

I KAJIAN BIOAVAILABILITAS, TOKSISITAS, DAN BIOAKUMULASI LOGAM BERAT PADA SEDIMEN DAS CISADANE

Penanggung Jawab : Gunawan Pratama Yoga

Anggota 1. Yoyok Sudarso

2. M.S. Syawal

3. Hasmalina Nasution

A. ABSTRAK

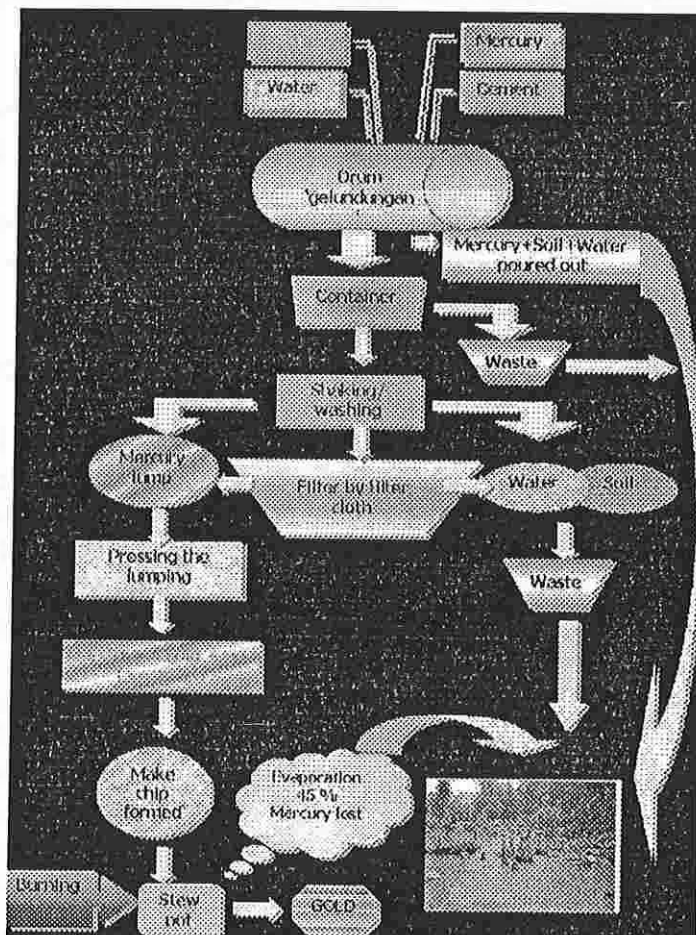
Pencemaran logam berat di perairan air tawar dan daerah estuarin di kawasan *Greater* Jakarta, dapat berasal dari berbagai macam sumber. Pencemaran logam berat tersebut dapat menyebabkan efek toksik yang nyata pada biota air di perairan tersebut. Penentuan toksisitas sedimen dengan hanya mengukur kandungan total logam berat tersebut di sedimen tidaklah akurat, karena keberadaan logam berat di sedimen terdiri dari beberapa fraksi. Tidak semua fraksi logam berat yang ada di sedimen tersedia bagi biota air. Di samping itu perbedaan fraksi logam berat di sedimen juga menyebabkan perbedaan rute pemaparan logam berat tersebut terhadap biota air. Sasaran dari penelitian pada tahun pertama ini adalah diketahuinya toksisitas logam berat tersebut pada biota air serta diketahuinya tingkat toksisitas sedimen pada daerah yang tercemar logam berat. Pada penelitian ini ditentukan toksisitas akut dan kronis dari sedimen tersebut dengan menggunakan 2 metoda yang berbeda, yaitu metoda sedimen utuh, dan metoda air pori-pori sedimen. Dari hasil penelitian diketahui bahwa Konsentrasi Merkuri di sedimen berkisar 1.077,9 – 5.224,9 kali lipat dibanding dengan konsentrasi merkuri di air. konsentrasi merkuri di sedimen terendah terdapat di Citalahab hulu, yang merupakan hulu dari DAS Cisadane dan terdapat di Gunung Halimun, di mana belum ada aktivitas penambangan emas sama sekali. Sedangkan konsentrasi merkuri di sedimen tertinggi terdapat di Cisarua. Sedimen di Citalahab Hulu memiliki toksisitas terendah, >100% sedimen utuh dan 29,85% air pori pori sedimen, sedangkan toksisitas tertinggi terjadi di Cisarua yaitu, 69, 309% sedimen utuh dan 2,779% air pori-pori sedimen. dengan semakin meningkatnya konsentrasi sedimen menyebabkan turunnya tingkat reproduksi *Daphnia* sp. Penurunan tingkat reproduksi yang ditandai dengan menurunnya jumlah anakan di hari ke sepuluh menunjukkan tingkat penurunan yang polynomial pada semua stasiun pengamatan. Nilai toksisitas kronis dari masing-masing stasiun, yang berturut-turut dari hulu sampai hilir adalah : 4%, 0.45%, 0.55%, 0.15%, dan 0.15% sedimen.

Kata kunci : Toksisitas akut, toksisitas kronis, *Daphnia* sp., *porewater test*, *whole sediment test*, merkuri

B. PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat di perairan air tawar dan daerah estuarin di kawasan *Greater Jakarta*, dapat berasal dari berbagai macam sumber, yang meliputi sumber alami, dan sumber antropogenik, baik yang *point source* maupun yang *non point source*. Pencemaran logam berat tersebut dapat menyebabkan efek toksik yang nyata pada biota air di perairan tersebut. Efek toksik tersebut dapat berbentuk bioakumulasi, toksisitas kronis, maupun toksisitas akut.

Senyawa-senyawa logam berat di perairan sangat beragam bentuknya. Bentuk-bentuk senyawa logam berat tersebut disebut spesies logam berat. Perbedaan spesies logam berat tersebut akan menentukan mobilitas, bioavailabilitas (Tessier, 1979) dan pada akhirnya toksisitasnya (Chapman et al, 1998; Roesijadi and Robinson, 1994).



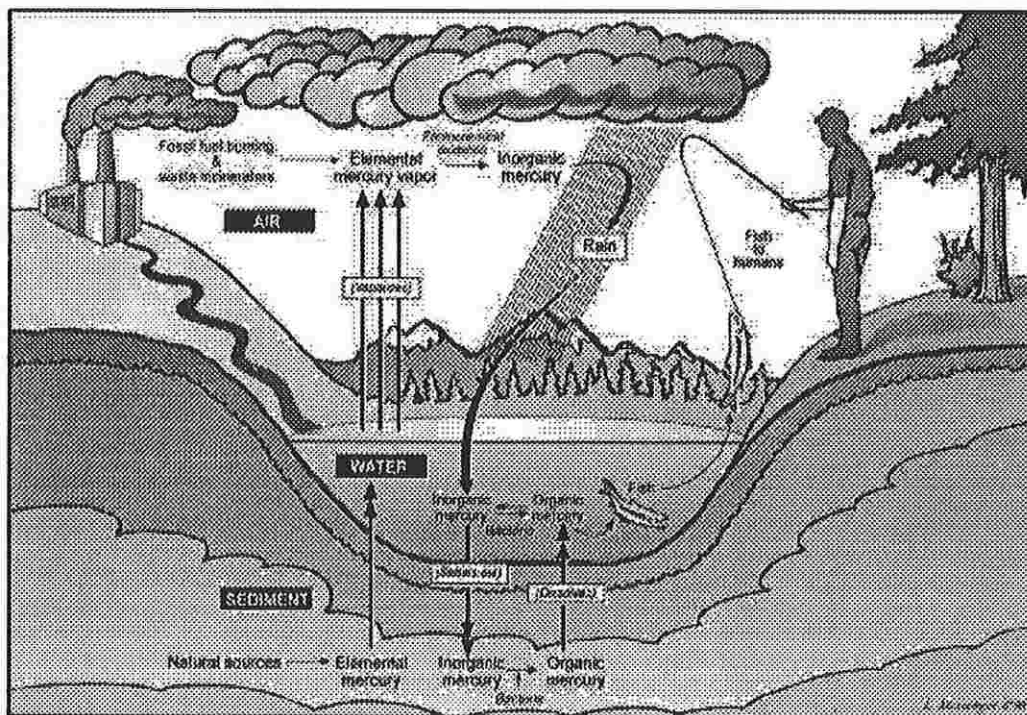
Gambar 1. Skema Penambangan Bijih Emas liar oleh Penambang Emas Tanpa Ijin

Di Badan air, logam berat keberadaannya dapat dalam bentuk terlarut ataupun partikulat. Spesies terlarut terdiri dari ion logam berat bebas serta kompleks anorganik (Allen, 1993). Sedangkan bentuk partikulat termasuk yang terserap pada mineral terlarut dan partikel organik (Roesijadi and Robinson, 1994). Kondisi lingkungan yang dapat menyebabkan perubahan spesies logam berat dominan dari satu bentuk ke bentuk lain tidak hanya mempengaruhi ketersediaan logam berat tersebut bagi biota air (bioavailabilitas) namun juga menentukan jalur pengambilan metal tersebut yang berbeda oleh biota air. Logam berat yang terikat pada partikulat sering termakan oleh organisme perairan bersama dengan pakan. Sedangkan untuk logam berat terlarut terdapat banyak bukti bahwa bentuk ionik merupakan bentuk yang paling tersedia bagi organisme air dan merupakan penentu utama bagi akumulasi dan toksisitas logam berat di perairan, dibandingkan dengan konsentrasi logam berat total.

Sungai Cisadane merupakan salah satu sungai besar di Jawa Barat yang mengalir melalui wilayah *greater* Jakarta. Hulu sungai Cisadane berasal dari daerah sekitar gunung Salak (2211 m dpa) dan gunung Perbakti (1699 m dpa). Sepanjang hulu sungai Cisadane banyak bermuara sungai-sungai kecil seperti Cigombong, Cinagara, Cibadak, Cimande, Cihideung, Cikereteg, Ciapus, Ciaruteun, Cikaniki dan lain-lain. Beberapa anak sungai tersebut di bagian hulunya terdapat aktivitas pengolahan bijih emas dari daerah bukit Pongkor, kab. Bogor. Pengolahan emas ini selain dilakukan oleh PT Aneka Tambang (ANTAM) sebagai penambang resmi juga dilakukan oleh masyarakat setempat atau pendatang yang melakukan penambangan secara liar (PETI). Limbah yang dikeluarkan oleh PT ANTAM secara teknis bisa terkontrol akan tetapi limbah-limbah yang dikeluarkan oleh para penambang liar sangat sulit untuk dikontrol baik kuantitasnya maupun kualitasnya karena mereka membuang limbahnya secara sembarangan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu, hal ini yang menjadikan pencemaran di bantaran sungai Cisadane semakin parah.

Proses penambangan bijih emas di wilayah bukit pongkor oleh masyarakat dilakukan dengan cara menggali tanah di sekitar bukit tersebut kemudian dilakukan pencucian ataupun pemisahan bijih emas dari tanahnya dengan menggunakan senyawa-senyawa kimia berbahaya dan beracun bagi lingkungan

maupun kesehatan manusia (Gambar 1). Salah satu senyawa yang digunakan dalam proses pencucian atau pemisahan emas dari tanahnya adalah dengan menggunakan senyawa kimia merkuri (Hg) senyawa ini sangat berbahaya dan toksik serta sangat sulit dilakukan penguraian secara alami oleh lingkungan sehingga dapat bertahan dalam lingkungan dalam waktu yang relatif lama. Bahayanya senyawa merkuri di lingkungan jika senyawa ini kontak dengan manusia baik secara langsung maupun tidak dapat mengakibatkan kematian maupun kecacatan pada generasi selanjutnya apa bila mengkonsumsi makanan yang telah tercemari oleh senyawa ini seperti yang terjadi di negara Jepang yaitu di wilayah pantai Minamata pada sekitar tahun 1953 sampai 1960 dimana kurang lebih 146 nelayan di wilayah itu meninggal dan mengalami cacat tubuh karena mengkonsumsi ikan dan kerang laut yang telah tercemar oleh limbah merkuri. Siklus Merkuri di alam dapat di lihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Siklus Merkuri di alam

Pencemaran yang terjadi akibat pembuangan limbah hasil pencucian atau pemurnian bijih emas secara sembarangan akan terbawa aliran air ke anak-anak sungai yang akhirnya akan bermuara di sungai Cisadane sebagai sungai utama yang selanjutnya akan menambah beban pencemaran sungai semakin berat dan kompleks. Selain itu sebelum air limbah bercampur dengan air sungai utama telah banyak digunakan untuk mendukung aktivitas masyarakat setempat seperti untuk mandi, mencuci dan beberapa keperluan lain, juga digunakan untuk menunjang ekonomi masyarakat seperti untuk pengairan sawah-sawah, perladangan dan perkebunan serta perikanan. Kondisi ini apabila dibiarkan berlangsung dalam waktu yang lama maka akan mengakibatkan terganggunya kesehatan masyarakat.

1. T U J U A N

Tujuan penelitian ini pada tahun pertama adalah untuk mengetahui akumulasi merkuri dan senyawa logam berat lainnya yang ada di sedimen perairan Sungai Cisadane, serta toksisitas sedimen tersebut pada biota air (*Daphnia* sp.)

2. L U A R A N

- a. Diketuinya akumulasi merkuri dan logam berat lain yang terdapat pada Sedimen
- b. Diketuinya toksisitas sedimen perairan Sungai Cisadane pada biota air

C. METODOLOGI

1. Tempat dan waktu penelitian

Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan bantuan peta rupa bumi dengan skala 1 : 125.000. Penentuan posisi lokasi sampling di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat Global Positioning System (GPS). Koordinat hasil pengukuran dengan GPS di lapangan dapat dilihat pada Tabel 1. Pengambilan sampel air dan sedimen untuk daerah yang tercemar dilakukan pada daerah bantaran sungai Cikaniki – Sub DAS Cisadane kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Sedangkan untuk mengetahui *background concentration* kualitas sedimen, dilakukan pengambilan sampel sedimen di daerah

yang belum tercemar. Untuk itu diambil sampel sedimen dari hulu DAS Cisadane, di daerah gunung Halimun. Sampel-sampel tersebut diambil dua kali dalam satu tahun pada 4 titik dengan 3 kali ulangan. Sampel sedimen dan biota air akan diambil dengan menggunakan grab dan surber. Sampel sedimen diawetkan dengan menggunakan asam nitrat.

Tabel 1. Koordinat lokasi pengambilan sampel

No.	Lokasi	Lintang Selatan	Bujur Timur	Ketinggian (m)
1	Citalahab Hulu	06° 44' 18''	106 ° 31' 51''	1 111
2	Cisarua	06° 38' 10''	106 ° 33' 25''	437
3	Curug Bitung	06° 37' 01''	106 ° 32' 32''	351
4	Lukut	06° 34' 47''	106 ° 32' 53''	299

2. Isolasi Air Pori-Pori Sedimen

50 ml Sedimen basah disentrifuge pada 8000 rpm dengan suhu 4°C selama 15 menit, setelah itu supernatan didekantasi, lalu disentrifuge ulang pada 2000 rpm dengan suhu 4°C selama 30 menit. Supernatan pisahkan dan disaring dengan menggunakan kertas saring GF/C dan disimpan pada suhu 10°C atau 4°C.

3. Uji toksisitas sedimen

Uji toksisitas sedimen yang akan dilakukan meliputi uji toksisitas akut dan kronis. Toksisitas akut ditentukan dengan mencari nilai LC_{50} , yaitu konsentrasi sedimen yang menyebabkan kematian biota sebanyak 50% dari total hewan uji pada waktu pemaparan: 48 jam. Uji toksisitas akut yang dilakukan adalah uji toksisitas statis, yaitu tanpa penggantian air selama uji toksisitas dilakukan. Uji toksisitas akut dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama adalah *range finding test*, yang bertujuan untuk mencari kisaran konsentrasi lethal sedimen terhadap

hewan uji. Setelah diketahui kisaran konsentrasi lethal tersebut, lalu dilakukan uji definitif. Pada *range finding test*, kisaran konsentrasi uji yang digunakan adalah kisaran lebar (logaritmik), sedangkan pada uji definitif, kisaran konsentrasi uji yang digunakan adalah kisaran sempit (arimetik). Sedangkan toksisitas kronis dilakukan dengan mengamati laju reproduksi hewan uji. Uji toksisitas kronis dilakukan selama 10 hari dengan mengamati jumlah anakan (*neonate*) *Daphnia* sp yang muncul selama uji toksisitas berlangsung. Penentuan tingkat konsentrasi untuk uji toksisitas kronis didasarkan pada nilai *no observe adverse effect concentration* (NOAEC) yang didapat dari uji toksisitas akut. Ada dua jenis uji toksisitas sedimen yang akan dilakukan, yaitu uji sedimen utuh (*whole sediment*), dan uji air pori-pori sedimen (*pore water sediment*).

4. Analisis Statistik

Uji toksisitas akut sedimen meliputi penentuan nilai LC_{50} yang akan dilakukan dengan analisis statistik probit dengan menggunakan software *trimmed spearman-karber* dari *Environmental Protection Agency* (EPA), di samping itu juga akan ditentukan nilai *no observe adverse effect concentration* (NOAEC), dengan menggunakan *Dunnet statistical analysis* dari EPA.

Sedangkan untuk menentukan konsentrasi sedimen yang menyebabkan toksisitas kronis, pada masing-masing stasiun pengamatan, maka dilakukan uji sidik ragam (ANOVA) yang kemudian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT/LSD).

5. Distribusi Partikel

Sampel sedimen yang telah dikeringkan kemudian diklasifikasikan diameter butirnya menggunakan seker. Ukuran seker yang digunakan adalah 45 μm , 63 μm , 125 μm , 250 μm , 500 μm , dan 1,18 mm.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kualitas Air

Analisis parameter kualitas air yang diambil di lapangan adalah pH, suhu, konduktivitas, alkalinitas dan kesadahan (Hardness) (Tabel 2). Berdasarkan hasil

analisa, parameter-parameter kualitas air tersebut masing menunjukkan nilai dalam batas-batas yang cukup layak bagi kehidupan biota air. Nilai pH normal dan berkisar antara 7–7,6, sedangkan suhu berkisar antara 19 - 28°C. Suhu terendah adalah suhu di Citalahab Hulu yang merupakan bagian hulu dari DAS Cisadane dengan ketinggian tempat 1.111 m di atas permukaan laut. Sedangkan di Cisarua, Curug Bitung dan Lukut, dengan ketinggian tempat berkisar antara 437 – 299 m di atas permukaan laut suhu berkisar antara 26 - 28°C. Konduktivitas menunjukkan besarnya garam-garam yang terkandung dalam air guna menghantarkan arus/daya hantar listrik (Boyd, 1990). nilai konduktivitas Meningkat dengan semakin ke hilirnya lokasi pengamatan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena semakin banyaknya aktivitas-aktivitas manusia yang menghasilkan limbah/buangan ke dalam DAS Cisadane. Berdasarkan Boyd (1990) kesadahan air DAS Cisadane termasuk rendah, sehingga cenderung meningkatkan daya toksisitas logam terhadap biota air.

Tabel 2. Hasil pengukuran kualitas air pada stasiun-stasiun pengamatan (rata-rata \pm standar deviasi)

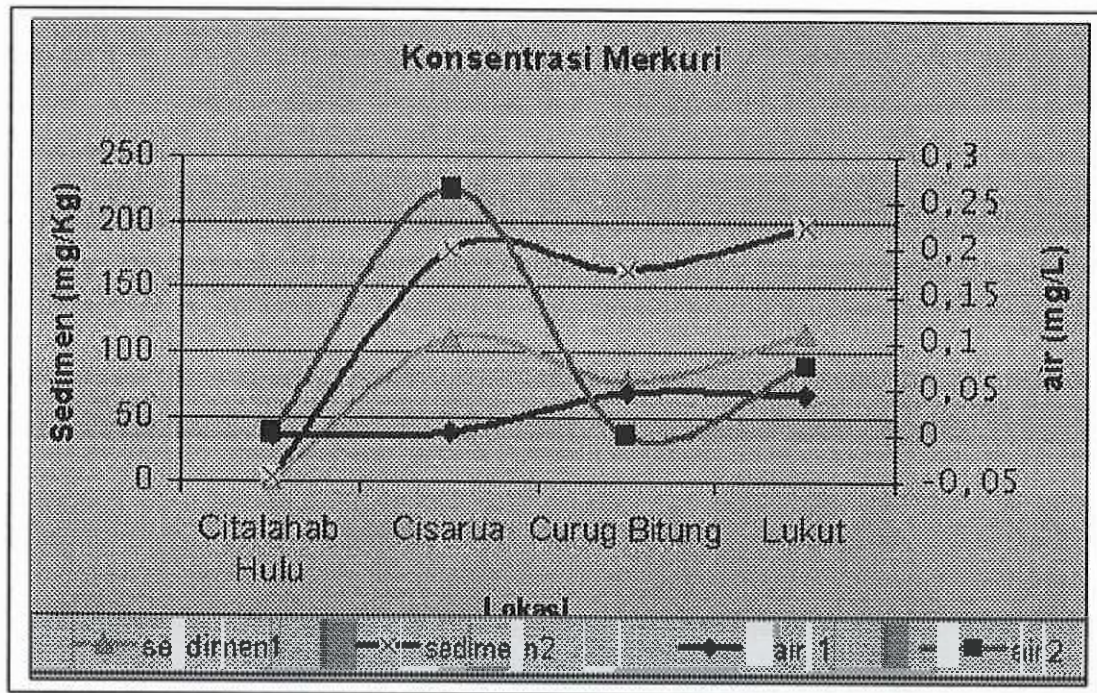
	pH	Suhu	Konduktivitas	Alkalinitas	Hardness
Citalahab Hulu	7,59 \pm 0,017	19,02 \pm 0,045	0,04 \pm 0,01	31,18	22,61
Cisarua	7,002 \pm 0,225	26,16 \pm 0,084	0,052 \pm 0,009	62,35	37,69
Curug Bitung	7,155 \pm 0,104	27,99 \pm 0,433	0,104 \pm 0,030	63,43	37,69
Lukut	7,57 \pm 0,131	28,05 \pm 0,158	0,102 \pm 0,024	59,13	30,15

2. Konsentrasi Merkuri di Perairan

Dari hasil penelitian pada tahun pertama ini diketahui bahwa terdapat akumulasi merkuri yang cukup besar di sedimen. Konsentrasi merkuri di sedimen berkisar 1.077,9 – 5.224,9 kali lipat dibanding dengan konsentrasi merkuri di air.

Dari Grafik 1. diketahui bahwa konsentrasi merkuri di sedimen terendah terdapat di Citalahab hulu, yang merupakan hulu dari DAS Cisadane dan terdapat di Gunung Halimun, di mana belum ada aktivitas penambangan emas sama sekali. Sedangkan konsentrasi merkuri di sedimen tertinggi terdapat di Cisarua, yang merupakan desa dengan jumlah gelundungan (alat untuk mengekstrak emas dari

tanah/sedimen) terbesar apabila dibandingkan dengan dua desa berikutnya (Curug Bitung dan Lukut) yang berada di bagian hilirnya.



Grafik 1. Konsentrasi Merkuri (Hg) di air dan di sedimen DAS Cisadane

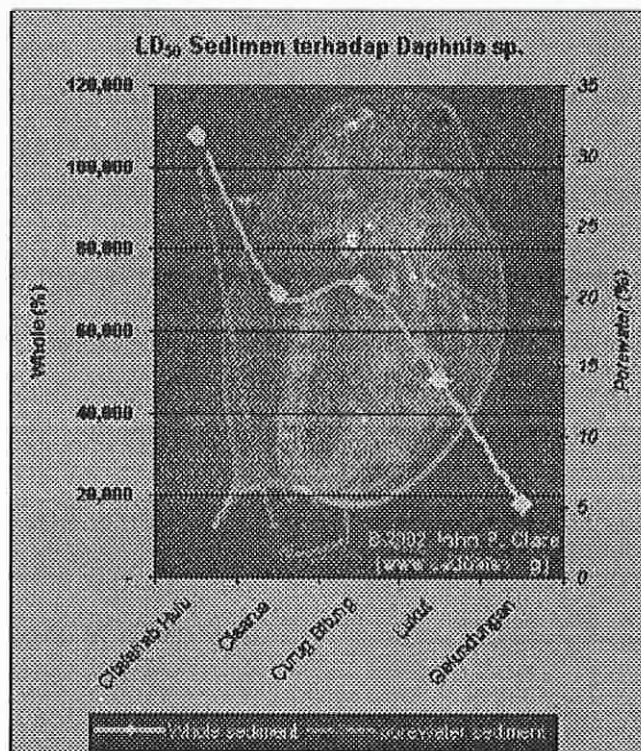
3. Toksisitas Akut Merkuri

Uji toksisitas sedimen utuh (*whole sediment*) dilakukan untuk mengetahui toksisitas sedimen dalam kondisi normal di alam, sedang uji toksisitas air pori-pori sedimen (*porewater sediment*) dilakukan untuk mengetahui toksisitas sedimen pada saat terjadi mobilisasi bahan pencemar yang terdapat di dalam sedimen pada saat terjadi gangguan pada perairan. Oleh karena itu toksisitas uji air pori-pori sedimen jauh lebih toksik daripada toksisitas sedimen utuhnya. Pada penelitian kali ini air pori-pori sedimen 3,6 – 28 kali lebih toksik dibandingkan sedimen utuhnya (Grafik 2.).

Sedimen di Citalahab Hulu memiliki toksisitas terendah, >100% sedimen utuh dan 29,85% air pori pori sedimen, sedangkan toksisitas tertinggi terjadi di Cisarua yaitu, 69, 309% sedimen utuh dan 2,779% air pori-pori sedimen.

Secara umum mekanisme toksisitas ion-ion logam terhadap biota air dibagi dalam tiga kategori, yaitu (1) menahan gugus fungsi biologis yang esensial dalam

biomolekul, misalnya protein dan enzim, (2) menggantikan ion-ion logam esensial dalam biomolekul, dan (3) mengubah konformasi aktif biomolekul (Connel & Miller, 1995). Hg termasuk dalam ion logam yang paling toksik dan menunjukkan mekanisme toksisitas berspektrum luas, dan efektif berikatan dengan kelompok gugus fungsi SH (sistein dan kelompok yang mengandung nitrogen antara lain lisin dan histidin imidazol). Bersama dengan beberapa ion-ion lainnya Hg dapat membentuk organometalik yang larut dalam lemak dan mampu menembus membran biologis serta berakumulasi di dalam sel dan organel.



Grafik 2. Toksisitas akut (LD_{50}) Sedimen, *whole sediment* dan *porewater sediment*, terhadap *Daphnia* sp.

Logam berat yang berada pada media air umumnya berbentuk ion, kemudian masuk ke dalam tubuh biota air melalui insang dan mulut melalui mekanisme osmoregulasi. Ion Hg, sebagaimana ion-ion logam lainnya dapat menggantikan ion-ion endogen lainnya, sehingga menyebabkan gangguan fisiologis pada biota air. Kemudian melalui jalan darah akan menyebar dan menumpuk (bioakumulasi) pada organ organ tubuh, sebagian akan diekskresikan

lagi keluar tubuh bersamaan dengan keluarnya urin, feces, dan mucus (Heath, 1987).

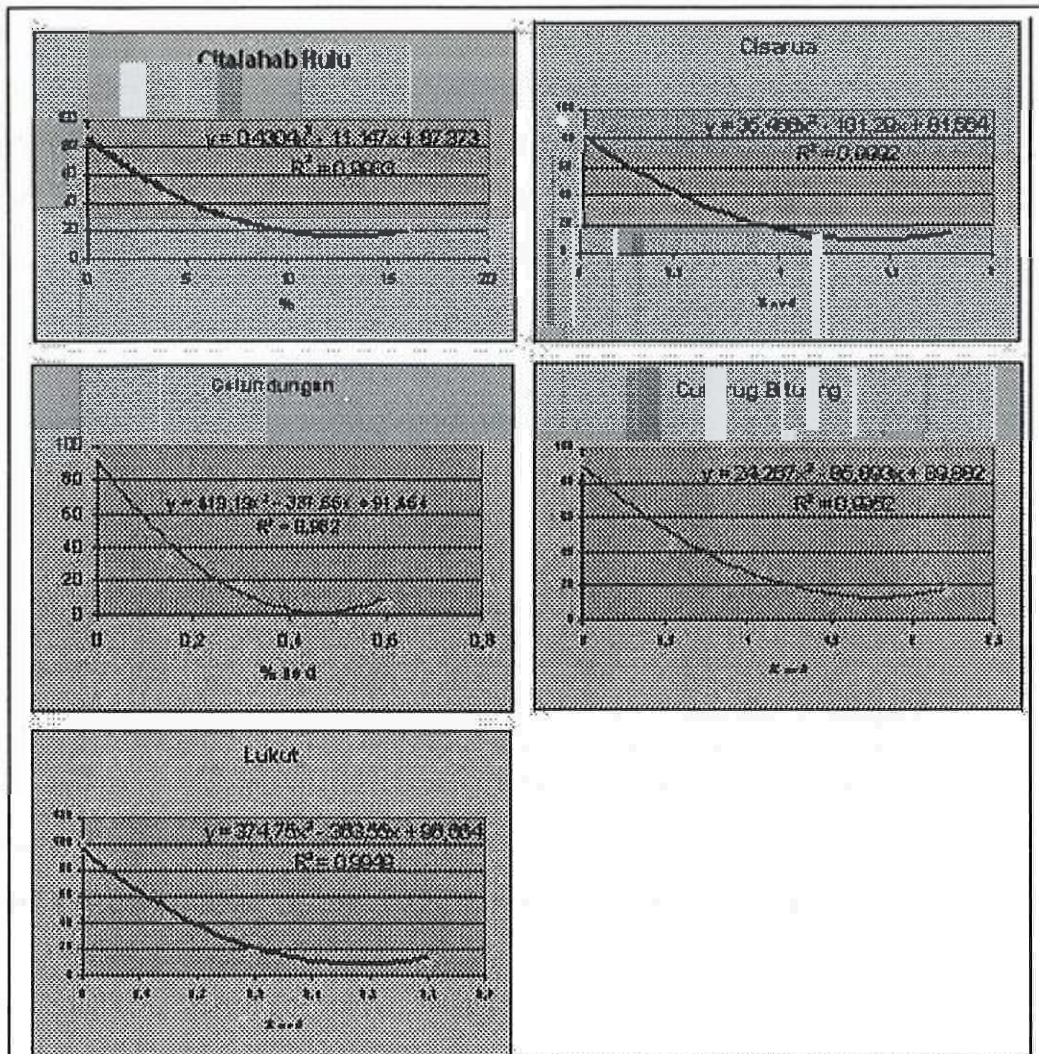
Untuk mengetahui konsentrasi sedimen yang aman bagi biota air khususnya *Daphnia*, maka dilakukan penghitungan nilai *No Observed Adverse Effect Concentration* (NOAEC). Adapun nilai NOAEC (% sedimen) dari masing masing stasiun dapat dilihat pada tabel 4. di bawah ini

Tabel 3. Nilai *No Observed Adverse Effect Concentration* (NOAEC) pada *porewater test* dan *Whole Sediment Test* pada uji toksisitas akut.

Lokasi	Porewater (%)	Whole Sediment (%)
Citalahab Hulu	16	32
Cisarua	1.8	16
Curug Bitung	2.2	16
Lukut	0.6	16
Gelundungan	<0.6	8

Adapun pentingnya penggunaan nilai NOAEC dalam uji toksisitas adalah :

1. Sebagai dasar penyusunan kriteria standar baku mutu kualitas air maupun sedimen guna melindungi kehidupan baik hewan akuatik maupun manusia (Foran, 1993).
2. Salah satu pendekatan untuk mengetahui tingkat bioavailabilitas bahan pencemar di badan air maupun yang terikat pada sedimen (Luoma, 1995)
3. Sebagai dasar penyusunan penilaian resiko lingkungan (ERA) dari adanya pemaparan bahan pencemar di lingkungan (Chapman *et al.*, 1998)



Grafik 3. Jumlah anakan *Daphnia* sp. Pada hari ke sepuluh uji kronis porewater sediment

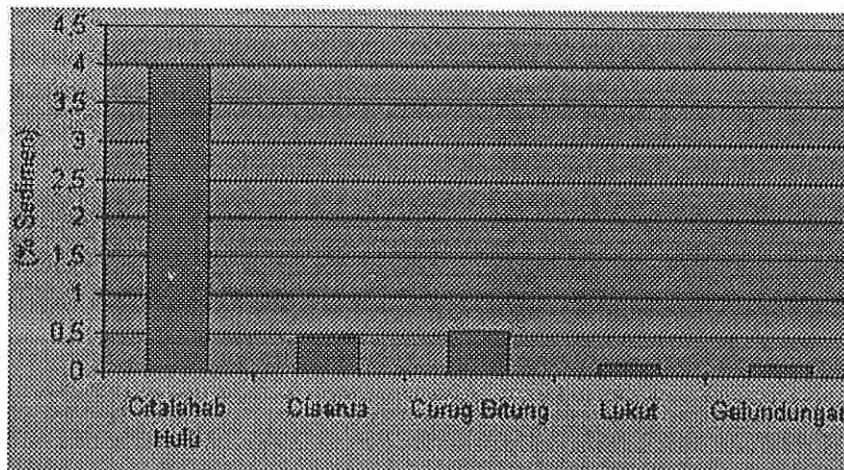
4. Toksisitas Kronis

Dari uji toksisitas kronis porewater sediment diketahui bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi sedimen menyebabkan turunnya tingkat reproduksi *Daphnia* sp. Penurunan tingkat reproduksi yang ditandai dengan menurunnya jumlah anakan di hari ke sepuluh menunjukkan tingkat penurunan yang polynomial pada semua stasiun pengamatan (Grafik 3.).

Penurunan jumlah produksi anakan *Daphnia* tersebut kemudian dijadikan dasar untuk menentukan tingkat toksisitas kronis sedimen di stasiun-stasiun pengamatan. Dari hasil analisis sidik ragam yang kemudian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) diketahui nilai toksisitas kronis dari masing-masing

stasiun, yang berturut-turut dari hulu sampai hilir adalah : 4%, 0.45%, 0.55%, 0.15%, dan 0.15% sedimen. Adapun grafik tingkat toksisitas kronis sedimen dapat dilihat pada grafik 4 berikut.

Dari nilai toksisitas kronis tersebut diketahui bahwa Citalahab hulu yang merupakan hulu dari DAS Cisadane memiliki tingkat toksisitas kronis sedimen yang terendah. Tingkat toksisitas kronis sedimen semakin meningkat pada stasiun-stasiun pengamatan berikutnya yang berada di bagian yang lebih hilir.



Tingkat toksisitas kronis di stasiun pengamatan Lukut merupakan yang tertinggi, dan menunjukkan nilai yang sama dengan tingkat toksisitas kronis di Gelundungan.

Grafik 4. Nilai Toksisitas Kronis *Porewater Sediment* terhadap *Daphnia* sp.

5. Distribusi Partikel

Dalam sedimen terdapat banyak sekali partikel yang berbeda baik ukuran maupun bentuknya. Analisis distribusi partikel diperlukan untuk mengetahui material penyusun dari suatu sampel sedimen. Hasil analisis distribusi partikel di masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Distribusi Partikel Sedimen

Fraksi	Lokasi			
	Citalahab Hulu (per gr)	Cisarua (per gr)	Curug Bitung (per gr)	Lukut (per gr)
1,18 mm	27,976	9,991	20,458	16,048
500 μ m	26,988	29,117	21,098	26,835
250 μ m	26,118	39,567	22,572	22,358
125 μ m	21,194	28,371	26,115	15,033
63 μ m	9,438	12,492	22,693	14,326
45 μ m	2,756	3,947	8,678	8,274
Pan	2,952	4,124	9,723	12,588

E. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tahun ini diketahui bahwa :

1. Konsentrasi Merkuri di sedimen berkisar 1.077,9 – 5.224,9 kali lipat dibanding dengan konsentrasi merkuri di air. konsentrasi merkuri di sedimen terendah terdapat di Citalahab hulu, yang merupakan hulu dari DAS Cisadane dan terdapat di Gunung Halimun, di mana belum ada aktivitas penambangan emas sama sekali. Sedangkan konsentrasi merkuri di sedimen tertinggi terdapat di Cisarua.
2. Sedimen di Citalahab Hulu memiliki toksisitas terendah, >100% sedimen utuh dan 29,85% air pori pori sedimen, sedangkan toksisitas tertinggi terjadi di Cisarua yaitu, 69, 309% sedimen utuh dan 2,779% air pori-pori sedimen.
3. dengan semakin meningkatnya konsentrasi sedimen menyebabkan turunnya tingkat reproduksi *Daphnia* sp. Penurunan tingkat reproduksi yang ditandai dengan menurunnya jumlah anakan di hari ke sepuluh menunjukkan tingkat penurunan yang polynomial pada semua stasiun pengamatan.
4. Nilai toksisitas kronis dari masing-masing stasiun, yang berturut-turut dari hulu sampai hilir adalah : 4%, 0.45%, 0.55%, 0.15%, dan 0.15% sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Boyd, C. E., 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. Birmingham Publishing Co. Alabama. 482 pages.
- Chapman, P. M., Wang, F., Janssen, C., Persoone, G., Allen, H. 1998. Ecotoxicology of Metal in Sediments : Binding and Release, Bioavailability, Risk Assessment and Remediation. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55 : 2221 -2243
- Connel, Des W., and G. J Miller, 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Penerjemah, Yanti Koestoer; Pendamping, Sahati. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta. 520p.
- Foran, F. A., 1993. Regulating Toxic Substances in Surface Water. Lewis Publishers. Boca Raton Ann Arbor London Tokyo. 171 pages
- Heath, A. G., 1987. Water Pollution and Fish Physiology. C. R. C. Press, Boston, Florida. 245p.
- Luoma, S. N. 1995. Prediction of Metal Toxicity in Nature from Bioassays. Limitations and Research Needs. In Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems. Edited by A. Tessier and D. R. Turner. John Wiley and Sons Ltd. Chichester, U. K. Pp. 609 - 660
- Sudarso, Y., 2000. Uji Toksisitas Logam Berat Cu dengan Menggunakan *Hydra hymanae*. LIMNOTEK. Perairan Darat Tropis Di Indonesia. Vol VII No. 1.
- Sudarso, Y., Yoga, G. P. 2001. Toksikokinetik Kadmium pada Kerang Air Tawar. LIMNOTEK. Perairan Darat Tropis Di Indonesia. Vol VIII No. 1.

