

PENCEMARAN LINGKUNGAN OLEH ADANYA PROSES BIOMETILASI LOGAM BERAT

Oleh

Hari Sutrisno dan Das Salirawati

Abstrak

Air limbah industri yang dikeluarkan oleh proses-proses industri berbeda-beda dalam jumlah maupun kekuatan pencemarannya, sesuai dengan satuan operasi atau proses yang merupakan sumbernya. Dalam lingkup sempit air limbah buangan yang dapat dapat mengakibatkan pencemaran antara lain: buangan dari laboratorium kimia, yang di dalamnya terdapat logam-logam berat, seperti air raksa, arsen.

Logam berat tersebut dapat berubah menjadi suatu senyawa metil dari logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan, baik dalam bentuk gas maupun cair. Proses ini terjadi dengan bantuan bakteri dalam kondisi anaerob karena di dalam bakteri ada suatu koenzim metilkobalamin. Mekanisme perpindahan metil menjadi suatu senyawa metil dari logam berat yang utama melalui: serangan elektrofilik pada ikatan Co-C (metilkobalamin) atau perpindahan CH_3^- , dan serangan radikal bebas ($\text{CH}_3\cdot$).

Agar hasil dari reaksi di atas tidak terjadi (dapat dikurangi) diperlukan suatu teknik pembuangan, proses pengolahan sedemikian rupa sehingga proses metilasi oleh bakteri tidak dapat berlangsung. Misalnya, penghilangan ion-ion logam berat sebelum dibuang ke lingkungan.

Pendahuluan

Masalah pencemaran lingkungan merupakan masalah semua makhluk hidup di bumi, seiring dengan bertambahnya populasi manusia dan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi dengan didirikannya industri-industri untuk mencukupi kebutuhan hidup manusia. Kegiatan industri yang makin berkembang akan menimbulkan jumlah dan macam limbah industri yang dibuang ke lingkungan.

Sisa buangan atau limbah industri dapat berupa gas atau debu, cairan, dan padatan. Sisa buangan cair yang dikeluarkan oleh proses-proses industri sering disebut air limbah industri. Air limbah industri berbeda-beda dalam jumlah

maupun kekuatan pencemarannya, sesuai dengan satuan operasi atau proses yang merupakan sumbernya. Limbah cair ini dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan, yaitu apabila limbah atau bahan ini tidak dapat dihancurkan oleh organisme hidup, dan mengalami akumulasi dalam komponen lingkungan dan akan menimbulkan gangguan kesehatan. Limbah yang menyebabkan pencemaran lingkungan, antara lain: minyak, detergent, asam dan alkali, limbah cair yang mengandung logam.

Dalam lingkup kecil atau sempit sumber limbah cair yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, antara lain: rumah tangga, laboratorium. Apabila penanganan limbah ini tidak diperhatikan akan menyebabkan limbah cair tersebut terakumulasi dalam komponen lingkungan dan tidak dapat dihancurkan oleh organisme, atau dapat dihancurkan dengan bantuan bakteri tetapi menghasilkan zat lain yang beracun, dan akibat lebih jauh menimbulkan gangguan kesehatan manusia. Suatu contoh, pada limbah cair yang berasal dari laboratorium kimia, banyak sekali zat-zat kimia yang dibuang ke lingkungan mengandung logam, antara lain: air raksa, arsen, timbal. Dengan bantuan bakteri yang mengandung koenzim metilkobalamin, yaitu suatu zat perantara proses metilasi, akan mengubah logam di atas menjadi senyawa metil dari logam berat yang sangat berbahaya, baik dalam bentuk gas ataupun cair. Dengan demikian, perlu penanganan yang serius pada limbah cair dengan membuat bak-bak penampungan yang dibuat sedemikian rupa, sehingga produk dari proses biologi tersebut tidak menyebar ke lingkungan tanpa terkendali, yang akibat lebih lanjut sangat membahayakan kesehatan manusia.

Proses Biometilasi pada Beberapa Logam Berat

Beberapa logam berat dalam konsentrasi yang normal merupakan komponen penting pada fungsi biologis, tetapi akan bersifat racun bila terdapat dalam konsentrasi yang tinggi. Dua hal penyebab utama sehingga logam berat menjadi bahan pencemar yang berbahaya, yaitu logam berat tidak dihancurkan oleh mikroorganisme yang hidup di lingkungan, dan terakumulasi pada komponen-komponen lingkungan terutama dalam air dengan membentuk kompleks bersama

bahan organik atau anorganik secara adsorpsi dan kombinasi (Sugeng Martopo, - :15). Pada umumnya reaksi racun dari logam mempengaruhi kerja enzim dalam tubuh.

Pada bagian ini dibahas pembentukan suatu senyawa metil dari logam air raksa (Hg) dan arsen (As) dengan bantuan bakteri yang disebut proses biometilasi. Proses biometilasi yang terjadi pada logam berat di limbah cair perlu dicegah karena menghasilkan suatu senyawa metil dari logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Senyawa metil dari logam berat tersebut, antara lain: ion monometilmerkuri, dimetilmerkuri, dimetilarsin, trimetilarsin. Senyawa-senyawa ini dalam bentuk padat, ada juga yang cair akan terbuang ke lingkungan. Apabila masuk ke dalam tubuh manusia baik langsung maupun tidak langsung akan membahayakan kesehatan.

Prinsip secara alami asal metil pada sejumlah senyawa metil dari logam berat ada 3, yaitu (Krishnamurthy, 1992: 347): metilkobalamin, S-adenil metionin, dan metil iodida. Pada bahasan ini dibicarakan proses biometilasi dengan adanya metilkobalamin beserta mekanisme reaksinya.

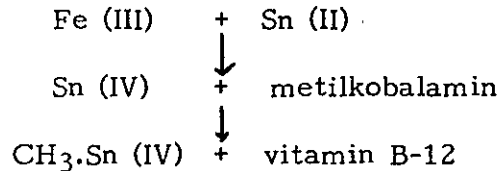
Metilkobalamin adalah suatu koenzim berbentuk vitamin B-12 yang ditemukan dalam bakteri dan binatang, yaitu kompleks dari kobal yang disusun oleh mikroorganisme. Dari beberapa perantara proses biometilasi, metilkobalamin adalah unik, perpindahan gugus metil melalui 3 mekanisme yang mungkin, yaitu sebagai karbonion (CH_3^-), ion karbonium (CH_3^+) dan radikal metil ($\text{CH}_3\cdot$). Dari ketiga mekanisme di atas, mekanisme perpindahan karbonion (CH_3^-) dalam radikal metil ($\text{CH}_3\cdot$) merupakan yang utama. Mekanisme perpindahannya sebagai berikut.

Serangan Elektrofilik pada Ikatan Co-C : Perpindahan CH_3^-

Reaksi metilkobalamin berlangsung cepat dengan sejumlah ion logam dalam medium air di bawah kondisi kurang oksigen (anaerob), akan didapat alkil logam dan akuakobalamin sebagai hasil. Suatu contoh, reaksi antara metilkobalamin dengan merkuri asetat melibatkan perpindahan karbonion. Kecepatan reaksi pembentukan metil merkuri sangat cepat, dilakukan oleh bakteri dengan melibatkan perpindahan karbonion.

Serangan Radikal Bebas

Radikal bebas melibatkan pembelahan homolitik ikatan pada Co-C dari metilkobalamin, dengan perpindahan radikal metil dan menghasilkan Co (II) kobalamin. Penyerangan terhadap logam atau jenis metaloid berisi sebuah elektron bebas tak berpasangan yang ketika berkombinasi dengan metil dalam bentuk unsur yang teroksidasi. Suatu contoh, metilasi tiol oleh metilkobalamin; proses metilasi timah oleh metilkobalamin membutuhkan Sn (II) dan perantara oksidator, seperti Co (III) atau Fe (III). Sn (IV) yang terjadi tidak berreaksi dengan metilkobalamin. Tampak bahwa Sn (IV) merupakan jenis radikal yang menyerang ikatan Co-C, seperti pada reaksi berikut.



Air Raksa (Merkuri)

Suatu peristiwa keracunan air raksa telah terjadi selama tahun 1953-1960 di Teluk Minamata (Jepang) dengan 111 orang meninggal karena mengkonsumsi ikan laut yang telah tercemar senyawa air raksa. Sumber air raksa adalah air limbah industri kimia yang dibuang ke teluk Minamata. Pada tahun 1966, 20 orang meninggal dan 45 orang lebih dirawat di Guatemala karena keracunan air raksa.

Kasus lain terjadi di Irak tahun 1971. Para petani memperoleh bibit gandum dalam kantong yang diberi tanda khusus. Gandum ini hanya untuk ditanam karena telah diberi fungisida air raksa yang beracun. Petani yang tidak dapat membaca tanda beracun ini memberikan gandum tersebut kepada ternaknya, dan sebagian ada yang mengolah menjadi roti. Hewan yang diberi makan gandum tersebut dijual ke tempat pemotongan. Dari sini tersebar daging yang terkontaminasi air raksa. Pemerintah Irak mengambil tindakan dengan menangkap dan menghukum petani yang memberi gandum tersebut kepada ternaknya, sedangkan petani yang belum terlanjur membuang bibit gandum tersebut ke sungai Tigris sehingga pencemaran air raksa terjadi pula di sungai.

Berita tak resmi menyatakan bahwa musibah keracunan di Irak ini menelan korban 400 orang meninggal.

Menurut Fuller (1974:262), pencemaran pada makanan oleh merkuri berasal dari 2 jalur, yaitu:

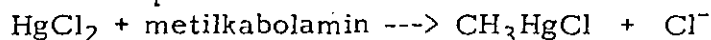
- a. Senyawa air raksa yang larut dalam air dimasukkan melalui rantai makanan dari mikroorganisme ke ikan, dan senyawa air raksa terakumulasi.
- b. Senyawa air raksa digunakan sebagai fungisida dalam bibit atau benih, diserap oleh tanaman yang menjadi kecambah dari bibit tersebut dan masuk ke tubuh binatang ternak yang memakan tumbuhan tersebut.

Proses perusakan dalam tubuh oleh air raksa agar dimengerti dengan baik, harus memahami hal berikut (Fuller, 1974:263):

- a. Semua senyawa air raksa adalah beracun dalam berbagai tingkat.
- b. Beberapa senyawa lebih beracun dari yang lain.
- c. Senyawa air raksa yang ada dalam lingkungan, masuk di dalam tubuh diubah menjadi senyawa air raksa yang berbeda dengan proses biologi.
- d. Air raksa mempunyai tendensi yang kuat bereaksi dengan belerang. Di dalam jaringan tubuh manusia air raksa bereaksi dengan enzim-SH (kelompok asam amino cystein dalam enzim) sehingga menghentikan reaksi kimia dalam tubuh atau mengganggu fungsi biologis tubuh.
- e. Proses perusakan dalam kehidupan organisme adalah permanen, tidak pulih kembali.

Efek keracunan air raksa, antara lain: kerusakan sistem saraf, termasuk sifat lekas marah, kelumpuhan, kebutaan atau penyakit gila; kerusakan kromosom; dan cacat kelahiran (Manahan, 1984:156).

Dengan tak terduga kadar yang tinggi dari air raksa ditemukan dalam air dan pada jaringan ikan dalam bentuk ion monometilmerkuri (CH_3Hg^+), dan uap dimetilmerkuri ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$) karena kerja bakteri anaerob dalam batuan. Air raksa dari senyawa tersebut terakumulasi dalam jaringan lemak ikan. Proses biometilasi dengan bantuan bakteri dari air raksa anorganik dalam air ke ikan menjadi senyawa metilmerkuri melalui perantara metilkobalamin:

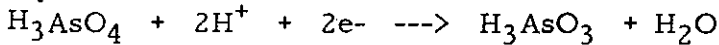


Dalam keadaan netral atau basa, bentuk senyawa yang terjadi adalah dimetilmerkuri $((\text{CH}_3)_2\text{Hg})$, senyawa ini dalam bentuk uap/gas dan dibebaskan ke atmosfer. Senyawa metil tersebut mempunyai daya racun yang kuat.

Arsen

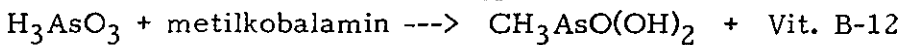
Arsen banyak terdapat dalam kerak bumi atau batuan kira-kira 2-5 ppm. Pembakaran bahan bakar fosil, partikel batu bara, merupakan sumber sejumlah arsen ke dalam lingkungan. Arsen terjadi bersama-sama mineral pospat dan keluar ke lingkungan bersama dengan senyawa pospor. Beberapa pestisida yang digunakan sebelum perang dunia II berisi senyawa arsen yang mempunyai daya racun tinggi.

Penjelasan mengenai senyawa arsen dalam lingkungan air, seperti pada air raksa, yaitu diubah menjadi senyawa turunan metil oleh bakteri dengan bantuan metilkobalamin seperti reaksi berikut (Manahan, 1984:153):

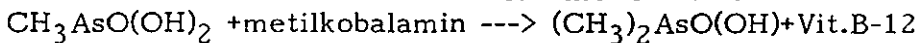


Asam arsenat

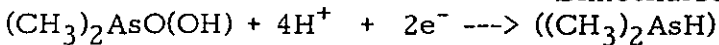
Asam arsenit



Monometilarsenit

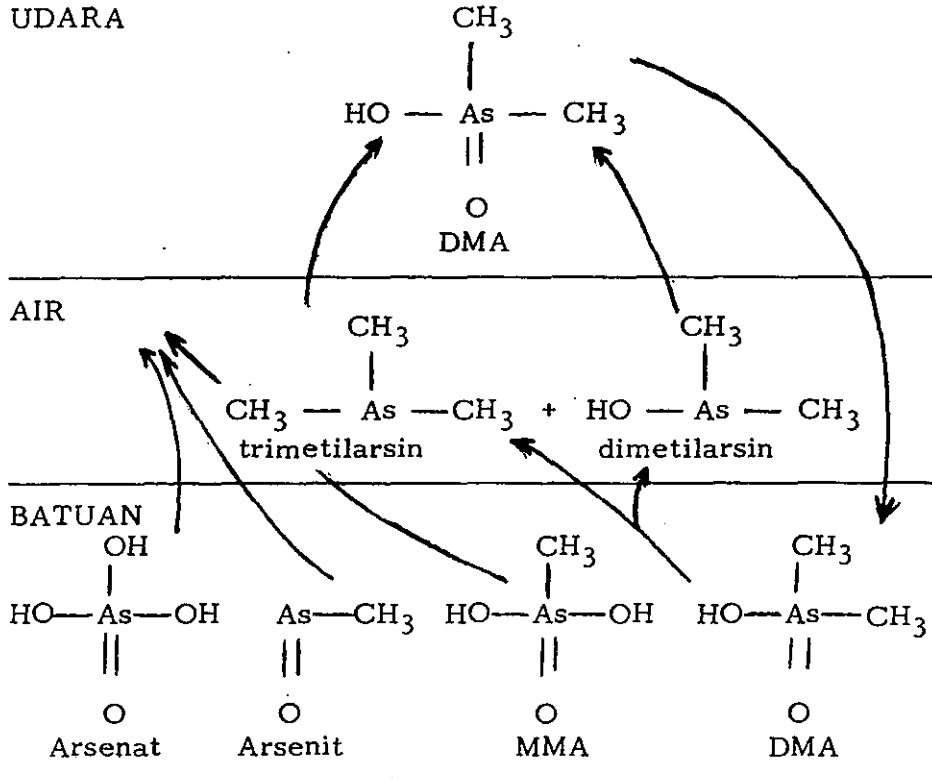


Dimetilarsenit



Dimetilarsin

Apabila senyawa di atas dipandang tempat keberadaannya dalam lingkungan, siklus arsen adalah sebagai berikut (Eko Sugiarto, 1991:8):



Sumber: Wood, 1975.

Proses biometilasi arsen terbuksi pada sejumlah peristiwa keracunan senyawa arsen di Eropa selama tahun 1880. Pada kondisi lembab, senyawa arsen pada dinding sebagai campuran cat dan kertas dalam suatu ruangan mengalami proses biometilasi. Ditunjukkan dengan bau busuk bawang putih yang kuat, dan masyarakat yang tidur atau bekerja dalam ruangan tersebut menjadi sakit karena menghirup senyawa organoarsen. Trimetilarsin telah diketahui sebagai gas yang sangat beracun. Arsen (III) lebih beracun daripada Arsen (V).

Efek keracunan arsen yang dominan dalam tubuh diketahui ada 3 hal, yaitu: penggumpalan protein, membentuk kompleks dengan koenzim, dan penghambat produksi ATP (Manahan, 1984:507). Organ tubuh yang mengalami kerusakan akibat keracunan arsen, antara lain: pada kulit, sekeliling pembuluh darah dan reduksi yang hebat pada aliran darah;

kerusakan sistem syaraf, kelumpuhan pada pusat kontrol sistem jantung; perubahan morfologi sel; kerusakan yang berhubungan dengan lambung.

Kesimpulan

Logam berat air raksa dan arsen dapat terbang bersama limbah industri, dan dalam lingkup yang khusus (kampus) dari buangan laboratorium kimia. Logam ini mengalami proses metilasi dengan bantuan bakteri dalam kondisi anaerob, menghasilkan suatu senyawa metil dari logam berat yang sangat beracun baik dalam bentuk gas ataupun cair. Proses ini berlangsung karena dalam tubuh bakteri ada suatu koenzim yang disebut metilkobalamin. Hasil proses biometilasi apabila penanganan air limbah kurang diperhatikan akan mencemari lingkungan. Senyawa metil dari logam air raksa dan arsen sangat beracun, misalnya: dapat merusak sistem syaraf, kerusakan kromosom, cacat kelahiran, kelumpuhan pada pusat kontrol sistem jantung, perubahan morfologis sel, kerusakan pembuluh darah dan sekelilingnya, kerusakan yang berhubungan dengan lambung.

Dengan demikian, air limbah industri yang mengandung logam berat, dan khususnya sisa buangan laboratorium kimia dapat diproses terlebih dahulu dalam bak penampungan sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu tujuan tersebut di atas adalah agar proses biometilasi tidak berlangsung.

Daftar Pustaka

- Sugeng Martopo. ---. *Dampak Limbah Industri terhadap Lingkungan*. Yogyakarta: FMIPA UGM.
- Krishnamurthy, S. 1992. *Journal of Chemistry Education*. Biomethylation and Environmental Transport of Metals. Vol. 68. No.7. May.
- Fuller, E.C. 1974. *Chemistry and Man's Environment*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Manahan, S.E. 1984. *Environmental Chemistry*. Fourth Edition. Boston: Millard Grant Press.

Eko Sugiarto. 1991. "Peranan Analisis Kimia untuk Penentuan Komponen-komponen Limbah Industri". Makalah Seminar LOKTIK ke-8 di Yogyakarta 8-9 Agustus 1991. Yogyakarta: FMIPA UGM.