

# PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM TERHADAP ORGANISME PERAIRAN DAN MANUSIA

Oleh : Dra. Tatiyani\*

## *Abstract*

*Cadmium is a heavy metal which is not a main nutrition for human nor for other organism. It is also not found inside the human body at birth but it's cumulated gradually because of our environmental pollution. Due to human activities, the availability of cadmium in our environment increases every where, with a concentration threating species living in water and other terrestrial organisms and which is a danger to human health.*

## **Pendahuluan**

Pencemaran lingkungan pada saat ini telah menimbulkan masalah yang serius, baik untuk negara yang sudah maju maupun negara yang sedang berkembang. Kemajuan teknologi dan peradaban manusia serta meningkatnya pertumbuhan industri akan membuat masalah pencemaran lingkungan semakin menonjol. Akhirnya kemampuan lingkungan untuk menyerap pencemaran mencapai titik jenuh, sehingga lingkungan semakin tercemar yang mengakibatkan gangguan pada kehidupan manusia dan lingkungan itu sendiri. Salah satu pencemaran lingkungan yang termasuk berbahaya, yaitu pencemaran oleh logam berat kadmium (Cd), karena mempunyai tingkat toksisitas yang tinggi dan bersifat akumulatif secara biologis melalui rantai makanan yang pada akhirnya mempengaruhi kesehatan manusia (Djarismawati, 1986).

Kadmium secara alamiah dalam konsentrasi rendah terdapat dalam tanah dan air. Dalam air tanah Cd biasanya ditemukan dalam sedimen dan dalam bentuk suspensi partikel. Konsentrasi Cd dalam air yang belum tercemar adalah lebih kecil dari 1 g/l (Friberg dan Vouk, 1979).

---

\* Staf Pengajar Tetap Departemen Biologi Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta.

## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

Bahaya Kadmium sudah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu. Di Rusia tahun 1858 terjadi keracunan kadmium pada 3 orang penggosok barang-barang perak dengan  $\text{CdCO}_3$ . Mereka terkena debu Cd sepanjang hari, yang menyebabkan muntah-muntah, diare, sakit perut dan infeksi kandung kencing (Walbout, 1973). Pada tahun 1974, di Jepang terjadi pencemaran kadmium di sungai Jinetsu, akibat pembuangan limbah tambang Zn-Cd, yang menyebabkan 44 orang dari desa di tepi S. Jinetsu menderita penyakit rematik yang aneh disertai oleh rasa nyeri pada tulang. Kemudian terjadilah kerusakan sumsum tulang, metabolisme kalsium terganggu disertai dengan melembeknya tulang yang diikuti oleh patah tulang dan pertumbuhan menjadi terhambat. Kondisi ini berlanjut untuk beberapa tahun sampai si penderita tidak dapat lagi meninggalkan tempat tidurnya dan penyakit itu lalu dengan cepat menjadi makin parah. Penyakit ini kemudian dikenal dengan nama "Itai-itai" yang berarti aduh-aduh karena teriakan mengaduh para penderitanya. Penyakit ini juga banyak ditemukan pada wanita masa menopause, dengan riwayat banyak kehamilan/kelahiran. Sumber pencemar berasal dari daerah pertambangan yang membuang air limbahnya ke sungai yang melewati daerah tersebut, sehingga air, pertanian (padi) dan biota air menjadi tercemar (Friberg dan Vouk, 1979).

Sebagaimana diketahui, daerah perairan merupakan tempat hidup biota air (ikan, kerang-kerangan dan organisme lain), juga untuk irigasi pertanian serta perikanan. Mengingat sifat kadmium dapat diakumulasi dalam jaringan tubuh organisme, baik melalui air secara langsung ataupun melalui rantai makanan, sedangkan di lain pihak biota air dan hasil pertanian tersebut dapat dikonsumsi oleh manusia, maka cepat atau lambat bahaya terhadap kesehatan manusia akan terjadi. Sebagai akibat dari aktivitas manusia, kehadiran kadmium di lingkungan makin meningkat di berbagai tempat, dengan kadar yang mengancam kehidupan biota air dan organisme terestrial, berarti juga mengancam kesehatan manusia. Keadaan ini mungkin terjadi sebagai akibat peningkatan dari senyawa-senyawa logam berat tersebut (Djarismawati, 1986).

### Pencemaran Kadmium di Perairan

Menurut Menklh (1988) pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan dan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat lagi sesuai dengan peruntukannya.

## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

Kadmium dalam air terdapat dalam bentuk ikatan  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{Cd(OH)}_2$  dan  $\text{CdCO}_3$ . Berdasarkan hasil penelitian kadar kadmium di perairan tercemar berkisar antara 0,2 - 10,5 ppb, sedangkan di perairan tidak tercemar 0,01 - 0,1 ppb (Sanusi, 1985).

Kadmium mempunyai kecenderungan untuk diabsorpsi oleh partikel-partikel tersuspensi dan sedimen. Partikel dan sedimen tersebut dapat terserap oleh algae yang hidup di dasar (*benthic algae*) dan plankton. Algae dan plankton ini dimakan oleh jenis yang lebih besar lagi. Demikian seterusnya, sehingga kadmium yang terserap oleh partikel-partikel tersuspensi dan sedimen akan dapat diakumulasikan pada organisme perairan baik secara langsung melalui air atau melalui rantai makanan. Setelah kadmium mengalami metabolisme dalam organisme, sebagian diekskresikan dan sebagian lagi mengalami proses bioakumulasi pada jaringan atau pada organ-organ tertentu. Pada organisme yang tahan hidup lama, mekanisme ini berjalan terus sehingga tingkat bioakumulasinya semakin besar. Kemudian melalui proses biotransformasi akan terjadi pemindahan dan peningkatan kadar logam berat tersebut pada tingkat pemangsaan (*trophic level*) yang lebih tinggi, yang disebut dengan proses biomagnifikasi. Secara tidak langsung proses biomagnifikasi dapat terjadi dalam jaringan tubuh manusia yang memakan hasil perikanan/pertanian yang tercemar oleh logam berat (*The Marine Pollution Sub Committee of The British National Committee On Oceanic Research, 1979*).

Kadmium bukanlah nutrisi pokok/penting bagi manusia ataupun organisme yang lain. Juga tidak terdapat dalam tubuh sewaktu lahir, tetapi sedikit demi sedikit terjadi penumpukan karena terpapar dengan kadmium yang terdapat di lingkungannya dan mempunyai waktu paruh biologis sangat panjang. Hal ini disebabkan oleh kemampuan kadmium membentuk senyawa kompleks dengan zat organik dalam jaringan tubuh organisme, sehingga cenderung untuk tidak diekskresikan (Waldichuk, 1974).

Pada saat ini pencemaran kadmium lebih banyak disebabkan oleh buangan industri ke perairan umum tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Logam kadmium banyak digunakan pada industri-industri *electroplating* yang berkisar 50% dari seluruh penggunaan kadmium dalam industri-industri lain. Campuran logam (*alloys*) antara lain campuran Cd-Ni yang digunakan dalam industri pesawat terbang dan peluru kendali, akhir-akhir ini tampak perkembangannya makin meningkat. *Electroplating* kadmium biasanya juga digunakan dalam industri mobil (untuk mesin dan suku cadangnya), suku cadang radio dan televisi. Penggunaan kadmium yang lain misalnya : campuran  $\text{Cd(NO}_3)_2$  digunakan untuk reaktor nuklir. CdS dan CdSe digunakan sebagai zat warna/*pigment* (bahan cat warna). CdBr dan

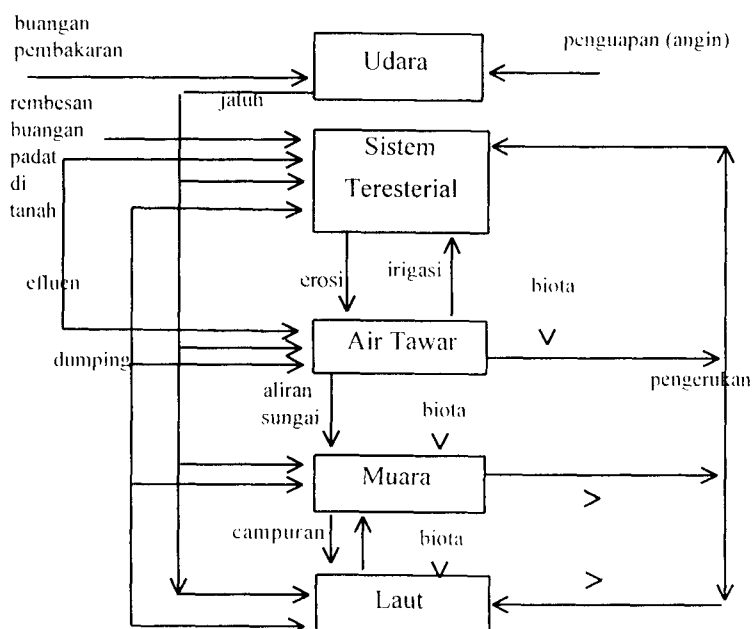
## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

$Cd_2$  digunakan dalam fotografi, diethyl-Cd digunakan dalam proses pembuatan tetraethyl-Pb. Selain itu juga pada industri pupuk superfosfat, pestisida, keramik dan porselin (Patty, 1965).

Sumber lainnya adalah dari limbah perairan kota yang termasuk bersumber dari perumahan. Sedangkan kontaminasi air lainnya adalah air hujan yang jatuh membawa bahan-bahan debu yang mengandung kadmium dari udara (hasil pembakaran bahan bakar fosil, peleburan logam, pembakaran limbah kota dan perumahan, buangan knalpot kendaraan) (Alabaster & Lloyd, 1980).

Pada umumnya konsentrasi logam berat di perairan sangat rendah dan logam berat biasanya bersifat toksik terhadap tanaman, binatang dan kehidupan manusia apabila terdapat dalam jumlah yang tinggi atau melampaui kebutuhan organisme. Logam berat antara lain berasal dari rembesan buangan di tanah, aliran kebocoran sumber logam berat dan kegiatan pembuangan sampah. Gas-gas hasil pembakaran yang jatuh dari udara akan terakumulasi pada sistem teresterial (sistem yang berhubungan dengan bumi/tanah), masuk ke perairan air tawar, muara dan laut.

Proses erosi dari sistem teresterial juga akan membawa logam berat ke perairan dan oleh aliran irigasi logam berat dari perairan akan dibawa ke sistem teresterial (Forstner dkk, 1981), seperti yang terlihat pada Gambar 1.

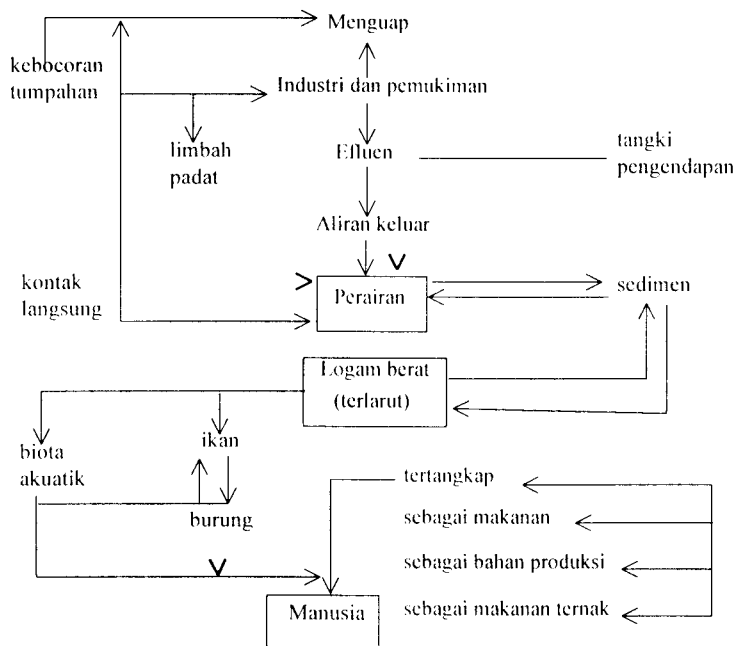


**Gambar 1.** Jalannya pencemaran logam berat di alam (Forstner dkk, 1981)

## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

Manusia berhubungan/kontak dengan logam berat melalui makanan, air dan udara. Logam berat yang berasal dari industri dan buangan pemukiman akan terbawa ke perairan dan sebagian mengendap sebagai sedimen. Logam berat yang terlarut akan terakumulasi dalam biota akuatik (hewan air) dan ikan. Selanjutnya ikan yang tertangkap merupakan rantai pembawa logam berat pada manusia yaitu sebagai makanan/bahan produksi.

Logam berat yang ada dalam air dan makanan dapat diabsorpsi dan berakumulasi dalam tubuh hewan air melalui saluran pencernaan dan insang. Mekanisme akumulasi dapat melalui cara difusi dan transpor aktif. Pencemaran oleh logam berat akan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur komunitas perairan. Perubahan tersebut akan mempengaruhi tingkah laku hewan air yang pada akhirnya mengubah sistem jaringan makanan hewan air, efek fisiologis, genetika dan resistensinya (Clark, 1977), seperti yang terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Mekanisme masuknya logam berat di perairan ke dalam tubuh manusia (Clark, 1977)

### **Pengaruh Pencemaran Kadmium**

Unsur-unsur logam berat dapat masuk ke dalam tubuh organisme perairan melalui insang (ikan), *sieve tubes* (moluska), difusi melalui permukaan kulit, dan sebagian besar secara tidak langsung melalui rantai makanan (Miettinen 1975). Menurut Darmono dan Arifin (1989), ada tiga teori mengenai mekanisme penyerapan logam dalam jaringan organisme perairan :

1. Penyerapan logam melalui saluran kecil dalam sel organisme, ini ada hubungannya dengan mekanisme transpor osmoregulasi, melalui pengaturan tekanan osmosis oleh organisme dengan air di sekitarnya.
2. Pengikatan ion-ion logam. Ion logam menyentuh bagian tertentu dari selaput tubuh yang kemudian diikat oleh jaringan tersebut dan dibawa ke dalam sel sitoplasma dan logam dilepas.
3. Logam dalam bentuk padat kecil atau larutan yang segera ditangkap oleh sel epitel dan secara endositosis logam tersebut dibawa masuk dan dilepas ke dalam sitoplasma.

Pengeluaran logam dari tubuh organisme biasanya tidak secara langsung dikeluarkan setelah diserap. Darmono dan Arifin (1989), mengemukakan bahwa logam tersebut ditimbun terlebih dahulu dalam jaringan, kemudian dikeluarkan dengan tiga cara, yaitu logam dikeluarkan melalui insang, melalui kutikula pada waktu ganti kulit dan melalui feses ataupun air kencing.

Oleh karena logam berat mengalami akumulasi dalam tubuh organisme, walaupun ada yang dapat dikeluarkan, maka selama terakumulasi dapat memberikan pengaruh yang fatal yaitu keracunan. Menurut Sanusi (1985), keracunan yang bersifat kronis pada hewan air, menimbulkan gangguan yang meliputi : kelainan genetik, pola pemijahan, alih energi, tingkah laku, kemampuan untuk berorientasi, menghindari diri dari musuh, migrasi dan persaingan yang menurun. Pengaruh keracunan oleh logam berat tidak selalu memberikan dampak/akibat yang sama pada setiap organisme, hal ini tergantung pada jenis logam, jenis hewan dan konsentrasinya. Menurut Darmono dan Arifin (1989), beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan racun dari logam berat adalah :

1. Bentuk ikatan kimia dari logam yang terlarut di dalam air.
2. Pengaruh interaksi di antara logam dan jenis racun lainnya, misalnya sinergisme dan antagonisme.

## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

3. Pengaruh lingkungan seperti suhu, kadar garam, pengaruh pH ataupun kadar oksigen dalam air.
4. Kondisi dari hewan seperti fase siklus hidup (telur, larva, dewasa), besarnya organisme, jenis kelamin dan kecukupan kebutuhan nutrisi.
5. Kemampuan hewan/organisme untuk menghindar dari kondisi buruk (polusi), misalnya bergerak pindah tempat.
6. Kemampuan hewan/organisme untuk beradaptasi terhadap racun, misalnya proses detoksikasi.

Dari hasil penelitian Alabaster dan Lloyd (1980), besarnya kemampuan akumulasi kadmium pada berbagai jenis organisme air yang hidup dalam perairan tercemar secara berurutan adalah sebagai berikut (dalam ppb berat basah) :

plankton =  $1 \times 10^1$ , moluska =  $1 \times 10^3$  sampai  $1 \times 10^4$ , *crustacea* =  $1 \times 10^3$ , rumput laut =  $1 \times 10^2$  sampai  $1 \times 10^3$ , ikan =  $1 \times 10^2$

Pada binatang yang tergolong mamalia, ikan dan moluska yang di dalam tubuhnya mengandung protein metalothionin tingkat akumulasi akan berbeda (lebih tinggi) dibandingkan dengan organisme yang tidak mengandung protein tersebut, oleh karena kemampuan protein ini untuk mengikat logam berat kadmium (Miettenin 1975).

Kadmium yang terakumulasi pada tubuh hewan air akan mempengaruhi sistem metabolisme sel, menghambat enzim  $\text{Na}^+ \text{K}^+$  ATPase dan menurunkan tranpor ion  $\text{Na}^+$  lewat epitel insang, nekrosis pada insang udang laut, nekrosis fokal dan hipertrofi pada hepatopankreas udang. Hepatopankreas merupakan organ yang terpenting dalam proses detoksikasi dan akumulasi dari logam berat, sehingga selain insang, organ ini lebih banyak menderita kerusakan daripada organ-organ lain. Sedangkan toksisitas Cd terhadap algae meliputi : kerusakan membran sel dan mengganggu proses pembelahan sel, merusak struktur mitochondria, mereduksi pengambilan oksigen dan mereduksi kandungan klorofil.

Penimbunan logam di dalam jaringan organisme perairan biasanya sejalan dengan kandungan logam tersebut di dalam air, sehingga apabila kandungan logam dalam perairan naik maka kandungan logam dalam jaringan juga naik (Darmono dan Arifin, 1989). Tingkat toksisitas Cd terhadap organisme air meningkat apabila kadar Zn dan Cu dalam air melebihi 1 ppm. Toksisitas dan pengambilan Cd berkurang dengan adanya Ca, seperti yang diperoleh dari hasil penelitian fitoplankton *Chlorella pyrenoidosa* (Sanusi, 1985).

## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

Kadmium terpapar dalam tubuh manusia melalui makanan, air dan udara. Kadmium yang terserap melalui makanan dan air akan bereaksi dengan protein berat molekul rendah yaitu metalothionin, serta berakumulasi di ginjal, hati dan organ reproduksi sesuai dengan pertambahan umur (Dufuus, 1980). Sedangkan kadmium di udara terserap melalui pernapasan (inhalasi), karena menghirup udara yang tercemar oleh kadmium atau senyawa-senyawanya, namun hal ini sedikit sekali terjadi (Miettinen, 1975). Keracunan pada manusia oleh kadmium juga dapat diakibatkan dari memakan makanan atau minuman dalam kaleng yang dilapisi dengan kadmium (Friberg & Vouk, 1979).

Umumnya pada tubuh manusia kadar kadmium berkisar antara 10 - 20 ppm. Air minum yang tercemar dapat mengandung 20 ppb dan ini akan menambah pengambilan oleh tubuh manusia sebesar 20 ppb sampai 40 ppb kadmium per hari (Miettinen, 1975).

Konsumsi oleh manusia dapat menimbulkan keracunan akut dan kronis. Keracunan akut dapat menyebabkan kematian dalam waktu 4 - 7 hari setelah pemaparan, dengan angka kematian 15% (WHO, 1974). Keracunan kronis menyebabkan : kerusakan ginjal, gangguan pembentukan email gigi, osteoporosis dan *multiple fracture* pada tulang-tulang. Pada binatang percobaan dapat menyebabkan efek mutagenik dan karsinogenik (Walbout, 1973).

Dalam tubuh hewan uji tikus, mekanisme transpor Cd dibawa melalui plasma dan disimpan dalam hati, dalam ikatan metalothionin. Unsur ini secara lambat mengalami degradasi, ditranspor dan diendapkan dalam ginjal. Ginjal merupakan organ utama yang mengikat Cd. Cd yang telah diikat dalam ginjal sedikit sekali yang dieksresikan karena adanya afinitas Cd yang besar (Miettinen, 1975).

Dampak yang terjadi pada manusia setelah keracunan kadmium, dalam fase pertama peracunan terjadilah warna kuning pada gigi, hilangnya kemampuan mencium bau dan mulut menjadi kering. Kemudian jumlah sel darah merah menurun dan terjadi kerusakan sumsum tulang. Kondisi ini berlanjut untuk beberapa tahun sampai si penderita tidak dapat lagi meninggalkan tempat tidurnya dan penyakit itu dengan cepat menjadi parah. Karena kerusakan ginjal terjadilah ekskresi zat albumin dalam air seni. Metabolisme kalsium terganggu disertai oleh melembeknya tulang yang kemudian diikuti oleh patah tulang dan pertumbuhan menjadi terhambat (Friberg & Vouk, 1979). Pemasukan Cd secara terus menerus mengakibatkan gangguan pada mekanisme kalsium, akibatnya akan terjadi osteoporosis dan patah tulang serta mengganggu perkembangan email gigi (Walbout, 1973).



## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

Adanya proses antagonis metabolisme antara Cd dengan Fe dan Cd dengan Cu dapat menyebabkan penyakit anemia akibat kekurangan besi dan tembaga. Perubahan pada kulit dan rambut akibat kekurangan Zn juga dipengaruhi oleh Cd (Dufuus, 1980).

Dalam tubuh manusia pada bagian hati dan ginjal waktu paruh kadmium sekitar 10 tahun (Friberg & Vouk, 1979). Kerusakan ginjal dapat terjadi bila konsentrasi Cd dalam korteks renal melebihi 200 mg/kg berat basah. Kerusakan ginjal dapat dilihat dari adanya proteinuria, glikosuria, amino asiduria, hiperkalsiuria. Kondisi tersebut jarang menyebabkan ketidakaktifan ginjal, tetapi hiperkalsiuria sering mengakibatkan keseimbangan kalsium negatif dan menuju osteomalasia. Pada wanita yang berusia lebih dari 50 tahun dan hidup terutama dari makan beras yang mengandung Cd tinggi dapat menyebabkan osteomalasia, proteinuria dan pseudo fraktur. Pengeluaran Cd dalam urin meningkat bila terjadi kerusakan ginjal, ini mengakibatkan penurunan konsentrasi Cd dalam ginjal, sehingga pada kasus-kasus yang sudah parah konsentrasi dalam ginjal rendah (WHO, 1974).

Setelah banyak uap Cd masuk melalui pemapasan kataral hidung kronis dan emfisema paru kemungkinan besar akan muncul. Kelumpuhan saraf penciuman banyak terjadi setelah jangka panjang. Efek toksik utama dari pemapasan adalah akibat iritasi lokal dari saluran pemapasan. Kematian biasanya akibat edema paru yang masif, dengan tanda-tanda dada sakit, mual dan pusing.

Efek dalam perut (gastrointestinal) juga dapat timbul antara lain mual dan diare. Kerusakan jangka panjang yaitu kerusakan paru-paru yang timbul dalam bentuk emfisema, peribronkial dan perivaskular fibrosis.

Efek mutagenik yang ditimbulkan dari percobaan dengan tikus, menunjukkan bahwa Cd dapat menembus barrier plasenta dan menyebabkan tidak normalnya rahang atas dan muka dari tikus-tikus yang baru lahir. Cd mengganggu reproduksi dan menyebabkan toksemia dalam kehamilan. Sedangkan efek karsinogenik timbul setelah pemasukan jangka panjang dari Cd yang diperkirakan merusak testis, tubulus seminiferus dan mengakibatkan sarkoma testis (Walbout, 1973).

Secara umum keracunan logam berat pada manusia menurut Sanusi (1985) dapat mengakibatkan gangguan pada :

1. Saraf dan sistem saraf pusat
2. Sistem pernapasan dan kerusakan pada fungsi hati dan ginjal
3. Perdarahan (*Haemorrhagic lesions*)

## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

4. Gangguan terhadap pertumbuhan sel yang bersifat karsinogenik maupun teratogenik
5. Gangguan terhadap pertumbuhan tulang yang menyebabkan kerapuhan tulang yang disebut dengan pseudofraktur atau osteomalasia
6. Gangguan terhadap fungsi mitochondria dan fungsi normal enzimatik
7. Kerusakan pada kulit (*dermatological effect*)

Batas aman untuk manusia menurut WHO : 400 - 500 g/orang atau sama dengan 60 g Cd/hari. Untuk orang dewasa yang mengkonsumsi 400 gram (berat kering) makanan/hari, batas amannya : 0,2 ppm dari total yang dimakan (Friberg & Vouk, 1979). WHO (1974) berpendapat bahwa, pengambilan kadmium oleh manusia kurang lebih 315 g/minggu setara dengan 15 - 20% dari kadar penyebab timbulnya keracunan kadmium. Sedangkan menurut Laws (1981), karena keadaan kritis kadmium yang terakumulasi pada ginjal manusia adalah 200 ppm, maka pengambilan maksimum oleh tubuh manusia 400 - 500 g/minggu, dengan asumsi bahwa kandungan kadmium dalam makanan yang masuk kurang lebih 4,5% akan tertinggal dalam tubuh.

Diperkirakan dosis letal Cd untuk manusia antara 350 - 8900 mg dengan waktu paruh 16 - 33 tahun dalam tubuh manusia (Laws, 1981). Untuk mengurangi toksisitas logam berat dapat dilakukan pengobatan kelat CaNa<sub>2</sub>EDTA (*Calcium-disodium edetat*) atau lengkapnya etilendiamin tetraacetic Acid, dan Senyawa-senyawa yang mengandung gugus -SH (seperti protein), vitamin E, arsenat dan selenium. Kombinasi antara zat-zat kimia tersebut makin efektif untuk mengurangi toksisitas logam berat, karena senyawa-senyawa tersebut dapat membentuk senyawa kompleks dengan logam berat (Hutagalung, 1984).

Menurut Wood (1983), sifat racun dan batas aman kandungan logam berat bagi manusia tergantung dari :

1. Umur dan jenis binatang yang hidup di perairan
2. Cara masuk ke tubuh, apakah melalui pernafasan atau mulut, khusus bagi logam berat di perairan melalui makanan yang dimakan
3. Sifat fisik dan kimia dari logam
4. Jumlah senyawa logam berat yang terkandung dalam makanan

## Kesimpulan

1. Dalam perairan kadmium terdapat dalam bentuk ion bebas yang bervalensi dua positif ( $Cd^{2+}$ ) dan dalam bentuk ikatan  $CdCl_2$ ,  $CdSO_4$ ,  $Cd(OH)_2$  dan  $CdCO_3$ . Dalam perairan tercemar kadar kadmium berkisar antara 0,2 - 10,5 ppb, sedangkan di perairan tidak tercemar 0,01 - 0,1 ppb.
2. Kadmium masuk ke dalam tubuh organisme perairan dan manusia melalui rantai makanan, hanya sedikit yang diambil langsung dari air. Keberadaan kadmium dalam tubuh ikan, moluska, mamalia dan manusia oleh karena adanya ikatan dengan protein metalothionin dalam tubuh organisme tersebut yang pada akhirnya akan terakumulasi di dalam hati dan ginjal.
3. Pengaruh terberat yang ditimbulkan oleh akumulasi kadmium dalam tubuh organisme perairan adalah pada organ insang, hepatopankreas, dan sistem metabolisme sel, sedangkan pada manusia adalah pada organ hati, ginjal dan tulang.
4. Batas aman kadmium untuk manusia berkisar antara 400 - 500 g/orang atau sama dengan 60 g Cd/hari dengan dosis letal antara 350 - 8900 mg dan waktu paruh 16 - 33 tahun.

## Kepustakaan

1. Alabaster J S Lloyd R. : Water Quality For Fresh Water Fish. Food and Agriculture Organization of The United Nations, London, 1980.
2. Clark J : Coastal Ecosystem Management a Technical Manual for The Conservation of Coastal Zone Resources. John Weley & son, New York, 1977.
3. Darmono dan Arifin C : Kemungkinan kontaminasi dan pencemaran ikan serta organisme laut oleh logam berat. Medika. 11:991,1989.
4. Djarismawati ; Tinjauan terhadap upaya pengendalian pencemaran logam berat dari limbah industri terhadap badan-badan air di Jakarta. Skripsi sarjana Fakultas Kesehatan Masyarakat Indonesia, Jakarta, 1986.
5. Dufuus J H : Enviromental Toxicology. Edward Arnold ltd, London, 1980.
6. Forstner U, Wittmann G T W : Metal Pollution in The Aquatic Environment. Springer Verlag, Berlin, 1981.

## PENGARUH PENCEMARAN KADMIUM

7. Friberg L, Vouk V B : Hand book on The Toxicology of Metals. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Netherlands, 1979.
8. Hutagalung H P : Logam berat dalam lingkungan laut. *Oceana*. 9 : 11, 1984.
9. Laws E A : Aquatic Pollution. Introductory Text. John Weley and son Inc., New York, 1981.
10. Miettinen J K : The Acumulation and Excretion of Heavy Metals in Organism. Dalam : Ecological Toxicology Research Effects of Heavy Metals and Organohalogen Compounds. Mc Intyre A D and Mills C F (Eds.) Plenum Press, New York & London, 1975.
11. Patty F A : Industrial Hygiene and Toxicology. Interscience publisher, New York, 1965.
12. Sanusi H S : Akumulasi logam berat Hg dan Cd pada tubuh ikan bandeng (*Chanos chanos* Farskal). Tesis pasca sarjana Institut Perikanan Bogor, 1985.
13. The Marine Pollution Sub Committhes of The British National Committee on Oceanic Research : The Effects of Marine Pollution. Some Research Needs. The Royal Society, London, 1979.
14. Walbout G L : Health Effects of Environmental Pollutants. The CV Mosby Company, St.Louis, USA, 1973.
15. Waldichuk M : Some Biological Concerns in Heavy metals Pollution. Dalam : Pollution and Physiology of Marine Organism. Vember, F.J and Vemberg, W.B(Eds) Academic Press, New York, 1974.
16. WHO : Health Harzard of The Human Environment. WHO, Geneva, 1974.
17. Wood J M : Biological Cycles for Toxic Elements in The Environment. Academic Press, London, 1983.