

Oseana, Volume IX, Nomor 1 : 11-20, 1984

LOGAM BERAT DALAM LINGKUNGAN LAUT

oleh

Horas P Hutagalung¹⁾

ABSTRACT

HEAVY METALS IN MARINE ECOSYSTEM. *Heavy metals are the chemical elements with specific gravity exceeding 5. In the nature, these elements exist in a very low concentration. The heavy metals content in sea water is usually between 10^{-5} to 10^{-2} ppm.*

Heavy metals are needed by marine organisms for their developmental process, but will be hazardous if their concentration is too high. The existing heavy metals in sea water will partly accumulate in certain organisms. Therefore, certain organisms can be used as bio-indicator in pollution study. Clams (bivalve mollusc) are the best bio-indicator for studying heavy metals pollution in marine environment.

PENDAHULUAN

Sekitar 97,2% dari air yang ada di bumi ini adalah air laut, Seperti air tawar, air laut juga mempunyai kemampuan yang besar untuk melarutkan bermacam-macam zat, baik yang berupa gas, cairan maupun padatan. Salah satu zat terlarut yang terdapat dalam air laut adalah logam berat. Unsur atau senyawa logam berat ini dapat masuk ke tubuh organisme yang hidup di perairan laut.

Akhir-akhir ini masalah logam berat semakin banyak mendapat perhatian masyarakat. Hal ini mungkin disebabkan kekhawatiran masyarakat akan terjadinya kasus keracunan logam berat, seperti yang terjadi di Jepang yang telah menimbulkan korban manusia. Di samping itu mungkin juga disebabkan kurangnya informasi tentang logam berat yang diberikan kepada masyarakat.

Tulisan ini akan mencoba memberikan sedikit gambaran tentang sumber, sifat-sifat, toksisitas dan akumulasi logam berat dalam *lingkungan laut*. Semoga tulisan ini dapat mengurangi kekhawatiran masyarakat terhadap unsur atau senyawa logam berat.

LOGAM BERAT SEBAGAI NUTRIEN DAN RACUN

Berdasarkan daya hantar panas dan listriknya, semua unsur-unsur kimia yang terdapat dalam Susunan Berkala Unsur-unsur dapat dibagi atas dua golongan yaitu golongan logam dan non-logam. Golongan logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi, sedangkan unsur-unsur non-logam mempunyai daya hantar panas dan listrik rendah. Berdasarkan densitasnya, unsur-unsur logam dapat pula dibagi atas dua golongan, yaitu golongan logam ringan dan logam berat. Unsur-unsur logam ringan (light metals) mempunyai densitas lebih kecil dari 5, sedangkan unsur-unsur logam berat (heavy metals) mempunyai densitas lebih besar dari 5 (Tabel 1).

Seperti unsur-unsur kimia lainnya, unsur-unsur logam berat juga dibutuhkan oleh organisme hidup dalam berbagai proses metabolisme untuk pertumbuhan dan perkembangan sel-sel tubuhnya. Sebagai contoh, kobal (Co) dibutuhkan untuk pembentukan vitamin B₁₂, besi (Fe) dibutuhkan untuk pembuatan haemoglobin, sedangkan seng (Zn) berfungsi dalam enzim-enzim de-

1) Pusat Penelitian Ekologi, Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI, Jakarta.

hidrogenase. Tetapi unsur logam berat dalam jumlah yang berlebihan akan bersifat racun (WHITTON & SAI 1981, dan PHILLIPS 1980). Toksisitas (daya racun) logam berat tergantung pada jenis, kadar, efek sinergis-antagonis dan bentuk fisika-kimianya. Basil penelitian AHSANULLAH dan ARNOTT (1978) menunjukkan bahwa burayak kepiting, *Paragrapsus quadridentatus* sembilan kali lebih sensitif terhadap Zn daripada kadmium (Cd). Semakin besar kadar logam berat, daya toksisitasnya semakin besar pula. Sebagai contoh, 50% kerang biru, *Mynlus edulis* yang dipelihara dalam air yang mengandung Pb 0,5 ppm mati dalam waktu 150 hari. Sedangkan dalam air yang mengandung Pb=5 ppm, 50% kerang biru tersebut mati dalam waktu 105 hari. Adanya efek sinergis dari beberapa logam, juga akan memperbesar toksisitas logam berat. Misalnya, perak (Ag) bila berkombinasi dengan Cu akan menghasilkan toksisitas yang 10 kali lebih toksik dari raksa (Hg) (BERNHARD 1978). Tembaga (Cu) dalam bentuk ion lebih toksik daripada bentuk organik (HART & DAVIS 1978), Arsen (As) dalam bentuk anorganik lebih toksik daripada bentuk organik, sedangkan Hg dan Pb lebih toksik dalam bentuk organik.

Di samping faktor-faktor tersebut, faktor lingkungan perairan seperti pH, kesadahan, suhu dan salinitas juga turut mempengaruhi toksisitas logam berat. Penurunan pH air menyebabkan toksisitas logam berat makin besar. Sebagai contoh, toksisitas nikel sianida (NiCN) berubah menjadi 1000 kali lebih toksik bila pH turun sebanyak 1,5 (DOUDOROFF *et al.* 1966 dalam ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1975). Kesadahan yang tinggi dapat mengurangi toksisitas logam berat. karena logam berat dalam air dengan kesadahan yang tinggi membentuk senyawa kompleks yang mengendap dalam air. Menurut NAS (1974 dalam WALDICHUK 1974), urutan toksisitas logam berat adalah: $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$

Tabel 1. Densitas, berat atom dan titik cair dari beberapa logam ringan dan berat.

Unsur	berat atom	densitas	titik cair, ° C
logam ringan			
Litium, Li	6,940	0,53	186
Kaiium, K	39,100	0,86	63
Natrium, Na	22,991	0,97	97,7
Kalsium, Ca	40,08	1,54	851
Magnesium, Mg	24,32	1,74	651
Sesium, Ce	132,91	1,9	28
Aluminium, Al	26,98	2,70	660,1
Barian, Ba	137,36	3,5	704
logam berat			
Kromium, Cr	52,01	7,14	1800
Seng, Zn	65,38	7,14	419,5
Timah, Sn	118,70	7,30	231,9
Mangan, Mn	54,94	7,4	1250
Besi, Fe	55,85	7,87	1539
Kadmium, Cd	112,41	8,65	320,9
Nikel, Ni	58,69	8,9	1453
Tembaga, Cu	63,54	8,9	1083,2
Bismut, Bi	209,00	9,8	271,3
Perak, Ag	107,88	10,49	960,8
Timbal, Pb	207,21	11,34	327,4
Raksa, Hg	200,61	13,55	-38,87
Wolfram, W	183,92	19,3	3380
Em as, An	197,23	19,3	1063
Platina, Pt	195,23	21,45	1769
Osmium, Os	190,2	22,6	2700

Sumber: GLINKA, N. s.a.

Daya toksik logam berat terhadap organisme perairan dapat diketahui dengan mengukur LC₅₀ (lethal concentration), LC₅₀ didefinisikan sebagai besarnya konsentrasi logam berat dalam air yang dapat membunuh hewan percobaan sebanyak 50% dalam waktu tertentu. Biasanya waktu yang digunakan adalah 48 atau 96 jam. Semakin kecil nilai LC₅₀, semakin besar sifat toksik logam beratnya. Untuk amannya organisme laut terhadap bahaya keracunan logam berat, maka ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1973) mengusulkan kadar maksimum logam berat dalam air laut seperti tercantum dalam Tabel 2. Penetapan kadar maksimum ini didasarkan pada nilai LC₅₀ dari organisme yang paling sensitif. Hal ini perlu karena bila organisme yang paling sen-

sitif sudah aman, maka organisme yang lain-pun akan aman. Sebagai contoh, bila LC_{50} bagi burayak kepiting, *Carcinus maenas* yang besarnya 0,60 ppm Cu dipakai sebagai baku, maka kehidupan burayak kepiting dari jenis lain seperti, *Paragrapsus quadridentatus* akan terancam oleh bahaya keracunan tembaga (AHSANULLAH & ARNOTT 1978). Bila kadar maksimum dilewati, maka dapat terjadi efek yang merugikan. seperti mengurangi pertumbuhan, menurunkan tingkat perkembang-biakan dan menghambat proses pendewasaan (LAKE *et al.* 1976 dalam HART & DAVIES 1976). Pada kadar yang lebih tinggi lagi, dapat mengakibatkan kematian organisme laut.

Banyak penelitian yang dilakukan para ahli untuk mengetahui jenis zat kimia yang dapat mengurangi toksisitas logam berat. Beberapa peneliti menunjukkan bahwa senyawa-senyawa yang mengandung gugus -SH (seperti protein), vitamin E, etilen diamin tetra asetat (EDTA) dan arsenat dapat mengurangi toksisitas logam berat STILLING 1974 dalam RIMERMAN 1977). Senyawa-senyawa ini dapat membentuk senyawa kompleks dengan logam berat. Terakhir RIMERMAN *et. al.* (1977) dan THROWER (1979) menunjukkan bahwa selenium dapat juga mengurangi toksisitas logam berat. Kombinasi selenium dengan zat-zat kimia, seperti vitamin E, EDTA dan lain-lainnya semakin efektif untuk mengurangi toksisitas logam berat.

SUMBER PENCEMAR LOGAM BERAT YANG POTENSIL

Secara alamiah, unsur-unsur logam berat terdapat di seluruh alam, namun dalam kadar yang sangat rendah (BERNHARD 1978). Dalam air laut kadar logam berat berkisar antara 10^{-5} - 10^{-2} ppm (label 2). Kadar

ini akan meningkat bila limbah perkotaan, pertambangan, pertanian dan perindustrian yang banyak mengandung logam berat masuk ke lingkungan laut.

Dari jenis-jenis limbah ini, umumnya yang paling banyak mengandung logam berat adalah limbah industri. Hal ini disebabkan senyawa atau unsur logam berat sangat banyak dimanfaatkan dalam industri, baik sebagai bahan baku, katalisator, fungisida maupun sebagai "additive" (Tabel 3). Limbah industri yang banyak mengandung logam berat ini akan terbawa oleh sungai atau udara ke dalam laut. Oleh karena itu limbah industri merupakan sumber pencemar logam berat yang potensial bagi perairan laut. Sebagai contoh, pencemaran raksa (Hg) di Jepang yang terkenal dengan "tragedi Minamata" berasal dari limbah industri plastik yang memakai senyawa raksa-klorida sebagai katalisator (IRUKAYAMA 1979). Pencemaran raksa yang pernah terjadi di Swedia dan Finlandia juga berasal dari limbah industri yaitu industri kertas dan daging. Dalam industri ini, senyawa raksa dipakai sebagai pengawet (DYBERN 1972). Jenis-jenis industri yang sama umumnya memakai bahan baku yang sama. Jumlah dan jenis logam berat yang terdapat dalam limbah industri tergantung pada jenis dan proses industri-nya sendiri. Oleh karena itu, dari jenis industri yang ada pada suatu daerah dapat diramalkan jenis pencemaran logam berat yang mungkin akan terjadi. Misalnya untuk perairan laut yang banyak menampung limbah industri kayu, jenis pencemaran logam berat yang mungkin akan terjadi adalah Cu, Cr dan As. Hal ini disebabkan senyawa tembaga-krom-arsenat (CCA) atau senyawa tembaga-krom-borat (CCB) banyak dipakai sebagai bahan pengawet kayu (SUPRIANA 1978).

Tabel 2. Kadar normal, kadar maksimum, faktor konsentrasi berbagai logam berat dan cara masuknya ke lingkungan laut.

Unsur	kadar (ppb)		faktor konsentrasi						masuk ke lingkungan laut (C).		
	normal (A)	maksimum (B)	fp	zp	makro-invertebrata	ikan					
Antimon (Sb)	0,33	200			300				tidak diketahui		
Bismut (Bi)	0,02	-	-	-	1000						
Kadmium (Cd)	0,11	10	1694	9440	82000	-	182000	180	730	sungai, udara	
Kromium (Cr)	0,2	50	34	65		-				sungai, tidak diketahui	
Kobal (Co)	0,05		190	365		-				sungai	
Ternbaga (Cu)	2	50	38	437	24000	-	35000	50	250	dumping, sungai dan udara	
Besi (Fe)	3,4	300	2400	5430		-		130	660	dumping, sungai	
Tin (Pb)	0,03	50	2087	15500	7000	-	100000	6000	-	10000	udara, sungai
Mangan (Mn)	1,9	100	158	290		-		16	-	26	dumping, sungai
Raksa (Hg)	0,15	0,1	180	172		-		530	-	12000	sungai, udara
Molibden (Mo)	10	20	10	20		-			-		dumping, sungai
Nikel (Ni)	2	100	41	149		-					sungai
Rubidium (Rb)	120	-	-	-		-					-
Perak (Ag)	0,28	5	98	117		-					sungai
Talium (Tl)	0,01	5	-	-		-					-
Torium (Th)	0,0005	-	-	-		-					-
Titanium (Ti)	1	-	290	550		-					-
Uranium (U)	3,3	500	-	-		-					-
Vanadium (V)	1,9	-	100	200		-					udara
Seng (Zn)	2	100	113	1800	148000			1600	-	2100	dumping, sungai dan udara
					172000		-	290000			udara

Keterangan : fp = fitoplankton
zp = zooplankton

A = sumber WALDICHUK (1974)
B = sumber ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1973)
C = sumber PHILLIPS (1980)

Tabel 3. Pemakaian unsur-unsur logam berat dalam berbagai industri.

Unsur	jenis pemakaian
Ag	fotografi, konduktor listrik, perhiasan mata uang, batere, mata uang logam, elektro-plating, katalisator, pateri.
Cd	elektroplating, pigment (bahan cat warna), penahan panas dalam alat-alat pabrik, batere, campuran logam.
Co	terutama campuran logam. katalis, pigment, lapisan email, "glazes", elektro-plating.
Cr	campuran logam, "refractory bricks", elektro-plating, cat, pengawet kayu. tannin.
Cu	alat-alat listrik. campuran logam, katalis, algisida, pengawet kayu, "ami-fouling paint".
Fe	industri besi dan baja.
Hg	produksi alakali-klor, alat-alat listrik, "anti mildew paint", obat-obatan, bio-sida (fungisida, herbisida, insektisida), kertas.
Mn	campuran logam, batere kering, industri kimia, gelas, pewarna keramik.
Mo	campuran logam, katalis, pigment, gelas. "lubricant and oiladditive".
Ni	campuran logam, elektro-plating, katalis.
Pb	batere, bahan bakar mobil, pigment, bahan peledak. pateri, "cable covering", "anti-faouling paint".
Sb	"antimonial lead", plastik, keramik, gelas, barang-barang kimia tahan api. "bearing metal", pigment.
Sn	plat timah, pateri, reduktor kimia, fungisida, campuran logam, "anti-fouling paint".
V	campuran logam, katalis.
Zn	lapisan campuran logam, galvanisir, cat, batere, karet.

BIO-AKUMULASI

Bila bahan cemaran (pollutant) masuk ke dalam lingkungan laut, maka bahan cemaran ini akan mengalami tiga macam proses akumulasi, yaitu proses fisik, kimia dan biologis (Gambar 1). Akumulasi melalui proses biologik inilah yang disebut bio-akumulasi.

Studi yang diarahkan untuk mengetahui komposisi mineral dari organisme air dimulai di Rusia pada tahun 1923 oleh VERNAD-

SKY, pendiri Lembaga Biokimia Rusia. Ia menduga bahwa organisme perairan mengambil unsur-unsur tertentu dari air dan memekatkannya dalam tubuhnya sampai seratus atau seribu kali lebih besar dari kadar dalam air (VERNADSKY dalam KHRISTOFOROVA 1981). Dugaan ini akhirnya dibuktikan oleh VINOGRADOV pada tahun 1953 (dalam KHRISTOFOROVA 1981). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa

kadar logam berat yang terdapat dalam tubuh organisme laut lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar logam berat yang terdapat dalam lingkungan hidupnya. Kemudian penelitian dengan cara "bio-assay" banyak dilakukan para ahli. LOWMAN (1960 dalam WALDICHUK 1974) meneliti kadar logam berat Co-60 dalam organisme dengan metode radio-nuklida. Hasilnya juga menunjukkan bahwa kadar Co-60 dalam tubuh organisme percobaan juga lebih tinggi dari kadar Co-60 yang terdapat dalam lingkungan hidupnya.

Unsur-unsur logam berat dapat masuk ke dalam tubuh organisme laut dengan tiga cara yaitu melalui rantai makanan, insang dan diffusi melalui permukaan kulit (ROMERILL 1971 dalam MANDELLI 1976). Sedangkan pengeluaran logam berat dari tubuh organisme laut melalui dua cara yaitu ekskresi melalui permukaan tubuh dan insang serta melalui isi perut dan urine (BRYAN 1971 dalam MANDELLI 1976). Sebagian besar logam berat masuk ke dalam tubuh hewan laut melalui rantai makanan, hanya sedikit yang diambil langsung dari air (PENTREATH 1973 dalam WALDICHUK 1974). Fitoplankton yang merupakan awal dari rantai makanan mengambil logam berat dari air melalui proses absorpsi. Fitoplankton akan dimangsa oleh zooplankton, zooplankton dimangsa oleh ikan-ikan kecil, ikan kecil dimangsa oleh ikan yang lebih besar, demikian seterusnya (Gambar 2). Oleh karena proses mangsa-memangsa ini diikuti oleh proses akumulasi, maka pemangsa yang berukuran besar seperti ikan cucut pedang dan tuna akan mengandung kadar logam berat yang tinggi (BLIGH & ARMSTRONG 1971 dalam RATKOWSKY 1975). Tetapi kandungan logam berat yang tertinggi umumnya ditemukan pada invertebrata dari jenis "filter feeder" (PLASKET & POTTER 1979). Manusia bisa menjadi pemangsa yang terakhir (CASPER 1975). Akumulasi terjadi karena logam berat yang masuk ke tubuh organisme cenderung mem-

bentuk senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam tubuh organisme. Dengan demikian logam berat terfiksasi dan tidak diekskresi oleh organisme yang bersangkutan (WALDICHUK 1974). Faktor konsentrasi (kemampuan organisme untuk mengakumulasi logam berat) didefinisikan sebagai perbandingan antara kadar logam berat dalam organisme dan dalam airnya, Faktor konsentrasi ini tergantung pada jenis logam berat, jenis organisme, lama pemaparan, serta kondisi lingkungan perairan seperti pH, temperatur dan salinitas. Sebagai contoh, ikan yang dipelihara dalam air yang mengandung $Cd^{2+} = 10$ ppm, bisa mengandung Cd^{2+} sampai 113 ppm. Sedangkan jenis moluska dapat mengakumulasi Cd^{2+} sampai 352 kali lebih tinggi dari kadar Cd^{2+} yang terdapat dalam airnya (EISLER 1971 dalam WALDICHUK 1974) Hasil penelitian WALDICHUK (1974) menunjukkan kenaikan suhu, penurunan pH dan salinitas perairan menyebabkan tingkat bio-akumulasi semakin besar.

BIO-INDIKATOR PENCEMARAN LOGAM BERAT

Dalam lingkungan perairan ada tiga media yang dapat dipakai sebagai indikator pencemaran logam berat, yaitu air, sedimen dan organisme hidup. Pemakaian organisme hidup sebagai indikator pencemaran inilah yang disebut bio-indikator.

Setiap lingkungan perairan alami dihuni oleh berbagai organisme hidup dan semua organisme hidup ini berada dalam suatu sistem trofik (trophic level). Masuknya bahan cemaran ke dalam perairan akan membunuh organisme yang paling sensitif. Bila bahan cemaran terus masuk, maka organisme yang paling sensitif berikutnya akan terbunuh. Demikian seterusnya, dan penambahan bahan cemaran terakhir akan membunuh moluska kelompok "filter feeder" pemakan serasah. Pemasukan bahan cemaran ke lingkungan perairan dapat juga mengganggu daur pakan (food cycle).

Tumbuh-tumbuhan akan terbunuh oleh bahan cemaran. Terbunuhnya tumbuh-tumbuhan ini mengakibatkan hewan-hewan herbivora tidak dapat hidup dalam waktu yang lama. Hilangnya hewan-hewan herbivora ini akan mengganggu kehidupan hewan-hewan karnivora. Oleh karena itu organisme laut dapat dipakai sebagai bio-indikator pencemaran. Pemakaian organisme laut sebagai indikator pencemaran didasarkan pada kenyataan bahwa alam atau lingkungan yang tidak tercemar akan ditandai oleh kondisi biologis yang seimbang dan mengandung kehidupan yang beraneka ragam (REISH 1972).

Dalam penelitian pencemaran perairan laut, agar didapatkan data yang betul-betul mewakili perairan yang diteliti, maka dari semua organisme hidup yang ada dalam perairan tersebut harus dipilih organisme mana yang paling bisa menggambarkan kondisi lingkungan yang sebenarnya. Sebagai contoh, fitoplankton walaupun memiliki kemampuan yang besar untuk mengakumulasi logam berat, namun pemakaian fitoplankton sebagai bio-indikator kurang menggambarkan kondisi lingkungan yang sebenarnya. Hal ini disebabkan gerakan fitoplankton sangat dipengaruhi oleh arus dan gelombang laut. Pemakaian jenis-jenis ikan juga kurang tepat karena gerakannya yang sangat luas. Kecuali kalau ikan tersebut tetap berada dalam lingkungan perairan tertentu (tidak bermigrasi), seperti ikan baji-baji, *Platycephalus bassensis*, atau, *Platycephalus indicus* (RATKOWSKY 1975; PHILLIPS 1980). Dalam pemilihan organisme laut sebagai bio-indikator pencemaran, BUTLER *et al.* (1971 dalam PHILLIPS 1980) memberikan beberapa pedoman sebagai berikut:

1. Harus dapat mengakumulasi bahan cemaran, tanpa dia sendiri mati terbunuh.
2. Harus terdapat dalam jumlah yang banyak di seluruh daerah penelitian.

3. Terikat pada suatu tempat yang keras agar bisa mewakili daerah yang diteliti.
4. Hidup dalam waktu yang lama untuk memungkinkan sampling lebih dari satu tahun jika dibutuhkan.
5. Mempunyai ukuran yang memadai untuk ukuran analisa.
6. Mudah diambil dan tidak cepat rusak.

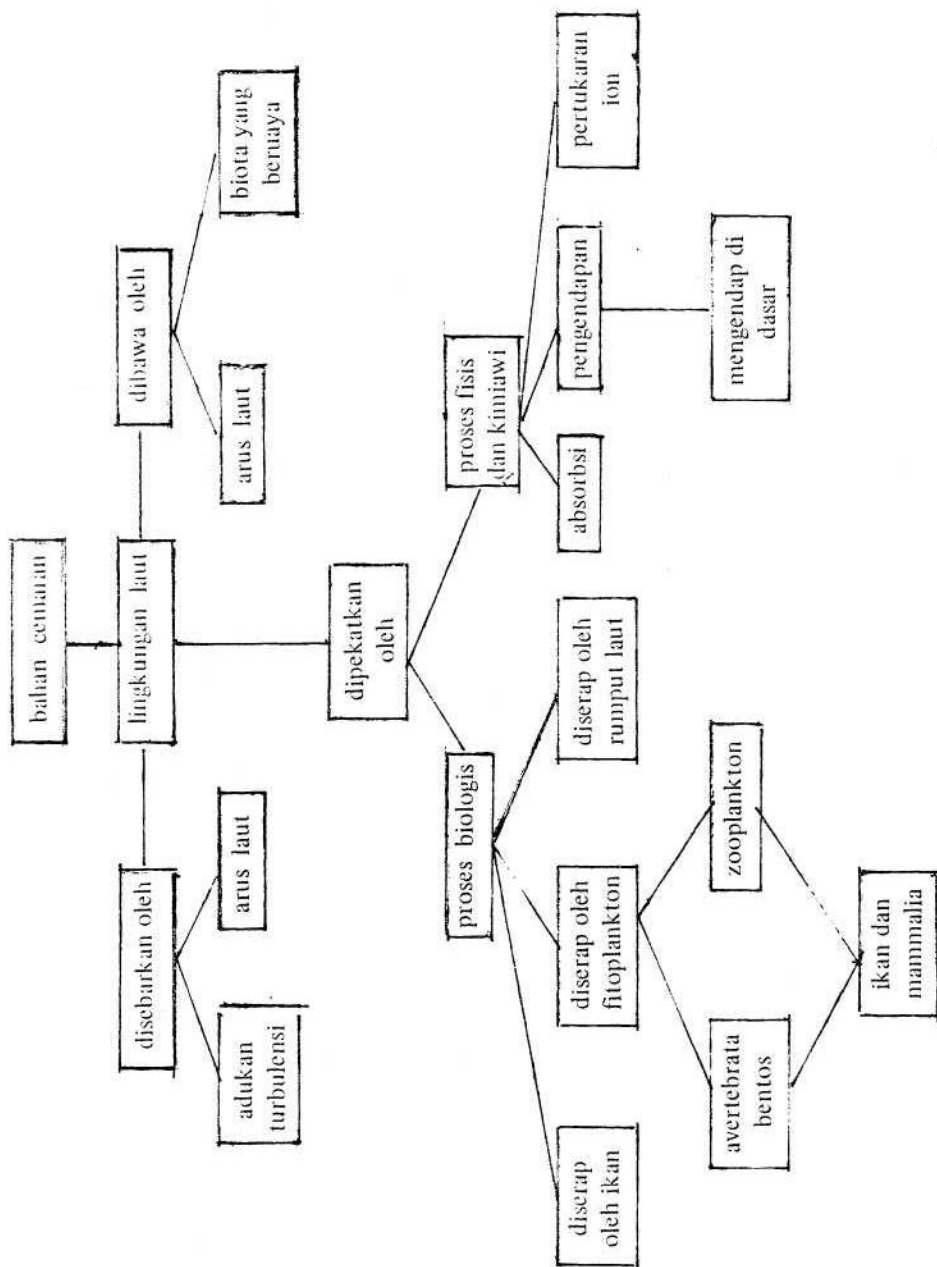
Oleh HAUG *et al.* (1974 dalam PHILLIPS 1980) menambah pedoman ini dengan :

7. Mempunyai toleransi terhadap air payau untuk memungkinkan penelitian di daerah estuaria.
8. Harus ada korelasi antara kadar bahan cemaran dalam air dan dalam organisme.

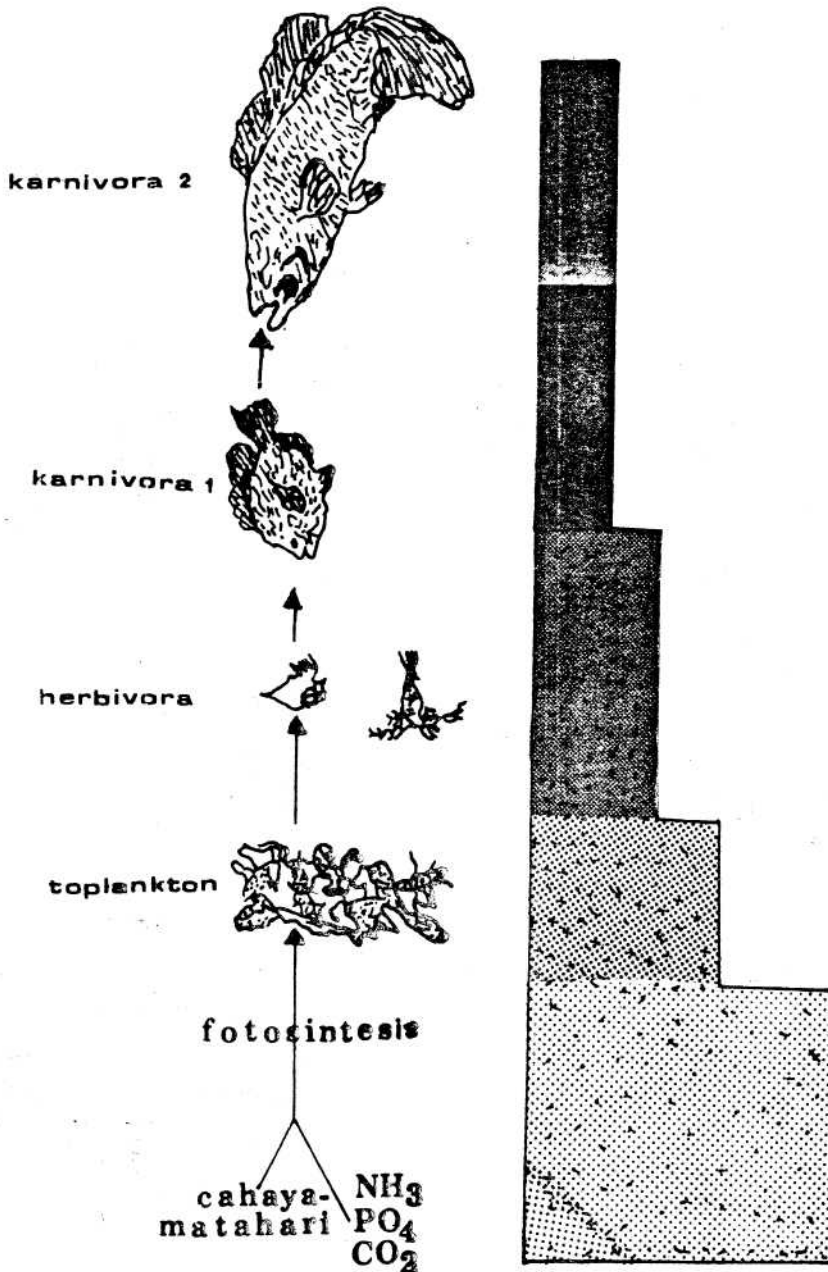
PHILLIPS (1980) menyatakan bahwa jenis kerang (moluska bivalvia) dan makro-algae merupakan bio-indikator yang paling tepat dan efisien. Dari jenis kerang, yang merupakan pilihan pertama adalah kerang biru, *Mytilus edulis*. Kerang biru menjadi pilihan pertama karena di samping memenuhi pedoman di atas, juga merupakan "highly specialized filter feeder" dan mempunyai toleransi yang besar terhadap perubahan lingkungan. Pilihan kedua adalah tiram raksasa, *Crassostrea gigas*, karena merupakan "filter feeder" dan makanannya terutama serasah yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan hewan. Kerang biru, *Mytilus edulis* telah dipakai sebagai bio-indikator pencemaran logam berat di negara-negara Eropa, Amerika dan Inggris. Bagi negara-negara Asia Tenggara, PHILLIPS (1980) mengusulkan untuk memakai kerang dara, *Anadara granosa* atau tiram, *Crassostrea cucullata* dari kelompok moluska bivalvia dan *Platycephalus indicus* atau *Platycephalus bassensis* dari kelompok ikan sebagai bio-indikator pencemaran logam berat. Kelihatannya, pemilihan bio-indikator yang diusulkan oleh PHILLIPS tersebut dapat diterapkan untuk Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- AHSANULLAH, M dan G.H. ARNOTT 1978 Acute toxicity of copper, cadmium and zinc to larvae of the crab, *Paragrapsus quaddentatus* (H. Milne Edwards) and implication for water quality criteria. *Aust. J. Mar. Freshw. Res* 29 (1-4). 1-55.
- BENHARD, M 1978 Impact and control of heavy metals and chlorinated hydrocarbons in the marine environment. *WHO training course on coastal pollution control*. Vol III. Denmark. 991 -1015.
- GASPERS, H. 1975 *Pollution in coastal waters*. An interim report on result of Priority Programme of the German Research Society (1966 -1977). Harold Boldt Verlag K.G. Boppard. 31 -49.
- DYBERN, B.I. 1972 Pollution in the Baltic. *Dalam "Marine Pollution and sea life"* (M.RUIVO ed) FAO Fishing News (Books) Ltd. England. 15-23.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1973 *Water quality criteria 1972*. Ecological research series. Washington. 595 Hlm.
- GLINKA N. s.a *General chemistry*. Peace Publisher Moscow. 507.
- HART B.I dan S.H.R. DAVIES 1978 A study of the physico-chemical forms of trace metals in natural waters and waste-water. Departement of National Development. *Technical Paper No. 35 Aust Water Resources Council*. 140 hal.
- IRUKAYAMA, K 1969 The pollution of Minamata Bay and Minamata disease. *Dalam* : "River pollution II" (KLEIN edt). 153 - 165.
- KHRISTOFOROVA, N. 1981 USSR National Report to the WESTPAC Task Team Meeting. *Dalam* "IOC WESTPAC task team meeting on marine pollution research and monitoring using commercially exploited shellfish as determinants". UNESCO. Manila. 25 Hlm.
- MANDELLI, E. 1976 Monitoring of trace elements other than radio-nuclides. *Dalam* "Manual of methods in aquatic environment research". FAO Fisheries technical paper. No. 150. Part II. 27 - 37.
- PLASKET, D dan JC POTTER 1979 Heavy metals concentration in the muscle tissue of 12 species of teleost from Cockburn Sound, Western Australia. *Aust. J. Mar Freshw. Res.* 30 (5): 607-616.
- PHILLIPS, D.J.H. 1980 Proposal for monitoring studies on the concentration of the East Asian Seas by trace metals and organochlorines. *Dalam* "South China fisheries development and coordinating programme". FAO. Manila. 7 Hlm.
- RATSKOWSKY, D.A; T.G.DIX dan K.C. WILSON 1975 Mercury in fish in the Derwent Estuary, Tasmania and its relation to the position of the fish in the food-chain. *Aust J. Mar. Freshw. Res* 26. 223 - 231.
- REISH, D.J. 1972 The use of marine invertebrates as indicators of varying degrees of marine pollution. *Dalam* "Marine pollution and sea life" (RUIVO edt). FAO. Fishing News (Books) Ltd. England. 203 - 207.
- RIMERMAN, R.A.; D.R. BUHLER dan P.D. WHANGER 1977 Metabolic interaction of selenium with heavy metals. *Dalam* "Biochemical effect of environmental pollution" (LEE edt). Ann Arbor Science Publ. Inc. 478 Hlm.
- SUPRIANA, N. 1978 Beberapa aspek pencemaran air dan lingkungan dalam industri pengawetan kayu. *Dalam* "Seminar pengendalian pencemaran air". Direktorat Jenderal Pengairan. Departemen Pekerjaan Umum. DPMA. Bandung. 198-221.
- THROWERS, SJ. 1979 Selenium counteract toxicity of mercury in fish. *Aust. Fisheries*. 47 -51.
- WALDICHUK, M. 1974 Some biological concern in metals pollution. *Dalam* "Pollution and physiology of marine organisms" (VERNBERG & VERNBERG eds.) Acad. Press. London. 1 - 45.



Gambar 1. Proses yang dialami bahan cemaran bila masuk ke lingkungan laut. (Dikutip dari ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1973)



Gambar 2. Rantai makanan dan akumulasi bahan cemaran. Gambar kanan menunjukkan biomassa pada struktur trofik, titik-titik jarang menunjukkan kadar cemaran rendah dan meningkat dengan bertambah rapatnya titik-titik.