



MIKRO ANATOMI INSANG IKAN SEBAGAI INDIKATOR PENCEMARAN LOGAM BERAT DI PERAIRAN KALIGARANG SEMARANG

Nanang Setyawan[✉], Nana Kariada, Endah Peniati

Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel**Sejarah Artikel:**

Diterima Februari 2013

Disetujui April 2013

Dipublikasikan Mei 2013

Keywords:

Fish

Boesemani

Larvae

Organ

Fins

Notochord

Abstrak

Perairan Kaligarang merupakan perairan yang sangat penting bagi kehidupan penduduk di Kota Semarang. Selain masyarakat, industri di sepanjang perairan tersebut juga menggunakan air Perairan Kaligarang untuk keperluan proses produksi, sekaligus sebagai tempat pembuangan limbah pada akhir proses produksinya. Ikan sebagai salah satu biota air sering dijadikan sebagai salah satu indikator tingkat pencemaran yang terjadi di dalam perairan. Penelitian ini menggunakan rancangan eksplorasi karena melihat dari tingkatan pencemaran logam berat dengan menggunakan ikan sebagai indikator. Pengambilan sampel diambil setiap 2-3 minggu sekali dalam jangka waktu selama 1 bulan pada bulan November-Desember 2012. Data dalam penelitian ini adalah data kualitatif berupa tingkat kerusakan mikroanatomis insang ikan yang terindikasi logam berat kemudian dihubungkan dengan faktor lingkungan meliputi Suhu, pH, BOD, COD. Berdasarkan pengamatan mikroanatomis insang ikan yang terindikasi logam berat terjadi kerusakan mikroanatomis sampai ke tingkat nekrosis. Berdasarkan kriteria tingkat pencemaran menunjukkan bahwa Perairan Kaligarang berada dalam kondisi tercemar sedang sampai dengan cukup berat.

Abstract

Kaligarang river is the river which is very important to the life of residents in the city of Semarang. In addition to the community, industry was-industry along the river is also used Kaligarang River water for the production process, as well as the disposal of waste at the end of the production process. Fish as one of the aquatic biota is often used as an indicator of the level of contamination that occurred in the waters. This study used exploratory design as seen from the level of heavy metal pollution using fish as indicators. Sampling was taken every 2-3 weeks for a period of one month in November-December 2012. The data in this study was qualitative data in the form of the damage fish gills mikroanatomis indicated heavy metals were then linked to environmental factors include temperature, pH, BOD, COD. Based on observations of fish gills mikroanatomis indicate mikroanatomis damage to the level of necrosis. Based on these criteria indicated that the level of pollution in a state Kaligarang river polluted with moderate to heavy.

© 2013 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lt. 1, Jl. Raya Sekaran,
Gunungpati, Semarang, Indonesia 50229
E-mail: nanangsetya12@gmail.com

ISSN 2252-6277

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan populasi penduduk yang tinggi menimbulkan permasalahan bagi kelestarian lingkungan hidup. Tingkat kepadatan penduduk sangat berpengaruh terhadap tingkat intensitas aktivitas manusia. Semakin tinggi tingkat kepadatan penduduk maka semakin tinggi pula aktivitas yang terjadi di wilayah tersebut, sehingga kemungkinan itu memacu terjadinya pencemaran lingkungan. Aktivitas manusia dengan berbagai fasilitas yang modern memacu terjadinya pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkanya makhluk hidup, zat, energy, dan komponen lain kedalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menjadi lingkungan kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (UU No. 32 Tahun 2009).

Perairan Kaligarang merupakan perairan yang sangat penting bagi kehidupan penduduk di Kota Semarang. Selain masyarakat, industri-industri di sepanjang perairan tersebut juga menggunakan air Perairan Kaligarang untuk keperluan proses produksi, sekaligus sebagai tempat pembuangan limbah pada akhir proses produksinya. Tercatat ada sejumlah industri yang membuang sisa proses produksinya ke Perairan Kaligarang; antara lain industri farmasi, keramik, tekstil, dan besi. Industri-industri tersebut memanfaatkan perairan-perairan disekitarnya sebagai tempat buangan yang akan memberikan sumbangannya penyebab menurunnya kualitas perairan Kaligarang. Selain dari industri dan limbah domestik, pencemaran yang berasal dari tempat pembuangan akhir (TPA Jatibarang) juga memiliki peranan dalam pencemaran.

Ada tiga konsep berkaitan dengan dampak pencemaran yaitu: biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi. Biokonsentrasi adalah proses masuknya zat kimia ke dalam tubuh organisme dan kemudian terakumulasi. Bioakumulasi lebih luas dari

biokonsentrasi yang merupakan proses pengambilan dan retensi bahan pencemar oleh makhluk hidup yang mengakibatkan peningkatan kepekatan sehingga dapat menimbulkan pengaruh yang merusak (racun). Biomagnifikasi berkaitan dengan peningkatan konsentrasi suatu zat kimia (kontaminan) pada setiap tingkat tropik dari rantai makanan (Palar 2004).

Kadar logam berat di dalam badan air akan naik sedikit demi sedikit karena ulah manusia, akibatnya logam itu dapat terserap dalam jaringan ikan, tertimbun dalam jaringan (bioakumulatif) dan pada konsentrasi tertentu akan dapat merusak organ-organ dalam jaringan tubuh. Sedangkan absorpsi logam berat oleh organisme perairan secara langsung biasanya melalui bagian tubuh ikan seperti insang (Palar 1994). Urutan tingkat toksisitas berbagai macam logam berat terhadap ikan adalah Hg> Cu> Pb> Cd> Al> Zn> Ni> Cr> Co> Mn. Kadar standar baku mutu logam berat yang dinyatakan dalam ppm (*part per million*) pada ikan adalah (Cd) 0,01 ppm, (Pb) 0,01 ppm, (Hg) 0,01 ppm (EPA).

Ikan sebagai salah satu biota air sering dijadikan sebagai salah satu indikator tingkat pencemaran yang terjadi di dalam perairan. Jika di dalam tubuh ikan telah terkandung kadar logam berat yang tinggi dan melebihi batas normal yang telah ditentukan dapat menunjukkan tingkat pencemaran yang terjadi di lingkungan. Menurut Adnan (2004) kandungan logam berat dalam ikan seringkali dikaitkan dengan pembuangan limbah industri di sekitar tempat hidup ikan tersebut. Banyaknya logam berat yang terserap tubuh ikan bergantung pada bentuk senyawa dan konsentrasi polutan, aktivitas mikroorganisme, tekstur sedimen, serta jenis ikan yang hidup di lingkungan tersebut.

Insang merupakan organ yang langsung bersentuhan dengan air, sehingga apabila air Perairan Kaligarang mengandung polutan logam berat akan mengakibatkan kerusakan pada organ insang dan organ-organ yang berhubungan dengan insang. Hal inilah yang mendasari dilakukannya penelitian tingkat pencemaran logam berat pada air menggunakan

indikator kerusakan insang ikan yang hidup didalamnya. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan rancangan eksplorasi karena melihat dari tingkatan pencemaran logam berat dengan menggunakan ikan sebagai indikator. Pengambilan sampel diambil setiap 2-3 minggu sekali dalam jangka waktu selama 1 bulan pada bulan November-Desember 2012. Data dalam penelitian ini adalah data kualitatif berupa tingkat kerusakan mikroantomi insang ikan yang terindikasi logam berat kemudian dihubungkan dengan faktor lingkungan meliputi Suhu, pH, BOD, COD.

Berdasarkan hasil pengambilan sampel yang dilakukan di Perairan Kaligarang selama bulan November-Desember 2012, ditemukan kerusakan mikroantomi insang ikan dari edema sampai ke tingkat nekrosis. Hasil tingkat kerusakan mikroantomi insang ikan dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil tingkatan kerusakan mikroantomi insang ikan yang telah disajikan dalam Tabel 1, terlihat bahwa telah terjadi kerusakan mikroantomi insang ikan dari edema sampai ke nekrosis. Berdasarkan kriteria tingkat pencemaran perairan menunjukkan bahwa

Perairan Kaligarang berada dalam kondisi tercemar ringan sampai dengan berat ini ditunjukkan dari tingkat kerusakan mikroantomi insang ikan yang digunakan sebagai indikator.

Tabel 1. Tabel Tingkat Kerusakan Struktur Mikroantomi Insang Ikan di Kaligarang.

Stasiun	Sampel	Edema	Kerusakan Fusi lamella	Struktur		Mikroantomi Nekrosis
				Hiperplasia	Atrofi	
ST.1	A1	+	-	-	+	++
	A2	+	++	-	-	+++
	A3	++	+++	-	+	+++
	A4	+	++	++	+	++
	A5	-	-	+	-	+++
ST.2	B1	+	+++	++	-	++
	B2	+	+++	++	-	++
	B3	+	+	+	-	+++
	B4	+	++	++	-	++
	B5	-	++	+	++	+++
ST.3	C1	+	+++	+	-	-
	C2	+++	+	-	-	-
	C3	++	-	+	-	-
	C4	+	-	-	-	-
	C5	+++	+	+	-	-

Keterangan :

ST.1 = Stasiun pertama berada di perairan sekitar PDAM Tirta Modal.

ST.2 = Stasiun kedua berada di pertemuan antara perairan Kreo dan Kripik.

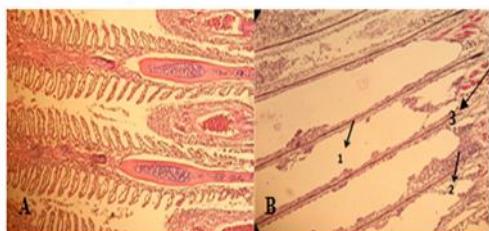
ST.3 = Stasiun ketiga berada di Tempuran desa Lerep Ungaran.

(-) = Tidak ada kerusakan sama sekali (normal).

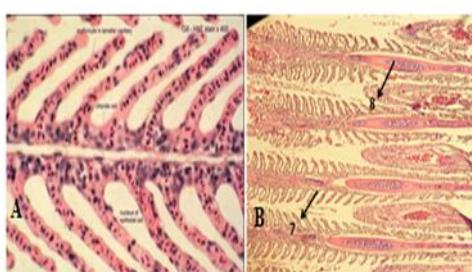
(+) = Terjadi kerusakan kurang dari 30% dari luasan pandang (ringan).

(++) = Terjadi kerusakan 30%-70% dari luasan pandang (sedang).

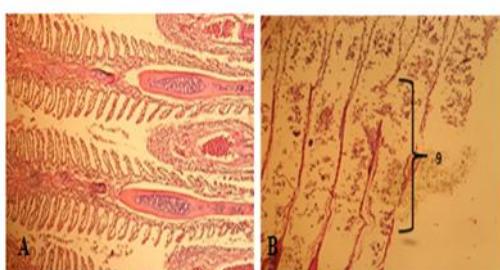
(++) = Terjadi kerusakan lebih dari 70% dari luasan pandang (berat) (Pantung *et al* 2008).



Gambar 1. Potongan melintang struktur mikroanatomi insang ikan di stasiun 2 kode (B5) perbesaran 10x40. Pewarnaan: Hematoxilin-Eosin.
Keterangan : A. Kondisi mikroanatomi insang ikan normal.
A. Kondisi mikroanatomi tidak normal
1. Nekrosis. 2. Fusi Lamella sekunder. 3. Atrofi.



Gambar 2. Potongan melintang struktur mikroanatomi insang ikan di stasiun 3 kode (C4) perbesaran 10x40. Pewarnaan: Hematoxilin-Eosin.
Keterangan : A. Kondisi mikroanatomi insang normal.
(www.ehu.es/europeanclass2003/Image45.gif)
B. Kondisi mikroanatomi insang normal 7. Lamella sekunder. 8. lamella primer normal.



Gambar 3. Potongan melintang struktur mikroanatomi insang ikan nila di stasiun 1 kode (A5) perbesaran 10x40. Pewarnaan: Hematoxilin-Eosin.
Keterangan: A. Kondisi mikroanatomi insang ikan normal.
B. Kondisi mikroanatomi insang tidak normal.

Berdasarkan hasil pengamatan di bawah mikroskop dengan perbesaran 10x40 ditemukan kerusakan mikroanatomi insang ikan yang terindikasi logam berat. Kerusakan mikroanatomi insang ikan dapat dilihat pada Gambar 1, 2 dan 3.

Terjadinya kerusakan mikroanatomi insang ikan dari edema lamella sekunder sampai ke tingkatan nekrosis diduga disebabkan oleh materi tersuspensi/pertikel logam berat seperti Hg (0,001 mg/L), Cd (0,005 mg/L) dan Pb

(0,03) yang terkandung dalam air (Budiarti 2009). Hal ini sesuai dengan pernyataan Robbins dan Kumar, 1995 yang menyatakan terjadinya kerusakan insang dari edema sampai ke tingkat nekrosis sebagai bentuk adaptasi sel untuk bertahan hidup akibat pengaruh dari bahan toksik, seperti bahan kimia dan logam berat.

Proses masuknya zat toksik menurut Palar (1994) adalah ion-ion logam dapat membentuk ion-ion logam yang dapat larut dalam lemak. Ion-ion logam yang dapat larut dalam lemak itu mampu melakukan penetrasi pada membrane sel, sehingga ion-ion logam tersebut akan menumpuk (terakumulasi) didalam sel dan organ-organ lain. Menurut Tandjung (1982) terjadinya perubahan struktur mikroanatomi tersebut menunjukkan telah terjadi kontaminasi tetapi belum ada pencemaran. Adanya edema, menyebabkan eritrosit menjadi mudah pecah dan berubah bentuk karena kekurangan oksigen, sehingga dapat menyebabkan kematian ikan.

Pada penelitian ini terjadinya edema maupun hiperplasia karena habitat ikan yang diduga tercemar oleh limbah dari buangan industri. Senyawa toksik masuk melalui insang, hal ini sesuai dengan pernyataan (Connel, 1995) bahwa pengambilan bahan toksik oleh makhluk hidup air melalui tiga proses utama yaitu: (1) dari air melalui permukaan pernapasan (misalnya insang), (2) penyerapan dari air ke dalam permukaan, dan (3) dari makanan, partikel air yang dicerna melalui pencernaan. Senyawa toksik maupun organik terlarut menyebabkan iritasi pada insang dan lamella insang menjadi tertutup, hal ini menyebabkan proses pernapasan ikut terganggu.

Kerusakan lainnya pada insang ikan yaitu nekrosis. Nekrosis yang dimaksud adalah kematian sel, mengakibatkan jaringan insang tidak berbentuk utuh lagi. Menurut Plumb (1994), nekrosis ditandai dengan adanya kematian sel-sel atau jaringan yang menyertai degenerasi sel pada setiap kehidupan hewan dan merupakan tahap akhir degenerasi yang irreversibel. Karakteristik dari jaringan nekrotik, yaitu memiliki warna yang lebih pucat dari

warna normal, hilangnya daya rentang (jaringan menjadi rapuh dan mudah terkoyak), atau memiliki konsistensi yang buruk atau pucat. Nekrosis juga dapat disebabkan oleh agen-agen biologis (virus, bakteri, jamur dan parasit), agen-agen kimia atau terjadinya gangguan terhadap penyediaan darah pada jaringan tubuh.

Kerusakan pada struktur mikroanatomik insang ikan diduga karena adanya senyawa toksik berupa logam berat yang ada dalam perairan. Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui lebih banyak zat toksik yang ada di wilayah Kaligarang.

Logam berat yang masuk ke badan perairan dari berbagai macam kegiatan baik secara langsung menggunakan logam berat tersebut dalam kegiatannya maupun merupakan hasil sampingan dari aktivitas tersebut sangat berbeda-beda. Masuknya bahan pencemar berupa kandungan logam berat sangat merugikan bagi kehidupan, baik langsung maupun tidak langsung. Berdasarkan dampak yang ditimbulkan dari pencemaran logam berat tersebut di badan perairan, maka sangat diperlukan kisaran konsentrasi atau nilai ambang batas dari konsentrasi logam berat yang direkomendasikan untuk masuk dan berada di lingkungan perairan.

Hasil analisa kandungan logam berat Hg, Cd dan Pb dalam air secara jelas dapat dilihat pada Tabel 2 sampai Tabel 4. Pada pengujian kandungan logam Hg didapatkan hasil $<0,001$. Pada pengujian kandungan logam Cd didapatkan hasil $<0,005$. Pada pengujian kandungan logam Pb didapatkan hasil sebesar $<0,03$.

Kandungan Pb pada ketiga stasiun menunjukkan kandungan logam Pb yang relatif sama tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Secara umum hasil penelitian ini menunjukkan kadar logam Pb dalam badan perairan melebihi ambang batas nilai Pb yakni sebesar $0,01 \text{ mg/l}$. Tingginya kadar logam Pb dalam badan air di tiap stasiun disebabkan beberapa aktivitas seperti hasil limbah domestik warga dan perindustrian yang menggunakan unsur Pb dalam proses produksinya.

Tabel 2. Data konsentrasi Pb terlarut pada sampel air di perairan Kaligarang.

Stasiun	Pb (mg/l)	Baku Mutu
1	$< 0,03$	Perikanan (0,003 mg/l)
Sampel Air	2	EPA (0,065 ppm)
3	$< 0,03$	

Sumber: Kriteria mutu air berdasarkan kelas (PP No. 82/2001).

Di perairan tawar, timbal membentuk senyawa kompleks yang memiliki sifat kelarutan rendah dengan beberapa anion, misalnya hidroksida, karbonat, sulfida dan sulfat. Berdasarkan batas yang ditetapkan, kadar timbal di perairan Kaligarang masih dalam batas aman untuk kehidupan organisme akuatik karena nilainya $<0,05 \text{ mg/l}$.

Tabel 3. Data konsentrasi terlarut Cd pada sampel air di perairan Kaligarang.

Stasiun	Cd (mg/L)	Baku Mutu
1	$< 0,005$	WHO (0,0002 mg/L)
Sampel Air	2	EPA (0,043 ppm)
3	$< 0,005$	Perikanan (0,01 mg/L)

Kadar kadmium pada perairan tawar alami $0,0001-0,01 \text{ mg/l}$, sedangkan pada perairan laut $0,0001 \text{ mg/l}$. Menurut WHO, kadar kadmium maksimum pada air yang diperuntukan bagi air minum adalah $0,005 \text{ mg/l}$. Pada perairan yang diperuntukan bagi kepentingan pertanian dan peternakan, kadar kadmium sebaiknya tidak lebih dari $0,005 \text{ mg/l}$. Untuk melindungi kehidupan pada ekosistem akuatik, perairan sebaiknya memiliki kadar kadmium sekitar $0,0002 \text{ mg/l}$.

Kadar kadmium yang diperoleh dari hasil penelitian dari ke-3 stasiun pengamatan menunjukkan nilai yang cukup tinggi

dibandingkan dengan standar yang ditetapkan yaitu sebesar 0,0002 mg/l. Kadar kadmium di perairan Kaligarang sangat tinggi, sehingga bisa membahayakan kehidupan organisme akuatik dan bagi manusia yang mengkonsumsi ikan tersebut.

Tabel 4. Data konsentrasi terlarut Hg pada sampel air di perairan Kaligarang.

Stasiun	Hg (mg/L)	Baku Mutu
1	< 0,001	0,001 mg/L
Sampel Air	2	0,002 mg/L
3	< 0,001	

Sumber: Kriteria mutu air berdasarkan kelas (PP No. 82/2001).

Kandungan Hg di air pada ketiga stasiun menunjukkan kandungan logam Hg yang relatif sama tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Secara umum hasil penelitian ini menunjukkan kadar logam Hg dalam badan perairan yakni < 0,001 hasil ini sesuai dengan PP. No. 82 Tahun 2001 sebesar 0,001mg/l untuk baku mutu air minum dan untuk kegiatan

perikanan yang diperbolehkan kurang dari 0,002 mg/l. Berdasarkan batas yang ditetapkan, kadar Hg di perairan Kaligarang masih dalam batas aman untuk kehidupan organisme akuatik karena nilainya < 0,001 mg/l.

Penentuan kualitas air berdasarkan konsentrasi logam sangat sulit, karena berhubungan erat dengan partikel tersuspensi yang terlarut di dalamnya. Logam-logam dalam lingkungan perairan umumnya berada dalam bentuk ion. Ion-ion itu ada yang merupakan ion-ion bebas, pasangan ion organik, ion-ion kompleks dan bentuk-bentuk ion lainnya.

Nilai pH akan mempengaruhi konsentrasi logam berat di perairan, dalam hal ini kelarutan logam berat akan lebih tinggi pada pH rendah, sehingga menyebabkan toksitas logam berat semakin besar. Nilai pH pada Perairan Kaligarang menunjukkan bahwa dari hulu sampai hilir terjadi penurunan nilai pH dari 6-4,5. Kenaikan pH pada badan perairan biasanya akan diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari senyawa-senyawa logam tersebut. Umumnya pada pH yang semakin tinggi, maka kestabilan akan bergeser dari karbonat ke hidroksida

Tabel 5. Rata-rata kualitas air pada tiap stasiun pengamatan

No	Faktor Abiotik	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Standart	Indikator
1	Suhu	28,8 °C	30,6 °C	30,7 °C	Devisiasi 3	Normal
2	pH	6	6	6	6-9	Normal
3	COD	10,81 mg/l	10,31 mg/l	13,85 mg/l	10	Normal
4	BOD	7,2 mg/l	7,8 mg/l	7,0 mg/l	2	Melebihi ambang batas
5	Hg	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	insang ikan mengalami edema, fusi lamella (*)
6	Cd	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,001	Hiperplasia dan Nekrosis (*)
7	Pb	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03	Edema (*)

Hidroksida-hidroksida ini mudah sekali membentuk ikatan permukaan dengan partikel-partikel yang terdapat pada badan perairan. Lama-kelamaan persenyawaan yang terjadi antara hidroksida dengan partikel-partikel yang ada di badan perairan akan mengendap dan membentuk lumpur. Suhu perairan mempengaruhi proses kelarutan akan logam-logam berat yang masuk ke perairan. Dalam hal ini semakin tinggi suatu suhu perairan kelarutan logam berat akan semakin tinggi. Darmono (2001) menyatakan bahwa suhu yang tinggi dalam air menyebabkan laju proses biodegradasi yang dilakukan oleh bakteri pengurai aerobik menjadi naik dan dapat menguapkan bahan kimia ke udara. Berdasarkan analisa di Laboratorium dan pengamatan secara langsung (*insitu*) pada masing-masing stasiun yang dilakukan dengan 2 kali ulangan diperoleh hasil kualitas air yang hampir sama pada setiap stasiun pengamatan (Tabel 5).

SIMPULAN

Secara umum gambaran mikroanatomi dari ketiga stasiun mengalami tingkatan kerusakan yang bervariasi diantaranya mengalami kerusakan sampai tingkatan nekrosis pada lamella primer dan lamella sekunder hasil tersebut dapat dijadikan indikator pencemaran yang terjadi di perairan Kaligarang Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Barus, T. A. 2004. *Pengantar Limnologi Studi Tentang Ekosistem Air Daratan*. Medan: USU Press.
- Budiarti, Titisari, R. 2009. Laju Respirasi Mujair (*Oreochromis mossambicus*) Dalam Media Air Lumpur Sidoarjo pada Konsentrasi Subletal. Program Studi Biologi. FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Connel, D.W.1995. Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik. Jakarta: UI Press.
- Cornell, D. W. Gregory, J. Miller. Koestoer, Yanti (Editor). 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: Penerbit UI Press.
- Darmono. 2001. *Lingkungan hidup dan Pencemaran. Hubungan dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius, Yogyakarta. hal 258.
- Ishikawa NM, Maria JT, Julio VL, & Claudia MF. 2007. Hematological Parameters in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* Exposed to Sublethal Concentration of Mercury
- Lauren, P. 1984. *The Role of Environmental Calcium Relative to Sodium Chloride in Determining Gill Morphology of Soft Water Treat and Catfish*: Academic Press Inc.
- Nybakken, J.W. 1988. *Biologi laut: Suatu pendekatan ekologis*. Terj. dari *Marine biology: An ecological approach*, oleh Eidman, M., Koesoebiono, D.G. Bengen, M. Hutomo & S.Sukardjo. PT Gramedia, Jakarta: xv + 459 hlm.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Pantung, Nuntiya, Kerstin, G. Helander, Herbert F. H. dan Voravit C. 2008. Histopathological Alterations of Hybrid Walking Catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) in Acute and Subacute Cadmium Exposure. *Environment Asia* 1 : 22-27.
- Plumb, J.A. 1994. Optimum concentration of *Edwardsiella ictaluri* vaccine in feed for oral vaccination of channel catfish. *Journal of aquatic Animal Health* 6, 118-121.
- Tandjung, S.D. 1982. The role of Indonesian traditions, values, and believes in natural resource conservation and environmental management. Paper presented in the International Seminar on Human Ecology, Tourism, and Sustainable Development. Denpasar.