

**STUDI AKUMULASI DAN DEPURASI LOGAM TEMBAGA (Cu)
PADA IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*)**

**Indah Rachmatiah Siti Salami^{*}, Suphia Rahmawati,
Anastasia Prima Kristijarti & Ayda Trisnawati Yusuf^{**}**

ABSTRAK

*Perairan darat yang banyak digunakan untuk budidaya ikan sistem Karamba Jaring Apung (KJA) adalah waduk, diantaranya Waduk Saguling dan Cirata. Pada saat ini waduk-waduk tersebut diketahui telah mengalami tingkat pencemaran yang tinggi. Salah satu komoditas ikan yang banyak dibudidayakan di dalam KJA adalah Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). Mengingat logam berat dapat terakumulasi pada ikan, maka studi akumulasi dan depurasinya perlu dilakukan. Studi ini ditujukan untuk mengamati akumulasi dan depurasi logam tembaga (Cu) pada Ikan Nila dan melihat efek histopatologi pada organ hati, insang, dan otot ikan. Penelitian dilaksanakan dalam skala laboratorium, secara flowthrough selama 28 hari. Ikan yang digunakan berumur 2 - 2,5 bulan, dengan kadar Cu di air 0,002 mg/L, 0,02 mg/L, dan 0,04 mg/L. Terjadi peningkatan kadar Cu pada ikan sebesar 0,969 mg/kg (untuk kadar 0,002 mg/L), 3,677 mg/kg (untuk kadar 0,02 mg/L), dan 4,503 mg/kg (untuk kadar 0,04 mg/L). Organ yang paling banyak mengakumulasi Cu adalah hati, yaitu sebesar 341 mg/kg berat kering (kadar 0,04 mg/L). Kerusakan jaringan ditemukan pada organ hati dan insang, tetapi tidak pada otot. Depurasi dengan air bersih selama tiga hari tidak mengurangi kerusakan yang terjadi. Pemantauan kualitas air waduk dan ikan secara kontinu diperlukan karena telah ditemukan akumulasi logam Cu pada Ikan Nila yang diteliti.*

Kata kunci : akumulasi, depurasi, tembaga, Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

ABSTRACT

**STUDY ON THE ACCUMULATION AND DEPURIFICATION OF
LEAD (Cu) IN NILA TILAPIA FISH (OREOCHROMIS NILOTICUS).**

*Freshwater fish is commonly cultured in a reservoir. Saguling and Cirata Reservoirs are huge reservoirs where cultivation of freshwater fish such as Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) is occurred. Because heavy metals can be accumulated in fish, study of accumulation and depuration of heavy metals is investigated. This study was aimed to observe accumulation and depuration of copper (Cu) on Ikan Nila and also its histopathological effect on fish organ namely liver, gills, and muscle. Study was conducted in laboratory using fish of 2-2.5 month age, copper concentration in water of 0.002 mg/L, 0.02 mg/L, and 0.04 mg/L, in a flow through tank for 28 days exposure. Copper concentration in fish increased up to 0.969 mg/kg (for 0.002 mg/L exposure); 3.677 mg/kg (for 0.02 mg/L exposure), and 4.503 mg/L (for 0.04 mg/L exposure). Liver accumulated the highest copper of 341 mg/kg dry weight (Cu exposure of 0.04 mg/L). Histopathological effect was observed in liver and gill but not in muscle. Depuration using clean water (PDAM) for 3 days did not reduce the organ damage. Water and fish quality monitoring of the reservoir should be conducted continuously because copper accumulation has been detected in Ikan Nila studied.*

Key words: accumulation, copper, depuration, Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

^{*} Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB

^{**} Program Studi Biologi, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, ITB

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan kegiatan industri menimbulkan potensi pencemaran lingkungan. Air limbah kegiatan tersebut pada ujungnya dibuang ke lingkungan perairan, sehingga pencemaran lingkungan perairan sering terjadi dan telah banyak dilaporkan. Tidak terlepas dari hal ini adalah lingkungan perairan di waduk, yang pada awalnya dibuat untuk kegiatan pembangkitan listrik tenaga air.

Pengelolaan waduk di Indonesia sering menimbulkan konflik karena selain digunakan untuk kegiatan pembangkit listrik, perairan juga digunakan untuk kegiatan budidaya ikan. Kegiatan budidaya perikanan dengan sistem karamba jaring apung (KJA) direkomendasikan sebagai program pemindahan dan pemukiman kembali penduduk yang terkena proyek. Akan tetapi, jumlah KJA yang berkembang, baik di Waduk Juanda, Saguling, dan Cirata sudah melebihi jumlah maksimum yang ditentukan. Perubahan kualitas air waduk dipengaruhi selain oleh limbah kegiatan domestik dan industri yang masuk ke perairan, juga dari kegiatan budidaya ikan yang menambahkan pakan ikan buatan (BPWC, 2005). Kualitas air yang dipengaruhi mencakup parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), suhu, DO (*Dissolved Oxygen*), sulfur, amonia, Total Nitrogen (Total N) dan Total Phosphorus (Total P). Di Waduk Cirata, nilai COD, BOD, Total N dan Total P telah dikategorikan *probability* tercemarnya 100% (Djajadiredja, 2005).

Selain parameter diatas, pencemaran di lingkungan perairan dapat pula disebabkan oleh logam berat. Hasil evaluasi kualitas air di Waduk Cirata selama tahun 2002-2003 telah mendeteksi adanya pencemaran logam berat seperti Cd (cadmium), Hg (merkuri), Zn (seng), Cu (tembaga), Cr (chromium), dan Pb (timbal). Dari pemantauan tiga bulanan,

Ikan Nila dari Waduk Cirata diketahui telah mengandung logam-logam tersebut sampai 0,20 mg/kg. Logam terbanyak yang dideteksi pada ikan adalah Cu dan Pb (BPWC, September 2002-Februari 2003). Berita bahwa logam berat telah mengkontaminasi ikan dari Saguling dan Cirata ini, telah pula membuat kegiatan budidaya ikan di kedua waduk tersebut terganggu. Sebagai akibatnya, banyak petani ikan yang mengeluhkan penurunan penghasilannya.

Jenis ikan yang dibudidayakan di Waduk-waduk Saguling, Cirata dan Jatiluhur adalah ikan Mas (*Cyprinus carpio*), Nila (*Oreochromis niloticus*), Pangasius (*Pangasius* sp.), Gurami (*Osphronemus goramy*), Bandeng (*Chanos chanos*), dan Bawal Air Tawar. Jumlah produksi ikan di Saguling, Juanda, dan Cirata berturut-turut adalah 679, 1.167 dan 856 kg/jaring/periode budidaya (Maskur et al., 2005).

Dengan pertimbangan hal-hal diatas, maka dirasakan perlu untuk meneliti pengaruh kualitas air, khususnya logam berat terhadap budidaya ikan. Logam yang diteliti adalah Cu. Kadar Cu di Waduk Cirata memiliki kisaran antara 0,003-0,010 mg/L (BPWC, 2005), dan pada pantauan tahun 2006 memiliki kisaran antara 0,006-0,0208 mg/L (LAPI ITB, 2006). Sedangkan ikan yang diteliti terbatas pada ikan Nila yang paling banyak dibudidayakan di waduk-waduk di Jawa Barat.

Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan data akumulasi *uptake* tembaga (Cu) pada ikan Nila serta kerusakan jaringan yang ditimbulkannya. Selain itu, ingin diketahui pula pengaruh proses depurasi kandungan Cu pada ikan serta kondisi kerusakan jaringannya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan tahapan aklimasi yakni mengadaptasikan pada kondisi air percobaan

(PDAM) pada kolam aklimasi (70x40x40 cm³) secara semi statik (pergantian air setiap 5 hari) selama ±2 minggu menggunakan volume air 100-110L untuk 100 hewan uji. Kemudian tahap akumulasi yaitu memaparkan logam Cu menggunakan larutan CuSO₄.5H₂O selama 28 hari pada ikan, dengan kadar 0,002 mg/L, 0,02 mg/L (=nilai baku mutu Cu di perairan), dan 0,04 mg/L pada kolam uji (100x50x50 cm³) dengan aliran *flowthrough (continuous flow)* dengan debit 60 ml/menit (Kamunde et al., 2002). Contoh ikan diambil secara duplo (terdapat dua kolam ulangan untuk setiap perlakuan). Selanjutnya dilakukan tahap depurasi ikan hasil akumulasi pada tangki depurasi (30x30x30 cm³) dengan air PDAM selama tiga hari. Waktu depurasi ini diambil dengan mempertimbangkan hasil uji Oktaviatun (2004) untuk Ikan Nila dengan paparan Cu dimana kadarnya pada ikan dapat menurun 62% setelah satu hari depurasi. Selama percobaan ikan diberi makan satu kali dalam sehari sebanyak 1-2% dari berat ikan. Ikan Nila Merah yang digunakan diperoleh dari Balai Benih Ikan Ciherang Cianjur, jenis kelamin jantan dan betina, berumur 2-2,5 bulan, dan memiliki kisaran panjang antara 8-12 cm.

Oksigen terlarut juga dijaga agar tidak kurang dari 3 mg/L karena jika kurang dari nilai tersebut akan menyebabkan kematian ikan (Khairuman & Amri, 2003). Pengambilan contoh ikan dan air dilakukan pada hari ke-0 (pasca aklimasi) dan tiap minggu pada tahap akumulasi, sedangkan pada tahap depurasi pada hari ke-1, 2, dan 3. Tembaga diukur pada ikan secara total dan pada organ hati, insang, dan otot dalam satuan mgCu/berat kering (bk) total jaringan. Analisis contoh dilakukan dengan acuan SNI 06-2464-1991 dan kadar Cu diukur menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrometric*).

Parameter air yang diukur selama proses akumulasi adalah pH, DHL (Daya

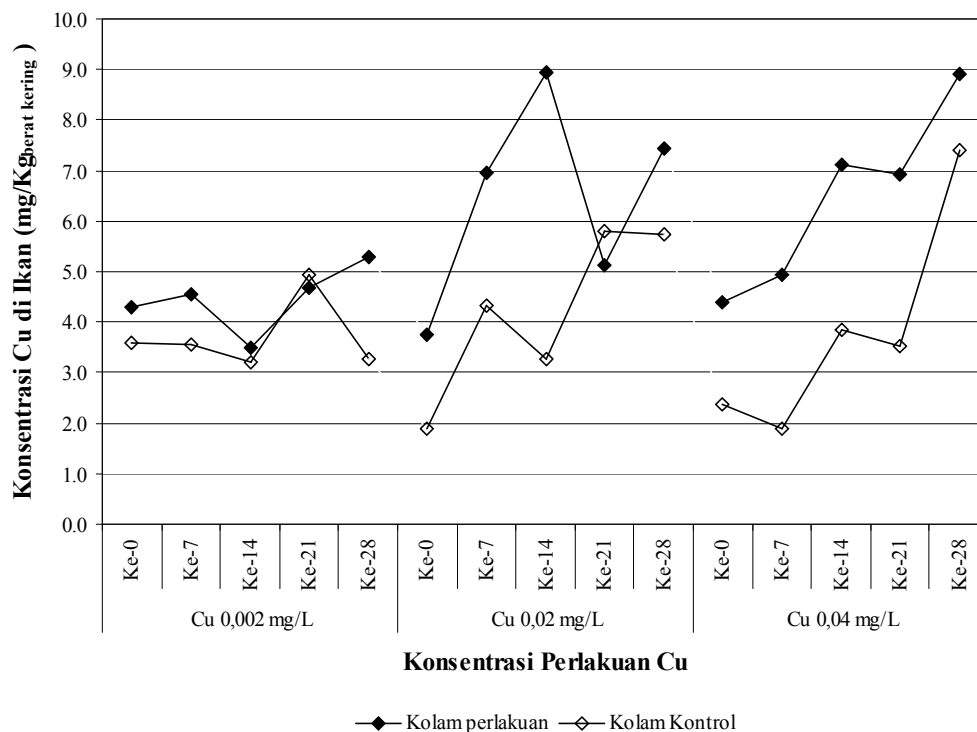
Hantar Listrik), suhu, DO (tiap hari), kesadahan, alkalinitas dan asiditas (tiap minggu). Sedangkan pada proses depurasi hanya parameter pH, DHL, suhu, DO setiap hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama percobaan parameter pH, suhu, alkalinitas dan DO terukur masih memenuhi persyaratan untuk kualitas air budidaya ikan. Sedangkan kesadahan air yang digunakan tergolong sangat lunak (*very soft* 0 – 70 mg/L CaCO₃ eq.) dan dapat meningkatkan toksisitas logam berat pada ikan. DHL selama percobaan cenderung meningkat sebagai akibat peningkatan eksresi dari ikan.

Akumulasi

Pada perlakuan 0,002 mg/L Cu, kadar Cu pada ikan mengalami kenaikan pada hari ke-7 kemudian menurun pada hari ke-14 dan naik kembali pada hari ke-21 dan ke-28 (Gambar 1). Pada perlakuan Cu 0,02 dan 0,04 mg/L, memiliki pola yang sama yaitu pada hari ke-7 dan ke-14 mengalami kenaikan sedangkan pada hari ke-21 mengalami penurunan kemudian naik kembali pada hari ke-28. Pola serupa juga ditemukan pada ikan yang ada pada kolam kontrol. Walaupun pertambahan dalam setiap minggu berfluktuasi akan tetapi secara umum terjadi peningkatan kadar Cu dari hari ke-0 sampai hari ke-28. Perubahan (Delta) pertambahan Cu berbeda antara kadar 0,002 mg/L dengan kadar 0,02 dan 0,04 mg/L. Sedangkan antara kadar 0,02 dan 0,04 mg/L tidak berbeda terlalu jauh (Tabel 1). Secara statistik dengan *paired T-test* nilai akumulasi pada paparan 0,04 mg/L berbeda secara signifikan dengan paparan 0,002 mg/L dan 0,02 mg/L. Sedangkan antara 0,002 mg/L dan 0,02 mg/L tidak terdapat perbedaan yang signifikan.



Gambar 1. Kadar Cu Pada Ikan

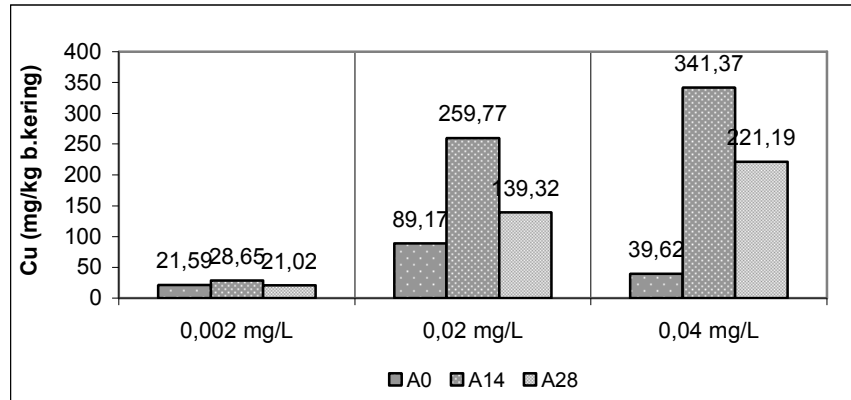
Tabel 1. Penambahan Kadar Cu pada Ikan dari Hari ke-0 Sampai Hari ke-28

No.	Kadar Cu (mg/L)	Kadar Cu di ikan (mg/kg bk)		
		Hari ke-0	Hari ke-28	Δ Pertambahan
1	0,002	4,304	5,273	0,969
2	0,02	3,763	7,440	3,677
3	0,04	4,407	8,910	4,503

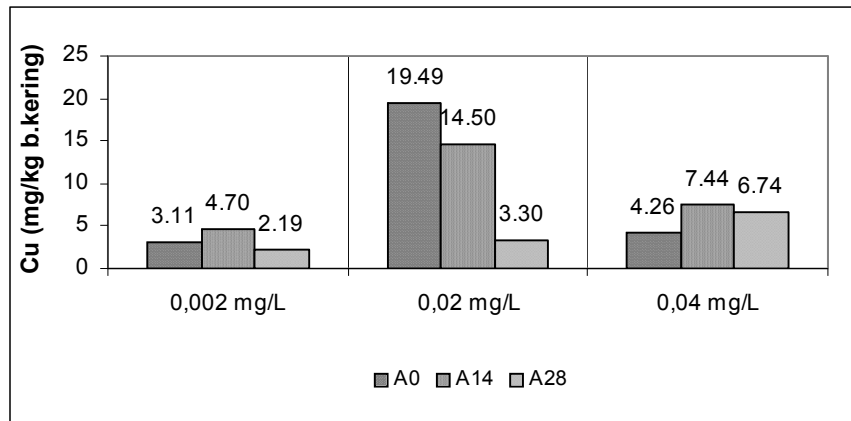
Kadar Cu yang terukur merupakan kadar dari total tubuh dan dipengaruhi oleh kandungan Cu pada organ-organ yang menjadi organ target Cu seperti pada otot dan kulit yang relatif rendah dan kadar pada hati dan insang yang relatif lebih tinggi (Kamunde *dkk.*, 2002). Walaupun berat hati hanya sekitar 2-3% berat total ikan tetapi memberikan kontribusi penting karena kadar Cu di hati cukup tinggi (tertinggi sebesar 341 mg/kg bk). Sedangkan pada insang, kadar Cu mencapai 20 mg/kg bk, dan pada otot di bawah 10 mg/kg bk. Kadar Cu di hati 15-20 kali dibandingkan otot (Gambar 2).

Kandungan tembaga pada hati

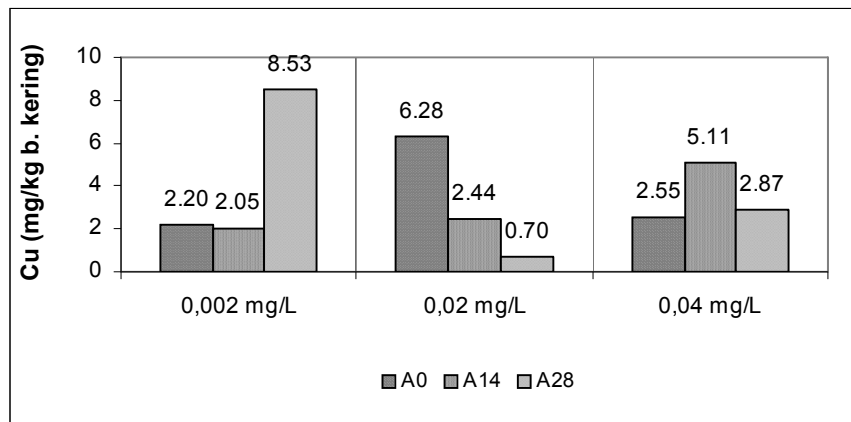
cenderung tinggi karena adanya ikatan antara tembaga dengan protein yang disebut dengan metallothionein. Proses ini yang membantu mekanisme detoksifikasi logam tembaga dalam tubuh. Sedangkan akumulasi tembaga pada otot dari seluruh perlakuan sangat berfluktuasi tetapi berada dibawah 10 mg/kg bk. Fluktuasi yang terjadi untuk masing-masing organ (Gambar 2) dimungkinkan karena sedikitnya contoh dan setiap ikan memberikan variasi metabolisme secara individu. Pengukuran tembaga pada organ hati, insang, dan otot diambil dari ikan yang sama.



A. Hati



B. Insang



C. Otot

Gambar 2. Konsentrasi Cu pada organ hati, insang, dan otot selama akumulasi (A0=akumulasi pada 0 hari; A14=akumulasi setelah 14 hari, dan A28=akumulasi setelah 28 hari)

Secara keseluruhan, tingginya kadar Cu di insang disebabkan insang sebagai organ pertama yang terpapar dan melakukan *uptake* logam dari lingkungan. Pada permukaan insang terdapat sel epitel yang sangat kecil, sel ini akan kontak langsung dengan lingkungan yang terkontaminasi. Adanya proses respirasi di insang menyebabkan adanya pertukaran gas dengan lingkungan (dipengaruhi dengan luas permukaan yang besar, proses difusi jarak pendek antara tubuh dengan air) (Kotze, 1999). Hasil proses absorpsi dan pengikatan ion tembaga ke permukaan branchial akan meningkatkan kadar tembaga di insang (Stagg & Shuttleworth, 1982 dalam Avenant & Mark, 2000). Dari beberapa penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa akumulasi tembaga di insang akan mengikat jaringan haemopoietic, mukosa dan methallothioneins dan berdampak pada ekskresi dan detoksifikasi (Avenant & Mark, 2000).

Menurut Stokes (1979) dalam Avenant & Mark (2000) otot ikan biasanya mengandung kadar Cu yang cukup rendah bahkan pada kadar Cu di lingkungan yang cukup tinggi, sehingga kadar Cu pada otot tidak menggambarkan kenaikan kadar Cu di perairan. Stokes (1979) dalam Avenant & Mark (2000) juga mengatakan organ yang menggambarkan kenaikan kadar Cu di perairan adalah insang karena organ tersebut memiliki luas permukaan yang cukup besar dan kontak langsung dengan lingkungan perairan (proses transfer gas). Kotze (1999) menyatakan bahwa kemampuan hati dan insang sebagai regulator, perilaku, dan kebiasaan ikan memiliki peranan penting terhadap perbedaan kadar Cu pada organ yang berbeda. Kadar tembaga pada hati (tidak secara langsung mengalami kontak dengan lingkungan air) yang berfungsi sebagai penyimpanan dan detoksifikasi akan berbeda dengan kadar tembaga pada insang (kontak langsung dengan lingkungan air) dan berfungsi sebagai organ *uptake* dan ekskresi tembaga.

Depurasi

Pengamatan hasil depurasi (dengan air PDAM, kesadahan *soft* dan pH netral) menunjukkan bahwa proses depurasi tidak selalu berhasil menurunkan kandungan Cu dari ikan. Hasil kadar Cu setelah proses depurasi secara umum berfluktuasi yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya bahwa kadar total merupakan gabungan dari kadar organ-organ yang menjadi organ target pada pemaparan tembaga. Berdasarkan hasil perhitungan, pada hari ke-1 dan ke-3 depurasi, kadar tembaga pada hati dan insang secara umum mengalami kenaikan kadar Cu. Sedangkan pada otot cenderung berfluktuasi. Hal ini mempengaruhi kadar Cu total pada tubuh ikan.

Untuk kadar paparan 0,002 dan 0,02 mg/L terjadi peningkatan kandungan tembaga pada hati setelah hari ke-1 dan ke-3 depurasi. Tetapi untuk perlakuan dengan kadar tembaga 0,04 mg/L terjadi penurunan kadar tembaga pada hari ke-1, kemudian naik pada hari ke-3. Prosentasi penurunan yang terjadi pada kadar paparan 0,04 mg/L adalah 21,46%. Meningkatnya kandungan tembaga pada kadar larutan tembaga 0,002 dan 0,02 mg/L mungkin karena adanya redistribusi dari tembaga pada organisme. Pemaparan tembaga dalam kadar sub-lethal dapat meningkatkan kandungan tembaga sebesar 300µg/g bk ikan selama 7 hari pemaparan. Percobaan depurasi menunjukkan bahwa pada hari ke sembilan terjadi penurunan (Arellano *dkk.*, 2000).

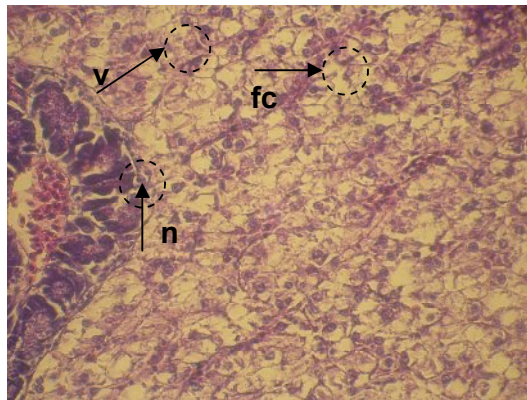
Arellano *dkk.* (2000) melakukan penelitian pengaruh paparan Cu 100µg Cu²⁺/L terhadap kadar Cu pada insang dan hati ikan *Senegales sole* (*Solea senegalensis*) dan *Toad Fish* (*Halobatrachus didactylus*) menunjukkan bahwa kadar Cu pada hati mengalami penurunan pada proses depurasi hari ke-2 dan hari ke-4. Pada insang penurunan terjadi pada hari ke-4. Sedangkan pada otot tidak menunjukkan hasil yang berbeda pada saat akumulasi dan depurasi. Faktor lain yang mempengaruhi

adalah proses detoksifikasi Cu oleh organ hati dan insang sangat tergantung pada fungsi organ tersebut apakah dalam keadaan optimal untuk melakukan detoksifikasi.

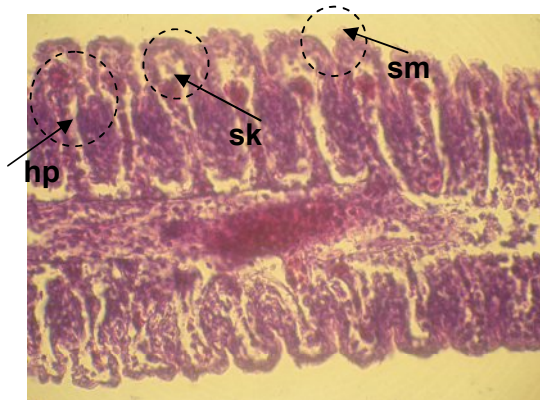
Histopatologi

Perubahan histopatologi pada organ target hati dan insang dapat dilihat pada Gambar 3. Selama periode akumulasi pada insang terjadi hiperplasia pada lamela sekunder, hiperplasia pada lamela primer, lifting dan terkikis pada epitel lamela, inflamasi, ujung kapiler yang membengkak, bertambahnya sel mukus diantara sel epitel di lamela sekunder dan nekrosis. Sedangkan pada hati terdapat kenaikan jumlah *fatty change*, vakuola dan hepatosit yang nekrosis. Kerusakan yang terjadi sejalan dengan waktu paparan, dan kadar tembaga yang dipaparkan. Pada penelitian ini, otot tidak mengalami perubahan histopatologi.

Adanya *fatty change* pada hati ikan *Nile tilapia* (*Oreochromis niloticus*) juga diobservasi oleh Shaw & Handy (2006) yang memberikan tembaga kadar 2000 mg/kg bk makanan pada ikan. Pada tahap pemulihan dimana makanan kembali normal, hati ikan ternyata menunjukkan kenaikan kadar tembaga lebih lanjut yang ditandai dengan adanya *hepatic lipidosis* atau kenaikan lemak cadangan secara intraseluler. Menurut Stevens (2002) *fatty change* terjadi karena adanya paparan zat asing yang menyebabkan gangguan metabolisme dan tingginya kebutuhan energi. Kerusakan metabolisme dari asam lemak akan memicu akumulasi trigliserida (*fat*) dengan membentuk ikatan non-membran vakuola di dalam sel dan memindahkan inti dari tempatnya. Perubahan ini dapat kembali seperti semula jika penyebabnya dihilangkan.



a. Kerusakan pada organ hati (400x)
fc=fatty change,
n = necrosis sel,
v = vacuola pada hepatosit.



b. Kerusakan pada organ insang (400x)
sm = sel mucus,
hp = hiperplasia,
sk = sel kapiler.

Gambar 3. Kerusakan Jaringan pada Organ Ikan Selama Akumulasi

Cerqueira & Fernandes (2002) melakukan penelitian terhadap perbaikan jaringan insang pada ikan tropis *Prochilodus schofa* setelah pemaparan Cu, menunjukkan bahwa tanda-tanda perbaikan jaringan berjalan dengan lambat yaitu setelah dua hari ikan berada di air bersih. Kemudian perbaikan mulai terlihat pada jaringan pada hari ke-7 sampai ke-15 dan perbaikan keseluruhan terjadi pada hari ke-45. Sementara itu Kjos *dkk.* (2006) melakukan penelitian akumulasi Cu dengan berbagai bentuk ligan (CuSO₄, Cu-proteinat, Cu-lysine) melalui pakan terhadap *juvenile Rainbow trout* menunjukkan terjadinya peningkatan kadar Cu pada hati, jaringan pencernaan (usus), dan seluruh tubuh (total). Penurunan kadar Cu terjadi pada proses depurasi walaupun kadar pada hati dan total tubuh tetap tinggi setelah dua minggu.

Selama proses akumulasi terdapat perubahan perilaku pada ikan, yaitu ikan pada kolam dengan kadar 0,02 dan 0,04 mg/L, terlihat lebih aktif dibandingkan dengan ikan pada kolam kontrol. Perbedaan perilaku ini tampak pada saat pemberian makan, dimana ikan lebih aktif mengambil makanan. Olaifa & Enwude (2004) yang melakukan penelitian efek lethal dan sub-lethal tembaga pada *African Catfish (Clarias gariepinus)* mengamati penurunan aktivitas, tubuh melemah dan kemudian diselimuti lendir yang sangat tebal pada ikan, setelah satu jam pertama pemberian kadar tembaga 5,6 dan 10 mg/L.

Sedangkan Steele (1989) yang memaparkan sub-lethal tembaga (50, 100, dan 200 µg/L) pada sea catfish (*Arius felis*), setelah 72 jam, ikan pada kolam dengan 100 dan 200 µgCu/L, menunjukkan perilaku hiperaktif secara signifikan, kehilangan kontrol terhadap aktivitas normal sehari-hari, dan berkurangnya variasi aktivitas.

KESIMPULAN

Semakin meningkat kadar tembaga yang dipaparkan, semakin besar pening-

katan kadar tembaga di ikan. Pertambahan terbesar ditemukan untuk kadar perlakuan 0,04mg/L yaitu 4,503 mg/kg bk.

Walaupun kadar Cu di air lebih kecil dari baku mutu, ikan Nila mempunyai kemampuan mengakumulasi logam Cu pada tubuhnya. Kadar Cu total pada tubuh ikan dipengaruhi oleh kadar Cu pada organ-organ target ikan seperti hati, insang, dan otot. Hati mengakumulasi logam Cu terbesar dengan 341 mg/kg bk, atau sampai 15-20 kali kadar Cu pada otot. Kerusakan jaringan ditemukan pada hati dan insang, tetapi tidak pada otot. Kerusakan jaringan pada insang mencakup hyperplasia, lifting dan terkikis pada epitel lamela, inflamasi, bertambahnya sel mukus diantara sel epitel di lamela sekunder dan nekrosis. Sedangkan pada hati terdapat kenaikan jumlah *fatty change*, vakuola dan hepatosit yang nekrosis. Oleh karena itu, kualitas air dan ikan yang dibudidayakan di waduk perlu dipantau secara periodik agar tidak meningkatkan resiko kesehatan manusia sebagai konsumen ikan.

Proses depurasi yang dilakukan tidak selalu dapat menurunkan kadar Cu pada ikan. Namun didapatkan, untuk kadar paparan 0,04 mg/L setelah hari ke-3, kadar Cu yang terukur lebih rendah. Proses depurasi pada penelitian ini juga tidak menunjukkan adanya perbaikan kerusakan organ ikan, sehingga disarankan untuk melaksanakan waktu depurasi lebih panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagian besar penelitian ini dibiayai dari Dana Riset ITB 2006.

DAFTAR PUSTAKA

Arellano, JM., Blasco, J., Ortiz, JB., Capeta-Da Silva, D., Navaro, A., Sanchez-Del Pino, MJ., & Sarasquete, C. 2000. Accumulation and histopathological Effects of Copper on Gills and Livers of Senegales Sole, *Solea senegalensis* and Toad Fish,

- Halobatrachus didactylus*, *Ecotoxicology and Environmental Restoration*, 3(1), pp. 22-28.
- Avenant, A & H. M. Mark. 2000. Bioaccumulation of chromium, copper and iron in the organs and tissues of *Clarias gariepinus* in the Olifants River, Kruger National Park. *Water SA Vol.26, No.4* : pp 569-582.
- Cerquera & M. N. Fernandes MN. 2002. Gill tissue recovery after copper exposure and blood parameter responses in tropical fish *Prochilodus scrofa*. *Ecotoxicol Environ Saf*: pp 83-91.
- BPWC (Badan Pengelola Waduk Cirata), September 2002 – Februari 2003, *Laporan Pemantauan Kualitas Air Triwulanan*.
- BPWC (Badan Pengelola Waduk Cirata), 2005. Waduk Cirata dan Permasalahannya, Makalah pada *Workshop Culture, Capture Conflicts: Sustaining Fish Production and Livelihoods in Indonesia Reservoirs*, Bandung, 18-20 Oktober 2005.
- Djajadiredja, E.A, 2005. Dampak Jaring Apung dalam Pengelolaan Waduk, Makalah pada *Workshop Culture, Capture Conflicts: Sustaining Fish Production and Livelihoods in Indonesia Reservoirs*, Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung, 18-20 Oktober 2005.
- Kamunde, C., Cheryl Clayton, & C. M. Wood. 2002. Waterborne vs. dietary copper uptake in rainbow trout and the effects of previous waterborne copper exposure. *Am J Physiol Vol.283*, pp 69-78.
- Khairuman & Khairul Amri. 2003 *Budidaya Ikan Nila Secara Intensif*. Agromedia Pustaka, Tangerang.
- Kjoss, Victoria A, Chris M.Wood, & DG. Mc Donald. 2006. Effect of different ligand on bioaccumulation and subsequent depuration of dietary Cu and Zn in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science Vol.63, No.2*: pp 412-422.
- Kotze P, H. H. du Preez & J. H. J. van Vuren. 1999. Bioaccumulation of copper and zinc in *Oreochromis mossambicus* and *Clarias gariepinus*, from the Olifants River, Mpumalanga, South Africa. *Water SA Vol. 25, No 1* : pp 99-110.
- LAPI-ITB, 2006. *Laporan Hasil Pemantauan Kualitas Air Waduk Cirata Triwulanan*.
- Maskur, A. Sasongko, & Murtiati, 2005. Aquaculture Research Component: *Workshop Culture, Capture Conflicts: Sustaining Fish Production and Livelihoods in Indonesia Reservoirs*, Bandung, 18-20 Oktober 2005.
- Oktaviatun. 2004. *Uptake dan depurasi timbal pada ikan nila (Oreochromis niloticus)*, Laporan Tugas Akhir S1 Teknik Lingkungan.
- Olaifa, F. E. & T.E. Onwude, 2004. Lethal and sub-lethal effects of copper to the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *African Journal of Biomedical Research*, 7 (2), 65-70.
- Shaw, B.J. & R. D. Handy, 2006. Dietary copper exposure and recovery in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Aquatic Toxicology*, Vol. 76, Issue 2, pp. 111-121.
- Steele, C. W. 1989. Effects of sublethal exposure to copper on diet activity of sea catfish *Arius felis*, *Hydrobiologia*, 178, 135-141.
- Stevens, A. 2002. *Basic Histopathology*, 3rd Ed., Churchill Livingstone, London.