

DETEKSILOGAM BERAT PADA PERAIRAN, SEDIMEN DAN SIRIPIKAN BADUKANG (*Arius caelatus* HAN A. *maculatus*) DIMUARA SUNGAIKAHAYAN DAN SUNGAI KATINGAN, KALIMANTAN TENGAH¹

[Detection of Heavy Metals in the Water, Sediment and Fin of Catfish (*Arius caelatus*
and *A. maculatus*) in Estuaries of Kahayan and Katingan Rivers in Central Kalimantan]

Edison Harteman^{1M*}, Dedi Soedharma², Adi Winarto³ dan Harpasis S Sanusi²

¹Tugas Belajar dari Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya pada Sekolah Pascasarjana,
Institut Pertanian Bogor, ²Staf Pengajar Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan,
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, ³Staf Pengajar
Departemen Anatomi Hewan Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor.

*e-mail: edيسان@yahoo.com

ABSTRACT

The study sites were located in the river mouths of Kahayan and Katingan Rivers of Central Kalimantan. The purpose of this study was to evaluate concentration of heavy metals on the water, sediment, *Arius* (catfish) fin through concentration and bioconcentration factor (BCF); data were analysed by regression and correlation analysis. Collected samples were water and fish. Water sample and fish bone were analysed by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results indicated that the concentrations of Pb>Cd>Hg were occurred in the water and hard fins, which the bioconcentrations of Hg>Cd>Pb were in the hard fins, while the bioconcentration factors (BCFs) of Pb>Hg>Cd were in the sediment. Moreover, it seems that heavy metals in the waters absorbed and accumulated by sediment and hard fins increased along with heavy metal concentration in the water, whereas heavy metals in the sediment absorbed and accumulated by hard fins increased along with heavy metal concentration in the sediment.

Kata kunci: Air, sedimen, tulang sirip keras, konsentrasi, faktor biokonsentrasi, regresi, korelasi, Sungai Kahayan dan Katingan, Kalimantan Tengah.

PENDAHULUAN

Kalimantan Tengah memiliki kekayaan sumberdaya alam yang melimpah dan mengundang banyak orang untuk mengeksploitasinya. Hutan dan tambang emas merupakan kegiatan yang paling dominan dilakukan di wilayah ini. Kegiatan di wilayah ini meliputi penebangan dan industri kayu lapis, pertanian dan perkebunan, transportasi, pembukaan wilayah transmigrasi serta penambangan emas. Eksploitasi hutan dan kegiatan pertanian menyebabkan kebakaran hutan dan lahan, sedangkan kegiatan pertambangan emas adalah salah satu sumber air raksa (Hg) di danau dan sungai (Kelly *et al*, 2006).

Hasil pemantauan Hamblin dan Christiansen (2004), wilayah darat Kalimantan Tengah termasuk kategori tererosi rendah sampai tinggi. Pada musim hujan permukaan tanah dan bebatuan mengalami erosi. Hal ini menyebabkan konsentrasi Pb dan Cd meningkat di perairan (Panichayapichat *et al*, 2007). Menurut Heinrichs *et al*. (1980) dalam Darmono (2001), konsentrasi Cd di lahan pertanian sekitar 0,000-1,000 mg/kg, konsentrasi Cd dan Hg serta Pb di tanah histosol

(warna hitam) lebih tinggi. Konsentrasi Cd di sedimen sungai berkisar antara 0,0300-0,4000 mg/kg, konsentrasi Hg di permukaan tanah hutan setelah terbakar berkisar antara 0,3000-1,4700 mg/kg/berat kering, sedangkan Hg di bawah permukaan tanah yang terbakar berkisar antara 0,0900-2,3000 mg/kg/berat kering (Eisler, 2006). Hartoto dan Awalina (2000), melaporkan konsentrasi Pb di perairan Sungai Rungan berkisar antara 0,0240-0,1730 mg/L, dalam sedimen berkisar antara 6,4600-16,5400 mg/kg, di S. Kahayan berkisar antara 0,008-0,057 mg/L, dalam sedimen berkisar antara 0,424-2,643 mg/kg.

Kegiatan manusia di daerah hulu menyebabkan konsentrasi logam berat meningkat di perairan dan sedimen, perairan muara sungai dan organ tubuh ikan (Panichayapichet *et al*, 2007; Coskon *et al*, 2006; AlomarydanBelhadj, 2007; Leonove/a/., 1993; Karar *et al*, 2006; Xinhua *etal*, 2006; Achudume, 2007). Debit sungai serta partikel-partikel dari wilayah hulu mengandung logam berat dan menyebabkan konsentrasi Hg dan Cd serta Pb meningkat di air muara sungai, selanjutnya logam berat di air terserap dan

terakumulasi di organ tubuh ikan badukang (*Arius caelatus* dan *Arius maculatus*) hingga ke tulang sirip keras melalui sirkulasi darah merah. Sebagian logam berat di air terserap dan terakumulasi pada partikel-partikel di air serta mengendap di permukaan sedimen muara sungai. Endapan partikel-partikel yang mengandung logam berat kemudian terserap oleh partikel-partikel di sedimen. Di perairan dan sedimen mengandung banyak ligan yang dapat menyebabkan logam berat bergabung. Hal ini menyebabkan konsentrasi Hg dan Cd serta Pb meningkat di sedimen, sedangkan debit sungai dari daerah hulu merupakan sumber logam berat dan ligan-ligan di muara sungai. Ikan badukang termasuk kelompok ikan karnivor dengan habitat di dasar muara sungai dan hal ini menyebabkan logam berat di permukaan sedimen terserap dan terakumulasi oleh organ tubuh ikan hingga ke tulang sirip keras.

Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kapasitas bioakumulasi logam di sedimen dan di tulang sirip keras ikan serta hubungan antara konsentrasi Hg, Cd, Pb di air, di sedimen, tulang sirip keras ikan di wilayah muara sungai kahayan dan katingan. Kegunaan penelitian adalah sebagai informasi bagi pihak yang memerlukannya.

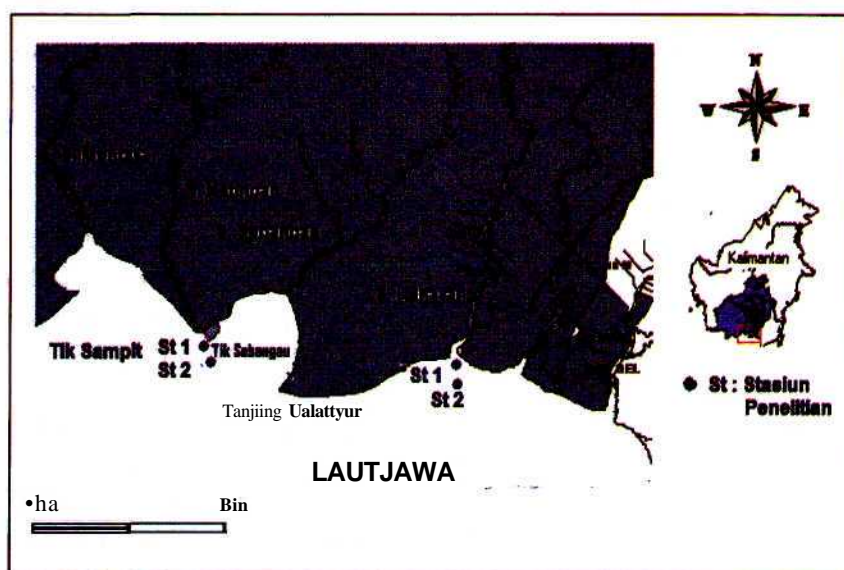
BAHANDANMETODE

Penelitian ini dilakukan di wilayah perairan muara Sungai Kahayan dan S. Katingan Kalimantan

Tengah. Pelaksanaan penelitian dilakukan bulan Agustus 2005 sampai Januari 2006. Pengambilan contoh air dan sedimen serta tulang sirip keras ikan badukang (*Arius caelatus* dan *Arius maculatus*) dilakukan pada masing-masing muara sungai. Pada setiap muara sungai terdiri dari stasiun 1 dan St 2 (Gambarl).

Pengambilan contoh air, sedimen, tulang sirip keras dilakukan sebanyak 8 contoh dengan ulangan 3 kali selama 4 bulan. Pengambilan contoh air dilakukan dengan menggunakan "Kammerer Bottle Water Sampler". Jumlah contoh air yang diambil sebanyak 350 ml dan dikemas dengan botol plastik serta diawetkan dengan asam sulfat pekat (H_2SO_4) dan ditetes ke dalam botol contoh sambil diaduk hingga $pH < 2$, selanjutnya disimpan dalam kotak pendingin es (icebox) (Alaerts dan Santika, 1987). Selanjutnya diambil contoh air sebanyak 350 ml dan dimasukkan ke dalam botol yang terbuat dari gelas dan ditetesi asam nitrat pekat (HNO_3) serta diaduk hingga $pH < 2$, kemudian dimasukkan ke dalam kotak pendingin dengan es (Fitzgerald dan Lyons, 1975). Pengambilan contoh sedimen dilakukan dengan menggunakan Petersen Grab. Contoh sedimen dimasukkan ke dalam kantong plastik sebanyak ± 14 kg.

Spesies ikan badukang *Arius caelatus* ASM *Arius maculatus* (Kottelat *et al.*, 1993) merupakan spesies ikan laut yang banyak terdapat di wilayah perairan pantai dan muara S. Kahayan dan S. Katingan



Gambar 1. Lokasi perairan di stasiun 1 dan St 2 pada wilayah Muara Kahayan dan Katingan

Kalimantan Tengah.

Penangkapan ikan dilakukan dengan menggunakan rawai (*long line*). Metode pengambilan contoh air dan sedimen serta tulang sirip keras dilakukan dengan menggunakan purposive sampling (Sevilla *et al.*, 1993). Strategi ini menyebabkan tidak semua titik pengambilan contoh air dan sedimen serta tulang sirip keras ikan badukang mempunyai peluang yang sama. Hal ini terjadi karenakondisi perairan.

Observasi dilakukan untuk mengumpulkan data fenomena konsentrasi dan faktor biokonsentrasi serta hubungan logam berat di air, sedimen, tulang sirip keras ikan badukang. Analisis faktor biokonsentrasi dilakukan untuk mengetahui kapasitas sedimen dan tulang sirip ikan mengakumulasi Hg, Cd dan Pb. Metode statistik digunakan untuk menjelaskan sebab-akibat terjadinya perubahan konsentrasi logam berat di air, di sedimen dan di tulang sirip keras (Sevilla *et al.*, 1993). Analisis contoh air dan sedimen serta tulang sirip ikan dengan menggunakan metode destroksi dan spektrofotometrik serta di analisis dengan spektrofotometer serapan atom (AAS) (Fitzgerald dan Lyons, 1975).

Kapasitas sedimen dan tulang sirip keras

mengakumulasi logam berat dianalisis dengan faktor biokonsentrasi (BCF) dengan menggunakan rumus Freunlich: $C_B = K_B/C_W$ (dalam Connell, 1995). C_B adalah faktor biokonsentrasi, K_B adalah kepekatan dalam logam dalam sedimen atau tulang sirip keras ikan dan C_W adalah kepekatan logam berat di air. Untuk mengevaluasi hubungan antara air, sedimen, tulang sirip keras dianalisis menggunakan model regresi linier dan korelasi sederhana. Rumus regresi yang digunakan sebagai berikut: $Y_{ij} = B_0 + B_1X + \epsilon$ Y adalah variabel respon yang diamati, B_0 faktor X adalah kuantitatif yang diteliti, parameter intersep, B_1 adalah parameter pengaruh variabel bebas kuantitatif terhadap variabel respon, ϵ adalah galat (Gaspersz, 1995).

HASIL

Hasil analisis konsentrasi logam berat di air, sedimen dan tulang sirip keras ikan badukang di muara S. Kahayan dan S. Katingan disajikan pada Tabel 1.

PEMBAHASAN

Konsentrasi dan Biokonsentrasi Logam Berat di Sedimen dan Tulang Sirip

Hasil analisis konsentrasi logam berat di air dan

Tabel 1. Nilai rata-rata, standar deviasi, model regresi linier dan korelasi sederhana pada variabel (mg/L), konsentrasi dan faktor biokonsentrasi logam berat di sedimen (mg/kg bb), tulang sirip keras ikan badukang (mg/kg bb) di muara S. Kahayan dan S. Katingan.

Konsentrasi	Rata-rata ± SD	Faktor biokonsentrasi	$Y=a+b(X)$	R'	R
Muara Sungai Kahayan					
Air (mg/L)					
Hg	0,0010 ±0,0000	-	-	-	-
Cd	0,0051 ±0,0015	-	-	-	-
Pb	1,1620±0,3371	-	-	-	-
Sedimen (mg/kg bb)					
Hg	0,0122 ±0,0050	12,2000 ±5,0114	-	-	-
Cd	0,0573 ±0,0123	10,1428 ±5,1837	$Y=0,0244+6,4400(X)$	0,619	0,787
Pb	7,1267 ±1,3333	63452 ±1,1090	$Y=3,4000+3,2100(X)$	0,657	0,811
Tulang sirip kerna (mg/kg bb)					
Hg	0,0200 ±0,0054	19,9875 ±5,4786	-	-	-
Cd	0,0760 ±0,0103	15,9376 ±4,3086	$Y=0,0058+4,4800(X)$	0,634	0,7%
Pb	1,5233 ±0,2965	1,3543 ±0,2355	$Y=0,3890+0,4770(X)$	0,585	0,765
Muara Sungai Katingan					
Air (mg/L)					
Hg	0,0010 ± 0,0000	-	-	-	-
Cd	0,0055 ±0,0016	-	-	-	-
Pb	1,4263 ±0,7366	-	-	-	-
Sedimen (mg/kg bb)					
Hg	0,0125 ±0,0033	12,5292 ±3,2995	-	-	-
Cd	0,0625 ±0,0122	10,0741 ± 5,9644	$Y=0,0279+6,3400(X)$	0,729	0,854
Pb	5,2454 ±1,3230	3,8278 ±1,1818	$Y=3,1800+1,4500(X)$	0,650	0,806
Tulang sirip keras (mg/kg bb)					
Hg	0,0185 ±0,0035	18,4708±3,4531	-	-	-
Cd	0,0295 ±0,0074	5,5522 ±0,9065	$Y=0,0057+3,8700(X)$	0,637	0,798
Pb	1,0637 ±0,2362	0,9632 ±0,5957	$Y=0,5950+0,1450(X)$	0,639	0,799

sedimen serta tulang sirip ikan di daerah muara S. Kahayan dan S. Katingan menunjukkan bahwa konsentrasi Pb lebih tinggi dibandingkan dengan Cd dan Hg, sedangkan konsentrasi Cd lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi Hg (Tabel 1). Konsentrasi ketiga macam logam berat meningkat di perairan dan di sedimen serta tulang sirip keras ikan, terjadi oleh karena kegiatan manusia di hulu dan di sekitar muara sungai. Konsentrasi Cd dan Hg rendah di perairan terjadi karena sebagian terserap oleh, partikel-partikel di air dan sedimen. Hg dan Cd serta Pb memiliki sifat akumulatif pada ligan-ligan di partikel-partikel di air dan sedimen serta asam-asam amino di organ tubuh organisme (Manahan, 2003). Ketiga logam berat tersebut diserap dan diakumulasi oleh sedimen dan tulang sirip keras ikan badukang hingga melebihi konsentrasi di air. Sel-sel tulang sirip keras ikan tidak langsung menyerap dan mengakumulasi logam berat, tetapi melalui makanan dan kulit, saluran pencernaan serta sirkulasi darah. Hal tersebut menyebabkan konsentrasi Hg dan Cd serta Pb di tulang sirip keras lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi di sedimen dan di air, sedangkan konsentrasi Hg dan Cd serta Pb di sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan di air (Tabel 1). Sedimen serta tulang sirip keras ikan badukang di muara sungai kahayan dan katingan memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Hg > Cd > Pb. Hal ini menyebabkan sedimen mengandung Cd serta Pb paling tinggi dibandingkan dengan di air (Pekey, 2006). Hg di air bergabung dengan partikel-partikel di sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan di air (Marvin *et al.*, 2007).

Hasil analisis faktor biokonsentrasi menunjukkan bahwa sedimen memiliki kapasitas mengakumulasi Hg lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas tulang sirip keras ikan. Sedimen cenderung memiliki kapasitas mengakumulasi Cd lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas di tulang sirip mengakumulasi Cd, sedangkan sedimen memiliki kapasitas menga-kumulasi Pb lebih tinggi dibandingkan dengan kapa-sitas tulang sirip keras. Sedimen memiliki kapasitas mengakumulasi Hg > Cd > Pb, sedangkan tulang sirip keras ikan badukang mengakumulasi Hg>Cd>Pb.

Hubungan Konsentrasi Logam Berat di Sedimen dan di Perairan

Hasil analisis regresi konsentrasi Cd pada sedimen dan di air muara S. Kahayan dengan model $Y = 0,0244 + 6,4400 (X)$. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Cd di sedimen (mg/kg bb) meningkat seiring dengan konsentrasi Cd di air (mg/L) muara S. Kahayan. Sedimen memiliki kapasitas mengakumulasi Cd di air sekitar 72,5 % ($R^2 = 0,725$) (Gatnbar 2 A). Cd pada sedimen dan di air memiliki hubungan sangat kuat ($R = 0,852$) dan signifikan pada tarap nyata 0,95 %. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Cd di air, sehingga menyebabkan konsentrasi Cd di air menurun. Kondisi ini menunjukkan bahwa sedimen memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Cd di air.

Hasil analisis faktor biokonsentrasi menunjukkan bahwa sedimen di wilayah perairan muara S. Kahayan mengakumulasi Cdrata-rata 10,1428 kali konsentrasi Cd di air (0,0051 mg/L). Hasil analisis regresi konsentrasi Cd pada sedimen dan dalam air muara S. Kahayan dengan model $Y = 0,0279 + 6,3400 (X)$. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Cd pada sedimen (mg/kg bb) meningkat seiring dengan konsentrasi Cd di air (mg/L) muara S. Katingan. Sedimen memiliki kapasitas mengakumulasi Cd di air sekitar 72,9 % ($R^2 = 0,729$) (Gambar 2 B). Sementara itu, Cd di sedimen dan di air memiliki hubungan sangat kuat ($R= 0,852$) dan signifikan pada tarap nyata 0,95 %. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Cd di air, sehingga menyebabkan konsentrasi Cd di air menurun. Sedimen di wilayah perairan muara sungai kahayan mengakumulasi Cd rata-rata 10,1428 kali konsentrasi Cd di air (0,0055 mg/L). Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas sedimen mengakumulasi Cd relatif sama di muara sungai kahayan dan katingan.

Hasil analisis regresi konsentrasi Pb di sedimen dan di air muara sungai kahayan dengan model $Y = 3,4000 + 3,2100 (X)$. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di sedimen (mg/kg bb) meningkat seiring dengan konsentrasi Pb di air (mg/L) muara sungai kahayan. Sedimen memiliki kapasitas mengakumulasi Pb di air sekitar 65,7 % ($R^2 =$

0,657) (Gambar 2 C). Pb di sedimen dan di air memiliki hubungan sangat kuat ($R=0,811$) dan signifikan pada taraf nyata 0,95 %. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Pb di air, sehingga menyebabkan konsentrasi Pb di air menurun.

Hasil analisis faktor biokonsentrasi menunjukkan bahwa sedimen di wilayah perairan muara sungai kahayan mengakumulasi Pb rata-rata 6,3452 kali konsentrasi Pb di air (1.1620 mg/L). Hasil analisis regresi konsentrasi Pb di sedimen dan di air muara sungai katingan dengan model $Y = 3,18000 + 1,4500(X)$. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di sedimen (mg/kg bb) meningkat seiring dengan konsentrasi Pb di air (mg/L). Sedimen memiliki kapasitas mengakumulasi Pb di air sekitar 65,0 % ($R^2 = 0,650$) (Gambar 2 D). Pb di sedimen dan di air memiliki hubungan sangat kuat ($R=0,806$) dan signifikan pada taraf nyata 0,95 %. Kondisi ini menunjukkan bahwa sedimen memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Pb tinggi dan menyebabkan konsentrasi Pb di air lebih rendah dibandingkan dengan di sedimen.

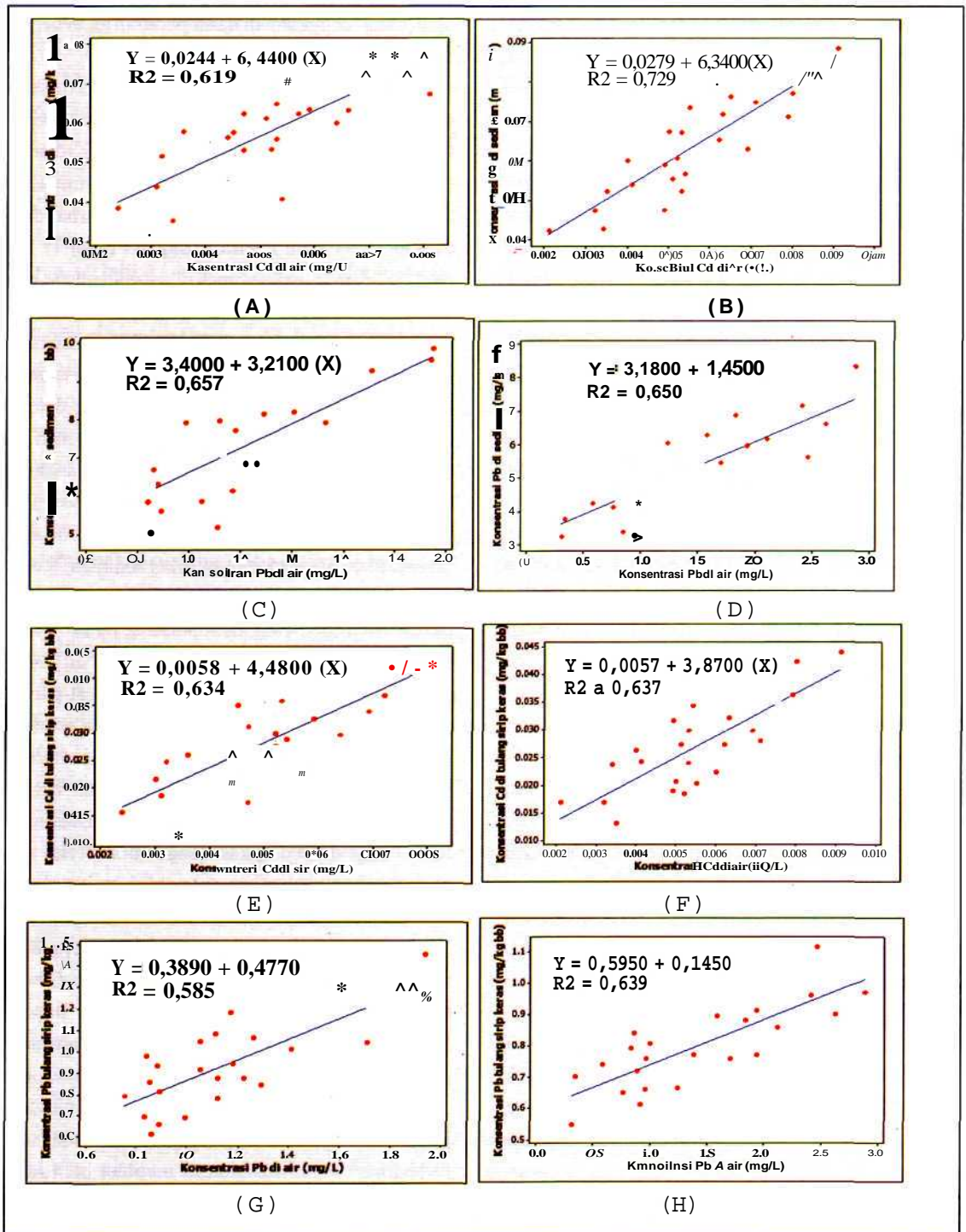
Sedimen di wilayah perairan muara S. Kahayan mengakumulasi Pb rata-rata 3,8278 kali konsentrasi Pb di air (1,4263 mg/L). Hal ini menunjukkan bahwa sedimen muara sungai kahayan mengakumulasi Pb lebih tinggi dibandingkan dengan di wilayah muara sungai katingan. Terakumulasinya Cd dan Pb di sedimen terjadi karena terbentuknya kompleks logam berat dengan ligan-ligan di air dan di sedimen. Sementara itu, Cd dan Pb di dalam air dapat membentuk kompleks logam dengan ligan-ligan seperti asam humik, pospat (PO_4) dan chlor (Cl_2). Gabungan Cd dan Pb dengan ligan-ligan di air menyebabkan Cd dan Pb tenggelam ke dasar perairan. Kompleks Cd dan Pb dengan ligan-ligan di permukaan sedimen diserap dan diakumulasi oleh partikel-partikel tanah dan bahan-bahan organik yang mengandung ligan-ligan asam humik, sulfur (S) dan PO_4 .

Hasil analisis hubungan Cd dan Pb di sedimen dengan di air menunjukkan bahwa air di wilayah muara Katingan dan Kahayan mengandung banyak ligan yang dapat bergabung dengan Cd dan Pb. Gabungan logam berat dengan ligan menyebabkan

logam berat mengendap ke dasar perairan. Kompleks ligan yang tenggelam di dasar perairan akan bergabung dengan ligan-ligan di sedimen.

Hasil analisis faktor biokonsentrasi menunjukkan bahwa kapasitas sedimen mengakumulasi Cd di muara sungai kahayan dan katingan relatif sama (Tabel 1), sedangkan sedimen mengakumulasi Pb di daerah muara kahayan lebih tinggi dibandingkan dengan di wilayah muara katingan (Tabel 1). Hal ini membuktikan bahwa sedimen di wilayah muara kahayan memiliki kapasitas mengakumulasi Pb lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen di wilayah muara sungai katingan. Hubungan sedimen dengan air menunjukkan bahwa ligan-ligan yang dapat bergabung dengan Cd dan Pb di sedimen muara kahayan lebih tinggi dibandingkan dengan di wilayah muara katingan. Kondisi ini menggambarkan bahwa senyawa logam ligan di air akan tenggelam dan mengendap serta diakumulasi oleh partikel-partikel sedimen. Kompleks ligan logam di air tersebut bergabung dengan partikel-partikel sedimen yang mengandung ligan-ligan lebih tinggi dibandingkan dengan di air. Yu *et al.* (2006) Cd dan Pb di air bergabung dengan partikel-partikel di permukaan sedimen hingga konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan di air. Selanjutnya hasil penelitian Marvin *et al.* (2007) Pb di air bergabung dengan partikel-partikel di sedimen dengan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan di air. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Cd dan Pb meningkat di sedimen seiring dengan di air.

Salah satu unsur penyebab bergabung Cd dan Pb di air adalah Cl. Gabungan ligan Cd dan Pb membentuk $CdCl_2$, $PbCl_2$ (Widowati *et al.*, 2008). Kompleks logam tersebut mengendap dan terserap oleh partikel-partikel sedimen yang mengandung ligan sulfur (S), PO_4 , asam humik sehingga membentuk CdS dan PbS , $(Cd)^{+2}(TO^-)$ dan $Pb_3(PO_4)_2$. Kompleks logam berat di sedimen akan mengalami metilasi oleh kegiatan mikroba anerobik menjadi CH_3-Cd dan CH_3-Pb Metil Cd dan Pb di sedimen mudah larut di air (Hughes dan Pool, 1989). Hubungan konsentrasi Cd di sedimen dengan di air dapat berlaku sebaliknya sebagai penyumbang jika konsentrasi di air menurun.



Gambar 2. Hubungan konsentrasi: (A) Cd di sedimen (mg/kg bb) dan di air (mg/L) muara kahayan, (B) Cd di sedimen dan di air muara katingan, (C) Pb di sedimen dan di air muara katingan, (D) Pb di sedimen dan di air muara katingan, (E) Cd di tulang sirip (mg/kg) dan di air muara kahayan, (F) Cd di tulang sirip dan di air muara katingan, (G) Pb di- tulang sirip dan di air muara kahayan, (H) Pb di tulang sirip dan di air muara katingan.

Hubungan Konsentrasi Logam Berat di Tulang Sirip dan di Perairan.

Perlu dijelaskan bahwa tulang sirip keras ikan badukang tidak memiliki kapasitas langsung mengakumulasi Cd serta Pb di air, tetapi insang dan kulit serta saluran pencernaan yang memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasinya. Tulang sirip keras ikan menyerap dan mengakumulasi Hg dan Cd serta Pb melalui sel-sel darah merah.

Hasil analisis regresi konsentrasi Cd di tulang sirip keras ikan badukang dan di air muara sungai kahayan dengan model $Y = 0,0058 + 4,4800 (X)$. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Cd di tulang sirip keras ikan (mg/kg bb) meningkat seiring dengan konsentrasi Cd di air (mg/L). Tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas mengakumulasi Cd di air sekitar 63,4 % ($R^2 = 0,634$) (Gambar 2 E). Cd di tulang sirip keras ikan dan di air memiliki hubungan sangat kuat ($R = 0,796$) dan signifikan pada tarap nyata 0,95 %. Hal ini menunjukkan bahwa tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Cd di air lebih tinggi, sehingga penyebab konsentrasi Cd di air menurun. Tulang sirip keras ikan badukang di wilayah perairan muara sungai kahayan mengakumulasi Cd rata-rata 15,9376 kali konsentrasi Cd di air (0,0051 mg/L).

Hasil analisis regresi konsentrasi Cd di tulang sirip keras ikan dan di air muara sungai katingan dengan model $Y = 0,0057 + 3,8700 (X)$. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Cd di s tulang sirip keras ikan (mg/kg bb) meningkat seiring dengan konsentrasi Cd di air (mg/L) muara sungai katingan. Tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas mengakumulasi Cd di air sekitar 63,7 % ($R^2 = 0,637$) (Gambar 2 F). Cd di tulang sirip keras ikan dan di air memiliki hubungan sangat kuat ($R = 0,852$) dan signifikan pada tarap nyata 0,95 %. Hal ini menunjukkan bahwa tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Cd di air. Kondisi ini menyebabkan menurunnya konsentrasi Cd di air. Kondisi ini menunjukkan bahwa tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Cd di air. Hal ini menyebabkan konsentrasi Cd di air menurun. Tulang sirip keras ikan mengakumulasi Cd rata-rata 5,522 kali konsentrasi Cd di air (0,0055 mg/L). Hal tersebut

menunjukkan bahwa tulang sirip keras ikan badukang di muara S. Kahayan mengakumulasi Cd lebih tinggi dibandingkan dengan di wilayah muara S. Katingan.

Hasil analisis regresi konsentrasi Pb di tulang sirip keras ikan dan di air muara sungai kahayan dengan model $Y = 3,4000 + 3,2100 (X)$. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di tulang sirip keras ikan (mg/kg bb) meningkat seiring dengan konsentrasi Pb di air (mg/L) muara sungai kahayan. Tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas mengakumulasi Pb di air sekitar 65,7 % ($R^2 = 0,657$) (Gambar 2 G). Pb di tulang sirip keras ikan dan di air memiliki hubungan sangat kuat ($R = 0,811$) dan signifikan pada tarap nyata 0,95 %. Hal ini menunjukkan bahwa tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Pb di air, sehingga menyebabkan konsentrasi Pb di air menurun. Tulang sirip keras ikan badukang memiliki kapasitas mengakumulasi Pb rata-rata 1,3543 kali konsentrasi Pb di air (1,1620 mg/L).

Hasil analisis regresi konsentrasi Pb di tulang sirip keras ikan dan di air muara Sungai Kahayan dengan model $Y = 0,3890 + 0,4770 (X)$. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di tulang sirip keras ikan (mg/kg bb) meningkat seiring dengan konsentrasi Pb di air (mg/L) muara sungai katingan. Tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas mengakumulasi Pb di air sekitar 58,5 % ($R^2 = 0,585$) (Gambar 2 H). Pb di tulang sirip keras ikan dan di air memiliki hubungan sangat kuat ($R = 0,765$) dan signifikan pada tarap nyata 0,95 %. Kondisi ini menunjukkan bahwa tulang sirip keras ikan memiliki kapasitas menyerap dan mengakumulasi Pb tinggi, sehingga menyebabkan konsentrasi Pb di air menurun. Tulang sirip keras ikan di wilayah perairan muara sungai kahayan mengakumulasi Pb rata-rata 0,9632 kali konsentrasi Pb di air (1,4263 mg/L). Tulang sirip keras ikan badukang di wilayah muara sungai kahayan membioakumulasi Pb lebih tinggi dibandingkan dengan di wilayah muara katingan.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di tulang sirip keras meningkat seiring dengan di air. Tulang sirip keras dengan Cd di air daerah muara sungai kahayan memiliki kapasitas berhubungan lebih tinggi dibandingkan dengan di wilayah muara

sungai katingan. Hal ini menunjukkan bahwa Cd dan Pb yang terakumulasi di air diserap dan di akumulasi oleh insang, kulit, saluran pencernaan ikan dan diserap oleh sel-sel darah merah serta disebarkan keseluruh organ tubuh ikan melalui sirkulasi darah merah. Cd dan Pb di air berikatan dengan Cl membentuk $CdCl_2$ dan $PbCl_2$. Kompleks logam berat tersebut terserap oleh sel-sel lamella insang, kulit, saluran pencernaan. Hal ini dapat terjadi melalui difusi pada permukaan organ tersebut. Menurut Luque *et al.* (2007) bioakumulasi Cd dan Pb di organ tubuh ikan meningkat seiring dengan salinitas. Hal ini menunjukkan bahwa garam-garam $CdCl_2$ dan $PbCl_2$ terserap oleh organ tubuh ikan hingga ke tulang sirip keras. Organ tubuh ikan badukang mengandung banyak ligan yang dapat bergabung dengan Cd dan Pb di air. Hubungan positif tulang sirip keras dengan Cd dan Pb di air daerah muara S. Kahayan dan S. Katingan, mengindikasikan bahwa Cd dan Pb di air memiliki kapasitas bergabung dengan ligan di tulang sirip keras.

Tulang sirip keras dan organ tubuh ikan badukang lainnya mengandung asam-asam amino dan enzim-enzim yang dapat bergabung dengan Cd dan Pb di air. Seluruh protein mengandung metalotionin yang memiliki kapasitas paling kuat bergabung dengan Cd dan Pb di air yang memasuki organ tubuh ikan (Widowati *et al.* 2008). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tulang sirip keras memiliki kapasitas mengakumulasi Cd dan Pb di daerah muara sungai kahayan dengan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan tulang sirip keras mengakumulasi Cd dan Pb di daerah muara S. Katingan. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas tulang sirip keras mengakumulasi Cd dan Pb meningkat seiring dengan di air.

Pada umumnya organ tubuh ikan disusun oleh berbagai jenis protein yang memiliki kapasitas mengakumulasi Hg dan Cd serta Pb melalui sel-sel darah merah. Seluruh organ tubuh ikan memiliki asam-asam amino dan enzim-enzim yang dapat bergabung dengan Hg dan Cd serta Pb (Widowati *et al.*, 2008). Menurut Mwakote (2003) Cd dan Hg lebih banyak terakumulasi di organ tubuh ikan dibanding dengan di sedimen. Akumulasi Pb di organ tubuh ikan badukang terjadi karena sebagian Pb di sedimen terlepas ke air. Hg dan Cd serta Pb di tulang sirip keras bergabung

dengan metalotionin yang mengandung thi: (sulfhidril -SH) dan tersebar di seluruh organ tubuh ikan laut. Metalotionin mengandung 26-33 % asam amino sistein memiliki kapasitas bergabung dengan Hg dan Cd serta Pb (Widowati *et al.*, 2008). Sekitar 90% Pb terserap dan terakumulasi di tulang (Manahan, 2003

KESIMPULAN DAN SARAN

Konsentrasi logam berat di air dan sedimen serta tulang sirip keras ikan badukang (*Arius caelatus dir Arius maculatus*) daerah muara S. Kahayan dan S. Katingan dengan komposisi $Pb > Cd > Pb$. Sedimen di muara S. Kahayan mengakumulasi $Pb > Hg > Cd$ sedangkan di sedimen muara S. Kahayan* mengakumulasi $Hg > Cd > Pb$. Tulang sirip keras ikan badukang di muara S. Kahayan dan S. Katingan mengakumulasi $Hg > Cd > Pb$.

Hubungan positif konsentrasi Cd dan Pb di sedimen meningkat seiring dengan konsentrasi Cd dan Pb di air daerah muara S. Kahayan dan S. Katingan. Hubungan positif konsentrasi Cd dan Pb di tulang sirip keras ikan badukang meningkat seiring dengan konsentrasi di air daerah muara S. Kahayan dan S. Katingan. Hubungan positif konsentrasi Hg dan Cd serta Pb di tulang sirip keras ikan badukang meningkat seiring dengan konsentrasi di air muara S. Kahayan dan S. Katingan.

Disarankan untuk diteliti lebih lanjut, mengungkap ikan sejenis catfish ini lebih tahan di lingkungan yang terkontaminasi oleh logam berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan bagian dari disertasi dalam penyelesaian studi Program Doktor Edisor Harteman di Program Ilmu Kelautan pada Sekolah Pascasarjana IPB, dengan Komisi Pembimbing Prof. Dr Ir Dedi Soedharma DEA, Dr drh Adi Winarto dan Prof Dr Ir Harpasis S. Sanusi, MSc. Terimakasih kepada Ibu Heti Herawati dan Bapak Dano yang telah membantu analisis logam berat di laboratorium Balai Penelitian Pasca Panen-Departemen Pertanian, Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

Achudume AC. 2007. Assessment of farmland sediments after flooding in Ubeji Land in Delta of Nigeria. *J Environ. Monit. Assess* **135**, 335-338.

- Alaerts G dan SS Santika. 1987. *Metode Penelitian Air*, 309. Usaha Nasional. Surabaya.
- Alomary AA, and S Belhadj. 2007. Determination of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb,Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five stage sequential extraction procedure. *J. Environ. Monit. Assess* **135**, 265-280.
- Connell DW. 1995. *Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik*, 232. UI-Press. Jakarta
- Coskon H, E Steinnes, MV Prontasyeva, TE Sjobakk, and S Demkina. 2006. Heavy metal pollution of surface soil in the Thrace Region, Turkey. *J. Environ. Monit. Assess* **119**, 545-556.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*, 179. UI Press. Jakarta.
- Eisler R. 2006. *Mercury Hazards to Living Organisms*, 312. CRC, London.
- Fitzgerald WF and WB Lyons. 1975. Mercury concentration in open-ocean waters: sampling procedure. *J. Limnol. and Oceanogr.* **20**(3), 468-471.
- Gaspersz V. 1995. *Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan*, 717. Tarsito. Bandung.
- Hamblin WK, and EH Christiansen. 2004. *Earth's Dynamic Systems*, 787. 10th Ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- Hartoto D I and Awalina. 2000. Metals bioconcentration of freshwater fishes in Central Kalimantan as an evaluation criteria for management of inland water fishery reserve. *Berita Biologi* **5**(3), 303-311.
- Hughes MN and RK Pool. 1989. *Metals and Microorganisms*, 412. Chapman and Hall. London
- Karar K, AK Gupta, A Kumar and AK Bismas. 2006. Characterization and identification of the sources of chromium, zinc, lead, cadmium, nickel, manganese and iron PM10 particulates at the two sites of Kalkota, India. *J. Environ. Monit Assess* **120**, 347-460.
- Kelly EN, DW Schndler, VLS Luis, DB Donal and KE Vladicka. 2006. Forest fire increases mercury accumulation by fishes via food web restructuring and increased mercury input. *J. PNAS* **103**(51), 19380-19385.
- Kottelat M, AJ Whitten, SN Kartikasari and S Wirjoatmodjo. 1993. *The Freshwater Fishes of Western Indonesia and Sulawesi*, 330 Periplus Ed.
- Leonov GA, IS Lomonosov, AN Sutorin AO Shepot'ko. 1993. Toxic effects of lead compounds on hydrobionts and waterfowl: A Survey. *J. Hydrobio* **29**(3), 82-110.
- Luque EG, AT Delvall, JM Forja and AG Parra. 2007. Biological adverse effects on bivalves associated with trace metal under estuarine environments mercury mine sites in Asturias (NW Spain). *J. Environ. Monit. Assess.* **130**, 201-214.
- Mwashote BM. 2003. Level of cadmium and lead in water, sediments and selected fish species in Mombosa, Kenya. *West.Ind Ocean J. Mar. Set*, **2**, 25-34.
- Manahan SE. 2003. *Toxicological Chemistry and Biochemistry*, 425. Lewis Publ. CRC. London.
- Marvin C, M Charlton, J Milne and L Thiessen. 2007. Metals associated with suspended sediment in Lake Erie and Ontario. 2000-2002. *J. Environ. Monit. Assess* **130**, 149-161.
- Panichayapichet P, S Sitorisravut and W Simachaya. 2007. Spasial distribution and trasfort of heavy metals in soil, ponded surface water and grass in Pb contamination watershed as related to land use practices. *J. Environ. Monit. Assess.* **135**, 181-93.
- Pekey H. 2006. Heavy mental pollution assessment in sedimen of the Izmiti Bay, Turkey. *J. Environ. Monit. Assess.* **123**, 219-231.
- Sevilla CG, JA Ochave, TG Punsalan, BP Regala and GG Uriarte. 1993. *Pengantar Metode Penelitian*, 315. Alimuddin Tuwu dan Alamsyah (Penerjemah). UI Press. Jakarta.
- Widowati W, A Sastiono dan Jusup RR. 2008. *Efek Toksik Logam. Pencegahqn dan Penanggulangan*. Andi Jogjakarta.
- Xinhua W, B Xinhui, S Guoying and F Jiamu. 2006. Chemical composition and source of PM₁₀ and PM_{2.5} aerosols in Ghuangzhou. *J. Environ. Mornit Assess* **119**, 425-439.
- Yu L, Y Zhiming, S Xiuxian and M Qinglin. 2006. Trace metal concentration in suspended particles, sediments and clams (*Ruditapes philippinarum*) from Jiaozhou Bay of China. *J. Environ. Monit. Assess.* **121**, 491-501.