

KAJIAN TOKSISITAS SEDIMEN SUNGAI CIKANIKI, SUB. DAS CISADANE

Gunawan P. Yoga*, Yoyok Sudarso*, M. S. Syawal*
& Hasmalina Nasution**

ABSTRAK

Merkuri bersifat toksik serta sulit terurai secara alami. Pencemaran merkuri dapat berbentuk bioakumulasi, toksisitas kronis, maupun toksisitas akut pada biota perairan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar merkuri pada sedimen Sungai Cikaniki, serta toksisitas sedimen tersebut terhadap biota air, dengan biota uji *Daphnia sp.*, sehingga dapat digunakan sebagai menjadi acuan dalam menentukan tingkat resiko terhadap ekosistem perairan. Pada penelitian ini ditentukan toksisitas akut dan kronis sedimen menggunakan dua metoda berbeda, yaitu metoda sedimen utuh (whole sediment test), dan metoda air pori sedimen (porewater sediment test). Dari hasil penelitian diketahui bahwa kadar merkuri di sedimen berkisar 1.077,9 – 5.224,9 kali lipat dibanding dengan kadar merkuri di air. Kadar merkuri di sedimen terendah terdapat di Citalahab hulu, merupakan wilayah hulu S. Cikaniki yang berada di Gunung Halimun, tempat belum adanya aktivitas penambangan emas. Sedangkan kadar 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, 31% sedimen utuh dan 2,78% air pori sedimen. Dengan semakin meningkatnya kadar merkuri di sedimen menyebabkan turunnya tingkat reproduksi *Daphnia sp.*. Nilai toksisitas kronis masing-masing stasiun, berturut-turut dari hulu ke hilir adalah : 4%, 0,45%, 0,55%, 0,15%, dan 0,15% sedimen

Kata kunci : Toksisitas akut, toksisitas kronis, metode sedimen utuh, metode air pori sedimen, *Daphnia sp.*, merkuri.

ABSTRACT

SEDIMENT TOXICITY USESSMENT OF CIKANIKI RIVER CISADANE CATCHMENT AREA. Mercury is among the most toxic of the heavy metals. Toxic effect can in form of bioaccumulation, chronic toxicity, and acute toxicity. The aims of this research are to know concentration of mercury in sediment of Cikaniki River, and also the sediment toxicity to aquatic biota, *Daphnia sp.*, so that can be used for determining risk level of sediment on aquatic ecosystem. At this research, chronic and acute toxicity of the sediment is determined by using two different methods, that is whole sediment method, and method pore sediment. Research result showed that range of mercury concentration in sediment was 1077,9 - 5224,9 times compared to mercury concentration in water. The lowest sediment mercuric concentration is in upper Citalahab, upstream of DAS Cisadane which is located in Mount Halimun, where there is no gold mine activity. While the highest sediment mercuric concentration is in Cisarua. Consequently, Sedimen in Upper Citalahab have the lowest toxicity, > 100% of whole sediment and 29.85% of porewater sediment, while the highest toxicity was happened in Cisarua which are 69.31% and 2.78% of whole sediment and porewater sediment, respectively. At the chronic level, the elevation of mercuric concentration in sediment decreases reproduction rate of the *Daphnia*. Sedimen Chronic toxicity value from the upstream to the downstream are 4%, 0.45%, 0.55%, 0.15%, and 0.15% of the sediment, respectively.

Keywords : acute toxicity, chronic toxicity, *Daphnia sp.*, porewater test, whole sediment test, mercury.

* Staf Peneliti Puslit Limnologi-LIPI

** Mahasiswa Pasca Sarjana Studi Lingkungan IPB

PENDAHULUAN

Di bagian hulu Sungai Cikaniki terdapat kawasan Tambang Emas Pongkor, merupakan pertambangan emas konsesi PT. Aneka Tambang Persero Tbk. (PT. ANTAM UNEP) yang telah diberi izin resmi oleh pemerintah untuk melakukan aktifitas penambangan sejak tahun 1992. Kandungan cadangan emas di dalamnya mencapai 60 – 70 ton dan terdapat di tiga jalur (urat/*vein*) utama yaitu Ciguha, Kubang Cicau, dan Ciurug. Pengolahan bijih emas pada unit penambangan emas pongkor menggunakan metoda ekstraksi bijih emas dengan menggunakan sianida (Syawal, 2000). Selain itu unit penambangan tersebut juga dilengkapi dengan unit pengolah limbah (IPAL) yang secara teknis terkontrol dan pelaksanaannya diawasi oleh Kantor Kementerian Lingkungan Hidup (KLH, 2002).

Selain PT. ANTAM UNEP sebagai penambang resmi, penambangan emas juga dilakukan secara liar oleh masyarakat yang dikenal sebagai PETI (Penambang Emas Tanpa Izin) atau masyarakat sekitar menyebutnya *gurandil*. PETI telah memulai aktifitasnya sejak tahun 1991 yang tersebar di empat desa yaitu Desa Curug Bitung, Desa Bantar Karet, Desa Cisarua dan Desa Malasari, yang berada di Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Proses penambangan bijih emas di wilayah Pongkor oleh masyarakat dilakukan dengan cara menggali tanah di sekitar bukit kemudian dengan menggunakan merkuri (Hg) atau masyarakat setempat menyebutnya *kuik* dilakukan pencucian ataupun pemisahan bijih emas dari tanahnya. Jumlah merkuri yang digunakan dalam proses pengolahan dengan alat pemrosesan yang disebut *gelundungan* berkisar 0,5 – 1 kg untuk satu *gelundungan* yang berukuran 8 – 12 kg. Dari data yang diperoleh, untuk 900 lebih *gelundungan* digunakan merkuri 16,2 ton/bulan, sehingga diperkirakan jumlah merkuri yang terbuang

ke sungai sebagai sisa proses adalah $30\% \times 16,2 \text{ ton/bulan} = 4,86 \text{ ton/bulan}$ (Halimah, 2002).

Merkuri ini sangat berbahaya dan toksik serta sangat sulit terurai secara alami sehingga dapat bertahan di alam dalam waktu yang relatif lama. Pencemaran logam berat tersebut dapat menyebabkan efek toksik yang nyata pada berbagai biota perairan. Efek toksik tersebut dapat berbentuk bioakumulasi, toksisitas kronis, maupun toksisitas akut. Dampak pencemaran merkuri di lingkungan terhadap manusia telah diketahui orang sejak lama. Salah satu peristiwa pencemaran merkuri yang terbesar adalah peristiwa yang terjadi di wilayah pantai Minamata, Jepang sekitar tahun 1953 sampai 1960 yang mana kurang lebih 146 nelayan di wilayah itu mengalami sakit yang misterius karena mengkonsumsi ikan dan kerang laut yang telah tercemar oleh limbah yang mengandung merkuri. Para nelayan yang menderita penyakit misterius tersebut mengalami kelumpuhan yang sangat cepat, kehilangan penglihatan, kerusakan fungsi otak, yang mana pada banyak penderita berakhir dengan kondisi koma, atau bahkan kematian (Forstner & Wittmann, 1983).

Pencemaran merkuri yang terjadi akibat pembuangan sisa hasil pencucian atau pemurnian bijih emas secara sembarangan akan terbawa aliran air ke anak-anak sungai yang akhirnya akan bermuara di Sungai Cikaniki sebagai sungai utama yang selanjutnya akan menambah beban pencemaran sungai. Sungai Cikaniki, sebelumnya 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 (Syawal, 2000).

Dalam pengujian toksisitas, Cladocera telah digunakan secara luas, karena hewan tersebut mudah didapatkan, tersedia di alam, mudah beradaptasi pada kondisi laboratorium, hanya membutuhkan wadah yang kecil untuk tempat hidupnya, serta merupakan biota yang sensitif terhadap bahan-bahan pencemar (Ferrando *et al*, 1999). Salah satu cladocera yang sering digunakan untuk uji toksisitas adalah *Daphnia magna*, dan telah menghasilkan banyak data toksisitas senyawa kimia.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar merkuri yang ada di sedimen perairan Sungai Cikaniki, serta toksisitas sedimen tersebut terhadap biota air (*Daphnia* sp.), sehingga dapat digunakan untuk menjadi acuan dalam menentukan tingkat resiko sedimen tersebut terhadap ekosistem perairan S. Cikaniki.

METODOLOGI

Tempat dan Waktu Penelitian

Penentuan lokasi pengambilan contoh dilakukan dengan menggunakan bantuan peta rupa bumi dengan skala 1 : 125.000 yang didapatkan dari Badan Koordinasi Survei Pertanahan Nasional (Bakosurtanal) dan informasi data sekunder dari penelitian sebelumnya mengenai PETI di S. Cikaniki (Syawal, 2000; Halimah, 2002). Penentuan posisi lokasi sampling di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat *Global Positioning System* (GPS) (Tabel 1; Gambar 1). Pengambilan contoh air dan sedimen untuk daerah yang tercemar dilakukan pada daerah bantaran S. Cikaniki – Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisadane Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Sedangkan untuk mengetahui *background concentration* kualitas sedimen, dilakukan pengambilan contoh sedimen di

daerah yang belum tercemar. Untuk itu diambil contoh sedimen dari hulu DAS Cisadane, di daerah gunung Halimun (Citalahab Hulu).

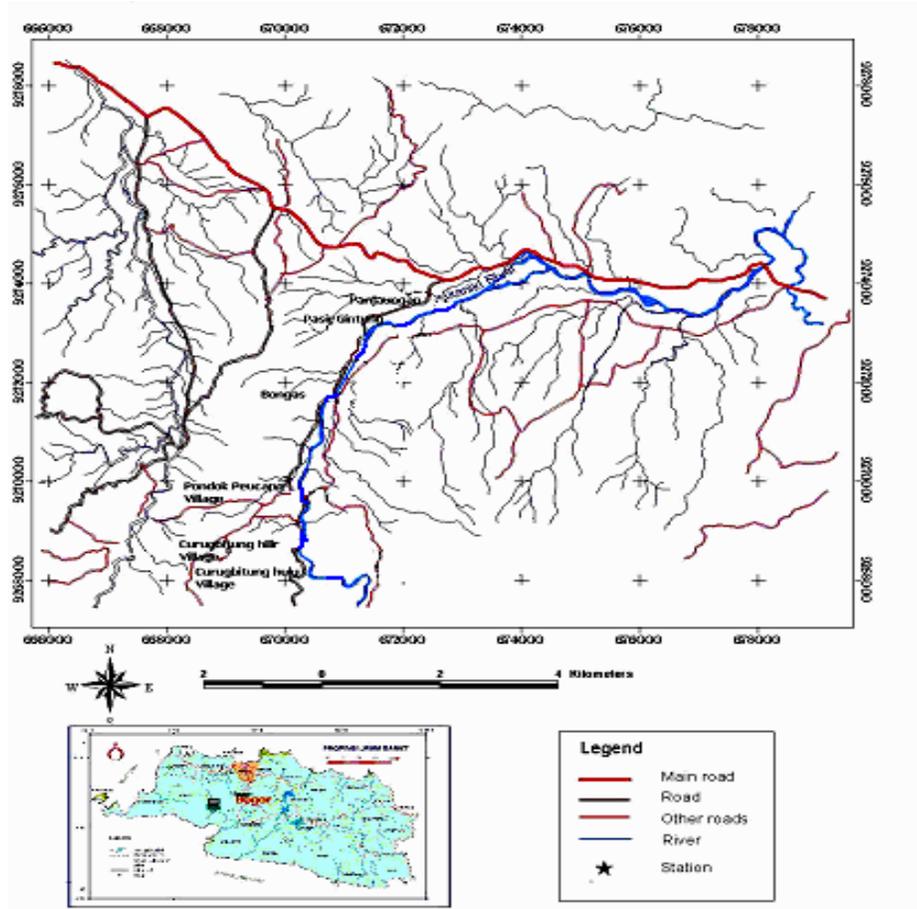
Penanganan Contoh

Pengambilan contoh sedimen dilakukan untuk mengetahui kadar total merkuri, dan uji toksisitas sedimen. Contoh sedimen diambil dengan menggunakan grab. Sedimen kemudian didestruksi dengan menggunakan asam nitrat pekat, dan diawetkan dengan asam nitrat. Untuk pengukuran kadar total merkuri pada sedimen, 50 gr contoh sedimen di ambil untuk dianalisis kadar total merkurnya dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), Hitachi model Z6100. Sedangkan untuk uji toksisitas sedimen, baik akut maupun kronis, contoh sedimen diambil sebanyak sekitar 3 kg, lalu disimpan pada suhu 4 °C sampai saatnya akan digunakan.

Pada saat pengambilan contoh sedimen juga dilakukan pengambilan contoh air untuk mengetahui kualitas air dan kadar merkurnya. Parameter kualitas air yang diukur langsung di lapangan adalah suhu, pH, dan konduktivitas, sedangkan untuk pengukuran parameter alkalinitas dan kesadahan dianalisis di Laboratorium Hidrokimia, Puslit Limnologi–LIPI dengan menggunakan metoda titrimetri. Untuk mengetahui kadar total merkuri di air, 500 ml air diawetkan dengan asam nitrat pekat sebelum dianalisis kadar total merkurnya dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), Hitachi model Z6100. Contoh-contoh tersebut diambil dua kali dalam satu tahun pada empat lokasi untuk kualitas air, dan lima lokasi untuk sedimen dengan tiga kali ulangan.

Tabel 1. Koordinat lokasi pengambilan contoh

No.	Lokasi	Lintang Selatan	Bujur Timur	Ketinggian (m)
TS1	Citalahab Hulu	06° 44' 18''	106° 31' 51''	1.111
TS2	Cisarua	06° 38' 10''	106° 33' 25''	437
TS3	Curug Bitung	06° 37' 01''	106° 32' 32''	351
TS4	Lukut	06° 34' 47''	106° 32' 53''	299



Gambar 1. Lokasi pengambilan contoh air S. Cikaniki (Syawal, 2004)

Uji Toksisitas Sedimen

Pada uji toksisitas sedimen, hewan uji yang digunakan adalah *Daphnia* sp. pada larva instar 3 dan 4 untuk uji toksisitas akut (48 jam) dan larva instar 1 dan 2 untuk uji toksisitas kronis (10 hari), sesuai yang direkomendasikan oleh USEPA (USEPA, 1992). Hewan uji diperoleh dari sistem kultur *Daphnia* sp. yang dibudidayakan oleh

Laboratorium Planktonologi Puslit Limnologi – LIPI.

Isolasi Air Pori-Pori Sedimen

Untuk menguji tingkat toksisitas sedimen terhadap hewan uji selain dengan menggunakan sedimen utuh, juga digunakan air pori-pori sedimen yang diekstraksi dengan menggunakan metoda yang

dijelaskan oleh Giesy *et al* (1990) dan Harkey *et al*, (1994) yaitu, 50 ml sedimen basah disentrifuge pada kecepatan putaran 8000 rpm dengan suhu 4°C selama 15 menit, setelah itu supernatan didekantasi, lalu disentrifuge ulang pada kecepatan putaran 2000 rpm dengan suhu 4 °C selama 30 menit. Supernatan dipisahkan dan disaring dengan menggunakan kertas saring GF/C dan disimpan pada suhu 10 °C atau 4 °C.

Uji Toksisitas Akut

Toksisitas akut ditentukan dengan mencari nilai LC₅₀, yaitu kadar 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 uji pendahuluan atau *range finding test*, yang bertujuan untuk mencari kisaran kadar lethal sedimen terhadap hewan uji. Setelah diketahui kisaran kadar lethal tersebut, lalu dilakukan uji definitif untuk mendapatkan nilai LD₅₀ yang lebih definitif. Pada *range finding test*, kisaran kadar uji yang digunakan adalah kisaran lebar (logaritmik), yaitu (0 %, 1 %, 10 %, dan 100 %), sedangkan pada uji definitif, kisaran kadar uji yang digunakan adalah kisaran sempit (aritmetik). Untuk menghitung tingkat kadar sedimen yang akan diuji definitif, maka digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Log}(N/n) = k\text{Log}(a/n),$$

dengan $a/n = b/a = c/b = d/c = e/d = N/d$

Keterangan :

- N = Kadar ambang batas
 - n = Kadar ambang bawah
 - k = 5 jumlah kadar yang diuji
- Nilai a, b, c, d, dan e adalah kadar yang diuji dengan nilai a sebagai kadar terkecil

Jumlah *Daphnia* sp. yang diujikan pada toksisitas akut sedimen ini untuk setiap tingkat kadar adalah 20 ekor pada volume media uji 50 ml. Sebagai media uji digunakan sedimen utuh (*whole sedimen*) dan air pori-pori sedimen (*porewater sedimen*) yang masing-masing ditambahkan air kultur *Daphnia* sp. sesuai dengan perbandingan nilai kadar berdasarkan nilai LD₅₀ pada uji pendahuluan. Pada kedua jenis uji toksisitas akut yang dilakukan, setiap tingkat kadar uji dilakukan tiga kali ulangan. Pengujian diulangi apabila terdapat kematian *Daphnia* sp. pada kontrol lebih dari 10% dari jumlah *Daphnia* sp. yang diujikan (2 ekor) (APHA AWWA, 2000). Pengamatan kematian hewan uji pada masing-masing tingkat kadar uji dilakukan pada periode waktu 24 jam dan 48 jam. Rata-rata proporsi kematian hewan uji pada setiap tingkat kadar uji dihitung untuk kemudian dilakukan analisis probit sehingga dapat diketahui nilai LD₅₀ nya.

Uji Toksisitas Kronis

Uji toksisitas kronis dilakukan dengan mengamati kemampuan reproduksi hewan uji, *Daphnia* sp., dengan parameter yang diamati adalah kemampuan berreproduksi atau perkembangbiakan hewan uji dengan waktu pengamatan selama 10 hari. Uji toksisitas dilakukan untuk kadar sedimen utuh (*whole sedimen*) dan air pori-pori sedimen (*pore water sedimen*), pada masing-masing lokasi yang diperoleh berdasarkan nilai NOAEC (*No Observe Adverse Effect Concentration*) yang didapat dari masing-masing uji toksisitas akutnya. Nilai NOAEC ditentukan berdasarkan analisis statistik Dunnet (*Dunnet statistical analysis*) dari EPA (*Environmental Protection Agency*). Selama uji ini diamati jumlah anakan (*neonate*) *Daphnia* sp., yang muncul setiap hari sampai dengan hari ke 10. *Daphnia* sp. yang digunakan adalah instar 1 dan 2, dengan jumlah hewan uji sebanyak 5 ekor yang ditempatkan cawan petri dengan volume media uji 15 ml.

Sebagai pakan digunakan produk susu fermentasi yang ditambahkan setiap dua hari sekali (Weber, 1991). Untuk masing-masing jenis uji toksisitas kronis tersebut pada setiap tingkat kadar ujinya diulang tiga kali.

Analisis Statistik

Analisis uji toksisitas akut sedimen meliputi penentuan nilai LC_{50} yang dilakukan dengan analisis statistik probit, menggunakan software *trimmed spearman-karber* dari EPA. Sedangkan untuk menentukan kadar sedimen yang menyebabkan toksisitas kronis, pada masing-masing stasiun pengamatan, maka dilakukan uji sidik ragam (ANOVA) terhadap jumlah anakan *Daphnia* sp. yang lahir selama uji toksisitas kronis dilaksanakan pada setiap tingkat kadar uji, kemudian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT).

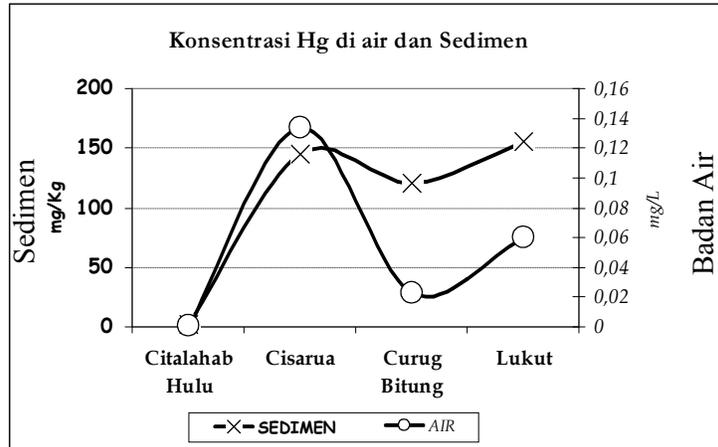
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Merkuri di Perairan dan Sedimen

Kadar rata-rata merkuri di air berkisar antara 0,0008 - 0,134 $mg.l^{-1}$. Kadar terendah terdapat di Citalahab hulu dan tertinggi di Cisarua, sedangkan di dua stasiun pengamatan yang lain, Curug Bitung dan Lukut, berturut-turut adalah : 0,023 $mg.l^{-1}$ dan 0,0598 $mg.l^{-1}$ (Grafik 1). Di Citalahab hulu belum terdapat kegiatan baik penambangan emas liar (PETI), maupun kegiatan ekstraksi emas, sehingga kadar merkuri di air tersebut hanya merupakan *background concentration* yang dapat berasal dari peluruhan batuan yang terjadi di alam (Calmano & Forstner, 1996; Forstner & Wittmann, 1983). Sedangkan pada tiga stasiun pengamatan yang lain kegiatan

ekstraksi emas sudah banyak dilakukan, sehingga kadar merkuri di dalam air pada ketiga stasiun tersebut meningkat tinggi. Tingginya kadar merkuri pada air sungai di Cisarua sejalan dengan jumlah penambang emasnya yang merupakan jumlah yang terbesar apabila dibandingkan dengan desa-desa Curug Bitung dan Lukut, yang berada di bagian hilirnya. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 untuk kelas III dan IV (0,002 dan 0,005 $mg.l^{-1}$), maka kadar merkuri di ketiga stasiun tersebut telah melewati nilai ambang batas yang diperbolehkan untuk segala macam bentuk keperluan.

Terdapat akumulasi merkuri yang cukup besar pada sedimen sistem Sungai Cikaniki. Kadar merkuri pada sedimen (sed.) pada masing – masing stasiun pengamatan dari hulu ke hilir berturut – turut adalah 2.195 $mg.Kg^{-1}sed.$, 144,5 $mg.Kg^{-1} sed.$, 120 $mg.Kg^{-1}sed.$, dan 156,6 $mg.Kg^{-1}sed.$, yang berarti 1.078 hingga 5.225 kali lipat dibanding dengan kadar merkuri yang ada di badan airnya. Hal ini disebabkan karena sifat logam merkuri yang sukar larut dalam air, namun cenderung terikat pada partikel tersuspensi dan mengendap di dasar perairan. Laws (1981) menyatakan bahwa logam berat mempunyai sifat mudah terikat dengan bahan organik terlarut, oleh karena itu limbah yang banyak mengandung bahan organik akan bereaksi dan mengikat kation logam berat sehingga mengendap ke dasar perairan dan bersatu dengan sedimen. Hal ini mengakibatkan kecenderungan kadar logam berat di sedimen menjadi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kadar logam tersebut di badan airnya.

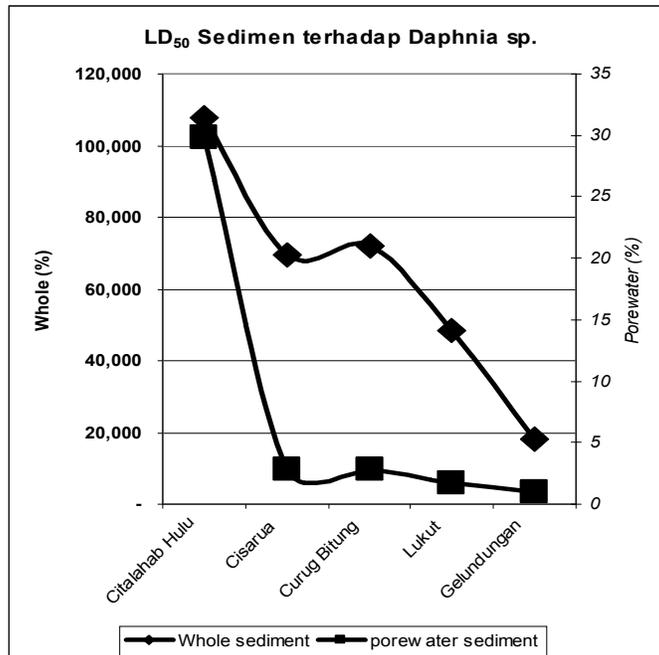


Grafik 1. Kadar Merkuri (Hg) di air dan di sedimen S. Cikaniki

Toksistas Akut Merkuri

Uji toksistas sedimen utuh (*whole sedimen*) dilakukan untuk mengetahui toksistas sedimen dalam kondisi normal di alam, sedang uji toksistas air pori-pori sedimen (*porewater sedimen*) dilakukan untuk mengetahui toksistas sedimen pada saat terjadi mobilisasi bahan pencemar yang

terdapat di dalam sedimen pada saat terjadi gangguan pada perairan. Oleh karena itu toksistas air pori-pori sedimen jauh lebih toksik daripada toksistas sedimen utuhnya. Dari penelitian ini diketahui bahwa air pori-pori sedimen 4 hingga 28 kali lebih toksik dibandingkan sedimen utuhnya (Grafik 2.).



Grafik 2. Toksistas akut (LD₅₀) sedimen utuh (*whole sedimen*) dan air pori sedimen (*porewater sedimen*), terhadap *Daphnia sp.*

Sedimen di Citalahab Hulu memiliki toksisitas terendah, >100% sedimen utuh dan 29,85% air pori pori sedimen, sedangkan toksisitas tertinggi terjadi pada sedimen yang didapat dari alat gelundungan yaitu, 17,91 % sedimen utuh dan 1,03 % air pori-pori sedimen. Selanjutnya dari hasil analisis probit juga dapat diketahui gradien/slope garis regresi hubungan antara kadar sedimen utuh dan air pori-pori sedimen dengan kematian hewan uji. Gradien ini menggambarkan potensi toksik sedimen utuh dan air pori-pori sedimen terhadap hewan uji. Semakin kecil nilai gradien/slope yang dihasilkan dari analisis probit tersebut, maka potensi toksisitasnya pun semakin besar. Nilai LD₅₀ dan persamaan garis probit untuk uji toksisitas akut sedimen utuh dan air pori-pori sedimen dapat di lihat pada Tabel 2 dan 3.

konformasi aktif biomolekul (Connel & Miller, 1995). Merkuri 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 (Heath, 1987).

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 merkuri, sebagaimana ion-ion logam lainnya dapat menggantikan ion-ion endogen lainnya,

Tabel 2. Nilai LD₅₀ 48 jam dan Garis Probit uji Toksisitas Akut pada Sedimen Utuh terhadap *Daphnia* sp.

Lokasi	LD ₅₀ (%)	Batas Kepercayaan 95%	Persamaan Garis Probit
Citalahab Hulu	107,98	61,759 – 1437,051	Y = 0,728 + 2,101X
Cisarua	69,309	44,940 – 225,756	Y = 1,273 + 2,025X
Curug Bitung	71,792	52,032 – 174,175	Y = 0,791 + 3,121X
Lukut	48,417	32,001 – 122,582	Y = 2,051 + 1,750X
Gelundungan	17 909	13 858 – 22 697	Y = 0 662 + 3 462X

Tabel 3. Nilai LD₅₀ 48 jam dan Garis Probit uji Toksisitas Akut pada Air Pori-Pori Sedimen terhadap *Daphnia* sp.

Lokasi	LD ₅₀ (%)	Batas Kepercayaan 95%	Persamaan Garis Probit
Citalahab Hulu	29,85	26,294 – 34,617	Y = -3,255 + 5,596X
Cisarua	2,779	2,450 – 3,133	Y = 2,293 + 6,099X
Curug Bitung	2,884	2,335 – 4,143	Y = 3,647 + 2,941X
Lukut	1,717	1,410 – 2,064	Y = 4,193 + 3,439X
Gelundungan	1,029	0,751 – 1,270	Y = 4,961 + 3,122X

Secara umum mekanisme toksisitas ion-ion logam terhadap biota air dapat dibagi dalam tiga kategori, yaitu : i) menahan gugus fungsi biologis yang esensial dalam biomolekul, misalnya protein dan enzim ; ii) menggantikan ion-ion logam esensial dalam biomolekul ; iii) mengubah

yang dapat menyebabkan gangguan fisiologis pada biota air hingga menyebabkan kematian apabila jumlah ion logam berat yang masuk ke dalam tubuh biota air tersebut cukup besar (Heath, 1987).

Berdasarkan nilai LD₅₀ yang dihasilkan oleh kedua metoda uji toksisitas

akut (Tabel 2 dan 3), secara deskriptif dapat diketahui bahwa metoda uji toksisitas akut dengan menggunakan air pori-pori sedimen memberikan hasil yang lebih sensitif dibandingkan dengan metoda uji toksisitas akut dengan menggunakan sedimen utuh, karena pada uji toksisitas akut dengan air pori-pori sedimen memberikan nilai LD₅₀ yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai LD₅₀ yang dihasilkan oleh uji toksisitas akut dengan menggunakan sedimen utuh.

Untuk mengetahui kadar sedimen yang aman bagi biota air khususnya *Daphnia*, maka dilakukan penghitungan nilai *No Observed Adverse Effect Concentration* (NOAEC). Nilai NOAEC adalah tingkat kadar tertinggi yang tidak menimbulkan dampak buruk pada hewan uji, dalam hal ini adalah *Daphnia*. Adapun nilai NOAEC (% sedimen) dari masing masing stasiun dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Nilai NOAEC (*No Observed Adverse Effect Concentration*) pada sedimen utuh (*whole sedimen*) dan air pori sedimen (*porewater sedimen*) pada uji toksisitas akut.

Lokasi	Porewater (%)	Whole Sedimen (%)
Citalahab Hulu	16	32
Cisarua	1.8	16
Curug Bitung	2.2	16
Lukut	0.6	16
Sedimen pada gelundungan	<0.6	8

Nilai NOAEC dari hulu ke hilir semakin rendah. Hal ini sejalan dengan nilai toksisitas akut (LD₅₀) sedimennya yang juga berpola demikian. Nilai NOAEC air pori sedimen berkisar 2 sampai 26,7 kali lebih rendah daripada nilai NOAEC sedimen utuhnya. Nilai NOAEC sedimen utuh di daerah Cisarua, Curug Bitung dan Lukut adalah 16 mg.Kg⁻¹, namun demikian dari nilai NOAEC air pori sedimen di daerah tersebut menunjukkan bahwa kadar tertinggi yang tidak menimbulkan dampak buruk pada biota tidaklah sama, dari hulu ke hilir kadarnya makin rendah, berturut – turut adalah 1,8 mg.l⁻¹, 2,2 mg.l⁻¹ dan 0,6 mg.l⁻¹.

Nilai NOAEC dalam uji toksisitas

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

Toksitas Kronis

Uji toksisitas kronis dilakukan untuk melihat dampak sedimen yang terkontaminasi merkuri terhadap *Daphnia* sp., yang tidak mematikan dalam jangka waktu panjang. Sedimen yang berasal dari Citalahab Hulu uji toksisitas kronis sedimen utuhnya tidak dilakukan karena nilai LD₅₀ pada uji toksisitas akut nilainya lebih dari

100%, sehingga sedimen utuh dari stasiun tersebut tidak bersifat toksik.

Untuk uji toksisitas kronis air pori sedimen diketahui bahwa dengan semakin meningkatnya kadar sedimen menyebabkan turunnya tingkat reproduksi *Daphnia* sp. Penurunan tingkat reproduksi ditandai dengan menurunnya jumlah anakan di hari ke sepuluh. Terjadi penurunan yang polinomial pada semua stasiun pengamatan (Tabel 5). 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

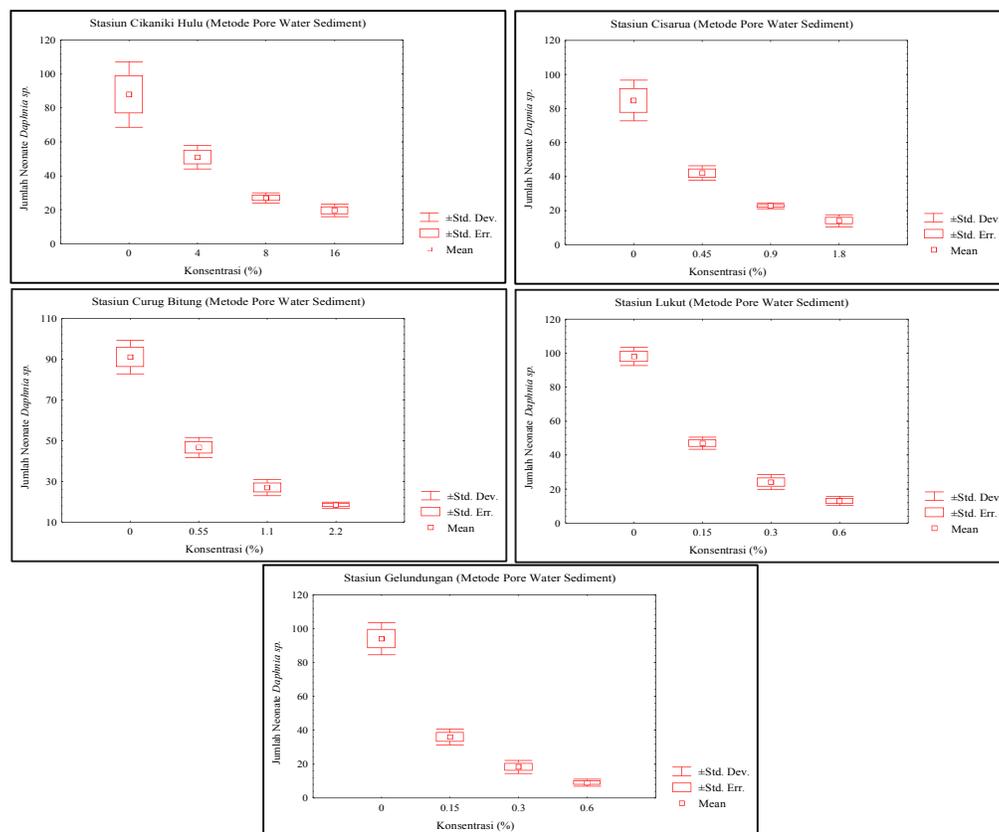
Nyata Terkecil (BNT) diketahui nilai toksisitas kronis dari masing-masing stasiun, berturut-turut dari hulu sampai hilir adalah : 4%, 0,45%, 0,55%, 0,15%, dan 0,15% sedimen.

Berdasarkan nilai toksisitas kronis tersebut diketahui bahwa Citalahab hulu yang merupakan wilayah hulu 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 pada gelundungan.

Tabel 5. Nilai Toksisitas Kronis Sedimen pada uji toksisitas sedimen utuh dan air-pori-pori sedimen.

Lokasi	Nilai Toksisitas kronis (%)	
	Pori-pori Sedimen	Sedimen Utuh
Citalahab Hulu	4,00	-
Cisarua	0,45	4
Curug Bitung	0,55	4
Lukut	0,15	4
Gelundungan	0,15	2

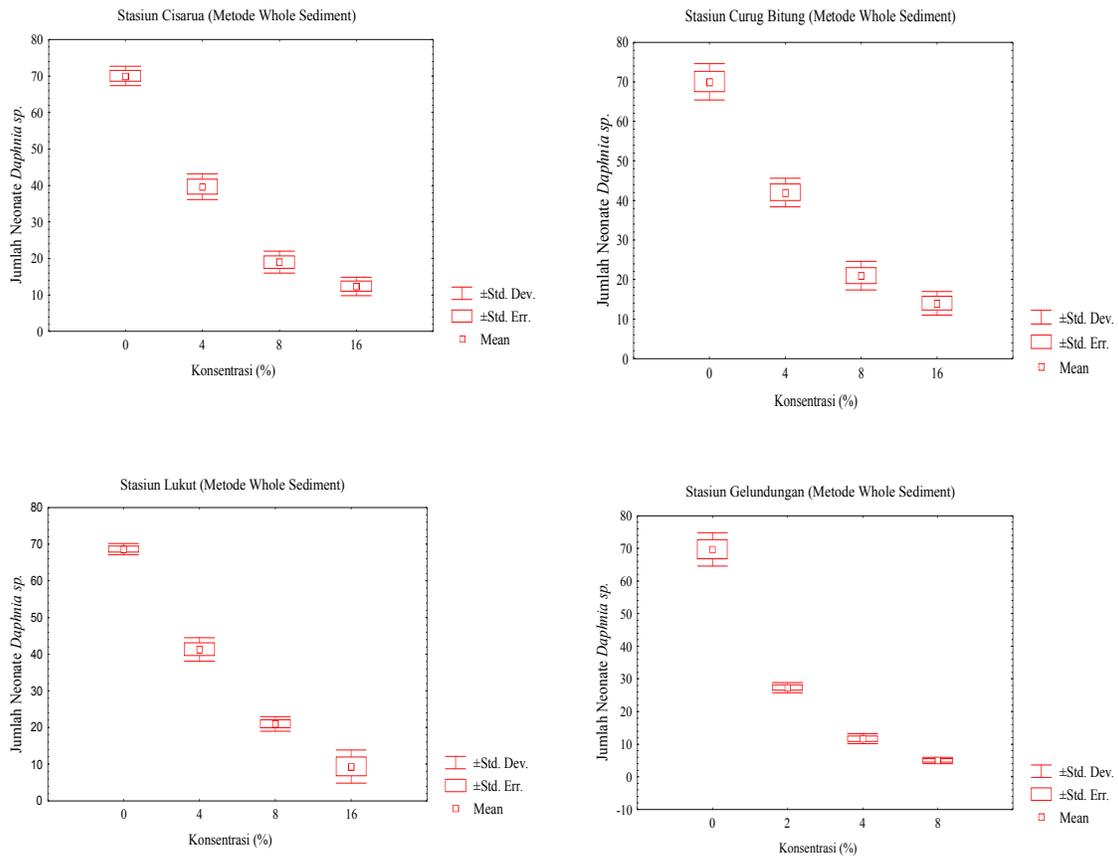


Grafik 4. Jumlah anakan yang dihasilkan selama uji toksisitas kronis (10 hari) dengan menggunakan air pori-pori sedimen pada masing-masing lokasi pengambilan contoh.

Sedangkan pada uji toksisitas kronis dengan menggunakan sedimen utuh, toksisitas kronisnya lebih rendah apabila dibandingkan dengan toksisitas kronis air-pori-pori sedimennya (Tabel 5). Nilai toksisitas kronis sedimen utuh terdapat pada lokasi Cisarua, Curug Bitung, dan Lukut sama dengan nilai toksisitas kronis air pori-pori sedimen di Citalahab Hulu yaitu 4% sedimen, sedangkan toksisitas kronis sedimen utuh dari alat gelundungan lebih tinggi dibanding dengan toksisitas kronis sedimen utuh pada stasiun-stasiun sebelumnya.

Heath (1987) menyebutkan bahwa

polutan dapat berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap perilaku makan, ketersediaan makanan, cara makan, pencernaan, penyerapan, asimilasi, ekskresi dan perubahan pada tingkat hormonal yang pada akhirnya berpengaruh pada pertumbuhan dan kemampuan reproduksi. Selain itu akibat perubahan patologis yang disebabkan media hidupnya yang terkontaminasi oleh zat xenobiotik dapat juga menghambat pertumbuhan biota. Grafik 4 dan 5 menunjukkan pola penurunan jumlah anakan *Daphnia* pada setiap tingkat kadar untuk uji toksisitas kronis air pori-pori sedimen dan sedimen utuh.



Grafik 5. Jumlah anakan yang dihasilkan selama uji toksisitas kronis (10 hari) dengan menggunakan sedimen utuh pada masing-masing lokasi pengambilan contoh.

KESIMPULAN

Konsentrasi merkuri di sedimen berkisar 1.078 hingga 5.225 kali lipat dibanding dengan kadar merkuri di air. Kadar merkuri di sedimen terendah terdapat di Citalahab hulu yang berada di Gunung Halimun, yang merupakan *background concentration*, karena di lokasi tersebut belum ada aktivitas penambangan emas. Sedangkan kadar merkuri di sedimen tertinggi terdapat di Desa Cisarua. Sedimen di Citalahab Hulu juga memiliki toksisitas terendah, >100% sedimen utuh dan 29,85 % air pori-pori sedimen, sedangkan toksisitas tertinggi terjadi di Cisarua yaitu, 69, 31 % sedimen utuh dan 2,78 % air pori-pori sedimen.

Dengan semakin meningkatnya kadar sedimen menyebabkan turunnya tingkat reproduksi *Daphnia* sp., yang 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous, 2000. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. APHA AWWA, WEF. Washington D. C.
- Boyd, C. E., 1990, *Water Quality in Ponds for Aquaculture*, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Birmingham Publishing Co. Alabama, 482 pages
- Calmano, W. & U. Forstner, 1996, *Sediments and Toxic Substances, Environmental Effects and Ecotoxicity*, Springer. Berlin Heidelberg New York Barcelona Budapest Hongkong London Milan Paris Santa Clara Singapore Tokyo. 335 p.
- Chapman, P. M., F. Wang, C. Janssen, G. Persoone, & H. Allen, 1998, *Ecotoxicology of Metal in Aquatic Sediments : Binding and Release, Bioavailability, Risk Assessment and Remediation*. Can. J. Fis. Aquat. Sci. 55 : 2221 – 2243.
- Connel, Des W. & 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 p.
- Forstner, U. & G. T. W. Wittmann, 1981. *Metal Pollution in The Aquatic Environment*, Springer Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo, 486 p.
- Giesy, J. P., J. R. Cornell, & L. G. Robert, 1990, *Benthic Invertebrate Bioassay with Toxic Sedimen and Porewater*, J. Environ. Toxic. Chem. 9 (4) : 233 – 248.
- Halimah, S., 2002, *Pengkajian Pencemaran Merkuri dan Dampak Akumulasinya Akibat Kegiatan Penambangan Emas*, Laporan Penelitian, Asdep Urusan Sarana Bappedal – Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Harkey, G. A., P. F. Landrum, & J. K. Stephen, 1994, *Comparison of Whole Sedimen, Elutriate and Pore Water Exposure for Use in Assessing Sedimen-Associated Organic Contaminants in Bioassay*, J. Environ. Toxic. Chem. 13 (8) : 1315 – 1329.
- Heath, A. G., 1987, *Water Pollution and Fish Physiology*. C. R. C. Press, Boston, Florida. 245 p.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), 2002, *Kilas Balik Pertambangan Emas Tanpa Ijin Pongkor*, Kabupaten Bogor, Deputi Bappedal Sumber Non Institusi, Jakarta.

- Laws, E. A., 1981, Aquatic Pollution. Introductory Text, John Willey and Sons. Inc. New York.
- Luoma, S. N., 1995, Prediction of Metal Toxicity in Nature from Bioassays : Limitation and Research needs. In Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems, Edited by A. Tessier and D. R. Turner, John Wiley & Sons Ltd. Chichester, U. K. pp 609 – 660.
- Newman, M. C., 1995, Quantitative Methods in Aquatic Ecotoxicology, Lewis Publishers. Boca Raton Ann Arbor London Tokyo, 426 pp.
- Roesijadi, G. & W. E. Robinson, 1994, Metal Regulation in Aquatic Animals : Mechanisms of Uptake, Accumulation, and Release. *In* Mallins, D. C., and G. K. Ostrander (eds), Aquatic Toxicology : Molecular, Biochemical and Cellular Perspectives. Lewis Publishers. Boca Raton.
- Syawal, M. S., 2000, Pengamatan Kualitas Air Sungai Cikaniki Sub. DAS Cisadane, Leuwiliang Bogor. Skripsi Sarjana Kimia Universitas Pakuan, Bogor.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1994, Methods for Measuring The Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-Associated Contaminant with Freshwater Invertebrates, EPA/600/R-94/024, Duluth, MN.
- USEPA, 1992, Sedimen Classification Methods Compendium, EPA 823-R-92-006. Washington DC.
- Weber, C. I., 1991, Methods for Measuring The Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwaters and Marine Organisms, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA), Cincinnati – Ohio.