permana dan Akbarsyah, 2021). Logam berat dapat terakumulasi dalam alga yang ada di air dan dasar perairan, kemudian mengikuti rantai makanan, dan terakumulasi dalam tubuh ikan (Khairuddin *et al.*, 2021).

**Kualitas Air****Tabel 2.** Parameter Kualitas Air

Stasiun (Titik)	T°C	DO terukur (mg/L)	pH	Kecerahan (cm)
1(1)	30,8	14,83	6,35	64
1(2)	30	13,76	6,86	65,5
1(3)	30,5	14,86	6,62	61
2(1)	31,4	14,68	7,31	74
2(2)	31,2	14,76	7,11	74
2(3)	30,7	14,87	6,69	70
3(1)	30,8	14,86	6,87	73
3(2)	30,7	14,75	7,08	67,5
3(3)	30,7	14,83	6,51	73
Baku mutu*	±3	4	6-9	400

Sumber: \* PP No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup bagian II, Baku Mutu Air Danau dan Sejenisnya Kelas 2

**Tabel 3.** Saturasi Oksigen

Stasiun (Titik)	DO teoritis (mg/L)*	% saturasi	Status
1(1)	7,56	196,16	Oversaturasi
1(2)	7,56	182,01	Oversaturasi
1(3)	7,56	196,56	Oversaturasi
2(1)	7,43	197,58	Oversaturasi
2(2)	7,43	198,65	Oversaturasi
2(3)	7,56	196,69	Oversaturasi
3(1)	7,56	196,56	Oversaturasi
3(2)	7,56	195,11	Oversaturasi
3(3)	7,56	196,16	Oversaturasi

Sumber: \* Cole (1983) dalam Effendi (2003)

Keterangan: Oversaturasi jika nilai  $DO_{\%sat} > 100\%$  (Blaszczak *et al.*, 2019)

Data kualitas air waduk yang diukur sebagai data pendukung adalah suhu, pH, kecerahan, dan oksigen terlarut. Suhu terendah 30°C dan suhu tertinggi 31,4°C dengan suhu udara terukur pada saat pengukuran 29-30°C menunjukkan bahwa suhu perairan yang terukur sesuai baku mutu karena masih berada dalam kisaran  $\pm 3^\circ\text{C}$  suhu udara. Meskipun masih berada di dalam kisaran baku mutu, suhu perairan yang memiliki nilai 30°C atau lebih memiliki peran dalam akumulasi logam berat kadmium. Sesuai dengan pernyataan Soraya (2012) dalam Khairuddin *et al.* (2021), tingkat akumulasi logam berat pada tubuh ikan yang terpapar logam berat akan lebih tinggi pada suhu 30°C dibandingkan dengan suhu kamar.

Nilai pH terendah terukur 6,35 yang tergolong asam dan pH tertinggi 7,31 yang dapat digolongkan basa. Nilai pH terukur secara rata-rata termasuk asam karena memiliki nilai  $< 7$  dan diasumsikan dapat menunjang kelarutan logam berat kadmium dalam perairan. Toksisitas kelarutan bahan kimia dan logam berat dipengaruhi pH, di mana kelarutan logam berat terjadi pada pH asam (El-Saadani *et al.*, 2022).

Kecerahan perairan waduk terendah 61 cm dan tertinggi 74 cm, dan keduanya memiliki nilai di bawah baku mutu. Nilai kecerahan yang rendah diakibatkan oleh kekeruhan yang tinggi dan kemungkinan besar disebabkan oleh tingginya masukan sedimen oleh erosi yang membawa masuk kadmium dari produk pertanian yang digunakan dalam kegiatan pertanian/perkebunan. Sedimen yang membawa masuk kadmium dapat menjadi pemasok unsur kimia bagi alga yang kemudian dimakan oleh ikan nila dan terakumulasi dalam tubuh ikan, sedangkan bila kadmium masuk melalui saluran pernapasan, kadmium akan terakumulasi pada insang.

Oksigen terlarut terendah yang terukur adalah 13,76 mg/L pada suhu 30°C dan tertinggi 14,87 mg/L pada suhu 30,7°C, di mana nilai tersebut berada di atas baku mutu yang bernilai 4 mg/L. Nilai oksigen terlarut yang tinggi memiliki peran terhadap peningkatan reaksi oksidasi logam berat kadmium dalam perairan. Diketahui nilai oksigen terlarut teoritis untuk suhu 30°C adalah 7,56 mg/L dan 31°C adalah 7,43 mg/L, sehingga secara keseluruhan mengalami oversaturasi karena persen saturasi berada di atas 100%. Oksigen yang mengalami oversaturasi dapat meningkatkan reaksi oksidasi karena tingginya oksigen terlarut dalam air. Reaksi oksidasi logam berat kadmium dapat meningkatkan kandungan zat kimia dalam air.

**Morfometri Ikan Nila****Tabel 4.** Pengukuran Morfometri Ikan Nila

Stasiun (Titik)	Massa ikan (gram)	PT (cm)	PS (cm)	PK (cm)	PB (cm)
1(1)	211,9	22,7	18,2	5,2	13
1(2)	185,4	22	17,9	5,5	12,4
1(3)	151,9	20,8	16,8	5	11,8
2(1)	254,3	24,5	20,5	6,5	14
2(2)	247,8	23,5	19,2	5	14,2
2(3)	287,1	25,6	20,7	5,7	15
3(1)	203,4	23	18,4	5,8	12,6
3(2)	189,3	21,8	17,8	5,7	12,1
3(3)	183,5	22,3	18	5,5	12,5

Ikan nila yang menjadi objek penelitian memiliki bobot terendah 151,9 gram dengan kandungan kadmium terdeteksi dalam daging 0,22 mg/kg, sedangkan ikan nila dengan bobot tertinggi 287,1 gram memiliki nilai kadmium terdeteksi dalam daging sebesar 0,1178 mg/kg. Kandungan kadmium tertinggi ditemukan pada ikan berbobot 211,9 gram yang menandakan bahwa bobot ikan tidak dapat dijadikan acuan untuk melihat kemampuan akumulasi kadmium. Bobot, panjang, dan kandungan logam berat dalam ikan beragam karena setiap ikan memiliki laju pertumbuhan dan kemampuan penyerapan substansi dalam media air yang berbeda meskipun memiliki rentang waktu pemeliharaan yang sama. Pertumbuhan ikan nila dipengaruhi faktor internal berupa jenis kelamin dan umur, sedangkan faktor eksternal berupa kualitas air, parasit, dan penyakit (Francisca dan Mushoni, 2021). Pertumbuhan panjang ikan secara internal dipengaruhi oleh genetik dan efisiensi ikan memanfaatkan pakan, sedangkan secara eksternal dipengaruhi nutrisi pakan, cara pemberian pakan, waktu pemberian pakan, dan kondisi lingkungan (Riana *et al.*, 2021).

**Uji Independent Sample T-Test**

Uji normalitas menunjukkan hasil bahwa data berdistribusi normal ( $\text{sig} > 0,05$ ) sehingga dapat dilakukan uji lanjutan berupa uji hipotesis (uji-t). Uji *independent sample t-test* yang digunakan untuk menganalisis hipotesis dengan melihat nilai signifikansi pada insang dan daging menunjukkan nilai  $\text{sig} (2\text{-tailed}) > 0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan antara konsentrasi kadmium dalam insang dan daging ikan nila.

**Faktor Biokonsentrasi (Bioconcentration Factor (BCF))**

Faktor biokonsentrasi dihitung dengan mencari rata-rata dari kandungan konsentrasi kadmium insang dan daging terlebih dahulu. Kandungan konsentrasi air yang tidak terdeteksi menjadikan kandungan kadmium menggunakan nilai asumsi. Menurut Cui *et al.* (2011), apabila terdapat nilai logam berat yang berada di bawah batas terdeteksi, konsentrasi yang digunakan untuk perhitungan yakni setengah dari batas terdeteksi. Maka digunakan nilai 0,005 karena batas minimum agar dapat terdeteksi adalah 0,01 mg/L atau mg/kg. Berdasarkan hasil perhitungan BCF pada Tabel 1, nilai tertinggi 62 dan terendah 10,5. Seluruh nilai BCF pada hasil penelitian  $< 250$  sehingga dapat dikatakan memiliki potensi bioakumulasi yang rendah sesuai dengan pernyataan Baqar *et al.* (2023) bahwa apabila nilai BCF  $> 1000$  dikatakan memiliki potensi bioakumulasi tinggi, 250-1000 memiliki potensi bioakumulasi sedang, dan  $< 250$  memiliki potensi bioakumulasi yang rendah pada spesies ikan.

**Maximum Tolerable Intake (MTI)****Tabel 5.** Perhitungan MWI dan MTI

Usia	BB (kg)*	PTWI (mg/kg)**	MWI (mg)	MTI (gram)
Anak-anak	15		0,105	0,892
Remaja	40	0,007	0,28	2,377
Dewasa	70		0,49	4,16

Sumber: \*Abdel-Kader dan Mourad (2023)

\*\*JECFA (2005)

Rata-rata kandungan kadmium dalam ikan nila yang diketahui adalah 0,131 mg/kg, dengan rata-rata kandungan kadmium dalam daging ikan sebesar 0,1178 mg/kg. Konsumsi ikan di Indonesia pada tahun 2019 berada di angka 55,95 kg/kapita/tahun (Siregar *et al.*, 2022) sehingga konsumsi ikan per minggu adalah 1,076 kg. Perkiraan asupan kadmium per minggu yang masuk ke dalam tubuh yakni 0,301 mg sehingga bernilai lebih tinggi dibandingkan MWI anak-anak dan remaja, namun bernilai lebih rendah dibandingkan dengan MWI orang dewasa yang terdapat pada **Tabel 5**. Nilai kandungan kadmium per minggu yang dikonsumsi sesuai dengan nilai MWI apabila ikan dikonsumsi sebanyak 375 gram untuk anak-anak, 1000 gram untuk remaja, dan 1750 gram untuk orang dewasa. Apabila anak-anak mengonsumsi 375 gram maka diketahui asupan kadmium yang masuk ke dalam tubuh adalah 0,105 mg di mana sesuai dengan nilai MWI. Remaja yang mengonsumsi 1000 gram mendapatkan 0,28 mg asupan kadmium dan sesuai nilai MWI. Begitu pula dengan orang dewasa yang apabila mengonsumsi 1750 gram per minggu diperkirakan memperoleh 0,49 mg asupan kadmium yang sesuai nilai MWI.

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa apabila konsumsi ikan nila sesuai dengan berat maksimum konsumsi per minggu, maka asupan kadmium ke dalam tubuh sesuai MWI dan diasumsikan tidak berbahaya bagi tubuh. Namun, jika konsumsi ikan nila melebihi batas yang direkomendasikan, akan berdampak pada kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan upaya mitigasi pencemaran di perairan Waduk Gajah Mungkur, seperti pengendalian limbah industri dan domestik, guna keberlanjutan sektor perikanan.

## KESIMPULAN

Tingkat kandungan kadmium yang terdapat di perairan Waduk Gajah Mungkur secara keseluruhan masih berada di bawah baku mutu. Kandungan kadmium dalam insang ikan nila memiliki kisaran dari 0,02-0,40 mg/kg dan secara rata-rata melebihi batas baku mutu (0,1 mg/kg) dengan nilai 0,143 mg/kg. Kandungan kadmium dalam daging ikan nila memiliki kisaran nilai <0,01-0,28 mg/kg dan secara rata-rata juga melebihi batas baku mutu dengan nilai 0,1178 mg/kg. Kandungan kadmium yang terabsorpsi pada insang dan daging ikan nila berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan. Nilai BCF yang diperoleh menunjukkan angka di bawah 250 sehingga memiliki potensi bioakumulasi rendah, selanjutnya diketahui nilai MTI untuk anak-anak 0,892 gram; remaja 2,377 gram; dan dewasa 4,16 gram. Diperlukan strategi mitigasi yang tepat, guna keberlanjutan sektor perikanan berkelanjutan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas doa, dukungan, dan keterlibatan secara langsung dalam penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Kader, H. H. dan M. H. Mourad. 2023. *Estimation of Cadmium in Muscles of Five Freshwater Fish Species from Manzalah Lake, and Possible Human Risk Assessment of Fish Consumption (Egypt)*. Biological Trace Element Research. 201(2):937-95. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03188-5>
- Ahsan, M. E., S. R. Islam, M. A. Razzak, M. L. Ali, dan M. M. Haque. 2022. *Assessment of Heavy Metals from Pangasius and Tilapia Aquaculture in Bangladesh and Human Consumption Risk*. Aquaculture International. 30: 1-28. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00903-w>
- Anwar, C., D. Wonggo, dan E. Mongi. 2022. Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Beberapa Jenis Ikan Demersal di Perairan Teluk Manado, Sulawesi Utara. Media Teknologi Hasil Perikanan. 10(3): 198-202.
- Ayanda, I. O., U. I. Ekhaton, dan O. A. Bello. 2019. *Determination of Selected Heavy Metal and Analysis of Proximate Composition in Some Fish Species from Ogun River, Southwestern Nigeria*. Heliyon. 5: 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02512>
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. SNI No. 7387:2009. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Baqar, M., S. Naseem, A. B Tabina, Y. Yao, M. Shahzad, A. Mahmood, A. Yasar, S. Zhao, G. Zhang, dan H. Sun. 2023. *Distribution, Bioaccumulation, and Health Risk Assessment of Organochlorines Across The Riverine Ecosystem of Punjab Province, Pakistan*. Environmental Science and Pollution Research. 30(43): 98377-98388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28778-1>
- Burkhard, L. P. 2021. *Evaluation of Published Bioconcentration Factor (BCF) and Bioaccumulation Factor (BAF) Data for Per- and Polyfluoroalkyl Substances Across Aquatic Species*. Environmental Toxicology and Chemistry. 40(6): 1530-1543. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.5010>
- Cui, B., Q. Zhang, K. Zhang, X. Liu, dan H. Zhang. 2011. *Analyzing Trophic Transfer of Heavy Metals for Food Webs in The Newly-Formed Wetlands of The Yellow River Delta, China*. Environmental Pollution. 159(5): 1297-1306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.024>
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Alam Pengelolaan sumber Daya Dan Lingkungan Hidup*. Yogyakarta: Kanisius.
- El-Saadani, Z., W. Mingqi, Z. He, S. L. Hamukwaya, M. S. M. A. Wahed, dan A. A. Khatita. 2021. Environmental Geochemistry and Fractionation of Cadmium. Toxics. 10(5): 221. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics10050221>
- Francisca, N. E. dan F. F. Mushoni. 2021. Laju Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) pada Salinitas yang Berbeda. Juvenil. 2(3): 166-175. DOI: <http://doi.org/10.21107/juvenil.v2i3.11271>
- Indonesia. 2021. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta.
- Khairuddin, K., M. Yamin, K. Kusmiyati, dan L. Zulkifli. 2021. Pengenalan Tentang Model Akumulasi Logam Berat Hg dan Cd dalam Jaringan Makhluk Hidup Melalui Pelatihan pada Siswa MTsN 1 Kota Bima. Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA. 4(4): 232-240. DOI: <https://doi.org/10.29303/jpmppi.v3i2.1102>
- Kortei, N. K., M. E. Heymann, E. K. Essuman, F. M. Kpodo, P. T. Akonor, S. Y. Lokpo, N. O. Boadi, M. Ayim-Akonor, dan C. Tettey. 2020. *Health Risk Assessment and Levels of Toxic Metals in Fishes (Oreochromis niloticus and Clarias anguillaris) from Ankobrah and Pra Basins: Impact of Illegal Mining Activities on Food Safety*. Toxicology Reports. 7: 360-369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.02.011>

- Mehmood, M. A., H. Qodri, R. A. Bhat, A. Rashid, S. A. Ganie, G. H. Dar, dan Shafiq-ur-Rehman. 2019. *Heavy Metal Contamination in Two Commercial Fish Species of a Trans-Himalayan Freshwater Ecosystem*. Environmental Monitoring and Assessment. 191(2), 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7245-2>
- Olatunji, A. E., Njoku, U. G., & Bekeh, A. F. 2021. *Heavy Metal Analysis of Selected Estuarine Fish Species from Oron River, Oron Local Government Area, Akwa Ibom*. American Journal of Zoology. 4(4): 50-56. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajz.20210404.11>
- Permana, R. dan N. Akbarsyah. 2021. *Phytoplankton Susceptibility Towards Toxic Heavy Metal Cadmium: Mechanism and Its Recent Updates*. World News of Natural Sciences. 38: 83-97.
- Riana, M., M. F. Isma, dan M. Syahril. 2021. Pengaruh Perbedaan Padat Tebar Terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Benih Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). Jurnal Ilmiah Samudra Akuatika. 5(2): 60-65. DOI: <https://doi.org/10.33059/jisa.v5i2.4471>
- Sall, M. L., A. K. D. Diaw, D. Gningue-Sall, S. E. Aaron, dan J. Aaron. 2020. *Toxic Heavy Metals: Impact on The Environment and Human Health, and Treatment with Conducting Organic Polymers, A Review*. Environmental Science and Pollution Research. 27(24): 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09354-3>
- Siregar, R. R., A. Maulani, dan A. Ardiningtyas. 2022. Pemanfaatan Tepung Sorgum dan Tepung Mocaf sebagai Alternatif Pengganti Tepung Terigu pada Pembuatan Chikuwa Ikan. Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan. 5(2): 109-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jkpt.v5i2.11025>
- Sugiyono. 2013. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Sukmono, A.. 2018. Pemantauan *Total Suspended Solid* (TSS) Waduk Gajah Mungkur Periode 2013-2017 dengan Citra Satelit Landsat-8. ELIPSOIDA Jurnal Geodesi dan Geomatika. 1(1): 33-38. DOI: <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2018.2812>
- Zhao, L., F. Montamari, H. Heberle, dan S. Schmidt. 2022. *Modeling Bioconcentration Factors in Fish with Explainable Deep Learning*. Artificial Intelligence in th Life Sciences. 2: 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ailsci.2022.100047>