

PENCEMARAN
LOGAM BERAT MERKURI (Hg) PADA AIRTANAH

Thomas Triadi Putranto *)

Abstract

The earth consists largely of water because the land area is smaller than the ocean. Human beings on this earth can not escape the need for water. Water is the main requirement for the process of life on the earth. Relatively clean water that is coveted by men, whether for purposes of daily life, for industrial purposes, for the cleanliness of city sanitation, as well as for agricultural purposes and so forth. Heavy metal pollution is a very serious issue to be handled, because of adverse environmental and ecosystem in general. Heavy metallic element is the element which has a density of more than 5 gr/cm³. Hg has a density of 13.55 gr/cm³. Disaster is an outbreak of Minamata mercury poisoning in people who eat fish contaminated by mercury in Minamata Japan, and this event is known as Minamata Disease. Efforts to tackle the heavy metal pollution can actually be done using a chemical process or by microorganism such as microbes and bacteria.

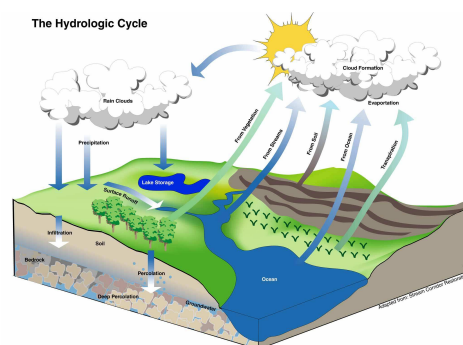
Keywords : Groundwater, heavy metals, mercury, and effects of mercury poisoning.

Pendahuluan

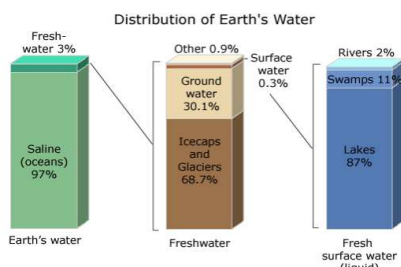
Airtanah

Airtanah atau air bawah tanah adalah air yang terdapat dibawah permukaan tanah pada lapisan tanah yang mengandung air (Anonim, 2001).

Siklus yang tak ada akhirnya tentang air antara samudra, atmosfer dan daratan disebut dengan siklus hidrologi. perputaran yang diperankan oleh energi matahari. Tenaga gravitasi dari dalam terhadap siklus hidrologi datang sebagai presipitasi dalam bentuk hujan dan lelehan salju. Sedangkan tenaga dari luar menghasilkan arus – arus, penguapan dari permukaan badan air / tanah dan ter-transpirasi dari tanah oleh tumbuhan. Untuk kandungan air di dunia, lihat gambar 1.



Gambar 2 Siklus Hidrologi (Anonim, 2007b)



Gambar 1. Distribusi air di dunia (Anonim, 2010)

Seperti hujan di bumi, beberapa arus turun dari bukit sebagai aliran yang mengalir ke dalam arus, danau, atau laut.

Beberapa penguapan ditangkap oleh tumbuhan dan sisanya menetes kebawah masuk di bawah permukaan tanah dan batuan. Air ini secepatnya menjangkau permukaan air di bawah tanah. Air disuplai dari daerah discharge danau, dan sungai pada tempat dimana permukaan air bertemu dengan permukaan daratan seperti pada gambar 2.

Matahari menyebabkan air permukaan ini menguap dan terakumulasi ke atmosfer dan awan mulai terbentuk, dan siklus hidrologi baru mulai terbentuk (Anonim, 2003).

Proses Terbentuknya Airtanah

Lapisan di dalam bumi yang dengan mudah dapat membawa atau menghantar air disebut lapisan pembawa air, pengantar air atau akuifer. Yang biasanya dapat merupakan penghantar yang baik ialah lapisan pasir dan kerikil, atau di daerah tertentu, lava dan batu gamping.

Penyembuhan atau pengisian kembali air yang ada dalam tanah itu berlangsung akibat curah hujan, yang sebagian meresap ke dalam tanah. Hal tersebut terkait pada jenis tanah dan batuan yang melapisi suatu daerah dengan curah hujan yang meresap kedalam bumi dalam jumlah besar atau kecil.

Porositas tidak lain ialah jumlah ruang kosong dalam lapisan tanah atau batuan. Kebanyakan orang menyatakan besarannya dalam jumlah persen. Bahan yang dengan mudah dapat dilalui air bisa disebut sebagai kelulusan. Kelulusan tanah atau batuan merupakan ukuran mudah atau tidaknya bahan itu dilalui air. Pasir misalnya, adalah bahan yang mudah dilalui air melewati pasir kasar dengan kecepatan antara 10 dan 100 m/detik. Dalam lempeng, angka ini lebih kecil, tetapi dalam kerikil lebih besar.

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Airtanah dapat dibedakan atas airtanah tertekan (*Confined aquifer*) dan yang tidak tertekan (*Unconfined Aquifer*). Yang tertekan disebut juga air artesis, yakni air pada lapisan pembawa yang terapat oleh dua lapisan kedap. Jika orang membor tanah dan menjumpai air tertekan, permukaan air itu bahkan dapat menyembur keluar.

Yang dimaksud dengan airtanah yang tak tertekan atau airtanah bebas, ialah airtanah yang tidak terapat oleh lapisan penyekap. Inilah airtanah yang biasanya kita jumpai jika kita membuat sumur gali. Batas atas airtanah bebas disebut muka airtanah, yang sekaligus juga merupakan batas jalur jenuh. Menurut tempatnya, airtanah bebas dapat dijumpai pada kedalaman yang berbeda-beda. Di daratan, kedalaman airtanah itu mungkin hanya 2 -3 meter, atau di tempat tertentu, bahkan kurang dari itu, sehingga air muncul kepermukaan. Sebaliknya di daerah pegunungan kedalaman airtanah bebas dapat mencapai puluhan meter (Wardhana, 1998).

Polusi Air Dan Penyebab Polusi Air

Planet bumi sebagian besar terdiri atas air karena luas daratan memang lebih kecil dibandingkan dengan luas lautan. Makhluk hidup yang ada di bumi ini tidak dapat terlepas dari kebutuhan akan air. Air merupakan kebutuhan utama bagi proses kehidupan di bumi ini. Tidak akan ada kehidupan seandainya di bumi ini tidak ada air. Air yang relatif bersih sangat didambakan oleh manusia, baik untuk keperluan hidup sehari-hari, untuk keperluan industri, untuk kebersihan sanitasi kota, maupun untuk keperluan pertanian dan lain sebagainya.

Dewasa ini air menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian yang seksama dan cermat. Untuk mendapatkan air yang baik, sesuai dengan standar tertentu, saat ini menjadi barang yang mahal karena air sudah banyak tercemar oleh bermacam-macam limbah dari hasil kegiatan manusia, baik limbah dari kegiatan rumah tangga, limbah dari kegiatan industri dan kegiatan-kegiatan lainnya.

Air yang ada di bumi ini tidak pernah terdapat dalam keadaan murni bersih, tetapi selalu ada senyawa atau mineral (unsur) lain yang terlarut di dalamnya. Hal ini tidak berarti bahwa semua air di bumi ini telah tercemar. Sebagai contoh, air yang diambil dari mata air di pegunungan dan air hujan. Keduanya dapat dianggap sebagai air yang bersih, namun senyawa atau mineral (unsur) yang terdapat di dalamnya berlainan seperti tampak pada keterangan berikut ini: Air hujan mengandung: SO_4 , Cl, NH_3 , CO_2 , N_2 , C, O_2 , debu.

Air dari mata air mengandung: Na, Mg, Ca, Fe, O_2 Selain daripada itu air seringkali juga mengandung bakteri atau mikroorganisme lainnya. Air yang mengandung bakteri atau mikroorganisme tidak dapat langsung digunakan sebagai air minum tetapi harus direbus dulu agar bakteri dan mikroorganismenya mati. Pada batas-batas tertentu air minum justru diharapkan mengandung mineral agar air itu terasa segar. Air murni tanpa mineral justru tidak enak untuk diminum (Wardhana, 1998).

Pemanfaatan airtanah jika tidak terpenuhinya pengisian kembali airtanah dan pemisahan polusi oleh bakteri ke dalam akuifer maka akan menyebabkan pencemaran suplai airtanah. Sebagai tambahan, sisa hasil pertanian, limbah industri, dan limbah yang berasal dari kegiatan kota yang padat juga penyebab polusi di permukaan dan airtanah. Sekitar 45 juta orang yang telah mengkonsumsi air limbah tersebut mengakibatkan zat-zat florida, arsen dan besi yang berlebihan di dalam tubuh (Anonim, 2002).

Indikator Pencemaran Air

Air merupakan kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia di bumi ini. Sesuai dengan kegunaannya, air dipakai sebagai air minum, air untuk mandi dan mencuci, air untuk pengairan pertanian, air untuk kolam perikanan, air untuk sanitasi dan air untuk transportasi, baik di sungai maupun di laut. Kegunaan air seperti tersebut di muka termasuk sebagai kegunaan air secara konvensional.

Selain penggunaan air secara konvensional, air juga diperlukan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia, yaitu untuk menunjang kegiatan industri dan teknologi. Kegiatan industri dan teknologi tidak dapat terlepas dari kebutuhan akan air. Dalam hal ini air sangat diperlukan agar industri dan teknologi dapat berjalan dengan baik. Dalam kegiatan industri dan teknologi, air digunakan antara lain sebagai:

1. Air proses,
2. Air pendingin,
3. Air ketel uap penggerak turbin,
4. Air utilitas dan sanitasi.

Apabila air yang diperlukan dalam kegiatan industri dan teknologi itu dalam jumlah yang cukup besar, maka perlu dipikirkan dari mana air tersebut diperoleh. Pengambilan air dari sumber air tidak boleh mengganggu keseimbangan air lingkungan. Faktor keseimbangan air lingkungan ini tidak hanya berkaitan dengan jumlah volume (debit) air yang digunakan saja, tapi yang lebih penting lagi adalah bagaimana menjaga agar air lingkungan tidak menyimpang dari keadaan normalnya.

Di dalam kegiatan industri dan teknologi, air yang telah digunakan (air limbah industri) tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan karena dapat menyebabkan pencemaran. Air tersebut harus diolah terlebih dahulu agar mempunyai kualitas yang sama dengan kualitas air lingkungan. Jadi air limbah industri harus mengalami proses daur ulang sehingga dapat digunakan lagi atau dibuang kembali ke lingkungan tanpa menyebabkan pencemaran air lingkungan. Proses daur ulang air limbah industri atau *water treatment recycle process* adalah salah satu syarat yang harus dimiliki oleh industri yang berwawasan lingkungan.

Indikator atau tanda bahwa air lingkungan telah tercemar adalah adanya perubahan atau tanda yang dapat diamati melalui:

1. Adanya perubahan suhu air.
2. Adanya perubahan pH atau konsentrasi ion hidrogen.
3. Adanya perubahan warna, bau dan rasa air.
4. Timbulnya endapan, koloidal, bahan terlarut.
5. Adanya mikroorganisme.
6. Meningkatnya radioaktivitas air lingkungan (Wardhana, 1998).

Sumber Polusi Air

Kurangnya fasilitas kebersihan yang cukup adalah suatu sebab utama kontaminasi kotoran dan limbah dari sumber-sumber air di daerah urban dan pabrik. Beberapa kota Indonesia malah mempunyai suatu sistem pembuangan kotoran yang tidak sempurna, dan karenanya sebagian besar rumah tangga sangat mengandalkan tangki kotoran pribadi atau pembuangan kotoran manusia langsung ke sungai dan kanal.

Sumber-sumber polusi air yang lain adalah pertambahan serta pengaliran air yang tidak lancar dan tidak teratur.

Perbaikan pasokan air dan sistem sanitasi yang layak mungkin dapat memberikan kontribusi kepada pengurangan kematian diare yang signifikan dan kepada peningkatan hasil kesehatan. Suatu cara pengelolaan sumber air terpadu, termasuk polusi air, dengan pengumpulan data, bagi informasi, analisa dan penggunaan yang cukup, juga diperlukan dalam suatu konteks dasar.

Beberapa polusi yang telah terjadi dapat dilihat pada gambar 1.2 dimana beberapa daerah tersebut telah didirikan penanggulangan limbah berbahaya (Wardhana, 1998).

Erat kaitannya dengan masalah indikator pencemaran air seperti pada uraian, ternyata komponen pencemar air ikut menentukan bagaimana indikator tersebut terjadi. Komponen pencemar air dikelompokkan sebagai berikut :

1. Bahan buangan padat
2. Bahan buangan organik
3. Bahan buangan anorganik
4. Bahan buangan olahan bahan makanan
5. Bahan buangan cairan berminyak
6. Bahan buangan zat kimia
7. Bahan buangan berupa panas

Pencemaran Air Oleh Logam Berat

Pengertian Logam Berat

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, bila unsur lo-

gam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah yang sedikit berlebihan, biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh. Karena unsur besi (Fe) dibutuhkan dalam darah untuk mengikat oksigen, sedangkan unsur logam berat baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga (Cu), bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh. Jika yang masuk ke dalam tubuh organisme hidup adalah unsur logam berat beracun seperti hidrargyrum (Hg) atau disebut juga air raksa/merkuri, maka dapat dipastikan bahwa organisme tersebut akan langsung keracunan, lihat gambar 3.



Gambar 3 Logam Merkuri
(Tumenbayer dkk, 2006)

Istilah logam berat sebetulnya telah dipergunakan secara luas, terutama dalam perpustakaan ilmiah, sebagai suatu istilah yang menggambarkan bentuk dari logam tertentu. Karakteristik dari kelompok logam berat adalah sebagai berikut:

1. Memiliki spesifikasi *gravity* yang sangat besar (lebih dari 4).
2. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktinida.
3. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Niebor dan Richardson dalam Palar (1994) menggunakan istilah logam berat untuk menggantikan pengelompokan ion-ion logam kedalam 3 kelompok biologi dan kimia (bio-kimia). Pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan *oxigen-seeking metal*.
2. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang (sulfur) atau disebut juga nitrogen sulfur seeking metal.
3. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk logam-logam atau ion-ion logam dari kelas A dan Logam dari kelas B.

Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Sebagai contoh adalah logam air raksa (Hg), kadmium (Cd), timah hitam (Pb), dan khrom (Cr). Namun demikian, meski semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, sebagian dari logam-logam berat tersebut tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup. Kebutuhan tersebut berada dalam jumlah yang sangat sedikit, tetapi bila kebutuhan dalam jumlah yang sangat kecil itu tidak terpenuhi, maka dapat berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari setiap makhluk hidup (Palar, 1994).

Pencemaran Logam Berat

Pencemaran logam berat merupakan permasalahan yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Sejak kasus merkuri di Minamata Jepang pada 1953, pencemaran logam berat semakin sering terjadi dan semakin banyak dilaporkan. Agen Lingkungan Amerika Serikat (EPA) di dalam Mursyidin, Dindin H. (2006) melaporkan, terdapat 13 elemen logam berat yang diketahui berbahaya bagi lingkungan. Di antaranya arsenik (As), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd). Logam berat sendiri sebenarnya merupakan unsur esensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa di antaranya (dalam kadar tertentu) bersifat racun. Di alam, unsur ini biasanya terdapat dalam bentuk terlarut atau tersuspensi (terikat dengan zat padat) serta terdapat sebagai bentuk ionik (Mursyidin, 2006).

Logam Merkuri

Logam merkuri (Hg) adalah salah satu *trace element* yang mempunyai sifat cair pada temperatur ruang dengan *spesifik gravity* dan daya hantar listrik yang tinggi. Karena sifat-sifat tersebut, merkuri banyak digunakan baik dalam kegiatan perindustrian maupun laboratorium. Lihat tabel 1. Logam berat merkuri (Hg) merupakan cairan yang berwarna putih keperakan dengan titik beku $-38,87^{\circ}\text{C}$ dan titik didih $356,90^{\circ}\text{C}$ serta berat jenis $13,55 \text{ gr/cm}^3$ dan berat atom 200,6 (Sudarmaji, dkk., 2006).

Merkuri yang terdapat dalam limbah atau *waste* di perairan umum diubah oleh aktifitas mikroorganisme menjadi komponen *methyl* merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) yang memiliki sifat racun dan daya ikat yang kuat disamping kelarutannya yang tinggi terutama dalam tubuh hewan air. Hal tersebut mengakibatkan merkuri terakumulasi melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam jaringan tubuh hewan-hewan air, sehingga kadar merkuri dapat mencapai level yang berbahaya baik bagi kehidupan hewan air maupun kesehatan manusia, yang makan hasil tangkap hewan-hewan air tersebut. Sanusi (1980) di dalam Budiono (2003) mengemukakan bahwa terjadinya proses akumulasi merkuri di dalam tubuh hewan air, karena kecepatan pengambilan merkuri (*uptake rate*) oleh organisme air lebih cepat dibandingkan dengan proses ekresi.

Diantara berbagai macam logam berat, merkuri digolongkan sebagai pencemar paling berbahaya. Disamping itu, ternyata produksinya cukup besar dan penggunaannya di berbagai bidang cukup luas. Djojosoebagio (1978) di dalam Budiono (2003) mengatakan bahwa pencemaran yang disebabkan oleh logam-logam berat yang juga merupakan unsur-unsur langka (seng, timah, kadmium, merkuri, arsen, nikel, vanadium dan berilium) merupakan masalah yang serius dewasa ini.

Adanya kemampuan mengakumulasi merkuri di dalam tubuh biota laut dapat membahayakan kehidupan biota yang bersangkutan maupun biota lainnya misalnya melalui rantai makanan atau *food chain* (Budiono, 2003).

Tabel 1 : Logam-logam hasil pertambangan di dalam sungai yang dibuang ke laut (Budiono, 2003).

Elemen	<i>Geological rate</i> (pada sungai)	<i>Man induced rate</i> (tambang)
Ribuan metrik ton/thn		
Besi	25000	319000
Nitrogen	8500	9800
Mangan	440	1600
Tembaga	375	4460
Seng	370	3430
Nikel	300	358
Lead	180	2330
Phosfor	180	6500
Molybdenum	13	57
Perak	5	7
Merkuri	3	7
Timah	1.5	166
antimonium	1.3	40

Merkuri Di Lingkungan Airtanah

Kadar merkuri yang tinggi pada perairan umumnya diakibatkan oleh buangan industri (*Industrial wastes*) dan akibat sampingan dari penggunaan senyawa-senyawa merkuri di bidang pertanian. Merkuri dapat berada dalam bentuk metal, senyawa-senyawa anorganik dan senyawa organik. Terdapatnya merkuri di perairan dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu pertama oleh kegiatan perindustrian seperti pabrik cat, kertas, peralatan listrik, *chlorine* dan *coustic soda*; kedua oleh alam itu sendiri melalui proses pelapukan batuan dan peletusan gunung berapi (Budiono, 2003).

Konsentrasi air raksa yang telah dideteksi kira-kira 25 persen dari airtanah dan air permukaan. Hal ini diketahui dari hasil sampel yang berasal dari 2,783 lokasi barang sisa yang penuh resiko diuji oleh *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA). Survei airtanah juga sudah mendeteksi adanya konsentrasi air raksa dalam beberapa persediaan dari air minum. Ha-

sil dari kegiatan industri yang pada anak sungai meliputi klor dan produksi soda kaustik, proses pekerjaan tambang dan bijih, metalurgi dan *electroplating*, pembuatan bahan kimia dan tinta, penggilangan kertas, produksi tekstil dan produksi yang berhubungan dengan farmasi.

Campuran air raksa apapun yang dilepaskan ke dalam lingkungan mengakibatkan terjadinya *methylation potential* ke *methyl mercury* oleh mikroorganisme ke dalam tanah dan airtanah. *Methylating rates* berhubungan dengan pengasaman airtanah (Anonim, 1992).

Merkuri yang dihasilkan oleh kegiatan industri dan proses penambangan dan terendapkan di dalam permukaan mengakibatkan masuknya polusi merkuri ke dalam tanah dan masuk ke dalam lingkungan airtanah melalui celah-celah dengan dibawa oleh air hujan yang masuk ke dalam tanah. Pencemaran unsur merkuri dalam tanah terjadi karena proses pelapukan batuan termineralisasi atau akibat penggarangan pada pengolahan emas.

Sumber Merkuri

Secara alami Hg dapat berasal dari gas gunung berapi dan penguapan dari air laut. Industri pengecoran logam dan semua industri yang menggunakan Hg sebagai bahan baku maupun bahan penolong, limbahnya merupakan sumber pencemaran Hg. Sebagai contoh antara lain adalah industri klor alkali, tambang emas, peralatan listrik, cat, termometer, tensimeter, industri pertanian, dan pabrik detonator. Kegiatan lain yang merupakan sumber pencemaran Hg adalah praktek dokter gigi yang menggunakan amalgam sebagai bahan penambal gigi. Selain itu bahan bakar fosil juga merupakan sumber Hg pula (Sudarmaji, dkk., 2006).

Di alam merkuri (air raksa) ditemukan dalam bentuk elemen merkuri (Hg⁰), merkuri monovalen (Hg^I), dan bivalen (Hg^{II}). Menurut Waldock (1994) di dalam La-sut (2001), senyawa metil-merkuri adalah bentuk merkuri organik yang umum terdapat di lingkungan perairan. Senyawa ini sangat beracun dan diperkirakan 4-31 kali lebih beracun dari bentuk merkuri inorganik. Selain itu, merkuri dalam bentuk organik yang umumnya berada pada konsentrasi rendah di air dan sedimen adalah bersifat sangat bioakumulatif (terserap secara biologis). Metil-merkuri dalam jumlah 99% terdapat di dalam jaringan daging ikan.

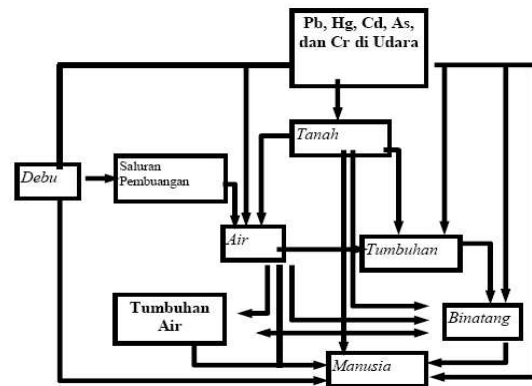
Dampak Merkuri

Implikasi Klinik Akibat Tercemar Oleh Merkuri (Hg).

Pada studi epidemiologi ditemukan bahwa keracunan metil dan etil merkuri sebagian besar disebabkan oleh konsumsi ikan yang diperoleh dari daerah tercemar atau makanan yang berbahan baku tumbuhan yang disemprot dengan pestisida jenis fungisida alkil merkuri. gambar 4.

Pada tahun 1968, Katsuna melaporkan adanya epidemi keracunan Hg di teluk Minamata, dan pada tahun 1967 terjadi pencemaran Hg di sungai Agano di Niigata. Pada saat terjadi epidemi, kadar Hg pada ikan di teluk Mina-

mata sebesar 11 µg/kg berat basah dan di sungai Agano sebesar 10 µg/kg berat basah. Di Irak pada tahun 1971-1972 terjadi keracunan alkil merkuri akibat mengkonsumsi gandum yang disemprot dengan alkil merkuri yang menyebabkan 500 orang meninggal dunia dan 6000 orang masuk rumah sakit.



Gambar 4 Kontribusi Logam Berat Timah Hitam (Pb), Merkuri (Hg) Dan Kadmium (Cd), Arsenic (As), Dan Cromium (Cr) Pada Intake Manusia (Sudarmaji, dkk., 2006).

Berdasarkan temuan Diner dan Brenner (1998) serta Frackelton dan Christensen (1998) di dalam Sudarmaji, dkk., (2006), dikatakan bahwa diagnosa klinis keracunan Hg tidaklah mudah dan sering disamakan dengan diagnosa kelainan psikiatrik dan autisme. Kesukaran diagnosa tersebut disebabkan oleh panjangnya periode laten dari mulai terpapar sampai timbulnya gejala dan tidak jelasnya bentuk gejala yang timbul, yang mirip dengan kelainan psikiatrik. Berhubung sukarnya untuk mendiagnosis kelainan yang disebabkan oleh keracunan Hg, untuk memudahkan diagnosis para klinisi (Vroom dan Greer, 1972 dalam Sudarmaji, dkk., 2006) membuat kriteria sebagai berikut :

1. Observasi kemunduran fungsi, berupa:
 - kerusakan motorik, abnormalitas sensorik, kemunduran psikologik dan perilaku, kemundura neuro-logik dan koknitif, kelainan bicara, pendengaran, kemunduran penglihatan dan kelainan kulit serta gangguan reflek.
2. Waktu paparan oleh Hg bersifat akut atau kronis.
 - Deteksi Hg pada urine, darah, kuku dan rambut.

Keracunan Hg yang sering disebut sebagai *mercurialism* banyak ditemukan di negara maju, misalnya *Mad Hatter's Disease* yang merupakan suatu *outbreak* keracunan Hg yang diderita oleh karyawan di Alice Wonderland. Bencana Minamata yang merupakan suatu *outbreak* keracunan Hg pada penduduk makan ikan yang terkontaminasi oleh Hg di Minamata Jepang, dan kejadian ini dikenal sebagai *Minamata Disease*. Penyakit lain yang disebabkan oleh keracunan Hg adalah *Pink Disease* yang terjadi di Guatemala dan Rusia yang merupakan *outbreak*

keracunan Hg akibat mengkonsumsi padi-padian yang terkontaminasi oleh Hg.

Paparan logam berat Hg terutama *methyl mercury* dapat meningkatkan kelainan janin dan kematian waktu lahir serta dapat menyebabkan *Fetal Minamata Disease*, seperti yang terjadi pada nelayan Jepang di teluk Minamata. Selain yang tersebut di atas Hg dapat menyebabkan kerusakan otak, kerusakan syaraf motorik, *cerebral palsy*, dan retardasi mental. Paparan di tempat kerja utamanya oleh anorganik merkuri pada pria akan dapat menyebabkan impotensi dan gangguan libido sedangkan pada wanita akan menyebabkan gangguan menstruasi (Sudarmaji, dkk., 2006).

Pengaruh Toksisitas Merkuri Pada Manusia

Pengaruh langsung polutan (terutama pestisida) terhadap ikan biasa dinyatakan sebagai *lethal* (akut), yaitu akibat-akibat yang timbul pada waktu kurang dari 96 jam atau *sublethal* (kronis), yaitu akibat-akibat yang timbul pada waktu lebih dari 96 jam (empat hari). Sifat toksis yang *lethal* dan *sublethal* dapat menimbulkan efek genetik maupun teratogenik terhadap biota yang bersangkutan (FAO, 1971 di dalam Budiono, 2003).

Pengaruh *lethal* disebabkan gangguan pada saraf pusat sehingga ikan tidak bergerak atau bernapas akibatnya cepat mati. Pengaruh *sublethal* terjadi pada organ-organ tubuh, menyebabkan kerusakan pada hati, mengurangi potensi untuk perkembangbiakan, pertumbuhan dan sebagainya (Caln, 1965 di dalam Budiono, 2003). Seperti peristiwa yang terjadi di Jepang, dimana penduduk di sekitar teluk Minamata keracunan metil merkuri akibat hasil buangan dari suatu pabrik plastik. Metil merkuri yang terdapat dalam ikan termakan oleh penduduk disekitar teluk tersebut. Ikan-ikan yang mati disekitar teluk Minamata mempunyai kadar metil merkuri sebesar 9 sampai 24 ppm. Faktor-faktor yang berpengaruh di dalam proses pembentukan metil merkuri adalah merupakan faktor-faktor lingkungan yang menentukan tingkat keracunannya. (Budiono, 2003).

Telah banyak orang-orang yang mengetahui tentang merkuri dan kebanyakan mereka mengkonsumsi metil merkuri dari ikan dan hewan lain yang terkontaminasi merkuri dimana hewan tersebut merupakan rantai makanan bagi manusia. *National Research Council* di dalam beberapa laporannya tentang efek *toxicological* dari metil merkuri yang ditunjukkan bahwa populasi pada resiko yang paling tinggi adalah keturunan dari wanita-wanita yang mengkonsumsi sejumlah besar ikan dan makanan hasil laut. Laporan penyelidikan yang didapat, menyatakan bahwa lebih dari 60.000 anak yang lahir tiap tahunnya berhadapan dengan resiko *neurodevelopmental* yang kurang baik dalam kaitannya dengan kandungan metil merkuri (gambar 5). *Environmental protection agency* menyimpulkan bahwa merkuri merupakan sumber penyakit atau resiko bagi beberapa orang dewasa dan populasi hewan jika mengkonsumsi sejumlah besar air minum dan ikan yang terkontaminasi oleh merkuri (Anonim, 2000).

Merkuri merusak sistem pusat *nerves*, sistem endokrin, ginjal, dan organ bagian badan yang lain, dan akan mempengaruhi mulut, gusi, dan gigi. Uap air raksa/merkuri di udara jika terhirup oleh manusia dapat mengakibatkan kerusakan otak dan pada akhirnya menimbulkan kematian. Merkuri dan campurannya adalah senyawa yang terutama sekali meracuni janin dan bayi. Wanita-wanita yang telah mengkonsumsi merkuri di dalam kondisi hamil terkadang melahirkan anak-anak dengan cacat kelahiran yang serius (Anonim, 2007a).



Gambar 5 Kerusakan Sistem Saraf Oleh Logam Merkuri Bagi Anak-Anak (Anonim, 2005).

Bentuk masalah merkuri yang sering terjadi dalam populasi adalah metil merkuri dari ikan yang tercemar, merkuri inorganik dari makanan, dan merkuri murni dari *dental amalgam restoration*. Jika distribusi metil merkuri di dalam tubuh oleh kompartemen, dan merkuri bercampur dengan unsur yang lebih kompleks maka dapat mengganggu jaringan otak dikarenakan unsur tersebut masuk ke dalam darah dan bercampur dengan darah tersebut. Jika unsur merkuri kompleks tersebut masuk ke dalam jaringan otak melalui aliran darah, maka penderita akan mengalami gangguan mental dan lama kelamaan akan mati.

Kebanyakan manusia keracunan merkuri akibat *dental amalgam restoration* dan mengkonsumsi makanan dari hewan air dan mamalia yang terkontaminasi oleh limbah pabrik. Limbah tersebut bisa berasal dari bahan sisa hasil pembuatan *chlorine* dan *sodium hidroxide* dengan menggunakan elektrolisis. Limbah tersebut selain dari elektrolisis, bisa juga berasal dari pembuatan alat listrik (batere, tombol, dan bohlam lampu neon). Limbah tersebut meracuni manusia melalui makanan baik dari hasil perairan maupun hewan yang hidup di sekitar limbah (Björkman, et. al., 2007)

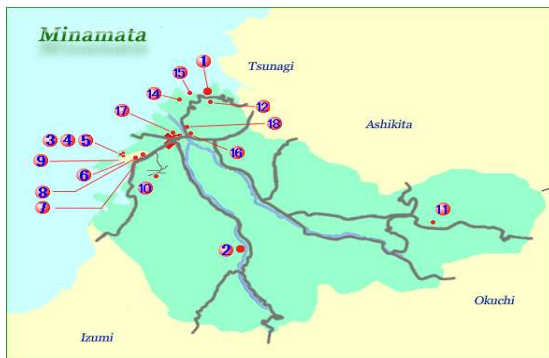
Studi Kasus Pencemaran Oleh Logam Merkuri Di Minamata, Jepang

Minamata adalah sebuah desa kecil yang menghadap ke laut Shiranui (lihat gambar 6), bagian selatan Jepang sebagian besar penduduknya hidup sebagai nelayan, dan merupakan pengkonsumsi ikan cukup tinggi, yaitu 286-410gram/hari (Setyorini, 2003).

Minamata disease, kadang-kadang dikenal sebagai *Chisso-Minamata disease*, adalah suatu *neurological syndrome* yang disebabkan oleh racun merkuri. Gejalanya meliputi kehilangan keseimbangan, numbness di tangan dan kaki, kelemahan otot umum, penglihatan yang terbatas dan kerusakan pada pendengaran dan suara. Di dalam kasus yang tinggi, penyakit gila, kelumpuhan, pingsan dan kematian bisa terjadi dalam hitungan minggu dari serangan dari gejala. Suatu bentuk congenital dari penyakit dapat juga mempengaruhi janin di dalam kandungan (Pabico, 2006).



Gambar 6 Lokasi PT. Chisso Dan Rute Pembuangan Limbah (Smith, 2007).



Gambar 7 Peta Area Minamata (Anonim, 2006).

Keterangan :

1. Yunoko Spa
2. Yunotsuru Spa
3. Minamata Disease Memorial
4. Municipal Minamata Disease Museum
5. Kumamoto Prefectural Environmental Education and Intelligence Centre
6. Sea Wall "Shinsui-Gogan"
7. Bamboo Garden
8. Heart of Minamata "Matsubokkuri"
9. ECO-PARK
10. Wax Tree Museum "Hazenoki-kan"
11. Kugino area community centre "Airin-kan"
12. Fukuda Farm
13. National Institute for Minamata Disease
14. Fishing Park "Don Gabacho"
15. "Tokutomi Soho" Memorial Museum

16. The House where "Soho & Roka" were born
17. Minamata Moyainaoshi Centre "Moyai-kan"

Tahun 1956 adanya laporan kasus gadis berusia 5 tahun yang menderita gejala kerusakan otak, gangguan bicara, dan hilangnya keseimbangan sehingga tidak dapat berjalan. Menyusul kemudian adalah adik dan empat orang tetangganya, penyakit ini kemudian oleh Dr. Hosokawa disebut sebagai *Minamata disease*. Pada tahun 1958 terdapat bukti bahwa penyakit Minamata disebabkan oleh keracunan Methyl-Hg, hal ini ditunjukkan dengan kucing yang mengalami kejang dan disusul kematian setelah diberi makan Methyl-Hg.

Pada tahun 1960 bukti menyebutkan bahwa PT Chisso (lihat gambar 7) memiliki andil besar dalam tragedi Minamata, karena ditemukan Methyl-Hg dari ekstrak kerang dari teluk Minamata, sedimen habitat kerang tersebut mengandung 10-100 ppm Methyl-Hg, sedang di dasar kanal pembuangan pabrik Chisso mencapai 2000 ppm. pada tahun 1968 pemerintah secara resmi mengakui bahwa pencemaran dari pabrik Chisso sebagai sumber penyakit di Minamata.

Setyorini (2003) menyatakan penyakit ini ternyata juga ditemukan pada janin bayi, penyakit ini ternyata menurun secara genetis sehingga keturunannya dipastikan akan mengidap penyakit Minamata (lihat gambar 8).

Minamata disease merupakan yang pertama ditemukan di dalam kota Minamata di Kumamoto, Jepang, 1956. Racun merkuri disebabkan oleh pelepasan metil merkuri di dalam *wastewater industrial* oleh pabrik kimia *Chisso corporation* dari 1932 hingga 1968. *Bioaccumulated* terjadi pada ikan di daerah teluk Minamata dan laut Shiranui, dimana dikonsumsi oleh masyarakat lokal yang mengandung racun merkuri.

Sejak Maret 2001, 2.265 korban telah secara resmi diketahui terkontaminasi merkuri dan meninggal. Lebih dari 10,000 penderita telah menerima ganti-rugi keuangan dari Chisso. Penuntutan perkara dan klaim untuk ganti-rugi berlanjut sampai hari ini. Dampak selanjutnya yang telah diketahui setelah *Minamata disease*, terjadi di dalam daerah administrasi Niigata tahun 1965. Kedua-duanya baik *Minamata disease* dan *Niigata Minamata disease* merupakan dua di antara empat bencana polusi yang besar di Jepang.



Gambar 8 Tangan Cacat Akibat Merkuri. Korban *Minamata disease* (Smith, 2007)

Usaha medis yang dilakukan untuk mengatasi masalah *mercury disease* sebagai berikut :

1. Mendorong institusi pelayanan kesehatan sepanjang / seluruh daerah untuk bergabung ke dalam *Mercury Free health care*.
2. Menghasilkan kesadaran dari *mercury's health and environmental hazards*, bersama dengan ketelitian dan keterkaitan dari alternatif dengan mendidik para pekerja pelayanan kesehatan, manajemen, para siswa, para guru dan masyarakat.
3. Mengumpulkan dan berbagi ilmu agar bisa dengan jelas mempertunjukkan bukti ilmiah yang kuat dari *mercury's hazards* dan alternatif untuk kelangsungan hidup.
4. Menilai praktek manajemen air raksa, melakukan inventaris air raksa, membuat daftar nama, kebijakan, petunjuk dan protokol.
5. Menambahkan pendidikan tentang merkuri untuk mengorganisir program orientasi, dan membuat data dasar dari rumah sakit. Menghubungi semua rumah sakit di daerah untuk menghapuskan setahap demi setahap air raksa dari pelayanan kesehatan, dengan perolehan dan membangun *mercury free medical device* (Pabico, 2006)

Penanggulangan Merkuri

Pencemaran logam berat merupakan permasalahan yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Sejak kasus merkuri di Minamata Jepang pada 1953, pencemaran logam berat semakin sering terjadi dan semakin banyak dilaporkan. Agen Lingkungan Amerika Serikat (EPA) melaporkan, terdapat 13 elemen logam berat yang diketahui berbahaya bagi lingkungan, diantaranya arsenik (As), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd). Logam berat sendiri sebenarnya merupakan unsur esensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa diantaranya (dalam kadar tertentu) bersifat racun. Di alam, unsur ini biasanya terdapat dalam bentuk terlarut atau tersuspensi (terikat dengan zat padat) serta terdapat sebagai bentuk ionik.

Dampak dari pencemaran logam berat ini sering dilaporkan. Merkuri misalnya, merupakan salah satu jenis

logam berat berbahaya karena berisiko tinggi terhadap tubuh. Elemen ini berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Secara prinsipil, pada konsentrasi rendah berpengaruh terhadap gangguan paru-paru, emphysema dan *renal tubular disease kronis*.

Upaya penanganan pencemaran logam berat sebenarnya dapat dilakukan dengan menggunakan proses kimiawi. Seperti penambahan senyawa kimia tertentu untuk proses pemisahan ion logam berat atau dengan resin penukar ion (*exchange resins*), serta beberapa metode lainnya seperti penyerapan menggunakan karbon aktif, *electrodialysis* dan *reverse osmosis*. Namun proses ini relatif mahal dan cenderung menimbulkan permasalahan baru, yaitu akumulasi senyawa tersebut dalam sedimen dan organisme akuatik (perairan).

Penanganan logam berat dengan mikroorganisme atau mikrobia (dalam istilah biologi dikenal dengan bioakumulasi, bioremediasi, atau bioremoval), menjadi alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat keracunan elemen logam berat di lingkungan perairan tersebut. Metode atau teknologi ini sangat menarik untuk dikembangkan dan diterapkan, karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses kimiawi.

Beberapa hasil studi melaporkan, penggunaan mikroorganisme untuk menangani pencemaran logam berat lebih efektif dibandingkan dengan *ion exchange* dan *reverse osmosis* dalam kaitannya dengan sensitivitas kehadiran padatan terlarut (*suspended solid*), zat organik dan logam berat lainnya. Serta, lebih baik dari proses pengendapan (*presipitation*) kalau dikaitkan dengan kemampuan menstimulasikan perubahan pH dan konsentrasi logam beratnya. Dengan kata lain, penanganan logam berat dengan mikroorganisme relatif mudah dilakukan, murah dan cenderung tidak berbahaya bagi lingkungan (Mursyidin, 2006).

Untuk menekan pencemaran limbah merkuri sebenarnya dapat dilakukan dengan berbagai cara. Paling awal dengan memilih teknik penggalian yang ramah lingkungan, yaitu pertambangan tertutup. Dengan begitu memperkecil keluarnya merkuri dari dalam tanah. Hal ini sebaliknya terjadi pada pertambangan terbuka.

Tahap berikutnya adalah menggunakan teknologi pemrosesan batuan tambang yang tidak menggunakan bahan merkuri, di antaranya dengan bahan sianida dan dengan cara bioteknologi yang disebut proses pencucian dengan mikroba.

Mikroorganisme yang mengoksidasi batuan itu umumnya hidup pada bahan anorganik, di antaranya yang banyak digunakan adalah *Thiobacillus ferrooxidans*.

Proses biologi ini banyak dipilih untuk mengolah biji atau batuan yang mempunyai kandungan sulfida yang tinggi dan karena biayanya lebih murah

dibandingkan dengan cara mekanis, serta tidak mencemari lingkungan.

Pada kondisi lingkungan yang telah telanjur terpolusi merkuri, upaya yang dilakukan adalah penyehatan kembali lingkungan. Caranya dengan memindahkan sedimen yang mengandung merkuri tinggi kemudian diisolasi. Hal ini pernah dilakukan Jepang terhadap kawasan Minamata.

Alternatif remediasi secara biologis yang disebut fitoremediasi pun ditempuh. Pada cara ini digunakan tumbuhan yang dapat menyerap metil merkuri. Dibandingkan dengan yang lain, cara ini relatif murah dan memungkinkan sumber pencemar didaur ulang. Sayangnya proses alami ini relatif lambat dalam mereduksi polutan.

Mengatasi pencemaran merkuri dengan bakteri juga dimungkinkan karena diketahui ada bakteri yang dapat bertahan hidup dalam lingkungan yang mengandung merkuri dalam jumlah tinggi. Bakteri itu adalah *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus aureus*, dan *Bacillus sp.* Hal ini menginspirasi ahli biologi molekuler untuk memadukan fungsi gen beberapa bakteri hingga menghasilkan *strain* unggul untuk mengatasi pencemaran merkuri secara cepat dan efektif (Anonim, 2004).

Cara-cara penanggulangan tersebut merupakan beberapa metode penanggulangan untuk pemulihan kembali air permukaan dan airtanah. Pemulihan tersebut membutuhkan waktu lama seperti pada kasus *Minamata disease*.

Kesimpulan

1. Air yang ada di bumi ini tidak pernah terdapat dalam keadaan murni bersih, tetapi selalu ada senyawa atau mineral (unsur) lain yang terlarut di dalamnya. Hal ini tidak berarti bahwa semua air di bumi ini telah tercemar. Sebagai contoh, air yang diambil dari mata air di pegunungan dan air hujan.
2. Logam berat merkuri (Hg) merupakan cairan yang berwarna putih keperakan dengan titik beku $-38,87^{\circ}\text{C}$ dan titik didih $356,90^{\circ}\text{C}$ serta berat jenis 13,6 dan berat atom 200,6. Paparan logam berat Hg terutama *methyl mercury* dapat meningkatkan kelainan janin dan kematian waktu lahir serta dapat menyebabkan *Fetal Minamata Disease* seperti yang terjadi pada nelayan Jepang di teluk Minamata. Selain yang tersebut di atas Hg dapat menyebabkan kerusakan otak, kerusakan syaraf motorik, *cerebral palsy*, dan *retardasi mental*.
3. Karakteristik dari kelompok logam berat adalah sebagai berikut:
 - a. Memiliki *specific gravity* yang sangat besar (lebih dari 4).
 - b. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktinida.
 - c. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Diantara berbagai macam logam berat, merkuri digolongkan sebagai pencemar paling berbahaya. Sedang unsur-unsur logam berat lainnya juga memiliki potensi yang membahayakan lingkungan perairan.

4. Remediasi merkuri dapat dilakukan dengan cara menggunakan proses kimiawi. Penambahan senyawa kimia tertentu untuk proses pemisahan ion logam berat atau dengan resin penukar ion (*exchange resins*), serta beberapa metode lainnya seperti penyerapan menggunakan karbon aktif, *electrodialysis* dan *reverse osmosis*. Penanganan logam berat dengan mikroorganisme atau mikrobia (dalam istilah Biologi dikenal dengan biakumulasi, bioremediasi, atau bioremoval), menjadi alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat keracunan elemen logam berat di lingkungan perairan.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih ditujukan kepada Dwika Putra, mahasiswa Teknik Geologi 2004 FT Undip, yang telah membantu penyusunan karya ilmiah ini.

Daftar Pustaka

1. Anonim. 1992. *Mercury Toxicity* - From The Agency For Toxic Substances And Disease Registry - Environmental Medicine. American Family Physician. Site : http://findarticles.com/p/articles/mi_m3225/is_n6_v46/ai_13357982 [Online Tanggal 9 Desember 2007].
2. -----, 2000. *Mercury In Environment*, U.S. Geological Survey. URL: <http://www.minerals.usgs.gov/mercury>. [Online Tanggal 8 November 2007].
3. -----, 2001. http://www.dpuairjatim.org/index.php?act=userdef&p_code=12433 [Online Tanggal 8 November 2007].
4. -----, 2002. site: <http://images.google.co.id/imgres?imgurl=http://jnuenvis.nic.in/subject/freshwater/groundwater.htm> [Online Tanggal 30 November 2007].
5. -----, 2003. Central Pollution Control Board. Ministry of Environment & Forest, Govt of India. Parivesh Bhawan. East Arjun Nagar. Delhi - 110032. <http://www.cpcb.nic.in/News%20Letters/Archives/Groundwater/ch3-GW.html> [Online Tanggal 30 November 2007].
6. -----, 2004. *Pencemaran Merkuri dari Darat ke Laut*. <http://kompas.com/kompas-cetak/0412/02/bahari/1412383.htm> [Online Tanggal 9 Desember 2007].
7. -----, 2006. Area Map. http://www.Minamatacity.jp/eng/area_map.htm [Online Tanggal 30 November 2007].
8. -----, 2007a. Mercury Poisoning. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_poisoning.

9. -----, 2007b. <http://www.buffer.forestry.iastate.edu/Photogallery/illustrations/Images/Hydrologic-Cycle.jpg> [Online Tanggal 8 November 2007].
10. -----, 2010. Earth's water distribution
11. <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html> [Online Tanggal 10 November 2010].
12. Björkman, Lars, et. al. 2007. Mercury in human brain, blood, muscle and toenails in relation to exposure: an autopsy study. *Environmental health*. <http://www.ehjournal.net/content/6/1/30> [Online Tanggal 8 November 2007].
13. Budiono, A. 2003. Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air. Institut Pertanian Bogor. e-mail : brdolero@yahoo.com [Online Tanggal 8 November 2007].
14. Lasut, Markus T. 2001. *Penurunan Kualitas Lingkungan Akibat Aktifitas Tambang*. Fakultas Perikanan & Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi. E-mail: mlasut@hotmail.com [Online Tanggal 30 November 2007].
15. Mursyidin, Dindin H. 2006. Menanggulangi Pencemaran Logam Berat. Yayasan Cakrawala Hijau Indonesia. Dosen Biologi FMIPA Unlam Banjarbaru. Phone/Fax : 62511-4773847 - email : ychi@ychi.org; ychi_bjb@yahoo.com.sg. Site http://www.ychi.org/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=7&Itemid=39/indeks_1.htm [Online Tanggal 9 Desember 2007].
16. Pabico, A. P., 2006. *Mercury In Health Care*. The Daily PCIJ. www.pcij.org/blog. Site : <http://images.google.co.id/imgres?imgurl=http://www.pcij.org/blog/wp-images/minamata-disease.jpg> [Online Tanggal 30 November 2007].
17. Palar, H., 1994. *Pencemaran & Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta.
18. Setyorini, D., 2003. Mewaspadaai Bahaya Merkuri Di Sumber Air Kita. *Ecological Observation And Wetlands Conservation (Ecoton)*. Office: Jl. Raya Bambe 115 Driyorejo-Gresik 61177. <http://www.ecoton.or.id/tulisanlengkap.php?id=1428> [Online Tanggal 8 November 2007].
19. Smith, W. E. 2007. *Minamata Disease*. Wikipedia. Site : http://en.wikipedia.org/wiki/Minamata_disease [Online Tanggal 30 November 2007].
20. Sudarmaji, J. Mukono, Corie I.P. 2006. *Toksikologi Logam Berat B3 Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan*. Kesehatan Lingkungan FKM Universitas Airlangga.
21. Tumenbayar, B, Murao S., Uramгаа J., Maidar T. 2006. Environmental Sampling for Mercury Study. Workshop on the State-of-the Art of Science and Technology to Protect the Environment and People. Bandung, Indonesia.
22. Wardhana, Arya W. 1998. *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Yogyakarta. Yogyakarta.