

PENENTUAN TINGKAT PENCEMARAN LOGAM BERAT DENGAN ANALISIS RAMBUT

PENDAHULUAN

Salah satu jenis bahan pencemar yang dapat membahayakan kesehatan manusia adalah logam berat. Zat yang bersifat racun dan yang sering mencemari lingkungan misalnya merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd), dan tembaga (Cu). Logam-logam berat Hg, Pb, dan Cd tidak dibutuhkan oleh tubuh manusia, sehingga bila makanan tercemar oleh logam-logam tersebut, tubuh akan mengeluarkannya sebagian. Sisanya akan terakumulasi pada bagian tubuh tertentu, seperti ginjal, hati, kuku, jaringan lemak, dan rambut. Walaupun sampai sekarang belum diketahui berapa waktu yang dibutuhkan oleh logam berat dari masuknya ke dalam tubuh sampai terserap oleh rambut, dalam ulasan ini dicoba untuk menentukan tingkat pencemaran logam berat berdasar kadarnya dalam makanan, air minum dan dalam rambut.

Rambut adalah bagian tubuh dari makhluk hidup yang banyak mengandung protein struktural yang tersusun oleh asam-asam amino sistin yang mengandung ikatan disulfida ($-S-S-$) dan sistein yang mengandung gugus sulfhidril

(-SH) yang berkemampuan mengikat logam-logam berat yang masuk ke dalam tubuh. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kerentanan tubuh terhadap logam berat, khususnya Pb adalah nutrisi, kehamilan, dan umur (Hamid, 1991). Kekurangan gizi akan meningkatkan kadar Pb yang bebas dalam darah. Fergusson (1991) menyatakan bahwa kadar Ca dan Fe yang tinggi dalam makanan akan menurunkan penyerapan Pb dan sebaliknya bila tubuh kekurangan Ca dan Fe, penyerapan Pb akan meningkat. Dinyatakan juga bahwa defisiensi Fe dan P akan mengakibatkan gangguan ekskresi Pb dari tulang, sehingga meningkatkan kadarnya pada jaringan lunak dan menyebabkan hemotoksisitas.

Logam berat tertentu juga dibutuhkan dalam proses kehidupan. Misalnya dalam proses metabolisme untuk pertumbuhan dan perkembangan sel-sel tubuh. Sebagai contoh Co dibutuhkan untuk pembentukan vitamin B₁₂, Fe dibutuhkan untuk pembuatan hemoglobin, dan Zn berfungsi dalam enzim-enzim hidrogenase (Waldichuk, 1974 dalam Sanusi, 1985).

Bila manusia banyak mengonsumsi makanan yang mengandung logam berat dan ikut dalam aliran darah dalam tubuh, maka akan timbul gejala tertentu dan bahkan menyebabkan kematian. Masuknya logam berat dalam

jumlah yang membahayakan dapat lewat rantai pangan pendek (hewan-manusia), atau lewat rantai pangan panjang (tanaman - hewan - manusia) (Notohadiprawiro, 1995).

Pada saat ini penelitian tentang pencemaran logam berat masih dilakukan terhadap lingkungan perairan, tanah, dan udara. Penelitian ini masih jarang dilakukan terhadap kandungan logam berat yang masuk ke dalam tubuh. Agak sulit untuk mengevaluasi hubungan antara kandungan logam berat di lingkungan dengan logam berat yang diabsorpsi oleh tubuh.

SIFAT FISIK DAN KIMIA BEBERAPA LOGAM BERAT

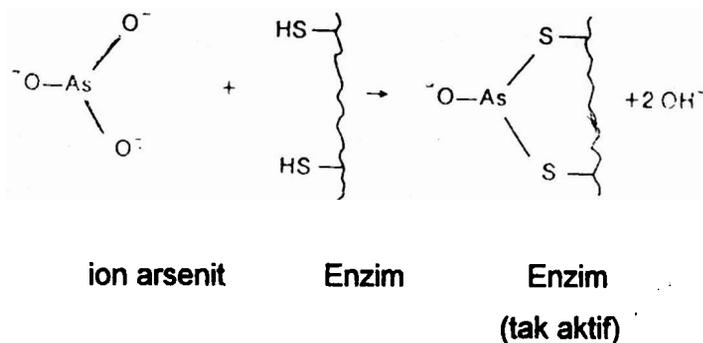
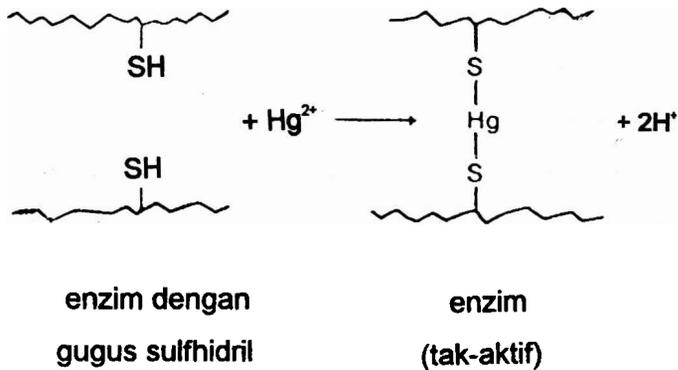
Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 , terletak di sudut kanan bawah daftar berkala, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7 (Miettinen, 1977). Afinitas yang tinggi terhadap unsur S mendorong terjadinya ikatan logam berat dengan S pada setiap kesempatan.

Sebagian logam berat merupakan zat pencemar yang berbahaya. Logam-logam ini bereaksi dengan unsur belerang dalam enzim, sehingga enzim tersebut menjadi tak-mobil. Gugus karboksilat ($-\text{COOH}$) dan amino ($-\text{NH}_2$)

dalam asam amino juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, tembaga, dan merkuri diikat dalam membran yang menghambat proses transport melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau dapat juga mengkatalisis penguraiannya (Manahan, 1994).

Bryan (1976) dalam Rustiawan (1989) menyatakan bahwa unsur-unsur logam berat tersebar di permukaan bumi, di tanah, air, dan udara. Logam-logam berat tersebut dapat berbentuk senyawa organik, anorganik, atau terikat dalam senyawa logam yang lebih berbahaya daripada keadaan murninya. Merkuri, timbal, dan arsen dengan bantuan bakteri yang mengandung koenzim metilokobalamin akan mengubah logam berat menjadi senyawa metil dari logam tersebut yang sangat berbahaya baik dalam bentuk gas maupun cair.

Disamping melalui mulut dari makanan dan minuman, unsur-unsur logam berat juga dapat masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan dan kulit. Mengingat logam berat mempunyai afinitas tinggi terhadap senyawa sulfida, seperti gugus sulfhidril dan disulfida, maka ion-ion logam berat dapat terperangkap pada gugus ini, sehingga enzim menjadi tak-aktif. Misalnya pada pengikatan ion merkuri oleh gugus sulfhidril (Hill, 1984) :



Arsen bukan logam, tetapi mempunyai sifat logam. Pada perdagangan bahan beracun, arsen umumnya ditemukan sebagai ion arsenit (AsO_3^{3-}) atau arsenat (AsO_4^{3-}). Ion-ion ini juga bisa berikatan dengan enzim, sehingga enzim menjadi tidak aktif.

Berikut ini dijelaskan rincian sifat-sifat beberapa logam berat :

(a). Merkuri (Hg) :

Logam merkuri masuk ke dalam tubuh manusia melalui bahan pangan yang dikonsumsi, baik dari tanaman maupun hewan yang telah terkontaminasi oleh logam tersebut. Merkuri mempunyai tekanan uap pada suhu kamar, sehingga uap merkuri dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Proses ini dapat terjadi terutama pada orang-orang yang bekerja dengan merkuri, misalnya dokter dan perawat gigi pada waktu membuat amalgam.

Senyawa-senyawa merkuri dapat mengalami transformasi hayati ke dalam lingkungan maupun di dalam tubuh. Ion metilmerkuri (CH_3Hg^+) merupakan bentuk senyawa yang sangat beracun dan membahayakan kesehatan manusia. Kadar metilmerkuri yang menyebabkan keracunan pada manusia sebesar 9 - 24 ppm, yang setara dengan 0,3 mg Hg per 70 kg bobot badan per hari (Lavender dan Cheng, 1980).

Faktor makanan dapat mempengaruhi waktu retensi dari metilmerkuri yang masuk melalui mulut dari makanan dan minuman. Makanan dengan kadar protein tinggi dan

lemak rendah dapat menurunkan waktu retensi metilmerkuri pada tikus. Kadar vitamin E yang tinggi dapat menurunkan tingkat kematian akibat terserapnya metilmerkuri dan merkuriklorida.

Pelepasan merkuri ke dalam tanah, air, dan udara pada saat ini kebanyakan berasal dari keaktifan antropogenik yang dapat melalui beberapa proses :

1. Penambangan dan peleburan bijih, terutama pada peleburan tambang Cu dan Zn.
2. Pembakaran bahan bakar fosil, terutama batubara.
3. Proses-proses produksi dalam suatu industri, terutama pada proses kloralkali sel Hg untuk memproduksi gas klor dan NaOH.
4. Insenerasi buangan.

Secara global efek antropokogenik tahunan yang dilepas ke lingkungan sekitar 3×10^6 kg selama tahun 1900, dan telah naik menjadi sekitar 9×10^6 kg selama tahun 1970. Pelepasannya ke lingkungan lebih kurang 45% ke udara, 7% ke air, dan 48% ke dalam tanah.

Efek bahaya dari merkuri :

Sampai sekarang belum diketahui fungsi biologis esensial dari logam Hg. Sebaliknya, Hg merupakan unsur yang paling toksik bagi manusia dan banyak hewan tingkat

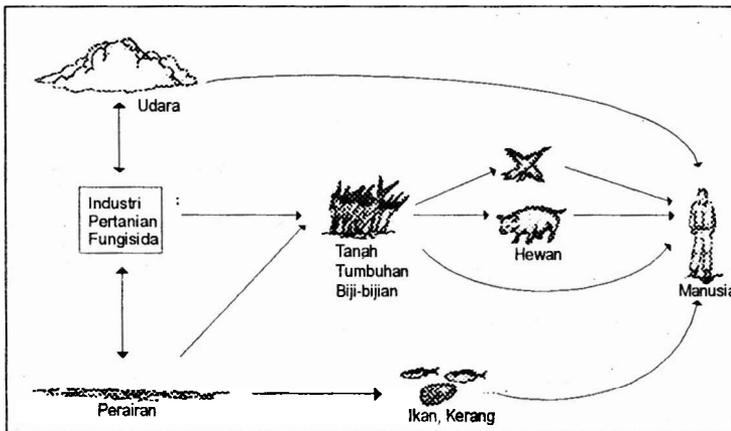
tinggi. Semua senyawa kimia Hg juga toksik bagi manusia. Garam-garam merkuri memperlihatkan toksisitas yang sangat akut dengan bermacam gejala dan bahayanya, misalnya pneumonia dan oedema paru, tremor dan gingivitis. Beberapa senyawa organomerkuri, terutama alkilmerkuri berbobot molekul rendah tergolong lebih berbahaya terhadap manusia karena toksisitas kronisnya dengan pengaruh yang bermacam-macam. Misalnya tak dapat balik dan merusak sistem saraf. Dalam kasus ini yang paling penting adalah metilmerkuri, karena zat ini dapat dihasilkan oleh mikroorganisme dari ion Hg^{2+} dalam lingkungan alami yang berbeda. Metilmerkuri mengakibatkan efek teratogenik kuat, karsinogenik, dan aktivitas mutagenik. Disamping itu keracunan oleh merkuri organik adalah berupa gangguan saraf yaitu ataksia, hiperestese (peka), konvulsi, kebutaan, koma, dan kematian.

Keracunan Hg akhir-akhir ini lebih sering terjadi. Kasus awal terjadi di Jepang pada tahun 1953 - 1960, sewaktu penduduk di kota kecil Minamata teracuni metilmerkuri dengan konsentrasi tinggi dari limbah pabrik polivinil asetat (PVA) karena masyarakat mengkonsumsi ikan dari teluk Minamata. Keracunan hewan liar di Swedia akibat makan biji-bijian yang telah diperlakukan dengan metilmerkuri selama periode 1948 - 1965. Kasus lain juga

terjadi di Irak pada tahun 1971 yang memakan korban sampai 400 orang, akibat kesalahan menggunakan bibit gandum yang telah diberi fungisida yang mengandung raksa.

Penelitian kemudian dilakukan secara intensif sejak peristiwa-peristiwa ini. Sampai beberapa dekade kemudian menunjukkan bahwa kandungan metilmerkuri dalam daging ikan terus naik dan tersebar secara global.

Di lain pihak, tampaknya Hg tidak memperlihatkan masalah utama terhadap fitotoksitas. Konsentrasi Hg yang mengakibatkan gejala toksik bagi tanaman jauh lebih tinggi dibanding konsentrasi normal dalam tanah. Pada umumnya penyerapan Hg dari tanah ke tanaman rendah, dan akar berfungsi sebagai penghalang (barrier) pada penyerapan Hg (Steinnes, 1990).



Gambar 1. Pergerakan Hg ke ekosistem manusia (Owen, 1980)

(b). Timbal (Pb) :

Timbal banyak digunakan pada industri batere, kabel, cat (sebagai zat pewarna), penyepuhan, pestisida, dan yang paling banyak digunakan dipakai sebagai zat anti letup pada bensin. Timbal ditambahkan pada bensin dalam bentuk timbal tetraetil, $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ atau sebagai timbal tetrametil, $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$. Penambahan senyawa ini juga dicampur lagi dengan senyawa etilen diklorida, $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ atau etilen dibromida, $\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$ dengan tujuan untuk meningkatkan nilai oktana dari bensin. Dengan demikian timbal tidak mengendap dalam silinder atau busi, sehingga efisiensi dan waktu pemakaian mesin menjadi lebih baik (Holun, 1977 dalam Dahlan, 1989).

Jumlah Pb yang ditambahkan ke dalam bensin berbeda-beda di setiap negara. Di Indonesia setiap liter bensin premium yang dijual dengan nilai oktana 87 dan bensin super dengan nilai oktana 98, masing-masing mengandung 0,70 g dan 0,84 g senyawa timbal-tetraetil atau timbal-tetrametil, yang berarti sebanyak 0,56 g Pb akan dibuang ke udara untuk setiap liter bensin yang digunakan (Rustiawan, 1994).

Fergusson (1991) menyebutkan bahwa partikel Pb yang dikeluarkan oleh asap kendaraan bermotor berukuran antara 0,08 - 1,00 μm dengan masa tinggal (residence

time) di udara selama 4 - 40 hari. Masa tinggal yang cukup lama ini menyebabkan partikel Pb dapat disebarkan angin hingga mencapai jarak 100 - 1000 km dari sumbernya.

Penyebaran bahan pencemar di udara sangat dipengaruhi oleh cuaca. Tiupan angin dapat bekerja mengencerkan zat pencemar udara, sehingga dapat memperkecil bahaya dan kerugian akibat zat pencemar tersebut. Walaupun demikian, sifat tersebut akan mengakibatkan semakin meluasnya daerah yang terkena pencemaran jika dibandingkan seandainya tidak ada tiupan angin (Owen, 1980).

Setelah pembakaran bensin, timbal akan keluar dalam bentuk $PbCl_2$ atau $PbBr_2$, atau sebagai partikel Pb yang sangat halus. Sebagian dari Pb akan tetap berada di udara dan sebagian lagi akan jatuh ke permukaan bumi dan mengendap. Tinggi rendahnya konsentrasi Pb di atmosfer dipengaruhi oleh kecepatan angin, hujan, vegetasi, gedung-gedung tinggi, jalan yang sempit dan kemacetan lalu-lintas (Ali, *et al*, 1986). Timbal juga digunakan sebagai zat penyusun patri atau solder dan sebagai formulasi penyambung pipa yang mengakibatkan air untuk rumah-tangga mempunyai banyak kemungkinan kontak dengan timbal (Saeni, 1989).

Dalam konsentrasi kecil, semua bahan pangan alami mengandung timbal, dan dalam prosesing makanan mungkin konsentrasi timbal akan bertambah (Fardiaz, 1995). Adanya kontaminasi timbal dalam tubuh dapat diketahui melalui penentuan kadar timbal dalam darah, gigi, dan rambut. Selain dari makanan, udara, dan air, timbal dalam rambut dapat berasal dari cat rambut yang mengandung timbal asetat dan dapat juga berasal dari debu (Cohen dan Roe, 1991).

Gejala keracunan timbal dapat berupa mual, anemia, sakit di sekitar perut dan dapat menyebabkan kelumpuhan (Piotrowski dan Coleman, 1980). Timbal juga dapat mempengaruhi sistem saraf, intelegensia, dan pertumbuhan anak-anak. Hal ini disebabkan karena timbal dalam tulang dapat mengganti kalsium, sehingga dapat menyebabkan kelumpuhan. Soemarwoto (1985) juga menyatakan bahwa anemia bisa terjadi karena timbal dalam darah akan mempengaruhi aktivitas enzim asam delta amino levulonat dehid atase (ALAD) dalam pembentukan hemoglobin pada butir-butir darah merah. Defisiensi Ca, Fe, Zn, Cu, dan fosfat akan meningkatkan penyerapan timbal oleh jaringan tubuh (Cohen dan Roe, 1991).

Timbal berpengaruh terhadap darah melalui dua cara, yaitu : (1) penundaan pemasakan sel-sel darah merah

dalam sumsum tulang dan menimbulkan bintik-bintik pada sel-sel darah merah serta anemia, dan (2) menghambat sintesis hemoglobin oleh gangguan Pb pada dua zat penting untuk membentuk hemoglobin, yaitu asam amino delta levulonat dan korproporfin III (Waldbott, 1978).

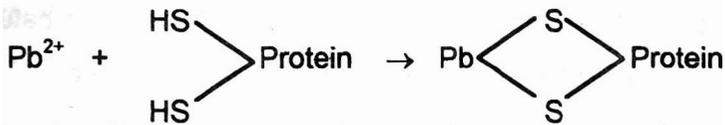
Ginjal adalah organ sasaran utama bagi kelebihan logam berat. Kemungkinan mekanisme keracunan ginjal oleh beberapa logam berat disebabkan karena efeknya pada enzim dehidrogenase pada gugus - SH. Pada kasus keracunan akut, beberapa logam berat seperti As, Bi, Cd, Pb, Hg, dan U menyebabkan nekrosis tubular, oligosuria, dan kegagalan fungsi ginjal (Casarett dan Doull 1975 ; Gan, 1980).

Menurut Tsalev dan Zaprinev (1985), besarnya tingkat keracunan timbal dipengaruhi oleh :

- (1). Umur : Janin yang masih berada dalam kandungan, balita dan anak-anak lebih rentan dibanding orang dewasa.
- (2). Jenis kelamin : Wanita lebih rentan dibandingkan pria.
- (3). Penderita penyakit keturunan atau orang-orang yang sedang sakit akan lebih rentan.
- (4). Musim : Musim panas akan meningkatkan daya racun terutama terhadap anak-anak.
- (5). Peminum alkohol akan lebih rentan terhadap timbal.

Orang-orang yang bekerja langsung berhubungan dengan bensin atau terkena uapnya seperti petugas pompa bensin dan pintu tol, polisi lalu-lintas, supir taksi dan pegawai bengkel dapat mengakumulasi Pb di dalam darahnya lebih tinggi dibandingkan dengan pekerja lain. Tingginya Pb dalam darah akan mempengaruhi aktivitas enzim delta ALAD dalam pembentukan hemoglobin di butir darah merah. Terganggunya enzim delta ALAD dalam memproduksi hemoglobin dapat mengakibatkan anemia (Soemarwoto, 1983; Fergusson, 1991).

Partikel-partikel uap Pb bila terhirup lewat saluran pernafasan akan merusak kesehatan. Partikel halus yang terhirup masuk ke dalam paru-paru dan selanjutnya ke dalam darah. Timbal dapat merusak dengan berbagai cara seperti pengurangan sel-sel darah merah, penurunan sintesis hemoglobin, dan penghambatan sintesis heme yang menimbulkan anemia. Secara umum mekanisme timbulnya anemia akibat Pb dijelaskan oleh Soedigdo (1981) yaitu akibat terbentuknya senyawa Pb dengan enzim. Kompleks yang terbentuk menjadi tidak aktif, yang berakibat terhambatnya sintesis darah merah (Hb). dan menimbulkan anemia, dengan reaksi :



Disamping pengaruh hematologi, timbal juga dikenal sebagai penghambat kelahiran yang menyebabkan sterilitas, keguguran, dan kematian janin (Piotrowski dan Coleman, 1980). Secara umum daya racun timbal yang akut pada manusia menyebabkan kerusakan hebat pada ginjal, sistem reproduksi, hati, otak, sistem saraf sentral, dan mengakibatkan sakit yang parah dan kematian. Pengaruh proses pelapisan kertas timbal atau cat dengan kandungan timbal tinggi diperkirakan telah menyebabkan penghambatan mental pada anak-anak, terutama bagi mereka yang tinggal di rumah-rumah tua dan tidak memenuhi standar rumah sehat (Saeni, 1989).

(c). Kadmium (Cd) :

Kadmium adalah salah satu unsur logam berat yang bersama-sama dengan unsur Zn dan Hg termasuk pada golongan II B daftar berkala. Kadmium jarang sekali ditemukan di alam dalam bentuk bebas. Keberadaannya di alam dalam berbagai jenis batuan, tanah, dalam batubara dan minyak. Kadmium dapat terikat pada protein dan molekul organik lainnya dan membentuk garam dengan asam-asam

organik. Dalam bentuk mineral, Cd berada dalam batuan greenochite (CdS) yang berasosiasi dengan batuan ZnS. Pada ekstraksi pertambangan, Cd sebagai hasil samping dari tambang seng (kandungan Cd sebesar lebih kurang 3 kg dalam 1 ton Zn). Pelapisan Cd pada suatu logam mengakibatkan logam menjadi antikorosi bila digunakan dalam air laut, air alkalis dan di lingkungan tropis (Fergusson, 1991).

Zat pencemar kadmium bersumber dari buangan industri, limbah pertambangan, pengelasan logam, dan pipa-pipa air. Secara kimia logam Cd sangat mirip dengan Zn dan kedua logam ini mengalami proses geokimia bersama-sama, serta keduanya terlarut dalam air dengan bilangan oksidasi +2.

Pengaruh racun akut dari Cd sangat buruk. Diantara penderita yang keracunan Cd mengalami tekanan darah tinggi, kerusakan ginjal, jaringan testikular, dan sel-sel darah merah (Saeni, 1989). Kadmium dalam tubuh dapat merusak tulang, dan di Jepang dikenal dengan gejala "Itai-itai" yang diakibatkan oleh pencemaran Cd dari pabrik cat (Hughes, 1981). Kerja fisiologis Cd memiliki sifat yang sama dengan Zn, sehingga secara spesifik Cd dapat mengganti Zn dalam beberapa enzim dan struktur stereo dari enzim tersebut dengan sendirinya diubah dan aktivitas

katalisnya dirusak (Saeni, 1989). Konsentrasi Cd dalam tubuh yang mengakibatkan keadaan kritis adalah 200 $\mu\text{g/g}$ pada saat terjadi kegagalan ginjal. Gejala yang terlihat adalah glikosuria diikuti dengan diuresis dan aminourea, proteinurea, asidurea dan hiperkalsiurea (Darmono, 1995).

Agar tidak terjadi keracunan karena mengkonsumsi makanan yang terkontaminasi logam Hg, Pb, dan Cd, maka ada suatu ketentuan yang disarankan oleh Food Agricultural Organization - World Health Organization, yaitu 0,3 mg orang⁻¹ minggu⁻¹ untuk Hg total dan tidak lebih dari 0,2 mg Hg jika dalam bentuk metil merkuri, 0,4 - 0,5 mg orang⁻¹ minggu⁻¹ untuk Cd, serta 3 mg Pb total orang⁻¹ minggu⁻¹

(d). Tembaga (Cu) :

Tidak seperti logam-logam Hg, Pb, dan Cd, logam Cu merupakan unsur renik esensial untuk semua tanaman dan hewan termasuk manusia, dan diperlukan pada berbagai sistem enzim. Oleh karena itu Cu harus selalu ada pada makanan. Sehubungan dengan hal ini yang perlu diperhatikan adalah agar unsur ini tidak kekurangan dan juga tidak berlebih (Saeni, 1995). Batas ambang Cu untuk perikanan dan peternakan sebesar 0,02 ppm dan untuk pertanian 0,2 ppm (PP 20 tahun 1990). Pada konsentrasi

yang lebih tinggi Cu akan toksik, terutama untuk bakteri, ganggang, dan jamur. Oleh karena itu CuSO_4 dan senyawa tembaga lain dapat digunakan sebagai pestisida (Pettrucci, 1982).

Tembaga sangat dibutuhkan oleh tumbuhan maupun hewan karena Cu adalah komponen utama dalam beberapa enzim oksidasi. Teori terbaru menyatakan bahwa kekurangan Cu akan menyebabkan anemia, karena Cu diperlukan untuk absorpsi dan mobilisasi Fe yang diperlukan untuk pembuatan hemoglobin.

Logam Cu bersama-sama Fe dan Co merupakan mineral yang sangat penting dalam pembentukan sel darah merah. Kobalt dapat meningkatkan jumlah hematokrit, hemoglobin, dan eritrosit dengan merangsang pembentukan eritropoetin. Eritropoetin berguna untuk meningkatkan absorpsi Fe oleh sumsum tulang. Metabolisme Fe dan Cu saling terkait, karena unsur ini terdapat dalam sitokrom oksidase. Defisiensi Cu dapat meningkatkan absorpsi Fe (Gan, 1980).

Sumber tembaga di lingkungan dapat berasal dari korosi kuningan dan pipa tembaga oleh air yang asam, limbah, penggunaan senyawa tembaga sebagai algisida perairan, fungisida tembaga dari daerah pertanian, dan pestisida pada treatment tanah dan efluen, serta cemaran

udara dari daerah industri (Canadian Council of Research and Environment Minister, 1987).

Logam Cu memiliki mekanisme metabolisme di dalam tubuh. Pada saluran pencernaan Cu diabsorpsi dan diangkut melalui darah berikatan dengan protein albumin dan transferin ke dalam hati lewat sistem darah portal hepatis. Logam Cu dalam tubuh berikatan dengan enzim seperti seruloplasmin, sitokromoksidase, dopamin hidrosidase, tirosinase, amin oksidase, lisil oksidase, dan superoksida dismutase. Ikatan tersebut memiliki tempat dan fungsi metabolisme tertentu dalam tubuh. Pada hati, hampir semua Cu berikatan dengan enzim, terutama enzim seruloplasmin yang mengandung 90 - 94% dari total kandungan Cu dalam tubuh.

Ion Cu dapat mengakibatkan toksik. Gejala yang timbul pada keracunan Cu akut adalah mual, muntah, mencret, sakit perut hebat, hemolisis darah, hemoglobinuria, nefrosis, kejang dan mati. Pada keracunan kronis, Cu tertimbun dalam hati dan dapat mengakibatkan hemolisis. Kejadian hemolisis ini disebabkan oleh tertimbunnya H_2O_2 dalam sel darah, sehingga terjadi oksidasi dari lapisan sel, akibatnya sel pecah (Darmono, 1995).

TRANSLOKASI DAN AKUMULASI LOGAM BERAT DI LINGKUNGAN

Logam berat tersebar di seluruh permukaan bumi, baik dalam tanah, air, maupun udara. Salah satu logam berat yang bersifat sangat beracun adalah merkuri dalam bentuk senyawa organo-merkuri yang mempunyai sifat sangat stabil di dalam air maupun udara, sehingga tahan lama di lingkungan.

Logam merkuri dapat masuk ke lingkungan melalui air hujan dari atmosfer atau bisa juga melalui pencucian tanah. Dari lingkungan logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan, kulit, maupun saluran pencernaan dari makanan atau minuman yang dikonsumsi.

Untuk kelangsungan hidup dan produktivitasnya, tanaman membutuhkan hara mineral dan air yang diperoleh dari tanah tempat hidupnya. Bila tanaman itu hidup pada tanah yang kandungan logam beratnya tinggi, kemungkinan besar kadar logam berat pada tanaman itu juga tinggi, karena tanaman mempunyai kemampuan menyerap logam berat (Stowson, 1986). Selain dari tanah, tanaman juga dapat menyerap logam berat dari udara melalui daunnya, misalnya timbal yang dapat masuk ke jaringan daun melalui stomata.

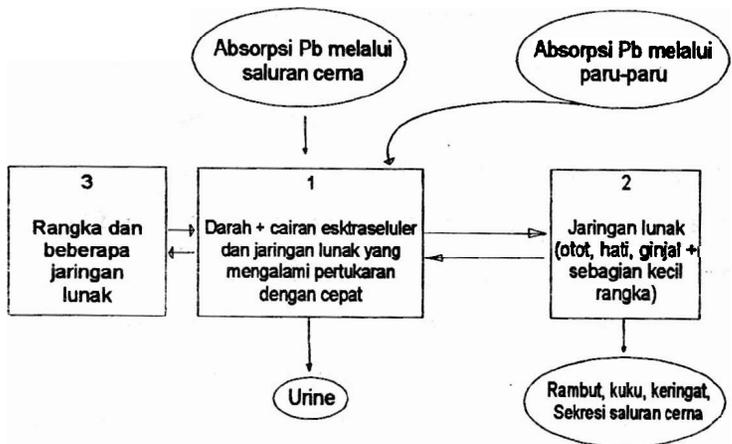
Manusia sebagai konsumen hasil tanaman, baik daun, buah, maupun umbi, dapat terkontaminasi logam berat melalui rantai pangan. Di dalam tubuh logam berat mengalami magnifikasi, sehingga kadarnya akan jauh lebih tinggi dari kadar logam berat tersebut pada sumbernya. Hal ini akan membahayakan kesehatan manusia.

Penyerapan logam berat oleh tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor, misalnya kadarnya dalam lingkungan tanaman, jenis tanaman, pH tanah, curah hujan, dan sebagainya. Kemampuan mengakumulasi logam berat juga berbeda untuk setiap jenis tanaman. Sommers (1980) dalam penelitiannya mendapatkan bahwa kemampuan menerima dan mentranslokasikan logam berat ke berbagai tanaman berbeda untuk setiap jenis tanaman. Bahkan spesies yang sama, tetapi tanamannya lain menunjukkan variasi kadar logam berat yang cukup besar. Dinyatakan pula bahwa tanaman sayuran seperti selada dan bayam cenderung mengakumulasi logam Cd dalam jumlah yang lebih besar dibanding kedele, jagung dan gandum bila tanaman tersebut ditanam pada kondisi yang sama.

Chaney (1980) menyatakan bahwa konsentrasi Cd dalam tanah akan memperbesar penangkapan unsur logam berat tersebut oleh tanaman yang selanjutnya memasuki rantai makanan dan berakhir pada manusia. Di dalam

tubuh Cd dapat menggantikan seng dalam enzim dan mengubah struktur stereo dari enzim tersebut, sehingga aktivitas katalisnya rusak. Sebaliknya seng dapat mengurangi atau mengeluarkan Cd dari dalam tubuh. Mengingat Cd sangat beracun, khususnya pada ginjal, dan perokok akan dapat memperbesar akumulasi logam berat pada ginjal (Florence dan Setright, 1994).

Timbal bersifat racun terhadap tubuh manusia, karena unsur ini mempengaruhi metabolisme Ca dan menghalangi beberapa sistem enzim (Rahayu, 1995). Timbal yang masuk ke bagian-bagian tubuh sewaktu-waktu melibatkan fungsi kinetik yang mencakup absorpsi, distribusi, metabolisme dan ekskresi (Gambar 2). Ginjal dan hati adalah organ-organ yang dituju oleh logam-logam Hg, Pb, dan Cd.



Gambar 2. Diagram metabolisme Pb (Sumber : Ratcliffe, 19981).

BIOINDIKATOR RAMBUT

Gugusan-gugusan sulfhidril ($-SH$) dan disulfida sistin ($-S-S-$) dalam rambut mampu mengikat logam berat yang masuk ke dalam tubuh dan terikat di dalam rambut. Mengingat senyawa sulfida mudah terikat oleh logam berat, maka bila logam berat masuk ke dalam tubuh, logam-logam tersebut akan terikat oleh senyawa sulfida dalam rambut (Pettrucci, 1982).

Helai rambut terdiri dari zat tanduk yang berisi protein keratin. Zat ini juga terdapat pada kuku, bulu, dan tanduk hewan menyusui (Mercer, 1969). Fungsi dari rambut adalah untuk melindungi pengaruh panas dan dingin. Pada daerah panas bulu yang halus dan tipis akan melindungi sengatan matahari. Sedangkan pada daerah dingin, bulu yang tebal dapat menahan panas badan (Loriwer, 1993).

Jumlah logam pada rambut berkorelasi dengan jumlah logam yang diabsorpsi oleh tubuh. Oleh karena itu rambut dapat dipakai sebagai bahan biopsi. Dari studi terhadap senyawa metilmerkuri menunjukkan bahwa jumlah senyawa itu dalam rambut berhubungan dengan metilmerkuri di daerah sekitar rambut itu tumbuh (Toribara dan Jackson, 1982).

Semakin tua umur seseorang, semakin bertambah daerah yang ditumbuhi rambut di permukaan tubuhnya.

Rambut seseorang paling tebal pada usia 20 tahun, dan setelah itu setiap helai rambut mengisut, sehingga pada usia 70 tahun, rambutnya sudah setipis ketika masih bayi (Panjaitan, 1991).

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian tentang penentuan tingkat pencemaran logam berat dengan analisis rambut yang telah kami teliti antara lain :

- (1). Penelitian “Hubungan antara konsentrasi logam berat (Pb, Cu, dan Hg) di lingkungan dan rambut”. Penelitian ini saya lakukan di Glasgow, Skotlandia, UK, tahun 1994 - 1995. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan korelasi konsentrasi Pb, Cu, dan Hg dalam air minum, kubis dan brokoli dengan Pb, Cu, dan Hg dalam rambut. Hasil penelitian tersebut terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Pb, Cu, dan Hg dalam air, kubis, brokoli, dan rambut.

Waktu Analisis	Bahan	Pb (ppm)	Kandungan : Cu (ppm)	Hg (ppb)
November, 1994	Air	0	0	0
	Kubis	10,20	0,30	6
	Brokoli	16,50	0,67	0
	Rambut	24,50	1,19	8
Desember, 1994	Air	1,45	0	0
	Kubis	13,60	0,24	6
	Brokoli	17,20	0,71	0
	Rambut	27,60	1,02	17
Januari, 1995	Air	1,05	0	0
	Kubis	12,00	0,4	7
	Brokoli	16,50	0,75	0
	Rambut	27,10	1,86	18
Rata-rata	Air	0,83	0	0
	Kubis	11,93	0,34	6,3
	Brokoli	16,73	0,71	0
	Rambut	26,40	1,36	14,3

Dari data hasil penelitian ini (Tabel 1), dapat disimpulkan bahwa :

- 1). Sumber timbal dalam badan berasal dari makanan dan air minum,
- 2). Sumber tembaga dalam badan berasal dari makanan,
- 3). Sumber merkuri dalam badan tidak semata-mata dari sayur-sayuran, tetapi juga dari makanan lain.
- 4). Persamaan regresi korelasi Cu dalam kubis dan Cu dalam rambut adalah :

$$Y = 0,19 X + 0,0654 \text{ , dengan } r = 0,98^*$$

(2). Saeni dan Wuryandari (1997) meneliti "Pengaruh pencemaran Pb, Cd, dan Cu dalam kangkung, bayam, dan air terhadap pencemaran dalam rambut di Kotamadya Bogor", yang dilakukan pada tahun 1995. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pencemaran logam berat Pb, Cd, dan Cu di Kotamadya Bogor dengan rambut sebagai bioindikator.

Hasil penelitian yang diperoleh memperlihatkan bahwa secara umum kandungan Pb dan Cd dalam rambut sudah melebihi ekskresi normal (Tabel 2).

Tabel 2. Kandungan Pb, Cu, dan Cd dalam rambut, kangkung, bayam dan air

Bahan	Pb (ppm)	Kandungan :	
		Cu (ppm)	cd (ppm)
Air	0,047	0,045	0,030
Bayam	28,464	15,302	2,166
Kangkung	22,234	12,295	1,011
Rambut	39,837	24,474	1,041

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa lingkungan di Kodya Bogor telah terkontaminasi oleh Pb, Cu dan Cd. Bahkan ada yang sudah sampai ke tingkat mencemari. Sayur yang diwakili oleh kangkung dan bayam yang dikonsumsi masyarakat Bogor sudah tercemar oleh ketiga logam berat tersebut. Rambut telah tercemar oleh Pb dan

Cd. Air minum telah tercemari oleh Cd, tetapi tidak oleh Pb dan Cu.

Hubungan regresi yang diperoleh berkorelasi positif. Artinya pencemaran kangkung, bayam, dan air oleh Pb, Cu, dan Cd berpengaruh terhadap pencemaran di rambut. Hubungan pencemaran Pb dalam kangkung dengan di rambut adalah :

$$Y = 0,107 x + 17,855 \quad (r = 0,633^*)$$

(3). Kunti dan Saeni (1997) meneliti "Tingkat pencemaran logam berat (Hg, Pb, dan Cd) di dalam sayuran, air minum dan rambut di Denpasar, Gianyar, dan Tabanan". Penelitian ini dilakukan pada tahun 1996 dan bertujuan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran Hg, Pb, dan Hg di ketiga kota tersebut melalui contoh bayam, kangkung, air minum, dan rambut. Dari penelitian ini diperoleh hasil sebagai berikut (Tabel 3).

Tabel 3. Kandungan rata-rata Hg, Pb dan Cd pada sayuran, air minum, dan rambut di Denpasar, Gianyar dan Tabanan.

Kota	Denpasar	Kandungan (dalam ppm) : Gianyar	Tabanan
<u>Kadar Hg :</u>			
Kangkung	0,0054	0,0058	0,0050
Bayam	0,0199	0,0083	0,0074
Air minum	0,0003	0,0003	0,0003
Rambut	0,0406	0,0578	0,0335
<u>Kadar Pb :</u>			
Kangkung	2,7230	3,3656	2,5421
Bayam	3,6468	3,7309	3,5346
Air minum	0,0663	0,0813	0,0613
Rambut	38,0346	57,5770	35,5121
<u>Kadar Cd :</u>			
Kangkung	0,0310	0,0421	0,0272
Bayam	0,1336	0,1148	0,1429
Air minum	0,0095	0,0065	0,0039
Rambut	0,9387	0,9086	0,7320

Dari penelitian ini tampak bahwa kadar Hg pada bayam di Denpasar (0,0199 ppm) cenderung lebih tinggi daripada Gianyar (0,0083 ppm) dan Tabanan (0,0074 ppm). Kadar Hg dalam air di ketiga lokasi pengamatan sama. Kadar Hg pada rambut yang tertinggi terdapat di Gianyar.

Kadar timbal pada bayam selalu lebih tinggi daripada kangkung, baik di Denpasar, Gianyar, maupun Tabanan. Hal ini disebabkan karena permukaan daun bayam lebih kasar dan lebih luas dari daun kangkung. Batang dan tangkai daun bayam berbulu halus, sedangkan batang dan tangkai daun kangkung tidak berbulu, sehingga kemam-

Daun dan batang bayam menyerap partikel Pb lebih tinggi dari kangkung. Hal ini didukung oleh Weling, *et al* (1977) dalam Flanagan, *et al* (1980) yang menyatakan bahwa partikel $PbCl_2$ yang menempel pada permukaan daun yang berbulu, tujuh kali lebih besar daripada endapan di atas permukaan daun dan batang yang licin. Kadar Pb air minum di ketiga kota tersebut sudah melampaui ambang batas (lebih dari 0,05 ppm). Tingginya kadar Pb tersebut disebabkan oleh padatnya arus lalu-lintas dan pusat pariwisata. Kadar Pb di rambut yang tertinggi terdapat di Gianyar yaitu sebesar 57,5770 ppm, yang disebabkan oleh arus lalu-lintas yang cukup padat.

Kadar Cd tertinggi terdapat pada bayam, baik di Denpasar, Gianyar, maupun Tabanan. Kadar Cd pada bayam di Tabanan cenderung lebih tinggi dari di Gianyar dan Denpasar. Hal ini disebabkan oleh perbedaan jenis tanaman yang mempengaruhi kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi Cd.

Kandungan Cd pada air minum di Denpasar tertinggi dibandingkan dengan Gianyar dan Tabanan. Hal ini disebabkan oleh kepadatan penduduk. Kadmium juga banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya sebagai bahan penstabil dan pewarna dalam industri plastik, pencelupan, fotografi, batere, dan lain-lain.

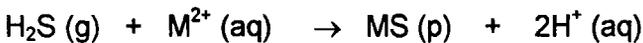
Tingginya kadar Cd pada rambut di Denpasar didukung oleh tingginya kadar logam ini di lingkungan, yang diwakili oleh bayam dan air minum di Denpasar, kadar Cd-nya juga lebih tinggi daripada Gianyar dan Tabanan. Jadi pada lingkungan yang lebih tercemar akan mempengaruhi kadar zat pencemar dalam tubuh yang dicerminkan oleh kadarnya pada rambut. Selain makanan dan air minum, rokok juga merupakan sumber pencemar Cd. Friberg, *et al* (1986) menyatakan bahwa seorang perokok yang mengisap 20 batang per hari akan meningkatkan penyerapan Cd per harinya antara 2 - 4 μg . Diperkirakan Cd yang terhirup, 50% berasal dari asap rokok.

Kadmium yang diserap oleh tubuh selanjutnya akan tertimbun dalam hati, ginjal, tulang, dan gigi. Jika proses ini berlangsung terus, dapat menimbulkan gejala keracunan, seperti kuning pada gigi, gangguan penciuman, emfisemia dan proteinuria, sehingga membahayakan kesehatan masyarakat.

PENUTUP

Setelah banyak menggeluti mengenai pencemaran lingkungan khususnya pencemaran logam berat, betapa besar kehati-hatian yang harus dilakukan untuk meng-

hadapi pengaruh yang mungkin timbul akibat dari pencemaran tersebut. Bagi para industriawan yang membuang zat pencemar logam berat ke lingkungan harus berupaya untuk menanggulangnya. Upaya penanggulangan pencemaran logam dalam air dapat dilakukan dengan mengendapkan kation-kation logam dengan anion yang sesuai. Kebanyakan logam sulfida tidak larut dalam air, oleh karena itu ion-ion logam bisa diendapkan dengan melalukan gas hidrogen sulfida ke dalam limbah yang mengandung kation-kation logam tersebut. Misalnya untuk logam M^{2+} , reaksinya:



Lumpur dari hasil endapan sulfida itu dikumpulkan dan kemudian dibuang. Sulfida merupakan anion basa, oleh karena itu pengendapan akan lebih efisien pada pH tinggi. Pengaturan pH tersebut dapat dinaikkan dengan penambahan kapur untuk menetralkan H_2S (Bunce, 1990).

Cara lain yang sedang populer adalah dengan penyaringan menggunakan biofilter. Salah satu dari beberapa gulma air penting di Indonesia adalah eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Banyak peneliti melaporkan bahwa eceng gondok dapat menyerap berbagai zat pencemar dalam air dan dapat dimanfaatkan untuk mengurangi beban pencemaran lingkungan. Dengan demikian bila tanaman ini dikelola dengan baik dan dipanen secara teratur,

pemanfaatan eceng gondok dapat berperan dalam penanggulangan pencemaran air (Lubis, 1986). Hasil percobaan Chigbo, *et al* (1982) menunjukkan bahwa eceng gondok dapat mengabsorpsi logam-logam Cd, As, Hg, dan Pb. Kemampuan penyerapan logam berat oleh eceng gondok dipengaruhi oleh pH, waktu, serta jumlah dan jenis logamnya (O'Koeffe dan James K. Hardy, 1984).

Tanaman-tanaman lain yang dapat digunakan sebagai penyerap logam berat adalah mendong (*Scirpus articulatus*), kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan talas-talasan (*Syngonium sp*). Kemampuan tanaman-tanaman tersebut terhadap penyerapan logam berat masih terus diteliti oleh para ahli pencemaran lingkungan.