

# Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan

Afif Budiyo\*)

\*) *Peneliti Bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara  
Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim*

## PENDHULUAN

Pertumbuhan aktivitas ekonomi dan urbanisasi yang cukup tinggi baik diperkotaan dan subperkotaan berpotensi besar dalam peningkatan penggunaan konsumsi energi, seperti pada kebutuhan bahan bakar guna pembangkit tenaga listrik, tungku-tungku industri dan transportasi. Pembakaran bahan bakar ini merupakan sumber-sumber pencemar utama yang dilepaskan ke udara, seperti CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, SPM (*suspended particulate matter*), Ox dan berbagai logam berat.

Dari studi-studi literatur digambarkan bahwa secara global sektor transportasi sebagai tulang punggung aktifitas manusia mempunyai kontribusi yang cukup besar bagi pencemaran udara, 44 % TSP [*total suspended particulate*], 89 % hidrokarbon, 100 % PB, dan 73 % NO<sub>x</sub>.

Sementara dari data inventarisasi Bapedal menunjukkan bahwa di Jakarta emisi yang di lepaskan ke udara sebagai dampak penggunaan konsumsi energi mencakup 15 % TSP, 16 % NO<sub>x</sub>, dan 63 % SO<sub>x</sub>.

Berlebihnya tingkat konsentrasi zat pencemar seperti tersebut di atas, hingga melampaui ambang batas toleransi yang diperkenankan akan mempunyai dampak negatif yang berbahaya terhadap lingkungan, baik bagi manusia, tumbuh-tumbuhan, hewan dan rusaknya benda-benda (material) serta berpengaruh pada kualitas air hujan (hujan asam), yang berakibat pada mata rantai berikutnya yaitu pada ekosistem flora dan fauna-

## DAMPAK TERHADAP KESEHATAN MANUSIA

Pada tingkat konsentrasi tertentu zat-zat pencemar udara dapat berakibat langsung terhadap kesehatan manusia, baik secara mendadak atau akut, menahun atau kronis/sub-klinis dan dengan gejala-gejala yang samar. Dimulai dari iritasi saluran pernafasan, iritasi mata, dan alergi kulit sampai pada timbulnya tumor atau kanker paru. Gangguan kesehatan yang disebabkan oleh pencemaran udara dengan sendirinya mempengaruhi daya kerja seseorang, yang berakibat turunya nilai produktivitas serta mengakibatkan kerugian ekonomis pada jangka panjang dan timbulnya permasalahan sosial ekonomi keluarga dan masyarakat.

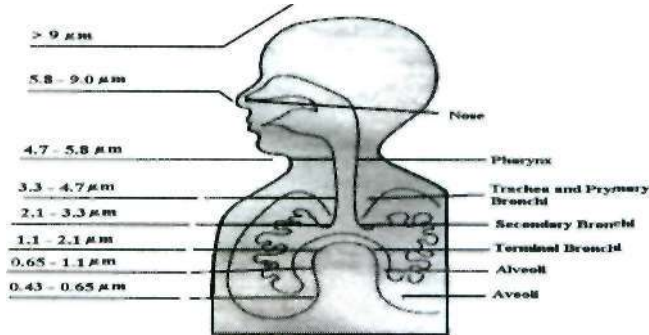
Dampak buruk polusi udara bagi kesehatan manusia tidak dapat dibantah lagi, baik polusi udara yang terjadi di alam bebas (*Outdoor air pollution*) ataupun yang terjadi di dalam ruangan (*Indoor air pollution*), polusi yang terjadi di luar ruangan terjadi karena bahan pencemar yang berasal dari industri, transportasi, sementara polusi yang terjadi di dalam ruangan dapat berasal dari asap rokok, dan gangguan sirkulasi udara.

Ada tiga cara masuknya bahan pencemar udara kedalam tubuh manusia, yaitu melalui inhalasi, ingestasi, dan penetrasi kulit. Inhalasi adalah masuknya bahan pencemar udara ke tubuh manusia melalui sistem pernafasan, seperti terlihat pada gambar 1. Bahan pencemar ini dapat mengakibatkan gangguan pada paru-paru dan saluran pernafasan, selain itu bahan

pencemar ini kemudian masuk dalam peredaran darah dan menimbulkan akibat pada alat tubuh lain.

Bahan pencemar udara yang berdiameter cukup besar tidak jarang masuk ke saluran pencernaan (*ingestasi*), ketika makan atau minum, seperti juga halnya di paru-paru, maka bahan pencemar yang masuk ke dalam pencernaan dapat menimbulkan efek lokal dan

dapat pula menyebar ke seluruh tubuh melalui peredaran darah. Permukaan kulit dapat juga menjadi pintu masuk bahan pencemar dari udara, sebagian besar pencemar hanya menimbulkan akibat buruk pada bagian permukaan kulit seperti dermatitis dan alergi saja, tetapi sebagian lain khususnya pencemar organik dapat melakukan penetrasi kulit dan menimbulkan efek sistemik.



Gambar 1. Ukuran dan penetrasi partikel ke dalam sistem pernafasan (sumber : M.N Rao, H.V.N Rao, Arthur c. Stern, et.al)

Akibat-akibat yang timbul pada tubuh manusia karena bahan pencemar udara dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis bahan pencemar, toksisitasnya, dan ukuran partikelnya. Bahan oksidan seperti ozon dan PAN (*Peroxyacetylnitrate*) dapat mengiritasi mukosa saluran pernafasan, yang berakibat pada peningkatan insiden penyakit saluran pernafasan kronik yang non spesifik (CNSRD = "*Chronic non Spesific respiratory diseases*"), seperti asma dan bronkitis. Beberapa bahan organik berupa partikel debu dapat menyebabkan pneumokoniosis, bahan biologis seperti virus, bakteri dan jamur dapat menimbulkan infeksi dan reaksi alergi. Bahan pencemar lain seperti oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) dan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) juga dapat mengakibatkan CNSRD. Beberapa bahan pencemar yang masuk dari paru dapat masuk ke sirkulasi darah seperti halnya gas CO yang bersifat neurotoksik (racun saraf) dan "*benzene*" yang merupakan bahan karsinogen.

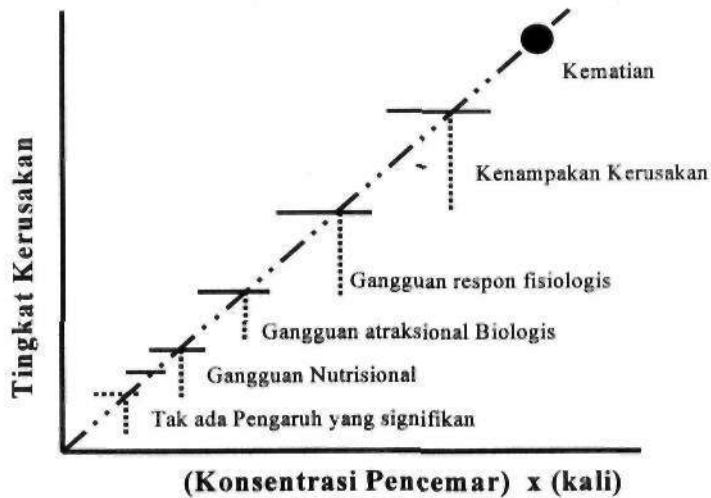
Secara umum ada tiga faktor utama yang berpengaruh dalam proses inhalasi bahan pencemar ke dalam paru-paru, yaitu komponen fisik, komponen kimiawi dan faktor penjamu (*Host*). Aspek komponen fisik adalah keadaan dari bahan yang diinhalasi itu sendiri, apakah berupa gas, debu, uap, dan lain-lain. Ukuran dan bentuk partikel juga berpengaruh dalam proses penimbunan pencemaran di paru-paru, demikian juga dengan kelarutan dan nilai higroskopisitasnya. Komponen-komponen kimia dari bahan yang diinhalasi dapat dalam saluran pernafasan dapat bereaksi langsung dengan jaringan sekitarnya. Keasaman atau tingkat alkalisitas yang tinggi dapat merusak silia dan sistem enzim. Bahan-bahan pencemar tertentu dapat menimbulkan fibrosis yang luas di paru-paru, sementara bahan pencemar lain dapat bersifat sebagai antigen dan menimbulkan antibodi dalam tubuh.

## DAMPAK TERHADAP KESEHATAN FLORA

Tumbuh-tumbuhan memiliki reaksi yang besar dalam menerima pengaruh perubahan atau gangguan akibat polusi udara dan perubahan lingkungan. Hal ini terjadi karena banyak faktor yang berpengaruh, diantaranya spesies tanaman, umur, keseimbangan nutrisi,

kondisi tanaman, temperatur, kelembaban dan penyinaran.

Penambahan konsentrasi pencemar ke udara dapat secara langsung mempengaruhi pertumbuhannya seperti terlihat pada gambar 2, yang menggambarkan respon tumbuhan terhadap jumlah konsentrasi pencemar dengan kerusakan yang terjadi.



Gambar 2. Spektrum Respon Biologis tanaman terhadap Pencemaran Udara  
(Sumber : Arthur C. Stern et.al)

Beberapa contoh kerusakan yang terjadi pada gangguan nutrisional dan gangguan atraksional biologis adalah terjadinya penurunan tingkatan kandungan enzim, gangguan pada respon fisiologis adalah perubahan pada sistem fotosintesa, sedang gangguan yang nampak secara visual adalah *chlorosis* (perusakan zat hijau daun/menguning), *Flecking* (daun bintik-bintik), *Reduced crop yield* (penurunan hasil panen).

Terjadinya gangguan pencemaran terhadap tumbuhan dapat digolongkan dalam 2(dua) kategori, yaitu pencemaran secara primer dan sekunder .

### a. Gangguan secara primer

Gangguan secara primer adalah terjadinya kontak langsung antara sumber pencemar (mated pencemar) dengan bagian permukaan tumbuhan

secara langsung, sehingga dapat mengganggu dan menutupi lapisan epidermal yang membantu sistem penguapan pada tumbuhan. Hal ini terjadi seperti gangguan pernafasan pada manusia. Diantara epidermal terdapat sel mesophyl, spongy dan palisade parenochymar, yang berguna mengatur dan melindungi sel dengan membuka dan menutup untuk rongga udara pada bagian dalam daun, yang mana daun mempunyai fungsi penting bagi tumbuhan, untuk fotosintesa yaitu proses yang terjadi pada daun dimana gabungan air dan CO<sub>2</sub> dengan perantara sinar matahari membentuk glukosa. Transpirasi yaitu proses penyerapan dari akar ke daun yang kemudian terjadi proses evaporasi ke atmosfer, pada proses ini sekaligus sebagai pembawa nutrisi. Respirasi merupakan proses produksi dengan memanfaatkan

panas dari oksidasi pada karbohidrat dan udara untuk membentuk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

Gangguan pencemaran udara terhadap tumbuhan karena adanya gas/partikel yang menutupi permukaan daun, sehingga menghalangi difusi dari gas masuk dan keluar dedaunan.

#### b. *Gangguan secara sekunder*

Gangguan secara sekunder adalah gangguan yang terjadi pada tumbuhan karena pencemaran yang mengganggu pada sistem akar, terjadi karena penumpukan polutan/pencemar pada tanah dan permukaan air. Gangguan ini akan menghalangi proses alterasi dari nutrisi yang berada dalam tanah dan sekitar tumbuhan.

Gejala yang tampak karena pencemaran udara terhadap tumbuhan adalah terjadinya penampakan yang kurang sehat pada daun, dengan matinya beberapa bagian serta hilangnya warna, disebabkan matinya jaringan karena adanya kerusakan pada *spongy* dan *palisade* di bagian dalam daun, yang berakibat pada gugurnya daun. Kerusakan pada lapisan epidermis dapat terjadi akibat *Glazing* atau *Silvering* pada permukaan daun oleh adanya partikel dan polutan yang menempel. Efek pencemaran udara pada tumbuhan yang tak terlihat adalah adanya kemunduran kemampuan pertumbuhan, berkurangnya kemampuan berfotosintesa dan alterasi, kemampuan stomata yang menurun dan reproduksi set. Tipe kerusakan pada tumbuhan dapat diakibatkan karena tumbuhan telah mengalami gangguan secara kronis akibat waktu pemaparan pencemaran yang lama dalam tingkat dosis/konsentrasi rendah. Penyebab utama kerusakan tumbuhan oleh pencemaran udara adalah akibat *phytotoxic* pada tanaman seperti O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PAN, NO<sub>2</sub>, CI, HF dan lain-lain.

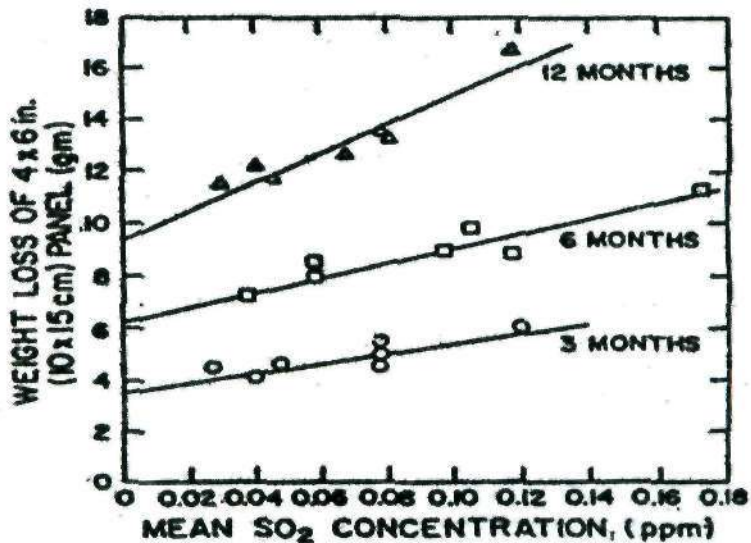
## DAMPAK TERHADAP KESEHATAN FAUNA

Dampak negatif zat-zat pencemar udara terhadap fauna (hewan) tidak berbeda jauh dengan dampak-dampak lain seperti terhadap manusia dan tumbuhan. Dampak terhadap hewan dapat terjadi secara langsung dan tidak langsung, secara langsung terjadi bila ada interaksi melalui sistem pernafasan srbagaimana terjadi pada manusia. dampak tidak langsung terjadi melalui suatu perantara, baik tumbuhan atau perairan yang berfungsi sebagai bahan makanan hewan. Terjadinya emisi zat-zat pencemar ke atmosfer (udara) seperti partikulat, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HF dan lain-lain yang kemudian berinteraksi dengan tumbuhan dan perairan baik melalui proses pengendapan atau pun penempelan, akan berpengaruh langsung terhadap vegetasi dan biota perairan hingga dapat menjalar pada hewan-hewan melalui rantai makanan yang telah terkontaminasi zat pencemar tersebut. Pengaruh Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>) pada dosis tinggi terhadap hewan berupa terjadinya gejala paralisis sistem syaraf dan konvulsi, dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa pemaparan NO dengan dosis 2500 ppm terhadap tikus akan berpengaruh kehilangan kesadaran 6 - 7 menit, bila pemaparan ini terjadi selama 12 menit, maka tikus tersebut akan mati. Begitu pula pengaruh NO<sub>2</sub> terhadap hewan, NO<sub>2</sub> yang bersifat racun, pada konsentrasi lebih dari 100 ppm akan bersifat letal terhadap kebanyakan hewan dan 90 % kematian tersebut disebabkan oleh gejala edema pulmonari. NO<sub>2</sub> pada konsentrasi 800 ppm akan berakibat kematian 100 % . Konsentrasi SO<sub>2</sub> 400 - 800 ppm akan berpengaruh langsung dan sangat berbahaya, meskipun hanya terjadi kontak secara singkat

## DAMPAK TERHADAP MATERIAL

Dampak pencemaran udara terhadap material, yaitu bangunan-bangunan, logam, batuan, kulit dan lain-lain dapat digambarkan sebagai dampak pencemaran udara terhadap lingkungan alam sekeliling, timbulnya karat pada permukaan logam, yang menyebabkan terlepas dan hilangnya material dari permukaan serta berubahnya kemampuan elektris logam merupakan contoh pengaruh pencemaran

udara yang cukup penting. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi kecepatan perkaratan (*corroction*) pada logam, yaitu kelembaban, tipe/jenis pencemar dan temperatur. Beberapa studi telah dilakukan di daerah-daerah perkotaan untuk mengetahui hubungan pemaparan pencemaran terhadap pengkaratan logam seperti terlihat pada gambar 3. Pada gambar 3 ditunjukkan pengaruh pemaparan  $\text{SO}_2$  terhadap kecepatan pengkaratan logam, yang dilakukan di Tusla, Oklahoma.



Gambar 3. Pengaruh pencemaran  $\text{SO}_2$  terhadap logam  
(Sumber : Arthur C. Stern et.al)

Pengaruh pencemaran udara terhadap batuan adalah terbentuknya noda/kotoran (*Soiling*) dan pelapukan (*deterioration*) batuan kapur yang umum digunakan sebagai bahan bangunan dan pemahatan marmer. Banyak gedung-gedung di perkotaan telah terpapar oleh pencemar udara seperti asap,  $\text{SO}_2$ , partikel debu dalam waktu yang lama, permukaan menjadi terkotori dan menjadi tempat bagi reaksi-reaksi kimia oleh gas-gas yang bersifat asam. Pengaruh pemaparan sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) terhadap kulit dan kertas

akan menyebabkan terjadinya pelapukan (*deterioration*) yang nyata. Contoh yang sering terjadi adalah rusaknya kulit-kulit dan karet pengikat buku pada perpustakaan-perpustakaan.  $\text{SO}_2$  akan diserap oleh kulit dan dikonversi menjadi asam sulfurik yang merusak struktur kulit dan kertas, pada awalnya pinggiran buku yang terpapar mulai berubah warna kecoklatan dan retak pada sendi-sendinya. Jika pemaparan ini terus berlangsung retakan akan semakin luas dan buku menjadi hancur.

## DAMPAK TERHADAP TERJADINYA HUJAN ASAM

Pandangan bahwa masalah pencemaran udara semata-mata hanya merupakan masalah urban telah berubah setelah terjadinya hujan asam dan pencemaran regional lainnya di beberapa negara. Atmosfer sebagai tempat pembuangan bahan sisa-sisa aktivitas manusia bertindak sebagai reaktor kimia yang kompleks yang akan merubah zat-zat pencemar begitu zat pencemar tersebut berinteraksi dengan substansi lain, seperti uap air dan sinar matahari.

Pada kondisi tertentu, oksida sulfur dan oksida nitrogen dari hasil pembakaran bahan bakar fosil akan berubah secara kimiawi di atmosfer, menjadi asam sulfat dan asam nitrat. Adanya  $SO_2$  di udara dalam bentuk gas hanya mungkin jika konsentrasi uap air sangat rendah, jika uap air terdapat dalam jumlah cukup,  $SO_2$  dan uap air akan segera bergabung membentuk droplet asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Proses perubahan  $NO_x$  menjadi  $HNO_3$  juga terjadi di atmosfer, yang kemudian bereaksi dengan cepat membentuk partikel nitrat. Pencemar lain seperti karbon monoksida ( $CO$ ) dan senyawa organik yang mudah menguap ikut berperan pula dalam reaksi pembentukan dua asam kuat tersebut.

Kedua bentuk asam tersebut, yaitu asam sulfat dan nitrat akan tercuci dan terlarut dalam hujan, yang berakibat pada buruknya mutu kualitas air hujan (terjadinya hujan asam). Dampak hujan asam terhadap lingkungan sangat penting dan perlu mendapat perhatian serius, karena hujan asam berdampak negatif pada lingkungan, seperti terjadinya kerusakan-kerusakan pada bangunan dan benda-benda yang terbuat dari logam dan juga terjadinya pengasaman (*acidification*) danau-danau dan sungai.

Contoh proses pengasaman danau adalah terjadinya pengasaman danau di beberapa daerah Eropa utara dan Amerika utara, dimana danau

tersebut "asam" dan selanjutnya "mati" sebagai akibat meluasnya hujan asam.

## PENUTUP

Hadirnya pencemar udara seperti  $NO_x$ ,  $SO_x$ ,  $CO$ ,  $O_x$ , TSP, Pb dan logam berat lainnya sebagai produk samping aktivitas manusia ataupun aktivitas alamiah pada tingkat tertentu mempunyai pengaruh dan dampak yang sangat buruk terhadap lingkungan, baik untuk kesehatan manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan dan lingkungan alam itu sendiri.

Akibat-akibat yang timbul pada tubuh manusia karena bahan pencemar adalah terjadinya iritasi mukosa saluran pernafasan, yang berakibat pada peningkatan insiden penyakit saluran pernafasan kronik yang non spesifik (CNSRD - "*Chronic non Specific respiratory diseases*"), seperti asma dan bronkitis. Beberapa bahan organik berupa partikel debu dapat menyebabkan *pneumokoniosis*, bahan biologis seperti virus, bakteri dan jamur dapat menimbulkan infeksi dan reaksi alergi. Bahan pencemar lain seperti oksida nitrogen ( $NO_x$ ) dan sulfur dioksida ( $SO_3$ ) juga dapat mengakibatkan CNSRD.

Pada tingkat-tingkat tertentu, dampak pencemaran udara ini dapat mengurangi tingkat produktivitas manusia dalam aktivitasnya dan akan berakibat pula pada sektor lainnya.

Dampak pencemaran udara bagi lingkungan flora dan fauna baik secara primer ataupun sekunder mempunyai mata rantai yang sama seperti pada manusia, dimana pada tingkat-tingkat tertentu akan berdampak pada menurunnya tingkat produktivitas pertanian, yang juga akan berakibat pada sektor lainnya. Sementara dampak pencemaran udara pada material adalah terjadinya korosi dan hilangnya keindahan material tersebut.

## DAFTAR RUJUKAN

- Arthur C. Stern, Richard W. Boubel, D. Bruce Turner, Donald L. Fox, 1984, *"Fundamentals of Air Pollution"*, Second Edition, Academic Press, INC, Tokyo.
- M.N. Rao, H.V.N. Rao., 1994, "Air Pollution", Sixth Reprint, TATA McGRAW-HILL Publishing Company Limited, New Delhi.
- N. Irving Sax, 1974, *"Industrial Pollution"*, Van Nostrand Reinhold Company, Litton Educational Publishing, INC.
- P-4 L (Bapedalda DK1), 1991, Himpunan Karangan Ilmiah Di Bidang perkotaan Dan Lingkungan, Pencemaran Udara Vol.2. Jl. Rasuna Said Kuningan Jakarta.
- WHO, 1976, *"Manual on Urban Air Quality Management"*, WHO, Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO, 1978, *"Photochemical Oxidant"*, Environmental health Criteria 7, WHO, Geneva.