

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

Indah Rachmatiah Siti Salami^①, Suphia Rahmawati,
Anastasia Prima Kristijarti, Ayda Trisnawati Yusuf^②

ABSTRAK

*Salah satu perairan darat yang banyak digunakan untuk budidaya perikanan adalah h perairan waduk. Waduk Saguling dan Cirata, merupakan waduk-waduk terbesar untuk budidaya ikan, salah satunya Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). Karena logam berat dapat diakumulasikan pada ikan, maka studi akumulasi dan depurasi pada ikan 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, usia ikan 2-2,5 bln, konsentrasi tembaga di air 0,002 mg/L, 0,02 mg/L, dan 0,04 mg/L, secara flowthrough selama 28 hari pengamatan. Terjadi peningkatan konsentrasi tembaga pada ikan sebesar 0,969 mg/kg (untuk konsentrasi 0,002 mg/L), 3,677 mg/kg (untuk konsentrasi 0,02 mg/L), dan 4,503 mg/kg (untuk konsentrasi 0,04 mg/L). Telur ikan telah didapatkan pada usia ikan 3-3,5 bln (konsentrasi Cu 0,02 mg/L), dan 2,25 – 3,5 bln (Cu 0,004 mg/L). Organ yang paling banyak mengakumulasi Cu adalah hati, yaitu sebesar 341 mg/kg berat kering (konsentrasi 0,04 mg/L). Kerusakan jaringan ditemukan pada organ hati dan insang, tetapi tidak pada otot. Depurasi dengan air bersih selama 3 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, Ikan Nila, tembaga

^①Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB, Jalan Ganesha 10 Bandung 40132, Email: indahrss@tl.itb.ac.id

^② Program Studi Biologi, Sekolah Ilmu dan Teknologi Ha yati, 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 dilaporkan. Tidak terlepas dari hal ini adalah lingkungan perairan di waduk-waduk buatan, 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 akuakultur. Kegiatan budidaya perikanan dengan jaring apung direkomendasikan sebagai program pemindahan dan pemukiman kembali penduduk yang terkena proyek. Akan tetapi, jumlah jaring apung yang berkembang, baik di Waduk Juanda, Saguling, dan Cirata sudah melebihi jumlah maksimum yang ditentukan. Selain limbah kegiatan domestik dan industri yang masuk ke perairan, kegiatan jaring apung juga menambahkan pakan buatan yang pada akhirnya dapat memberikan perubahan kualitas air waduk (BPWC, 2005). Kualitas air yang dipengaruhi mencakup parameter BOD, COD, temperatur, DO, sulfur, amonia, total N, P. Di Waduk Cirata, nilai COD, BOD, Total N dan Total P telah dikategorikan probability tercemarnya 100% (Kapuslitbang SDA, 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 cadmium, merkuri, seng, tembaga, chromium, dan timbal. Dari pemantauan 3 bulanan, ikan Nila dari Waduk Cirata diketahui telah mengandung logam-logam tersebut sampai 0,20 mg/kg. Logam terbanyak yang dideteksi pada ikan adalah tembaga dan timbal (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.

Di lain pihak, ikan merupakan sumber makanan dengan kandungan protein yang tinggi, sehingga kebutuhan penyediaan ikan menjadi sektor andalan dalam perikanan. Walaupun begitu, dari data Departemen Kelautan & Perikanan, tingkat konsumsi

ikan masyarakat Indonesia tergolong rendah, yaitu 23 kg/kap/th. Jumlah yang masih jauh dibawah konsumsi ikan masyarakat Jepang (110 kg/kap/th), atau Korea (80 kg/kap/th) atau Malaysia (45 kg/kap/th).

Jenis ikan yang dibudidayakan di Waduk Saguling adalah ikan Mas, Nila, Pangasius, sedangkan di Waduk Juanda dan Cirata, selain ikan-ikan tersebut dibudidayakan juga ikan Gurami, Bandeng, dan Bawal Air Tawar. Jumlah produksi ikan di Saguling, Juanda, dan Cirata berturut-turut adalah 679,18; 1.167,14, dan 856,10 kg/jaring/periode (Maskur dkk., 2005).

Dengan pertimbangan hal-hal diatas, maka dirasakan perlu untuk meneliti pengaruh kualitas air, khususnya logam berat terhadap budidaya ikan. Logam yang diteliti adalah tembaga (Cu). Konsentrasi Cu di Waduk Cirata memiliki kisaran antara 0,003-0,010 mg/L sepanjang tahun 2005 (PJB-BPWC, 2005), sedangkan pada tahun 2006 memiliki kisaran antara 0,006-0,0208 mg/L (PJB-BPWC dan LAPI ITB, 2006). Sedangkan ikan yang diteliti terbatas pada ikan Nila yang paling banyak dibudidaya 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 terhadap kandungan tembaga pada ikan serta kondisi kerusakan jaringannya.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan tahapan:

- Aklimatisasi: mengadaptasi ikan dengan kondisi air percobaan (PDAM) secara semi statik selama ± 2 minggu.
- Akumulasi: memaparkan logam Cu pada ikan dengan konsentrasi 0,002 mg/L, 0,02 mg/L (=nilai baku mutu Cu di perairan), dan 0,04 mg/L menggunakan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, selama 28 hari pada kolam uji ($100 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$) dengan aliran flowthrough debit 60 ml/menit (Kamunde dkk., 2002).
- Depurasi: memasukkan ikan hasil akumulasi pada tangki depurasi ($30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$) dengan air PDAM selama 3 hari.

Ikan Nila Merah (*Oreochromis niloticus*) diambil dari Balai Benih Ikan Ciherang Jl. Raya Cipanas-Ciherang Cianjur, jenis kelamin jantan dan betina, memiliki kisaran 2-2,5 bulan (8-12 cm).

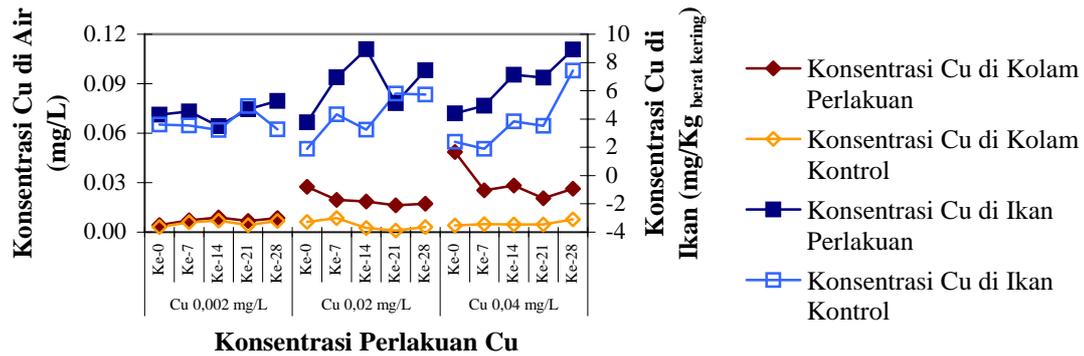
Oksigen terlarut juga dijaga agar tidak kurang dari 3 mg/L karena akan menyebabkan kematian ikan (Khairuman, dkk). Pengambilan sampel ikan dan air dilakukan pada hari ke-0 (pasca aklimatisasi) dan tiap minggu pada tahap akumulasi sedangkan pada tahap depurasi pada hari ke-1, 2, dan 3. Tembaga diukur pada ikan secara total dan pada organ hati, insang, dan otot. Analisis sampel dilakukan dengan acuan SNI 06-2464-1991 dan tembaga diukur menggunakan AAS.

Parameter air yang diukur selama proses akumulasi adalah pH, DHL, temperatur, DO (tiap hari), kesadahan, alkalinitas dan asiditas (tiap minggu), BOD, COD dan TPC (tiap dua minggu). Sedangkan pada proses depurasi hanya parameter pH, DHL, temperatur, DO setiap hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akumulasi

Pada konsentrasi 0,002 mg/L Cu dapat dilihat bahwa kenaikan konsentrasi Cu pada ikan mengalami kenaikan pada hari ke-7 kemudian mengalami penurunan pada hari ke-14 dan naik kembali pada hari ke-21 dan ke-28 (Gambar 1). Pada konsentrasi 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 konsentrasi Cu dari hari ke-0 sampai hari ke-28. Delta pertambahan Cu berbeda antara konsentrasi 0,002 mg/L dengan konsentrasi 0,02 dan 0,04 mg/L. Sedangkan antara konsentrasi 0,02 dan 0,04 mg/L tidak berbeda terlalu jauh (Tabel 1).



Gambar 1. Konsentrasi Cu di Ikan dengan konsentrasi Cu di air

Tabel 1. Penambahan konsentrasi Cu di Ikan dari hari ke-0 sampai hari ke-28

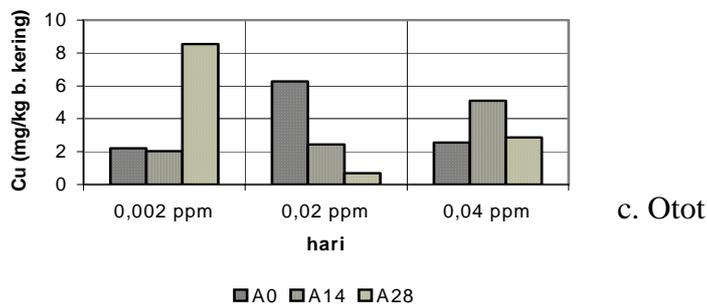
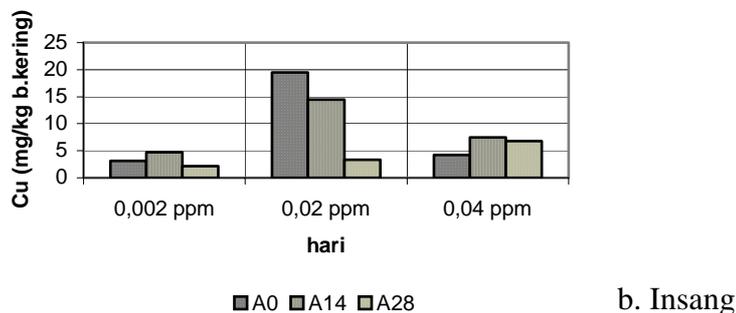
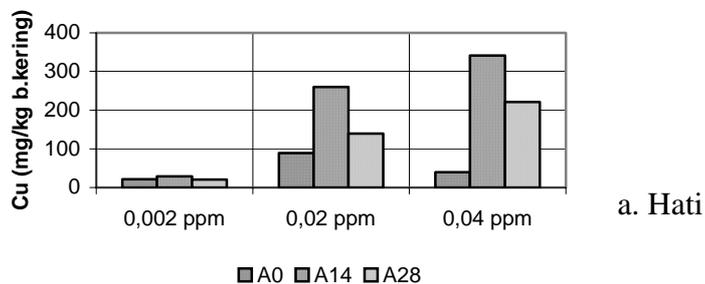
No	Konsentrasi Perlakuan Cu (mg/L)	Konsentrasi Cu di Ikan (mg/kg _{berat kering})		
		Hari Ke-0	Hari Ke-28	Δ pertambahan
1	0,002	4,304	5,273	0.969
2	0,02	3,763	7,440	3.677
3	0,04	4,407	8,910	4.503

Konsentrasi Cu yang terukur merupakan konsentrasi 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 konsentrasi 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 konsentrasi Cu di hati cukup tinggi (tertinggi sebesar 341 mg/kg_{berat kering}). Sedangkan pada insang, konsentrasi Cu mencapai 20 mg/kg_{berat kering}, dan pada otot dibawah 10 mg/kg_{berat kering}. Konsentrasi 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_{berat kering}.

Tingginya tembaga di insang disebabkan karena peranan insang sebagai organ yang mengalami *uptake* logam pertama dengan lingkungan serta merupakan organ pertama yang terpapar. 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 konsentrasi tembaga di insang (Stagg & Shuttleworth, 1982 dalam Avenant dkk., 2000). Sel mukosa akan terbentuk dan meningkatnya aktifitas, ukuran dan penumpukan. 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 dkk., 2000).



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)

Menurut Stokes (1979) dalam Avenant dkk. (2000) otot ikan biasanya mengandung konsentrasi Cu yang cukup rendah bahkan pada konsentrasi Cu di lingkungan yang cukup tinggi, sehingga kadar Cu pada otot tidak menggambarkan kenaikan konsentrasi Cu di perairan. Stokes (1979) juga mengatakan organ yang menggambarkan kenaikan konsentrasi 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 konsentrasi Cu pada organ yang berbeda. Konsentrasi tembaga pada hati (tidak secara langsung mengalami kontak dengan lingkungan air) yang berfungsi sebagai penyimpanan dan detoksifikasi akan berbeda dengan konsentrasi tembaga pada insang (kontak langsung dengan lingkungan air) dan berfungsi sebagai organ *uptake* dan ekskresi tembaga.

Akumulasi tembaga paling tinggi terdapat di hati. Hal ini memperlihatkan hati ikan memegang peranan dalam mekanisme pertahanan terhadap paparan kronis logam berat dengan menghasilkan methallothionein (Mc Carter and Roch, 1983 dalam Avenant dkk., 2000). Hati sebagai tempat penyimpanan tembaga dan merupakan organ utama yang dapat mengatur jumlah tembaga. Wittmann (1979) dalam Avenant dkk. (2000) juga menyatakan protein hati *haemocuprein* dan *hepatocuprein*, serta enzim-enzim oksidatif memerlukan tembaga sebagai komponen yang sangat penting.

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 konsentrasi Cu setelah proses depurasi secara umum berfluktuatif yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya bahwa konsentrasi total merupakan gabungan dari konsentrasi organ-organ yang menjadi organ target pada pemaparan tembaga. Berdasarkan hasil perhitungan, pada hari ke-1 dan ke-3 depurasi, konsentrasi tembaga pada hati dan insang secara umum mengalami kenaikan konsentrasi Cu. Sedangkan pada otot cenderung berfluktuasi. Hal ini mempengaruhi konsentrasi Cu total pada tubuh ikan.

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

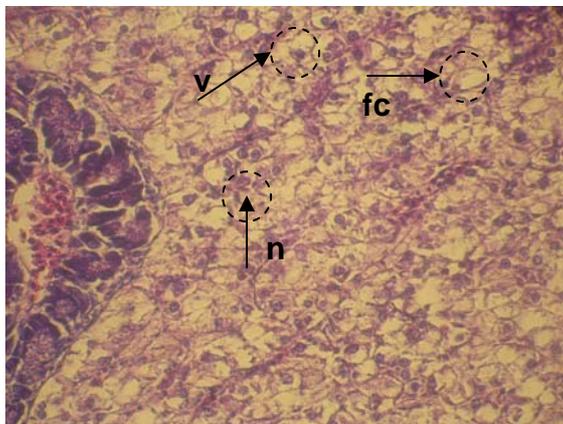
Arellano dkk (2000) melakukan penelitian pengaruh paparan Cu 100 μ g Cu⁺/L terhadap konsentrasi Cu pada insang dan hati ikan *Senegales sole* (*Solea senegalensis*) dan *Toad Fish* (*Halobatrachus didactylus*) menunjukkan bahwa konsentrasi Cu pada hati mengalami penurunan pada proses depurasi hari ke-2 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 hati terdapat kenaikan jumlah *fatty change*, vakuola dan hepatosit yang nekrosis. 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 otot tidak ditemukan perubahan histopatologi.

Cerqueira dan 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. Perbaikan pada organ lain seperti hematokrit, sel darah merah dan hemoglobin yang mengalami penurunan secara drastis kadar Na^+ dan Cl^- dan kenaikan K^+ secara signifikan pada saat pemaparan Cu akan menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dengan kontrol setelah hari ke-7. Perbaikan pada insang memerlukan waktu lebih lama dibandingkan dengan pada darah. Hal ini disebabkan energi yang diperlukan untuk perbaikan insang lebih lama dibandingkan dengan darah.



- 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

Sedangkan Kjos dkk (2006) melakukan penelitian akumulasi Cu dengan berbagai bentuk ligan (CuSO_4 , Cu-proteinat, Cu-lysine) melalui pakan terhadap *Rainbow trout* remaja menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi Cu pada hati, jaringan pencernaan (usus), dan seluruh tubuh (total). Penurunan konsentrasi Cu terjadi pada

proses depurasi walaupun konsentrasi pada hati dan total tubuh tetap tinggi setelah 2 minggu.

Selama proses akumulasi, hewan uji pada kolam dengan penambahan Cu berkembang biak (bertelur) – (Gambar 4). Hal ini ditemukan pada hari ke-28 untuk konsentrasi 0,02 mg/L (usia 3 – 3,5 bln). Sedangkan untuk konsentrasi 0,04 mg/L, telur ikan ditemukan pada hari ke-7 sampai ke-28 pengamatan (usia 2,25 – 3,5 bln). Pada hari ke-14, pada kolam dengan konsentrasi 0,04 mg/L ditemukan anak-anak ikan. Berdasarkan Water Harvesting and Aquaculture for Rural Development, usia dewasa ikan Nila adalah 4-6 bulan, dengan berat 50-100 gram dan panjang 10-12 cm.



Gambar 4. Telur ikan pada mulut ikan

Selama proses akumulasi terdapat perubahan perilaku pada ikan, yaitu ikan pada kolam dengan konsentrasi 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 dkk. (2004) yang melakukan penelitian efek lethal dan sub-lethal tembaga pada African Catfish (*Clarias gariepinus*) mengamati penurunan aktivitas, tubuh melemah dan kemudian diselimuti lender yang sangat tebal pada ikan, setelah 1 jam pertama pemberian konsentrasi 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 besar konsentrasi Cu di air semakin besar pertambahan konsentrasi Cu total di ikan setelah 28 hari walaupun memiliki pola yang berfluktuatif. Pertambahan terbesar ditemukan untuk konsentrasi perlakuan 0,04mg/L yaitu 4,503 mg/kg_{beratkering}.

Walaupun konsentrasi Cu di air lebih kecil dari baku mutu, ikan Nila mempunyai kemampuan mengakumulasi logam Cu pada tubuhnya. Konsentrasi Cu total pada tubuh ikan dipengaruhi oleh konsentrasi Cu pada organ-organ target ikan seperti hati, insang, dan otot. Hati mengakumulasi logam Cu terbesar dengan 341 mg/kg_{berat kering}, atau sampai 15-20 kali konsentrasi Cu pada otot. Kerusakan jaringan ditemukan pada hati dan insang, tetapi tidak pada otot.

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

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagian besar penelitian ini dibiayai dari Dana Riset ITB 2006.

DAFTAR PUSTAKA

Anastasia Prima Kristijarti. 2006. Pengaruh Bioakumulasi dan Depurasi Tembaga terhadap Histopatologi Organ Target Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*), Laporan Tesis S2 Teknik Lingkungan ITB.

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 and HM 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 and 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.

Edy A. Djajadiredja (Puslitbang Sumber Daya Air), 2005. Dampak Jaring Apung dalam Pengelolaan Waduk, Makalah pada Workshop Culture, Capture Conflicts: Sustaining Fish Production and Livelihoods in Indonesia Reservoirs, Bandung, 18-20 Oktober 2005

Kamunde, C., Cheryl Clayton, and Chris 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 dan Khairul Amri. 2003 *Budidaya Ikan Nila Secara Intensif*. Agromedia Pustaka, Tangerang.

Kjoss, Victoria A, Chris M.Wood, and 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, HH. du Preez and JHJ. 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.

Maskur, Agus Sasongko, Murtiati (Balai Budidaya Air Tawar Sukabumi). Aquaculture Research Component: Workshop Culture, Capture Conflicts: Sustaining Fish Production and Livelihoods in Indonesia Reservoirs, Bandung, 18-20 Oktober 2005

Olaifa, FE., dan Onwude, TE. 2004. Lethal and sub-lethal effects of copper to the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *African Journal of Biomedical Research*, 7 (2), 65-70.

Steele, CW. 1989. Effects of sublethal exposure to copper on diet activity of sea catfish *Arius felis*, *Hydrobiologia*, 178, 135-141.

Suphia Rahmawati. 2006. Akumulasi Tembaga (Cu) dan Pengaruh Kesadahan dan pH terhadap Depurasi Tembaga pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*), Laporan Tesis S2 Teknik Lingkungan ITB.