

Pencemaran Udara, Respon Tanaman Dan Pengaruhnya Pada Manusia

Edy Batara Mulya Siregar

Fakultas Pertanian
Program Studi Kehutanan
Universitas Sumatera Utara

A. Pencemaran Udara

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (KEPMEN KLH) No. Kep.02/Men-KLH/1988, yang dimaksudkan dengan pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke udara dan atau berubahnya tatanan udara oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitas udara turun hingga ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Menurut Wardhana (1995), udara bersih yang dihirup hewan dan manusia merupakan gas yang tidak tampak, tidak berbau, tidak berwarna maupun berasa. Meskipun demikian, udara yang benar-benar bersih sulit didapatkan terutama di kota besar yang banyak terdapat industri dan lalu lintas yang padat. Udara yang mengandung zat pencemar dalam hal ini disebut udara tercemar. Udara yang tercemar tersebut dapat merusak lingkungan dan kehidupan manusia. Kerusakan lingkungan berarti berkurangnya daya dukung alam terhadap kehidupan yang pada gilirannya akan mengurangi kualitas hidup manusia secara keseluruhan.

Pencemaran mempunyai kepentingan ekonomi, informasi yang tepat mengenai tingkat gas fitotoksik dalam atmosfer yang tercemar masih kurang (Fitter dan Hay, 1994). Pada suatu tempat tertentu, konsentrasi akan tergantung atas sejumlah besar faktor-faktor lingkungan termasuk jarak dari sumber pencemar, topografi, *altitude* (ketinggian dari permukaan laut), pencemar udara, hujan, radiasi matahari, serta arah dan kecepatan angin.

B. Sumber Pencemaran Udara

Sumber pencemaran udara yang utama adalah berasal dari transportasi terutama kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar yang mengandung zat pencemar, 60% dari pencemar yang dihasilkan terdiri dari karbon monoksida dan sekitar 15% terdiri dari hidrokarbon (Fardiaz, 1992). Sumber-sumber pencemar lainnya adalah pembakaran, proses industri, pembuangan limbah dan lain-lain.

Pada beberapa daerah perkotaan, kendaraan bermotor menghasilkan 85% dari seluruh pencemaran udara yang terjadi. Kendaraan bermotor ini merupakan pencemar bergerak yang menghasilkan pencemar CO, hidrokarbon yang tidak terbakar sempurna, NO_x, SO_x dan partikel. Pencemar udara yang lazim dijumpai dalam jumlah yang dapat diamati pada berbagai tempat khususnya di kota-kota besar menurut Hasketh dan Ahmad dalam Purnomohadi (1995) antara lain adalah:

- (1) *Nitrogen Oksida (NO_x)* yaitu senyawa jenis gas yang terdapat di udara bebas, sebagian besar berupa gas nitrit oksida (NO) dan nitrogen oksida (NO₂) serta

berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Gas NO tidak berwarna dan tidak berbau, sedangkan gas NO₂ berwarna coklat kemerahan, berbau tidak sedap dan cukup menyengat. Berbagai jenis NO_x dapat dihasilkan dari proses pembakaran Bahan Bakar Minyak (BBM) dan bahan bakar (BB) fosil lainnya pada suhu tinggi, yang dibuang ke lingkungan melalui cerobong asap pabrik-pabrik di kawasan industri. Gas NO_x inipun berbahaya bagi kesehatan dan ternak, dan di kawasan pertanian dapat merusak hasil panen.

- (2) *Belerang Oksida (SO_x)*, khususnya belerang dioksida (SO₂) dan belerang tri-oksida (SO₃) adalah senyawa gas berbau tak sedap, yang banyak dijumpai di kawasan industri yang menggunakan batubara dan kerkas sebagai BB dan sumber energi utamanya. Belerang oksida juga merupakan salah bentuk gas hasil kegiatan vulkanik, erupsi gunung merapi, sumber gas belerang alami (sulfatar), sumber air panas dan uap panas alami (fumarol). Oksida-oksida ini merupakan penyebab utama karat karena ia sangat reaktif terhadap berbagai jenis logam (membentuk senyawa logam sulfida). Ia juga mengganggu kesehatan, khususnya indra penglihatan dan selaput lendir sekitar saluran pernapasan (hidung, kerongkongan dan lambung). Di kawasan pertanian, gas-gas belerang oksida ini dapat merusak hasil panen.
- (3) *Partikel-partikel*; dapat berasal dari asap (terutama hasil pembakaran kayu, sampah, batubara, kokas dan Bahan Bakar Minyak yang membentuk jelaga) dan dapat pula berupa partikel-partikel debu halus dan agak kasar yang berasal dari berbagai kegiatan alami dan manusia. Sifat terpenting partikel ini adalah ukurannya, yang berkisar antara 0,0002 mikron hingga 500 mikron. Pada kisaran ukuran ini partikel-partikel tersebut dapat berbentuk partikel tersangga (*suspended particulate*) yang keberadaannya di udara berkisar antara beberapa detik hingga beberapa bulan, tergantung pula pada keadaan dinamika atmosfer.

Menurut Kozak dan Sudarmo dalam Purnomohadi (1995), ada dua bentuk emisi dari dua unsur atau senyawa pencemar udara yaitu:

- 1) Pencemar Udara Primer (*Primary Air Pollution*), yaitu emisi unsur-unsur pencemar udara langsung ke atmosfer dari sumber-sumber diam maupun bergerak. Pencemar udara primer ini mempunyai waktu paruh di atmosfer yang tinggi pula, misalnya CO, CO₂, NO₂, SO₂, CFC, Cl₂, partikel debu, dsb.
- 2) Pencemar Udara Sekunder (*Secondary Air Pollution*), yaitu emisi pencemar udara dari hasil proses fisik dan kimia di atmosfer dalam bentuk fotokimia (*photochemistry*) yang umumnya bersifat reaktif dan mengalami transformasi fisik-kimia menjadi unsur atau senyawa. Bentuknya pun berbeda/berubah dari saat diemisikan hingga setelah ada di atmosfer, misalnya ozon (O₃), aldehida, hujan asam, dan sebagainya.

Berdasarkan sebaran ruang, sumber pencemar udara dapat dikelompokkan menjadi sumber titik, sumber wilayah, dan sumber garis. Sementara menurut sumber pencemarannya, emisi pencemar udara dapat dibedakan menjadi sumber diam dan sumber bergerak. Sumber diam biasanya berupa kegiatan industri dan rumah tangga (pemukiman), tetapi sementara pakar menganggap permukiman sebagai pencemar udara non titik (*non-point sources*). Sumber bergerak terutama berupa kendaraan bermotor, yang berkaitan dengan transportasi.

Senyawa pencemar udara berdasarkan sifatnya menjadi tiga kelompok seperti yang dikemukakan oleh Meetham (1981) yaitu;

- (1) Senyawa yang bersifat reaktif.
- (2) Partikel-partikel halus yang tersangka di atmosfer dalam jangka waktu yang lama.
- (3) Partikel-partikel kasar yang segera jatuh ke permukaan tanah.

Senyawa-senyawa pencemar udara tersebut antara lain adalah SO_2 , SO_3 , CO , anomia (NH_3), asam hidroklorit, senyawa flour dan unsur-unsur radioaktif. Partikel-partikel halus terutama berbentuk kabut yang berasal dari proses pembakaran bahan bakar secara tak sempurna; sedangkan partikel-partikel kasar terutama berbentuk senyawa organik. Senyawa SO_2 , asap dan debu dapat berfungsi sebagai *prototype* senyawa pencemar udara yang lain.

B.1. Nitrogen Oksida(NO_x)

Nitrogen Oksida (NO_x) adalah kelompok gas di atmosfer, yang banyak di jumpai sebagai pencemar udara adalah gas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2), disamping bentuk nitrogen oksida lainnya.

NO_x dapat dihasilkan dari proses alami, seperti pencahayaan (*lighting*), kebakaran hutan dan aktifitas mikroorganisme. Di daerah perkotaan, emisi NO_x terutama berasal dari hasil pembakaran bahan bakar dan bahan organik lainnya. Baik sumber static maupun sumber bergerak.

Penyebaran dan konsentrasi berbagai jenis gas NO_x di lingkungan perkotaan pada prinsipnya dipengaruhi oleh:

- (1) Topografi lokal, khususnya adanya canyon gedung-gedung tinggi; yang dapat meningkatkan kadar NO_2 secara lokal, khususnya pada sisi jalan.
- (2) Keadaan meteorologi, misalnya inversi suhu yang terjadi di atas kota dapat mengurangi *mixing height* sehingga akan meningkatkan kadar NO_2 .

Sebagian NO di atmosfer akan diubah menjadi NO_2 melalui proses-proses lain yang tidak merupakan reaksi langsung kadar O_2 . Proses ini disebut sebagai daur fotolitik NO_2 yang merupakan akibat langsung dari interaksinya terhadap cahaya matahari. Secara ringkas tahap-tahap reaksi dapat diuraikan sebagai berikut;

- (1) NO_2 menyerap energi sinar matahari dari komponen gelombang pendek yaitu sinar ultraviolet.
- (2) Energi yang diserap tersebut memecah molekul-molekul NO_2 dan atom-atom oksigen (O) yang bersifat sangat reaktif.
- (3) Atom-atom oksigen tersebut beraksi dengan oksigen bebas di udara (O_2), membentuk ozon (O_3) yang merupakan pencemar udara sekunder.
- (4) Ozon akan bereaksi dengan NO membentuk NO_2 dan O_2 sehingga reaksi menjadi lengkap berlangsung secara sinambung dan teratur.

Daur tersebut tidak berpengaruh apapun bila tidak terdapat reaktan lain, sehingga konsentrasi NO dan NO_2 tidak berubah karena O_3 dan NO yang berbentuk akan hilang dengan jumlah yang setimbang. NO akan sangat cepat diubah menjadi NO_2 dibandingkan kecepatan disosiasi NO_2 menjadi NO dan O . inilah yang menyebabkan ozon (O_3) terakumulasi di atmosfer. Karena itu gas-gas NO_x (khususnya NO_2) dianggap sebagai pencemar udara penting bagi unsur/senyawa oksidasi lain (seperti O_3 tersebut).

Konsentrasi NO_x diudara berubah-ubah sepanjang waktu tergantung pada sinar matahari dan sumber pencemarnya. Fardiaz (1992) mengkaji perubahan konsentrasi NO_x sebagai berikut :

- (1) Konsentrasi NO dan NO₂ stabil dan pada dini hari sedikit lebih daripada konsentrasi minimum sehari-hari.
- (2) Antara pukul 06.00 s/d 08.00 segera kegiatan manusia meningkat misalnya konsentrasi NO meningkat karena lalu lintas dan pabrik mulai beroperasi samapai dengan nilai tertinggi dapat mencapai 2 ppm.
- (3) Dengan terbitnya matahari yang memancarkan sinar ultraviolet, NO primer manjadi NO₂ sekunder dan konsentrasinya dapat meningkat hingga mencapai 0,5 ppm.
- (4) Dengan menurunnya konsentrasi NO, maka konsentrasi O₃ meningkat hingga kurang dari 0,1 ppm .
- (5) Pada saat intensitas energi matahari menurun (antara pukul 17.00 s/d 20.00), konsentrasi NO meningkat lagi .
- (6) O₃ yang terakumulasi sepanjang hari akan bereaksi dengan NO meskipun energi matahari tidak tersedia untuk mengubah NO menjadi NO₂, sehingga konsentrasi NO tersebut meningkat sedangkan konsentrasi O₃ menurun.

Lama waktu tinggal rata-rata NO₂ diatmosfer kira-kira tiga hari dan NO rata-rata empat hari, berdasarkan perhitungan kecepatan emisi NO_x. Lamanya waktunya tinggal menyebabkan reaksi fotokimia menghilangkan NO_x tersebut. Hasil akhir pencemaran NO_x dapat berupa asam nitrat (HNO₃), yang terintersepsi oleh lingkungan sebagai garam-garam nitrat di dalam air hujan (menyebabkan hujan debu) dan debu.

Proses biologis berbagai jenis bakteri menghasilkan NO yang relatif banyak, namun tidak menjadi masalah karena tersebar merata secara regional maupun global, sehingga konsentrasinya menjadi kecil. Yang menjadi masalah adalah emisi NO_x hasil kegiatan manusia yang didispersikan ke udara hanya pada wilayah yang sangat terbatas sehingga dapat mengakibatkan konsentrasi ambien terbentuk menjadi lebih tinggi.

B.2. Belerang Oksida (SO_x)

Belerang oksida terutama disebabkan oleh dua jenis gas belerang yang tidak berwarna, yaitu gas SO₂ yang berbau sangat tajam dan tidak dapat terbakar di udara dengan SO₃ yang tidak reaktif. Kedua jenis tersebut merupakan sumber pencemar yang melibatkan kegiatan manusia, yaitu dari proses pembakaran bahan bakar yang mengandung belerang, termasuk bahan bakar minyak yang ditambang dari daerah-daerah vulkanik, batubara.

Terdapat dua faktor yang terlibat dalam reaksi pembentukan SO₂ yang menyebabkan jumlahnya sedikit, yaitu:

- (1) Kecepatan reaksi yang terjadi berlangsung sangat lambat pada suhu yang relatif rendah (misalnya pada suhu 20°C), tapi meningkat sejalan dengan peningkatan suhu. Sebaliknya reaksi setimbang akan lebih tinggi apabila berlangsung pada suhu rendah akan lebih banyak menghasilkan SO₃, dibandingkan pada suhu tinggi.
- (2) Konsentrasi SO₃ didalam campuran setimbang akan lebih tinggi apabila reaksi setimbang pada suhu rendah dibandingkan dengan konsentrasi SO₃ dalam reaksi setimbang pada suhu yang tinggi.

Kedua faktor yang saling terkait tersebut saling menghambat satu terhadap yang lain selama proses berlangsung. Bila konsentrasi uap air tinggi, maka SO_3 dan air akan segera bereaksi membentuk asam sulfat (H_2SO_4). Di daerah dengan kelembaban udara tinggi seperti di Indonesia, komponen pencemaran belerang terdapat dalam bentuk H_2SO_4 yang dihasilkan dari reaksi emisi SO_3 dengan air tersebut. Karena itu setiap pengukuran atau pemantauan SO_x (khususnya SO_2) hendaknya dilakukan juga terhadap H_2SO_4 , terlebih karena sifat iritasinya yang lebih kuat.

Perbandingan keberadaan konsentrasi SO_2 dan H_2SO_4 di udara ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: jumlah uap air, waktu dan lama keberadaan cemaran belerang, jumlah partikel/unsur katalik, intensitas cahaya matahari, dan jumlah emisi total SO_x dari semua sumbernya. Konsekuensinya lebih lanjut dari senyawa-senyawa belerang di udara (dalam bentuk SO_x dan H_2SO_4) antara lain berupa:

- (1) Diatas kawasan yang tercemar oleh senyawa-senyawa belerang akan terbentuk hujan asam yang lebih asam.
- (2) Keberadaan senyawa-senyawa belerang baik berupa hujan asam ataupun bukan, tetap akan menyebabkan proses korosi pada logam dan atau proses pemburaman permukaan bangunan yang mengandung kapur/marmer.
- (3) Karena sifat afinitas belerang terhadap logam-logam berat relatif lebih tinggi, maka campuran cemaran senyawa belerang dengan cemaran logam berat (misalnya Pb) akan membentuk logam sulfida (PbS). Oleh karena itu, cemaran logam berat tersebut mudah mengendap dan terintersepsi oleh berbagai jenis permukaan.

B.3. Partikel

Partikel adalah setiap benda padat/cair yang dari suatu masa melalui proses dispersal dalam media gas/udara dengan hampir tidak memiliki kecepatan jatuh. Partikel atau debu berdasarkan susunan kimianya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu partikel atau debu mineral dan organis (Ryadi, 1982).

Sumber pencemaran partikel berasal dari aktifitas industri, pembakaran bahan bakar fosil kendaraan bermotor, badai pasir, pembakaran hutan serta gunung berapi (alami). Ukuran diameter yang ada di udara berkisar antara 0.0005 - 500 μm dimana partikel terkecil akan hilang karena perpaduan gerak brown dan partikel yang besar akan jatuh akibat pengaruh gravitasi (Smith, 1981).

Pencemaran oleh partikel dapat menimbulkan beberapa permasalahan antara lain adalah sebagai berikut;

- 1) Mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan,
- 2) Mempunyai daya pencemar udara yang luas penyebarannya dan tinggi seperti Be, Pb, Cr, Hg, Ni dan Mn;
- 3) Partikal dapat menyerap gas sehingga dapat mempertinggi efek bahaya dari komponen tersebut.

B.4. Logam Berat Timbal (Pb)

Bahan tambahan bertimbal pada premium dan fremix terdiri atas cairan anti letupan (*anti knocking agent*) yang mengandung scavenger kimiawi, yang dimaksudkan untuk dapat mengurangi letupan selama proses pemampatan dan pembakaran di dalam mesin. Bahan tersebut yang lazim dipakai adalah tetrametil Pb atau $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$, tetrametil Pb atau

kombinasi/campurannya. Umumnya etilen di bromida ($C_2H_4Br_2$) dan diklorida ($C_2H_4Cl_2$) ditambahkan agar dapat bereaksi dengan sisa senyawa Pb yang tertinggal di dalam mesin sebagai akibat dari pembakaran bahan anti letupan tersebut. Campuran/komposisi yang lazim ditambahkan terdiri atas 62% tetratetil Pb 18% etilen bromida, 18% etilen diklorida, dan 2% bahan-bahan lainnya.

Dari berbagai senyawa buangan bertimbal yang mengandung gugus halogen tersebut, emisi senyawa-senyawa $PbBrCl$ dan $PbBrCl_2PbO$ adalah yang terbanyak, (32,0% dan 31,4% dari total Pb yang dimisikikan sesaat setelah mesin kendaraan bermotor dihidupkan, dan 12,0% dan 1,6% dari total Pb pada 18 jam setelah mesin dihidupkan).

Penelitian pencemaran udara oleh Kozak (1993) mendapatkan dugaan emisi Pb pada tahun 1991 sebesar 73.154.42ton; dengan sebaran menurut sumbernya sebagai berikut; transportasi 98,61% dan industri 1,39 %, sedangkan bagi rumah tangga dan pemusnahan sampah dianggap tidak menghasilkan emisi timbal.

Smith (1981) menyebutkan bahwa sejumlah besar logam berat dapat terasosiasi dengan tumbuhan tinggi. Diantaranya ada yang dibutuhkan sebagai unsur mikro (Fe, Mn dan Zn) dan logam berat lainnya yang belum diketahui fungsinya dalam metabolisme tumbuhan (Pb, Cd, Ti dan lain-lain). Semua logam berat tersebut dapat potensial mencemari tumbuhan. Smith (1981) juga menerangkan gejala akibat pencemaran logam berat, yakni klorosis, nekrosis, pada ujung dan sisi daun serta busuk daun yang lebih awal.

Jumlah Pb di udara dipengaruhi oleh volume atau kepadatan lalu lintas, jarak dari jalan raya dan daerah industri, percepatan mesin dan arah angin. Sedangkan tingginya kandungan Pb pada tumbuhan juga dipengaruhi oleh sedimentasi.

Tumbuhan tingkat tinggi relatif lebih tahan terhadap partikel Pb daripada algae tapi dapat rusak dengan konsentrasi yang rendah dan membentuk nekrosis (kerusakan jaringan). Dalam hal ini, sebagai contoh adalah tumbuhan *Vicia faba* yang sangat sensitif terhadap pencemar udara setelah 24 jam.

C. Pencemaran Udara dan Respon Tanaman

Pada kebanyakan pencemaran udara, secara sendiri-sendiri atau kombinasi menyebabkan kerusakan dan perubahan fisiologi tanaman yang kemudian diekspresikan dalam gangguan pertumbuhan (Kozlowski, 1991). Pencemaran menyebabkan perubahan pada tingkatan biokimia sel kemudian diikuti oleh perubahan fisiologi pada tingkat individu hingga tingkat komunitas tanaman. Dijelaskan pula bahwa pencemaran udara terhadap tanaman dapat mempengaruhi:

1. *Pertumbuhan*. Sangat banyak literatur yang menunjukkan bahwa berbagai pencemar udara dan air secara sendiri-sendiri dan dalam bentuk kombinasi mengurangi pertumbuhan kambium, akar dan bagian reproduktif.
2. *Pertumbuhan akar*. Baik pencemar gas maupun partikel mengurangi bibit, jumlah pengurangan bervariasi tergantung kepada konsentrasi dan waktu pemaparan. Beberapa studi menunjukkan bahwa pertumbuhan tinggi dari pohon tua dapat berkurang. Sebagai contoh, terjadinya penurunan pertumbuhan tinggi pada beberapa tumbuhan yang disebabkan oleh pencemar SO_2 , NO_2 dan partikel.
3. *Pertumbuhan daun*. Luasan daun dari suatu pohon dan tegakkan pohon yang terekspose ke pencemar udara dapat berkurang karena pembentukan dan kecepatan absisi daun. Sebagai contoh SO_2 mengurangi berat dan luas daun.

C.1. Kerusakan Makrokopis Daun

Pencemar atmosfer secara merugikan merusak tumbuhan dalam beberapa cara. Kerusakan akibat pencemaran sering secara umum diklasifikasikan kedalam akut, kronis atau tersembunyi (Muud, 1975). Pada kerusakan akut, kerusakan pada pinggir atau antar tulang daun dicirikan mula-mula oleh penampakan berkurangnya air, kemudian mengering dan memutih sampai berwarna gading pada kebanyakan species, tetapi pada beberapa species menjadi coklat atau merah kecoklatan. Kerusakan ini disebabkan oleh penyerapan gas pencemar udara cukup untuk membunuh jaringan dalam waktu yang relatif cepat.

Kerusakan kronik ditunjukkan oleh menguningnya daun yang berlanjut hingga memutih karena kebanyakan dari klorofil dan karotenoid dirusak. Kerusakan kronis disebabkan oleh absorpsi sejumlah gas pencemar udara yang tidak cukup untuk menyebabkan kerusakan akut, atau dapat disebabkan oleh penyerapan sejumlah gas dalam konsentrasi subletal dalam periode waktu yang lama (Muud, 1975).

Beberapa polutan sekunder diketahui bersifat sangat merusak tanaman. Percobaan dengan cara pengasapan tanam-tanaman dengan NO_2 menunjukkan terjadinya bintik-bintik pada daun jika digunakan konsentrasi 1.0 ppm, sedangkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi (3.5 ppm atau lebih) terjadi nekrosis atau kerusakan pada tenunan daun.

Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan 2 komponen gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan sulfur trioksida (SO_3), dan keduanya disebut sebagai belerang oksida (Sox). Sama halnya dengan gas yang lain, kerusakan tanaman oleh Sox dipengaruhi oleh dua factor yaitu konsentrasi Sox dan waktu kontak. Kerusakan tiba-tiba (akut) terjadi jika kontak dengan Sox pada konsentrasi tinggi terjadi dalam waktu tidak lama, dengan gejala beberapa bagian daun menjadi kering dan mati dan biasanya warnanya memucat. Kontak dengan Sox pada konsentrasi rendah dalam waktu lama menyebabkan kerusakan kronis, ditandai dengan menguningnya warna daun karena terhambatnya mekanisme pembentukan klorofil.

Kerusakan akut pada tanaman disebabkan kemampuan tanaman untuk mengubah belerang dioksida yang diabsorpsi menjadi asam sulfat kemudian menjadi sulfat. Garam-garam tersebut terkumpul pada ujung atau tepi daun. Sulfat yang terbentuk pada daun berkumpul dengan sulfat yang diabsorpsi melalui akar, dan jika akumulasi pencemar udara cukup tinggi, terjadi gejala kronis yang ditandai dengan gugurnya daun. Dengan demikian, klorosis atau nekrosis akan terletak pada jaringan antar tulang daun terutama bagian pucuk atau pinggir daun.

C.2. Kerusakan Anatomi Daun

Jaringan anatomi daun pada klas dikotil tersusun atas sekumpulan sel yang memiliki bentuk yang hampir sama. Jaringan tersebut tersusun atas jaringan epidermis atas dan bawah, jaringan mesofil (daging daun) yang tersusun atas jaringan palisade dan jaringan bunga karang.

Epidermis menutupi permukaan atas dan bawah daun dilanjutkan ke epidermis batang. Sedangkan lapisan mesofil merupakan daerah paling utama untuk proses fotosintesis. Lapisan palisade merupakan bagian dari daun yang paling banyak mengandung kloroplast, dan merupakan bagian yang paling banyak mempengaruhi produk fotosintesis. Kerusakan yang terjadi pada mesofil daun, terutama pada jaringan

palisade oleh pencemaran udara akan memberi dampak yang paling besar terhadap kegiatan fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan.

Sewaktu-waktu dampak dari beberapa pencemar terhadap tumbuhan dapat dibedakan dan dipisahkan dan pada waktu yang lain tidak. Chang (1975) menemukan bahwa respon histologis dari tanaman dikotil terhadap hydrogen fluorida dan sulfur dioksida menjadi tidak dapat dibedakan.

Perubahan histologis yang paling umum dalam kerusakan daun oleh pencemar udara adalah plasmolisis, granulasi atau disorganisasi penyusun sel, rusaknya sel atau disintegrasi, dan pigmentasi jaringan (Darley dan Middleton, 1966 dalam Mudd, 1975).

Koslowski dan Mudd (1975) menyebutkan bahwa bahan pencemar dapat menyebabkan terjadinya kerusakan fisiologis didalam tanaman jauh sebelum terjadinya kerusakan fisik. Para ahli lainnya menyebutkan hal tersebut sebagai kerusakan tersembunyi. Kerusakan tersembunyi dapat berupa penurunan kemampuan tanaman dalam menyerap air, pertumbuhan sel yang lambat atau pembukaan stomata yang tidak sempurna.

Total luasan daun (*leaf area*) dari suatu tanaman yang terkena pencemaran udara akan mengalami penurunan, karena terhambatnya laju pertumbuhan dan perluasan daun serta meningkatnya jumlah daun yang gugur, sehingga secara langsung maupun tidak langsung akan menurunkan hasil fotosintesis. Kriteria dini untuk beberapa kerusakan yang tidak terlihat adalah meliputi hal-hal berikut ini :

1. Kerusakan tersebut meliputi gangguan kehidupan tumbuhan yang pada akhirnya berdampak pada pertumbuhan.
2. Gangguan tersebut tidak terlihat oleh mata secara langsung.
3. Tumbuhan menjalani waktu pemaparan terhadap konsentrasi pencemar yang tidak menghasilkan gejala (simptom) yang dapat diamati.

Istilah kerusakan daun yang tidak terlihat bukan istilah yang tepat karena perubahan anatomi dari respon tumbuhan terhadap pencemaran udara dapat dilihat dengan mikroskop. Disamping itu, kerusakan klorosis dan nekrosis jelas mempengaruhi jaringan fotosintesis dari gejala yang tampak serta menurunnya pertumbuhan adalah akibat gangguan aktifitas dan struktur sel.

Kerusakan yang tidak tampak atau tersembunyi akan mengakibatkan terjadinya pertumbuhan yang tidak normal sehingga dapat memperlambat laju fotosintesis dan selanjutnya akan mengurangi produksi suatu tanaman tertentu dengan tanpa memperlihatkan gejala-gejala yang tampak. Perubahan histologis yang paling umum akibat pencemaran udara adalah terjadinya plasmolisis, kerusakan kandungan sel (granulasi), sel-sel yang mengalami kolaps dan pigmentasi atau perubahan warna sel menjadi gelap.

Pencemar debu di udara dapat menutupi mulut daun dan hal ini akan membatasi proses transpirasi seperti yang dikemukakan oleh Fakuara (1987) dalam Zubayr (1994). Sedangkan bahan kimia yang berupa gas , sebagai contoh SO₂ akan masuk melalui mulut daun kemudian mempengaruhi komposisi cairan sel, dan sel menjadi rusak dan mati.

Pada tumbuhan berdaun lebar, baik SO₂ maupun HF menyebabkan kolapsnya sel-sel bunga karang, diikuti oleh stomata permukaan bawah yang berhubungan dengan epidermis kemudian diikuti oleh kerusakan kloroplast dan merusak jaringan palisade. Jaringan-jaringan vaskular rusak kemudian (Ormond, 1978)

Studi ultrastruktur mengenai pengaruh dari fumigasi SO₂ terhadap tanaman telah dilakukan dan diperlihatkan bahwa pembengkakan (*swelling*) dari ruangan dalam tilakoid merupakan suatu dari pengaruh utama SO₂ terhadap tanaman. Awalnya pembengkakan ini merupakan fenomena reversibel meskipun waktunya tergantung pada dosis. Beberapa pembengkakan menjadi indikasi adanya kekacauan ionis dan pengasaman yang terlalu cepat.

Suratin (1991) mengemukakan, berdasarkan hasil penelitiannya diketahui bahwa kerusakan daun kebanyakan terjadi pada bagian mesofil. Menurutnya terdapat kecendrungan antara kerusakan daun tersebut dengan jumlah kendaraan karena melepaskan gas SO_x, NO_x dan partikel. Daun menjadi bagian yang paling menderita, hal ini menjadi karena sebagian besar bahan-bahan pencemaran udara mempengaruhi tanaman melalui daun, yaitu masuk melalui stomata dengan proses difusi molekuler terutama bahan pencemar yang berupa gas.

C.3. Kerusakan Klorofil

Penghambatan terhadap fotosintesis seringkali dipertimbangkan sebagai satu pengaruh utama SO₂ terhadap tanaman dan kloroplast, karena kloroplast di anggap sebagai tempat utama dari banyak gangguan yang disebabkan oleh SO₂ atau produknya dalam bentuk larutan. Stroma kloroplast umumnya mempunyai pH yang lebih besar dari 7 (mendekati 9 pada cahaya terang) dan dalam kondisi ini membentuk ion sulfat dengan mengorbankan bisulfat ketika terjadi ionis sulfur dalam larutan. Sebagai konsekuensinya pengaruh sulfat sering dipertimbangkan sebagai pemikir kegiatan belerang dioksida dalam kloroplas tetapi jika pH rendah senyawa sulfur akan masuk lebih mudah sebagai larutan belerang dioksida.

Pengaruh SO₂ terhadap pigmen fotosintesis sangat besar. Kerusakan klorofil terjadi pada *lichenes* setelah diberi pemaparan dosis SO₂ 5 ppm selama 24 jam. Pada konsentrasi tinggi ini, molekul klorofil terdegradasi menjadi phaeophitin dan Mg²⁺. Pada proses ini molekul Mg²⁺ dalam molekul klorofil diganti oleh dua atom hydrogen yang berakibat perubahannya karakteristik spektrum cahaya dari molekul klorofil. Oleh karena itu, kandungan klorofil sering dijadikan indikator terhadap pencemaran udara (khususnya SO₂). Pada *lichenes* yang sensitif, pemaparan kronis dengan konsentrasi SO₂ rendah (0.01 ppm) menyebabkan hilangnya klorofil.

Kerusakan pada daun oleh pencemaran udara dapat dihambat diantaranya dengan adanya lapisan lilin daun. Lilin pada permukaan daun secara fisiologis untuk menahan kehilangan uap air, mengontrol pertukaran gas, mengurangi pelepasan nutrien dan metabolit, dan bertindak sebagai bahan pencemar yang reaktif seperti SO₂, NO₂ dan O₃. Lilin daun merupakan bagian daun yang penting yang dapat dipercepat rusaknya oleh angin, abrasi, gesekan dan interaksi kimia dengan polutan. Jadi kerusakan lilin daun menyebabkan daun menjadi sensitif terhadap pencemar. Morfologi maupun distribusi lilin pada daun dipengaruhi oleh pencemaran udara. Kerusakan pada permukaan daun (khususnya daun lebar) dapat terjadi oleh hujan asam dengan pH 3 – 3,5 dan konsentrasi sulfat 500 mol/liter, sementara nitrat tidak memiliki pengaruh yang nyata (Cape, 1993).

D. Sumber Timbal (Pb) dan Pencemarannya di Udara

Timbal (Pb) secara alami terdapat sebagai sulfida, timbal karbonat, timbal sulfat, dan timbal klorofosfat (Faust dan Aly, 1981). Kandungan timbal dalam beberapa batuan

kerak bumi sangat beragam. Batuan eruptif macam seperti granit dan riolit memiliki kandungan timbal kurang lebih 200 ppm; kandungan timbal batuan intermedier misalnya andesit, relatif sama dengan batuan eruptif masam yaitu 20 ppm; batuan metamorfosa seperti schist dan batuan sedimen tertentu misalnya liat mempunyai kadar timbal berkisar antara 15-20 ppm, sedangkan kandungan rata-rata dalam *sandstone* dan *limestone* berkisar 7-10 ppm (Aubert dan Pinta, 1981).

Timbal banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifat-sifatnya yaitu : a). Timbal mempunyai titik cair yang rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik sederhana dan tidak mahal; b). Timbal merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk, c). Sifat kimia timbal menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai pelindung jika kontak dengan udara lembab (Fardiaz, 1992). Bahkan, menurut Saeni (1997) timbal merupakan logam berat yang paling berbahaya kedua, setelah merkuri.

Sumber utama pencemaran udara adalah asap kendaraan bermotor. Sastrawijaya (1991) menegaskan bahwa pembakaran bensin sebagai sumber pencemar lebih dari separuh polusi udara di daerah perkotaan, yaitu sekitar 60 –70 % dari total zat pencemar. Tsalev dan Zaprianov (1985) menyebutkan, 52% pencemaran timbal sebagai salah satu bahan aditifnya, sedangkan 48 % pencemaran timbal terhadap lingkungan ditemukan pada bahan pembungkus kabel, zat pewarna pada cat, campuran beberapa logam (alpaka), bahan pelindung terhadap pengaruh pengasaman, kritical, keramik dan sebagai bahan stabilisator pada plastik dan karet.

Bahan aditif adalah bahan-bahan kimia yang ditambahkan kedalam bahan bakar untuk memperbaiki mutu bakarnya. Bahan-bahan kimia yang ditambahkan tersebut dimaksudkan sebagai anti letup pada mesin, pencegah korosi, antioksidan deactivator logam, anti pengembunan dan zat pewarna. Logam timbal merupakan salah satu bahan aditif yang sering ditambahkan untuk memperbaiki mutu mesin.

Logam timbal terdapat di alam dalam bentuk mineral, sehingga harganya relatif lebih murah dan labih mudah di peroleh dibanding bahan aditif yang lain (Widiriani,1996). Jumlah timbal yang ditambahkan ke dalam bensin berbeda-beda untuk tiap negara. Di Indonesia setiap liter bensin premium yang di jual dengan nilai oktana 87 dan bensin super dengan nilai oktana 98 mengandung 0,70 – 0,84 g senyawa tetraetil dan tetrametil, hal ini berarti sebanyak 0,56 – 0,63 g senyawa timbal akan dilepaskan ke udara untuk setiap liter bensin yang dimanfaatkan (Rustiawan, 1994).

Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi timbal di udara yaitu : a). Waktu, temperatur, kecepatan dari emisi, ukuran, bentuk, dan kepadatan timbal ; b). Parameter meteorologi seperti kecepatan angin, derajat turbulensi dan kelembaban, dan c). Jarak pengambilan contoh dari sumber pencemar, topografi setempat seperti lembah, bukit yang akan mempengaruhi penyebarannya.

Fergusson dalam Saeni, (1995) menyebutkan bahwa partikel tumbal yang di keluarkan oleh asap kendaraan bermotor berubah antara 0,08-1,00 μm dengan masa tinggal di udara selama 4-40 hari. Masa tinggal yang lama ini menyebabkan partikel timbal dapat di sebarakan angin hingga mencapai jarak 100-1000 km dari sumbernya.

Di alam diketahui 200 jenis mineral timbal, tetapi hanya beberapa saja yang penting, misalnya galena (PbS), rusit (PbCO_3) dan anglesit (PbSO_4). Galena yang paling sering digunakan sebagai sumber ekstraksi timbal. Bijih karbonat dan sulfat berbentuk dari senyawa sulfidanya karena proses pelapukan. Timbal juga terbentuk bersama dengan

Zn dalam batuan spalerit, dan dengan tembaga sebagai kalkopirit, juga sebagai isomorf dari ion-ion K, Sr, Ba, Cu dan Na dalam berbagai batuan. Badan dunia WHO (1984) telah menetapkan batas maksimal serapan timbal oleh manusia dewasa sebesar 400-450 µg/hari.

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

Menurut Fergusson (1991), terdapat dua jenis sirkulasi udara yang dapat memperburuk bahaya zat pencemar yaitu:

1. Pergerakan udara yang disebabkan oleh arus pembalikan udara bagian yang lebih tinggi ke bagian yang lebih rendah. Pergerakan udara terjadi secara vertikal, sehingga mengakibatkan bahan pencemar terdapat pada lokasi yang sama jangka waktu yang cukup lama.
2. Pergerakan udara yang disebabkan oleh angin. Angin dapat menyebarkan udara tercemar secara horizontal, sehingga zat pencemar dapat mencapai daerah-daerah yang cukup jauh sumbernya.

E. Sumber Timbal dan Pencemarannya di Dalam Tanah

Timbal dalam tanah dapat dibedakan antara timbal yang berasal dari pencemaran dengan timbal yang terdapat secara alami. Jumlahnya berkisar 2 - 200 ppm dengan kandungan rata-rata 16 ppm. Akibat aktivitas manusia terutama kendaraan bermotor dan industri yang menggunakan bahan bakar yang mengandung timbal telah meningkatkan jumlahnya di lapisan permukaan tanah, sehingga mencapai 1 600-2 400 ppm (NAS,1972).

Sumber pencemaran timbal dalam tanah dapat berasal dari asap kendaraan bermotor, penambangan dan industri serta cat tembok yang larut bersama air hujan (Burau, 1982). Logam berat timbal dalam buangan limbah industri di Jabotabek ternyata telah melebihi batas maksimal yang diizinkan untuk limbah. Hal tersebut dapat terjadi, karena banyak industri belum mempunyai fasilitas pengolahan limbah (Surtipanti dan Suwirma, 1987).

Logam berat yang terdapat di dalam sedimen atau tanah, dapat melakukan proses pertukaran ion dan adsorpsi. Terutama pada partikel halus dengan permukaan yang luas dan gugus bermuatan negatif seperti tanah liat (kaolinit, klorit, montmorilonit), zat-zat humin(asam humus, asam fulfik, humin), dan oksida-oksida dari Fe dan Mn (Brady, 1974).

Tanah liat mampu mrngikat kation-kation logam berat, sehingga konsentrasi logam berat dalam limbah setelah melalui kolom tanah menjadi berkurang. Keadaan ini di tunjukkan oleh penurunan daya hantar listrik limbah setelah dilakukan ke kolom tanah, dibandingkan dengan sebelum melalui kolom tanah tersebut (Saeni, 1980).

Logam dalam tanah, berperan sebagai satuan ion bermuatan dan membentuk bahan organik dengan logam yang tidak larut (logam-kelat). Kehadirannya sangat dipengaruhi oleh akticitas tanaman tingkat tinggi serta mikroorganisme. Keduanya merupakan sumber ligan yang larut dalam air untuk membentuk senyawa kompleks. Logam yang diikat kompleks organik bersifat tidak larut, tidak dapat di cuci dan relatif tidak tersedia bagi

tanaman, dengan demikian senyawa organik tanah mampu mengurangi bahaya potensial yang disebabkan oleh logam berat beracun (Stevenson, 1982).

Pengambilan contoh tanah untuk analisis kandungan timbal, sangat ditentukan oleh sumber pencemarannya. Pada lokasi pencemarannya berasal dari udara, konsentrasi timbal pada permukaan tanah hingga kedalaman beberapa centimeter (terutama yang kaya akan bahan organik) akan jauh tinggi dibandingkan dengan tanah dari bagian yang lebih dalam (Burau, 1982). Ward *et al.* (1975) menunjukkan bahwa konsentrasi timbal pada kedalaman tanah lebih dari 5 cm ternyata konstan.

Timbal (Pb) sebagai bahan pencemar memasuki tanah dari berbagai sumber dan proses siklusnya yang baru mengikuti pengikatan yang terjadi dalam permukaan tanah. Timbal dalam tanah dapat dibedakan antara timbal yang berasal dari pencemaran dan timbal yang terdapat secara alami, jumlahnya berkisar 2-200 ppm. Akibat aktivitas manusia terutama kendaraan bermotor dan industri yang menggunakan bahan bakar yang mengandung timbal telah meningkatkan jumlahnya di lapisan permukaan tanah sehingga dapat mencapai konsentrasi 1600-2400 ppm (NAS 1972).

Alloway (1995) mengemukakan bahwa partikel timbal sebagai salah satu logam berat berbahaya dalam tanah dapat berasal dari aktivitas penambangan, pertanian dan horticultural, limbah pupuk, bahan bakar, industri metalurgi, elektronik, bahan-bahan kimia dan industri manufaktur lainnya, sedangkan konsentrasi total logam berat dalam tanah bersumber dari bahan induk tanah, defosifikasi atmosferik, pemupukan sampah-sampah organik dan polutan anorganik; dikurangi kehilangan melalui serapan tanaman pencucian dan volatilisasi.

Pada umumnya lapisan permukaan tanah mengandung timbal dalam jumlah yang lebih tinggi dibanding dengan lapisan yang lebih dalam yang didukung oleh banyaknya timbal bivalent yang terserap kuat dalam tanah, juga pembentukan khelat dengan bahan organik sehingga kelarutannya rendah (Lagerweert, 1972). Lindsay (1972) menyatakan bahwa tanah yang mempunyai pH tinggi akan membebaskan timbal yang fiksasinya apabila berubah menjadi masam, khususnya apabila $PbCO_2$ dihancurkan dalam imobilisasinya.

Logam berat yang terdapat di dalam tanah atau sedimen dapat melakukan proses pertukaran ion dan absorpsi terutama pada partikel halus dengan permukaan yang luas dan gugus bermuatan negatif seperti tanah liat (kaolinit, klorit, montmorilonit), zat-zat humin (asam humus, asam fulfik, asam humin) dan oksida-oksida Fe dan Mn (Brady, 1974). Kandungan timbal yang melimpah dan berbahaya akan dapat menurun setelah terdeposisi di atas tanah karena akan mengalami reaksi-reaksi yang membentuk senyawa-senyawa yang tidak larut seperti $PbCO_3$, $Pb_3(PO_4)_2$ dan $PbSO_4$ yang berderajat lebih kecil.

Stevenson (1982) berpendapat bahwa logam di dalam tanah berperan sebagai satuan ion bermuatan dan membentuk kompleks bahan organik dengan logam yang tidak larut. Kehadirannya sangat dipengaruhi oleh aktivitas tanaman tingkat tinggi dan mikro organisme, kedua merupakan sumber ligan yang larut dalam air untuk membentuk senyawa kompleks. Logam yang diikat kompleks organik bersifat tidak larut, tidak dapat dicuci dan relatif tidak tersedia bagi tanaman, dengan demikian senyawa organik tanah mampu mengurangi bahaya potensial yang disebabkan oleh logam berat beracun. Emisi timbal berupa partikulat $PbBrCl$ sesudah terdeposisi dalam tanah akan terikat dalam kompleks bahan organik ataupun berubah menjadi $PbSO_4$ atau $PbCO_3$ jika *limestone* digunakan sebagai bahan aspal jalan.

F. Sumber Timbal dan Pencemarannya di Dalam Tanaman

Timbal merupakan unsur yang tidak esensial bagi tanaman, kandungannya berkisar antara 0,1-10 ppm (Alloway, dalam Soepardi, 1983), dan kandungan timbal dalam tanaman untuk berbagai jenis secara normal berkisar 0,5-3,0 ppm. Untuk tanaman tertentu tingkat keracunan terhadap timbal sangat tinggi. Hal ini dapat menimbulkan situasi yang sangat membahayakan, karena dalam tanaman mungkin tidak menunjukkan gejala keracunan dan kelihatan sehat tetapi berbahaya jika di konsumsi manusia.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kadar timbal dalam tanaman yaitu jangka waktu tanaman kontak dengan timbal, kadar timbal dalam tanah, morfologi dan fisiologi tanaman, umur tanaman dan faktor yang mempengaruhi areal seperti banyaknya tanaman penutup serta jenis tanaman di sekeliling tanaman tersebut. Dua jalan masuknya timbal ke dalam tanaman yaitu, melalui akar dan daun. Timbal setelah masuk ke sistem tanaman akan diikat oleh membran-membran sel, mitokondria dan kloroplas. Bahkan pencemaran dapat menyebabkan terjadinya kerusakan fisik. Kerusakan tersembunyi dapat berupa penurunan kemampuan tanaman dalam menyerap air, pertumbuhan yang lambat atau pembukaan stomata yang tidak sempurna.

Masuknya partikel timbal ke dalam jaringan daun bukan karena timbal diperlukan tanaman, tetapi hanya sebagai akibat ukuran stomata daun yang cukup besar dan ukuran partikel timbal yang relatif kecil di banding ukuran stomata. Timbal masuk ke dalam tanaman melalui proses penyerapan pasif (Widiriani, 1996).

Kemudian, Smith (1981) mengemukakan bahwa panjang stomata daun 10 μm dan lebarnya 27 μm sedangkan ukuran timbal berkisar 2 μm . Penyerapan melalui daun terjadi karena partikel timbal di udara jatuh dan mengendap pada permukaan daun, permukaan daun yang lebih kasar, berbulu, dan lebar akan lebih mudah menangkap partikel daripada permukaan daun yang halus, tidak berbulu dan sempit (Flnagen *et al.* 1980 dalam Widiriani 1996). Tingkat akumulasi timbal pada vegetasi dan di tanah akan meningkat seiring dengan meningkatnya kepadatan arus lalu lintas, dan menurun dengan bertambahnya jarak dari tepi jalan raya (Dahlan, 1989).

Menurut Giddings (1973), timbal yang diemisikan dari kendaraan berbentuk senyawa yang tidak larut dalam air. Oleh karena itu tingginya kontaminasi timbal di dalam tanah tidak selalu berpengaruh terhadap tingginya kandungan timbal dalam jaringan tanaman yang tumbuh di atasnya. Tanaman yang di tanam ditempat padat industri atau padat lalu lintas akan banyak mengandung unsur logam seperti Pb, Cd, Hg, Cu dan sebagainya (Evans, 1982). Kehadiran unsur tersebut dapat mempengaruhi perilaku fisiologi tanaman.

Kramer dan Kozlowski (1979) dalam Rahayu (1995), berpendapat bahwa sebagian besar pencemaran udara akan menurunkan proses fotosintesis baik secara langsung maupun tidak langsung. Penyebabnya adalah hilang atau rusaknya jaringan-jaringan untuk melakukan fotosintesis dan gangguan pembukaan stomata. Total luasan daun (leaf area) dari tanaman yang terkena pencemaran udara akan mengalami penurunan, karena terhambatnya laju pembentukan dan perluasan daun serta meningkatnya jumlah daun yang gugur.

Penyerapan melalui daun terjadi karena partikel timbal di udara jatuh dan mengendap pada permukaan daun. Permukaan daun yang lebih kasar, berbulu dan lebar akan lebih mudah menangkap partikel daripada permukaan daun yang halus, tidak

berbulu dan sempit (Rahayu, 1995). Kandungan timbal dalam tanaman yang tumbuh di tepi jalan dapat mencapai 50 ppm, tetapi setelah 150 m dari jalan raya, jumlahnya akan menjadi normal kembali yaitu sebesar 2-3 ppm.

G. Pengaruh Timbal Terhadap Kesehatan Manusia

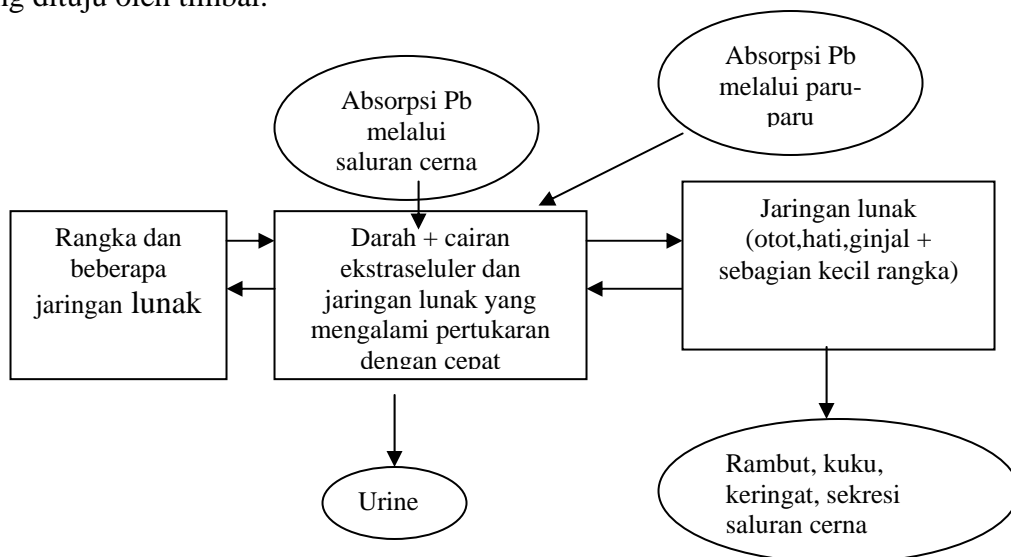
Timbal tidak dibutuhkan dalam proses fisiologis manusia. Kehadirannya yang berlebihan akan menurunkan mutu pemanfaatan air, karena daya racunnya sangat kuat. Oleh karena itu sangat diperlukan pengukuran dan kontrol terhadap tingkat konsentrasinya di dalam bahan pangan dan air minum (Metcalf dan Eddy, 1978).

Timbal masuk ke tubuh manusia melalui pernafasan, diserap dan diedarkan melalui darah dan terakumulasi dalam hati, pancreas dan tulang. Dalam beberapa kondisi rata-rata Pb diambil 300 µg dari makanan padat, 20 µg cairan dan 10-100 µg dari udara (Jones dan Jarvis, 1981)

Bila timbal terakumulasi dalam tubuh manusia, dapat meracuni atau merusak fungsi mental, perilaku, anemia dan bila tingkat keracunan yang lebih berat dapat menyebabkan muntah-muntah serta kerusakan yang serius pada sistem syaraf dan memungkinkan gangguan dalam sistem otak (Lee, 1981). Saeni (1995) menyebutkan bahwa partikel-partikel uap timbal 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 sintesa hemoglobin dan penghambatan sintesa *heme* yang menimbulkan anemia. Timbal dapat juga mempengaruhi sistem syaraf intelegensia, dan pertumbuhan anak-anak. Hal ini karena timbal dalam tulang dapat mengganti kalsium yang dapat menyebabkan kelumpuhan.

Timbal bersifat racun terhadap manusia, karena unsur tersebut mempengaruhi Ca dan menghalangi beberapa system enzim (Rahayu, 1995). Timbal yang masuk ke bagian-bagian tubuh sewaktu-waktu melibatkan fungsi kinetik yang mencakup absorpsi, distribusi, metabolisme dan ekskresi (Gambar 1). Ginjal dan hati adalah organ-organ yang dituju oleh timbal.



Gambar 1. Diagram metabolisme Pb (Sumber : Ractcliffe, 1981)

Ahmadi (1999) berpendapat setiap kenaikan 1 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ dapat menurunkan 0,975 skor IQ (tingkat kecerdasan) pada anak. Kandungan timbal dalam bahan bakar minyak juga dapat meracuni sistem pembentukan darah merah sehingga pada anak kecil dapat menyebabkan penurunan kemampuan otak, tetapi tidak semua timbal yang terhisap atau tertelan ke dalam tubuh akan tertinggal dalam tubuh (Bunawas, 1999).

Kira-kira 5 sampai 10% dari jumlah yang tertelan akan diabsorpsi melalui saluran pencernaan, dan sekitar 30% dari jumlah yang terhisap melalui hidung akan diabsorpsi melalui saluran pernafasan. Hanya sekitar 5 sampai 30% yang terabsorpsi melalui saluran pernafasan akan tertinggal di dalam tubuh karena dipengaruhi oleh ukuran partikelnya. Timbal organik (Pb^{2+}) bahkan dapat merusak pertumbuhan jaringan tulang pada anak-anak.

Kandungan timbal maksimal yang boleh dibawa dalam bahan makanan yang dipersyaratkan FAO/WHO (1975) dan Ditjen Pengawasan Obat dan Makanan yaitu 2 ppm. Timbal yang masuk ke dalam tubuh akan dibuang melalui urine, rambut, keringat, kuku dan *feces*. Hasil penelitian Saeni (1995) menunjukkan bahwa kandungan timbal dalam rambut manusia ternyata lebih tinggi dibandingkan dengan timbal dalam air minum dan sayuran yang dikonsumsi.

Menurut Tsalev dan Zaprianov (1985), besarnya tingkat peracunan timbal dipengaruhi oleh;

1. Umur. Janin yang masih berada dalam kandungan, balita dan anak-anak lebih rentan dibandingkan 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 timbal terutama terhadap anak-anak.
5. Premium alkohol akan lebih rentan terhadap timbal.

Kemampuan afinitas kimia yang sangat tinggi dari logam berat terhadap unsur belerang menyebabkan terjadinya ikatan logam berat dengan S pada setiap kesempatan. Sebagian besar logam berat akan berikatan dengan atom S dalam jembatan sulfida ataupun dalam gugusan sulfidril. Sehingga organisme yang dalam molekul proteinnya banyak mengandung ikatan S-Pb akan lebih cepat mati, karena proses metabolisme dalam selnya terganggu. Proses kimia tersebut diakibatkan oleh adanya pencemaran logam berat dalam air minum maupun makanan (Giddings, 1973).

Orang-orang yang bekerja langsung berhubungan dengan bensin seperti petugas pompa bensin dan pintu tol, Polantas, sopir taksi dan pegawai dapat mengakumulasi Pb di dalam darahnya lebih tinggi di bandingkan dengan pekerja yang tidak langsung berhubungan dengan bahan bakar fosil. Timbal dapat mempengaruhi aktivitas enzim ini di dalam pembentukan hemoglobin (Hb) di butir darah merah.

Linder (1992) mengemukakan bahwa tingkat konsumsi Pb dapat meningkat pada orang yang mengkonsumsi makanan kaleng atau susu bubuk, karena penyegelan kaleng menggunakan solder Pb. Bila sudah masuk ke dalam tubuh, timbal didistribusikan melalui darah yang hampir semuanya ada di dalam eritrosit. Sekitar 90 % Pb akan di timbun dalam tulang dan sisanya dalam jaringan lemak terutama hati dan ginjal. Oleh tubuh, timbal diekskresi dalam empedu, 10 hingga 20% melalui urine. Zat-zat pengkelat seperti EDTA dapat menghilangkan Pb yang berlebihan dari jaringan lunak pada tubuh.

Kadar normal Pb pada orang dewasa adalah antara 0,4-0,5 µg/ml darah lengkap sedangkan untuk anak-anak 0,25 µg/ml darah. Kadar Pb yang normal pada rambut adalah 20 µg/g, sedangkan pada kadar Pb dalam rambut lebih dari 40 µg/g sudah menunjukkan keracunan yang kronis. Akibat keracunan timbal yang lainnya adalah tidak berfungsinya sperma. Baird (1995), hasil penelitian di Australia pada anak dengan kandungan timbal sebesar 30 µg /100g darah, rata-rata IQ 4 sampai 5 satuan lebih rendah dibanding anak dengan kandungan timbal 10 µg per 100 g darah.

H. Kesimpulan

Pada kebanyakan pencemaran udara, secara sendiri-sendiri atau kombinasi menyebabkan kerusakan dan perubahan fisiologi tanaman yang kemudian diekspresikan dalam gangguan pertumbuhan. Pencemaran menyebabkan perubahan pada tingkatan biokimia sel kemudian diikuti oleh perubahan fisiologi pada tingkat individu hingga tingkat komunitas tanaman.

Pencemaran udara terhadap tanaman dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, pertumbuhan akar, dan pertumbuhan daun. Gejala yang sering tampak pada tanaman akibat pencemaran udara adalah kerusakan makrokopis daun, kerusakan khlorofil, dan kerusakan anatomi daun

Timbal bersifat racun terhadap manusia, karena unsur tersebut mempengaruhi Ca dan menghalangi beberapa system enzim. Timbal yang masuk ke bagian-bagian tubuh sewaktu-waktu melibatkan fungsi kinetik yang mencakup absorpsi, distribusi, metabolisme dan ekskresi.

I. Referensi

- Alloway, B. J. 1995. Heavy Metal in Soils. Blackie Academic and Professional. London.
- Aubert, H. dan M. Pinta. 1997. Trace Element in Soils. Elsevier Scientific Publ. Co., New York.
- Baird, C. 1995. Environmental Chemistry. W.H. Freeman and Company. New York.
- Brady, N. C. 1997. The Nature and Properties of Soils. McMillan Publishing Co, Inc. New York. 8th ed.
- Bureau, R. G. 1982. Lead, pp. 347-365. *In* A.L. Page (Ed.). Method of Soils Analysis. The University of Wisconsin. Madison.
- Cape, J. N. 1993. Direct Damage to Vegetation Caused by Acid Rain and Polluted Cloud: Definition of Critical Levels for Forest Trees. Env. Pollut. 82. Elsevier Science Publisher Ltd. England. pp. 167 – 180.
- Chang, W. C. 1997. Fluorides. *In* Responses of Plant to Air Pollution. Academic Press. New York.

- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius. Yogyakarta.
- Faust, S. D. dan O. M. Aly. 1981. *Chemistry of Natural Water*. Ann Arbor Science Publiser Inc. New York.
- Fergusson, Jack E. 1991. *The Heavy Elements : Chemistry, Inviromental Impact and Health Effect*. Pergamon Press, Oxford-NY-Seoul-Tokyo.
- Giddings, J. C. 1973. *Chemistry, Mans and Environmental Changes: An Integrated Approach*. Canfield, San Fransisco, New York.
- Jones, L. H. P. dan S. C. Jarvis. 1981. *The Fate of Heavy Metals In Greenland*, D.J. and M. H. Bird (ed). *The Chemistry of Soils Process*. John Willey and Sons. New York.
- Kozak, J.H. 1993. *Air Quality Standars in Indonesia*. EMDI Project. No. 30 p. 70.
- Kozlowski, T.T. P.J. Kramer. S.G.Pallardy. 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press Inc. London.
- Laggerwerf, J.V. 1972. *Lead, Mercury, and Cadmium as Environmental Contaminants In* Mortvedt, J.J. *et al. Micronutrien In Agriculture*, SSSAA Inc Wisconsin. USA.
- Linder, Maria C. 1992. *Biokimia Nutrisi dan Metabolisme. Peterjemah: A. Parakkasi*. UI Press. Jakarta.
- Meetham, A. R. 1981. *Atmospheric Pollution; Its Origin and Prevention*. 3rd Ed. Perganon Press. New York.
- Metcalf dan Eddy. 1978. *Waste Water Engineering*. McGraw Hill Publishing Co., New Delhi.
- Muud, J.B. 1975. *Sulfur Dioxide; Respont of Plant to Air Pollution*. Academic Press. London.
- National Academy of Science (NAS). 1972. *Airbone Lead In Prespective*. Washington D. C.
- Owen, O. S. 1980. *Natural Resources Conservation*. McMillan Publ., Co., New York.
- Purnomohadi, S. 1995. *Peran Ruang Terbuka Hijau Dalam Pengendalian Kulaitas Udara di DKI Jakarta. Disertasi*. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Rustiawan, A. 1994. *Kandungan Logam Berat Timah Hitam Pada Komoditi Buah-Buahan dan Sayuran di DKI Jakarta. Tesis S2 Program Pasca Sarjana*. IPB>

- Saeni, M. S. 1980. Upaya perbaikan kualitas air dengan cara penyaringan. PUSDI-PSL. IPB, Bogor.
- Saeni, M.S. 1989. Kimia Lingkungan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Dirjen Perguruan Tinggi. PAU Ilmu Hayat. IPB. Bogor.
- Saeni, M. S. 1995. The correlation between the concentration of heavy metals (Pb, Cu and Hg) in the environment and in human hair. Buletin Kimia 9: 63-70.
- Saeni, M.S. 1997. Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisis Rambut. *Orasi Ilmiah*. Guru Besar Tetap Ilmu Kimia Lingkungan. Fakultas Matematika dan IPA. IPB. Bogor.
- Tsalev, D. L. dan Z. K. Zaprianov. 1985. Atomic Spectroscopy Occupation and Enviromental Health. CRC Prees,Inc. Florida.
- Sastrawijaya, A.T. 1991. Pencemaran Lingkungan. Rineka Cipta. Jakarta.
- Stevenson, F.J. 1982. Humus Chemistry Genesis, Composition, Reactions. A Willey Inter Science Publication. John Willey and Sons. New York.
- Suratin. 1991. Studi Kerusakan Anatomi Daun Bauhinia purpurea Sebagai Tanaman Tepi Jalan di Kota Bogor. Jurusan Konservasi Sumberdaya Hutan. Fakultas Kehutanan. IPB. Bogor.
- Surtipanti, S. dan Suwirma. 1987. Kandungan Logam Berat Dalam Air dan Lumpur Sungai Cisadane dan Angke. Hal 213-217. Dalam Hasil Penelitian 1981-1987. Pusat Aplikasi dan Radiasi, Batan. Jakarta.
- Wardhana, W. A. 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan. Andi Offset. Yogyakarta.
- Ward, N.I., D. Reeves and R.R. Brooks. 1975. Lead in soil and vegetation a long a New Zealend State Higway With Low Traffic Volume. Journal Enviroment Pollution. Great Britain. 9:243-251.
- WHO. 1995. Enviromental Health Criteria 165. Inorganic Lead. Finland.
- Widiriani, R. 1996. Kandungan Timbal Pada Tanaman The dan Tanah di Perkebunan Gunung Mas Bogor. Tesis. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Zubayr, M. 1994. Struktur Anatomi Lima Jenis Daun di Jalan Iskandardinata Kotamadya Bogor. Jurusan Konservasi Sumberdaya Hutan. Fakultas Kehutanan. IPB. Bogor.