

EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR DAN DAMPAKNYA TERHADAP KESEHATAN

Oleh: A. Tri Tugaswati

1. Pendahuluan

Kesadaran masyarakat akan pencemaran udara akibat gas buang kendaraan bermotor di kota-kota besar saat ini makin tinggi. Dari berbagai sumber bergerak seperti mobil penumpang, truk, bus, lokomotif kereta api, kapal terbang, dan kapal laut, kendaraan bermotor saat ini maupun dikemudian hari akan terus menjadi sumber yang dominan dari pencemaran udara di perkotaan. Di DKI Jakarta, kontribusi bahan pencemar dari kendaraan bermotor ke udara adalah sekitar 70 %.

Resiko kesehatan yang dikaitkan dengan pencemaran udara di perkotaan secara umum, banyak menarik perhatian dalam beberapa dekade belakangan ini. Di banyak kota besar, gas buang kendaraan bermotor menyebabkan ketidaknyamanan pada orang yang berada di tepi jalan dan menyebabkan masalah pencemaran udara pula. Beberapa studi epidemiologi dapat menyimpulkan adanya hubungan yang erat antara tingkat pencemaran udara perkotaan dengan angka kejadian (prevalensi) penyakit pernapasan. Pengaruh dari pencemaran khususnya akibat kendaraan bermotor tidak sepenuhnya dapat dibuktikan karena sulit dipahami dan bersifat kumulatif. Kendaraan bermotor akan mengeluarkan berbagai gas jenis maupun partikulat yang terdiri dari berbagai senyawa anorganik dan organik dengan berat molekul yang besar yang dapat langsung terhirup melalui hidung dan mempengaruhi masyarakat di jalan raya dan sekitarnya.

Makalah ini akan mengulas dampak pencemaran udara yang diakibatkan oleh emisi gas buang kendaraan bermotor terhadap kesehatan maupun lingkungan khususnya kendaraan bermotor dengan bahan bakar fosil-bensin dan solar.

2. Komposisi dan Perilaku Gas Buang Kendaraan Bermotor

Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Komposisi dari kandungan senyawa kimianya tergantung dari kondisi mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi dan faktor lain yang semuanya ini membuat pola emisi menjadi rumit.

Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin. Secara visual selalu terlihat asap dari knalpot

kendaraan bermotor dengan bahan bakar solar, yang umumnya tidak terlihat pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin.

Walaupun gas buang kendaraan bermotor terutama terdiri dari senyawa yang tidak berbahaya seperti nitrogen, karbon dioksida dan uap air, tetapi didalamnya terkandung juga senyawa lain dengan jumlah yang cukup besar yang dapat membahayakan gas buang membahayakan kesehatan maupun lingkungan. Bahan pencemar yang terutama terdapat didalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksida nitrogen (NO_x) dan sulfur (SO_x), dan partikulat debu termasuk timbel (Pb). Bahan bakar tertentu seperti hidrokarbon dan timbel organik, dilepaskan keudara karena adanya penguapan dari sistem bahan bakar. Lalu lintas kendaraan bermotor, juga dapat meningkatkan kadar partikulat debu yang berasal dari permukaan jalan, komponen ban dan rem.

Setelah berada di udara, beberapa senyawa yang terkandung dalam gas buang kendaraan bermotor dapat berubah karena terjadinya suatu reaksi, misalnya dengan sinar matahari dan uap air, atau juga antara senyawa-senyawa tersebut satu sama lain. Proses reaksi tersebut ada yang berlangsung cepat dan terjadi saat itu juga di lingkungan jalan raya, dan adapula yang berlangsung dengan lambat. Reaksi kimia di atmosfer kadangkala berlangsung dalam suatu rantai reaksi yang panjang dan rumit, dan menghasilkan produk akhir yang dapat lebih aktif atau lebih lemah dibandingkan senyawa aslinya. Sebagai contoh, adanya reaksi di udara yang mengubah nitrogen monoksida (NO) yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor menjadi nitrogen dioksida (NO₂) yang lebih reaktif, dan reaksi kimia antara berbagai oksida nitrogen dengan senyawa hidrokarbon yang menghasilkan ozon dan oksida lain, yang dapat menyebabkan asap awan fotokimi (*photochemical smog*). Pembentukan *smog* ini kadang tidak terjadi di tempat asal sumber (kota), tetapi dapat terbentuk di pinggiran kota. Jarak pembentukan *smog* ini tergantung pada kondisi reaksi dan kecepatan angin.

Untuk bahan pencemar yang sifatnya lebih stabil seperti timbel (Pb), beberapa hidrokarbon-halogen dan hidrokarbon poliaromatik, dapat jatuh ke tanah bersama air hujan atau mengendap bersama debu, dan mengkontaminasi tanah dan air. Senyawa tersebut selanjutnya juga dapat masuk ke dalam rantai makanan yang pada akhirnya masuk ke dalam tubuh manusia melalui sayuran, susu ternak, dan produk lainnya dari ternak hewan. Karena banyak industri makanan saat ini akan dapat memberikan dampak yang tidak diinginkan pada masyarakat kota maupun desa.

Emisi gas buang kendaraan bermotor juga cenderung membuat kondisi tanah dan air menjadi asam. Pengalaman di negara maju membuktikan bahwa kondisi seperti ini dapat menyebabkan terlepasnya ikatan tanah atau sedimen dengan beberapa mineral/logam, sehingga logam tersebut dapat mencemari lingkungan.

3. Dampak Terhadap Kesehatan

Senyawa-senyawa di dalam gas buang terbentuk selama energi diproduksi untuk menjalankan kendaraan bermotor. Beberapa senyawa yang dinyatakan dapat membahayakan kesehatan adalah berbagai oksida sulfur, oksida nitrogen, dan oksida karbon, hidrokarbon, logam berat tertentu dan partikulat. Pembentukan gas buang tersebut terjadi selama pembakaran bahan bakar fosil-bensin dan solar didalam mesin. Dibandingkan dengan sumber stasioner seperti industri dan pusat tenaga listrik, jenis proses pembakaran yang terjadi pada mesin kendaraan bermotor tidak sesempurna di dalam industri dan menghasilkan bahan pencemar pada kadar yang lebih tinggi, terutama berbagai senyawa organik dan oksida nitrogen, sulfur dan karbon. Selain itu gas buang kendaraan bermotor juga langsung masuk ke dalam lingkungan jalan raya yang sering dekat dengan masyarakat, dibandingkan dengan gas buang dari cerobong industri yang tinggi. Dengan demikian maka masyarakat yang tinggal atau melakukan kegiatan lainnya di sekitar jalan yang padat lalu lintas kendaraan bermotor dan mereka yang berada di jalan raya seperti para pengendara bermotor, pejalan kaki, dan polisi lalu lintas, penjaja makanan sering kali terpajan oleh bahan pencemar yang kadarnya cukup tinggi. Estimasi dosis pajanan sangat tergantung kepada tinggi rendahnya pencemar yang dikaitkan dengan kondisi lalu lintas pada saat tertentu.

Keterkaitan antara pencemaran udara di perkotaan dan kemungkinan adanya resiko terhadap kesehatan, baru dibahas pada beberapa dekade belakangan ini. Pengaruh yang merugikan mulai dari meningkatnya kematian akibat adanya *episod smog* sampai pada gangguan estetika dan kenyamanan. Gangguan kesehatan lain diantara kedua pengaruh yang ekstrim ini, misalnya kanker pada paru-paru atau organ tubuh lainnya, penyakit pada saluran tenggorokan yang bersifat akut maupun khronis, dan kondisi yang diakibatkan karena pengaruh bahan pencemar terhadap organ lain seperti paru, misalnya sistem syaraf. Karena setiap individu akan terpajan oleh banyak senyawa secara bersamaan, sering kali sangat sulit untuk menentukan senyawa mana atau kombinasi senyawa yang mana yang paling berperan memberikan pengaruh membahayakan terhadap kesehatan.

Bahaya gas buang kendaraan bermotor terhadap kesehatan tergantung dari toksitas (daya racun) masing-masing senyawa dan seberapa luas masyarakat terpajan olehnya. Beberapa faktor yang berperan di dalam ketidakpastian setiap analisis resiko yang dikaitkan dengan gas buang kendaraan bermotor antara lain adalah :

- Definisi tentang bahaya terhadap kesehatan yang digunakan
- Relevansi dan interpretasi hasil studi epidemiologi dan eksperimental
- Realibilitas dari data pajanan
- Jumlah manusia yang terpajan
- Keputusan untuk menentukan kelompok resiko yang mana yang akan dilindungi
- Interaksi antara berbagai senyawa di dalam gas buang, baik yang sejenis maupun antara yang tidak sejenis
- Lamanya terpajan (jangka panjang atau pendek)

Pada umumnya istilah dari ***bahaya terhadap kesehatan*** yang digunakan adalah pengaruh bahan pencemar yang dapat menyebabkan meningkatnya resiko atau penyakit atau kondisi medik lainnya pada seseorang ataupun kelompok orang. Pengaruh ini tidak dibatasi hanya pada pengaruhnya terhadap penyakit yang dapat dibuktikan secara klinik saja, tetapi juga pada pengaruh yang pada suatu mungkin juga dipengaruhi faktor lainnya seperti umur misalnya.

Telah banyak bukti bahwa anak-anak dan para lanjut usia merupakan kelompok yang mempunyai resiko tinggi di dalam peristiwa pencemaran udara. Anak-anak lebih peka terhadap infeksi saluran pernafasan dibandingkan dengan orang dewasa, dan fungsi paru-paru nya juga berbeda. Para usia lanjut masuk di dalam kategori kelompok resiko tinggi karena penyesuaian kapasitas dan fungsi paru-paru menurun, dan pertahanan imunitasnya melemah. Karena kapasitas paru-paru dari penderita penyakit jantung dan paru-paru juga rendah, kelompok ini juga sangat peka terhadap pencemaran udara.

Berdasarkan sifat kimia dan perilakunya di lingkungan, dampak bahan pencemar yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor digolongkan sebagai berikut :

1. Bahan-bahan pencemar yang terutama mengganggu saluran pernafasan. Yang termasuk dalam golongan ini adalah oksida sulfur, partikulat, oksida nitrogen, ozon dan oksida lainnya.
2. Bahan-bahan pencemar yang menimbulkan pengaruh racun sistemik, seperti hidrokarbon monoksida dan timbel/timah hitam.

3. Bahan-bahan pencemar yang dicurigai menimbulkan kanker seperti hidrokarbon.
4. Kondisi yang mengganggu kenyamanan seperti kebisingan, debu jalanan, dll.

A. Bahan-Bahan Pencemar yang Terutama Mengganggu Saluran Pernafasan

Organ pernafasan merupakan bagian yang diperkirakan paling banyak mendapatkan pengaruh karena yang pertama berhubungan dengan bahan pencemar udara. Sejumlah senyawa spesifik yang berasal dari gas buang kendaraan bermotor seperti oksida-oksida sulfur dan nitrogen, partikulat dan senyawa-senyawa oksidan, dapat menyebabkan iritasi dan radang pada saluran pernafasan. Walaupun kadar oksida sulfur di dalam gas buang kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin relatif kecil, tetapi tetap berperan karena jumlah kendaraan bermotor dengan bahan bakar solar makin meningkat. Selain itu menurut studi epidemiologi, oksida sulfur bersama dengan partikulat bersifat sinergetik sehingga dapat lebih meningkatkan bahaya terhadap kesehatan.

- **Oksida sulfur dan partikulat**

Sulfur dioksida (SO₂) merupakan gas buang yang larut dalam air yang langsung dapat terabsorpsi di dalam hidung dan sebagian besar saluran ke paru-paru. Karena partikulat di dalam gas buang kendaraan bermotor berukuran kecil, partikulat tersebut dapat masuk sampai ke dalam alveoli paru-paru dan bagian lain yang sempit. Partikulat gas buang kendaraan bermotor terutama terdiri jelaga (hidrokarbon yang tidak terbakar) dan senyawa anorganik (senyawa-senyawa logam, nitrat dan sulfat). Sulfur dioksida di atmosfer dapat berubah menjadi kabut asam sulfat (H₂SO₄) dan partikulat sulfat. Sifat iritasi terhadap saluran pernafasan, menyebabkan SO₂ dan partikulat dapat membengkaknya membran mukosa dan pembentukan mukosa dapat meningkatnya hambatan aliran udara pada saluran pernafasan. Kondisi ini akan menjadi lebih parah bagi kelompok yang peka, seperti penderita penyakit jantung atau paru-paru dan para lanjut usia.

- **Oksida Nitrogen**

Diantara berbagai jenis oksida nitrogen yang ada di udara, nitrogen dioksida (NO₂) merupakan gas yang paling beracun. Karena larutan NO₂ dalam air yang lebih rendah dibandingkan dengan SO₂, maka NO₂ akan dapat menembus ke dalam saluran pernafasan lebih dalam. Bagian dari saluran yang pertama kali dipengaruhi adalah

membran mukosa dan jaringan paru. Organ lain yang dapat dicapai oleh NO₂ dari paru adalah melalui aliran darah.

Karena data epidemiologi tentang resiko pengaruh NO₂ terhadap kesehatan manusia sampai saat ini belum lengkap, maka evaluasinya banyak didasarkan pada hasil studi eksperimental. Berdasarkan studi menggunakan binatang percobaan, pengaruh yang membahayakan seperti misalnya meningkatnya kepekaan terhadap radang saluran pernafasan, dapat terjadi setelah mendapat pajanan sebesar 100 µg/m³. Percobaan pada manusia menyatakan bahwa kadar NO₂ sebesar 250 µg/m³ dan 500 µg/m³ dapat mengganggu fungsi saluran pernafasan pada penderita asma dan orang sehat.

- **Ozon dan oksida lainnya**

Karena ozon lebih rendah lagi larutannya dibandingkan SO₂ maupun NO₂, maka hampir semua ozon dapat menembus sampai alveoli. Ozon merupakan senyawa oksidan yang paling kuat dibandingkan NO₂ dan bereaksi kuat dengan jaringan tubuh. Evaluasi tentang dampak ozon dan oksidan lainnya terhadap kesehatan yang dilakukan oleh WHO *task group* menyatakan pemajanan oksidan fotokimia pada kadar 200-500 µg/m³ dalam waktu singkat dapat merusak fungsi paru-paru anak, meningkat frekwensi serangan asma dan iritasi mata, serta menurunkan kinerja para olahragawan.

B. Bahan-bahan pencemar yang menimbulkan pengaruh racun sistemik

Banyak senyawa kimia dalam gas buang kendaraan bermotor yang dapat menimbulkan pengaruh sistemik karena setelah diabsorpsi oleh paru, bahan pencemar tersebut dibawa oleh aliran darah atau cairan getah bening ke bagian tubuh lainnya, sehingga dapat membahayakan setiap organ di dalam tubuh. Senyawa-senyawa yang masuk ke dalam hidung dan ada dalam mukosa bronkial juga dapat terbawa oleh darah atau tertelan masuk tenggorokan dan diabsorpsi masuk ke saluran pencernaan. Selain itu ada pula pemajanan yang tidak langsung, misalnya melalui makanan, seperti timah hitam. Diantara senyawa-senyawa yang terkandung di dalam gas kendaraan bermotor yang dapat menimbulkan pengaruh sistemik, yang paling penting adalah karbon monoksida dan timbel.

- *Karbon Monoksida*

Karbon monoksida dapat terikat dengan haemoglobin darah lebih kuat dibandingkan dari oksigen membentuk karboksihemoglobin (COHb), sehingga

menyebabkan terhambatnya pasokan oksigen ke jaringan tubuh. Paparan CO diketahui dapat mempengaruhi kerja jantung (sistem kardiovaskuler), sistem syaraf pusat, juga janin, dan semua organ tubuh yang peka terhadap kekurangan oksigen.

Pengaruh CO terhadap sistem kardiovaskuler cukup nyata teramati walaupun dalam kadar rendah. Penderita penyakit jantung dan penyakit paru merupakan kelompok yang paling peka terhadap paparan CO. Studi eksperimen terhadap pasien jantung dan penyakit pasien paru, menemukan adanya hambatan pasokan oksigen ke jantung selama melakukan latihan gerak badan pada kadar COHb yang cukup rendah 2,7 %.

Pengaruh paparan CO kadar rendah pada sistem syaraf dipelajari dengan suatu uji psikologi. Walaupun diakui interpretasi dari hasil uji seperti ini sulit ditemukan bahwa kadar COHb 16 % dianggap membahayakan kesehatan. Pengaruh bahaya ini tidak ditemukan pada kadar COHb sebesar 5%.

Pengaruh terhadap janin pada prinsipnya adalah karena paparan CO pada kadar tinggi dapat menyebabkan kurangnya pasokan oksigen pada ibu hamil yang konsekuennya akan menurunkan tekanan oksigen di dalam plasenta dan juga pada janin dan darah. Hal ini dapat menyebabkan kelahiran prematur atau bayi lahir dengan berat badan rendah dibandingkan normal.

Menurut evaluasi WHO, kelompok penduduk yang peka (penderita penyakit jantung atau paru-paru) tidak boleh terpajan oleh CO dengan kadar yang dapat membentuk COHb di atas 2,5%. Kondisi ini ekuivalen dengan paparan oleh CO dengan kadar sebesar 35 mg/m³ selama 1 jam, dan 20 mg/mg selama 8 jam. Oleh karena itu, untuk menghindari tercapainya kadar COHb 2,5-3,0 % WHO menyarankan paparan CO tidak boleh melampaui 25 ppm (29 mg/m³) untuk waktu 1 jam dan 10 ppm (11,5 mg/mg³) untuk waktu 8 jam.

- *Timbel*

Timbel ditambahkan sebagai bahan aditif pada bensin dalam bentuk timbel organik (tetraetil-Pb atau tetrametil-Pb). Pada pembakaran bensin, timbel organik ini berubah bentuk menjadi timbel anorganik. Timbel yang dikeluarkan sebagai gas buang kendaraan bermotor merupakan partikel-partikel yang berukuran sekitar 0,01 μ m. Partikel-partikel timbel ini akan bergabung satu sama lain membentuk ukuran yang lebih besar, dan keluar sebagai gas buang atau mengendap pada knalpot.

Pengaruh Pb pada kesehatan yang terutama adalah pada sintesa haemoglobin dan sistem pada syaraf pusat maupun syaraf tepi. Pengaruh pada sistem pembentukan Hb darah yang dapat menyebabkan anemia, ditemukan pada kadar Pb-darah kelompok

dewasa 60-80 μ g/100 ml dan kelompok anak > 40 μ g/100 ml. Pada kadar Pb-darah kelompok dewasa sekitar 40 μ g/100 ml diamati telah ada gangguan terhadap sintesa Hb, seperti meningkatnya ekskresi *asam aminolevulinat* (ALA). Pengaruh pada enzim δ -ALAD dapat diamati pada kadar Pb-darah sekitar 10 μ g/100 ml. Akumulasi *protoporfirin* dalam *eritrosit* (FEP) yang merupakan akibat dari terhambatnya aktivitas enzim *ferrochelataase*, dapat terlihat pada wanita dengan kadar Pb-darah 20-30 μ g/100 ml, pada pria dengan kadar 25-35 μ g/100 ml, dan pada anak dengan kadar > 15 μ g/100 ml. Pengaruh Pb terhadap hambatan aktivitas enzim ALAD tidak menyatakan adanya keracunan yang membahayakan, tetapi dapat menunjukkan adanya pajanan Pb terhadap tubuh. Meningkatnya ekskresi ALA dan akumulasi FEP dalam urin mencerminkan adanya kerusakan fungsi fisiologi yang pada akhirnya dapat merusak fungsi *mitokondrial*.

Pengaruh pada syaraf otak anak diamati pada kadar 60 μ g/100 ml, yang dapat menyebabkan gangguan pada perkembangan mental anak. Penelitian pada pengaruh Pb yang dikaitkan IQ anak telah banyak dilakukan tetapi hasilnya belum konsisten. Sistem syaraf pusat anak lebih peka dibandingkan dengan orang dewasa. Gangguan terhadap fungsi syaraf orang dewasa berdasarkan uji psikologi diamati pada kadar Pb-darah 50 μ g/100 ml. Sedangkan gangguan sistem syaraf tepi diamati pada kadar Pb-darah 30 μ g/100 ml.

Timbel dapat menembus plasenta, dan karena perkembangan otak yang khususnya peka terhadap logam ini, maka janinlah yang terutama mendapat resiko.

Bahan-Bahan Pencemar yang Dicurigai Menimbulkan Kanker

Pembakaran didalam mesin menghasilkan berbagai bahan pencemar dalam bentuk gas dan partikulat yang umumnya berukuran lebih kecil dari 2 μ m. Beberapa dari bahan-bahan pencemar ini merupakan senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik dan mutagenik, seperti *etilen*, *formaldehid*, *benzena*, *metil nitrit* dan *hidrokarbon poliaromatik* (PAH). Mesin solar akan menghasilkan partikulat dan senyawa-senyawa yang dapat terikat dalam partikulat seperti PAH, 10 kali lebih besar dibandingkan dengan mesin bensin yang mengandung timbel. Untuk beberapa senyawa lain seperti *benzena*, *etilen*, *formaldehid*, *benzo(a)pyrene* dan *metil nitrit*, kadar di dalam emisi mesin bensin akan sama besarnya dengan mesin solar.

Emisi kendaraan bermotor yang mengandung senyawa karsinogenik diperkirakan dapat menimbulkan tumor pada organ lain selain paru. Akan tetapi untuk

membuktikan apakah pembentukan tumor tersebut hanya diakibatkan karena asap solar atau gas lain yang bersifat sebagai iritan.

Dalam banyak kasus, analisis risiko dibuat berdasarkan hasil studi epidemiologi. Apabila analisis-analisis tersebut cukup lengkap dan dapat mengendalikan berbagai faktor pengganggu (*confounding*) seperti misalnya kebiasaan merokok, maka kesimpulan yang ditarik dapat sangat berharga, tanpa peduli apakah hasil studi pada umumnya hasil studi seperti itu jarang didapatkan.

Mengesampingkan pengaruh yang langka akibat pencemaran, seperti penyakit tumor dan kanker semata-mata berdasarkan hasil studi epidemiologi yang negatif, sebenarnya kurang tepat. Pada studi yang melibatkan populasi kecil (misalnya 1000 orang) terasa wajar apabila hasil studi tentang sejenis tumor yang hanya terjadi pada beberapa kasus per 100.000 orang, menjadi negatif. Kesulitan menjadi lebih besar apabila pengaruh yang dicari tersebut dapat timbul karena hal lain, dapat diperkirakan bahwa persentase peningkatan dalam prevalensi akan sangat kecil.

Hal yang sama ditemukan pada studi eksperimental. Di dalam studi eksperimental, adanya hubungan antara dosis dan respons untuk dosis rendah sangat sulit untuk dibuktikan, karena kecilnya jumlah orang yang dapat diteliti. Pengaruh jangka panjang bisa dilaksanakan pada binatang percobaan, tetapi lagi-lagi di dalam mengekstrapolasikan penemuan tersebut untuk manusia sering tidak pasti. Hal yang sering ditemui dalam studi eksperimental seperti ini adalah kesulitan untuk mensimulasikan kondisi pajanan yang sebenarnya.

Karena itu maka evaluasi secara ilmiah tentang dampak dari suatu pencemaran terhadap kesehatan, apabila mungkin, harus didasarkan pada sifat kimiawi dari tiap senyawa, metabolismenya dan sifat umum lainnya, di samping yang juga ditemukan dalam studi epidemiologi dan eksperimental.

4. Dampak terhadap lingkungan

Tidak semua senyawa yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor diketahui dampaknya terhadap lingkungan selain manusia. Beberapa senyawa yang dihasilkan dari pembakaran sempurna seperti CO₂ yang tidak beracun, belakangan ini menjadi perhatian orang. Senyawa CO₂ sebenarnya merupakan komponen yang secara alamiah banyak terdapat di udara. Oleh karena itu CO₂ dahulunya tidak menepati urutan pencemaran udara yang menjadi perhatian lebih dari normalnya akibat penggunaan bahan bakar yang berlebihan setiap tahunnya. Pengaruh CO₂ disebut efek rumah kaca dimana CO₂ di atmosfer dapat menyerap energi panas dan

menghalangjalanya energi panas tersebut dari atmosfer ke permukaan yang lebih tinggi. Keadaan ini menyebabkan meningkatnya suhu rata-rata di permukaan bumi dan dapat mengakibatkan meningginya permukaan air laut akibat melelehnya gunung-gunung es, yang pada akhirnya akan mengubah berbagai sirkulus alamiah.

Pengaruh pencemaran SO_2 terhadap lingkungan telah banyak diketahui. Pada tumbuhan, daun adalah bagian yang paling peka terhadap pencemaran SO_2 , dimana akan terdapat bercak atau noda putih atau coklat merah pada permukaan daun. Dalam beberapa hal, kerusakan pada tumbuhan dan bangunan disebabkan karena SO_2 dan SO_3 di udara, yang masing-masing membentuk asam sulfit dan asam sulfat. Suspensi asam di udara ini dapat terbawa turun ke tanah bersama air hujan dan mengakibatkan air hujan bersifat asam. Sifat asam dari air hujan ini dapat menyebabkan korosif pada logam-logam dan rangka-rangka bangunan, merusak bahan pakian dan tumbuhan.

Oksida nitrogen, NO dan NO_2 berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Pengaruh NO yang utama terhadap lingkungan adalah dalam pembentukan *smog*. NO dan NO_2 dapat memudarkan warna dari serat-serat rayon dan menyebabkan warna bahan putih menjadi kekuning-kuningan. Kadar NO_2 sebesar 25 ppm yang pada umumnya dihasilkan adari emisi industri kimia, dapat menyebabkan kerusakan pada banayak jenis tanaman. Kerusakan daun sebanyak 5 % dari luasnya dapat terjadi pada pemajanan dengan kadar 4-8 ppm untuk 1 jam pemajanan. Tergantung dari jenis tanaman, umur tanaman dan lamanya pemajanan, kerusakan terjadi dapat bervariasi. Kadar NO_2 sebesar 0,22 ppm dengan jangka waktu pemajanan 8 bualan terus menerus, dapat menyebabkan rontoknya daun berbagai jenis tanaman.

5. Penutup

Pada umumnya dalam berbagai kasus pencemaran udara, dalam hal ini pencemaran udara yang diakibatkan oleh gas buang emisi kendaraan bermotor, dibutuhkan upaya segera dalam penanggulangannya. Pemantauan udara ambien dan emisi telah dilaksanakan di DKI Jakarta. Hasil pemantauan pada tahun 1996 yang dilakukan dalam suatu studi oleh JICA, menunjukkan bahwa diantara berbagai bahan pencemaran yang dipantau, jenis pencemar udara yang sering dilampaui kriteria mutu udara, adalah partikulat dan hidrokarbon (non-metan). Walaupun hasil penelitian mengenai dampak pencemaran kedua parameter tersebut masih belum konsisten, mengingat dampak yang telah disebutkan di atas, maka pencemaran partikulat dan hidrokarbon yang dicurigai dapat bersifat karsinogenik dan mutagenik, perlu diwaspadai.

Di dalam pengendalian pencemaran udara, seringkali teknologi yang tepat belum tentu menjamin dapat segera terlaksananya upaya tersebut. Pertimbangan segi ekonomi sering menjadi kendala utama. Di lain pihak kadang pemecahan tidak segera dapat ditemukan karena kurangnya fasilitas teknologi yang ada. Dalam keadaan seperti ini maka upaya pengendalian pencemaran terhadap lingkungan dapat dilakukan secara administratif dengan menerapkan peraturan perundangan yang telah ada secara ketat.

Bahan Bacaan

Pryde LT (1973) *Environmental Chemistry ; An Introduction*.pp 155-164

Kupchella CE & Hyland MC (1993) *Environmental Science, Living within the system of nature*. Pp 270-307

World Health Organization (1977) *Environmental Health Criteria No. 3, Lead*. Geneva.

World Health Organization (1977) *Environmental Health Criteria No. 4, Oxides of nitrogen*, Geneva.

World Health Organization (1978) *Environmental Health Criteria No. 7, Photochemical oxidants*. Geneva.

World Health Organization (1979) *Environmental Health Criteria No. 8, Sulfur oxides and suspended particulate matter*. Geneva

International Workshop on Human Health and Environmental Effects of Motor Vehicle Fuels and Their Exhaust Emissions, Sydney, Australia, 6-10 April 1992

Tri-Tugaswati A, Suzuki S, Kiryu Y, Kawada T (1995) Automotive Air Pollution in Jakarta with Special emphasis on lead, Particulate, and nitrogen dioxide. *Jpn J of Health and human Ecology* 61:261-75

Japan International Cooperation Agency (1997) *The Study on The Integrated air Quality Management for Jakarta Metropolitan Area*. Jakarta