

Pencemaran Logam Berat



Pengertian

Logam Berat (*heavy metal*)

Logam - logam yang memiliki berat jenis lebih berat dari 5 gr/cm^3 , (nomor atom 22 – 92 pada system periodik tabel)

Unsur Kelumit (*trace element*)

Adalah unsur yang dibutuhkan oleh tubuh manusia dan hewan tingkat tinggi hanya beberapa miligram seharinya, misalnya besi, iod, dan zink.

Unsur-unsur yang memiliki konsentrasi antara $0,05 - 50 \text{ nM}$.

Sifat Logam

Logam esensial:

Diperlukan dalam proses metabolisme, terutama berikatan dengan protein (metalloprotein dan kompleks logam protein).

Contoh: Fe, Cu, Zn, Co, Mn, Cr, Mo, V, Se, Ni dan Sn.

Contoh metalloprotein:

- ◆ haemoglobin (Fe) dan haemocyanin (Cu),
- ◆ karbonat anhidrase, karboksipeptidase, karbon dehidrogenases (Zn),
- ◆ pyruvate carboxylase (Mn), Vit B12 (Co),
- ◆ xanthine oxidase (Fe dan Mo), cytochrome oxidase (Fe dan Cu).

Sifat Logam

Logam Beracun (Toxic)

Penghambatan aktivitas enzim akan terjadi melalui pembentukan senyawa antara logam berat dengan gugus sulfhidril (S-H). Gugus S-H mudah berikatan dengan ion logam berat yang masuk ke dalam tubuh, akibat dari ikatan yang terbentuk antara gugus S-H dan logam berat, daya kerja yang dimiliki oleh enzim menjadi sangat berkurang atau sama sekali tidak bekerja. Keadaan seperti ini akan merusak sistem metabolisme tubuh.

Contoh : Ag (Argentum → Perak),
Hg (Hydrargyrum →Raksa),
Cu (Cuprum →Tembaga),
Cd (Cadmiun →Kadmium),
Pb (Plumbum→Timbal)

Sumber Logam Berat

Alami:

- Sungai merupakan sumber utama alamiah melalui proses weathering batuan;
- Laut dalam berasal dari aktifitas gunung api dan proses hidrotermal
- Atmosfer melalui turunnya partikel debu ke air laut.

Sumber Logam Berat

Non-Alami:

- **Kegiatan industri seperti penambangan, peleburan, dan kilang**
- **Kegiatan industri pengolahan,**
- **Kegiatan transportasi.**

Penggunaan Logam Berat

Jenis Logam	Jenis Industri
Ag	Industri Listrik (alat konduktor listrik, baterai), Industri Kimia (fotografi, katalis), pengelasan,
Cd	Industri listrik (alat listrik, baterai), industri kimia (pewarna), industri plastik (PVC)
Cu	Industri listrik (elektronik), industri kayu (zat preservatif kayu), industri cat (antikarat)
Hg	Industri kimia (produksi alkali-khlor, pestisida, obat-obatan, katalis), industri listrik (peralatan listrik), industri cat (anti jamur)

Industri Pengguna Logam

Penggunaan	Kandungan Logam
Baterai dan kelistrikan lain	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pewarna dan cat	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Besi campur dan pengelasan	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biosida (pestisida, herbisida, preservasi)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Katalis	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Gelas	As, Sn, Mn
Pupuk	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Plastik	Cd, Sn, Pb
Dental dan kosmetik	Sn, Hg
Textil	Cr, Fe, Al
Refineries/kilang	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Bahan Bakar	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

Pengguna Logam di JABOTABEK

Jenis Industri	Logam Berati
Textil dan Zat pewarna	Pb, Cr, Cd, Ni
Cat	Hg, Pb, Zn, Ni, Cr
Percetakan dan tinta cetak	Cd, Pb
Minyak Pelumas	Cr, Pb, Zn
Logam dan Kawat	Cu, Pb, Zn, Cd
Elektroplating	Cu, Cr, Ni, Zn
Gelas, Keramik, ubin dan teraso	Cr, Pb
Farmasi	Hg, Cr, Zn
Radio, TV, Peralatan Listrik	Hg, Cu, Cr, Zn, Pb, Ni
Pembuatan dry ice	Pb
Baterai kering dan accu	Hg, Cd, Pb, Zn, Ni, Cr
Asembling dan komponen motor	Cu, Cr, Ni, Zn
Plastik PVC	Pb, Zn, Ni, Cr
Penyamaan Kulit	Cr, Zn, Pb
Ban dan karet kompond	Ni, Cr, As

**(Mahbub
dan
Kuslan,
1983)**

Logam Berat di Air (ppm)

Logam	Alami	Jarang Industri	Padat industri	Teluk Jakarta*
		N.E. atlantik	Irlandia Timur	
Cd	0,05	0,04	0,41	29
Cu	3,00	0,26	1,40	-
Pb	0,03	-	1,60	194
Zn	5,00	3,00	6,60	260
Hg	0,05	-	-	0,2

* LAPAN, 1995

Logam Berat di Sedimen (ppm)

Logam	Alami	Dumping area	Smelting area	Teluk Jakarta
		Skotlandia	Norwegia Barat	
Cd	0,20	6,41	850	
Cu	55,00	44,00	12.000	
Pb	12,50	361,00	30.500	
Zn	70,00	631,00	118.000	
Hg	0,08	3,71	-	

Logam Berat di Organisme

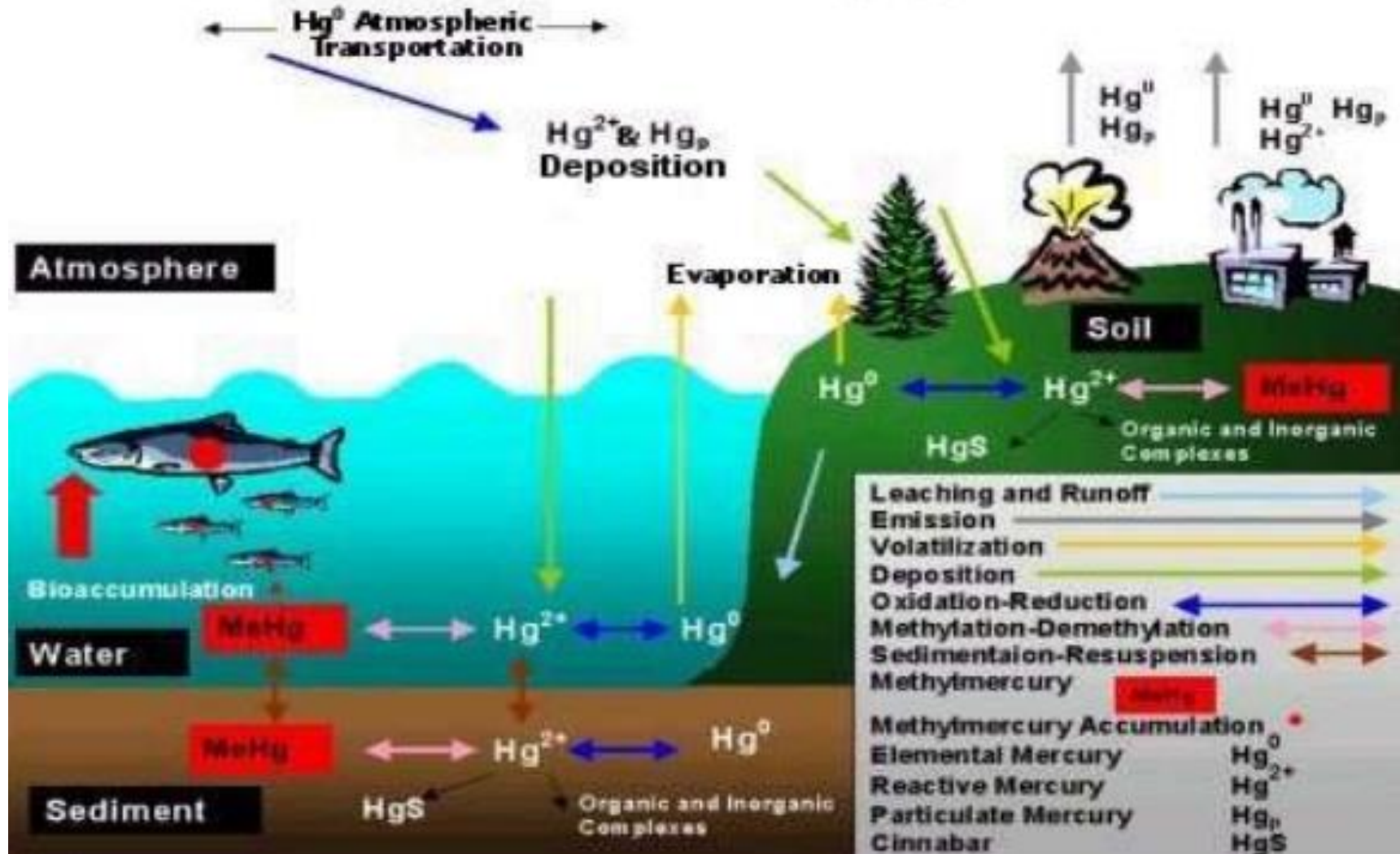
Logam	Fitoplankton (ppm)	Bivalva (ppm)	Seaweeds (ppm)	Kerang Hijau M. Kamal* (ppm)
Cd	2	2	0,5	0,21 – 0,69
Cu	7	10	15	-
Pb	4	5	4	-
Zn	38	100	90	-
Hg	0,17	0,4	0,15	0,003 – 0,0109

“Fate” Logam di Perairan

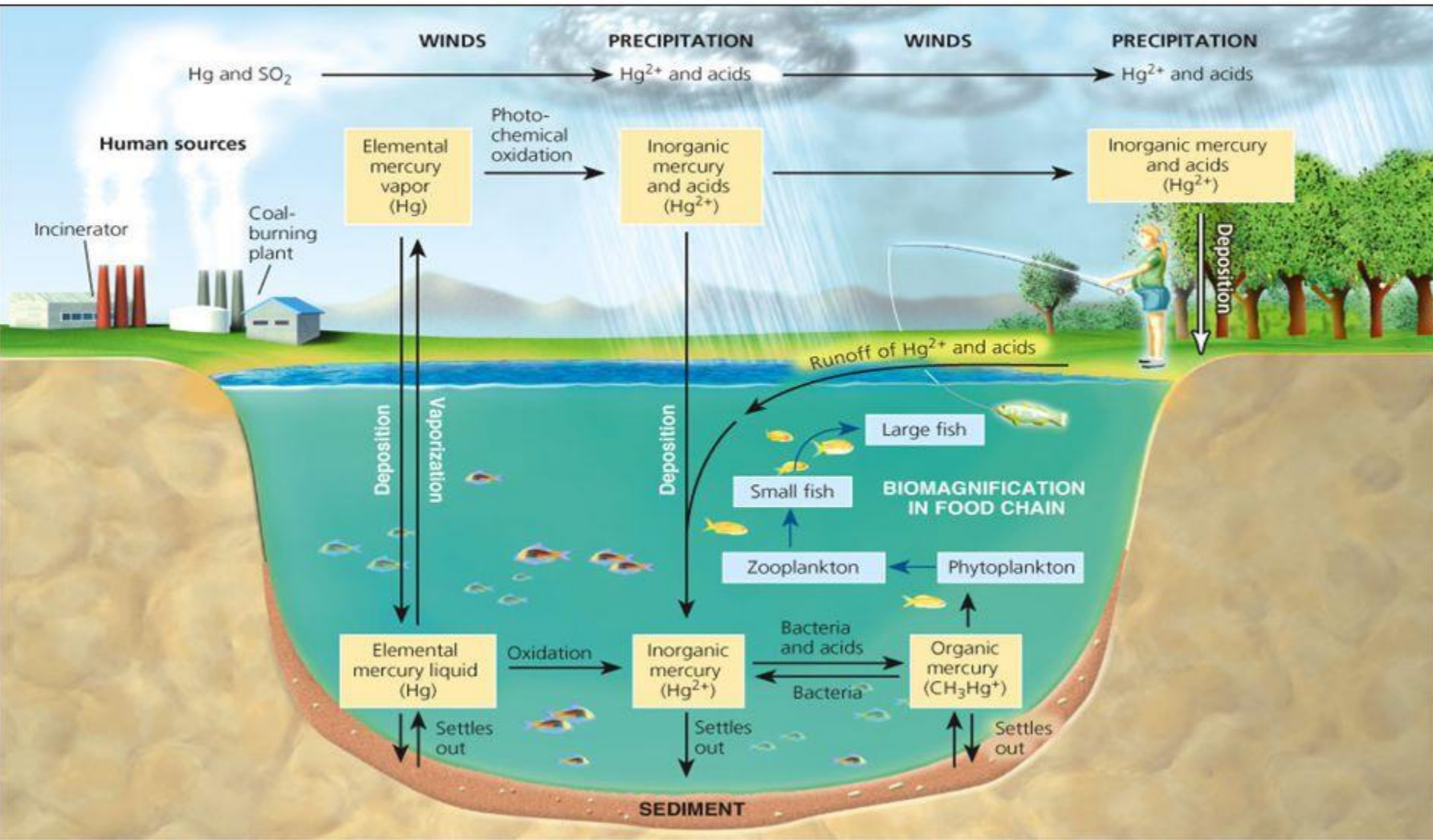
- **Keberadaan logam berat ke dalam komponen lingkungan (air, partikel tersuspensi, sedimen dan biota). Logam di lingkungan air dapat dalam bentuk terlarut, partikel dan kompleks.**
- **Proses utama mengontrol sebaran dan keberadaan adalah pengenceran, adveksi (gerakan masa udara), dispersi (perpindahan), sedimentasi, dan adsorpsi (penyerapan) / desorpsi(pelepasan).**
- **Juga proses kimia seperti spesiasi (munculnya bentuk baru) yang ditentukan oleh konstanta instability kompleks dan sifat fisika-kimia air (pH, ions terlarut, Eh dan temperatur).**

Transpor Merkuri

Conceptual Biogeochemical Mercury Cycle



Siklus merkuri dalam lingkungan akuatik



Presipitasi

- **Presipitasi terbentuk jika konsentrasi terlarut > daya larut;**
- **Logam banyak dalam bentuk terlarut karena daya larut garamnya yang tinggi;**
- **Daya larut terus meningkat dengan keberadaan ion pengomplek;**
- **Daya larut menurun dalam perairan anoxic (tidak ada oksigen) (keberadaan H_2S) dengan terbentuknya logam sulfida tak larut, kecuali Fe dan Mn (sulfidanya mudah larut).**

Adsorpsi

Adsorpsi terjadi pada permukaan partikel seperti Fe_2O_3 , MnO_2 , mineral lumpur dan organisme plankton.

Di daerah estuary, Fe_2O_3 , MnO_2 sangat penting karena konsentrasinya yang tinggi dan mudah mengendap.

- **Logam mudah teradsorpsi, V (Vanadium), Cu (Cuprum → Tembaga), Zn (Zink), Pb (Plumbum → Timbal), Cr^{3+} (Kromium) dan W (Wolfram → Tungsten)**
- **Kurang teradsorpsi, Hg (Hydrargyrum → Raksa);**
- **Tidak mudah teradsorpsi, Co (Cobalt), Ni (Nikel), Mo (Molibdenum), Ag (Argentum → Perak) dan Cr^{6+} .**

Deposisi dan Redistribusi oleh organisme

Deposisi partikel dan logam berat dapat meningkat melalui proses filter-feeding, dimana partikel terikat dalam material organik.

Transportasi logam juga terjadi melalui pergerakan organisme seperti migrasi plankton diurnal. Umumnya (90%) transportasi terjadi melalui faecal pellets, moulting crustacea, kematian hewan dan tanaman.

Transportasi logam mencapai dasar bergantung kedalaman laut, di perairan dalam logam akan terlarut kembali sebelum tenggelam ke dasar.

Faktor Penentu Akumulasi

- **Adsorpsi dari air**
- **Absorpsi dari makanan**
- **Ekskresi**
- **Penyimpanan**
- **Hilangnya logam berat**
- **Pengaturan proses metabolime**

Adsorpsi dari air

Fitoplankton (Diatom, *Phaeodactylum tricornutum*) :

- **Akumulasi melalui proses ion exchange dengan melibatkan protein.**
- **Absorpsi melalui permukaan sel, membran sel, dan ion exchange dalam sel.**

Seawaeeds (*Laminaria digitata*):

Ion exchange melibatkan protein sel dan polysacharida (alginate).

Absorpsi dari makanan

terjadi pada hewan-hewan besar melalui :

Proses Pencernaan

**Zn, Co dan Mn anorganik melalui lambung pada lobster
*Homarus gammarus***

Rantai Makanan

Hg pada ikan tuna tinggi daripada ikan di trophic level lebih rendah

Ekskresi

pengeluaran logam berat dari organisme terjadi melalui :

Insang	: jenis kepiting (Zn)
Lapisan mantel	: pada oyster (Fe)
Kelenjar byssus	: pada kerang hijau (Fe)
Faeces	: jenis ikan (Zn)
Urine	: Cephalopoda (Zn & Cu)

Penyimpanan

Sifat : sementara dan permanen

Tempat : umumnya hati dan ginjal

Polychaeta, epitelium dinding tubuh (Cu & Pb)

Pecten Maximus, hati (Fe, Cd & Cu), ginjal (Zn, Mn & Pb)

Hilangnya logam berat

terjadi pada kelompok isotop (terkait dg waktu paruh)

Pengaturan proses metabolime

terkait dengan kombinasi dari proses absorpsi, ekskresi dan penyimpanan

Konsentrasi Pb, Cu dan Zn di rumput laut (*Laminaria digitata*) cenderung sama dengan konsentrasi dalam air

Toksisitas Logam Berat

1. Toksisitas Letal (mematikan) :

- Digambarkan sebagai LC50, yaitu konsentrasi logam dalam medium untuk mematikan 50% organisme uji dalam periode tertentu 24,48 atau 96 jam
- Dapat juga diindikasikan dengan EC (effective concentration)

Prosedur LC adalah dengan memaparkan organisme pada konsentrasi yang berbeda dan diukur waktu yang diperlukan untuk mematikan 50 %. LC50 ditentukan dengan memplotkan median letal time terhadap konsentrasi media.

Toksisitas Logam Berat

2. Pengaruh Subletal :

Pemaparan logam tanpa menyebabkan pengaruh mematikan, tetapi terjadi perubahan jelas melalui

- **Perubahan morfologi**
- **Pengaruh Gangguan**
- **Perubahan tingkah laku**

Perubahan morfologi

- **Perubahan terutama dari pengaruh sekunder seperti kelaparan akibat dari hambatan dalam pemanfaatan makanan. (Cu, Pb dan Zn pada ikan dan crustacea)**
- **Penggantian sel mucus pada epitelium insang (sel Chloride); 0,18 ppm Cu pada *Pseudopleuronectes americanus* (Ikan sebelah).**
- **Kerusakan Tulang belakang (Zn pada *Phoxinus phoxinus*).**
- **Terbentuknya struktur abnormal dan perkembangan lambat pada larva *Lytechinus pictus* (Bulu babi) terhadap 0,06 ppm Zn**

Pengaruh Gangguan

- **Pertumbuhan dan perkembangan:**
 - **Menurunkan aktifitas fotosintesa fitoplankton**
 - **Hambatan pertumbuhan terjadi pada protozoa, larva, echinodermata, bivalva, dan ikan.**
- **Gangguan proses settlement pada barnacle (0,01 ppm Hg atau Cu).**
- **Gangguan reproduksi (spwaning).**
- **Gangguan metabolisme**

Perubahan tingkah laku

Beberapa ikan mampu mendeteksi tingkat pencemaran, seperti migrasi ikan.

Beberapa Istilah Akumulasi

Pengertian

Biokonsentrasi:

peningkatan konsentrasi polutan dalam suatu organisme akibat tingkat absorpsi jaringan yang melebihi laju metabolisme dan ekskresi.

Bioakumulasi:

peningkatan konsentrasi polutan dalam organ atau jaringan tertentu pada tingkatan lebih tinggi dari kondisi normal biasa.

Biomagnifikasi:

peningkatan konsentrasi seperti DDT, PCB's, dan kimia lain yang sulit terdegradasi dan larut dalam lemak dalam organisme pada urutan tingkatan tropik lebih tinggi dari rantai atau jejaring makanan.

Beberapa Istilah Akumulasi

BCF = Bioconcentration Factors = C_{org}/C_{air}

Konsentrasi polutan dalam jaringan relatif terhadap konsentrasi dalam media (air atau udara). Proses ini bukan berasal dari jalur makanan.

BAF = Bioaccumulation Factors = C_{org}/C_{air}

Nilai langsung dari ratio konsentrasi polutan dalam jaringan thd konsentrasi dalam air

Beberapa Istilah Akumulasi

BMF = Biomagnification Factors = Nilai terkait mundur dengan trophic level terendah

$$\mathbf{BMF}_{TL\ 2} = C_{TL2} / C_{TL1}$$

$$\mathbf{BMF}_{TL\ 3} = C_{TL3} / C_{TL2}$$

$$\mathbf{BMF}_{TL\ 4} = C_{TL4} / C_{TL3}$$

FCM = Food Chain Multipliers = Nilai terkait mundur dengan satu trophic level (TL)

Contoh hubungan FCM dan BMF dalam TL 2, TL3 dan TL4

$$\mathbf{FCM}_{TL\ 2} = (\mathbf{BMF}_{TL2})$$

$$\mathbf{FCM}_{TL\ 3} = (\mathbf{BMF}_{TL2}) (\mathbf{BMF}_{TL3})$$

$$\mathbf{FCM}_{TL\ 4} = (\mathbf{BMF}_{TL2}) (\mathbf{BMF}_{TL3}) (\mathbf{BMF}_{TL4})$$

Contoh Penentuan BAF

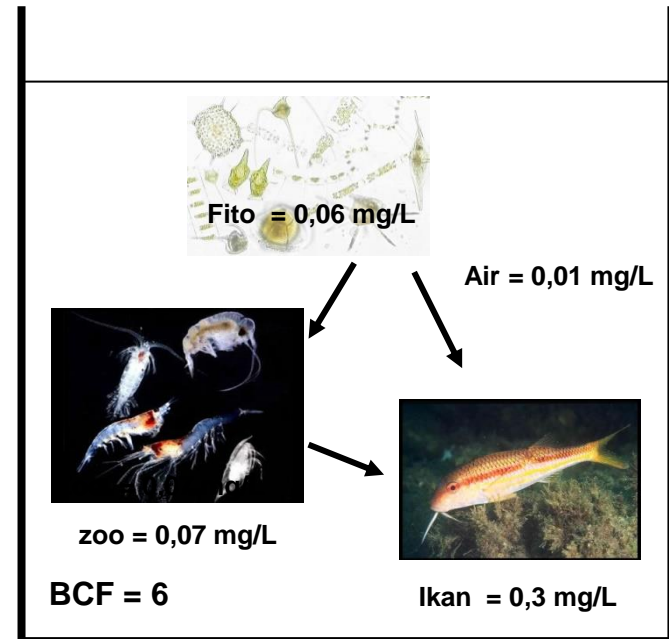
- **Pendugaan Langsung:**

- $BAF_{\text{Fito}} = 0,06 / 0,01 = 6$
- $BAF_{\text{zoo}} = 0,07 / 0,01 = 7$
- $BAF_{\text{ikan}} = 0,3 / 0,01 = 30$

- **Pendugaan Tak Langsung**

- $BMF_{\text{zoo}} = 0,07 / 0,06 = 1,1$
- $FCM_{\text{zoo}} = 0,07 / 0,06 = 1,1$
- $BAF_{\text{zoo}} = 6 \times 1,1 = 6,6$

- $BMF_{\text{ikan}} = 0,3 / 0,07 = 4,2$
- $FCM_{\text{ikan}} = (0,07 / 0,06) \times (0,3 / 0,07) = 4,62$
- $BAF_{\text{ikan}} = 6 \times 4,62 = 27,8$



Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Racun Logam Berat

- **Konsentrasi bahan pencemar** : Bahan pencemar dengan toksisitas tinggi tidak akan terlalu memberi dampak terhadap organisme, apabila masih dalam konsentrasi sangat rendah. Sebaliknya bahan pencemar dengan toksisitas rendah, akan berpengaruh buruk apabila dipaparkan dengan konsentrasi tinggi.
- **Lamanya pemaparan** : Pemaparan yang lebih lama akan memberi dampak kronis yang lebih buruk terhadap organisme perairan
- **Suhu** : toksisitas tembaga (Cu) terhadap isopoda *Exosphaeroma gigas* meningkat seiring dengan kenaikan suhu sebesar 10°C
- **pH** : Untuk sebagian organisme perairan, pH rendah dapat meningkatkan toksisitas logam. Toksisitas aluminium (Al) terhadap ikan salmon *Salmo gairdneri* meningkat pada pH rendah.
- **Salinitas** : Pada beberapa penelitian, toksisitas logam menurun seiring dengan peningkatan salinitas, dimana kejadian sebaliknya juga teramati. Salinitas tidak hanya mempengaruhi geokimia logam, tapi juga pada fisiologi organisme dan sensitivitasnya terhadap pemaparan logam
- **Kesadahan** : Kesadahan berpengaruh terhadap toksisitas logam. Toksisitas logam akan menurun pada perairan dengan kesadahan tinggi. Peningkatan kesadahan sebesar 20 kali lipat menyebabkan toksisitas uranium (U) makrofita *Ceratophyllum demersum* berupa inhibisi pertumbuhan menurun, hingga empat kali.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Racun Logam Berat

Kondisi organisme {
fase hidup
perubahan siklus hidup
umur dan ukuran
jenis kelamin
tanpa makan
aktifitas (cth : molting)
perlindungan tambahan (shell)
adaptasi terhadap logam
tingkah laku

Response

Tingkah laku

Bioakumulasi Metilmerkuri

Partitioning Factors:

- Total konsentrasi di air rendah (mg/L)
- Merkuri unsur terabsorpsi di sedimen
- Metilmerkuri (hasil proses mikrobiologi) paling dominan dan terakumulasi ke organisme

Komposisi Metilmerkuri di Jaring Makanan Danau Onondaga

➤ Air Danau	5 %
➤ Air antara	37 %
➤ Fitoplankton	24 %
➤ Zooplankton	40 %
➤ Makroinvertebrata dasar	26 %
➤ Ikan	96%

Bioakumulasi Metilmerkuri

BCF metilmerkuri sangat bervariasi, log BCF antara 4,84 – 5,8 di ikan salmon dan tergantung pada jaringan yang di analisis.

BCF dan BAF meningkat dengan trophic level lebih tinggi untuk organisme pelagis dan bentik.

FCM :

- **Biokonsentrasi MeHg pada ikan melalui insang dan makanan, kontribusinya masing-masing jalur bervariasi menurut spesies ikan.**
- **Invertebrata persen akumulasi MeHg lebih rendah drpd ikan dan mamalia laut.**
- **Persen MeHg meningkat menurut umur baik invertebrata dan ikan**

Bioakumulasi Metilmerkuri

BMF MeHg:

- **Sumber utama MeHg di lingkungan perairan umumnya dari sedimen.**
- **Akumulasi umumnya melalui jejaring makanan.**
- **Availabilitas MeHg terhadap organisme dapat menurun, jika konsentrasi bahan organik yang tinggi, dan akibat pembentukan kompleks ion Hg dengan sulfur di sedimen.**



Some of the steps in the manufacture of felt hats are illustrated in this image from 1858.



A man working in hat manufacture with no protective equipment, putting him at risk for mercury poisoning

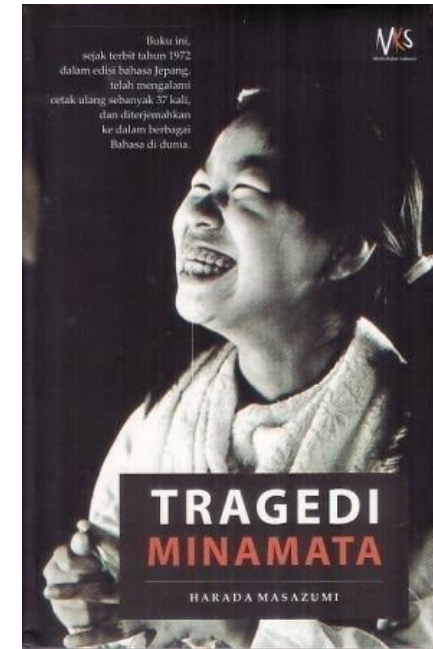
Pada abad ke-19, merkuri anorganik digunakan dalam produksi kain kempa untuk topi. Larutan berwarna oranye yang mengandung merkuri nitrat digunakan sebagai bahan penghalus.

Erethism /erethismus mercurialis/mad hatter disease/ mad hatter syndrome, adalah gangguan neurologis yang mempengaruhi seluruh sistem saraf pusat, serta kompleks gejala, yang berasal dari keracunan merkuri. Eretisme ditandai dengan perubahan perilaku seperti lekas marah, kepercayaan diri rendah, depresi, apatis, rasa malu dan sifat takut-takut, dan dalam beberapa kasus ekstrim dengan paparan uap merkuri yang berkepanjangan, dengan delirium, perubahan kepribadian dan kehilangan memori.

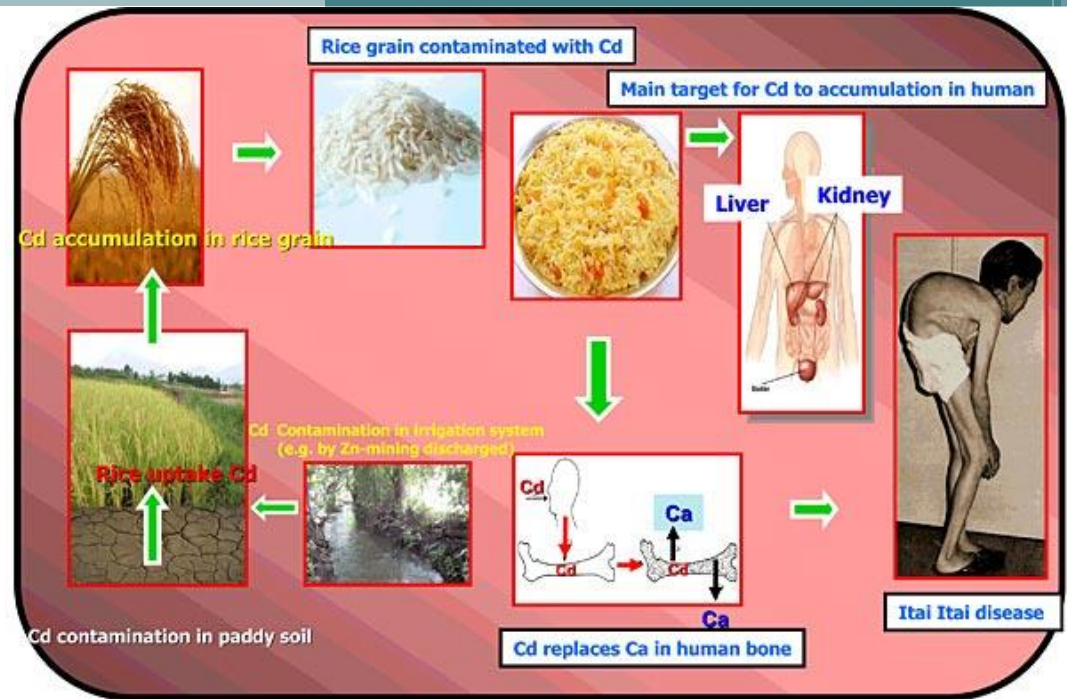
Penyakit minamata adalah penyakit kelainan pada sistem saraf pusat yang muncul pada akhir tahun 1950-an di Teluk Minamata pesisir Laut Shiranui, Jepang.

Menurut Pemerintah Jepang, 1.784 orang mati karena penyakit minamata dan puluhan ribu lainnya menderita gejala berat hingga sekedar gangguan sensori pada sistem sarafnya.

Orang Jepang mempunyai kebiasaan mengonsumsi ikan laut dalam jumlah banyak. Pelepasan limbah methyl merkuri dalam jumlah besar oleh pabrik kimia Chisso Corporation ke teluk Minamata berlangsung selama 36 tahun dan mengakumulasikan limbah merkuri seberat 27 ton



Kasus massal keracunan kadmium yang didokumentasikan di Prefektur Toyama, Jepang Keracunan kadmium ini menyebabkan pelunakan tulang dan gagal ginjal. Nama penyakit ini berdasarkan kata dalam bahasa Jepang yaitu nyeri yang disebabkan pada persendian dan tulang belakang. Istilah **penyakit itai-itai** ini diciptakan oleh penduduk setempat.



Karena keracunan kadmium, ikan di sungai mulai mati, dan padi yang diairi air sungai tidak tumbuh dengan baik. Kadmium dan logam berat lainnya terakumulasi di dasar sungai dan di air sungai. Air ini kemudian digunakan untuk mengairi sawah. Beras menyerap logam berat, terutama kadmium, yang terakumulasi pada masyarakat yang mengonsumsi beras yang tercemar.

CADMIUM

Terdapat bukti akan kemampuan logam-logam berat (arsenic, cadmium, tembaga, timbal, mercury, seng), buangan limbah pabrik kertas dan benzoquinon terklorinasi sebagai faktor etiological pada cacat tulang vertebral pada ikan

PENYAKIT ITAI-ITAI (ADUH-ADUH :

Di Jepang, masyarakat yang hidup di kota dekat dengan pabrik cadmium mulai mendapatkan masalah-masalah dengan tulang yang nyeri, mereka menyebutnya penyakit "itai-itai" yang dapat diterjemahkan sebagai "aduh-aduh". Cadmium telah menyebabkan masalah pada ginjal yang berakibat pada rendahnya Fosfat yang menyebabkan penyakit osteomalacia.

TERIMA KASIH