

## KAJIAN BIOMAGNIFIKASI LOGAM BERAT DI LINGKUNGAN AKUATIK

Awalina-Satya, Tjandra Chrismadha, & Fachmijany Sulawesty

*Puslit Limnologi-LIPI*

Diterima redaksi : 29 November 2010, disetujui redaksi : 3 Februari 2011

### ABSTRAK

Keberadaan logam berat yang melebihi level alamiahnya di perairan berpotensi membahayakan kesehatan manusia sebagai pemanfaat puncak pada rantai makanan. Hal ini karena logam berat mudah berpindah dalam sistem rantai makanan, dan potensi bioakumulasinya makin besar pada posisi tingkat tropik yang lebih tinggi. Biomagnifikasi logam berat dikatakan terjadi jika dijumpai ada peningkatan berturut-turut setidaknya pada dua tingkat tropik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengungkap ada tidaknya proses biomagnifikasi logam berat pada sistem perairan. Logam yang dikaji adalah timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dari tiga buah situ yaitu Situ Rawa Kalong (Depok), Situ Lido dan Situ Tonjong (Bogor). Beberapa komponen utama penyusun ekosistem situ dipilih untuk diobservasi kuantitas logam beratnya. Instrumen Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry (GrAAS) digunakan dalam determinasi logam berat, dan verifikasi metoda dilakukan dengan certified reference material yang sesuai dengan masing-masing jenis matriks contoh yang diamati. Rerata Pb dan Cd pada ketiga situ berturut-turut adalah 7,68  $\mu\text{gPb/L}$  dan 0,26  $\mu\text{gCd/L}$ , 6,41  $\mu\text{gPb/L}$  dan 0,13  $\mu\text{gCd/L}$ , dan 4,69  $\text{Pb}\mu\text{g/L}$  dan 0,25  $\mu\text{gCd/L}$ . Konsentrasi Pb pada ketiga situ masih dalam ambang batas aman untuk mendukung kehidupan akuatik tapi sebaliknya kandungan Cd sudah melampaui ambang batas (0,017  $\mu\text{g/L}$ ) menurut Canadian Water Quality Standard (1999). Pb dan Cd di Situ Rawa Kalong (3,11  $\mu\text{gPb/g}$  wet weight dan 0,221  $\mu\text{gPb/g}$  wet weight) cenderung lebih terakumulasi dalam sedimen. Fitoplankton pada ketiga situ juga cenderung lebih mengakumulasi Pb dan Cd dibandingkan organisme lain yang diamati. Level Bioakumulasi pada organisme lain relatif lebih rendah dan hanya teramati adanya biomagnifikasi Cd di Situ Rawa Kalong.

**Kata kunci :** Biomagnifikasi, logam berat, Situ

### ABSTRACT

**STUDY OF HEAVY METAL BIOMAGNIFICATION IN AQUATIC ENVIRONMENTS.** The occurrences of heavy metals above its background level in aquatic environment has potentially endangered human's health as top user in food chain. This metals could be easily transferred on food chain system, and enhance the bioaccumulation in higher trophic level. Heavy metals biomagnification occurs when metals quantities enhance at least on two higher trophic levels afterward. The aim of this study was to reveal the occurrences of heavy metals biomagnification at aquatic systems. Two species of heavy metals (Pb and Cd) was studied from three shallow lakes (situ) namely Situ Rawa Kalong (Depok), Situ Lido and Situ Tonjong (Bogor). Several of the main components of ecosystem were selected to observed its heavy metals content. Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry (GrAAS) instrument was used to determine heavy metals and method verification was done by using relevant certified reference materials according to each observed sample matrix. The average Pb in those three small lakes were respectively 7.68  $\mu\text{gPb/L}$  and 0.26  $\mu\text{gCd/L}$ , 6.41  $\mu\text{gPb/L}$  and 0.13  $\mu\text{gCd/L}$ , and 4.69  $\text{Pb}\mu\text{g/L}$  and 0.25  $\mu\text{gCd/L}$ . Due to Pb level those three small lakes were still in safe level to support the aquatic life but on the contrary Cd level were exceeding the safe threshold (0.017  $\mu\text{g/L}$ ) according to Canadian Water Quality Standard (1999) which Pb and Cd in Situ Rawa Kalong (3.11  $\mu\text{gPb/g}$  wet weight; 0.221  $\mu\text{gPb/g}$  wet weight) tend to be more accumulated on sediment. Phytoplankton were more accumulated Pb and Cd compare to other observed organisms. Bioaccumulation level on other organisms were relatively lower and only Cd biomagnification observed in Situ Rawa Kalong.

**Key words :** Biomagnification, heavy metals, Situ

## PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat akibat pembuangan limbah cair industri di lingkungan akuatik (perairan umum) sudah banyak terjadi di Indonesia. Salah satu contohnya adalah Situ Rawa Kalong yang berlokasi di wilayah Depok, yang diduga mengalami pencemaran dari buangan limbah berbagai pabrik yang berlokasi tepat di pinggir situ. Hal ini ditandai dengan terjadinya kematian *massal* ikan budidaya pada saat musim penghujan, yang berlangsung sejak tahun 2003 (<http://www.inawater.com/news>), yang sebagian diantaranya berpotensi menghasilkan limbah logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd).

Tingkat pencemaran berat ditandai timbulnya bau yang sangat menyengat, sementara secara kasat mata air permukaan situ nampak berwarna kuning kecoklatan, dengan bagian pinggir terlihat cairan kental berwarna hijau yang sangat berbau. Menurut penelitian yang pernah dilakukan ternyata kondisi *Chemical Oxygen Demand* (COD) di atas ambang batas aman (330 mg/L) dan tidak memenuhi standar baku mutu limbah cair berdasarkan SK Gubernur Jawa Barat No.006/199 sebesar 300 mg/L. Pada air permukaan di dekat keramba penduduk tanggal 7 November 2003, nilai BOD (25,65 mg/L) jauh dari batas aman menurut Peraturan pemerintah RI No 82 tahun 2001 yaitu 12,0 mg/L. Demikian juga halnya dengan COD yang mencapai 170 mg/L padahal batas aman hanya 100 mg/L.

Sementara itu menurut Manahan (2000) dan Mason (2002), Pb dan Cd umumnya hadir di perairan darat karena sumbangan dari limbah kegiatan industri misalnya: cat, plastik, *electroplating*, *dyes*, dan tekstil. Logam-logam ini sangat potensial membahayakan rantai makanan karena kemampuannya berikatan dengan senyawa sulfur dan mengganggu fungsi enzimatis dengan cara membentuk ikatan dengan gugus sulfur yang ada dalam senyawa

senyawa enzim. Gugus karboksilat ( $-\text{CO}_2\text{H}$ ) dalam protein dan gugus amino ( $-\text{NH}_2$ ) juga secara kimiawi mudah mengikat Pb dan Cd. Akibatnya, ion-ion Cd dan Pb terikat pada membrane sel lalu menghambat proses transport yang melewati dinding sel.

Kadmium terutama digunakan dalam proses *metal plating*, *stabilizer* dalam pembuatan plastik ataupun dalam aktifitas pertambangan. Secara kimiawi, Cd sangat mirip dengan Zn, dan keduanya sering menjalani proses geokimia secara bersamaan. Keduanya memiliki tingkat oksidasi +2. Efek beracun yang akut logam Cd pada manusia sangatlah serius, diantaranya menaikkan tekanan darah, kerusakan ginjal, kerusakan organ reproduksi, dan kehancuran sel-sel darah merah. Diduga bahwa banyaknya gangguan fisiologis yang disebabkan Cd ini karena kemiripannya dengan Zn. Secara spesifik, Cd akan menggantikan Zn dalam beberapa senyawa enzim, dengan demikian akan mengubah karakter *stereostructure* pada enzim dan juga aktifitas katalitiknya. Pada akhirnya timbullah berbagai gejala penyakit pada manusia. Sama halnya dengan Cd, logam Pb juga berasal dari sejumlah aktifitas industrial dan pertambangan dan berada dalam sistem akuatik sebagai logam bervalensi +2. Pb yang berasal dari bahan bakar ber-Pb merupakan sumber utama Pb atmosferik dan *terrestrial* dan logam ini sangat besar potensinya untuk memasuki sistem akuatik. Meskipun bensin bertimbal sekarang sudah dikurangi pemakaiannya di Indonesia, namun fenomena deposisi Pb dan presipitasi atmosferik global berkemungkinan besar mempengaruhi keberadaan Pb di lingkungan kita. Secara alamiah Pb juga yang terikat pada *limestone* dan *galena* (PbS) juga turut menyumbang keberadaan Pb dalam sistem akuatik alamiah di beberapa tempat. Keracunan akut Pb pada manusia akan menyebabkan tidak berfungsinya ginjal, sistem reproduksi, hati, otak, dan sistem saraf pusat yang berakibat pada rasa sakit bahkan kematian.

Pencemaran Pb pada lingkungan bila dipaparkan pada anak-anak terbukti mengakibatkan gejala autisme bahkan keterbelakangan mental. Pada tingkat keracunan sedang, Pb menyebabkan anemia dengan gejala sakit kepala dan pegal-pegal pada otot, penderita akan mudah merasa capai dan mudah sekali tersinggung (Manahan, 2000; Wetzel, 2001, Allen et al., 1997; Buffle & DeVitre, 1994.).

Inti dari kasus keracunan Pb dan Cd pada manusia adalah masuknya kedua logam tersebut dalam rantai makanan melalui lingkungannya terutama lewat rute sistem akuatik (Manahan, 2000; Mason, 2002). Oleh karena itu, mengingat potensi bahaya keracunan Pb dan Cd diatas, sangatlah perlu diadakan studi yang bertujuan khusus untuk mengungkapkan lebih rinci mengenai proses perpindahan kedua logam tersebut pada rantai makanan (*biotransfrence*) di sistem perairan darat mulai pada level *primary producers (planktonic algae)* sampai ke pada level biota ikan yang berpeluang besar untuk dikonsumsi manusia. Hal ini tentunya akan berpotensi besar untuk membahayakan manusia sebagai *top consumer* dalam rantai makanan tersebut, karena adanya proses magnifikasi logam berat.

Biomagnifikasi dikatakan terjadi bila dijumpai adanya peningkatan konsentrasi logam berat melalui sedikitnya dua *trophic level* dalam rantai makanan (Barwick and Maher, 2003). Biomagnifikasi dikatakan terjadi bila dijumpai adanya peningkatan konsentrasi logam berat melalui sedikitnya dua *trophic level* dalam rantai makanan (Barwick & Maher, 2003).

Penelitian terhadap proses perpindahan Pb dan Cd pada rantai makanan di sistem perairan darat dimulai dari level *primary producers* (alga plankton) sampai ke pada level biota ikan yang berpeluang besar untuk dikonsumsi manusia, sangat penting dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakter

kuantitatif Pb dan Cd dalam sistem perairan dan komponen biotiknya.

## BAHAN DAN METODE

Pendekatan untuk mengetahui potensi *biotransference* dilaksanakan dengan cara kuantifikasi Pb dan Cd dalam media tumbuh alga plankton, biomassa alga plankton, media hidup ikan yang telah diperkaya dengan biomassa alga plankton pengemban Pb dan Cd pada taraf toksik dan pada jaringan ikan target eksperimen.

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Pusat Penelitian Limnologi-LIPI, yaitu di Laboratorium Hidrokimia untuk analisis Pb dan Cd berbasis spektrofotometri serapan atom; 2) Laboratorium Kultur Plankton, untuk menyediakan berbagai monokultur alga plankton; 3) Laboratorium Toksikologi untuk uji toksikologi.

Studi kasus dilakukan di perairan danau dangkal (situ), yaitu Situ Rawa Kalong- Depok (luas area, (A)= 8,25 ha; kedalaman maksimum ( $Z_{maks}$ ) = 2,17 meter) sebagai representatif *high polluted site*. Sedangkan untuk *reference site* dipilih Situ Lido (A= 16 ha;  $Z_{maks}$  = 13,35 meter)- Bogor Situ ketiga adalah Situ Tonjong (A= 15 ha;  $Z_{maks}$  = 3,97 meter)- Bogor, memiliki karakteristik status *intermediate* dibandingkan kedua situ yang telah disebutkan sebelumnya.

Karakter biomagnifikasi di Situ Rawakalong yang sudah tercemar berat oleh Pb dan Cd perlu untuk dibandingkan dengan kejadian di Situ Lido yang relatif masih bersih. Perolehan interpretasi dari kompilasi data diharapkan dapat menjadi referensi dasar yang ilmiah untuk pengelolaan perairan situ tersebut, khususnya terkait dengan penanggulangan masalah pencemaran logam berat. mempelajari fenomena biomagnifikasi logam berat Pb dan Cd dalam rantai makanan di perairan situ yang tercemar (Situ Rawa Kalong).

Data yang diperoleh kemudian dikomparasikan dengan perolehan data dari

*reference site* (Situ Lido) dan Situ Tonjong yang dianggap *moderate* sebagai situ yang masih dalam kondisi dibandingkan kedua situ lainnya.

Pengambilan contoh di Situ Rawa Kalong (Depok) dilakukan tanggal 29 Juni 2009 dan 16 Juli 2009, sedangkan Situ Tonjong pada 4 Agustus 2009 dan Situ Lido pada 5 Agustus 2009.

Contoh yang diambil berupa *surface waters*, *overlying sediment water layer*, *stratified sediment*, *planktonic biomass*, *planktivorous biota biomass*, *benthic animals biomass* dan *predator biomass*. Determinasi struktur komunitas plankton dilakukan dengan metode berdasarkan APHA-AWWA (1995) disertai beberapa modifikasi yaitu kombinasi dengan metoda transek dengan minimal pengambilan di bagian *inlet*, pertengahan dan *outlet*, ditambah dengan daerah yang merupakan sumber pencemar. Pengambilan contoh fitoplankton dilakukan pada bagian permukaan dan kedalaman keping *Secchi*. Air sebanyak 5 liter disaring menggunakan *plankton net* no 25 (*mesh size* 63  $\mu\text{m}$  / *nannoplankton*) diawetkan dengan larutan Lugol 1 % sampai air berwarna kuning. Metoda pengamatan di laboratorium dengan metoda *Lackey drop (microtransect)*, diamati menggunakan *mikroskop inverted Diaphot* 300 dengan pembesaran sampai 400 x. Identifikasi sampai level jenis atau spesies berdasarkan Mizuno (1970), Prescott (1951 & 1970), Arthur & Prescott (1961), Baker & Larelle (1999), Gell, et al (1999) dan diambil gambarnya sebagai koleksi. Untuk mengukur biomasa dianalisa klorofilnya dengan cara menyaring air sebanyak 50 – 200 mL menggunakan kertas saring GF/F dan dianalisa di laboratorium menggunakan metoda spektrofotometer berdasarkan APHA-AWWA (1995).

Contoh zooplankton diambil menggunakan *Plankton net* NXX 10 ukuran mata jaring 132  $\mu$  secara vertikal dengan penarikan dilakukan pada kedalaman 1 - 2 meter. Kelimpahan zooplankton dihitung

berdasarkan APHA-AWWA (1995), identifikasi berdasarkan Alberti, et al. (2005), Carling, et al. (2004) dan Whipple & Ward (1963). Contoh ikan dikumpulkan dengan *gill net* (panjang: 30 mm; drop: 3 m, ukuran *mesh*: 37-50 mm).

Untuk determinasi Pb dan Cd, individu dengan ukuran sama dalam setiap spesies dipilih untuk meminimalkan variasi konsentrasi Pb dan Cd yang disebabkan oleh perbedaan ukuran ikan (Barwick & Maher, 2003). Contoh ikan terdiri atas dua *sub contoh* dimana *sub contoh* satu digunakan untuk proses identifikasi sedangkan yang kedua di pilah secara langsung di lapangan menjadi jaringan bagian punggung, hati dan lemak lalu di awetkan dengan larutan formalin 10 % untuk determinasi Pb dan Cd dengan GrAAS. Pengambilan contoh sedimen dilakukan dengan *sediment core* berbahan *plexi glass (mud layer, sediment layer* pada kedalaman sampai  $\pm 100$  cm).

Analisis kandungan logam dilakukan dengan metoda kimia analitik instrumental berbasis *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry* (GrAAS) Hitachi Z-2700 dengan kemampuan limit deteksi instrumental dalam orde  $\mu\text{g}/\text{Digestion process}$  dilakukan sesuai dengan metoda analisis logam berat yang telah dikembangkan secara *in house* berbasis pada Gr AAS ini pada tahun 2007 yang merupakan hasil adopsi dari Veinott and Sjare, 2006; dan ASTM D 1971-02, 2002 (Awalina-Satya, 2007). Verifikasi data hasil aplikasi metode destruksi tersebut dilakukan dengan menggunakan *Certified Reference Materials* disesuaikan dengan matriks contoh yang akan dideterminasi misalnya NIST-SRM1515-*Apple leaves* untuk matriks biota tumbuhan, NRC-DORM-2-*Dogfish muscle* untuk matriks biota ikan, BCR-414-*plankton* untuk matriks plankton, dan LGC6187-*sediment* untuk sedimen. Selama penerapan metode ini, prosentase *recovery* untuk analisis Pb berkisar 99,00-100,08 % sedangkan Cd berkisar antara 100,00-100,05 %. Semua *Glasswares* yang digunakan dalam penelitian

ini, di cuci dengan larutan campuran asam agar bebas logam dilakukan sesuai dengan prosedur *Csuros and Csuros* (2002).

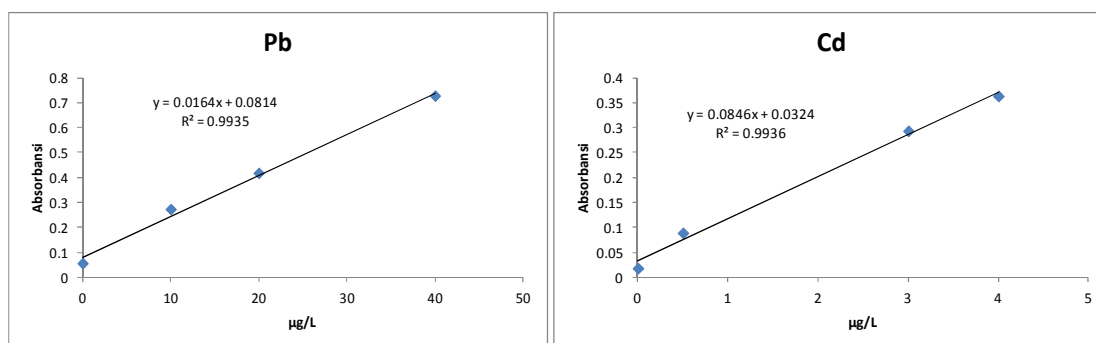
Aplikasi *matrix modifier* ammonium fosfat akan dilakukan terhadap Cd dan magnesium nitrat terhadap Pb apabila diperlukan. Kompilasi data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan analisis piktorial untuk interpretasi. Nilai kandungan logam dalam sedimen yang ditampilkan dalam hasil dan pembahasan adalah rerata dari keseluruhan strata sedimen yang diambil pada pinggiran situ.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Basis determinasi kandungan Pb dan Cd adalah kurva kalibrasi dan *analytical condition* masing-masing logam yang diprogramkan pada instrumen GrAAS seperti yang terlihat pada Gambar 1 dan Tabel 1. Hasil dari penelitian ini (Gambar 2) memperlihatkan bahwa Pb cenderung secara rerata (dari ketiga titik sampling pada bagian permukaan dan dasar) dijumpai tertinggi di Situ Rawa Kalong, kemudian Situ Tonjong dan Situ Lido, baik pada kolom air maupun

sedimennya. Kadar Pb di kolom air pada ketiga situ masih tergolong aman untuk menunjang kehidupan organisme akuatik, akan tetapi kandungan Cd pada kolom air di Situ Rawa Kalong dan Situ Lido telah melebihi kondisi yang aman untuk kehidupan organisme akuatik. Kadar maksimum Cd dan Pb yang diperbolehkan di perairan darat untuk keamanan kehidupan biota akuatik, masing-masing adalah 0,017  $\mu\text{gCd/L}$  dan 10  $\mu\text{gPb/L}$  (Canadian Environmental Quality Guidelines 1999).

Kandungan Cd di Situ Rawa Kalong cenderung lebih terdeposit di bagian sedimen dibandingkan dengan Situ Lido dan Situ Tonjong yang justru bersifat sebaliknya. Baik Pb maupun Cd di sedimen paling banyak dijumpai terdeposit di sedimen Situ Rawa Kalong. Situ Lido ternyata menempati urutan kedua dalam hal deposisi Pb dan Cd meskipun sebetulnya situ ini diharapkan sebagai *reference site*. Secara keseluruhan, kandungan kedua logam tersebut dalam sedimen di ketiga situ tersebut masih di bawah rerata kandungan di sedimen yaitu 16  $\mu\text{gPb/g}$  dan 0,13  $\mu\text{gCd/g}$  (Csuros &Csuros, 2002).



Gambar 1. Kurva Kalibrasi yang dipergunakan dalam analisis Pb dan Cd dengan Gr AAS

Tabel 1. Analytical condition masing-masing logam

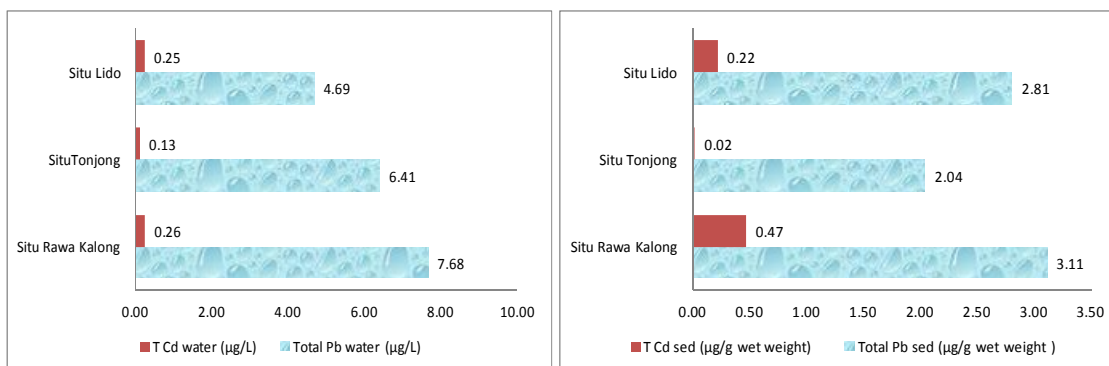
	Pb	Cd
Arus lampu (mA)	7,5	7,5
Panjang gelombang (nm)	283,3	228,8
Lebar <i>Slit</i> (nm)	1,3	1,3
Jenis <i>Cuvette</i>	<i>Pyrotube HR</i>	<i>Pyrotube HR</i>
Gas Pembawa (atomisasi) (mL/menit)	30	30
Volume contoh (µL)	20	20

	Pb		Cd	
	Start	End	Ramp	Hold
<i>Dry</i>	80	140	40	
<i>Ash</i>	600	600	20	
<i>Atomize</i>	2400	2400		5
<i>Clean</i>	2700	2700		4

	Cd		Cd	
	Start	End	Ramp	Hold
<i>Dry</i>	80	140	40	
<i>Ash</i>	300	300	20	
<i>Atomize</i>	1500	1500		5
<i>Clean</i>	1800	1800		4



Gambar 2. Distribusi Pb dan Cd dalam air dan sedimen pada ketiga situ

Kadar rerata Pb dalam zooplankton (24,80 µgPb/g bobot basah) dari Situ Rawa Kalong relatif jauh lebih tinggi ( $\pm 100$  kali lebih tinggi) dibandingkan dalam daging ikan mas (*Cyprinus carpio*) maupun organisme lainnya (Gambar 3). Hal ini mengindikasikan bahwa zooplankton merupakan organisme paling peka dalam bioakumulasi Pb di dalam tubuhnya dibandingkan organisme akuatik

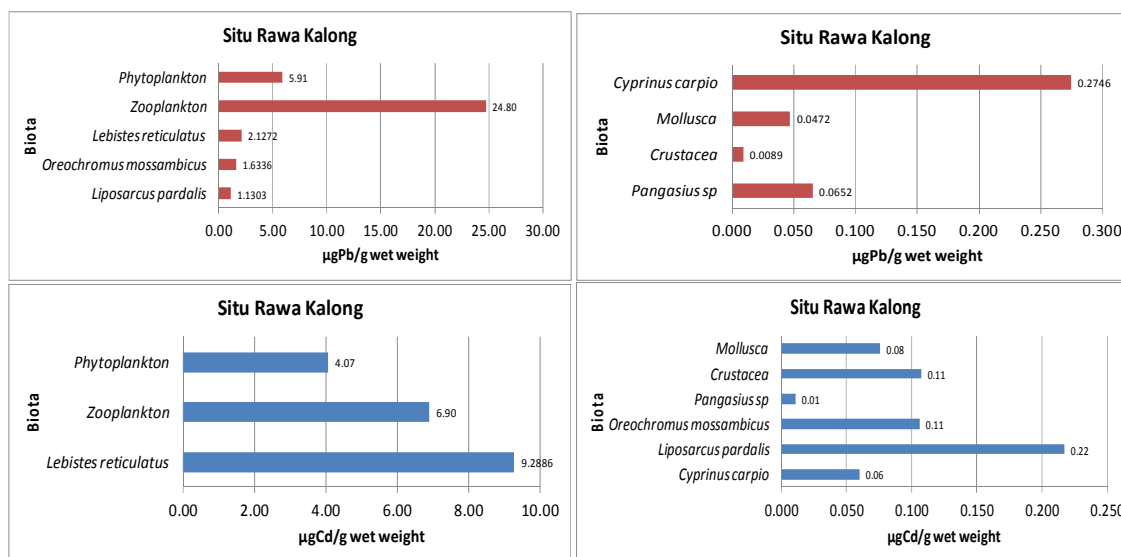
lainnya yang diamati di Situ Rawa Kalong. Kandungan Pb dalam beberapa jenis ikan, yaitu ikan seribu (*Lebistes reticulatus*), ikan mujaer (*Oreochromus mossambicus*), ikan sapu-sapu (*Liposarcus pardalis*), ikan mas (*Cyprinus carpio*) dan ikan patin (*Pangasius sp*) di Situ Rawa Kalong cenderung lebih besar dibandingkan dalam *molluska* dan *krustace*. Kandungan Cd tertinggi ditemukan

pada ikan seribu yang hidup di Situ Rawa Kalong (9,29 µgCd/L bobot basah) dan pada zooplankton (6,90 µgCd/L bobot basah).

Biomagnifikasi Cd tampaknya terjadi dalam rantai makanan di Situ Rawa Kalong. Ketiga organisme tersebut cukup toleran dengan kandungan Cd dalam air Rawa Kalong yang berkonsentrasi Cd sepuluh kali di atas batas aman untuk biota menurut *Canadian Environmental Quality Guidelines* (1999). Ikan sapu-sapu menempati urutan keempat dalam level bioakumulasi Cd, dan level konsentrasi paling rendah teramati pada ikan patin. Sementara pada ikan mas, ikan nila, *molluska* dan *krustace* relatif tidak berbeda jauh.

Sedangkan beberapa lainnya merupakan *herbivorous* yang memakan diatom sel tunggal dan diatom filamen (Wetzel, 2001). Molluska yang ditemukan di Situ Rawa Kalong terdiri atas *Thiara* dan *Lymnaea*, kelompok krustace dan oligochaeta

Sementara fitoplankton dan zooplankton yang hidup di Situ Tonjong teramati mengandung Pb dan Cd tertinggi selama pengamatan dibandingkan kedua situ lainnya, yaitu berturut-turut 1.061,11 µgPb/g bobot basah dan 640, 84 µgPb/g bobot basah (Gambar 3; Gambar 4; Gambar 5). Ikan sapu-sapu dan ikan seribu memiliki kandungan Pb empat kali lebih besar dibandingkan dalam krustace dan molluska.



Gambar 3. Kandungan Pb dan Cd dalam biota di Situ Rawa Kalong

Komunitas fitoplankton di Situ Rawa Kalong tampak didominasi kelompok Chrysophyta, yaitu jenis *Navicula ryncacephala* (9.920 individu/L). Sedangkan zooplankton yang teramati di Situ Rawa Kalong dari kelompok Copepoda yaitu *Eucyclops* dan *Microcyclops*, dari kelompok Cladoceran adalah jenis *Daphnia* dan *Eucyclops* yang dominan. Menurut Wetzel (2001) beberapa jenis copepod seperti *Macrocylop*, *Eucyclop* adalah karnovpra, yang mana jenis pakannya adalah krustace kecil, larva diptera dan oligochaeta.

Sementara level bioakumulasi Pb dalam ikan betutu (*Oxyeleotris marmorata*), ikan nila dan molluska (*Bivalvia*) tidaklah begitu berbeda jauh. Sebaliknya molluska (bivalvia), krustace yang hidup di Situ Tonjong cenderung lebih membioakumulasi Cd dibandingkan ikan betutu, ikan nila dan ikan sapu-sapu. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua biota ini memiliki kapasitas yang baik untuk membioakumulasi Pb dan Cd dalam biomassanya. Pada Gambar 5 terlihat bahwa fitoplankton dan zooplankton yang hidup di perairan Situ Lido mengandung Pb yang