

# Kandungan logam berat tembaga dan protein ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di keramba jaring apung Waduk Gajah Mungkur Wonogiri, Jawa Tengah

## The heavy metal content of copper (Cu) and protein in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in floating net cage of Gajah Mungkur reservoir, Wonogiri, Central Java

MOCHAMMAD AZWAN, SUNARTO, PRABANG SETYONO

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret. Jl. Ir. Sutami 36a, Surakarta 57126, Jawa Tengah

Manuskrip diterima: 14 Desember 2010. Revisi disetujui: 11 Agustus 2011.

**Abstract.** Novebrianto MA, Sunarto, Setyono P. 2011. The heavy metal content of copper (Cu) and protein in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in floating net cage of Gajah Mungkur reservoir, Wonogiri, Central Java. Bonorowo Wetlands 1: 70-79. Reservoir Gajah Mungkur of Wonogiri is an artificially aquatic environment with susceptibility to heavy metal contamination, so through the process of bioaccumulation, the fish tissue can be contaminated. This research was to identify the concentration of heavy metals copper (Cu) and protein in the tissue of tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.), bred in floating cage breeders at the reservoir Gajah Mungkur. It was also tended to observe the relationship between heavy metal concentrations of Cu with a protein content of tilapia tissue. Determination of sampling points was applied by a purposive sampling method. The concentration of both heavy metal and the measured protein was done descriptively, by comparing data obtained with freshwater quality standards according to PPRI No. 82 years 2001 and Decree DG POM No. 03725/B/SK/VII/89. Relations were analyzed by both correlations. The result showed that the concentration of Cu in the waters of reservoir Gajah Mungkur on a scale of 0.0108 mg/L was still below the threshold of freshwater quality standards. The parameters of temperature, pH, and DO on the results of the research were still in the range of values recommended for aquaculture activities. Cu concentration within tilapia tissues samples at 2.746 mg/kg was above the threshold of metal contamination in foods, especially processed meat, while the average protein content of tilapia value amounted to 18.07%. The higher the Cu content within the tissue, the lower the protein content of fish meat ( $r = 0.780$ ).

**Keywords:** Gajah Mungkur reservoir, heavy metals, *Oreochromis niloticus*, protein

### PENDAHULUAN

Air merupakan komponen lingkungan yang penting bagi kehidupan. Namun untuk mendapat air yang baik sesuai dengan standar tertentu, menjadi mahal, karena banyak tercemar oleh bermacam-macam limbah. Secara kualitas, sumberdaya air telah mengalami penurunan (Warlina 2004). Kualitas air ditentukan oleh beberapa parameter diantaranya kandungan beberapa ion logam dan non logam (Freedman 1995). Pencemaran air oleh logam dapat terjadi karena banyaknya industri yang menggunakan bahan yang mengandung logam berat, seperti dalam pengolahan campuran logam, pengolahan kayu, *electroplating*, industri penyamakan kulit (Lu 1995) atau penggunaan bahan yang mengandung logam itu sendiri seperti pestisida dan insektisida (Darmono 1995). Menurut Nybakken (1992), logam berat yang masuk ke dalam tubuh hewan umumnya tidak dikeluarkan lagi, sehingga cenderung menumpuk di dalam tubuhnya

Logam berat merupakan bahan pencemar berbahaya karena tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan dan terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi (Djuangsih et al.

1982). Biota air yang hidup dalam perairan tercemar logam berat, dapat mengakumulasi logam berat tersebut dalam jaringan tubuhnya (Rochyatun dan Rozak 2007).

Menurut Ecoton (2001), bioindikator adalah kelompok atau komunitas organisme yang keberadaannya atau perilakunya di alam berhubungan dengan kondisi lingkungan, sehingga dapat digunakan sebagai penunjuk kualitas lingkungan. Ikan sebagai salah satu biota air dapat dijadikan indikator tingkat pencemaran yang terjadi di dalam perairan. Jika di dalam tubuh ikan telah terkandung kandungan logam berat yang tinggi dan melebihi batas normal yang telah ditentukan dapat sebagai indikator terjadinya suatu pencemaran dalam lingkungan (Supriyanto et al. 2007).

Jumlah tembaga (Cu) yang diperlukan untuk proses enzimatis biasanya sangat sedikit. Dalam keadaan lingkungan yang tercemar menghambat sistem enzim (enzim inhibitor), kandungan Cu ditemukan pada jaringan beberapa spesies hewan air yang mempunyai regulasi sangat buruk terhadap logam. Hewan moluska sangat berperan dalam sistem translokasi dan detoksikasi logam. Hal ini terutama ditemukan pada kerang kecil (*oyster*) yang hidup dalam air yang terkontaminasi Cu yang terikat oleh sel leukosit sehingga menyebabkan kerang tersebut berwarna kehijau-hijauan. Kandungan Cu 2,5-3,0 ppm

dalam badan perairan dapat membunuh ikan (Palar 1994). Berdasarkan Peraturan Direktorat Jendral Pengawas Obat dan Makanan (POM) No. 03725/VII/89 tentang batas maksimum cemaran logam berat dalam daging, batas cemaran logam Cu pada daging ikan yaitu sebesar 2,0 mg/kg. Ion-ion logam berat yang masuk ke dalam tubuh akan bereaksi dengan sebagian protein, sehingga menyebabkan terjadinya koagulasi atau penggumpalan. Perubahan konformasi alamiah menjadi suatu konformasi yang tidak menentu merupakan suatu proses yang disebut denaturasi (Poedjiadi 1994).

Ikan nila (*Oreochromis niloticus* L.) merupakan jenis ikan yang mempunyai nilai ekonomis tinggi dan merupakan komoditas penting dalam bisnis ikan air tawar dunia. Permintaan daging ikan nila terus meningkat seiring dengan peningkatan konsumsi manusia dalam hal pemenuhan kebutuhan protein hewani. Protein berfungsi sebagai unsur penyusun atau sebagai enzim yang mengkatalisis reaksi kimia yang khusus di dalam organisme (El-Sayed 2006). Lehninger (1990) menyatakan bahwa, protein merupakan makromolekul yang paling berlimpah di dalam sel, menyusun lebih dari setengah berat kering sel.

Waduk Gajah Mungkur (WGM) Wonogiri dimanfaatkan sebagai kawasan wisata dan budidaya ikan air tawar dengan karamba jaring apung (KJA). KJA adalah sistem budidaya dalam wadah berupa jaring yang mengapung (*floating net cage*) dengan bantuan pelampung dan ditempatkan di perairan seperti danau, waduk, laguna, selat dan teluk (Effendi 2004). WGM Wonogiri berpotensi mengalami pencemaran karena sebagai daerah tangkapan air dari kumpulan beberapa sungai yang bermuara langsung di waduk. Air yang mengalir dari sungai-sungai besar itu diduga telah mengalami pencemaran logam berat dikarenakan adanya kegiatan industri, pestisida dan insektisida kegiatan pertanian, peternakan, karoseri, pengolahan kayu dan lain-lain. Sungai-sungai yang bermuara ke WGM Wonogiri antara lain Sungai Keduang, Wiroko, Unggahan, Temon, Alang, Wuryantoro dan sungai Bengawan Solo Hulu.

Menurut DLKP (2005), kandungan tembaga (Cu) di Waduk Gajah Mungkur Wonogiri di atas ambang batas baku mutu air kelas III. Pada musim kemarau kandungan logam Cu di perairan Waduk Gajah Mungkur berkisar antara 0,0238-0,0256 ppm. Hal ini telah melebihi ambang batas baku mutu air menurut PPRI No 82 tahun 2001.

Penelitian ini bertujuan: (i) Menentukan kandungan logam berat Cu dan kandungan protein pada ikan nila (*O. niloticus*) di Karamba Jaring Apung (KJA) Waduk Gajah Mungkur Wonogiri. (ii) Menentukan hubungan antara kandungan logam berat Cu dengan kandungan protein ikan nila di KJA Waduk Gajah Mungkur Wonogiri.

## BAHAN DAN METODE

### Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2009. Pengambilan sampel dilakukan di daerah Karamba Jaring

Apung (KJA) Waduk Gajah Mungkur Wonogiri (Gambar 1). Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Pusat Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta.

### Teknik pengumpulan data

Pengambilan sampel air dilakukan menggunakan *water sampler* dengan kedalaman  $\pm 30$  cm; 1 m; 2 m, kemudian air dikompositkan. Air yang telah dikompositkan tersebut dimasukkan ke dalam botol air mineral hingga botol terisi penuh oleh air. Setelah botol terisi air sampai penuh, botol ditutup kembali dan diangkat sampai ke atas permukaan air. Air yang terdapat di dalam botol kemudian dimasukkan ke dalam kotak es dan dianggap sebagai sampel yang selanjutnya dianalisis di laboratorium.

Pengambilan sampel ikan dilakukan dengan menggunakan jala/lunta pada titik sampling yang telah ditentukan. Ikan yang diambil memiliki kriteria berat, panjang, dan umur yang seragam ( $\pm 3$  bulan). Kemudian sampel ikan yang diambil dimasukkan ke dalam plastik/wadah plastik yang bersih dan disimpan di dalam kotak es untuk dianalisa di laboratorium.

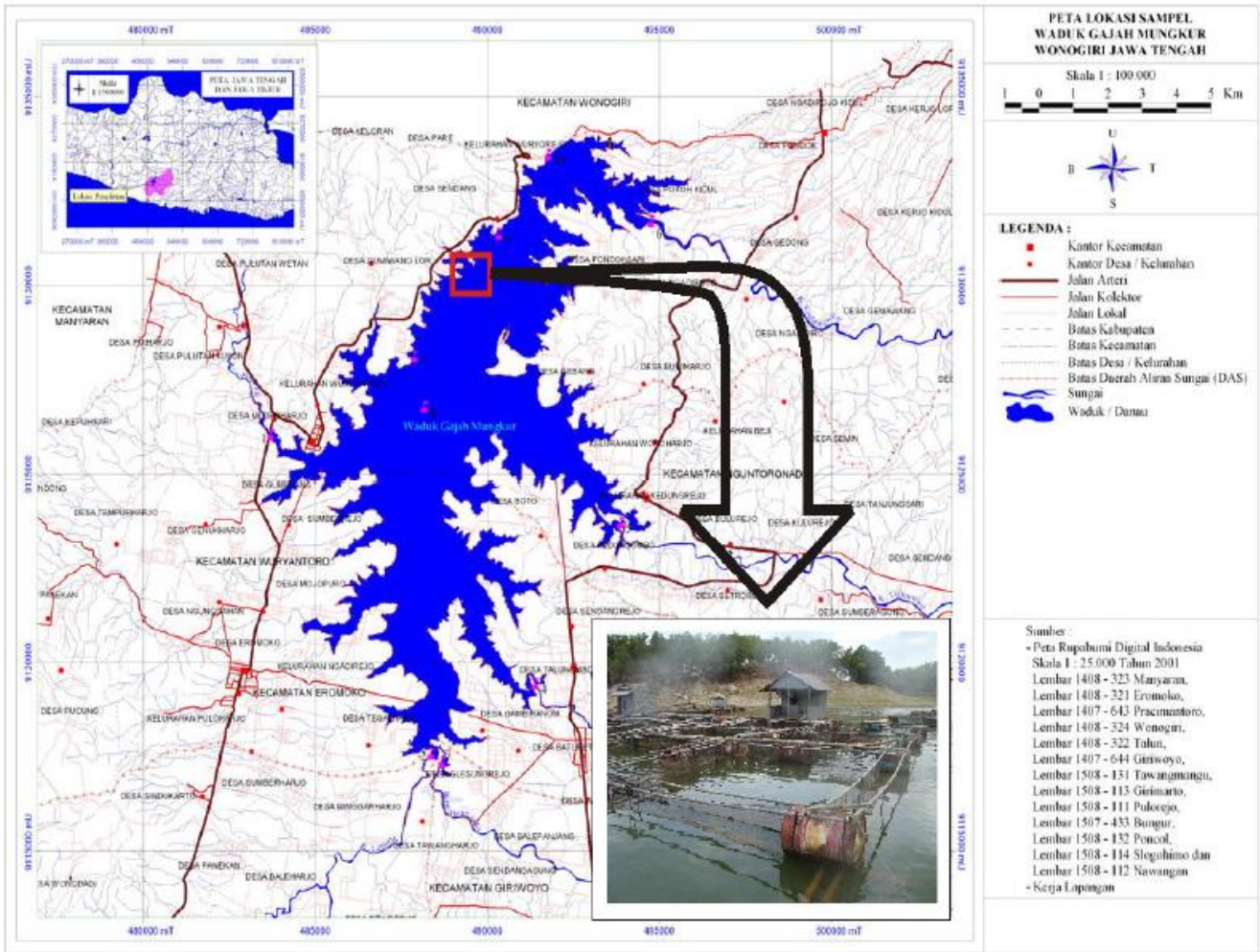
### Analisis data

Data yang diperoleh, kemudian ditabulasikan dengan mendeskripsikan parameter kualitas lingkungan. Kualitas air waduk disesuaikan dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 tentang "Pengelolaan Kualitas dan Pengendalian Pencemaran Air". Analisis kandungan protein pada ikan menggunakan metode Kjeldahl. Analisis kandungan Cu dalam tubuh ikan diasosiasikan dengan Keputusan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan (POM) No. 03725/B/SK/VII/89 tentang batas maksimum cemaran logam pada makanan khususnya daging olahan. Analisis hubungan antara kandungan logam berat Cu dengan kandungan protein ikan dianalisis menggunakan statistik korelasi dengan perangkat program *Statistical Product and Service Solution* (SPSS) versi 16.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kualitas air di KJA Waduk Gajah Mungkur Wonogiri

Berdasarkan data dalam Tabel 4, suhu, pH dan DO yang terukur di lokasi penelitian masih berada dalam batas yang diperbolehkan menurut PPRI No. 82 tahun 2001. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan parameter suhu, pH, dan DO air di zone Karamba Jaring Apung Waduk Gajah Mungkur Wonogiri masih memenuhi baku mutu air kelas 2 yaitu air yang diperuntukkan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.



Gambar 3. Lokasi pengambilan sampel di Karamba Jaring Apung (KJA) Waduk Gajah Mungkur Wonogiri, Jawa Tengah

Tabel 4. Hasil Pengukuran rata-rata suhu, pH, DO dan kandungan logam berat tembaga (Cu) di KJA WGM Wonogiri, Jawa Tengah

Parameter	Hasil penelitian			Baku Mutu
	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III	
Suhu (°C)	27,56	28,06	27,63	27-30*
pH	8,50	8,54	8,48	6-9*
DO (mg/L)	7,92	9,71	9,34	6 (min.)*
Cu di air (mg/L)	0,0078	0,0078	0,0168	0,02 (maks.)*
Cu di daging (mg/kg)	2,158	2,320	3,760	2,0 (maks.)**

Keterangan: \* Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Th. 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. \*\*Keputusan Dirjen POM No. 03725/B/VII/89 tentang batas maksimal cemaran logam berat dalam ikan dan akan olahan hasil laut.

Tabel 4 dapat dilihat kandungan logam berat Cu rata-rata pada air sebesar 0,0078 mg/L. Kandungan tersebut masih berada di bawah ambang batas maksimal yang diperbolehkan berdasarkan PPRI No. 82 Th. 2001 yaitu

sebesar 0,02 mg/L. Kandungan logam di perairan dipengaruhi oleh adanya fluktuasi kapasitas perairan dimana penambahan kapasitas perairan karena air hujan ataupun aliran air yang memasok akan mengakibatkan terjadinya pengenceran perairan, selain itu kandungan logam terlarut dalam perairan dipengaruhi pula oleh kandungan oksigen terlarut yang mengakibatkan adanya reaksi kimiawi. Antara stasiun I, II dan III memiliki rata-rata kandungan logam Cu yang hampir sama, hal ini dikarenakan adanya *floating* dimana air akan mengalirkan bahan yang terlarut di dalamnya (Mahida 1984).

Hasil analisis Cu dalam daging ikan nila menunjukkan angka berturut turut dari stasiun I, II, dan III sebesar 2,158 mg/kg; 2,320 mg/kg; dan 3,760 mg/kg. Kondisi ini telah melebihi ambang batas yang ditentukan berdasarkan Keputusan Dirjen POM No. 03725/B/VII/89 tentang batas maksimal cemaran logam berat dalam ikan dan makanan olahan hasil laut, yakni sebesar 2,0 mg/kg. Kandungan Cu dalam daging diperbandingkan dengan kandungan Cu dalam makanan karena dalam hal ini daging merupakan bagian tubuh ikan yang dikonsumsi manusia. Kandungan logam berat Cu dalam daging ikan nila telah melebihi

ambang batas kandungan logam berat Cu dalam makanan, sehingga daging ikan nila dalam penelitian ini tidak layak untuk dikonsumsi. Tingginya kandungan logam berat Cu dalam tubuh ikan dimungkinkan karena umur ikan yang dewasa sehingga telah terjadi akumulasi logam ke dalam tubuhnya, ikan merupakan organisme dengan tingkat tertinggi dalam rantai makanan pada ekosistem, semakin tinggi posisi seekor ikan dalam rantai makanan, maka mempunyai kemungkinan semakin beracun ikan tersebut jadinya karena pencemaran. Akumulasi logam berat yang berlebih dalam tubuh organisme dapat menyebabkan efek toksik dalam jangka waktu yang lama.

### Kandungan logam berat Cu dalam air, sedimen dan daging ikan nila

Pada penelitian ini, kandungan logam yang diukur adalah kandungan logam Cu yang terdapat di dalam air, sedimen dan daging ikan nila di KJA WGM Wonogiri. Hasil analisis kandungan logam berat Cu dalam air, sedimen dan daging ikan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan bahwa kandungan Cu dalam air pada ketiga stasiun masing masing sebesar 0,0078 mg/L; 0,0078 mg/L dan 0,0168 mg/L. Dibandingkan dengan baku mutu air, kandungan Cu pada ketiga stasiun belum melebihi ambang batas maksimum kandungan logam berat dalam air yakni sebesar 0,02 mg/L. Kandungan Cu dalam sedimen pada ketiga stasiun masing masing menunjukkan angka 36,91 mg/kg; 45,60 mg/kg dan 47,15 mg/kg. Menurut CCME (1999) ambang batas kandungan logam berat Cu dalam sedimen ialah sebesar 35,7 mg/kg, sehingga berdasarkan data yang diperoleh bahwa sedimen memiliki kandungan logam berat Cu yang melebihi batas normal. Setiap stasiun jumlah logam Cu dalam sedimen selalu lebih tinggi jika dibandingkan dengan dalam perairan. Hal ini erat kaitannya dengan sifat fisik kimia logam Cu yang mampu membentuk senyawa dengan bermacam-macam logam dan di dalam air akan mengikat agregat agregat sehingga menjadi partikel yang berukuran relatif lebih besar dan berat sehingga dapat mengendap dengan sendirinya (Palar 1994).

Kandungan logam berat yang masuk ke dalam perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran, dan dispersi,

kemudian diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut. Pengendapan di suatu perairan terjadi karena adanya anion karbonat hidroksil dan klorida. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap didasar perairan serta bersatu dengan sedimen sehingga kandungan logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding di dalam air.

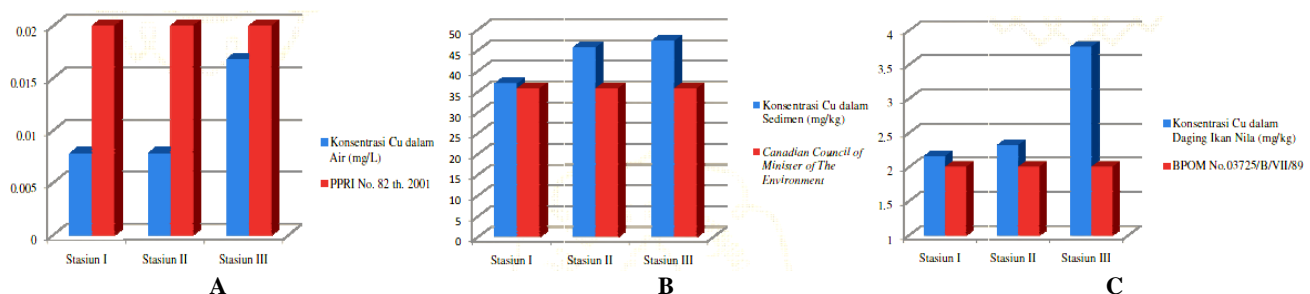
Logam berat cenderung terakumulasi pada sedimen yang merupakan komponen di dasar perairan. Limbah di udara akan terdisposisi dari atmosfer, bersama dengan limbah cair dan padat akan terangkut oleh air hujan dan terakumulasi pada sedimen. Sedimen merupakan salah satu indikator yang dapat digunakan untuk memantau logam berat dalam perairan dan sebagai terminal terakhir tempat terakumulasinya semua logam berat yang masuk ke perairan (Kohar et al. 2005).

Beberapa material yang terkandung di udara dan permukaan air mengalami oksidasi, radiasi ultraviolet, evaporasi dan polimerisasi. Jika tidak mengalami proses pelarutan, material ini akan saling berikatan dan bertambah berat sehingga tengelam dan menyatu dalam sedimen. Logam berat yang diabsorpsi oleh partikel tersuspensi akan menuju dasar perairan, menyebabkan kandungan logam di air menjadi lebih rendah. Hal ini tidak menguntungkan bagi organisme yang hidup di dasar air (Howard-Williams 1971).

**Tabel 5.** Rata-rata kandungan logam tembaga (Cu) dalam air, sedimen dan daging ikan nila

Parameter	Hasil penelitian			Baku Mutu
	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III	
Air	0,0078	0,0078	0,0168	0,02*
Sedimen	36,91	45,60	47,15	35,7**
Daging Ikan	2,158	2,320	3,760	2,0***

Keterangan: \* Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Th. 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. \*\*Canadian Council of Minister of The Environment (CCME 1999). \*\*\* Keputusan Dirjen POM No. 03725/B/VII/89 tentang batas maksimal cemaran logam berat dalam ikan dan makanan olahan hasil laut.



**Gambar 4.** Rata-rata kandungan Cu (A. dalam air, B. dalam sedimen, dan C. dalam daging ikan)

Kandungan Cu dalam daging ikan menunjukkan angka yang tinggi yakni rata-rata sebesar 2,746 mg/kg. Kandungan tersebut telah melebihi ambang batas maksimal cemaran logam berat dalam ikan dan makanan olahan hasil laut sesuai dengan keputusan Dirjen POM No. 03725/B/VII/89. Hal ini dimungkinkan karena faktor umur ikan yang cukup dewasa untuk mengalami kontak dengan perairan yang tercemar logam. Menurut Delwiche and Bryan (1976), pada makhluk heterotrofik cara pemasukan logam lebih besar daripada makhluk hidup autotrofik dan sangat beragam menurut jenisnya. Penyerapan dari larutan oleh sebagian besar hewan terjadi dengan difusi pasif, kemungkinan sebagai senyawa logam yang larut melalui tahapan yang disebabkan oleh penyerapan pada permukaan tubuh dan pengikatan oleh unsur pokok tubuh. Kecepatan penyerapan dipengaruhi oleh perubahan dalam faktor fisika-kimiawi (suhu, pH, kadar garam) dan ciri-ciri fisiologi dan perilaku makhluk hidup tersebut. Beberapa logam, kecepatan penyerapan secara langsung sesuai dengan tingkat ketersediaannya di lingkungan. Selain itu bisa pula penyerapan dari makanan yang dicerna. Ikan sebagai organisme yang menduduki tingkatan tertinggi dalam ekosistem memungkinkan mengalami tingkat pencemaran yang tinggi pula.

#### Distribusi logam berat Cu di KJA WGM Wonogiri

Fluktuasi kandungan Cu tertinggi terjadi pada sampel daging ikan, yang diikuti dengan fluktuasi yang terjadi pada sampel air, sedangkan pada sampel sedimen fluktuasi yang terjadi sangat rendah. Fluktuasi yang terjadi pada sampel daging disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi akumulasi logam Cu dalam sampel daging ikan. Menurut Savitri dan Salami (2008) faktor-faktor yang mempengaruhi kandungan logam, pada ikan adalah faktor bitoik (umur, berat, dan besar ikan) dan faktor abiotik (salinitas, pH, *temperature*, kadar O<sub>2</sub>, keberadaan logam, dan *reexposure* dari logam).

Data rata-rata kandungan Cu pada tiap stasiun dapat dilihat pada Tabel 6. Fluktuasi kandungan Cu pada air terjadi karena dapat dipengaruhi oleh adanya turbulensi perairan, dimana air akan tercampur mengalami pengenceran, sehingga mampu menyebabkan kandungan Cu yang berbeda di masing-masing stasiun. Suhu air mampu berpengaruh terhadap kelarutan logam berat di perairan. Fluktuasi yang rendah pada sedimen dapat dikarenakan oleh sifat sedimen yang hampir sama antara masing-masing stasiun, kesamaan jenis sedimen lumpur yang banyak mengandung ion-ion negatif sehingga dalam berikatan ion positif dari Cu juga sama.

**Tabel 6.** Rata-rata kandungan Cu dalam air, sedimen dan daging ikan nila pada masing-masing stasiun

Komponen perairan	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
Cu dalam air (mg/mL)	0,0078	0,0078	0,0168
Cu dalam sedimen (mg/kg)	36,91	45,60	47,15
Cu dalam daging ikan nila (mg/kg)	2,158	2,320	3,760

#### Analisis korelasi-regresi antara faktor lingkungan dan kandungan logam Cu dalam air, sedimen dan daging ikan nila

Menurut Darmono (1995), beberapa faktor yang mempengaruhi laju absorpsi logam dalam air adalah kadar garam pada air laut, alkalinitas pada air tawar, hadirnya senyawa kimia lainnya, temperatur, pH, besar atau kecilnya organisme dan kondisi kelaparan organisme. Toleransi spesies organisme terhadap logam berat tidak tergantung kepada laju absorpsi logam ke dalam tubuh. Kondisi stress fisiologik sangat berpengaruh terhadap absorpsi logam dari air, kondisi ini menyebabkan kenaikan absorpsi logam.

Tabel 7 menunjukkan bahwa ada korelasi positif antara suhu air dengan kandungan Cu dalam air sebesar 0,753. Antara suhu dengan kandungan Cu dalam sedimen juga menunjukkan korelasi positif sebesar 0,307. Korelasi antara suhu dengan kandungan Cu dalam daging juga positif yaitu sebesar 0,587. Nilai positif pada koefisien korelasi menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, maka akan mampu meningkatkan kandungan Cu dalam air, sedimen dan daging. Hubungan antara suhu dengan kandungan Cu dalam air menunjukkan tingkat korelasi yang sangat kuat karena nilai *r* terletak diantara 0,71-0,90 dan antara suhu dengan kandungan Cu dalam daging ikan menunjukkan tingkat korelasi yang kuat karena nilai *r* terletak diantara 0,41-0,70. Sedangkan nilai *r* hasil analisis korelasi antara suhu dengan kandungan Cu dalam sedimen terletak diantara 0,21-0,40 yang menunjukkan tingkat korelasi yang lemah. Semakin tinggi nilai suhu air akan meningkatkan kandungan Cu dalam sedimen meskipun peningkatannya sangat rendah.

Nybakken (1988) menjelaskan bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Kaidah umum menyebutkan bahwa reaksi kimia dan biologi air (proses fisiologis) akan meningkat 2 kali lipat pada kenaikan temperatur 10°C, selain itu suhu juga berpengaruh terhadap penyebaran dan komposisi organisme. Kisaran suhu yang baik bagi kehidupan organisme perairan adalah antara 18-30°C. Berdasarkan hal tersebut, maka suhu perairan dilokasi penelitian sangat mendukung kehidupan organisme yang hidup di dalamnya.

**Tabel 7.** Korelasi antara faktor lingkungan (suhu, pH, dan DO) dengan kandungan Cu air, sedimen dan daging ikan nila

Faktor lingkungan	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
Suhu (°C)	0,753	0,307	0,587
pH	-0,418	0,144	-0,556
DO (mg/mL)	-0,989	-0,273	-0,343

Keterangan: Batas-batas nilai koefisien korelasi diinterpretasikan sebagai berikut:

- 0,00-0,20 berarti korelasinya sangat lemah
- 0,21-0,40 berarti korelasinya lemah
- 0,41-0,70 berarti korelasinya kuat
- 0,71-0,90 berarti korelasinya sangat kuat
- 0,91-0,99 berarti korelasinya sangat kuat sekali
- 1,00 berarti korelasinya sempurna. (Nugroho 2005)

Suhu air menjadi faktor pembatas utama yang menentukan pertumbuhan dan kehidupan ikan. Suhu yang tinggi akan meningkatkan jumlah konsumsi oksigen sehingga dapat menyebabkan kematian (Welch 1952). Suhu berpengaruh terhadap kelarutan gas-gas di dalam air dan kehidupan organisme di dalamnya. Semakin tinggi suhu di perairan maka semakin tinggi pula metabolisme ikan sehingga dalam proses tersebut maka ikan membutuhkan banyak energi untuk kelangsungan kehidupannya.

Hasil analisis regresi kandungan Cu dalam sedimen dengan suhu pada Tabel 8 menunjukkan nilai  $R^2$  sebesar 0,120 yang berarti hanya 12% faktor suhu berpengaruh terhadap kandungan Cu dalam sedimen. Dari hasil analisis regresi antara kandungan Cu dalam daging dengan suhu pada Tabel 8 menunjukkan nilai  $R^2$  sebesar 0,654 yang artinya bahwa 65,4% faktor suhu berpengaruh terhadap variasi kandungan Cu dalam daging.

Odum (1993) yang menyatakan bahwa kenaikan suhu menyebabkan peningkatan akumulasi logam berat dalam jaringan. Suhu mempengaruhi reaksi kimia, metabolisme, pelepasan logam berat oleh organisme dan meningkatkan proses bioakumulasi logam dalam tubuh organisme. Sorensen (1991) menyatakan bahwa peningkatan suhu perairan cenderung menaikkan akumulasi dan toksisitas Cu, hal ini terjadi akibat meningkat laju metabolisme dari organisme air.

Palar (2004) menyatakan bahwa suhu air yang lebih dingin akan meningkatkan absorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap di dasar perairan sehingga menyebabkan Cu dalam air rendah. Sementara jika saat suhu air naik, senyawa logam berat akan melarut di air karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat dan menyebabkan kandungan Cu dalam air naik. Sedangkan kecenderungan naiknya kandungan logam Cu dalam daging mengikuti kenaikan nilai suhu di air disebabkan oleh karena ikan merupakan organisme yang hidup melayang di perairan, sehingga pengaruh naiknya suhu dalam air mampu mempengaruhi reaksi kimia, metabolisme dan meningkatkan proses bioakumulasi logam dalam jaringan ikan.

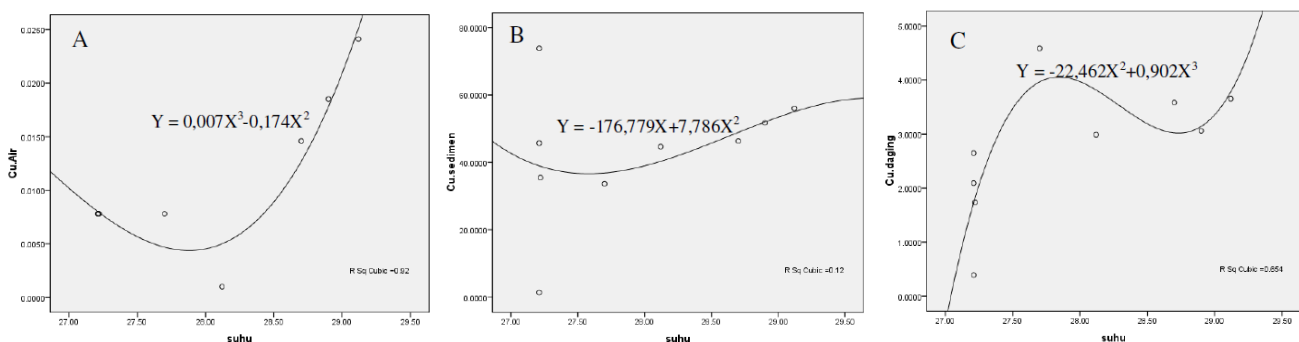
Derajat keasaman (pH) sangat penting sebagai parameter kualitas air karena ia mengontrol tipe dan laju

kecepatan reaksi beberapa bahan dalam air. Selain itu, ikan dan makhluk-makhluk lainnya hidup pada selang pH tertentu, sehingga dengan diketahuinya nilai pH, kita dapat mengetahui apakah air tersebut sesuai atau tidak untuk menunjang kehidupan mereka. Pada Tabel 7 terlihat korelasi antara pH dengan kandungan Cu dalam air sebesar -0,418. Nilai negatif pada koefisien korelasi menunjukkan jenis korelasi negatif, yang artinya bahwa semakin tinggi nilai pH di perairan tidak diikuti dengan kenaikan kandungan logam berat Cu di perairan. Hal ini dapat dikarenakan kenaikan pH di perairan akan mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air sehingga akan mengendap membentuk lumpur.

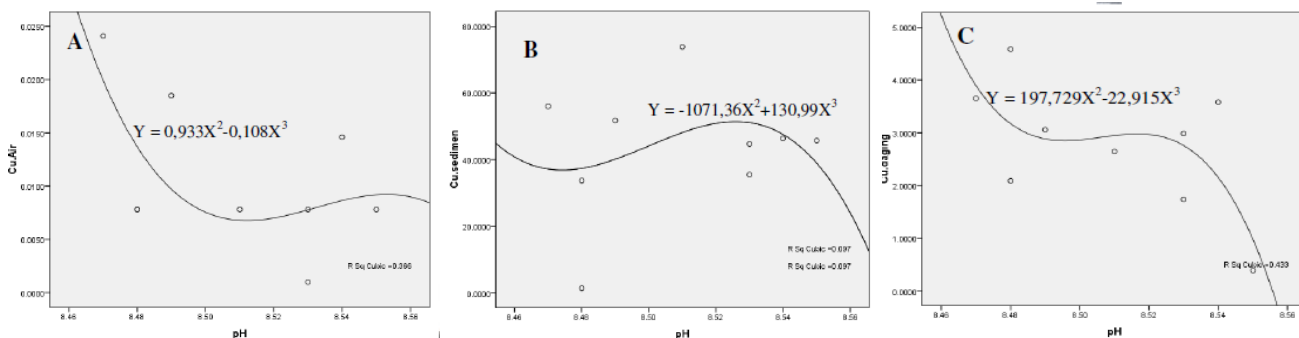
Nilai korelasi antara pH dengan Cu dalam sedimen sebesar 0,144 berarti semakin meningkatnya pH akan meningkatkan kandungan Cu dalam sedimen. Antara pH dengan kandungan dalam sedimen mempunyai korelasi yang lemah yang ditunjukkan dengan nilai  $r$  berada diantara 0-0,20. Nilai korelasi antara pH dengan kandungan Cu dalam daging adalah sebesar -0,556 yang menunjukkan jenis korelasi negatif seperti halnya nilai korelasi pH dengan kandungan Cu dalam air. Hal ini sangat dimungkinkan karena, ikan merupakan organisme yang hidup melayang dalam perairan, sedangkan kenaikan nilai pH pada perairan mampu menurunkan kandungan logam berat di perairan sehingga paparan logam berat yang dialami oleh ikan sebagai organisme pun semakin kecil. Untuk mengetahui adanya pengaruh pH terhadap kandungan Cu dalam air, sedimen dan daging dilakukan uji regresi.

**Tabel 8.** Analisis regresi antara suhu dengan kandungan Cu dalam air, sedimen dan daging ikan

Faktor (X,Y)	Persamaan regresi	$R^2$
Kandungan Cu dalam air dengan suhu	$Y = 0,007x^3 - 0,174x^2$	0,920
Kandungan Cu dengan sedimen dengan suhu	$Y = 176,779x + 7,876x^2$	0,120
Kandungan Cu dalam daging dengan suhu	$Y = 22,462x^3 + 0,902x^2$	0,654



**Gambar 7.** Analisis regresi antara suhu dengan kandungan Cu (A. dalam air, B. dalam sedimen, dan C. dalam daging ikan)



**Gambar 8.** Analisis regresi antara pH dengan kandungan Cu (A. dalam air, B. dalam sedimen, dan C. dalam daging ikan)

**Tabel 9.** Analisis regresi antara pH dengan kandungan Cu dalam air, sedimen dan daging ikan

Faktor (X,Y)	Persamaan regresi	R <sup>2</sup>
Kandungan Cu dalam air dengan pH	$Y = 0,933X^2 - 0,108X^3$	0,366
Kandungan Cu dengan sedimen dengan pH	$Y = -1071,36X^2 + 130,99X^3$	0,097
Kandungan Cu dalam daging dengan pH	$Y = 197,729X^2 - 22,915X^3$	0,433

Dari hasil analisis regresi antara kandungan Cu dalam air, sedimen dan daging pada Tabel 9 didapatkan nilai R<sup>2</sup> berturut-turut sebesar 0,366; 0,097; 0,433. Hal ini menunjukkan bahwa 36,6% faktor pH berpengaruh terhadap kandungan Cu dalam air, 9,7% faktor pH mempengaruhi kandungan Cu dalam sedimen dan sebesar 43,3% kandungan Cu dalam daging dipengaruhi oleh pH. Dari nilai R<sup>2</sup> dapat diketahui bahwa faktor pH sangat sedikit mempengaruhi kandungan Cu dalam air, sedimen maupun daging.

Sumbangan pH perairan dapat diperoleh dari adanya sisa-sisa pakan yang mengendap di dasar kolam dan kandungan CO<sub>2</sub> yang tinggi hasil pernafasan ikan. Kecenderungan menurunnya kandungan logam Cu di air ini disebabkan oleh karena kenaikan pH mampu mengubah kestabilan ikatan logam dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air, sehingga partikel yang terbentuk akan mengendap membentuk lumpur (sedimen). Disinilah sedimen akan terbentuk oleh partikel yang telah terkandung ion logam tersebut, sehingga menyebabkan peningkatan kandungan logam dalam sedimen (logam mengendap di dasar perairan). Adanya proses pengendapan tersebut menyebabkan kandungan logam di perairan menurun. Ikan merupakan organisme yang hidup melayang di perairan, sehingga apabila kandungan logam dalam perairan sebagai habitatnya menurun, maka absorpsi logam oleh tubuhnya juga akan menjadi lebih kecil.

Oksigen dibutuhkan oleh hampir semua organisme untuk hidupnya. Pada kehidupan hewan, oksigen merupakan salah satu komponen utama dalam proses metabolisme dan respirasi, namun kebutuhan akan oksigen pada setiap hewan bergantung pada jenis, stadia dan aktivitasnya. Oksigen terlarut di dalam air menunjukkan

cadangan oksigen dalam air tersebut. Oksigen dapat merupakan faktor pembatas dalam penentuan kehadiran makhluk hidup dalam air. Kandungan oksigen terlarut dalam perairan alami biasanya kurang dari 10 mg/L. Oleh karena itu kandungan oksigen terlarut dapat dijadikan ukuran untuk menentukan kualitas air. Rendahnya DO menunjukkan bahwa lokasi tersebut sudah tercemar, menurunnya kandungan O<sub>2</sub> terlarut merupakan indikasi adanya pencemaran (Michael 1994).

Hasil analisis korelasi antara DO dengan kandungan Cu dalam air adalah -0,989 yang berarti bahwa semakin tinggi nilai DO, maka akan diikuti dengan menurunnya kandungan Cu dalam air. Hal ini sesuai dengan pernyataan di atas bahwa perairan yang mengandung oksigen terlarut yang tinggi memiliki derajat pengotoran yang rendah salah satunya adalah logam Cu. Korelasi antara DO dengan kandungan Cu dalam sedimen dan daging ikan menunjukkan nilai negatif pula, yaitu sebesar -0,273 dan -0,343. Dari hasil analisis korelasi keeratan antara DO dengan kandungan Cu dalam air memiliki tingkat keeratan yang tinggi sedangkan keeratan DO dengan kandungan Cu dalam sedimen dan daging ikan memiliki keeratan yang rendah karena terletak antara 0,21-0,40.

Hasil analisis regresi antara DO dengan kandungan Cu dalam air didapatkan nilai R square (R<sup>2</sup>) sebesar 0,979 yang artinya bahwa variasi yang terjadi terhadap kandungan Cu dalam air 97,9% dipengaruhi oleh variasi DO. Hasil analisis regresi kandungan Cu dalam sedimen dengan DO pada Tabel 10 menunjukkan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,111 yang artinya hanya 11,1% faktor DO berpengaruh terhadap kandungan Cu dalam sedimen. Hal ini berarti DO hampir tidak mempengaruhi kandungan Cu dalam sedimen. Hasil analisis antara kandungan Cu dalam daging dengan DO pada Tabel 10 menunjukkan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,205 yang berarti bahwa 20,5% faktor DO mempengaruhi kandungan Cu dalam daging. Menurut Kumalawati (2008) perairan yang mengandung oksigen terlarut yang tinggi memiliki derajat pengotoran yang rendah salah satunya oleh logam berat. Pada daerah-daerah yang kekurangan oksigen, misalnya akibat tingginya bahan-bahan organik, daya larut logam berat menjadi lebih rendah dan mudah mengendap (Umar et al. 2001). Rendahnya kandungan logam di perairan memungkinkan kecilnya pengendapan yang terjadi dalam sedimen, sehingga kandungan logam Cu di sedimen pun rendah. Kecenderungan yang sama terjadi

pada kandungan logam Cu dalam daging, hal ini dikarenakan ikan merupakan organisme yang hidup melayang di perairan, sehingga apabila kandungan pencemar (logam berat) dalam habitat perairannya rendah, maka tingkat akumulasi pencemaran pada tubuh ikan juga semakin rendah. Kecilnya kandungan logam berat di perairan akan memungkinkan kecilnya adsorpsi logam tersebut dalam jaringan ikan.

#### Analisis korelasi-regresi antara kandungan logam berat Cu dengan kandungan protein ikan nila (*O. niloticus* Linn.) di KJA WGM Wonogiri

Tabel 12 menunjukkan bahwa hubungan antara kandungan logam berat Cu dengan kandungan protein ikan menunjukkan nilai  $r$  sebesar 0,780. Keberadaan logam berat Cu dalam daging ikan diikuti dengan adanya penurunan kandungan protein ikan. Nilai  $r$  menunjukkan adanya korelasi yang kuat karena nilai  $r$  diantara 0,71-0,90. Hasil analisis regresi antara kandungan Cu dengan kandungan protein dalam daging ikan didapatkan nilai  $R$  square ( $R^2$ ) sebesar 0,609 yang artinya bahwa variasi yang terjadi terhadap kandungan protein daging sebesar 60,9% dipengaruhi oleh variasi kandungan Cu dalam daging analisis ini juga diperoleh nilai  $F$  yakni sebesar 10,9 dengan angka signifikansi ( $p$ ) sebesar 0,013.

Terjadi mekanisme protektif saat logam memasuki tubuh dengan membentuk kompleks protein-logam. Logam akan bergabung dengan *Metallothionein*, yaitu suatu protein dengan bobot rendah. Setelah kebutuhan logam Cu tercukupi, kelebihan logam ini terserap ke dalam sel mukosa gastrointestinal. Cu yang tidak terikat pada intestinum akan tersimpan dalam hati. Cu juga dapat memasuki jaringan melalui kulit kedua cara tersebut dapat menyebabkan tembaga dengan mudah masuk dalam darah.

Cu menjadi bagian dari beberapa enzim penting antara lain, tirosinase (produksi melanin), dopamine beta-hidroksilase (produksi *catecholamine*), copper-zinc superoksida dismutase (detoksifikasi radikal bebas), dan sitokrom oksidase dan seruloplasmin (konversi zat besi) (Aaseth dan Norseth 1986). Semua binatang terestrial memiliki Cu sebagai unsur sitokrom oksidase, monofenol oksidase, plasma monoamine oksidase, dan protein tembaga kompleks (Schroeder et al. 1966).

Bahan beracun atau toksikan bersifat inhibitor (menghalangi kerja) enzim. Apabila terjadi pertemuan atau reaksi antara bahan beracun dengan enzim, maka kerja enzim akan terhalangi. Keadaan itu akan turut mempengaruhi proses metabolisme tubuh sehingga terjadi ketimpangan. Pada tingkat lanjut keadaan ini dapat merusak seluruh sistem kerja enzim dalam tubuh (Palar 1994). Gangguan metabolisme sel yang terjadi dapat menyebabkan degenerasi sel sehingga kematian sel tubuh tidak dapat terhindari.

**Tabel 10.** Hasil analisis regresi antara DO dengan kandungan Cu dalam air, sedimen dan daging.

Faktor (X,Y)	Persamaan regresi	R <sup>2</sup>
Kandungan Cu dalam air dengan DO	$Y = 0,093 - 0,009X$	0,979
Kandungan Cu dengan sedimen dengan DO	$Y = 118,414X - 8,633X^2$	0,111
Kandungan Cu dalam daging dengan DO	$Y = 7,769X^2 - 0,577X^3$	0,205

**Tabel 11.** Kandungan protein sampel daging ikan nila

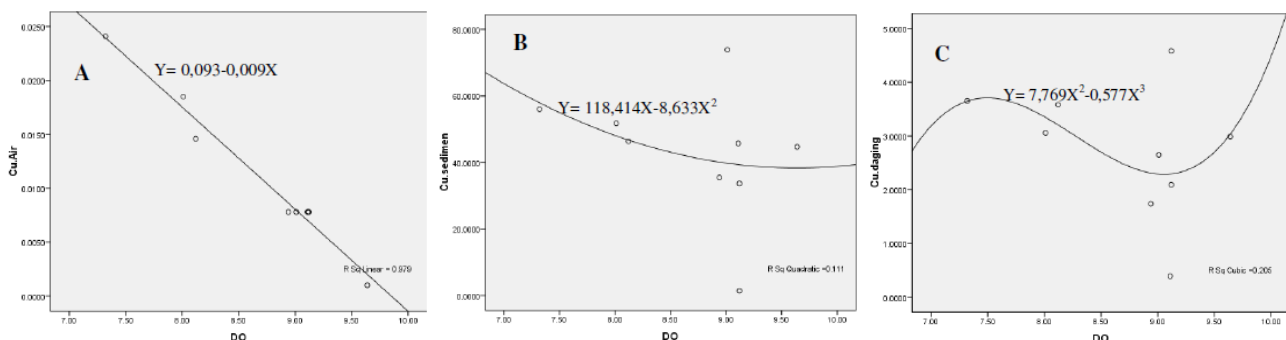
Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
19,73	18,81	16,83
19,31	18,13	16,99
19,78	17,50	15,61
Rata-rata 19,60	Rata-rata 18,15	Rata-rata 16,47

**Tabel 12.** Korelasi antara Kandungan logam berat tembaga (Cu) dengan kandungan protein Ikan nila

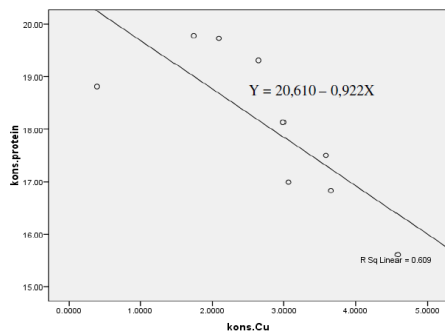
Kandungan tembaga (Cu)	Kandungan protein ikan
	$r = -0,780$

**Tabel 13.** Hasil analisis regresi antara kandungan Cu dengan kandungan protein dalam daging

Faktor (X,Y)	Persamaan regresi	R <sup>2</sup>
Kandungan Cu dengan kandungan protein daging	$Y = 20,610 - 0,922X$	0,609



**Gambar 9.** Analisis regresi antara DO dengan kandungan Cu (A. dalam air, B. dalam sedimen, dan C. dalam daging ikan)



**Gambar 10.** Analisis regresi antara kandungan Cu dengan kandungan protein dalam daging ikan

Kelebihan Cu dalam tubuh menyebabkan berbagai efek toksik, diantaranya mengubah permeabilitas membran seluler. Berat molekul tembaga yang kecil, memungkinkan untuk logam ini masuk lewat pori-pori sel secara filtrasi. Toksikannya masuk ke dalam sel bersama dengan air. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya kerusakan sel-sel epidermis luar sehingga dapat mengubah warna tubuh ikan penelitian menjadi pucat.

Metabolisme atau transformasi biologis dari bahan-bahan beracun merupakan faktor penentu utama terhadap daya racun dan zat terkait. Melalui proses biotransformasi ini, bahan-bahan beracun yang masuk ke dalam tubuh akan mengalami peningkatan daya racunnya atau akan mengalami penurunan dari daya racun yang dimilikinya. Mekanisme keracunan terbagi atas dua fase, yaitu:

Fase kinetik, meliputi proses-proses biologi biasa seperti penyerapan, penyebaran dalam tubuh, metabolisme dan proses pembuangan atau ekstraksi. Pada fase ini, baik toksikan (bahan beracun) dan atau protoksikan (bahan-bahan yang mempunyai potensi menjadi racun), akan mengalami proses sinergik atau sebaliknya proses antagonik.

Fase dinamik, meliputi semua reaksi-reaksi biokimia yang terjadi dalam tubuh, berupa katabolisme dan anabolisme yang melibatkan enzim-enzim. Bahan beracun yang tidak bisa dinetralkan oleh tubuh akan bereaksi dengan senyawa-senyawa hasil dari proses biosintesa seperti protein, enzim, asam inti, lemak dan lain-lain. Hasil dari reaksi yang terjadi antara bahan beracun dengan produk biosintesa ini bersifat merusak terhadap proses-proses biomolekul dalam tubuh. Menurut Connel dan Miller (1995), terdapat tiga mekanisme toksisitas logam pada makhluk hidup, yaitu: (i) Menghambat fungsi esensial biologi pada kelompok biomolekul seperti enzim dan protein. (ii) Memindahkan ion logam esensial dalam biomolekul. (iii) Merubah bentuk aktif biomolekul.

Pelepasan Cu yang paling besar adalah di tanah, sumber utamanya antara lain pertambangan, pertanian, limbah dari pabrik. Kebanyakan tembaga terdeposit dengan kuat dalam tanah pada bagian atas tanah. Cu terserap pada bahan organik, mineral karbonat, mineral tanah liat. Jumlah terbesar yang dilepaskan terjadi pada tanah berpasir yang

asam. Dalam lingkungan terestrial sejumlah faktor penting mempengaruhi kandungan tembaga dalam tanahnya. Di antaranya sifat alami tanah, pH, kehadiran oksida, potensial redok, bahan organik dan pertukaran kation (Ashby et al. 1977).

memonitor pencemaran logam, analisis biota air sangat penting artinya daripada analisis air itu sendiri. Hal ini disebabkan kandungan logam dalam air yang dapat berubah-ubah dan sangat tergantung pada lingkungan dan iklim. Pada musim hujan, kandungan logam akan lebih kecil karena proses pelarutan, sedangkan pada musim kemarau kandungan logam akan lebih tinggi karena logam menjadi terkandung. Kandungan dalam biota air biasanya akan selalu bertambah dari waktu ke waktu karena sifat bioakumulatif logam, sehingga biota air sangat baik digunakan sebagai indikator pencemaran logam dalam lingkungan perairan.

Penyerapan ion-ion logam dari air laut oleh organisme air, seperti ikan dan udang biasanya melalui insang. Simkiss et al. (1982) melaporkan bahwa logam-logam ringan seperti Na, K, Ca, dan Mg merupakan logam dalam kelompok kelas A yang keterlibatan ion logamnya dalam makhluk hidup menyangkut proses fisiologis. Logam berat yang dimasukkan ke dalam kelas B, merupakan logam-logam yang terlibat dalam proses enzimatik dan dapat menimbulkan polusi, misalnya Cu, Zn, Cd, Hg, dan Pb.

Aktivitas dari logam kelas A masuk ke dalam tubuh hewan biasanya dengan cara difusi membran sel, sedangkan kelas B, terikat dengan protein (*ligand binding*). Logam ringan yang termasuk kelas A biasanya selalu terdapat dalam air yang mengandung garam yang larut di dalamnya (air laut). Lapisan sel (membran) pada biota air biasanya berlapis dua dan berbentuk lipida (lipid bilayer), yang pada permukaannya mengandung beberapa lapisan yang mengikat ion-ion yang akan diserap. Ion logam masuk ke dalam sel dengan cara penetrasi ke dalam lapisan lipida, tetapi dalam penetrasi tersebut ada barrier yang menghambat yaitu berupa energi. Energi ini dihasilkan oleh proses sintesis ATP, kontraksi otot, aktivitas saraf, keseimbangan elektrolit, dan sebagainya (Darmono 1995).

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Karamba Jaring Apung Waduk Gajah Mungkur Wonogiri dapat diketahui rata-rata kandungan logam berat Cu dalam daging ikan nila (*Oreochromis niloticus*) adalah sebesar 2,746 mg/kg, nilai tersebut menunjukkan adanya akumulasi logam berat tembaga yang telah melebihi ambang batas maksimum. Sedangkan untuk kandungan protein ikan nila rata-rata dari hasil penelitian diketahui sebesar 18,07%. Hubungan antara kandungan logam berat Cu dengan kandungan protein ikan nila diketahui terdapat hubungan yang erat, ditunjukkan oleh angka keeratan ( $r$ ) sebesar 0,780 dan bentuk hubungan linear dengan angka  $R^2$  sebesar 0,609 yang berarti 60,9% kandungan protein dipengaruhi oleh kandungan Cu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aaseth J, Norseth T. 1986. Copper. In: Friberg L, Nordberg GF, Vouk V, (eds.). *Handbook on the Toxicology of Metals 2*. Elsevier, New York.
- Ashby EC, Lin JJ, Watkins JJ. 1977. Reactions of enones with the new organocuprates, lithium trimethylcuprate, dilithium pentamethylcuprate, and dilithium trimethylcuprate. *J Org Chem* 42 (6): 1099-1102.
- CCME [Canadian Council of Minister of the Environment]. 1999. *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Canadian Council of Minister of the Environment, Winnipeg, MB, Canada
- Connel DW, Miller GJ. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. (Koestoer Y, terj.). Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Darmono. 1995. *Logam dan Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI Press, Jakarta
- Delwiche CC, Bryan BA. 1976. Denitrification. *Ann Rev Microbiol* 30: 241-262.
- Djuangsih N, Benito AK, Salim H. 1982. *Aspek Toksikologi Lingkungan, Laporan Analisis Dampak Lingkungan Lembaga Ekologi*. Universitas Padjadjaran, Bandung.
- DLKP. 2005. *Profil Lingkungan Hidup. Laporan Hasil Pemantauan Kualitas Air Sungai di Kabupaten Wonogiri*. Dinas Lingkungan Hidup, Kehutanan dan Pertambangan Kabupaten Wonogiri, Wonogiri.
- Ecoton. 2001. *Biomonitoring Partisipatif-Alternatif Pemantauan Kualitas Air Kali Surabaya*. Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi Lahan Basah, Surabaya.
- Effendi I. 2004. *Pengantar Akuakultur*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- El-Sayed AFM. 2006. *Tilapia culture*. Edited by CABI Publishing, Cambridge, USA.
- Freedman B. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI Press, Jakarta.
- Howard-Williams C. 1971. Environmental factors controlling the growth of plants on heavy metal soils. *Kirkia* 8 (1): 91-102.
- Keputusan Dirjen POM No. 03725/B/VII/89 tentang batas maksimal cemaran logam berat dalam ikan dan akanan olahan hasil laut
- Kohar I, Budiono R, Indriany D, Nanik SW. 2005. Studi kandungan Logam Berat dalam Daging Ikan dari Tambak Yang Dekat dan yang Jauh Dari Daerah Industri. *Berk Penel Hayati* 10: 111-115.
- Kumalawati. 2008. *Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Karakteristik Pola Pita Protein Total Dan Kandungan Protein Kerang Air Tawar (Anodontia woodiana Le) Di Sungai Serang Hilir Waduk Kedungombo*. [Tesis]. Program Sarjana Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Lehninger AL. 1990. *Principles of Biochemistry*. Cet. ke-2. (Thenawidjaja M, terj.). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Lu FC. 1995. *Toksikologi Dasar*. Edisi Kedua. UI Press, Jakarta.
- Mahida UN. 1984. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah*. Rajawali, Jakarta.
- Michael P. 1994. *Metode Ekologi Untuk Penyelidikan Lapangan dan Laboratorium*. (Koestoer YR, terj.). UI Press, Jakarta.
- Nugroho BA. 2005. *Strategi Jitu Memilih Metode Statistik Penelitian Dengan SPSS*. Andi, Yogyakarta.
- Nybakken JW. 1992. *Biologi Laut. Studi Pendekatan Ekologi* (Eidman HM et al. terj.). Gramedia, Jakarta.
- Odum EP. 1993. *Fundamental of Ecology*, 3th ed. WB. Saunders Co., London.
- Palar H. 1994. *Pencernaan dan Toksikologi Logam Berat*. PT Rineka Cipta, Jakarta.
- Peraturan Direktorat Jendral Pengawas Obat Dan Makanan (POM) No. 03725/VII/89 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Daging.
- Poedjiadi A. 1994. *Dasar-Dasar Biokimia*. UI Press, Jakarta.
- PPRI [Peraturan Pemerintah Republik Indonesia] No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- Rochyatun E, Rozak A. 2007. Pemantauan kadar logam berat dalam sedimen perairan Teluk Jakarta. *Makara Sains* 11 (1): 28-36.
- Savitri PO, Salami IRS. 2008. *Kajian Kandungan Logam Berat pada Ikan Air Tawar di Pasar Tradisional dan Pasar Swalayan Kota Bandung*. ITB, Bandung.
- Schroeder HA, Nason AP, Tipton IH, Balassa JJ. 1966. Essential trace metals in man: Copper. *J Chronic Dis* 19 (9):1007-1034.
- Simkiss K, Taylor M, Mason AZ. 1982. Metal detoxification and bioaccumulation in mollusks. *Mar Biol Lett* 3: 187-201.
- Sorensen EM. 1991. *Metal Poisoning in Fish*. Environmental and Life Science Associates, Boston.
- Supriyanto C, Samin dan Z Kamal. 2007. Analisis Cemaran Logam Berat Pb, Cu, dan Cd pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN, Yogyakarta.
- Umar TM, Winarni MM, Liestiaty F. 2001. Kandungan logam berat Tembaga (Cu) pada air, sedimen dan kerang *Marcia* sp. di Teluk Parepare, Sulawesi Selatan. *Jurnal Science & Technology* 2 (2): 35-44.
- Warlina L. 2004. *Pencemaran Air: Sumber, Dampak dan Penanggulangannya*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Welch PS. 1952. *Limnology*. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.