

BUKU
**PENYEHATAN
UDARA**

DISUSUN OLEH
HURIP JAYADI SKM M.SI



KEMENTERIAN KESEHATAN RI
POLTEKKES KEMENKES SURABAYA
JURUSAN KESEHATAN LINGKUNGAN
**PRODI SANITASI PRODI D-III KAMPUS MAGETAN
2025**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan hidayah-Nya dapat tersusun sebuah buku tentang Penyehatan Udara.

Buku ini disusun untuk memudahkan proses belajar mengajar untuk meningkatkan pengetahuan pemahaman mahasiswa Prodi Sanitasi Program Diploma Tiga dan Diploma Empat mengenai Penyehatan Udara. Terimakasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah memberi bantuannya baik berupa materi, dukungan dan pemikirannya.

Semoga bermanfaat bagi semua pihak, walupun masih banyak kekurangan dan kesalahan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Magetan, 30 Agustus 2025

Hormat saya

Hurip Jayadi, SKM, M.Si

DAFTAR ISI

Halaman	
Cover	i
Kata Pengantar.....	ii
Daftar Isi	iii
A. Udara Bersih.....	1
B. Udara Kotor.....	18
C. Sumber Udara Bersih Dan Udara Kotor.....	39
D. Udara Emisi dan Ambient.....	46
E. Bahan Pencemar Udara.....	55
F. Reaksi Kimia.....	79
G. Mekanisme Pencemaran Udara.....	92
H. Mekanisme Penyehatan Udara.....	112
I. Dampak Positif Penyehatan Udara.....	122
J. Rekayasa Pencegahan Pencemaran Udara.....	132
K. Rekayasa Pengendalian Pencemaran Udara.....	145
L. Baku Mutu Udara Emisi Ambient/Regulasi.....	154

A. UDARA BERSIH

B. Definisi Udara

Udara mempunyai arti yang sangat penting di dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Setiap makhluk hidup membutuhkan udara untuk mendukung kehidupannya secara optimal, sehingga udara merupakan sumber daya alam yang harus dilindungi untuk kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Oleh karena itu udara merupakan komponen lingkungan yang sangat penting dalam kehidupan makhluk hidup, sehingga perlu dijaga dan dipelihara kualitasnya. Untuk mendapatkan udara sesuai dengan tingkat kualitas yang diinginkan, maka pengendalian kualitas udara menjadi sangat penting untuk dilakukan mengingat karena banyaknya pencemaran udara pada saat ini.

Pencemaran udara diartikan dengan turunnya kualitas udara sehingga udara mengalami penurunan mutu dalam penggunaannya dan akhirnya tidak dapat dipergunakan lagi sebagai mana mestinya sesuai dengan fungsinya. Banyak faktor yang dapat menyebabkan pencemaran udara, salah satu faktor yang paling berdampak besar terhadap terjadinya pencemaran udara ialah hasil-hasil gas buangan dari kegiatan industri. Hasil dari gas buang industri tersebut berupa substansi fisik seperti debu dan substansi kimia seperti karbon monoksida dan sulfur dioksida. (Puangpaka Masena dan Pranot Nuntiyakul (2014)

Hal ini tentu sangat berdampak buruk terhadap keadaan kualitas udara disekitar lingkungan industri yang terpapar, udara yang tercemar menjadi tidak sehat dan dapat mengakibatkan terjadinya gangguan kesehatan, salah satu penyakit yang dapat disebabkan oleh kualitas udara yang buruk ialah Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA). ISPA merupakan infeksi yang terjadi pada bagian tenggorokan, saluran udara, dan paru-paru. Kondisi ini menyebabkan fungsi pernapasan menjadi terganggu. Jika tidak segera ditangani, ISPA dapat menyebar ke seluruh sistem pernapasan tubuh. Tubuh

tidak bisa mendapatkan cukup oksigen karena infeksi yang terjadi dan kondisi ini bisa berakibat fatal, bahkan mungkin bisa berakibat pada kematian.

C. Hari Udara Bersih

Tanggal 7 September adalah *International Day of Clean Air for Blue Skies* atau Hari Udara Bersih Internasional untuk Langit Biru. Hari ini menjadi peringatan agar masyarakat dunia lebih peduli dengan kebersihan udara dan mengurangi polusi. Polusi udara menjadi salah satu masalah global yang hingga saat ini belum berhasil diatasi. Padahal udara yang bersih adalah salah satu faktor yang menentukan kesehatan. Hari Udara Bersih ini menjadi peringatan bahwa polusi udara adalah satu-satunya ancaman lingkungan paling serius bagi kesehatan manusia. Polusi udara juga menjadi salah satu penyebab utama kematian dan berbagai penyakit. Meskipun demikian, hal ini sebenarnya dapat dicegah. Semua kalangan bisa terkena dampak dari polusi udara, termasuk orang-orang yang rentan seperti anak-anak ataupun orang tua. Rusaknya udara bersih juga menjadi dampak buruk untuk kerusakan lingkungan.

Tujuan diperingati Hari Udara Bersih adalah untuk menyerukan dan menyatukan upaya menjaga kebersihan udara. Karena sejatinya, udara bersih adalah hak semua orang. Sejarah Hari Udara Bersih Internasional Dilansir dari unenvironment.org, Majelis Umum Hak Asasi Manusia PBB memberikan mandat kepada UN Environment Programme (UNEP) untuk mengkaji kewajiban HAM yang berhubungan dengan lingkungan yang sehat, aman, dan berkelanjutan. Dalam hal ini, UNEP bekerja sama dengan David R. Boyd, pelapor khusus untuk HAM dan Lingkungan. Kemudian Majelis Umum PBB mengadopsi resolusi Hari Udara Bersih Internasional untuk langit biru pada 19 Desember 2019. Badan Kesehatan Dunia (WHO) bekerja sama dengan *Breathe Life* untuk mengadakan peringatan Hari Udara Bersih Internasional yang diperingati pada 7 September 2020. Peringatan ini sekaligus menjadi peringatan pertama Hari Udara Bersih Internasional.

Hari ini menjadi momentum untuk menggerakkan aksi melawan polusi udara dan perubahan iklim global. Hari Udara Bersih Internasional juga menjadi salah satu upaya untuk mempromosikan pentingnya udara bersih bagi kesehatan, efisiensi, ekonomi, dan lingkungan. Tujuan Hari Udara Bersih Internasional. Dilansir dari laman resmi Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Probolinggo, ada banyak cara yang bisa dilakukan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan dampak pencemaran udara. Berbagai upaya juga dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas udara bersih.

Tujuan dari peringatan Hari Udara Bersih Internasional tidak lain adalah untuk menyadarkan masyarakat global tentang pentingnya kualitas udara yang baik. Hal ini bisa dilakukan dengan berbagai upaya yang dimulai dari diri sendiri.

Pencemaran udara disebabkan oleh berbagai sumber seperti industri dan produksi energi, transportasi, aktivitas rumah tangga, kegiatan pertanian serta pengolahan limbah. Ada beberapa hal sederhana yang dapat dilakukan untuk mengurangi pencemaran udara, diantaranya adalah:

1. Penggunaan kendaraan yang ramah lingkungan

Transportasi adalah satu penyebab utama polusi udara di perkotaan. Kurangi penggunaan kendaraan bermotor, gunakan moda transportasi umum, atau pergi bersama dalam satu kendaraan (*car pooling*) dengan tetap memperhatikan protokol kesehatan untuk mengurangi risiko terpapar COVID-19. Bersepeda atau berjalan kaki juga dapat menjadi alternatif apabila bepergian dalam jarak dekat. Dengan mengurangi penggunaan kendaraan bermotor, Detikers bisa ambil bagian untuk memperbaiki kualitas udara.

2. Penghematan Energi

Penggunaan peralatan yang memerlukan listrik, secara tidak langsung memberikan dampak pada kualitas udara. Menurut *Indonesia Third National Communication* tahun 2017, sektor ketenagalistrikan merupakan penyumbang emisi Gas Rumah Kaca terbesar. Gunakan

listrik seperlunya, matikan lampu dan peralatan elektronik bila tidak digunakan.

3. Penanaman pohon atau tanaman peneduh

Menanam tanaman merupakan cara paling baik untuk mengurangi polusi udara karena tanaman bisa menyerap udara kotor dan memproduksi oksigen yang dibutuhkan oleh manusia. Tanaman juga bisa membuat udara menjadi lebih sejuk dan nyaman.

4. Tidak membakar sampah

Berdasarkan data Statistik Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2018, sebanyak 66,8% rumah tangga masih membakar sampah. Pembakaran sampah merupakan sumber polusi yang dapat menyebabkan penyakit pernafasan dan menghasilkan gas rumah kaca. Stop bakar sampah, mulailah kelola sampah dengan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). Dengan cara ini, produksi sampah akhir juga akan berkurang.

D. Ciri-Ciri Udara Bersih

Udara adalah percampuran atau kumpulan gas yang ada di permukaan bumi. Udara yang baik sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk bernapas karena mengandung nitrogen sebanyak 78,08%, oksigen sebanyak 20,95%, argon sebanyak 0,934%, karbon dioksida sebanyak 0,0314%, neon sebanyak 0,00182%, helium sebanyak 0,000524%, metana sebanyak 0,0002%, dan kripton sebanyak 0,000114%. Makhluk hidup memang tidak dapat melihat udara, tetapi dapat merasakannya melalui embusan angin.

Udara yang bersih lagi sehat berbeda dengan udara yang biasa kita hirup dalam suasana hiruk pikuk, seperti daerah perkotaan. Udara yang bersih dan sehat ini merupakan udara yang murni, sejuk, dan terasa segar apabila kita hirup dan masuk ke paru- paru kita.

Udara mempunyai arti yang sangat penting di dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Setiap makhluk hidup membutuhkan udara untuk mendukung kehidupannya secara optimal, sehingga udara merupakan sumber daya alam yang harus dilindungi untuk kehidupan manusia dan

mahluk hidup lainnya. Oleh karena itu udara merupakan komponen lingkungan yang sangat penting dalam kehidupan mahluk hidup, sehingga perlu dijaga dan dipelihara kualitasnya. Untuk mendapatkan udara sesuai dengan tingkat kualitas yang diinginkan, maka pengendalian kualitas udara menjadi sangat penting untuk dilakukan mengingat karena banyaknya pencemaran udara pada saat ini (Timoteus, 2021). Udara bersih merupakan udara yang murni dan belumtercampur dengan berbagai benda asing, baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas, serta zat- zat lain yang bersifat merugikan. Udara yang bersih dan sehat ini tentulah berbeda ciri-cirinya dengan udara yang tercemar atau kotor. Beberapa ciri ciri udara bersih dan sehat antara lain:

1. Tidak berwarna

Ciri pertama dari udara bersih dan juga sehat adalah tidak mempunyai warna atau tidak berwarna. Udara yang bersih ini adalah udara yang murni. Udara yang murni merupakan udara yang tidak mempunyai warna, sehingga jika terdapat warna pada udara maka udara tersebut maka udara tersebut tidak baik atau tidak sehat. Udara yang mempunyai warna merupakan udara yang telah tercampur dengan gas- gas ataupun benda lainnya tertentu sehingga menimbulkan warna yang terasa asing dan merusak kemurnian udara.

2. Tidak berbau

Ciri yang kedua yang dimiliki oleh udara adalah tidak berbau. Udara yang bersih merupakan udara yang terasa segar apabila kita hirup, dan tentu saja tidak berbau. Udara yang apabila kita cium akan berbau maka udara itu bukanlah udara yang yang murni. Udara yang berbau berarti udara yang telah tercampur dengan berbagai zat lain (umumnya yang berupa gas), maka udara yang berbau bukanlah udara yang murni lagi.

3. Tidak berasa

Ciri selanjutnya dari udara adalah udara tidak mempunyai rasa. Udara yang murni adalah udara yang tidak mempunyai rasa apapun, sehingga apabila kita merasakan udara yang kita hirup mempunyai rasa, maka

udara tersebut bukanlah udara yang murni lagi. Indikasi rasa pada udara ini dapat dirasakan melalui bau pada udara tersebut. Apabila udara yang kita hirup mempunyai bau tertentu, hal itu menandakan bahwa udara tersebut juga mempunyai rasa.

4. Tidak tercampur dengan benda asing

Ciri yang paling umum untuk menyatakan sesuatu hal yang murni adalah tidak tercampur dengan benda- benda asing lainnya. Benda- benda asing ini adalah benda yang dapat mempengaruhi kemurnian udara tersebut, baik itu gas, cairan, maupun benda padat lainnya. Campurnya udara dengan benda- benda yang bersifat lainnya ini menyebabkan udara menjadi tidak bersih dan juga tidak menyehatkan. Hal ini karena benda- benda yang tercampur di dalamnya ini terkadang mempunyai sifat yang membahayakan kesehatan. Dan udara yang tercampur dengan benda- benda lainnya ini terkadang menimbulkan perubahan pada warna, bau dan rasa sehingga dapat kita ketahui, namun terkadang tidak menimbulkan apapun sehingga sulit untuk kita ketahui.

5. Terasa segar apabila kita hirup

Udara yang bersih dan sehat merupakan udara yang terasa segar apabila kita hirup. Berbeda dengan udara yang telah tercemar yang apabila kita hirup maka akan menyesakkan dada. Udara bersih keseegarannya masih tetap terjaga hingga bisa menenangkan pikiran kita dan mengalirkan oksigen murni pada tubuh kita.

6. Terasa sejuk

Udara yang bersih adalah udara yang terasa sejuk di badan. Berbeda dengan udara yang telah tercemar yang terasa panas di badan. Udara bersih dan sehat akan terasa sejuk apabila menyentuh permukaan kulit kita. Udara bersih biasanya kita temui di daerah- daerah yang memiliki banyak pepohonan, maka di daerah tersebut biasanya akan terasa sejuk.

7. Dapat digunakan sebagai terapi kesehatan tubuh

Udara yang bersih dapat dimanfaatkan sebagai alat terapi kesehatan. Maka dari itulah udara yang bersih dan sehat ini mempunyai ciri

dimanfaatkan sebagai bahan terapi untuk kesehatan tubuh. Beberapa manfaat yang dimiliki oleh udara bersih untuk kesehatan tubuh adalah untuk menjaga ketenangan, menghalau ketegangan, meningkatkan kekebalan atau daya tahan tubuh dan juga menambah energi.

Udara yang bersih juga sarat dengan oksigen sehingga terasa segar di badan. Biasanya tempat yang masih mempunyai udara bersih adalah di area pedesaan. Area pedesaan adalah area yang masih ditumbuhi oleh banyak pepohonan dan juga jauh dari polusi udara seperti di perkotaan. Maka dari itulah seringkali kita dapati bahwa orang-orang yang tinggal di pedesaan mempunyai badan yang segar dan sehat hingga masa tuanya, serta mempunyai umur yang lebih panjang. Hal ini salah satunya disebabkan karena udara yang dimiliki. Maka dari itulah kita sebagai manusia sebaiknya peduli akan lingkungan, salah satunya dengan cara menciptakan area yang memiliki udara bersih. Kita bisa menanam pepohonan di lingkungan sekitar rumah kita sendiri sehingga akan terasa sejuk dan segar serta sebagai sumber udara bersih yang kita miliki sendiri.

E. Kualitas Udara

Kualitas Udara Kualitas udara di sebuah kota merupakan gambaran dari kondisi udara di kota tersebut yang memadai untuk dihuni oleh manusia. Pengertian kualitas udara di suatu kota yang memadai menurut standard tersebut adalah udara tidak ada kontaminan pada konsentrasi yang membahayakan yang tentunya sudah ditetapkan oleh para ahli (Iqramadhanti, 2019)

1. Parameter Fisika

a. Suhu

Menurut Hidayati (dalam Indarwati, Respati dan Darmanto, 2019), suhu adalah besaran yang menyatakan derajat dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah termometer. Dalam kehidupan sehari-hari masyarakat untuk mengukur suhu cenderung menggunakan indera peraba. Tetapi dengan adanya

perkembangan teknologi maka diciptakanlah termometer untuk mengukur suhu dengan valid.

b. Kelembaban

Menurut Lagiyono (dalam Indarwati, Respati dan Darmanto, 2019), kelembaban merupakan suatu tingkat keadaan lingkungan udara basah yang disebabkan oleh adanya uap air. tingkat kejenuhan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Jika tekanan uap parsial sama dengan tekanan uap air yang jenuh maka akan terjadi pepadatan. Secara sistematis kelembaban relative (RH) didefinisikan sebagai presentase perbandingan antara tekanan uap air parsial dengan tekanan uap air jenuh.

c. Pencahayaan

Cahaya merupakan satu bagian dari berbagai jenis gelombang elektromagnetis yang terbang ke angkasa. Gelombang tersebut memiliki panjang dan frekuensi tertentu, yang nilainya dibedakan dari energi cahaya lainnya dalam spektrum elektromagnetisnya. Sumber pencahayaan terdiri atas pencahayaan alami dan pencahayaan buatan. Pencahayaan alami adalah sumber pencahayaan yang berasal dari sinar matahari. Sinar alami mempunyai energi listrik dan dapat membunuh kuman. Suatu ruangan diperlukan jendela-jendela yang besar ataupun dinding kaca sekurang-kurangnya $\frac{1}{6}$ daripada luas lantai untuk mendapatkan pencahayaan alami Sedangkan pencahayaan buatan merupakan pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya selain cahaya alami. Pencahayaan buatan sangat diperlukan apabila posisi ruangan sulit dicapai oleh pencahayaan alami. Pencahayaan buatan yang kurang dapat mengganggu dalam penggunaan suatu lingkungan kerja.

d. Kebisingan

Menurut Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia (dalam Zuhra, 2019), kebisingan merupakan semua bunyi yang tidak

dikehendaki yang bersumber dari alat proses produksi dan atau alat kerja yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran. Kebisingan menjadi salah satu potensi bahaya dari faktor fisik di lingkungan kerja yang kemungkinan terjadi akibat adanya proses produksi dan alat kerja. Kebisingan seringkali ditemukan pada industri manufaktur.

e. Partikulat Debu

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang di udara (*Suspended Particulate Matter / SPM*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam kasus pencemaran udara, baik dalam maupun di ruang gedung (*Indoor and Out Door Pollution*) debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran yang digunakan untuk menggunakan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap keselamatan dan kesehatan kerja (Pradika, 2011). Menurut Suma'mur (dalam Pradika, 2011), debu adalah partikel-partikel zat padat yang ditimbulkan oleh kekuatankekuatan alami atau mekanis. Kekuatan tersebut yaitu pengolahan, penghancuran, pelembutan, pengepakan yang cepat, peledakan dan lain-lain dari baan-bahan baik organik maupun anorganik. Secara fisik, debu dikategorikan sebagai pencemar yaitu dust udara aerosol.

2. Parameter Kimia

a. *Particulate Matter*

Menurut Rochimawati (dalam Prilila, Wardhana dan Sutrisno, 2016), *Particulate Matter* merupakan partikel udara yang berukuran kecil seperti debu, asap, dan uap dengan diameter kurang dari 100 mikrometer. *Particulate Matter* dapat berasal dari beberapa sumber. Diantaranya yaitu pembangkit tenaga listrik, insinerator, kendaraan dan aktivitas konstruksi.

b. Sulfur Dioksida

Sulfur Dioksida merupakan pencemar dari sumber industri yang berperan sebagai prekursor asam sulfat (H_2SO_4) komponen partikel aerosol yang mempengaruhi deposisi asam, iklim global, dan lapisan ozon global sumber utama dari sulfur dioksida yaitu pembangkit listrik tenaga batu bara, pembakaran bahan bakar fosil, dan gunung berapi. Sumber sulfur dioksida kedua berasal dari proses-proses industri seperti pemurnian petroleum, industri asam sulfat, industri peleburan baja dan sebagainya.

c. Karbon Monoksida

Menurut Wardhana (dalam Yulianti, 2014) Karbon Monoksida dapat berbentuk cairan pada suhu dibawah- $192^{\circ}C$ Karbon monoksida sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dengan udara, berupa gas buangan. Perkiraan presentase pencemar udara terbesar dari sumber transportasi di Indonesia adalah pada gas karbon monoksida yaitu sebesar 70,50%.

d. Ozon

Ozon dikenal sebagai pelindung bumi dari sinar ultraviolet matahari. Lapisan ozon terdapat pada stratosfer. Ozon merupakan salah satu zat pengoksidasi yang sangat kuat setelah fluor, oksigen dan oksigen fluorida (OF_2). Meskipun di alam terdapat dalam jumlah kecil tetapi lapisan lain dengan bahan pencemar udara Ozon sangat berguna untuk melindungi bumi dari radiasi ultraviolet (UV-B). Ozon terbentuk diudara pada ketinggian 30 km dimana radiasi UV matahari dengan panjang gelombang 242 nm secara perlahan memecah molekul oksigen (O_2) menjadi atom oksigen tergantung dari jumlah molekul O_2 atom-atom oksigen secara cepat membentuk ozon.

Ozon menyerap radiasi sinar matahari dengan kuat didaerah panjang gelombang 240-320 nm.

e. Nitrogen Dioksida

Menurut Slamet (dalam Riviwanto dan Sani, 2017), Nitrogen Dioksida merupakan gas beracun yang berwarna coklat kemerah-merahan dan berbau sangat menyengat seperti asam nitrat. Jenis Nitrogen Oksida yang sering didapat di dalam atmosfer adalah NO, NO₂, ataupun N₂O adalah zat yang tidak pernah ada di dalam udara yang bersih. Gas NO dalam konsentrasi tinggi dapat bereaksi dengan Hb dan memiliki sifat yang sama dengan CO, yaitu menghalang fungsi normal Hb dalam darah, dan dapat menyebabkan iritasi mata serta gangguan pernafasan. Sedangkan pengaruh NO terhadap lingkungan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan udara di luar terlihat kecoklatan (*brown air cities*). Hal ini akan memicu terbentuknya senyawa photochemical smog, ketika NO₂ bereaksi dengan panas matahari dan hidrokarbon.

3. Parameter Biologi

a. Jamur

Jamur merupakan organisme yang mempunyai inti sel, dapat membentuk spora, tidak berklorofil, terdapat benang – benang tunggal atau benang – benang yang bercabang dengan dinding selulosa atau khitin. Jamur termasuk kedalam golongan fungi. Jamur hidup diantara jasad hidup (biotik) atau mati (abiotik), dengan sifat hidup heterotroph (organisme yang hidupnya tergantung dari organisme lain) dan saprofit (organisme yang hidup pada zat organik yang tidak diperlukan lagi atau sampah).

b. Bakteri Patogen

Bakteri merupakan mikroba prokariotik yang uniseluler dan berkembangbiak dengan cara seksual dengan pembelahan sel. Bakteri tidak berklorofil namun ada yang bersifat fotosintetik,

kemudian bakteri hidup secara bebas, parasit saprofit sebagai patogen pada manusia, hewan dan tumbuhan. Selain itu, bakteri merupakan struktur sel yang tidak mempunyai membran inti sedangkan komponen genetiknya terdapat di dalam molekul DNA tunggal yang terdapat di dalam sitoplasma.

c. Angka Kuman

Angka Kuman merupakan angka kuman di udara yang dapat mempengaruhi kualitas udara suatu tempat atau ruangan. Sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1204/MEKES/SK/X/2004 tentang persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit, standar baku mutu untuk angka kuman yakni 200-500 CFU/m³. Hal ini ditetapkan sebagai pengendalian faktor lingkungan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya penularan penyakit yang sering disebut sebagai infeksi nosokomial (Istramadhanti, 2019)

F. Fungsi Udara

Fungsi udara dalam kehidupan yakni sebagai pernafasan untuk makhluk hidup di dunia ini. Jika tidak adanya udara, maka makhluk hidup tidak akan bisa bernafas. Fungsi lainnya sebagai alat fotosintesis tumbuhan. Proses fotosintesis melibatkan manfaat dari matahari, klorofil dan juga manfaat udara untuk mensuplai nutrisi yang dibutuhkan bagi tanaman tersebut. Jika banyaknya tanaman yang tidak bisa melakukan fotosintesis, pastilah banyak tanaman yang akan mati. Namun belakangan ini, udara sungguh menjadi tercemar dan dapat meyakiti makhluk hidup. Asap ada dimana mana yang mengakibatkan udara menjadi tidak bersih dan kotor. Beberapa faktor yang mengakibatkan pencemaran udara yang terjadi belakangan ini di wilayah Indonesia. Yakni adanya pembakaran hutan secara liar di berbagai wilayah dengan tujuan pribadi ataupun kelompok dari sebuah perusahaan. Selain itu, pabrik-pabrik liar yang melakukan pengindustriannya. Pengguna alat transportasi yang sering di gunakan oleh manusia. Selain itu juga, faktor-faktor penyebab terjadinya pencemaran udara bisa terjadi dari faktor alam.

Seperti gunung-gunung yang meletus, dan gunung-gunung yang memiliki lahan gambut dan mudah terbakar. Sehingga kita perlu memiliki cara menjaga kelestarian hutan di sekeliling kita. Berikut beberapa cara melestarikan udara agar tetap bersih :

1. Menanam pohon di berbagai tempat.
2. Menanam tanaman hias.
3. Mengurangi dan menghindari penggunaan gas-gas kimia.
4. Mengupayakan pengurangan pembuangan gas-gas sisa pembakaran.
5. Membangun cerobong asap yang cukup tinggi.
6. Mengurangi asap yang keluar dari kendaraan transportasi yang menghasilkan polusi.
7. Bersepeda atau berjalan kaki.
8. Melakukan penyaringan asap sebelum asap dibuang ke udara.
9. Mengurangi pemakaian bahan fosil.
10. Mengurangi sistem transportasi yang efisien dengan menghemat bahan bakar.
11. Mengalirkan gas buangan ke dalam larutan pengikat.
12. Menurunkan suhu sebelum gas di buang ke udara bebas.
13. Mengurangi gas freon.

Udara dan kesehatan tidak dapat dipisahkan. Udara bersih yang mengandung unsur-unsur yang dibutuhkan untuk kesehatan dan kelangsungan hidup manusia dan ciptaan lainnya, semestinya harus dilestarikan. Ini adalah tanggung jawab kita semua.

G. Upaya Pelestarian Udara

Udara merupakan sumber daya yang penting bagi kehidupan manusia membutuhkan udara untuk bernafas dan wilayah transportasi udara (jalur penerbangan udara). Lapisan udara yang mengelilingi bumi keris, campuran gas yang terdiri atas nitrogen, oksigen, argon, helium, krypton, ozon, neon, dan karbondioksida. Upaya pencegahan dilakukan terhadap pabrik dengan melakukan penyaringan terhadap pembuangan gas. Perlu penanaman

pohon-pohon pembatas jalan raya (pohon kota) sebagai paru-paru kota, dan filter udara kotor. Udara atau lapisan atmosfer di bumi merupakan benda gas yang sangat bermanfaat dalam melindungi bumi dari benda-benda yang ada di luar angkasa dan udara juga bermanfaat untuk bernapas, pengaturan iklim dan cuaca, sistem penerbangan, pelayaran, serta pembuahan pada tanaman. Upaya untuk melestarikan udara adalah :

1. Mengembangkan penghijauan.
2. Mencegah kebakaran hutan dan sistem ladang yang dapat menimbulkan kabut asap.
3. Mewajibkan cerobong asap yang tinggi dengan filter penyaringan di setiap pabrik.
4. Menghentikan pengoperasian kendaraan bermotor dengan komplement buangan gas/asap yang ambang batas.

H. Penghijauan Untuk Upaya Penyehatan Udara

Pencemaran udara dewasa ini semakin menampakkan kondisi yang sangat memprihatinkan. Sumber pencemaran udara dapat berasal dari berbagai kegiatan antara lain industri, transportasi, perkantoran, dan perumahan. Dampak dari pencemaran udara tersebut adalah menyebabkan penurunan kualitas udara, yang berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Pohon pelindung di sepanjang ruas jalan daerah perkotaan terpapar oleh Pb dalam jumlah yang cukup tinggi. Kadar Pb tergantung pada jenis tanaman yang berkaitan dengan morfologi daun. Partikulat berpengaruh terhadap tanaman terutama karena bentuk debunya, dimana debu tersebut jika bergabung dengan uap air atau air hujan akan membentuk kerak yang tebal pada permukaan daun yang tidak dapat dibilas oleh air hujan kecuali dengan menggosoknya. Lapisan kerak tersebut akan mengganggu berlangsungnya proses fotosintesis, akibatnya pertumbuhan tanaman akan terganggu.

Timbal masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan dan saluran pencernaan. Timbal yang diabsorpsi melalui saluran pencernaan didistribusikan ke dalam jaringan lain melalui darah. Dampak paparan timbal terhadap kesehatan adalah kerusakan ginjal, hipertensi, anemia

kerusakan saraf pusat dan perubahan tingkah laku, mempengaruhi fertilitas, keguguran janin serta menurunkan *Intelligence Quotient* (IQ) pada anak – anak yang memberikan efek pada 10 -20 tahun ke depan. Penyerapan Pb melalui daun terjadi karena partikel Pb di udara jatuh dan menyerap permukaan daun, permukaan daun yang lebih kasar, berbulu dan lebar akan lebih mudah menangkap partikel daripada permukaan daun yang halus, tidak berbulu dan sempit, penyerapan melalui akar tergantung Pb dalam tanah (Fachruli & Meikawati, 2013)

Jenis tanaman yang mempunyai kemampuan menyerap Pb lebih besar adalah tanaman yang memiliki daun yang permukaannya kasar, ukurannya lebih lebar dan berbulu. Hasil penelitian sebelumnya menyebutkan salah satu cara pemantauan pencemaran udara adalah dengan menggunakan tumbuhan sebagai bioindikator. Kemampuan masing – masing tumbuhan untuk menyesuaikan diri berbeda – beda, sehingga menyebabkan adanya tingkat kepekaan. Tingkat kepekaan tumbuhan ini berhubungan dengan kemampuan untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat, sehingga tumbuhan adalah bioindikator pencemaran yang baik. Tanaman mempunyai kemampuan menyerap dan mengakumulasi zat pencemar. Tanaman melalui daunnya dapat menangkap partikel timbal yang diemisikan kendaraan bermotor.

Demi kelestarian lingkungan, manusia mulai menyadari perlunya penghijauan dan perlindungan terhadap pencemaran. Manusia mempunyai ikatan dengan alam. Ini terjadi oleh karena manusia menyadari bahwa alamlah yang memberikan kehidupan dan penghidupan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dalam upaya penanggulangan pencemaran lingkungan, segala upaya dan tindakan selalu diusahakan untuk menciptakan lingkungan hidup yang indah dan asri yang mampu mencegah pencemaran. Adapun langkah-langkah yang ditempuh dalam penghijauan kota yaitu pertamanan merupakan salah satu bagian dari usaha penghijauan kota, dimana disamping tanaman menyerap CO₂ yang dikeluarkan nafas manusia dan

serta pembakaran mesin-mesin mobil dan sebagainya, juga berfungsi sebagai perwujudan lingkungan indah dan asri.

Hutan Kota sebagai faktor lingkungan hidup yang penting dan mampu memulihkan, mempertahankan dan meningkatkan mutu lingkungan, memberikan nilai tambah atau hasil, serta mampu memberikan udara yang bersih dan sejuk (Nurhayati, 2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Fachruli, N., & Meikawati, W. (2013). different levels of lead (Pb) Under Way In The Air Board Reforestation Plant Density And Density Of Motor Vehicles In The City Semarang. *J. Kesehat. Masy. Indones*, 8(1), 18–25.
- Isramadhanti, H. W. (2019). Gambaran Kualitas Udara di Kota Yogyakarta Berdasarkan Pemantauan Air Quality Monitoring System tahun 2019-2020. *Skripsi. Politeknik Kesehatan Kemenkes Yogyakarta*, 30–48.
- Muazzinah, N. A. (2017). Willingness To pay Kualitas Udara Bersih Di Kota Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, 2(3), 431–442. <http://jim.unsyiah.ac.id/EKP/article/view/15176>
- Nurhayati, N. (2016). Pelaksanaan penghijauan kota dalam menanggulangi pencemaran udara di wilayah Kecamatan Ngunut Kabupaten Tulungagung. *Jurnal PUBLICIANA*, 1–20. <http://www.jurnal-unita.org/index.php/publiciana/article/view/71>
- Puangpaka Masena dan Pranot Nuntiyakul (2014) No Judul Quality Service Management in Rumah Sakit di bawah Kementerian Kesehatan
- Rizali, R., Sa'roni, C., Sopian, Y., & Muzdalifah, M. (2017). Estimasi Keinginan Membayar (Willingness To Pay) Terhadap Udara Bersih Untuk Penentuan Pajak Emisi (Survei Terhadap Pelanggan Bengkel Uji Emisi Di Kota Banjarmasin). *At-Taradhi: Jurnal Studi Ekonomi*, 8(1), 65. <https://doi.org/10.18592/at-taradhi.v8i1.1519>
- Timoteus, T. (2021). Peningkatan Ilmu Iot Dalam Pengaturan Udara Bersih Di Kota Medan. *Jurnal Abdi Ilmu*, 14(1), 66–72. <https://journal.pancabudi.ac.id/index.php/abdiilmu/article/view/3936>

B. UDARA KOTOR

A. CIRI-CIRI UDARA KOTOR

1. Kadar Karbon Dioksida Tinggi

Saat menghirup udara yang baik, kita akan merasa segar karena kandungan oksigennya yang tinggi. Tetapi saat menghirup udara yang tercemar, kita akan merasa sesak napas karena kadar karbon dioksidanya sangat tinggi.

2. Berwarna

Udara yang baik tidak dapat dilihat karena tidak berwarna. Tetapi jika sudah tercemar, udara tersebut akan berwarna hitam keabu-abuan karena mengandung zat-zat polutan berbahaya yang bercampur dengan oksigen.

3. Berbau

Udara yang segar tidak akan memiliki bau dan tidak akan menyesak napas saat dihirup. Tetapi lain halnya dengan udara yang tercemar. Saat dihirup, udara tercemar akan menyesak napas dan berbau tidak sedap karena mengandung zat-zat polutan berbahaya.

4. Pengap

Saat merasa pengap, berarti kita sedang berada di lingkungan yang udaranya tercemar. Udara yang pengap ditandai dengan meningkatnya suhu karena adanya gas hasil pembakaran yang bercampur dengan gas pembuangan.

5. Menyebabkan Iritasi Mata

Biasanya saat berada di lingkungan yang udaranya tercemar, mata akan menjadi merah. Hal ini terjadi karena udara mengandung zat-zat polutan yang berbahaya bagi kesehatan.

Itulah ciri-ciri udara tercemar yang dapat mengganggu kesehatan. Selain dapat menyebabkan iritasi pada mata, udara tersebut juga dapat membuat napas menjadi sesak. Untuk mengatasinya, kita dapat melakukan aktivitas dan menggunakan peralatan yang lebih ramah lingkungan.

B. PENYEBAB DAN DAMPAK UDARA KOTOR

Manusia menjadi penyebab utama dan terbesar terjadinya pencemaran udara. Pun manusia pula yang merasakan dampak terburuk dari terjadinya pencemaran udara. Pencemaran udara merupakan salah satu kerusakan lingkungan, berupa penurunan kualitas udara karena masuknya unsur-unsur berbahaya ke dalam udara atau atmosfer bumi. Unsur-unsur berbahaya yang masuk ke dalam atmosfer tersebut bisa berupa Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO₂), Chlorofluorocarbon (CFC), Sulfur Dioksida (SO₂), Hidrokarbon (HC), Benda Partikulat, Timah (Pb), dan Carbon Dioksida (CO₂). Unsur-unsur tersebut bisa disebut juga sebagai polutan atau jenis-jenis bahan pencemar udara.

Masuknya polutan ke dalam atmosfer yang menjadikan terjadinya pencemaran udara bisa disebabkan dua faktor, yaitu faktor alam dan faktor manusia. Penyebab pencemaran udara dari faktor alam contohnya adalah aktifitas gunung berapi yang mengeluarkan abu dan gas vulkanik, kebakaran hutan, dan kegiatan mikroorganisme. Polutan yang dihasilkan biasanya berupa asap, debu, dan gas.

Di awal artikel sudah dituliskan bahwa manusia menjadi penyebab utama dan terbesar terjadinya pencemaran udara. Belum lagi jika kebakaran hutan, sebagai salah satu penyebab polusi udara terbesar, dimasukkan sebagai pencemaran udara yang disebabkan oleh manusia. Karena tidak dapat dipungkiri bahwa sebagian besar kebakaran hutan dan lahan sengaja dilakukan oleh manusia.

Faktor alami penyebab pencemaran udara terbesar lainnya adalah meletusnya gunung berapi. Letusan gunung berapi sangat luar biasa. Meskipun demikian, menurut penelitian, seluruh gunung api di dunia mengeluarkan hanya 0,13 hingga 0,44 miliar ton CO₂ per tahunnya. Jumlah ini ternyata tidak sebanding dengan emisi karbon dioksida yang dihasilkan oleh manusia melalui pabrik-pabrik dan kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor saja menyumbangkan emisi karbon hingga 2 miliar pertahunnya. Pada tahun 2010

saja, berbagai aktivitas manusia telah menambahkan sedikitnya 35 miliar ton emisi karbon dioksida ke atmosfer.

Ada banyak sekali penyebab pencemaran udara bahkan tak terhitung jumlahnya. Dan hampir semua di sebabkan oleh tangan manusia sendiri. Di bawah ini merupakan penyebab-penyebab pencemaran udara.

1. Pencemaran Udara Kotor (Outdoor)

Secara garis besar pencemaran udara disebabkan dua jenis yaitu polutan partikulat yang muncul dari kegiatan industri, transportasi, hingga kebakaran hutan. Dan jenis yang kedua disebabkan oleh gas, seperti CO dari pembakaran tidak sempurna, SO₂ dari bahan bakar yang mengandung sulfur, NO_x dari bahan bakar yang dibakar dengan oksigen udara, O₃.

a. Asap Pabrik

Sumber pencemaran udara yang pertama adalah asap pabrik, apalagi asap hasil dari pengolahan berbagai zat tersebut dikeluarkan dalam jumlah dan kuantitas yang banyak melalui cerobong asap yang sangat besar dan langsung ke udara.

Kondisi ini yang kemudian membuat asap pabrik menjadi penyumbang terbesar gas karbon di udara. Selain mengganggu lingkungan sekitar, asap ini ikut meningkatkan risiko pemanasan global.

b. Penambangan

Aktivitas penambangan juga dapat menyebabkan pencemaran udara. Terutama penambangan yang menggunakan alat berat. Sehingga ketika proses penambangan terjadi menyebabkan debu dan bahan-bahan kimia akan dilepaskan ke udara.

Hal ini yang menyebabkan pencemaran udara. Jika proses penambangan dilakukan secara besar-besaran, maka pencemaran udaranya juga bisa terjadi demikian besarnya.

c. Kendaraan Bermotor

Asap kendaraan bermotor menjadi penyumbang terbesar bagi penyebab pencemaran udara. Apalagi jumlah pengguna kendaraan setiap tahun terus meningkat.

Sehingga saat jalanan dipadati kendaraan kita bisa melihat kondisi udara yang berkabut akibat asap kendaraan.

d. Pembakaran Lahan

Penyebab pencemaran selanjutnya yaitu pembakaran lahan yang dilakukan besar-besaran. Asap yang dihasilkan dapat memicu pencemaran udara dan membahayakan kesehatan tubuh.

Sejumlah daerah di Indonesia sering diserang asap kabut yang cukup tebal yang disebabkan oleh pembakaran lahan.

e. Penggunaan Listrik

Penggunaan listrik berlebihan juga dapat menjadi penyebab pencemaran udara karena produksi listrik di Indonesia masih mengandalkan batu bara yang menghasilkan limbah pada saat pembakaran pembangkit.

Pembakaran yang tidak sempurna dan menyebabkan gas-gas berbahaya seperti gas sulfur dioksida, nitrogen oksida, karbon dioksida, dan partikulat. Gas-gas tersebut yang dapat menyebabkan pemanasan global dan membahayakan lingkungan.

f. Limbah Rumah Tangga

Masih banyak yang belum menyadari bahwa limbah yang kita hasilkan setiap hari bisa menyebabkan pencemaran udara. Sebab, berbagai sampah dan limbah, seperti limbah plastik, kertas sering dibakar pada saat pemusnahannya dan pada tahap inilah pencemaran udara terjadi. Membakar limbah memang terbilang efektif mengurangi sampah, tetapi di sisi lain bisa memicu pencemaran udara juga.

C. Pencemaran Udara Kotor (Indoor)

Ketika cuaca atau suhu sedang panas, beberapa orang memilih membuka tirai dan jendela guna membiarkan udara segar masuk ke rumah.

Namun, cuaca panas bukan satu-satunya alasan untuk membiarkan udara segar masuk ke rumah. Pasalnya, udara di dalam ruangan jauh lebih kotor daripada udara di luar rumah atau ruangan.

Udara kotor ini berasal dari kontaminan sehari-hari seperti asap memasak, kelembapan, dan produk pembersih dapat berdampak negatif pada udara yang hirup serta menyebabkan alergi atau penyakit. Membiarkan angin sepoi-sepoi dari luar ruangan ke dalam rumah dapat membantu membersihkan udara serta membiarkan polutan jahat keluar daripada membiarkannya mensirkulasikannya kembali di dalam ruangan.

a. Produk pembersih dapat mengotori udara

Banyak produk pembersih rumah yang mengandung bahan kimia yang dapat melepaskan asap beracun ke udara dalam bentuk VOC (senyawa organik yang mudah menguap). Paparan bahan kimia berbahaya ini dapat menyebabkan sakit kepala, mual, atau penyakit lainnya. Produk pembersih ini juga dapat mengotori udara di dalam rumah. Untuk itu, sebaiknya beralih ke pembersih alami atau DIY.

b. Penyegar udara

Setiap pemilik rumah tentu menginginkan hunian yang bebas bau. Salah satu cara membuat rumah harum dan segar adalah menggunakan penyegar udara. Namun, banyak penyegar udara dan lilin beraroma mengandung karsinogen berbahaya. Untuk itu, pertimbangkan beralih ke bunga rampai buatan sendiri atau lilin alami tanpa pewangi. Jika belum bisa terlepas dari wewangian buatan, setidaknya buka jendela setiap kali menyalakan lilin aromaterapi untuk memungkinkan asap keluar dan udara segar masuk ke rumah.

c. Kelembaban tinggi menyebabkan kontaminan menyebar

Lingkungan yang lembap dapat menyebabkan polusi udara dalam ruangan. Kondisi lembap memungkinkan tungau debu, jamur, dan lumut berkembang biak. Selaian itu, kelembapan berlebihan juga menyebabkan papan lantai kayu melepaskan formaldehida ke udara. Gas yang tidak berwarna ini dapat menyebabkan iritasi pada mata,

hidung, dan tenggorokan. Untuk mengatasinya, nyalakan dehumidifier guna menghilangkan kelembapan dari udara.

- d. Air purifier hanya membersihkan sebagian udara
Sebagian besar polutan dalam ruangan terbagi dalam dua kategori. Pertama, partikel berbahaya seperti asap, serbuk sari, debu, dan asap tembakau. Kedua, materi gas seperti asap cat dan uap dari produk pembersih. Setiap jenis pengotor merespons filter yang berbeda. Filter HEPA cenderung bekerja paling baik dalam menghilangkan partikulat, sedangkan filter karbon diperlukan untuk menjebak polutan gas. Gunakan keduanya untuk perlindungan ganda.
- e. Rumah yang tertutup
Rumah yang tertutup rapat sangat bagus untuk menghemat panas atau udara dingin dan mengurangi tagihan listrik sepanjang tahun, tetapi juga bisa membuat hunian menjadi pengap. Rumah yang tertutup sering mengalami kekurangan aliran udara, yang memungkinkan kontaminan (seperti VOC) terus bersirkulasi melalui udara dalam ruangan, menyebabkan alergi, dan ketidaknyamanan.
- f. Memasak
Memasak tanpa menggunakan kipas angin bisa memasukkan asap berbahaya ke dapur. Karena itu, nyalakan kipas dan buka jendela untuk menghilangkan asap dan lemak di udara serta mendapatkan udara dalam ruangan yang lebih segar selama memasak.

D. KUALITAS UDARA DI INDONESIA

Jakarta, CNN Indonesia, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengungkapkan kualitas udara di Indonesia sepanjang 2022 lalu.

Direktur Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Sigit Reliantoro menyebut kualitas udara sepanjang 2022 itu terpantau mengalami penurunan di 57 kabupaten/kota dan tersebar di 162 titik. Namun, Sigit tak membeberkan secara detail daftar ratusan titik itu.

"162 titik pemantauan mengalami penurunan. 57 kabupaten/kota yang mengalami penurunan kualitas udara," kata Sigit di acara daring, Rabu (4/1).

Meski begitu, kata Sigit, secara umum kualitas udara di Indonesia mengalami kenaikan 0,97 poin. KLHK mencatat kualitas udara membaik di 341 titik di 215 kabupaten/kota.

"Indeks kualitas udara mengalami kenaikan 0,97 poin karena 341 titik pemantauan mengalami perbaikan atau ada 215 kabupaten/kota yang mengalami perbaikan," ujarnya.

Indeks Kualitas Udara merupakan ukuran yang digunakan untuk menilai pencemaran udara di suatu daerah. Kualitas udara adalah salah satu parameter dari Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH).

Dalam paparannya, Sigit menyatakan nilai IKLH Indonesia kurun waktu 2018-2022 terus meningkat. Ia memaparkan berturut-turut nilai IKLH Indonesia kurun waktu 2018-2022 adalah 65,14; 66,55; 70,27; 71,45; dan 72,42 poin.

Sigit menyebut perhitungan nilai IKLH tersebut diperoleh dari 7.331 lokasi pemantauan kualitas air, 3.076 lokasi pemantauan kualitas udara, dan 970 lokasi pemantauan kualitas air laut di seluruh Indonesia.

Sementara itu, 514 data pemantauan kualitas tutupan lahan diperoleh dari seluruh kabupaten/kota di Indonesia.

"Jika dilihat per media lingkungan, kenaikan nilai IKLH Indonesia pada tahun ini disebabkan kenaikan nilai Indeks Kualitas Air, Indeks Kualitas Udara, dan Indeks Kualitas Air Laut, meskipun Indeks Kualitas Lahan sama dengan tahun lalu, tidak terlalu berpengaruh terhadap agregat nilai IKLH," kata Sigit.

E. PENCEMARAN UDARA DI JAWA TIMUR

Jakarta, CNN Indonesia, Organisasi yang berfokus di bidang lingkungan, Ecoton, mengungkap wilayah di Jawa Timur terkontaminasi mikroplastik atau partikel plastik yang berukuran 100 nm sampai 5 mm. Wilayah yang tercemar udaranya ini termasuk ibu kota Surabaya.

Kondisi tersebut terungkap usai Ecoton melakukan penelitian pada Juli hingga September 2021. Sebanyak lima Kabupaten/Kota di Jawa Timur dikatakan mengandung mikroplastik.

"Udara lima Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Timur mengandung mikroplastik yakni Surabaya, Gresik, Mojokerto, Sidoarjo dan Jombang," ujar Ecoton dalam keterangannya, Senin (18/4).

Lebih lanjut dirinci soal kandungan mikroplastik di wilayah itu. Rata-rata kandungan di Surabaya sebanyak 13.86 partikel per 2 jam, Gresik 26.21 partikel per 2 jam, Mojokerto 11.45 partikel per 2 jam, Sidoarjo 218 partikel per 2 jam dan Jombang 16 partikel per 2 jam.

Sumber pencemaran mikroplastik yang diidentifikasi berasal dari pengolahan sampah plastik yang salah, seperti dibakar di incenerator, tungku terbuka hingga di lahan terbuka.

Selain itu asap dari industri, terutama industri daur ulang plastik turut andil memperparah banyaknya mikroplastik di udara. Tidak hanya itu saja, baju yang berbahan serat sintetis juga menjadi penyumbang mikroplastik bahkan di tempat umum sekalipun.

Adapun rata-rata mikroplastik yang terkandung di tempat publik sebanyak 14.04 partikel per 2jam, Incenerator 10.5 partikel per 2 jam, industri 225.33 partikel per 2 jam, tungku terbuka 12.5 partikel per 2 jam dan pembakaran terbuka 30 partikel per 2 jam.

"Jenis mikroplastik yang didapatkan ada tiga jenis yakni 76 persen fiber, 17 persen filamen, dan 7 persen fragmen. Fiber merupakan jenis paling dominan yang biasanya berasal dari serat baju, pembakaran sampah medis seperti masker, atau bisa juga dari pembakaran sampah kain, popok dan pembalut," ujarnya.

Ecoton menilai mikroplastik yang tersebar di udara dapat terhirup dan masuk ke sistem pernafasan. Zat-zat yang terkandung di dalam mikroplastik dapat memicu sejumlah penyakit, di antaranya:

1. Kandungan BPA dan Phthalate berpotensi memicu kanker payudara, pubertas dini, diabetes, obesitas dan gangguan autism

2. Senyawa Pengganggu Hormon memicu gangguan kehamilan, gangguan tiroid, berat lahir kurang, asma dan kanker prostat
3. Senyawa Penghambat Nyala memicu penurunan IQ, gangguan hormon dan penurunan kesuburan
4. Senyawa Perflourinasi memicu kanker ginjal dan testis, menaikkan kolesterol, penurunan respon imun pada anak

Untuk mengurangi kontaminasi mikroplastik di udara, pihaknya mendesak pemerintah menerapkan kebijakan pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, mengawasi industri pencemar mikroplastik, tidak memperbanyak false solution technology seperti tungku terbuka di TPS melainkan lebih banyak untuk bisa membangun TPS3R, dan tidak menggunakan incinerator.

Sedangkan kepada pihak industri diimbau mengurangi produksi berbahan plastik dan menggunakan filter membrane pada corong asap, untuk mengurangi kontaminasi partikel mikroplastik di udara.

Kemudian kepada masyarakat disarankan mengurangi penggunaan plastik sekali pakai, bijak memilih bahan yang ramah lingkungan, dan tidak membakar sampah plastik.

F. UPAYA PENYEHATAN UDARA

Cara mengatasi pencemaran udara bisa dilakukan jika manusia bisa bekerja sama dalam melakukan aksi penanganan polusi atau pencemaran. Beberapa hal yang bisa kita lakukan sebagai cara mengatasi pencemaran udara di antaranya:

1. Mengurangi Emisi

Asap yang keluar dari kendaraan itu menjadi sumber utama dari pencemaran udara. Maka dari itu, kita perlu untuk mengurangi kebiasaan dalam memakai kendaraan dan bisa beralih dengan menggunakan transportasi umum. Selain itu, hindari juga terlalu sering menyalakan mesin kendaraan saat sedang menunggu untuk waktu yang lama.

2. Memilih Produk yang Ramah Lingkungan dan Hemat Daya

Mulailah untuk menggunakan perlengkapan yang hemat energi serta perangkat elektronik yang hemat daya, bisa menjadi salah satu cara kita

untuk menghemat biaya serta melindungi lingkungan dari pencemaran udara. Jangan lupa untuk selalu mematikan daya listrik saat kita tidak sedang menggunakan perangkat tersebut.

3. Tidak Melakukan Bakar Sampah

Banyak sekali orang yang berpikir jika dengan membakar sampah, mampu mengurangi sampah yang ada. Padahal, dengan begitu justru berbahaya bagi kesehatan dan juga lingkungan. Saat kita membakar sampah, maka sampah bisa menghasilkan karbon monoksida (CO). Apabila kita menghirup udara tersebut, justru sangat berbahaya bagi kesehatan. Selain itu, asap dari sampah yang dibakar juga mampu menghasilkan gas yang beracun.

4. Menghindari Penggunaan Bahan Kimia yang Berlebihan

Cara mencegah pencemaran udara selanjutnya adalah dengan mengurangi penggunaan bahan kimia secara berlebih, terutama pada cairan pembersih rumah. Kamu bisa beralih dengan menggunakan produk cairan pembersih rumah yang ramah lingkungan sesuai dengan kebutuhan kamu.

5. Mengurangi Pemakaian Kantong Plastik

Penggunaan kantong plastik juga ternyata berbahaya bagi lingkungan. Hal itu karena sampah plastik membutuhkan waktu yang sangat lama untuk bisa diurai. Maka dari itu, pastikan kamu mengurangi penggunaan kantong plastik setiap kali kamu belanja untuk mencegah pencemaran udara.

6. *Reuse dan Recycle*

Selain mengurangi penggunaan pada bahan kimia secara berlebihan, kita juga perlu melakukan konsep *reuse* dan *recycle*. Kamu bisa mulai untuk memisahkan sampah yang bisa didaur ulang dan yang tidak bisa didaur ulang. Hal ini, mampu menurunkan emisi pencemaran udara, tanah, dan juga air.

7. Bercocok Tanam

Salah satu masalah yang seringkali dihadapi oleh kota besar adalah kurangnya lahan serta tanaman hijau yang bisa memproduksi oksigen. Maka dari itu, kita bisa mengatasi pencemaran udara dengan mulai bercocok

tanam di rumah. Karena, keberadaan tanaman hijau akan sangat membantu dalam menyaring udara kotor dan mampu memberikan udara bersih yang lebih segar.

8. Beralih dari kendaraan pribadi ke transportasi umum

Asap dari kendaraan pribadi merupakan salah satu penyumbang utama kemacetan dan polusi udara di kota. Dengan beralih dari kendaraan pribadi ke transportasi umum, pencemaran udara akibat asap kendaraan pun bisa dikurangi.

Sementara itu, jika perjalanan Anda memang membutuhkan kendaraan pribadi, pastikan mesin kendaraan dalam keadaan baik sebelum digunakan. Untuk mengetahui kinerja mesin kendaraan, Anda bisa melakukan uji emisi di bengkel-bengkel terdekat.

9. Bersepeda dan berjalan kaki

Bersepeda atau berjalan kaki merupakan cara mudah yang bisa dilakukan saat ingin bepergian dalam jarak dekat. Selain tidak menghasilkan polusi, bersepeda dan berjalan kaki juga baik untuk kesehatan tubuh.

Meski demikian, Anda disarankan untuk menghindari jalan raya atau jalan yang ramai dan padat saat berjalan kaki atau bersepeda guna menghindari paparan polusi asap kendaraan.

10. Tidak membakar sampah

Sebagian orang mungkin berpikir bahwa membakar sampah dapat mengurangi masalah timbunan sampah. Padahal, kebiasaan buruk ini merupakan salah satu penyebab pencemaran udara.

Asap hasil pembakaran sampah berbahaya bagi kesehatan tubuh karena mengandung zat-zat beracun.

Paparan asap pembakaran sampah atau kabut asap dalam jangka panjang diketahui dapat meningkatkan risiko berbagai masalah kesehatan, seperti infeksi saluran pernapasan, gangguan jantung dan paru-paru, PPOK, serta kanker.

11. Menghentikan kebiasaan merokok

Asap rokok merupakan salah satu sumber polusi udara yang tidak boleh dianggap sepele. Hampir sama dengan asap pembakaran sampah, asap rokok juga mengandung beragam jenis bahan kimia berbahaya yang dapat menimbulkan polusi udara.

Menghentikan kebiasaan merokok tidak hanya bermanfaat untuk mengurangi polusi saja, tetapi juga baik untuk melindungi diri Anda dan orang-orang di sekitar Anda dari berbagai jenis penyakit yang disebabkan oleh asap rokok, seperti penyakit jantung, asma, bronkitis, dan kanker.

12. Membatasi pemakaian listrik

Tenaga listrik di Indonesia kebanyakan masih diperoleh dari mesin pembangkit listrik yang menggunakan minyak atau batu bara, sehingga menciptakan banyak asap dan polusi.

Oleh karena itu, untuk mengurangi polusi udara di kota, Anda bisa membatasi pemakaian listrik guna mengurangi emisi pembangkit listrik penyebab pencemaran udara tersebut.

Anda bisa mulai membatasi penggunaan listrik dari hal-hal kecil, seperti tidak menggunakan lampu pada siang hari dan mematikan alat elektronik bila tidak digunakan.

13. Memelihara lebih banyak tanaman

Jika memungkinkan, Anda juga bisa mengurangi polusi dengan cara memperbanyak tanaman di dalam rumah atau berkebun di sekitar rumah maupun melakukan *urban farming*. Tanaman akan melepaskan oksigen dan menarik karbon dioksida dari udara, sehingga udara di dalam rumah dan lingkungan sekitarnya menjadi lebih segar.

Anda dapat mencoba menanam beberapa jenis tanaman hias yang diketahui mampu mengurangi polusi udara, seperti lidah mertua, karet kebo, palem bambu, dan *spider plant*.

14. Batasi penggunaan pengharum ruangan berbahan kimia.

15. Bersihkan lantai secara rutin menggunakan sapu, kain pel, atau *vacuum cleaner*.
16. Bersihkan seluruh perabot dan furnitur di dalam rumah secara rutin menggunakan lap basah.
17. Hindari penggunaan produk pembersih rumah tangga berbahan kimia keras.
18. Gunakan penyaring udara, seperti *air purifier* atau *humidifier*.

G. PERAN RUANG TERBUKA DALAM UPAYA PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA

1. Definisi

Menurut Perda Kabupaten Magetan No.2 Tahun 2017 Ruang Terbuka adalah suatu tata ruang di suatu wilayah perkotaan yang luas dimana berbentuk area/kawasan maupun dalam area memanjang/jalur penggunaannya lebih bersifat terbuka pada dasarnya tanpa bangunan. Maka, Ruang Terbuka Hijau adalah area memanjang/jalur/mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun sengaja ditanam.

2. Tujuan Penyelenggaraan Ruang Terbuka Hijau

Di dalam open space RTH notabennya diisi oleh tumbuhan, tanaman, dan vegetasi baik endemik maupun introduksi guna mendukung manfaat langsung atau tidak langsung yang dihasilkan oleh RTH dalam perkotaan yaitu keamanan, kenyamanan, kesejahteraan, dan keindahan wilayah perkotaan. Tidak optimalnya RTH akan memberikan dampak negative karena tidak memenuhi persyaratan jumlah dan kualitas (RTH tidak tersedia, RTH tidak fungsional, fregmentasi lahan yang menurunkan kapasitas lahan dan selanjutnya menurunkan kapasitas lingkungan, alih guna dan fungsi lahan) terjadi terutama dalam bentuk/kejadian:

- a. Menurunkan kenyamanan kota : penurunan kapasitas dan daya dukung wilayah (pencemaran meningkat, ketersediaan air tanah menurun, suhu kota meningkat, dll).
- b. Menurunkan keamanan kota.

- c. Menurunkan keindahan alami kota (natural amenities) dan artifak alami sejarah yang bernilai kultural tinggi.
- d. Menurunkan tingkat kesejahteraan masyarakat (menurunkannya kesehatan masyarakat secara fisik dan psikis), misalnya:
 - 1) Tidak terserapnya dan terjerapnya partikel timbal
 - 2) Tidak terserap dan terherapnya debu semen
 - 3) Tidak ternetralisirnya bahaya hujan asam
 - 4) Tidak terserap dan terjerapnya karbon-monoksida (CO)
 - 5) Tidak terserap dan terjerapnya karbon-dioksida (CO₂)
 - 6) Tidak teredamnya kebisingan
 - 7) Tidak tertahannya hembusan angin
 - 8) Tidak terserap dan tertapisnya bau

3. Fungsi dan Manfaat Ruang Terbuka Hijau

Menurut Perda Kabupaten Magetan No.2 Tahun 2017 menjelaskan bahwa pengelolaan RTH diarahkan untuk meningkatkan fungsi sebagai berikut:

- a. Fungsi ekologis
 - 1) Pengamanan keberadaan kawasan lindung perkotaan
 - 2) Tempat perlindungan plasma nutfah dan keanekaragaman hayati
 - 3) Pengendali pencemaran dan kerusakan tanah, air dan udara
 - 4) Pengendali tata air
- b. Fungsi sosial
 - 1) Sarana bagi warga masyarakat untuk berinteraksi
 - 2) Tempat rekreasi
 - 3) Sarana pengembangan budaya daerah
 - 4) Sarana peningkatan kreatifitas dan produktivitas warga kota
 - 5) Sarana pendidikan, penelitian dan pelatihan
- c. Fungsi ekonomi

Sebagai sarana ekonomi dalam rangka komoditas produktif
- d. Fungsi estetika

- 1) Sarana dalam rangka meningkatkan kenyamanan dan keindahan lingkungan
- 2) Sarana dalam rangka meningkatkan harmonisasi dan keseimbangan antara ruang terbangun dan ruang tidak terbangun.

Peningkatan fungsi RTH dapat memberikan manfaat bagi masyarakat di daerah yang mencakup:

a. Manfaat langsung

Bersifat nyata (*tangible*) dan cepat, dalam bentuk keindahan (estetika) dan kenyamanan, sarana penelitian, pendidikan dan penyuluhan, sarana rekreasi aktif dan pasif, sarana aktivitas sosial bagi warga kota, serta sarana ruang evakuasi untuk keadaan darurat.

b. Manfaat tidak langsung

Dimana berjangka panjang dan bersifat tidak nyata (*intangible*), yaitu persediaan cadangan air tanah, pengendali polusi udara, tanah dan air, serta penyeimbang ekosistem kota.

H. PENYAKIT YANG DISEBABKAN OLEH PENCEMARAN UDARA

Saluran pernapasan adalah organ utama yang dapat dipengaruhi polusi udara. Polusi udara menjadi penyebab kematian lebih dari 800.000 orang (penyakit paru obstruktif kronis/COPD) dan 280.000 orang kena kanker paru-paru.

Sebagian besar pasien dengan penyakit pernapasan kronis yang parah mengalami sesak napas. Ini dipengaruhi polusi udara. Polutan udara ikut memengaruhi seluruh bagian sistem pernapasan.

Polutan yang menyasar anak dikaitkan dengan mengi dan asma. Laju pertumbuhan fungsi paru-paru juga bisa berkurang akibat paparan polutan 89,90. Pada orang dewasa, paparan jangka panjang terhadap polusi udara berisiko menurunkan fungsi paru-paru, yang dipercepat dengan penuaan. Anak-anak juga berisiko asma.

Selain asma, polusi udara dikaitkan dengan risiko kanker paru-paru dan radang tenggorokan kronis. Polusi udara rumah tangga mungkin lebih

berbahaya daripada polusi udara luar karena konsentrasi dan lamanya paparan. Kondisi ini merupakan faktor risiko utama COPD dan bronkitis kronis di negara-negara berpenghasilan rendah

1. Penyakit Kardiovaskular

Polusi udara terkait dengan peningkatan risiko kematian akibat penyakit kardiovaskular, infark miokard, stroke, dan gagal jantung kongestif. Diperkirakan 19 persen dari kematian karena kardiovaskular, 23 persen kematian akibat penyakit jantung, dan 21 persen kematian karena stroke. Studi menemukan hubungan polusi udara dengan peningkatan mortalitas infark miokard, stroke, gagal jantung, dan hipertensi. Peningkatan dalam kadar karboksihemoglobin (dalam kisaran 3 persen-6 persen) dapat terjadi ketika individu terpapar polusi dan memicu aritmia yang disertai penyakit jantung koroner.

2. Penyakit Kulit

Kualitas kulit juga dipengaruhi polusi udara, seperti perubahan tingkat dan komposisi kulit. Beberapa penyakit kulit telah dikaitkan dengan polusi udara. Sebuah penelitian menemukan, polusi udara berhubungan dengan penyakit kulit atopik dan urtikaria (eksim atopik) dan seboroik (frekuensi ketombe yang lebih rendah). Urtikaria (biduran) juga terkait dengan polusi udara.

Biduran dapat terjadi saat seseorang kena paparan lebih buruk selama 2 hingga 3 hari. Sejumlah penelitian menemukan, hubungan positif antara polusi udara dan prevalensi serta peningkatan eksem, terutama pada anak-anak. Paparan polusi udara luar dan dalam ruangan juga terkait dengan peningkatan penuaan kulit.

3. Kanker

Polusi udara telah diklasifikasikan sebagai karsinogenik bagi manusia oleh International Agency for Research on Cancer berdasarkan bukti dari studi epidemiologi. Berbagai penelitian menunjukkan, hubungan antara paparan PM2.5 dan risiko kanker paru.

Asap knalpot mesin diesel telah diidentifikasi WHO sebagai karsinogen berdasarkan bukti adanya hubungan dengan kanker paru. Paparan diesel knalpot atau polusi lalu lintas juga memicu terjadinya tumor paru jinak dan ganas.

Paparan polusi udara rupanya ikut terlibat dalam kematian kanker kandung kemih. Studi di Spanyol melaporkan, hubungan antara emisi hidrokarbon aromatik polycyclic dan diesel exhaust serta kanker kandung kemih pada penduduk secara jangka panjang di daerah yang tercemar industri.

4. Penyakit Mata

Iritasi mata dapat terjadi sebagai reaksi terhadap kabut. Kondisi ini seringkali lebih buruk bagi pemakai lensa kontak. Katarak pada wanita yang terpapar polusi udara rumah tangga di negara-negara berpenghasilan rendah termasuk tinggi. Ini dipicu penurunan kelembaban terkait penyakit mata kering.

5. Penyakit Tulang

Faktor lingkungan berperan dalam kepadatan tulang dan mineralisasi. Patah tulang terkait osteoporosis lebih umum di daerah konsentrasi polusi udara PM2.5 yang lebih tinggi. Efeknya lebih besar bagi masyarakat berpenghasilan rendah. Paparan polusi udara jangka panjang dikaitkan dengan mengurangi kepadatan mineral tulang dan patah tulang pada pria lanjut usia.

6. Penyakit Autoimun

Paparan lingkungan dapat meningkatkan risiko penyakit autoimun. Paru-paru memiliki area permukaan yang mampu bersentuhan dengan segudang antigen. Ini memiliki kepekaan dan sistem antigen yang dapat membuat individu rentan terhadap gangguan autoimun.

Polusi udara merupakan faktor potensial yang memicu penyakit autoimun, seperti rheumatoid arthritis (radang sendi) dan systemic lupus erythematosus (lupus). Penelitian di Kanada menemukan, peningkatan peluang penyakit rematik dengan peningkatan paparan polusi udara PM2.5.

Polutan udara juga dapat memicu atau memperburuk artritis idiopatik (penyakit reumatik) pada remaja.

7. Penyakit Hati

Studi Taiwan terhadap 23.820 orang menemukan paparan polusi udara PM2.5 berhubungan dengan peningkatan risiko hepatoseluler (tumor ganas hati). Peneliti juga mencatat peningkatan kadar aminotransferase (enzim di hati) menunjukkan, tumor dapat terjadi akibat peradangan kronis.

8. Penyakit Ginjal

Ginjal termasuk organ yang rentan terhadap gangguan pembuluh darah besar dan kecil. Tak ayal, efek inflamasi sistemik dari paparan polusi udara bisa menyasar ginjal.

Penelitian menunjukkan, menghirup uap asap diesel kian memperburuk gagal ginjal kronis. Hal ini meningkatkan peradangan dan kerusakan DNA. Ada juga hubungan penurunan fungsi ginjal dengan pencemaran polusi PM.84.

9. Penyakit Neurologis

Polusi udara punya efek merusak fungsi kognitif dan peningkatan risiko demensia dan stroke pada orang dewasa yang lebih tua. Bertempat tinggal di dekat jalan raya dapat mudah terpapar polusi udara.

Polusi udara dapat merusak otak yang sedang berkembang. Kerusakan ini dapat merusak fungsi kognitif di seluruh rentang kehidupan. Penelitian menemukan, paparan anak usia dini untuk PM2.5 terkait dengan keterlambatan perkembangan psikologis dan kecerdasan anak yang lebih rendah.

Studi di Mexico City menemukan, anak-anak yang tinggal di daerah yang lebih berpolusi punya kognitif yang lebih buruk.

10. Diabetes, Obesitas, dan Penyakit Endokrin

Beberapa penelitian mengaitkan polusi udara dan diabetes mellitus tipe 2. Ada juga risiko sindrom metabolik pada orang yang terpapar polusi PM10. Beberapa perubahan metabolisme memengaruhi penumpukan lemak terjadi karena paparan polusi udara. Anak-anak juga mudah mengalami resistensi

insulin--kondisi ketika sel-sel tubuh tidak dapat menggunakan gula darah dengan baik karena terganggunya respon sel tubuh terhadap insulin.

11. Penyakit Gastrointestinal

Meskipun kurang diselidiki, polusi udara dikaitkan dengan beberapa kondisi gastrointestinal (radang saluran cerna), termasuk inflamasi bowel disease (radang usus), tukak lambung, dan radang usus buntu.

I. CARA PENANGANAN PENYAKIT YANG DISEBABKAN OLEH PENCEMARAN UDARA

Melihat besarnya masalah kesehatan yang dapat timbul akibat polusi udara khususnya di kota Jakarta, Perhimpunan Dokter Paru Indonesia (PDPI) memberikan beberapa saran upaya pencegahan dan penanganan yang dapat dilakukan baik masyarakat maupun pemerintah. Meminimalkan terkena penyakit akibat polusi udara seperti :

1. Mengurangi aktivitas di luar ruangan pada saat kualitas udara tidak sehat (Air Quality Index > 150)
2. Hindari aktivitas fisik berat termasuk olah raga apabila berada di luar ruangan pada saat kualitas udara tidak sehat (Air Quality Index > 150).
3. Apabila beraktivitas di luar ruangan, hindari kawasan atau area dengan kualitas udara yang tidak sehat dan berbahaya (Air Quality Index > 150).
4. Memantau kualitas udara secara realtime untuk bisa mengambil keputusan beraktivitas di luar rumah.
5. Menggunakan masker atau respirator untuk mengurangi masuknya partikel ke dalam saluran napas dan paru (terutama bila beraktivitas di luar ruangan). Disarankan masker atau respirator dengan kemampuan filtrasi partikel yang maksimal (kemampuan filtrasi > 95%). Perhatikan cara penggunaan masker atau respirator yang benar dan tepat. Penggunaan masker atau respirator yang tidak benar mengurangi efektivitas proteksi memfiltrasi/menyaring partikel.
6. Apabila berkendara mobil, tutup semua jendela mobil dan nyalakan AC dengan mode recirculate.

7. Apabila berada di dalam ruangan, jaga kualitas udara dalam ruangan tetap baik dengan tidak menambah polusi di dalam ruangan misalnya tidak merokok, tidak menyalakan lilin atau berapian ataupun sumber api lainnya dalam ruangan. Penggunaan tanaman dalam ruangan yang mempunyai kemampuan air purifier atau peralatan air purifier disarankan untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan tetap baik.
8. Pola hidup bersih dan sehat (PHBS) seperti makan bergizi, istirahat cukup, cuci tangan, tidak merokok dan lainnya. Memperbanyak konsumsi sayur dan buah. buahan pada beberapa penelitian dilaporkan dapat mengurangi dampak polusi udara.
9. Mengenali gejala-gejala atau keluhan yang timbul sebagai dampak kesehatan akibat polusi udara. Pada orang dengan penyakit sebelumnya (penyakit jantung, asma, PPOK dan penyakit paru lainnya), mengenali tanda-tanda terjadinya perburukan atau serangan.

DAFTAR PUSTAKA

- <http://putracentr.net/2009/01/07/pencemaran-udara-dampak-dan-solusinya-24/10/2011> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- <https://www.ruparupa.com/blog/perbedaan-udara-bersih-bagi-kesehatan-dengan-udara-tidak-sehat/> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- [ENVIRONMENT INDONESIA CENTER © PT. SINERGI SOLUSI INDONESIA](http://www.environmentindonesia.com), 2020. (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- https://dlhk.bantenprov.go.id/upload/article/Artikel_Pencemaran_Udara.pdf
Artikel ini telah tayang di Kompas.com dengan judul "6 Penyebab Udara di Dalam Ruangan Kotor", Klik untuk baca: <https://www.kompas.com/homey/read/2022/06/23/143800776/6-penyebab-udara-di-dalam-ruangan-kotor?page=all>. Penulis : Esra Dopita Maret. Editor : Esra Dopita Maret. (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- Baca artikel CNN Indonesia "Pemerintah Ungkap Kualitas Udara Sepanjang 2022 Turun di 57 Daerah" selengkapnya di sini:

- <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20230104094506-20-895883/pemerintah-ungkap-kualitas-udara-sepanjang-2022-turun-di-57-daerah>. (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- Baca artikel CNN Indonesia "Udara di 5 Wilayah Jawa Timur Tercemar Mikroplastik Penyebab Kanker" selengkapnya di sini: <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20220419170725-199-786755/udara-di-5-wilayah-jawa-timur-tercemar-mikroplastik-penyebab-kanker>. (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- <https://www.alodokter.com/menepis-polusi-udara-di-kota> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- <https://www.gramedia.com/literasi/cara-mengatasi-pencemaran-udara/> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- Perda Kabupaten Magetan No.2 Tahun 2017 tentang Ruang Terbuka Hijau. (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- https://www.menlhk.go.id/site/single_post/4078/uji-emisi-kendaraan-sebagai-bentuk-kontribusi-masyarakat-terhadap-pengendalian-pencemaran-udara (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- <https://www.liputan6.com/hot/read/4451115/12-penyakit-yang-disebabkan-oleh-polusi-udara-bisa-berakibat-fatal> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).
- <https://www.fimela.com/lifestyle/read/4027755/10-langkah-pencegahan-terpapar-penyakit-akibat-polusi-udara-jakarta> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).

C. SUMBER UDARA BERSIH DAN UDARA KOTOR

A. Sumber Udara Bersih

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi (atmosfer) dan memiliki komposisi yang tidak selalu konstan. Udara adalah komponen penting pada lingkungan dalam kehidupan sehingga diperlukan pemeliharaan dan peningkatan kualitas. Udara yang berada di lingkungan sekitar dan biasa dihirup oleh manusia adalah udara ambien. Udara ambien merupakan udara yang bebas pada permukaan bumi dan dapat mempengaruhi Kesehatan manusia, makhluk hidup serta perubahan iklim secara global baik langsung maupun tidak langsung. Udara mengandung senyawa elemen gas dari partikulat yaitu padatan dan cairan yang tersuspensi di udara. Susunan elemen yang menyusun udara akan berubah sesuai dengan ketinggian. Massa yang terdapat pada udara juga akan berkurang sesuai dengan ketinggian. Komposisi pada udara normal atau udara ambien yang terdapat di atmosfer terdiri dari campuran gas, terutama nitrogen dan oksigen, mengandung sebagian kecil dari uap air, argon, karbon dioksida, dan gas-gas lain. Pada udara terkandung juga padatan atau cairan yang tersuspensi, bakteri, dan spora. Secara total kandungan partikulat dan gas di udara dinyatakan secara umum dalam persen (%) atau ppm (Mukono, 2011).

Udara yang dihirup oleh makhluk hidup harus dalam keadaan bersih dan tidak terkontaminasi, sehingga ditetapkan standar kualitas udara. Udara bersih merupakan udara yang mengandung berbagai macam gas dengan komposisi normal seperti gas oksigen yang berperan penting bagi kehidupan makhluk hidup tak terkecuali bagi manusia. Udara bersih adalah udara yang belum tercemar oleh gas-gas yang berbahaya. Udara bersih memiliki ciri-ciri tidak berwarna, tidak berbau dan terasa segar serta ringan saat dihirup. Sumber Udara bersih dapat berasal dari berbagai sumber, salah satunya berasal dari tumbuhan. Udara bersih yang berasal dari tumbuhan merupakan hasil dari proses fotosintesis dimana tumbuhan akan menghasilkan gas O₂

sebagai salah satu gas yang penting dalam makhluk hidup. Udara bersih juga dapat berasal dari proses pemurnian atau self purification.

Self purification adalah kemampuan membersihkan dirinya. Selain itu alam jugamemiliki sifat adaptif terhadap segala perubahan yang terjadi. Salah satu mekanisme self purification adalah siklus hidrologi dan juga siklus yang ada di atmosfer.

B. Sumber Udara Kotor

Udara kotor merupakan udara yang telah tercemar oleh zat atau materi ke dalam udara yang dapat menimbulkan bahaya pada makhluk hidup di lingkungan. Udara yang tercemar adalah bertambahnya bahan atau substrat fisik atau kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai sejumlah tertentu sehingga dapat dideteksi oleh manusia (atau yang dapat dihitung dan diukur) serta dapat memberikan efek pada manusia, binatang, vegetasi, dan material. Udara tercemar dapat dikatakan juga perubahan atmosfer karena masuknya bahan kontaminan secara alami atau buatan. Asal tercemarnya udara hingga udara menjadi kotor dapat disebut sebagai pencemaran udara yang diterangkan dengan 3 proses yaitu atrisi (attrition) penguapan (vaporization), dan pembakaran (combustion). Pembakaran menjadi proses yang sangat dominan dalam menimbulkan bahan polutan. Bahan pencemar udara atau polutan dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu polutan primer dan polutan sekunder (Siburian,2020).

1. Polutan Primer

Polutan primer adalah polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu, dan dapat berupa gas dan partikel.

a. Gas

Gas terdiri dari senyawa karbon (hidrokarbon, hidrokarbon teroksigenasi, dan karbondioksida (CO atau CO₂), Senyawa sulfur (sulfur oksida), Senyawa nitrogen (nitrogen oksida dan amoniak, senyawa hologen (flour, klorin, hydrogen klorida, hidrokarbon

terklorinasi, dan bromin. Penyebab pencemaran udara berupa gas berasal dari sumber kendaraan bermotor atau industri. Bahan pencemar yang dikeluarkan antara lain adalah gas NO₂, SO₂, SO₃, ozon, CO, HC dan partikel debu. Gas NO₂, SO₂, HC dan CO dapat dihasilkan dari proses pembakaran oleh mesin yang menggunakan bahan bakar yang berasal dari bahan fosil.

b. Partikel

Partikel dalam atmosfer mempunyai karakteristik spesifik, dapat berupa zat padat maupun suspensi aerosol cair. Bahan partikel tersebut dapat berasal dari proses kondensasi, proses dispersi maupun proses erosi bahan tertentu. Asap (smoke) seringkali dipakai untuk menunjukkan campuran bahan partikulat (particulate matter), uap (fumes), gas, dan kabut (mist). Berikut definisi masing-masing bentuk khusus partikel dalam pencemaran udara:

1) Mist (Kabut)

Mist merupakan partikel cair yang berada dalam udara karena kondensasi uap air, atau otomatisasi cairan ke tingkat disperse. Otomatisasi ini terjadi pada penyemprotan, pembuihan dan lain-lain

2) Fog (Kabut yang padat/tebal)

Fog hampir sama dengan mist namun masih dapat dilihat dengan mata telanjang sekalipun tanpa bantuan visual aid (alat bantu penglihatan)

3) Smoke (asap)

Asap adalah partikel karbon (padat) yang terjadi dari pembakaran tidak sempurna sumber-sumber pembakaran yang menggunakan bahan bakar hidrokarbon, dengan ukuran partikel < 5 mikron

4) Debu (dust)

Debu adalah partikel padat yang terjadi karena proses mekanis (pemecahan dan reduksi) terhadap masa padat, di mana partikel tersebut masih dipengaruhi oleh gravitasi.

5) Fume

Fume merupakan partikel padat yang terjadi karena kondensasi dari penguapan logam-logam cair yang kemudian disertai secara langsung oleh suatu oksidasi di udara. Biasanya terjadi pada pabrik-pabrik pengecoran dan peleburan logam.

Sumber polutan primer dapat dibagi lagi menjadi 2 golongan besar yaitu:

a. Sumber alamiah (natural sources)

Kegiatan alam yang bisa menyebabkan pencemaran udara adalah aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, kegiatan mikroorganisme, dan lainnya. Bahan pencemar yang dihasilkan umumnya adalah asap, gas-gas, dan debu.

b. Sumber buatan manusia (Anthropogenic Sources)

Sumber yang berasal dari kegiatan manusia yang menghasilkan bahan-bahan pencemar diantaranya adalah, pembakaran sampah, pembakaran pada kegiatan rumah tangga, industri, kendaraan bermotor, dan lainnya. Bahan-bahan pencemar yang dihasilkan antara lain asap, debu, grit (pasir halus), dan gas (CO dan NO).

2. Polutan Sekunder

Polutan sekunder terjadi karena ada reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, misalnya reaksi foto kimia. Proses kecepatan dan arah reaksinya dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi relative dari bahan reaktan, serajat fotoaktivasi, kondisi iklim, dan topografi local dan adanya embun. Polutan sekunder mempunyai sifat fisik dan sifat kimia yang tidak stabil, bahan yang termasuk dalam polutan sekunder adalah ozon,

dan formaldehid. Pencemaran sekunder yang terjadi melalui reaksi fotokimia, misalnya oleh pembentukan ozon, yang terjadi antara molekul-molekul hidrokarbon yang ada di udara dengan NO_x melalui pengaruh sinar ultraviolet dari matahari. Pencemar udara sekunder yang terjadi melalui reaksi-reaksi oksidasi katalisis diawali oleh partikel-partikel logam di udara yang berfungsi sebagai katalisator.

Berdasarkan wujud kimianya, pencemar udara dibedakan dalam dua sub kelompok, yaitu sub kelompok partikel/debu dan sub kelompok gas/uap. Sub kelompok pertama yaitu golongan partikel/debu, berdasarkan susunan kimianya terbagi menjadi dua, yaitu partikel/debu mineral, debu organik.

Gas dan uap dibedakan menjadi :

- a. Larut dalam air (oksigen larut dalam air)
- b. Tidak larut dalam air, dibedakan lagi menjadi:
 1. Tidak larut, tetapi bereaksi dengan salah satu komponen dalam air itu
 2. Tidak larut, tetapi reaksinya dengan salah satu komponen dalam air lambat sekali sertamamih mampu larut sedikit (benzene)

Pada pencemaran udara juga dapat dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pencemaran udara di atmosfer, antara lain sebagai berikut :

1. Kelembaban

Kelembaban udara relative yang rendah (<60%) di daerah tercemar SO₂, akan mengurangi efek korosif dari bahan kimia tersebut. Pada kelembaban relative lebih atau sama dengan 80% di daerah tercemar SO₂, akan terjadi peningkatan efek korosif SO₂ tersebut.
2. Suhu

Suhu yang menurun pada permukaan bumi, dapat menyebabkan peningkatan kelembaban udara relative sehingga akan meningkatkan efek korosif bahan pencemar di daerah yang udaranya tercemar. Pada suhu yang meningkat, akan meningkatkan pula kecepatan reaksi suatu

bahan kimia.

3. Sinar matahari

Sinar matahari dapat mempengaruhi bahan oksidan terutama O₃ di atmosfer. Keadaan tersebut dapat menyebabkan kerusakan bahan/alat bangunan, atau bahan yang terbuat dari karet. Sehingga dapat dikatakan bahwa sinar matahari meningkatkan rangsangan untuk merusak bahan.

4. Pergerakan udara

Pergerakan udara yang cepat dapat meningkatkan abrasi bahan bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, J., & Artauli Hasibuan, F. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau IV (SNFUR-4)*, September, 1–7.
- Fitria, L., Wulandari, R. A., Hermawati, E., & Susanna, D. (2008). Kualitas Udara Dalam Ruang Perpustakaan. *Makara, Kesehatan*, 12(2), 77–83.
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, 1(3), 241–248.
- Mukono. (2011). *Aspek Kesehatan Pencemaran Udara* (Cetakan 1). Pusat Penerbitan dan Percetakan UNAIR.
- Rizali, R., Sa'roni, C., Sopiana, Y., & Muzdalifah, M. (2017). Estimasi keinginan membayar (willingness to pay) terhadap udara bersih untuk penentuan pajak emisi (survei terhadap pelanggan bengkel uji emisi di Kota Banjarmasin). *At-Taradhi: Jurnal Studi Ekonomi*, 8(1), 65–77.
- Siburian, S. (2020). *Pencemaran Udara Dan Emisi Gas Rumah Kaca*. Penerbit Kreasi Cendekia Pustaka.

D. UDARA EMISI dan AMBIENT

A. PENGERTIAN UDARA EMISI AMBIEN

Menurut PP No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Unsur-unsur berbahaya yang masuk ke dalam atmosfer dapat berupa Karbonmonoksida (CO), Nitrogen dioksida (NO₂), Sulfur dioksida (SO₂), Hidrokarbon (HC), dan lain-lain.

Menurut PP No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Udara yang melebihi baku mutu dapat merusak lingkungan sekitarnya dan berpotensi mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya.

Baku mutu udara ambien untuk SO₂ sebesar 632 µg/Nm³, NO₂ µg/Nm³ sebesar 316 µg/Nm³, CO sebesar 15000 µg/Nm³, dan HC sebesar 160 µg/Nm³. Pencemaran udara ambien dirasakan semakin hari semakin meningkat, terutama di kawasan perumahan, kawasan industri, dan kawasan padat lalu lintas, dimana di kawasan-kawasan tersebut banyak terjadi kegiatan manusia. Pencemaran udara ambien dapat pula menimbulkan dampak terhadap lingkungan alam, antara lain: hujan asam, penipisan lapisan ozon dan pemanasan global.

B. KUALITAS UDARA EMISI AMBIEN

Pencemaran udara adalah adanya bahaya polutan di atmosfer yang dalam konsentrasi tertentu akan mengganggu keseimbangan dinamik atmosfer dan mempunyai efek pada manusia dan lingkungannya. (Kumar, 1987), (Pencemaran Udara, Hurip Jayadi).

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya; (Peraturan gubernur Jawa Timur Nomor 10 tahun 2009 Tentang Baku mutu udara ambien dan emisi sumber tidak bergerak Di Jawa Timur)

Pencemaran Udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan.

Kualitas Udara Adalah pencerminan dari konsentrasi parameter kualitas udara yang ada di dalam udara.

1. Semakin besar konsentrasi parameter kualitas udara, maka kualitas udara semakin Jelek.
2. Semakin kecil konsentrasi parameter kualitas udara, maka kualitas udara semakin baik.

Kualitas udara terbagi menjadi dua, yaitu kualitas udara emisi dan kualitas udara ambien.

1. Kualitas Udara Emisi

- a. Merupakan kualitas udara yang diukur secara langsung dari sumber emisi (cerobong pabrik, knalpot kendaraan bermotor)
- b. Emisi Udara : Sisa-sisa dari hasil pembakaran bahan bakar
- c. Kualitas udara emisi diam, apabila emisi bersumber dari emisi sumber diam (cerobong pabrik).
- d. Kualitas udara emisi bergerak, apabila emisi bersumber dari emisi sumber bergerak (knalpot kendaraan bermotor).
- e. Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor Adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor.

2. Kualitas Udara Ambien

Merupakan kualitas udara yang diukur di udara bebas (permukiman)

C. KOMPOSISI GAS ATMOSFER

KOMPAS.com - Atmosfer adalah lapisan gas yang menyelimuti suatu planet, termasuk Bumi. Atmosfer memiliki ketebalan sekitar 1.000 km dari permukaan bumi dengan massa 59×10^{14} ton. Di Bumi, atmosfer terdapat dari ketinggian 0 km dari permukaan tanah hingga sekitar 560 km dari atas permukaan pada bumi.

1. Oksigen (O_2) – Kadar oksigen dalam atmosfer 20,95%. Seperti yang sudah diketahui bahwa oksigen berfungsi untuk mengubah bahan/zat makanan yang diolah/masuk ke dalam tubuh menjadi energi. Oksigen berasal dari pepohonan. Oleh karena itu kehadiran pepohonan sangat membantu memelihara lapisan ozon sangat penting bagi kehidupan, yaitu untuk mengubah zat makanan menjadi energi hidup.
2. Karbondioksida (CO_2) – kadar karbondioksida di dalam bumi adalah 0,034%. Ini adalah angka yang sedikit, namun karbondioksida dapat dihasilkan dari pembakaran lahan, pernapasan manusia dan hewan dan energi yang dibutuhkan tanaman. Salah satu dampak dari gas karbondioksida adalah dapat menimbulkan efek rumah kaca terhadap radiasi gelombang elektromagnetik. Dengan begitu jangan heran jika kenaikan atau semakin banyaknya karbondioksida akan menyebabkan kenaikan suhu pada permukaan bumi.
3. Nitrogen (N_2) – merupakan unsur yang paling banyak terdapat di dalam atmosfer bumi. Ada sekitar 78,08%. Kehadiran nitrogen sangat dibutuhkan oleh senyawa organik jadi meskipun begitu nitrogen tidak langsung membentuk senyawa baru dengan unsur lain.
4. Neon (Ne), argon (Ar), xenon (Xe), dan kripton (Kr) – merupakan unsur gas mulia karena keempat unsur ini tidak mudah bergabung dengan unsur lain sehingga akan sulit membentuk senyawa yang lain.

5. Helium (He) dan hidrogen (H₂) – sangat jarang di udara kecuali pada paras yang tinggi. Gas ini adalah yang paling ringan dan sering dipakai untuk mengisi balon meteorologi.
6. Ozon (O₃) – adalah bentuk lain dari oksigen sehingga sangat efektif menyerap radiasi ultra violet dimana radiasi ini mempunyai energi yang sangat besar dan berbahaya bagi tubuh manusia. Ozon hanya dapat dijangkau pada ketinggian antara 20 km – 30 km.
7. Uap air (H₂O) – yang terdapat di atmosfer sebagai hasil penguapan dari laut, danau, kolam, sungai, dan transpirasi tanaman. Uap air sangat penting dalam proses cuaca atau iklim, karena dapat berubah fase.

D. PENCEMARAN UDARA EMISI AMBIEN

Kualitas udara ambien merupakan tahap awal untuk memahami dampak negatif pencemaran udara terhadap lingkungan. Kualitas Udara Ambien ditentukan oleh :

1. Kuantitas emisi cemaran dari sumber cemaran
 2. Proses transportasi, konversi dan penghilangan cemaran di atmosfer
- Baku mutu kualitas udara lingkungan/ambien ditetapkan untuk cemaran: O₃ (ozon), CO, Nox, SO₂, hidrokarbon non metana dan partikulat.
- Baku Mutu Primer Untuk melindungi pada batas keamanan yang mencukupi (adequate margin safety) kesehatan masyarakat dimana secara umum ditetapkan untuk melindungi sebagian masyarakat (15-20%) yang rentan terhadap pencemaran udara.
- Baku Mutu Sekunder Untuk melindungi kesejahteraan masyarakat (material, tumbuhan, hewan, dll) dari setiap efek negatif pencemaran udara yang telah diketahui atau yang dapat diantisipasi.

E. PENYEHATAN UDARA EMISI AMBIEN

Penanggulangan pencemaran udara sumber tidak bergerak meliputi pengawasan terhadap penaatan baku mutu emisi yang telah ditetapkan, pemantauan emisi yang keluar dari kegiatan dan mutu udara ambien disekitar

lokasi kegiatan, dan pemeriksaan penataan terhadap ketentuan persyaratan teknis pengendalian pencemaran udara.

Penanggulangan pencemaran udara dari sumber bergerak meliputi pengawasan terhadap penataan ambang batas emisi buang, pemeriksaan emisi gas buang untuk kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor lama, pemantauan mutu udara ambien di sekitar jalan, pemeriksaan emisi gas buang kendaraan bermotor di jalan dan pengadaan bahan bakar minyak bebas timah hitam serta solar berkadar belerang rendah sesuai standar internasional.

Pengendalian pencemaran udara adalah upaya pencegahan dan/atau penanggulangan pencemaran udara serta pemulihan mutu udara. Pengendalian pencemaran udara meliputi pencegahan dan penanggulangan pencemaran, serta pemulihan mutu udara dengan melakukan inventarisasi mutu udara ambien, pencegahan sumber pencemar, baik dari sumber bergerak maupun sumber tidak bergerak termasuk sumber gangguan serta penanggulangan keadaan darurat (Pasal 16 PP 41 1999).

Kualitas udara ambien merupakan tahap awal untuk memahami dampak negatif cemaran udara terhadap lingkungan. Kualitas udara ambien ditentukan oleh kuantitas emisi cemaran dari sumber cemaran

Proses transportasi, konversi dan penghilangan cemaran di atmosfer. Kualitas udara ambien akan menentukan dampak negatif cemaran udara terhadap kesehatan masyarakat dan kesejahteraan masyarakat (tumbuhan, hewan, material dan lain-lainnya).

Kualitas udara ambien perlu dijaga agar kadar senyawa gas yang mencemarinya sedapat mungkin tidak melewati ambang batas aman bagi makhluk hidup.

Terkait dengan hal ini, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan berkomitmen memberikan informasi yang akurat dan tepat terkait kualitas udara.

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) merupakan hasil pemantauan kualitas udara yang dilakukan secara berkesinambungan. Informasi ini

disampaikan dalam bentuk angka tanpa satuan agar masyarakat lebih mudah memahaminya.

Dalam upaya menekan risiko pencemaran lingkungan, termasuk pencemaran udara, saat ini perusahaan atau industri yang bergerak di bidang manufaktur disyaratkan mengantongi sertifikasi ISO 14001 Sistem Manajemen Lingkungan.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) berkomitmen untuk memberikan informasi mutu udara yang tepat dan akurat kepada masyarakat dalam rangka upaya pengendalian pencemaran udara. Hal ini dibuktikan dengan terus meningkatnya jumlah stasiun pemantauan otomatis kontinu yang dimiliki KLHK yaitu ditargetkan mencapai 38 stasiun pada tahun 2020. Agar informasi tentang mutu udara mudah dipahami oleh masyarakat, hasil pemantauan mutu udara dari stasiun pemantauan otomatis kontinu disampaikan dalam bentuk Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

ISPU merupakan angka tanpa satuan, digunakan untuk menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu dan didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Khusus untuk daerah rawan terdampak kebakaran hutan dan lahan, informasi ini dapat digunakan sebagai *early warning system* atau sistem peringatan dini bagi masyarakat sekitar. Tujuan disusunnya ISPU agar memberikan kemudahan dari keseragaman informasi mutu udara ambien kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara baik bagi pemerintah pusat maupun pemerintah daerah.

Pada tahun 2020, KLHK telah mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara yang merupakan pengganti dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara. Pada peraturan pengganti ini, tercantum bahwa perhitungan ISPU dilakukan pada 7 (tujuh) parameter yakni PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 , CO , O_3 , dan HC. Terdapat penambahan 2 (dua)

parameter yakni HC dan $PM_{2.5}$ dari peraturan sebelumnya. Penambahan parameter tersebut didasari pada besarnya resiko HC dan $PM_{2.5}$ terhadap kesehatan manusia.

Selain penambahan parameter, terdapat peningkatan frekuensi penyampaian informasi ISPU kepada publik. Hasil perhitungan ISPU parameter $PM_{2.5}$ disampaikan kepada publik tiap jam selama 24 jam. Sedangkan hasil perhitungan ISPU parameter PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO , O_3 , dan HC disampaikan kepada publik paling sedikit 2 (dua) kali dalam 1 (satu) hari pada pukul 09.00 dan 15.00.

F. FAKTOR PEMBEDA KUALITAS UDARA EMISI DAN KUALITAS UDARA AMBIEN

Kualitas udara ambien memiliki perbedaan dengan kualitas udara emisi, hal-hal yang membedakan di antaranya:

1. Komposisi senyawa gas yang membentuk udara

Kadar kandungan senyawa gas yang terdapat pada udara tersebut yang menentukan kualitas udara, serta aman atau tidaknya bagi manusia. Kualitas udara ambien maupun kualitas udara emisi di suatu kawasan dapat diketahui setelah melalui proses pengukuran kualitas udara karena kedua jenis udara bersifat mudah tercampur satu sama lain.

Proporsi senyawa gas yang terdapat pada udara ambien adalah (20%) senyawa gas oksigen, (78%) gas nitrogen, (0,093%) gas argon, dan (0,03%) gas karbon dioksida. [i] Adanya senyawa gas nitrogen dioksida, karbon monoksida, hidrokarbon, dan sulfur dioksida, yang merupakan unsur-unsur dari emisi membuat kualitas udara ambien berbeda dengan kualitas udara emisi.

2. Dampaknya pada makhluk hidup

Kualitas udara ambien yang bebas polusi memiliki banyak manfaat bagi makhluk hidup. Udara bersih membuat saluran pernafasan dan jantung kita menjadi lebih sehat, sistem kekebalan tubuh pun meningkat. Sebaliknya,

kualitas udara emisi yang telah tercampur senyawa-senyawa berbahaya membawa pengaruh buruk pada tubuh.

Udara emisi dapat mengakibatkan berbagai masalah pernafasan, menyebabkan kerusakan pada paru-paru, mengiritasi mata, hingga menjadi pemicu kanker.

DAFTAR PUSTAKA

<https://www.itb.ac.id/berita/detail/57584/cara-pengendalian-pencemaran-udara-menurut-prof-puji-lestari> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 01.39 WIB).

<https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 02.00 WIB).

<https://mutuinstitute.com/post/perbedaan-kualitas-udara-ambien-dengan-kualitas-udara-emisi/> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 02.30 WIB).

https://dlhk.bantenprov.go.id/read/article/29/pengendalian_pencemaran_udara.html (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 03.00 WIB).

<https://media.neliti.com/media/publications/136924-ID-pengelo-mpokan-kualitas-udara-ambien-men.pdf> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 03.23 WIB).

<https://sumber.belajar.kemdikbud.go.id/repos/FileUpload/Atmosfer-BPSMG/materi3.html> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 03.40 WIB).

<https://www.kompas.com/sains/read/2022/03/31/173200023/komposisi-gas-atmosfer-di-bumi?page=all> (diakses pada tanggal 12 Januari 2023 pukul 04.00 WIB).

https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/Prediksi_Pencemaran_Udara.pdf

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara yang merupakan pengganti dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara

(Kumar, 1987), (Pencemaran Udara, Hurip Jayadi).

PP No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara

Peraturan gubernur jawa timur Nomor 10 tahun 2009 Tentang Baku mutu udara ambien dan emisi sumber tidak bergerak Di jawa timur

E. BAHAN PENCEMAR UDARA

A. Definisi Pencemaran Udara

Pencemaran udara merupakan masuknya atau tercampurnya suatu unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan sehingga menurunkan kualitas lingkungan dan dapat membahayakan kesehatan manusia. Terdapat dua jenis sumber pencemaran udara, yang pertama adalah pencemaran akibat sumber alamiah (natural sources) dan berasal dari kegiatan manusia (anthropogenic sources). Pencemaran udara terjadi karena adanya sumber yang bergerak dan sumber tidak bergerak, meliputi sektor transportasi, emisi pabrik industri dan domestik. Faktor lainnya yang secara tidak langsung berpengaruh terhadap terjadinya pencemaran udara adalah pertumbuhan penduduk, laju urbanisasi yang tinggi, pengembangan tata ruang yang tidak seimbang dan rendahnya tingkat kesadaran masyarakat mengenai pencemaran udara. Kualitas udara sangat dipengaruhi aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Menurut laporan dari world health organization (WHO) tahun 2018 menyebutkan bahwa, terdapat 7 juta orang setiap harinya di seluruh dunia meninggal akibat polusi udara, diantaranya 4,2 juta orang meninggal karena polusi udara yang bersumber dari kegiatan aktivitas manusia (Zendrako,2010).

B. Macam Bahan Pencemar Udara

1. Bahan Pencemar Udara Menurut Bentuk Asalnya

a. Pencemaran Udara Primer (Primary Air Polutan)

Pencemaran Udara Primer, adalah suatu bahan kimia yang ditambahkan langsung ke udara yang menyebabkan konsentrasinya meningkat dan membahayakan. Contohnya: CO₂, yang meningkat diatas konsentrasi normal.

1) Karbon Monoksida (CO)



Sumber: <https://petrominer.com/ambisi-mengubah-co2-jadi-bahan-bakar/>

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berbau, tidak berasa dan juga tidak berwarna. Oleh karena itu lingkungan yang telah tercemar oleh gas CO tidak dapat dilihat oleh mata. Di daerah perkotaan dengan lalu lintas yang padat konsentrasi gas CO berkisar antara 10–15 ppm. Gas CO dalam jumlah banyak (konsentrasi tinggi) dapat menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan dapat menimbulkan kematian (Wardhana, 2004).

CO yang terdapat di alam terbentuk melalui salah satu reaksi berikut:

- (a) Pembakaran tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
- (b) Reaksi antara CO₂ dengan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi.
- (c) Penguraian CO₂ menjadi CO dan O.

Berbagai proses geofisika dan biologis diketahui dapat memproduksi CO, misalnya aktivitas vulkanik, pancaran listrik dari kilat, emisi gas alami, dan lain-lain. Sumber CO lainnya yaitu dari proses pembakaran dan industri (Fardiaz, 1992). Karbon Monoksida secara praktis diproduksi oleh proses yang artifisial dan 80% diduga berasal dari asap kendaraan bermotor. Konsentrasi CO

di udara perkotaan menunjukkan korelasi yang positif dengan kepadatan lalu lintas, dan korelasi yang negatif dengan kecepatan angin. Efeknya terhadap kesehatan disebabkan karena CO dapat menggeser oksigen yang terkait pada Hemoglobin (Hb) dan mengikat Hb menjadi Karbon Monoksida Hemoglobin (COHb) (Soemirat, 2009). Pengaruh karbon Monoksida ternyata (CO) terhadap tubuh manusia ternyata tidak sama untuk manusia satu dengan manusia lainnya. Daya tahan tubuh ikut menentukan toleransi tubuh terhadap pengaruh adanya karbon monoksida. Keracunan gas karbon monoksida (CO) dapat ditandai dari keadaan yang ringan, berupa pusing, sakit kepala dan mual. Keadaan yang lebih berat dapat berupa menurunnya kemampuan gerak tubuh, gangguan sistem kardiovaskuler, serangan jantung sampai pada kematian (Wardhana, 2004).

Berasal dari :

- (a) Pembakaran tidak sempurna (terhadap karbon / komponen yang mengandung karbon)
- (b) Karbon monoksida $2 C + O_2 \rightarrow 2 CO$ $2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$ - Bila jumlah oksigen tidak mencukupi untuk pembakaran sempurna atau bahan bakar lebih banyak daripada udara - Reaksi 1 berlangsung 10 kali lebih cepat.

2) Nitrogen Oksida (NO_x)



Gas nitrogen oksida (NO_x) ada dua macam, yaitu gas nitrogen monoksida (NO) dan gas nitrogen dioksida (NO₂). Udara yang telah tercemar oleh gas nitrogen oksida tidak hanya berbahaya bagi manusia dan hewan saja, tetapi juga berbahaya bagi kehidupan tanaman. Pengaruh gas NO_x pada tanaman antara lain timbulnya bintik-bintik pada permukaan daun (Wardhana, 2004). Nitrogen Dioksida (NO₂) berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Reaksi pembentukan NO₂ dari NO dan O₂ terjadi dalam jumlah relatif kecil, meskipun dengan adanya udara berlebih. Kecepatan reaksi dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi NO. Pada temperatur yang lebih tinggi, maka kecepatan reaksi pembentukan NO₂ akan berjalan lebih lambat. Selain itu, kecepatan reaksi dari pembentukan NO₂ juga dipengaruhi oleh konsentrasi oksigen dan kuadrat dari konsentrasi NO. Hal ini berarti jika konsentrasi NO bertambah menjadi dua kalinya, II-8 maka kecepatan reaksi akan naik empat kali. Namun, jika konsentrasi NO berkurang setengah, maka kecepatan reaksi akan turun menjadi seperempat (Fardiaz, 1992). Selain itu, kadar NO_x di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor. Dari perhitungan kecepatan emisi NO_x diketahui bahwa waktu tinggal rata-rata NO₂ di atmosfer kira-kira 3 hari, sedangkan waktu tinggal NO adalah 4 hari dan gas ini bersifat akumulasi di udara yang bila tercampur dengan air akan menyebabkan terjadinya hujan asam (Sugiarta, 2008). Nitrogen Monoksida (NO) tidak berwarna, tidak berbau, tidak terbakar, dan sedikit larut di dalam air (Sunu, 2001). NO terdapat di udara dalam jumlah lebih besar dari pada NO₂. Pembentukan NO dan NO₂ merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO₂ (Depkes, 2005). Kendaraan bermotor memproduksi nitrogen oksida dalam bentuk NO sebanyak 98%. Di

dalam udara NO ini akan berubah menjadi NO_2 . NO_2 adalah gas yang toksis bagi manusia. Efek yang terjadi tergantung pada dosis serta lamanya paparan yang diterima seseorang. Konsentrasi NO_2 yang berkisar antara 50-100 ppm dapat menyebabkan peradangan paru-paru bila orang terpapar selama beberapa menit saja (Soemirat, 2009).

3) Belerang Oksida (SO_x)



terdiri atas gas SO_2 dan SO_3 . Pencemaran SO_2 di udara terutama berasal dari pemakaian yang digunakan pada kegiatan industri, transportasi dan lain sebagainya. SO_2 dikenal sebagai gas yang tidak berwarna bersifat iritan kuat bagi kulit dan selaput lendir, pada konsentrasi 6-12 ppm. SO_2 mudah diserap oleh selaput lendir saluran pernapasan bagian atas (tidak lebih dalam daripada larynx). Selain pengaruhnya terhadap kesehatan, sulfur dioksida juga berpengaruh terhadap tanaman dan hewan. Pengaruh SO_2 terhadap hewan sangat menyerupai efek SO_2 terhadap tumbuhan tampak terutama pada daun yang menjadi putih atau terjadi nekrosis. Daun yang hijau dapat berubah menjadi kuning, ataupun bercak-bercak putih (Soemirat, 2009).

Menurut Mukono (2008), efek SO₂ terhadap kesehatan dan lingkungan yaitu:

a) Terhadap Alat Pernapasan

Iritasi terhadap selaput lendir saluran pernapasan pada kadar 8-12 ppm dapat menyebabkan batuk dan kesukaran bernafas. Pada paparan kronis terhadap saluran pernapasan dapat menyebabkan terjadinya bronchitis, Chronic Obstructive Disease (COD) dan edema paru.

b) Terhadap Mata

Iritasi pada mata bisa menyebabkan keluarnya air mata dan mata menjadi merah dan terasa pedas. Pengaruh kadar SO₂ yang melebihi batas yang diperbolehkan akan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Gas SO₂ dapat menyebabkan iritasi dan lebih dari 95 % gas SO₂ akan terhirup selama proses pernafasan(Purnomo,2014)

4) Hydro Carbon (HC)

Merupakan suatu ikatan kimia dari Carbon (C) dan Hydrogen (H). Bentuk kimianya menjadi Parafine, Naftaline, olefine dan Aromatic N₂O karena tidak aktif, tidak menjadi persoalan. Beberapa sumber penyebab diantaranya kendaraan bermotor 57%, penyulingan minyak dan generator power 43%. Sumber utamanya adalah gas buang dari kendaraan atau macam-macam alat pembakaran, dan lain-lainnya seperti Refinering oil (pengilangan minyak) karena pemakaian pelarut. Dampak yang ditimbulkan bila kepekatan HC-nya bertambah tinggi akan merusak sistem pernapasan manusia (tenggorokan) terutama yang beracun adalah Benzene dan Toruene. Hidro Carbon aktif seperti susunan (Olefine dan sebagainya) akan menyebabkan Photo chemical smoke (smoke yang dimaksud di sini adalah suatu kumpulan gugusan antara CO, HC dan N₂ yang bila terkena sinar

matahari akan menimbulkan mata pedas). Dari jenis Aromatic ada juga yang menyebabkan timbulnya kanker. Hidrokarbon atau sering disingkat HC adalah pencemar udara yang berupa gas, cairan maupun padatan.

Keberadaan hidrokarbon sebagai bahan pencemar di udara dapat berupa gas apabila termasuk suku rendah, ataupun berupa cairan II-10 apabila termasuk suku sedang, atau berupa padatan apabila hidrokarbon termasuk suku tinggi (Wardhana, 2004). Hidrokarbon berasal dari proses alami dan buatan manusia. Secara alamiah hidrokarbon diproduksi oleh tanaman, dekomposisi zat organik, sumber alamiah bagi hidrokarbon merupakan sumur-sumur minyak dan gas bumi. Sumber buatan yang utama hidrokarbon adalah asap kendaraan bermotor. Hidrokarbon total yang ada di dalam atmosfer menunjukkan korelasi yang positif dengan kepadatan lalu-lintas.

Kebanyakan hidrokarbon yang didapat adalah gas metan. Selain itu, terdapat 10 senyawa hidrokarbon lainnya, dalam jumlah yang cukup banyak. Dengan demikian kewaspadaan terhadap hidrokarbon di dalam udara mengalami reaksi-reaksi fotokimia, dapat berubah menjadi zat-zat yang lebih berbahaya daripada asalnya. Misalnya, terbentuknya peroxy asetil nitrat (PAN), keton, aldehida (Soemirat, 2009). Sumber HC dapat pula berasal dari sarana transportasi. Kondisi mesin yang kurang baik akan menghasilkan hidrokarbon. Pada umumnya pada pagi hari kadar hidrokarbon di udara tinggi, namun pada siang hari menurun. Sore hari kadar hidrokarbon meningkat lagi dan kemudian menurun lagi pada malam hari (Depkes, 2005)

b. Pencemaran udara Sekunder

Sekunder, adalah senyawa kimia berbahaya yang timbul dari hasil reaksi antara zat polutan primer dengan komponen alamiah. Contohnya: Peroxy Acetil Nitrat (PAN)



Sumber : <https://petrominer.com/ambisi-mengubah-co2-jadi-bahan-bakar/>

1) Karbon Dioksida (CO₂)

CO₂ (Karbon Dioksida) merupakan hasil pembakaran (oksidasi) yang sempurna. Prinsip dasar terjadinya pembakaran yang ideal adalah gabungan dari unsur $CH + O_2 = CO_2 + H_2O + \text{panas}$. Pada kondisi mesin normal akan dihasilkan CO₂ setidaknya minimal 12 % volume, sehingga semakin besar kandungan zat CO₂, diikuti meningkatnya kandungan H₂O (air) berarti pembakaran dalam mesin semakin baik atau kinerja mesin semakin optimal. Gas Karbon Dioksida (CO₂) merupakan hasil pembakaran hutan, industri, pesawat terbang, pesawat luar angkasa, kapal dan mesin-mesin seperti motor, mobil, serta kereta api. Hasil dari pembakaran tersebut akan meningkatkan kadar CO₂, sehingga udara tercemar. Apabila kadar CO₂ di udara terus meningkat dan melebihi batas toleransi yaitu melebihi 0,0035 % serta tidak segera diubah oleh tumbuhan menjadi oksigen, maka dapat menyebabkan terbentuknya gas rumah kaca yang efeknya akan meningkatkan pemanasan global suhu bumi (global warming). Hal tersebut terjadi

karena sebagian sinar matahari yang masuk ke bumi dipantulkan ke luar angkasa. Karena tertahan oleh adanya rumah kaca, maka sinar tersebut tetap berada di permukaan bumi dan akan meningkatkan suhu bumi (pemanasan global). Pemanasan global ini dapat mengakibatkan bahaya kekeringan yang hebat yang mengganggu kehidupan manusia dan mencairnya lapisan es di daerah kutub. Gas karbon dioksida ini berasal dari asap pabrik, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan asap kendaraan bermotor. Selain itu, efek dari gas rumah kaca juga dipicu oleh hasil pembakaran fosil (batu bara dan minyak bumi) yang berupa hasil buangan bentuk CO₂ dan sulfur belerang (Kamal,2015).

2) Partikulat (Partikel)

Partikel adalah pencemar udara yang dapat berada bersama-sama dengan bahan atau bentuk pencemar lainnya. Partikel dapat diartikan secara murni atau sempit sebagai bahan pencemar udara yang berbentuk padatan. Namun, dalam II-11 pengertian lebih luas, partikel dapat meliputi berbagai macam bentuk, mulai dari bentuk yang sederhana sampai bentuk yang rumit dan kompleks (Wardhana, 2004). Pengaruh partikel (partikulat) debu bentuk padat maupun cair yang berada di udara sangat tergantung pada ukurannya. Ukuran partikulat debu yang berbahaya bagi kesehatan umumnya berkisar antara 0,1 mikron sampai dengan 10 mikron. Pada umumnya ukuran partikulat debu sekitar 5 mikron merupakan yang dapat langsung masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di alveoli. Keadaan ini bukan berarti bahwa ukuran partikel yang lebih besar dari 5 mikron tidak berbahaya, karena partikel yang lebih besar dapat mengganggu saluran pernafasan bagian atas dan menyebabkan iritasi (Depkes, 2005).

Berbagai proses alami yang menyebabkan penyebaran partikel di atmosfer, misalnya letusan vulkano dan hembusan debu serta tanah oleh angin. Aktivitas manusia juga berperan dalam

penyebaran partikel, misalnya dalam bentuk partikel-partikel debu dan asbes dari bahan bangunan, abu terbang dari proses peleburan baja, dan asap dari proses pembakaran tidak sempurna, terutama dari batu arang. Sumber partikel yang utama adalah dari pembakaran bahan bakar dari sumbernya diikuti oleh proses-proses industri (Fardiaz, 1992). Berbentuk partikel debu yang sangat kecil ($\pm 0.01 \mu\text{m}$) yang terbentuk dari senyawa-senyawa carbon dan bahan kimia lain dalam proses pembakaran. Sumber penyebab diantaranya kendaraan bermotor (diesel) 50%, pabrik, generator pembangkit dan pemanas 50%, akibat yang ditimbulkan mengendap dalam sel lapisan paru-paru sehingga kerjanya terganggu dan menimbulkan warna hitam dalam paru-paru.

3) Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Emisi kendaraan terutama pada motor bensin berupa Hydrocarbon (HC) dan Carbon Monoxide (CO) akan terjadi jika pembakaran (combustion) tidak sempurna. Emisi ini mengindikasikan bahwa bahan bakar tidak terbakar secara keseluruhan dan bahan bakar tidak dapat digunakan secara efisien. Pada umumnya kendaraan bermotor yang telah melalui perawatan (tune-up) dapat mengurangi konsumsi bahan bakarnya. Secara teoritis penghematan bahan bakar dapat diperkirakan (estimated) dengan menggunakan persamaan (Shotsya,2016).

4) Pembakaran

Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Emisi kendaraan terutama pada motor bensin berupa Hydrocarbon (HC) dan Carbon Monoxide (CO) akan terjadi jika pembakaran (combustion) tidak sempurna. Emisi ini mengindikasikan bahwa bahan bakar tidak terbakar secara keseluruhan dan bahan bakar tidak dapat digunakan secara efisien. Pada umumnya kendaraan bermotor yang telah melalui perawatan (tune-up) dapat mengurangi konsumsi bahan bakarnya. Secara teoritis penghematan bahan bakar dapat

diperkirakan (estimated) dengan menggunakan persamaan. Syarat Terjadinya Pembakaran Adanya tekanan kompresi yang cukup Pada saat busi menerima tegangan tinggi dari koil, busi menghasilkan pijaran api untuk membakar campuran udara dan bahan bakar. Terjadilah ledakkan di ruang bakar pada tekanan 50 kg/cm². Bahan bakar terbakar oleh udara panas dan tekanan akan naik hingga 70 kg/cm² – 90 kg/cm². (Wahyu. D. H, 2013).

Campuran bahan bakar dan udara cukup Komposisi campuran dipengaruhi oleh kapasitas pembakaran dan jumlah panas yang berkembang, serta mengubah tekanan dan suhu gas di silinder mesin (Khovakh, 1979). Campuran ideal antara udara dan bensin untuk proses pembakaran octana secara keseluruhan adalah 15,2: 1. Dengan perhitungan yang sama untuk cyclohexane 14,7: 1 dan benzena 13,2: 1. (Mucklas, 2014)

Suhu yang cukup tinggi untuk pembakaran Suhu di pusat elektroda busi dalam keadaan mesin stasioner tidak kurang dari 400°C untuk mencegah adanya penimbunan arang dan kerak (Khovakh, 1979). Saat campuran udara dan bahan bakar meledak, temperatur naik sekitar 2500°C (Wahyu D. H., 2013). Tiga unsur bahan bakar yang dapat terbakar dalam bahan bakar fosil ialah karbon, hidrogen, dan sulfur. Sulfur memiliki signifikansi yang kecil sebagai sumber panas. Namun, berkontribusi besar terhadap masalah korosi dan pencemaran. Udara merupakan sumber oksigen bagi pembakaran yang terdiri dari oksigen, nitrogen, karbon dioksida, argon, dan lain-lain.

Reaksi pada proses pembakaran berlangsung pada fase gas, kecuali pada pembakaran arang (Karbon) yang berlangsung pada fase padat. Produk-produk pembakaran dihasilkan dari reaksi unsur-unsur yang terdapat pada bahan bakar dengan oksigen. Unsur-unsur yang terdapat dalam bahan bakar meliputi Karbon (C), Hidrogen (H), Nitrogen (N), dan Sulfur (S). Unsur karbon

akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan CO_2 jika reaksinya merupakan pembakaran sempurna, dan CO jika pembakarannya tidak sempurna. Unsur hidrogen bereaksi menghasilkan air (H_2O) dan sulfur menghasilkan SO_2 . Dalam proses pembakaran juga dihasilkan sejumlah kecil sulfur trioksida (SO_3), nitrogen oksida (NO_x), dan hidrokarbon yang tidak terbakar (unburned hydrocarbon) serta sejumlah kecil zat lainnya. Dari segi polusi, kehadiran sejumlah kecil produk pembakaran tersebut dapat diabaikan dan oleh sebab itu biasanya diabaikan dalam proses perhitungan. Produk NO_x biasanya berasal dari pembakaran nitrogen udara (atmospheric nitrogen) dan NO_x dari nitrogen bahan bakar (fuel nitrogen) relatif jauh lebih kecil. Oleh sebab itu nitrogen dari bahan bakar biasanya dimasukkan sebagai nitrogen dari udara. Tetapi untuk gas-gas buatan yang dibakar menggunakan udara (misalnya blast furnace gas) maka nitrogen bahan bakar lebih dominan dibandingkan nitrogen atmosfer. Produk pembakaran biasanya diukur dalam basis volumetrik. Jika sampel meliputi produk air maka disebut basis basah tipikal untuk sistem analyzer. Jika sebaliknya, maka disebut basis kering tipikal untuk sistem extractive gas (Sudrajad,2006).

Jenis-jenis pembakaran

Pembakaran dapat di golongkan menjadi 5 jenis, berikut ini jenis-jenis pembakaran beserta penjelasannya:

- a) Complete combustion (Pembakaran Sempurna) Pada pembakaran sempurna, reaktan akan terbakar dengan oksigen, menghasilkan sejumlah produk yang terbatas. Ketika hidrokarbon yang terbakar dengan oksigen, maka hanya akan dihasilkan gas karbon dioksida dan uap air. Namun kadang kala akan dihasilkan senyawa nitrogen dioksida yang merupakan hasil teroksidasinya senyawa nitrogen di dalam

udara. Pembakaran sempurna hampir tidak mungkin tercapai pada kehidupan nyata.

- b) **Incomplete combustion (Pembakaran Tidak Sempurna)**
Pembakaran tidak sempurna terjadi ketika tidak tersedianya oksigen dalam jumlah yang cukup untuk membakar bahan bakar sehingga dihasilkannya karbon dioksida dan air. Pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan zat-zat seperti karbon dioksida, karbon monoksida, uap air dan karbon. Pembakaran yang tidak sempurna sangat sering terjadi, walaupun tidak diinginkan, karena karbon monoksida merupakan zat yang sangat berbahaya bagi manusia. Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan perancangan media pembakaran yang lebih baik dan optimisasi proses.
- c) **Smouldering combustion** Smouldering merupakan bentuk pembakaran yang lambat, bertemperatur rendah, dan tidak berapi, yang dipertahankan oleh panas ketika oksigen menyerang permukaan dari bahan bakar pada fasa yang terkondensasi. Pembakaran ini dapat dikategorikan sebagai pembakaran yang tidak sempurna. Contoh pembakaran ini adalah inisiasi kebakaran yang dikarenakan rokok, dan sisa kebakaran hutan yang masih menghasilkan hawa panas.
- d) **Rapid combustion** Rapid combustion merupakan pembakaran yang melibatkan energi dalam jumlah yang banyak dan menghasilkan pula energi cahaya dalam jumlah yang besar. Jika dihasilkan volume gas yang besar dalam pembakaran ini dapat mengakibatkan peningkatan tekanan yang signifikan, sehingga terjadi ledakan.
- e) **Turbulent combustion** Pembakaran yang menghasilkan api yang turbulen sangat banyak digunakan untuk aplikasi industri, misalnya mesin berbahan bakar bensin, turbin gas,

dll, karena turbulensi membantu proses pencampuran antara bahan bakar dan pengoksida.

Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar adalah ukuran banyak atau sedikitnya bahan bakar yang digunakan suatu mesin untuk diubah menjadi panas pembakaran dalam jangka waktu tertentu. Campuran bahan bakar yang dihisap masuk ke dalam silinder akan mempengaruhi tenaga yang dihasilkan karena jumlah bahan bakar yang dibakar menentukan besar panas dan tekanan akhir pembakaran yang digunakan untuk mendorong torak dari TMA menuju ke TMB pada saat langkah usaha. Pembakaran sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar yang ekonomis karena pembakarannya sempurna, campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat sehingga akan dihasilkan tenaga mesin yang maksimal. Hal ini berlawanan dengan pembakaran tidak sempurna, bahan bakar yang masuk ke dalam silinder tidak seluruhnya dapat diubah menjadi panas dan tenaga sehingga untuk mencapai tingkat kebutuhan kalor dan tekanan pembakaran yang sama diperlukan bahan bakar yang lebih banyak.

5) Nitrogen Dioksida (NO₂)

Jumlah NO yang terdapat di udara dalam keadaan ekuilibrium dipengaruhi oleh :

- a) Suhu pembakaran, semakin tinggi suhu semakin tinggi konsentrasi NO
- b) Selang waktu gas hasil pembakaran terdapat pada suhu tersebut
- c) Jumlah kelebihan oksigen tersedia kelebihan udara akan mengurangi konsentrasi NO

Di atmosfer jumlah NO > NO₂ 2. Nitrogen Oksida (NO_x) N₂ + O₂ -> 2 NO 2 NO + O₂ -> 2NO₂

6) Sulfur Dioksida (SO₂)

Pencemaran oleh sulfur oksida (SO_x) : • SO₂ (sulfur dioksida) ◊ bau tajam (mulai terdeteksi 0,3 – 1 ppm), tidak terbakar diudara • SO₃ (sulfur trioksida) ◊reaktif, mudah bereaksi dengan uap air di udara H₂SO₄ (reaktif◊pengkaran) Pembakaran bahan yang mengandung sulfur ◊ menghasilkan sulfur oksida (SO_x). SO₂ selalu terbentuk dalam jumlah terbesar (tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia)

Mekanisme pembentukan SO_x S + O₂ ◊ SO₂ 2SO₂ + O₂ ◊ 2SO₃ Setelah berada di atmosfer, sebagian SO₂ akan diubah menjadi SO₃ (kemudian menjadi H₂SO₄) oleh proses-proses fotolitik dan katalitik. Jumlah SO₂ yang teroksidasi menjadi SO₃ dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk jumlah air yang tersedia, intensitas, waktu dan distribusi spektrum sinar matahari

C. Sumber Polutan Udara

1. Alami

a. Letusan Gunung Berapi

Letusan gunung berapi yang mengeluarkan berbagai material dapat mengotori lapisan dalam atmosfer. Asap pekat yang terjadi saat gunung meletus juga mengandung polutan yang dapat mencemari udara.



Sumber : <https://www.orami.co.id/magazine/proses-terjadinya-gunung-meletus>

b. Kebakaran Hutan

Kebakaran hutan sering kali terjadi dengan alami, yang disebabkan oleh panas terik matahari ataupun suhu bumi yang memanas. Asap yang berasal dari kebakaran hutan mengandung berbagai jenis zat yang mengandung polutan, seperti karbon dioksida, karbon monoksida, juga sulfur dioksida.



Sumber : <https://www.merdeka.com/jatim/penyebab-terjadinya-kebakaran-hutan-dan-cara-mencegahnya-kln.html>

c. Zat Sisa Pencernaan Hewan

Faktor alami penyebab udara tercemar selanjutnya yaitu sisa dari proses pencernaan hewan. Hal ini karena adanya pelepasan metana ke atmosfer yang akhirnya bisa menjadi gas rumah kaca.



Sumber:

<https://www.kompas.com/sains/read/2021/09/09/210200923/proses-pencernaan-pada-hewan-ruminansia?page=all>

2. Aktivitas manusia

a. Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor



Sumber : <https://plug.id/news/read/bahaya-polusi-udara-dari-kendaraan-bermotor>

Menurut Ellyanie (2011) emisi gas buang didefinisikan sebagai hasil dari pembakaran bahan bakar dan udara, terdiri dari banyak komponen gas yang sebagian besar merupakan polusi bagi lingkungan hidup. Gas yang menjadi polusi tersebut kebanyakan

merupakan hasil dari reaksi sampingan yang tidak dapat dihindarkan. Sebagaimana diketahui bahwa udara di sekitar kita mengandung kurang lebih 21% Oksigen dan 79% terdiri dari sebagian besar Nitrogen dan sisanya gas-gas lain dalam jumlah yang sangat kecil, sedangkan bahan bakar pada umumnya berbentuk ikatan karbon (C_xH_y) yang juga mengandung unsur lain yang terikat kedalamnya. Polusi udara adalah masuknya bahan-bahan pencemar ke dalam udara ambien yang dapat mengakibatkan rendahnya bahkan rusaknya fungsi udara (Zainal Arifin dan Sukoco, 2009). Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa emisi gas buang kendaraan bermotor adalah masuknya senyawa-senyawa berbahaya hasil pembakaran kendaraan bermotor yang mengakibatkan rendahnya bahkan rusaknya fungsi udara.

1. Pengertian Emisi Kendaraan

Menurut PP No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara yang dimaksud dengan emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Sumber emisi adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan emisi dari sumber bergerak, sumber bergerak spesifik, sumber tidak bergerak maupun sumber tidak bergerak spesifik. II-22 Pengertian uji emisi kendaraan bermotor berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 5 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama adalah uji emisi gas buang yang wajib dilakukan untuk kendaraan bermotor secara berkala. Di dalam peraturan tersebut juga dijelaskan bahwa pelaksanaan uji emisi di suatu daerah dievaluasi oleh Bupati atau Walikota minimal 6 bulan sekali (Suryanto, 2012).

2. Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Emisi

Faktor penting yang menyebabkan dominannya pengaruh sector transportasi dalam hal ini kendaraan bermotor roda dua terhadap pencemaran udara di perkotaan Indonesia antara lain meliputi (Soedomo, 2001):

- a) Perkembangan jumlah kendaraan yang cepat (eksponensial)
- b) Tidak seimbangny prasarana transportasi dengan jumlah kendaraan yang ada
- c) Pola lalu lintas perkotaan yang berorientasi memusat, akibat terpusatnya kegiatan-kegiatan perekonomian dan perkantoran di pusat kota
- d) Masalah turunan akibat pelaksanaan kebijakan pengembangan kota yang ada, misalnya daerah pemukiman penduduk yang semakin menjauhi pusat kota
- e) Kesamaan waktu aliran lalu lintas
- f) Jenis, umur dan karakteristik kendaraan bermotor
- g) Faktor perawatan kendaraan
- h) Jenis bahan bakar yang digunakan
- i) Jenis permukaan jalan j. Siklus dan pola pengemudi (driving pattern)

Cara mengemudi dan merawat kendaraan bermotor memiliki dampak langsung terhadap konsumsi bahan bakar dan selanjutnya berpengaruh terhadap emisi karbon yang dihasilkannya. Metode kunci untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar terkait dengan cara/perilaku mengemudi (kecepatan, pengereman, akselerasi, mesin, kapasitas angkut dan start dingin) dan kondisi kendaraan (perawatan mesin, ban, oli, filter udara serta usia kendaraan bermotor (GTZ, 2007)

Kendaraan dengan tahun pembuatan yang lebih lama akan mengeluarkan emisi yang lebih banyak dibandingkan dengan

kendaraan baru. Demikian juga kendaraan dengan bahan bakar bensin akan mengeluarkan jenis emisi yang berbeda dengan kendaraan berbahan bakar solar (Yanismai, 2003).

Dengan tidak efisiennya mesin, emisi pun meningkat sehingga polusi semakin bertambah. Lalu apabila sebaliknya (mesin kompresi tinggi diisi dengan bensin oktan rendah), ledakan akan terjadi beruntun pada ruang pembakaran yang semestinya hanya boleh terjadi satu ledakan. Hal ini terjadi karena bensin beroktan rendah lebih cepat terbakar sehingga terjadi ledakan beruntun pada ruang pembakaran mesin kompresi tinggi. Dengan adanya ledakan tersebut, mesin menjadi rusak dan emisi menjadi naik dan polusi pun bertambah.

b. Asap Pabrik



Sumber : <https://m.merdeka.com/trending/penyebab-pencemaran-udara-dan-5-cara-mengatasinya-klm.html>

Penyebab polusi udara yang cukup tinggi selanjutnya yaitu asap dari aktivitas pabrik yang dikeluarkan dengan jumlah yang cukup besar. Polutan ini mengandung zat kimia, termasuk karbon monoksida, hidrokarbon dan senyawa yang dapat menyebabkan penyakit. Limbah gas ini menjadi salah satu penyebab pencemaran udara yang sangat berbahaya apabila tersebar dan terhirup langsung oleh manusia.

c. Pembangkit Listrik



Sumber :

<https://www.kompas.com/skola/read/2022/10/06/140000769/pembangkit-listrik-pengertian-proses-dan-jenisnya?page=all>

Pemicu pencemaran udara selanjutnya yaitu penggunaan pembangkit listrik yang menggunakan batu bara, gas dan minyak bumi. Akibat dari penggunaan itu adalah pembakar tidak sempurna, hingga dapat mempengaruhi kualitas udara.

d. Aktivitas Pertambangan



Sumber : <https://borneo24.com/seputar-borneo/kalimantan-timur/aktivitas-tambang-batu-bara-ilegal-semakin-meningkat-di-kabupaten-kukar/>

Pertambangan yang menggunakan alat berat dapat mencemarkan kualitas udara karena menghasilkan polutan seperti bahan kimia dan

debu. Ketika jumlah polutan sangat banyak, maka kualitas udara akan semakin memburuk.

e. Pembakaran Sampah



Sumber : <https://balicaringcommunity.org/bahaya-membakar-sampah.html>

Pembakaran sampah, baik dalam skala kecil maupun besar dapat menyebabkan asap yang menurunkan kualitas udara. Selain itu, sampah yang menumpuk dengan jumlah besar juga dapat mencemarkan udara karena mengandung gas metana yang berbahaya untuk kesehatan.

DAFTAR PUSTKA

- Lingkungan. Jurnal LAPAN . Berita Dirgantara. Volume 2. Nomor 1.
- Noel de Nevers. 2000. Air Pollution Control Engineering. University of Utah, Chemical engineering. McGraw-Hill International
- Ramayana, Kiki. (2014). Pengaruh Jumlah Kendaraan Dan Faktor Meteorologis (Suhu, Kelembaban, Kecepatan Angin) Terhadap Peningkatan Konsentrasi Gas Pencemar CO (Karbon Monoksida) Pada Persimpangan Jalan Kota Semarang (Studi Kasus Jalan Karangrejo Raya, Sukun Raya, Dan Ngesrep Timur V). Laporan Tugas Akhir. Program Studi Teknik Lingkungan Diponegoro, Semarang
- Sihotang, S. R. 2010. Pemetaan Distribusi Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) dari Kontribusi Kendaraan Bermotor di Kampus ITS Surabaya. Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember .Surabaya.
- Nisrina Setyan dan Asep Sofyan. 2012. Analisis Distribusi Pencemar Udara NO₂, SO₂,CO, dan O₂ di Jakarta denan WRF-CHEM. Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Wardhana, Wisnu Arya. 2001. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit ANDI. Yogyakarta
- Wardhana, A.W, 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Edisi Revisi. Penerbit Andi Offset: Yogyakarta
- Zendrako, E. 2010. Pengukuran Kadar Gas Pencemar Nitrogrn Dioksida Di Udara Sekitar Kawasan Industri. Medan. Universitas Sumatera Selatan.
- Kamal, Nahlan. 2015. Studi tingkat kualitas udara pada kawasan mall panakukang di Makassar.
- Purnomo, A. 2014. Kajian cuaca dengan parameter polutan. Skripsi. Universitas Hasanudin. Makassar.
- Shostya, Anna. 2016. Ambient Air Pollution in China : Predicting a Turning Point. International Atlantic Economic Society. New York City.

Sudrajad, Agung. 2006. Pencemaran Udara. Repository.ipb.ac.id. diakses tanggal 10 Januari 2023.

Suryanto.2012. Analisis Tingkat Polusi Udara Terhadap Pengaruh pertumbuhan Kendaraan di Jakarta. Skripsi.Universitas Gunadarma. Jakarta

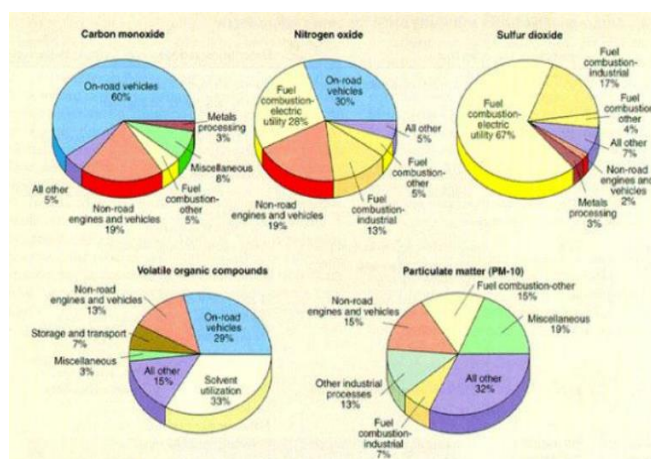
Yanismai, 2003. Hubungan antara kepadatan lalu lintas dengan kualitas udara di kota Padang. Skripsi. Universitas Negeri Padang. Padang.

Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Jakarta. 2013. Zat – zat Pencemar Udara.

F. REAKSI KIMIA

A. SIFAT KIMIA PENCEMARAN UDARA

Polutan yang bersifat kimia, adalah polutan yang biasanya berasal dari suatu bahan yang bila bercampur dengan target terjadi reaksi kimia antara polutan tersebut dengan target. Bahkan reaksi kimia tersebut bisa merupakan reaksi berantai yang membahayakan lingkungan sekitarnya polutan yang bersifat kimia dapat dijelaskan sebagai berikut:



1. CO₂

Pencemaran udara yang paling menonjol adalah semakin meningkatnya kadar CO₂ di udara. Karbondioksida itu berasal dari pabrik, mesin-mesin yang menggunakan bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi), juga dari mobil, kapal, pesawat terbang, dan pembakaran kayu. Meningkatnya kadar CO₂ di udara tidak segera diubah menjadi oksigen oleh tumbuhan karena banyak hutan di seluruh dunia yang ditebang. Sebagaimana diuraikan diatas, hal demikian dapat mengakibatkan efek rumah kaca.

Berasal dari :

a. Pembakaran tidak sempurna (terhadap karbon / komponen yg mengandung karbon)

$$2 \text{ C} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}$$

$$2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$$

- Bila jumlah oksigen tidak mencukupi untuk pembakaran sempurna atau bahan bakar lebih banyak daripada udara
- Reaksi 1 berlangsung 10 kali lebih cepat

Sumber

<http://lelyria.lecture.ub.ac.id/>

2. CO

Di lingkungan rumah dapat pula terjadi pencemaran. Misalnya, menghidupkan mesin mobil di dalam garasi tertutup. Jika proses pembakaran di mesin tidak sempurna, maka proses pembakaran itu menghasilkan gas CO (karbonmonoksida) yang keluar memenuhi ruangan. Hal ini dapat membahayakan orang yang ada di garasi tersebut. Selain itu, menghidupkan AC ketika tidur di dalam mobil dalam keadaan tertutup juga berbahaya. Bocoran gas CO dari knalpot akan masuk ke dalam mobil, sehingga dapat menyebabkan kematian.

b. Reaksi antara karbondioksida dan komponen yang mengandung karbon (pada T tinggi) → biasanya terjadi pada pembakaran di furnace

$$\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2 \text{ CO}$$

b. Pada T tinggi → karbondioksida terurai menjadi karbonmonoksida dan atom O (makin tinggi T → gas CO₂ yang terdisosiasi makin banyak)

$$\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$$

Sumber

<http://lelyria.lecture.ub.ac.id/>

3. Ozon

Ozon merupakan molekul kimia yang terdiri dari 3 atom oksigen yang saling melekat dan merupakan bahan yang berenergi. Bila ozon berkontak dengan permukaan bahan maka ia dapat cepat mengeluarkan energi kimia yang kuat. Bila hal ini terjadi pada jaringan biologik terutama saluran nafas, energi ini akan menyebabkan kerusakan pada jaringan yang sensitif tersebut baik pada saluran nafas bagian atas (trachea) maupun bagian bawah (paru-paru). Karena bentuk molekul ozon adalah hasil dari energi solar (matahari) dengan reaksi fotokimia dari polutan, maka tidak mengherankan bila konsentrasi ozon di udara meningkat pada saat matahari bersinar terik, sehingga konsentrasi ozon mencapai puncaknya pada tengah hari. Standar konsentrasi di udara telah ditentukan di Amerika yaitu 0,08 ppm akan mengganggu kesehatan bila kondisi tersebut berlanjut sampai 8 jam, efeknya ialah sebagai berikut:

- a. Mengiritasi hidung dan tenggorokan
- b. Pada beberapa saat menimbulkan sakit pada dada dan sulit untuk mengambil nafas dalam-dalam.
- c. Mengiritasi mata dan sakit kepala
- d. Meningkatkan ekskresi mukus pada saluran nafas sehingga menimbulkan batuk berdahak. Seperti halnya oksigen, ozon mudah larut dalam cairan yang melapisi saluran nafas. Tetapi beberapa molekul ozon dapat berpenetrasi kedalam alveoli paru. Dinding alveoli akan teriritasi dan menimbulkan respon imun dimana sel makrofag masuk kedalam alveoli untuk melindungi alveoli dari bahan toksik tersebut. Hal tersebut menyebabkan dinding alveoli menebal. Bila ozon yang terhirup dalam waktu yang cukup lama, akan dapat menyebabkan kerusakan paru yang permanen.

4. Timbal

Timbal (Pb) merupakan gas buang yang dapat membahayakan kesehatan bersifat akut dan kronik, gangguan bersifat akut seperti mual, muntah, sakit perut dan lainnya. Sedangkan gangguan bersifat kronik seperti depresi, sakit kepala, sulit tidur. Sumber pb dalam ruang biasanya berasal dari debu cat.

5. CFC

Pencemara udara yang berbahaya lainnya adalah gas khloro fluoro karbon (disingkat CFC). Gas CFC digunakan sebagai gas pengembang, karena tidak beraksi, tidak berbau, tidak berasa, dan tidak berbahaya. Gas ini dapat digunakan misalnya untuk mengembangkan busa (busa kursi), untuk AC (freon), pendingin pada almari es, dan penyemprot rambut (hair spray). Gas CFC yang membumbung tinggi dapat mencapai stratosfer terdapat lapisan gas ozon (O_3). Lapisan ozon ini merupakan pelindung bumi dari pengaruh cahaya ultraviolet. Kalau tidak ada lapisan ozon, radiasi cahaya ultraviolet mencapai permukaan bumi, menyebabkan kematian organisme, tumbuhan menjadi kerdil, menimbulkan mutasi genetik, menyebabkan kanker kulit atau kanker retina mata. Jika gas CFC mencapai ozon, akan terjadi reaksi antara CFC dan ozon, sehingga lapisan ozon tersebut “berlubang” yang disebut sebagai “lubang” ozon. Menurut pengamatan melalui pesawat luar angkasa, lubang ozon di kutub Selatan semakin lebar. Saat ini luasnya telah melebihi tiga kali luas benua Eropa. Karena itu penggunaan AC harus di batasi.

6. SO, SO₄

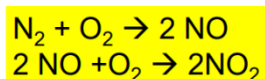
Gas belerang oksida (SO, SO₄) di udara juga dihasilkan oleh pembakaran fosil (minyak, batubara). Gas tersebut dapat beraksi dengan gas nitrogen oksida dan air hujan, yang menyebabkan air hujan menjadi asam. Maka terjadilah hujan asam. Hujan asam mengakibatkan tumbuhan dan hewan-hewan tanah mati. Produksi pertanian merosot. Besi dan logam mudah

berkarat. Bangunan-bangunan kuno, seperti candi, menjadi cepat usang dan rusak. Demikian pula bangunan gedung dan jembatan.

7. Nitrogen Oksida

Nitrogen oksida adalah gas insulator panas yang sangat kuat. Ia dihasilkan terutama dari pembakaran bahan bakar fosil dan oleh lahan pertanian. Nitrogen oksida dapat menangkap panas 300 kali lebih besar dari karbondioksida. Gas Nitrogen Oksida memiliki 2 sifat yang berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari udara secara visual sulit diamati, karena gas tersebut tidak berwarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO₂ bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya coklat kemerahan. Gas ini berasal dari limbah-limbah industri, transportasi, pembangkit listrik, pembuangan sampah, dan lain-lain. Pencemaran udara oleh gas NO, juga dapat menyebabkan terjadinya Peroxy Acetil Nitrate yang menyebabkan iritasi pada mata, serta dapat menyebabkan terjadinya kabut foto kimia atau Photo Chemistry Smog yang sangat mengganggu lingkungan.

Di atmosfer jumlah NO > NO₂



Sumber

<http://lelyria.lecture.ub.ac.id/>

8. Pencemaran Hidrokarbon (HC)

Pencemaran udara oleh Hidrokarbon (HC) dalam jumlah sedikit tidak begitu membahayakan kesehatan manusia, tapi apabila dalam jumlah di udara sangat banyak dan bercampur dengan bahan pencemar lainnya, maka apabila terhisap oleh manusia menyebabkan terjadinya pembentukan sel-sel kanker. Biasanya gas ini banyak ditemukan di kawasan industri dan kota-kota besar seperti Jakarta yang lalu lintasnya padat.

Sumber

Terdiri dari hidrogen dan karbon
 Pada suhu kamar :

- 1-4 atom karbon → gas (sering menimbulkan pencemaran udara)
- 5 atau lebih → cair atau padat (semakin tinggi jumlah karbon cenderung berbentuk padat)

HC gas → tercampur dengan gas-gas hasil buangan lainnya. HC cair → membentuk semacam kabut minyak.
 HC padat → membentuk asap yang pekat dan akhirnya menggumpal menjadi debu

<http://lelyria.lecture.ub.ac.id/>

9. Pencemaran Partikel

Pencemaran oleh partikel disebabkan oleh dua hal, yaitu: Bisa karena peristiwa alamiah dan karena ulah manusia melalui kegiatan industri dan teknologi. Partikel yang mencemari udara dapat merusak lingkungan, tanaman, hewan dan manusia. Pada umumnya udara yang telah tercemar oleh partikel dapat menimbulkan berbagai macam penyakit saluran pernafasan.

KOMPONEN	BENTUK
Besi	$\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_3\text{O}_4$
Magnesium	MgO
Kalsium	CaO
Aluminium	Al_2O_3
Sulfur	SO_2
Titanium	TiO_2
Karbonat	CO_3^{2-}
Silikon	SiO_2
Fosfor	P_2O_5
Kalium	K_2O
Natrium	Na_2O
Lain-lain	

Sumber

<http://lelyria.lecture.ub.ac.id/>

10. Pemakaian Insektisida

Akhir-akhir ini ditemukan sisa obat pemberantas hama pada sayuran dan buah-buahan, padahal apabila dimakan akan menimbulkan penyakit kanker. Hal ini juga ditemukan pada obat-obat yang disemprotkan ke udara, seperti obat nyamuk semprot dan lain-lain. Dimana dapat merugikan kesehatan manusia.

11. Hidrogen Sulfida (H_2S)

Hidrogen sulfida (H_2S) merupakan gas yang dapat menghasilkan bau tidak sedap. Gas tersebut bersifat toksik bagi manusia dan ternak, dapat meningkatkan kerentanan terhadap penyakit, dan dapat mengganggu efisiensi aktivitas para pekerja yang berada di sekitar kawasan tersebut. Hidrogen sulfida diproduksi oleh pembusukan mikrobiologi dari senyawa sulfat dan reduksi mikroba dari sulfat, uap panas bumi, serbuk kayu, aktivitas antropogenik seperti pembakaran batu bara dan residu minyak bumi.

12. Sulfur Dioksida (SO_2)

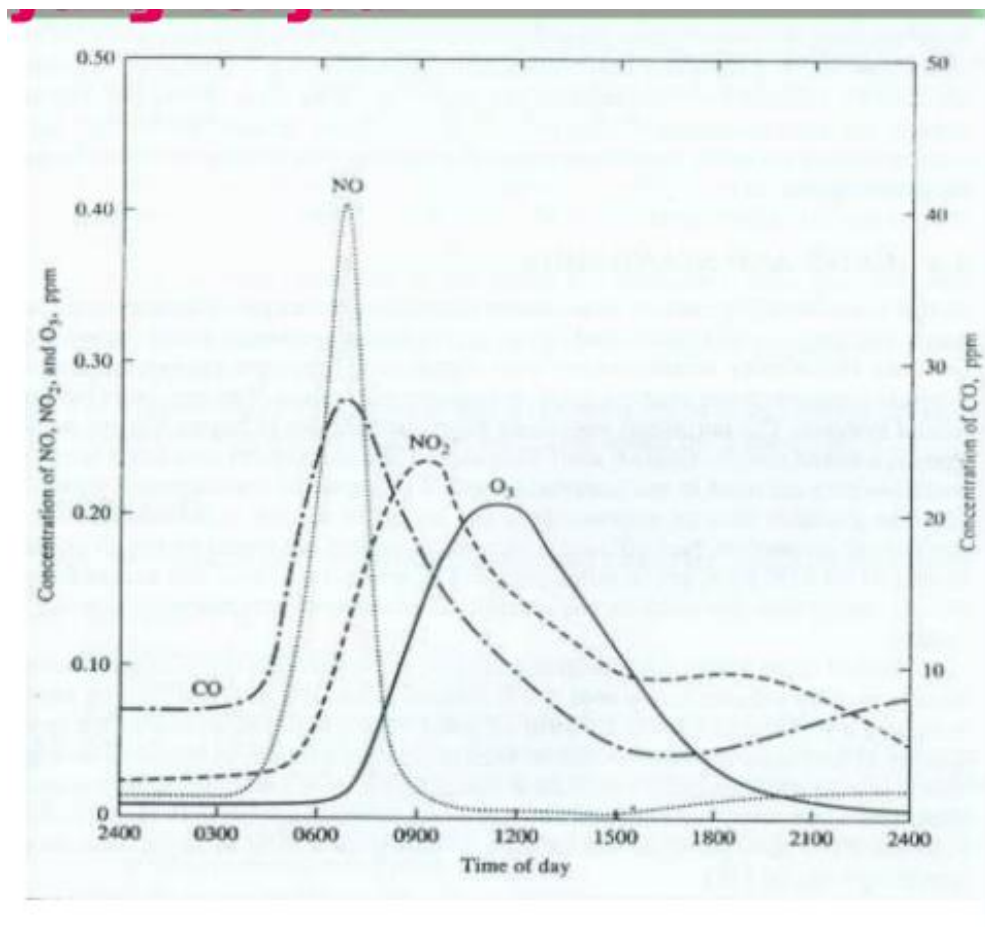
Pencemaran udara oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan sulfur trioksida (SO_3) dan keduanya disebut sebagai SO_x . Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif. Pembakaran bahan-bahan yang mengandung sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur dioksida, tetapi jumlah relatif masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Meskipun udara tersedia dalam jumlah cukup. Sulfur dioksida selalu terbentuk dalam jumlah terbesar. Jumlah SO_3 yang terbentuk dipengaruhi oleh kondisi reaksi, terutama suhu yang bervariasi dari 1 sampai 10 % dari total SO_2 .

13. Amoniak (NH_3)

Amoniak adalah salah satu indikator pencemar udara pada bentuk kebauan. Gas amoniak adalah gas yang tidak berwarna, memiliki bau yang menyengat. Biasanya, amoniak berasal dari aktifitas mikroba, industri amoniak, pengolahan limbah dan pengolahan batu bara. Amoniak di atmosfer bereaksi dengan nitrat dan sulfat sehingga terbentuk garam amoniak yang sangat korosif. Amoniak yang menguap akan mencemari udara dan mengganggu pernapasan. Titik leburnya ialah $-75^\circ C$ dan titik

didihnya ialah -33.7°C . Larutan amoniak sebanyak 10 % dalam air mempunyai pH 12. Sumber amoniak adalah reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri dan domestik. Amoniak disintesis dengan reaksi reversibel antara hidrogen dengan nitrogen.

B. JENIS DAN KARAKTERISTIK PENCEMAR UDARA



Sumber

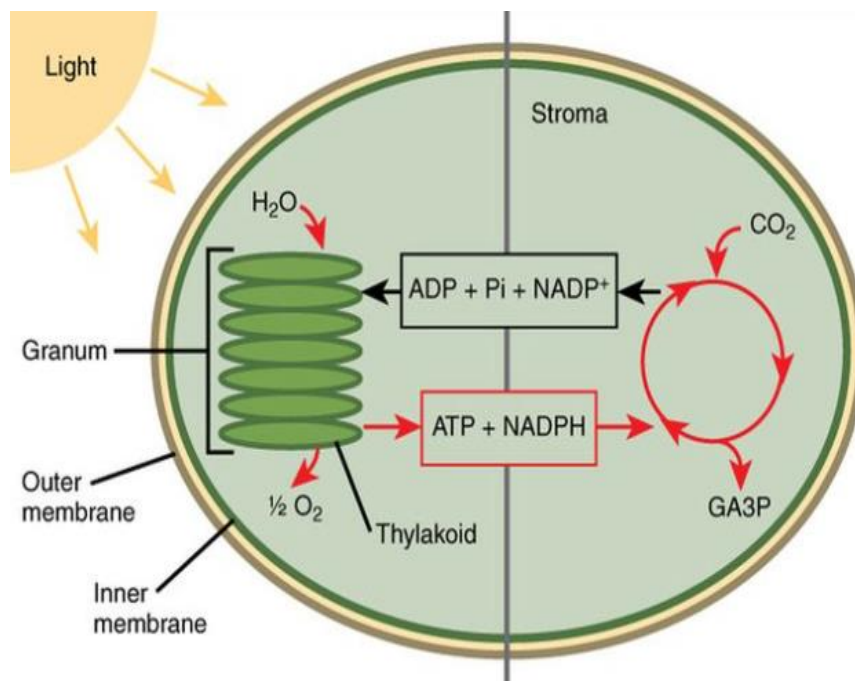
<http://lelyria.lecture.ub.ac.id/>

1. Pencemar primer CO dan NO diemisikan pagi hari dari kendaraan bermotor. Semua pencemar udara yang ada dalam bentuk yang hampir tidak berubah (sekitar 90%) / langsung dari sumber kegiatan manusia

(penggunaan bahan bakar minyak/batu bara, peleburan/pemurnian logam, transportasi dll) Contoh : partikulat, NO_x, CO, SO₂

2. Puncak konsentrasi CO & NO terjadi pada waktu pagi hari.
3. Pencemar sekunder: NO dan O₃ terbentuk pada waktu siang hari (reaksi pencemar primer dengan sinar matahari). Semua pencemar diudara yang sudah berubah karena reaksi tertentu antara dua atau lebih kontaminan / polutan atau terbentuk oleh interaksi kimiawi antara pencemar primer dan senyawa-senyawa penyusun atmosfer alamiah. Contoh : ozon-O₃, Peroxy Acetyl Nitrate (PAN), Asam sulfat, asam nitrat.

C. REAKSI KIMIA PENYEHATAN UDARA



Sumber :

www.kompas.com

Kehadiran pepohonan maupun tanaman yang hijau selalu disebut dapat mengatasi polusi udara yang telah banyak melanda di beberapa wilayah negara di dunia, khususnya kota-kota besar yang minim penghijauan.

Beragam macam pepohonan khususnya trembesi atau pohon hujan maupun tanaman seperti lidah mertua, lidah buaya, lili, anggrek, mawar, dan beragam tanaman lainnya dipercaya mampu menyerap dan merekat polusi.

Oleh karena itu, kota-kota besar dengan tingkat polusi udara yang tinggi mulai menanam beragam pohon dan tanaman di sepanjang jalan atau tempat-tempat tertentu untuk meminimalisir tingkat polusi udara.

Pohon dan tumbuhan atau tanaman adalah pabrik penghasil oksigen yang membersihkan udara, menyerap karbon dioksida, dan memasok oksigen bagi hewan dan manusia untuk bernapas. Pepohonan dan tanaman luar ruangan dapat membantu mengalahkan efek merugikan dari polusi udara dan sangat memurnikan udara. Udara yang tercemar mengandung partikel, bau, dan gas berbahaya seperti nitrogen oksida, sulfur dioksida, dan amonia. Polutan ini mengendap di daun pohon dan tumbuhan.

Daun dan permukaan tanaman menyerap polutan ini dan melalui stomata (pori-porinya) dan menyaring zat berbahaya ini dari udara. Selain itu, pohon dan tanaman juga mampu memerangkap panas dan mengurangi gas rumah kaca di atmosfer. Mereka juga mengurangi tingkat ozon permukaan tanah dan memperkaya udara dengan oksigen yang memberi kehidupan. Diketahui bahwa pepohonan dan tanaman yang ada di hutan dunia mampu menyerap sepertiga emisi global setiap tahunnya.

Jika laju penggundulan hutan terus terjadi, hal itu akan berdampak parah pada kualitas udara. Apabila pepohonan dan tanaman dibandingkan, maka efektivitas menyerap polusi yang lebih tinggi itu dilakukan oleh pepohonan. Pepohonan mampu menyerap polutan lebih tinggi karena memiliki jumlah daun yang lebih banyak dan bentuk yang lebih besar. Sementara, tanaman seperti lidah buaya, lidah mertua, lili, anggrek dan lain-lain memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dibandingkan pohon, sehingga proses penyerapan polusi udara tidak lebih tinggi. Pepohonan dan tanaman dapat meningkatkan kualitas udara secara langsung dan tidak langsung. Secara tidak langsung, mereka dapat membantu dengan menaungi permukaan dan menurunkan suhu.

Jika bangunan teduh oleh pepohonan, hal itu mengurangi kebutuhan akan AC konvensional, dan emisi gas rumah kaca yang menyertainya. Selain itu, suhu yang lebih rendah menurunkan risiko polutan berbahaya seperti ozon permukaan tanah yang biasanya melonjak pada hari-hari panas di daerah perkotaan. Pohon sangat efektif dalam menghilangkan materi partikulat (PM). PM hadir dalam bentuk partikel kecil bahan kimia organik, asam, logam, dan debu, yang dipancarkan dari kendaraan dan pabrik berbahan bakar fosil, serta lokasi konstruksi.

Partikel terbesar berukuran hingga 10 mikrometer (dikenal sebagai PM10s), yang kira-kira seperlima dari lebar rambut manusia. Lalu ada PM2.5s, berukuran 2,5 mikrometer, dan bahkan polusi partikel nano yang lebih kecil.

Partikel halus dapat dengan mudah menembus ke dalam sistem pernapasan manusia, menyebabkan penyakit paru-paru dan kardiovaskular atau memperburuk penyakit pernapasan. "Pepohonan dan tanaman bertindak sebagai satu set pemurni PM yang tersedia. Pohon dapat membantu mengurangi PM dengan dua cara utama," kata Prashant Kumar, direktur pendiri Pusat Global untuk Penelitian Udara Bersih di Universitas Surrey. Tetapi pohon juga memainkan peran penting dalam menghilangkan polutan dari udara secara langsung. Tanaman sering dilihat sebagai "paru-paru" ekosistem karena mereka menyerap karbon dioksida dan mengeluarkan oksigen.

Tetapi pohon juga memainkan peran penting dalam menghilangkan polutan dari udara secara langsung. Tanaman sering dilihat sebagai "paru-paru" ekosistem karena mereka menyerap karbon dioksida dan mengeluarkan oksigen. Selanjutnya pohon dan tanaman juga bertindak sebagai "hati" ekosistem, menyaring polutan atmosfer seperti sulfur dioksida dan nitrogen dioksida melalui daunnya.

Fotosintesis merupakan pembuatan makanan oleh tumbuhan hijau melalui proses biokimia pada klorofil dengan bantuan sinar matahari. Tumbuhan memerlukan sinar matahari untuk melakukan fotosintesis sehingga kebutuhan nutrisinya terpenuhi. Karena melakukan pembuatan makanan sendiri,

tumbuhan hijau dikategorikan sebagai organisme autotrof. Klorofil sendiri merupakan pigmen pada tumbuhan hijau yang berfungsi menangkap sinar matahari lalu dikonversi menjadi energi kimia yang terikat dalam molekul karbohidrat.

Dalam fotosintesis, energi cahaya matahari bereaksi dengan enam molekul karbon dioksida (CO_2) dan enam molekul air (H_2O) untuk menghasilkan satu molekul glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dan enam molekul oksigen (O_2). Dengan persamaan: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{cahaya} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ Dari hasil tersebut CO_2 dikonversikan menjadi glukosa padat untuk dikonsumsi tumbuhan bersama dengan air. Sedangkan oksigen (O_2) dilepaskan ke udara.

DAFTAR PUSTAKA

Artikel ini telah tayang di [Kompas.com](https://www.kompas.com) dengan judul "Memahami Proses dan Reaksi Kimia Fotosintesis", Klik untuk baca: <https://www.kompas.com/skola/read/2019/12/13/150000269/memahami-proses-dan-reaksi-kimia-fotosintesis?page=all>.

Penulis : Serafica Gischa
Editor : Nibras Nada Nailufar

Artikel ini telah tayang di [Kompas.com](https://www.kompas.com) dengan judul "Bagaimana Cara Tanaman Dapat Mengurangi Polusi Udara?", Klik untuk baca: <https://www.kompas.com/homey/read/2020/12/22/190042376/bagaimana-cara-tanaman-dapat-mengurangi-polusi-udara?page=all>.

Penulis : Abdul Haris Maulana
Editor : Sakina Rakhma Diah Setiawan

Oj sumampouw, diktat pencemaran lingkungan. Sam ratulangi university. Mando. 2015.5

Pohan, N. Pencemaran Udara Dan Hujan Asam. 2002. Available from <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/1371.kimianurhasmawaty2.pdf>, diakses pada 25 mei 2021. 8

dinkes.kalbarprov.go.id

<http://lelyria.lecture.ub.ac.id/>

G. MEKANISME PENCEMARAN UDARA

A. Mekanisme Pencemaran Udara

Pencemaran udara berawal dari berbagai jenis emisi alami dan antropogenik. Emisi ini didefinisikan sebagai pencemar primer, karena pencemar-pencemar golongan ini diemisikan langsung ke udara dari sumbernya (misalnya: SO₂, NO, CO, Pb, zat-zat organik dan partikel) yang pada dasarnya ditentukan oleh faktor-faktor meteorologi. Bersamaan dengan itu terjadi pula proses-proses transformasi fisik dan kimia yang mengubah pencemar primer menjadi unsur gas atau partikulat bentuk lain yang dikenal sebagai pencemar sekunder.

Pada dasarnya kehadiran polutan di udara umumnya berasal dari aktivitas manusia. Dalam pemaparan polutan ke udara terdapat 3 komponen utama yang saling berinteraksi dan menentukan kelanjutannya untuk memenuhi criteria sebagai pencemaran atau tidak, yaitu sumber emisi, atmosfer, dan reseptor. Proses selanjutnya sebuah jenis kontaminan yang dilepas dari sumber emisi masuk ke atmosfer sebagai bahan pencemar. Bila kontaminan tersebut mempunyai waktu tinggal paling lama dan tidak mengalami perubahan, kuantitas mempengaruhi NAB (Nilai Ambang Batas) yang telah ditentukan oleh suatu daerah serta potensial mengganggu lingkungan, maka kontaminan tersebut baru dapat di sebut “polutan” atau pencemar. Polutan tersebut berpengaruh terhadap komposisi udara di atmosfer.



Gambar 1. Mekanisme Pergerakan Pencemaran Udara

(Sumber : https://lms-paralel.esaunggul.ac.id/pluginfile.php?file=/70494/mod_resource/content/1/3_7263_KMS244_092018_pdf.pdf)

Melalui ekologi kita ketahui bahwa udara merupakan salah satu unsur dari sistem ekologi yang luas, yang merupakan salah satu kelompok unsur-unsur abiotik. Unsur abiotik (atmosfer, hidrosfer, litosfer) yang tergolong sebagai salah satu lingkungan fisik, di samping unsur tanah dan air yang kita kenal. Baik tanah, air, maupun udara dengan berbagai unsur lingkungan lain (biotis). Unsur biotik (manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan, mikroorganisme) yang secara alamiah memiliki suatu interaksi yang kompleks.

Sumber-sumber pencemaran karena tangan manusia saat ini terus bertambah mulai dari pembakaran dari industri, pembakaran bahan-bahan bakar pada alat transportasi, sampai pembakaran sampah. Bahan-bahan buangan ke dalam udara akan memberikan pengaruh terhadap kelestarian, stabilitas, dan kualitas lingkungan udara, sehingga timbul fenomena efek rumah kaca (*green house effects*). Pengaruh dari *green house effects*:

- a. Bertambahnya kadar CO₂ dalam udara. Gas CO₂ mempunyai pengaruh penyerapan energy radiasi sinar matahari.

- b. Pengaruh partikel-partikel terhadap keseimbangan panas permukaan "bumi-atmosfer".
- c. Pengaruh perubahan cuaca/iklim karena pemborosan penggunaan tenaga.

Pencemaran udara yang terjadi di dalam atmosfer bergantung pada jenis kontaminan. Tidak semua energi panas berhasil diubah menjadi energi mekanik. misal, untuk mesin bensin, efisiennya rata-rata dibawah 25%, sisanya dibuang dalam bentuk panas dan gas. Demikian cepat proses pembuangan dan banyaknya jumlah limbah buangan itu, sehingga bekerjanya siklus dalam alam tidak mampu mengimbangnya. Akibatnya terjadilah pencemaran. Berikut adalah kontaminan pencemar udara :

- a. Kontaminan CO₂ dan CO
- b. Senyawa-senyawa oksida nitrogen (NO_x)
- c. Belerang Oksida (SO_x)
- d. Partikel
- e. Hidrokarbon (HC)
- f. Chlorine
- g. Timbal (Pb)
- h. Karbon dioksida (CO₂)

Faktor - Faktor Meteorologi

Faktor meteorologis mempunyai peranan yang penting dalam menentukan kualitas udara di suatu daerah. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi pencemaran udara di atmosfer, misalnya jenis atau bahan pencemar udara, konsentrasi pencemaran udara, kecepatan dan arah angin berhembus, distribusi suhu vertikal dan kelembaban serta sinar matahari. Faktor ini yang menentukan suatu daerah akan tercemar dan seberapa cepat kadar pencemar menipis akibat pencampuran dengan udara lingkungan setelah bahan tersebut meninggalkan sumbernya. Faktor meteorologis akan menentukan penyebaran pencemar di

udara ambien, baik yang berasal dari emisi sumber tidak bergerak maupun dari sumber bergerak. Kondisi meteorologi akan menentukan luasan penyebaran pencemar, pola penyebaran, dan jangkauan penyebaran serta jangka waktu penyebarannya (Kemenkes, 2012)

1. Kelembaban

Unsur utama yang mempengaruhi kelembaban adalah adanya H₂O, apabila kandungan air di udara tinggi maka kelembaban udara rendah. Kelembaban udara relatif rendah (<60%) di daerah tercemar SO₂, akan mengurangi efek korosif dari bahan kimia tersebut. Pada kelembaban relatif rendah atau sama dengan 80% di daerah tercemar SO₂, akan terjadi peningkatan efek korosif SO₂ tersebut. $(H_2O + S) \rightarrow H_2SO_4$ (asam)

2. Temperatur atau suhu

Suhu yang menurun pada permukaan bumi, dapat menyebabkan peningkatan kelembaban relatif, sehingga akan meningkatkan korosif bahan pencemar di daerah yang udaranya tercemar. Pada suhu yang meningkat akan meningkatkan pula kecepatan reaksi suatu bahan kimia.

3. Sinar Matahari

Dapat mempengaruhi bahan oksidan terutama O₃ di atmosfer. Keadaan tersebut dapat menyebabkan kerusakan bahan atau alat bangunan, atau bahan yang terbuat dari karet. Jadi dapat dikatakan bahwa sinar matahari dapat meningkatkan rangsangan untuk merusak bahan.

4. Pergerakan Udara

Pergerakan udara yang cepat dapat meningkatkan abrasi bahan bangunan. Kecepatan angin mempengaruhi distribusi pencemaran. Konsentrasi pencemaran akan berkurang jika angin kencang dan membagikan pencemaran ini secara mendatar atau tegak lurus.

Permukaan daratan juga mempengaruhi kecepatan angin, apakah bukit-bukit atau lembah-lembah, lorong sempit bagi angin dapat meningkatkan kecepatan hembusan angin.

Keadaan udara yang tidak stabil sangat menguntungkan kita sebab keadaan tersebut membuat aliran udara cepat turun naik yang berarti pula mempercepat penurunan konsentrasi pencemaran udara.

a. **Mixing Depth**

Artinya suatu ekspansi dimana udara panas naik dan bercampur dengan udara yang lebih dingin di atasnya, sampai mencapai atau menemukan titik persamaan udara dan temperaturnya. Kedalaman mixing depth ini dapat mencapai beberapa ribu ft tetapi juga tergantung dari keadaan cuaca. Hal ini penting untuk menggambarkan sampai dimana batas paling atas dari penyebaran polutan

b. **Inversi**

Ialah suatu kejadian atau keadaan dimana lapisan udara yang dingin terkurung oleh lapisan udara yang lebih panas di atasnya sehingga udara tersebut tidak bisa naik dan bercampur dengan udara di atasnya.

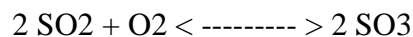
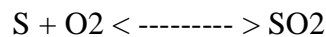
(Sumber : *Pengantar Pencemaran Udara* ,Yayasan Kita Menulis, 2022,hlm 105)

B. Mekanisme Zat-zat Pencemar Udara

1. Sulfur Oksida

Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan Sulfur trioksida (SO_3), dan keduanya disebut sulfur oksida (SO_x). Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar diudara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif. Pembakaran bahan-bahan yang mengandung Sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur oksida, tetapi jumlah relative masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Di udara SO_2 selalu terbentuk dalam jumlah besar. Jumlah SO_3 yang terbentuk bervariasi dari 1 sampai 10% dari total SO_x .

Mekanisme pembentukan SO_x dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut :



SO₃ di udara dalam bentuk gas hanya mungkin ada jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika uap air terdapat dalam jumlah cukup, SO₃ dan uap air akan segera bergabung membentuk droplet asam sulfat (H₂SO₄) dengan reaksi sebagai berikut :

$$SO_2 + H_2O_2 \text{-----} > H_2SO_4$$

Komponen yang normal terdapat di udara bukan SO₃ melainkan H₂SO₄. Tetapi jumlah H₂SO₄ di atmosfer lebih banyak dari pada yang dihasilkan dari emisi SO₃ hal ini menunjukkan bahwa produksi H₂SO₄ juga berasal dari mekanisme lainnya. Setelah berada di atmosfer sebagai SO₂ akan diubah menjadi SO₃ (kemudian menjadi H₂SO₄) oleh proses-proses fotolitik dan katalitik. Jumlah SO₂ yang teroksidasi menjadi SO₃ dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk jumlah air yang tersedia, intensitas, waktu dan distribusi spektrum sinar matahari, jumlah bahan katalik, bahan sorptif dan alkalin yang tersedia. Pada malam hari atau kondisi lembab atau selama hujan SO₂ di udara diabsorpsi oleh droplet air alkalin dan bereaksi pada kecepatan tertentu untuk membentuk sulfat di dalam droplet.

Sepertiga dari jumlah sulfur yang terdapat di atmosfer merupakan hasil kegiatan manusia dan kebanyakan dalam bentuk SO₂. Dua pertiga hasil kegiatan manusia dan kebanyakan dalam bentuk SO₂. Dua pertiga bagian lagi berasal dari sumber-sumber alam seperti vulkano dan terdapat dalam bentuk H₂S dan oksida. Masalah yang ditimbulkan oleh bahan pencemar yang dibuat oleh manusia adalah ditimbulkan oleh bahan pencemar yang dibuat oleh manusia adalah dalam hal distribusinya yang tidak merata sehingga terkonsentrasi pada daerah tertentu. Sedangkan pencemaran yang berasal dari sumber alam biasanya lebih tersebar merata.

Tetapi pembakaran bahan bakar pada sumbernya merupakan sumber pencemaran Sox, misalnya pembakaran arang, minyak bakar gas, kayu dan sebagainya. Sumber SOx yang kedua adalah dari proses-proses industri seperti pemurnian petroleum, industri asam sulfat, industri peleburan baja dan sebagainya. Pabrik peleburan baja merupakan industri terbesar yang menghasilkan Sox. Hal ini disebabkan adanya elemen penting alami dalam bentuk garam sulfida misalnya tembaga (CuFeS_2 dan Cu_2S), zink (ZnS), Merkuri (HgS) dan Timbal (PbS).

Kebanyakan senyawa logam sulfida dipekatkan dan dipanggang di udara untuk mengubah sulfida menjadi oksida yang mudah tereduksi. Selain itu sulfur merupakan kontaminan yang tidak dikehendaki didalam logam dan biasanya lebih mudah untuk menghasilkan sulfur dari logam kasar daripada menghasilkannya dari produk logam akhirnya. Oleh karena itu SO_2 secara rutin diproduksi sebagai produk samping dalam industri logam dan sebagian akan terdapat di udara.

2. CO_2 dan CO

CO_2 sebagai absorber panas dan menghambat *terrestrial radiation* kepada udara. CO adalah gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna dari bahan-bahan yang mengandung karbon.

Karbon monoksida di lingkungan dapat terbentuk secara alamiah, tetapi sumber utamanya adalah dari kegiatan manusia. Karbon monoksida yang berasal dari alam termasuk dari lautan, oksidasi metal di atmosfer, pegunungan, kebakaran hutan dan badai listrik alam.

Pada peristiwa pembakaran, suhu suatu ruang bakar akan naik secara drastis, demikian juga dengan tekanan yang terjadi. Pada proses pembakaran tekanan yang baik adalah dari 40-60 bar dan pada temperatur 2000-2500 °C. Secara kimia proses pembakaran yang terjadi antara bahan

bakar yang berupa senyawa karbon dapat dijelaskan sebagai berikut. Apabila suplai udara cukup, akan terjadi proses sebagai berikut :



Atom karbon (C) yang dioksidasi dengan gas oksigen (O₂) akan menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) dan panas yang dikeluarkan sebagai hasil pembakaran. Gas karbon dioksida yang dihasilkan merupakan bentuk pembakaran yang sempurna dan gas ini pun tidak beracun sehingga aman bagi lingkungan.

Sedangkan apabila pembakaran terjadi pada jumlah udara yang tidak cukup, reaksi yang terjadi adalah :



dari reaksi antara 2 karbon yang bereaksi dengan gas oksigen pada pembakaran yang tidak sempurna atau kurangnya campuran udara akan menghasilkan gas karbon monoksida yang akan menjadi polusi bagi lingkungan dan menyebabkan keracunan (Haryati, 2007: 17).

Sumber CO buatan antara lain kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin. Berdasarkan estimasi, jumlah CO dari sumber buatan diperkirakan mendekati 60 juta Ton per tahun. Separuh dari jumlah ini berasal dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan sepertiganya berasal dari sumber tidak bergerak seperti pembakaran batubara dan minyak dari industri dan pembakaran sampah domestik. Didalam laporan WHO (1992) dinyatakan paling tidak 90% dari CO diudara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor. Selain itu asap rokok juga mengandung CO, sehingga para perokok dapat memajan dirinya sendiri dari asap rokok yang sedang dihisapnya.

Sumber CO dari dalam ruang (indoor) termasuk dari tungku dapur rumah tangga dan tungku pemanas ruang. Dalam beberapa penelitian ditemukan kadar CO yang cukup tinggi didalam kendaraan sedan maupun

bus. Kadar CO di perkotaan cukup bervariasi tergantung dari kepadatan kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan umumnya ditemukan kadar maksimum CO yang bersamaan dengan jam-jam sibuk pada pagi dan malam hari. Selain cuaca, variasi dari kadar CO juga dipengaruhi oleh topografi jalan dan bangunan disekitarnya. Pemajanan CO dari udara ambien dapat direfleksikan dalam bentuk kadar karboksihaemoglobin (HbCO) dalam darah yang terbentuk dengan sangat perlahan karena butuh waktu 4-12 jam untuk tercapainya keseimbangan antara kadar CO diudara dan HbCO dalam darah. Oleh karena itu kadar CO didalam lingkungan, cenderung dinyatakan sebagai kadar rata-rata dalam 8 jam pemajanan. Data CO yang dinyatakan dalam rata-rata setiap 8 jam pengukuran sepanjang hari (*moving 8 hour average concentration*) adalah lebih baik dibandingkan dari data CO yang dinyatakan dalam rata-rata dari 3 kali pengukuran pada periode waktu 8 jam yang berbeda dalam sehari. Perhitungan tersebut akan lebih mendekati gambaran dari respons tubuh manusia terhadap keracunan CO dari udara. Karbon monoksida yang bersumber dari dalam ruang (*indoor*) terutama berasal dari alat pemanas ruang yang menggunakan bahan bakar fosil dan tungku masak. Kadarnya akan lebih tinggi bila ruangan tempat alat tersebut bekerja, tidak memadai ventilasinya. Namun umumnya pemajanan yang berasal dari dalam ruangan kadarnya lebih kecil dibandingkan dari kadar CO hasil pemajanan asap rokok.

Beberapa Individu juga dapat terpajan oleh CO karena lingkungan kerjanya. Kelompok masyarakat yang paling terpajan oleh CO termasuk polisi lalu lintas atau tukang pakir, pekerja bengkel mobil, petugas industri logam, industri bahan bakar bensin, industri gas kimia dan pemadam kebakaran. Pemajanan CO dari lingkungan kerja seperti yang tersebut diatas perlu mendapat perhatian. Misalnya kadar CO di bengkel kendaraan bermotor ditemukan mencapai setinggi 600 mg/m³ dan didalam darah para pekerja bengkel tersebut bisa mengandung HbCO sampai lima kali lebih tinggi dari kadar normal. Para petugas yang bekerja di jalan raya diketahui

mengandung HbCO dengan kadar 4–7,6% (perokok) dan 1,4–3,8% (bukan perokok) selama sehari bekerja. Sebaliknya kadar HbCO pada masyarakat umum jarang yang melampaui 1% walaupun studi yang dilakukan di 18 kota besar di Amerika Utara menunjukkan bahwa 45 % dari masyarakat bukan perokok yang terpajan oleh CO udara, di dalam darahnya terkandung HbCO melampaui 1,5%. Perlu juga diketahui bahwa manusia sendiri dapat memproduksi CO akibat proses metabolismenya yang normal. Produksi CO didalam tubuh sendiri ini (endogenous) bisa sekitar 0,1+1% dari total HbCO dalam darah.

3. Nitrogen Dioksida

Oksida Nitrogen (NO_x) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). Walaupun ada bentuk oksida nitrogen lainnya, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara. Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya nitrogendioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam.

Nitrogen monoksida terdapat diudara dalam jumlah lebih besar daripada NO₂. Pembentukan NO dan NO₂ merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO₂.

Udara terdiri dari 80% Volume nitrogen dan 20% Volume oksigen. Pada suhu kamar, hanya sedikit kecendrungan nitrogen dan oksigen untuk bereaksi satu sama lainnya. Pada suhu yang lebih tinggi (diatas 121⁰C) keduanya dapat bereaksi membentuk NO dalam jumlah banyak sehingga mengakibatkan pencemaran udara. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai 1210 – 1.765 ⁰C, oleh karena itu reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dari proses pembakaran.

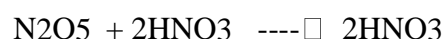
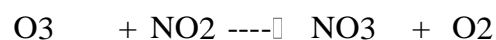
Dari seluruh jumlah oksigen nitrogen (NO_x) yang dibebaskan ke udara, jumlah yang terbanyak adalah dalam bentuk NO yang diproduksi oleh aktivitas bakteri. Akan tetapi pencemaran NO dari sumber alami ini tidak merupakan masalah karena tersebar secara merata sehingga jumlahnya menjadi kecil. Yang menjadi masalah adalah pencemaran NO yang diproduksi oleh kegiatan manusia karena jumlahnya akan meningkat pada tempat-tempat tertentu.

Kadar NO_x di udara perkotaan biasanya 10–100 kali lebih tinggi dari pada di udara pedesaan. Kadar NO_x di udara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm (500 ppb). Seperti halnya CO, emisi NO_x dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO_x yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan bermotor, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO_x buatan manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas, dan bensin.

Kadar NO_x di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor. Perubahan kadar NO_x berlangsung sebagai berikut :

- a) Sebelum matahari terbit, kadar NO dan NO₂ tetap stabil dengan kadar sedikit lebih tinggi dari kadar minimum sehari-hari.
- b) Setelah aktifitas manusia meningkat (jam 6-8 pagi) kadar NO meningkat terutama karena meningkatnya aktivitas lalu lintas yaitu kendaraan bermotor. Kadar NO tertinggi pada saat ini dapat mencapai 1-2 ppm.
- c) Dengan terbitnya sinar matahari yang memancarkan sinar ultra violet kadar NO₂ (sekunder) kadar NO₂ pada saat ini dapat mencapai 0,5 ppm.
- d) Kadar ozon meningkat dengan menurunnya kadar NO sampai 0,1 ppm.
- e) Jika intensitas sinar matahari menurun pada sore hari (jam 5-8

- malam) kadar NO meningkat kembali.
- f) Energi matahari tidak mengubah NO menjadi NO₂ (melalui reaksi hidrokarbon) tetapi O₃ yang terkumpul sepanjang hari akan bereaksi dengan NO. Akibatnya terjadi kenaikan kadar NO₂ dan penurunan kadar O₃.
- g) Produk akhir dari pencemaran NO_x di udara dapat berupa asam nitrat, yang kemudian diendapkan sebagai garam-garam nitrat didalam air hujan atau debu. Merkanisme utama pembentukan asam nitrat dari NO₂ di udara masih terus dipelajari. Salah satu reaksi dibawah ini diduga juga terjadi diudara tetapi diudara tetapi peranannya mungkin sangat kecil dalam menentukan jumlah asam nitrat di udara.
- h) Kemungkinan lain pembentukan HNO₃ didalam udara tercemar adalah adanya reaksi dengan ozon pada kadar NO₂ maksimum. O₃ memegang peranan penting dan kemungkinan terjadi tahapan reaksi sebagai berikut :



Reaksi tersebut diatas masih terus dibuktikan kebenarannya, tetapi yang penting adalah bahwa proses-proses di udara mengakibatkan perubahan NO_x menjadi HNO₃ yang kemudian bereaksi membentuk partikel-partikel.

4. Oksida

a. Sifat Fisik Dan Kimia

Oksidan (O₃) merupakan senyawa di udara selain oksigen yang memiliki sifat sebagai pengoksidasi. Oksidan adalah komponen atmosfer yang diproduksi oleh proses fotokimia, yaitu

suatu proses kimia yang membutuhkan sinar matahari mengoksidasi komponen-komponen yang tak segera dioksidasi oleh oksigen. Senyawa yang terbentuk merupakan bahan pencemar sekunder yang diproduksi karena interaksi antara bahan pencemar primer dengan sinar.

Hidrokarbon merupakan komponen yang berperan dalam produksi oksidan fotokimia. Reaksi ini juga melibatkan siklus fotolitik NO₂. Polutan sekunder yang dihasilkan dari reaksi hidrokarbon dalam siklus ini adalah ozon dan peroksiasetilnitrat.

a) Ozon

Ozon merupakan salah satu zat pengoksidasi yang sangat kuat setelah fluor, oksigen dan oksigen fluorida (OF₂). Meskipun di alam terdapat dalam jumlah kecil tetapi lapisan lain dengan bahan pencemar udara Ozon sangat berguna untuk melindungi bumi dari radiasi ultraviolet (UV-B). Ozon terbentuk diudara pada ketinggian 30 km dimana radiasi UV matahari dengan panjang gelombang 242 nm secara perlahan memecah molekul oksigen (O₂) menjadi atom oksigen tergantung dari jumlahmolekul O₂ atom-atom oksigen secara cepat membentuk ozon. Ozon menyerap radiasi sinar matahari dengan kuat didaerah panjang gelombang 240-320 nm. Absorpsi radiasi elektromagnetik oleh ozon didaerah ultraviolet dan inframerah digunakan dalam metode-metode analitik.

b) Oksidan Lain

Hidrogen peroksida telah diidentifikasi sebagai oksidan fotokimia yang potensial. Akan tetapi hidrogen peroksida ini merupakan senyawa yang sangat sulit dideteksi secara spesifik di udara. Oleh arena itu tidak mungkin memperkirakan dengan pasti bahwahidrogen peroksida sebagai pencemar fotokimia udara.

b. Sumber Dan Distribusi

Yang dimaksud dengan oksidan fotokimia meliputi Ozon, Nitrogen dioksida, dan peroksiasetilnitrat (PAN) karena lebih dari 90% total oksidan terdapat dalam bentuk ozon maka hasil monitoring udara ambien dinyatakan sebagai kadar ozon. Karena pengaruh pencemaran udara jenis oksidan cukup akut dan cepatnya perubahan pola pencemaran selama sehari dan dari suatu tempat ketempat lain, maka waktu dimana kadar Ozon paling tinggi secara umum ditentukan dalam pemantauan. Mencatat jumlah perjam per hari, perminggu, per-musim atau per-tahun selama kadar tertentu dilampaui juga merupakan cara yang berguna untuk melaporkan sejauh mana Ozon menjadi masalah.

Kadar ozon alami yang berubah-ubah sesuai dengan musim pertahunnya berkisar antara $10\text{--}100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,005–0,05 ppm). Diwilayah pedesaan kadar ozon dapat menjadi tinggi karena adanya kiriman jarak jauh O₃ dari udara yang berasal dari perkotaan. Didaerah perkotaan yang besar, tingkat ozon atau total oksidan maksimum 1 jam dapat berkisar dari $300\text{--}800\ \text{mg}/\text{m}^3$ (0,15–0,40 ppm) atau lebih.

5–30% hasil pemantauan di beberapa kota besar didapatkan kadar oksida maksimum 1jam yang melampaui $200\ \text{mg}/\text{m}^3$ (0,1 ppm).

Peroksiasetilnitrat umumnya terbentuk secara serentak bersama dengan ozon. Pengukuran kadar PAN di udara ambien yangtelah dilakukan relatif sedikit, tetapi dari hasil pengukuran Pb dapat diamati perbandingan antara PAN dengan ozon antara 1:50 dan 1:100, dan variasi kadar kadang-kadang mengikuti ozon.

Pada kadar di udara ambien yang normal, peroksiasetilnitrat (PAN) dan Peroksiabenzoilnitrat (PbzN) mungkin menyebabkan iritasi mata tetapi tidak berbahaya bagi kesehatan. Peroksibenzoilnitrat (PbzN) lebih cepat menyebabkan iritasi mata.

5. Hidrokarbon

a. Sifat / Karakteristik

Struktur Hidrokarbon (HC) terdiri dari elemen hidrogen dan karbon dan sifat fisik HC dipengaruhi oleh jumlah atom karbon yang menyusun molekul HC. HC adalah bahan pencemar udara yang dapat berbentuk gas, cairan maupun padatan. Semakin tinggi jumlah atom karbon, unsur ini akan cenderung berbentuk padatan. Hidrokarbon dengan kandungan unsur C antara 1-4 atom karbon akan berbentuk gas pada suhu kamar, sedangkan kandungan karbon diatas 5 akan berbentuk cairan dan padatan.

HC yang berupa gas akan tercampur dengan gas-gas hasil buangan lainnya. Sedangkan bila berupa cair maka HC akan membentuk semacam kabut minyak, bila berbentuk padatan akan membentuk asap yang pekat dan akhirnya menggumpal menjadi debu.

Berdasarkan struktur molekulnya, hidrokarbon dapat dibedakan dalam 3 kelompok yaitu hidrokarbon alifalik, hidrokarbon aromatik dan hidrokarbon alisiklis. Molekul hidrokarbon alifalik tidak mengandung cincin atom karbon dan semua atom karbon tersusun dalam bentuk rantai lurus atau bercabang.

b. Sumber Dan Distribusi

Sebagai bahan pencemar udara, Hidrokarbon dapat berasal dari proses industri yang diemisikan ke udara dan kemudian

merupakan sumber fotokimia dari ozon. HC merupakan polutan primer karena dilepas ke udara ambien secara langsung, sedangkan oksidan fotokimia merupakan polutan sekunder yang dihasilkan di atmosfer dari hasil reaksi-reaksi yang melibatkan polutan primer. Kegiatan industri yang berpotensi menimbulkan cemaran dalam bentuk HC adalah industri plastik, resin, pigmen, zat warna, pestisida dan pemrosesan karet. Diperkirakan emisi industri sebesar 10 % berupa HC.

Sumber HC dapat pula berasal dari sarana transportasi. Kondisi mesin yang kurang baik akan menghasilkan HC. Pada umumnya pada pagi hari kadar HC di udara tinggi, namun pada siang hari menurun. Sore hari kadar HC akan meningkat dan kemudian menurun lagi pada malam hari.

Adanya hidrokarbon di udara terutama metana, dapat berasal dari sumber-sumber alami terutama proses biologi aktivitas geothermal seperti eksplorasi dan pemanfaatan gas alam dan minyak bumi dan sebagainya. Jumlah yang cukup besar juga berasal dari proses dekomposisi bahan organik pada permukaan tanah, Demikian juga pembuangan sampah, kebakaran hutan dan kegiatan manusia lainnya mempunyai peranan yang cukup besar dalam memproduksi gas hidrokarbon di atmosfer.

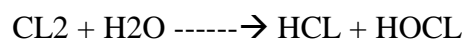
6. Klorine

Senyawa klorine yang mengandung klor yang dapat mereduksi atau mengkonversi zat inert atau zat kurang aktif dalam air, yang termasuk senyawa klorin adalah asam hipoklorit (HOCL) dan garam hipoklorit (OCL). Gas Klorin (Cl_2) adalah gas berwarna hijau dengan bau sangat menyengat. Berat jenis gas klorin 2,47 kali berat udara dan 20 kali berat gas hidrogen klorida yang toksik. Gas klorin

sangat terkenal sebagai gas beracun yang digunakan pada perang dunia ke-1.

Khlorin merupakan bahan kimia penting dalam industri yang digunakan untuk khlorinasi pada proses produksi yang menghasilkan produk organik sintetik, seperti plastik (khususnya polivinil khlorida), insektisida (DDT, Lindan, dan aldrin) dan herbisida (2,4 dikloropenoksi asetat) selain itu juga digunakan sebagai pemutih (*bleaching agent*) dalam pemrosesan selulosa, industri kertas, pabrik pencucian (tekstill) dan desinfektan untuk air minum dan kolam renang. Terbentuknya gas khlorin di udara ambien merupakan efek samping dari proses pemutihan (*bleaching*) dan produksi zat/senyawa organik yang mengandung khlor. Karena banyaknya penggunaan senyawa khlor di lapangan atau dalam industri dalam dosis berlebihan seringkali terjadi pelepasan gas khlorin akibat penggunaan yang kurang efektif. Hal ini dapat menyebabkan terdapatnya gas pencemar khlorin dalam kadar tinggi di udara ambien.

Selain bau yang menyengat gas khlorin dapat menyebabkan iritasi pada mata saluran pernafasan. Apabila gas khlorin masuk dalam jaringan paru-paru dan bereaksi dengan ion hidrogen akan dapat membentuk asam khlorida yang bersifat sangat korosif dan menyebabkan iritasi dan peradangan. Di udara ambien, gas khlorin dapat mengalami proses oksidasi dan membebaskan oksigen seperti terlihat dalam reaksi dibawah ini :



Dengan adanya sinar matahari atau sinar terang maka HOCl yang terbentuk akan terdekomposisi menjadi asam khlorida dan oksigen. Selain itu gas khlorin juga dapat mencemari atmosfer. Pada kadar antara 3,0 – 6,0 ppm gas khlorin terasa pedas dan memerahkan mata. Dan bila terpapar dengan kadar sebesar 14,0 – 21,0 ppm selama 30 –60 menit dapat menyebabkan penyakit paru-paru (*pulmonari oedema*) dan bisa menyebabkan emphysema dan radang paru-paru.

7. Partikel Debu

Debu adalah partikel-partikel zat padat yang disebabkan oleh kekuatan-kekuatan alami atau mekanis seperti pengolahan, penghancuran, pelembutan, pengepakan yang cepat, peledakan dan lain-lain dari bahan-bahan baik organik maupun anorganik, misalnya batu, kayu, arang batu, bijih logam dan sebagainya

Partikulat debu melayang (*Suspended Particulate Matter/SPM*) merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang terbesar di udara dengan diameter yang sangat kecil, mulai dari < 1 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang layang di udara dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Selain dapat berpengaruh negatif terhadap kesehatan, partikel debu juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan juga mengadakan berbagai reaksi kimia di udara. Partikel debu SPM pada umumnya mengandung berbagai senyawa kimia yang berbeda, dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda pula, tergantung dari mana sumber emisinya.

Secara alamiah partikulat debu dapat dihasilkan dari debu tanah kering yang terbawa oleh angin atau berasal dari muntahan letusan gunung berapi. Pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar yang mengandung senyawa karbon akan murni atau bercampur dengan gas-gas organik seperti halnya penggunaan mesin disel yang tidak terpelihara dengan baik. Debu adalah faktor yang penting untuk kondensasi uap air dalam bentuk hujan atau kabut yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Selain itu, tanpa debu atmosfer yang bersifat menyebarkan cahaya, sinar matahari yang luar biasa menyilaukan dan tak tertahankan akan langsung menerpa mata makhluk hidup di bumi, dan tidak akan ada lagi fenomena yang kita kenal berupa panorama senja dan warna-warni indah matahari yang terbenam.

Partikulat debu melayang (SPM) juga dihasilkan dari pembakaran batu bara yang tidak sempurna sehingga terbentuk aerosol kompleks dari butir-butiran tar. Dibandingkan dengan pembakaran batu bara, pembakaran minyak dan gas pada umumnya menghasilkan SPM lebih sedikit. Kepadatan kendaraan bermotor dapat menambah asap hitam pada total emisi partikulat debu. Demikian juga pembakaran sampah domestik dan sampah komersial bisa merupakan sumber SPM yang cukup penting. Berbagai proses industri seperti proses penggilingan dan penyemprotan, dapat menyebabkan abu berterbangan di udara, seperti yang juga dihasilkan oleh emisi kendaraan bermotor.

Karena Komposisi partikulat debu udara yang rumit, dan pentingnya ukuran partikulat dalam menentukan pajanan, banyak istilah yang digunakan untuk menyatakan partikulat debu di udara. Beberapa istilah digunakan dengan mengacu pada metode pengambilan sampel udara seperti : *Suspended Particulate Matter* (SPM), *Total Suspended Particulate* (TSP), *black smoke*. Istilah lainnya lagi lebih mengacu pada tempat di saluran pernafasan dimana partikulat debu dapat mengedap, seperti *inhalable/thoracic particulate* yang terutama mengedap disaluran pernafasan bagian bawah, yaitu dibawah pangkal tenggorokan (larynx). Istilah lainnya yang juga digunakan adalah PM-10 (partikulat debu dengan ukuran diameter aerodinamik <10 mikron), yang mengacu pada unsur fisiologi maupun metode pengambilan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

Undang-Undang Nomor 23 tahun 1997 Tentang Pencemaran Lingkungan.
Keputusan Menteri Kesehatan RI nomor 1407 tahun 2002 tentang Pedoman
Pengendalian Dampak Pencemaran Udara

Kementerian Lingkungan Hidup, Pengendalian pencemaran Udara. Jakarta
Marulam MT Simarmata., dkk. Pengantar Pencemaran Udara Yayasan Kita
Menulis, 2022 xiv; 198 hlm; 16 x 23 cm ISBN: 978-623-342-544-5
Cetakan 1, Juli 2022 I. Pengantar Pencemaran Udara II. Yayasan Kita
Menulis

Peraturan Pemerintah RI nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian
Pencemaran Udara

Iriyanti Dwi Putri ,dkk, Mekanisme Pencemaran Udara, 2014, Program Studi
Teknik Lingkungan, Jurusan Sipil ,Fakultas Teknik, Universitas
Hasanuddin

https://www.academia.edu/30048193/Makalah_Pencemaran_Udara, diakss
tanggal 16 Januari 2023

<file:///C:/Users/Acer/Downloads/pencemaran%20latar%20belakang.pdf>,
diakses tanggal 16 Januari 2023

Kementerian lingkungan hidup Kementerian Lingkungan Hidup ,
Pencemarn Udara, [http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/images/doc
s/pencemaran_udara.pdf](http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/images/docs/pencemaran_udara.pdf)

Agus Samsudrajat, Parameter pencemaran udara dan dampaknya terhadap terhadap
kesehatan, [https://agus34drajat.files.wordpress.com/2010/10/pedoman-
paramater-pencemaran-udara1.pdf](https://agus34drajat.files.wordpress.com/2010/10/pedoman-paramater-pencemaran-udara1.pdf)

UII,Anonim ,
[https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/2140/05.2%20bab%202.pdf?s
equence=6&isAllowed=y](https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/2140/05.2%20bab%202.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

H. MEKANISME PENYEHATAN UDARA

A. MEKANISME PENCEMARAN UDARA

Pencemaran udara dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi yang paling utama adalah karena penyebaran berbagai bahan kimia berbahaya ke atmosfer bumi. Pencemaran udara juga disebut dengan polusi udara. Pencemaran udara dapat terjadi secara alami dan juga secara buatan. Berdasarkan apa yang dijelaskan *Encyclopedia Britannica*, pencemaran udara didefinisikan sebagai pelepasan berbagai macam gas kemudian benda-benda padat yang telah terbelah menjadi berkeping-keping hingga menjadi partikel halus atau juga aerosol cair ke atmosfer bumi. Penyebaran tersebut menyebar dengan laju yang sangat cepat dan melebihi batas kapasitas yang seharusnya terlepas alami ke alam dan lingkungan yang kemudian digunakan untuk membuang, menyerap dan melarutkannya. Mengutip dari National Geographic, pencemaran udara dapat diartikan sebagai campuran antara partikel-partikel halus dan juga gas yang kapasitasnya telah melebihi konsentrasi yang sangat berbahaya baik jika ada diluar ataupun juga didalam ruangan. Polutan yang sangat berbahaya tersebut adalah asap yang biasanya dikeluarkan knalpot, atau asap pabrik, kemudian metana, jelaga, serbuk sari, karbon dioksida dan lainnya yang sangat berbahaya. Dilansir dari *Natural Resources Council* (NRDC), pencemaran udara diartikan kembali sebagai polutan yang dilepaskan ke udara, dan polutan tersebut menyebabkan kerusakan pada kesehatan manusia dan juga tentunya planet bumi dihuni manusia secara menyeluruh.

Penyebab Pencemaran Udara adalah faktor dan penyebab pencemaran udara sangat banyak, tetapi dari banyaknya penyebab tersebut 70% merupakan polutan yang disebabkan oleh emisi dari kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor merupakan penghasil polusi terbesar karena mengeluarkan banyak sekali zat yang sangat berbahaya dan merusak kesehatan manusia termasuk merusak lingkungan. Dalam perhitungan

kendaraan bermotor menyumbang hampir dari 100% timbal, kemudian 13-14% suspended particulate matter (spm), 34-73% oksida nitrogen (NO_x), dan kemudian hampir seluruh karbon monoksida (CO) yang ada diudara. Jika polusi udara disebabkan oleh kendaraan bermotor, maka sumber utama dari debu berasal dari pembakaran yang dihasilkan oleh sampah rumah tangga. Hasil pembakaran ini berjumlah 41% dari jumlah keseluruhannya dan merupakan sumber debu yang ada diKota Jakarta. Lalu industri dan juga pabrik memberikan pengaruh buruk pada udara dengan menjadi penghasil utama dari sulfur dioksida. Jika kita menilik kota besar seperti Jakarta, konsentrasi timbal sudah sangat mengesankan dengan jumlah 100 kali lebih besar dan diambang batas. Jika kita melihat kondisi secara umum maka pencemaran udara berasal dari dua faktor penyebab dan sumber, dua sumber penyebab pencemaran udara sebagai berikut :

1. Sumber Alami

Mungkin sebagian dari kita tidak pernah terpikir bahwa sumber alami dari alam ternyata bisa menimbulkan pencemaran udara. Namun pada faktanya sumber alami juga bisa menjadi salah satu penyebab. Contoh dari sumber pencemaran udara secara alami adalah debu yang kemudian terbawa oleh angin, kemudian pada saat proses fotosintesis akan ada oksigen yang keluar dari tumbuhan hal itu juga bisa menimbulkan pencemaran. Lalu penyebab pencemaran udara lainnya yang berasal dari sumber alami, seperti asap dari pembakaran berbagai macam benda yang mudah sekali terbakar., kemudian gunung berapi aktif yang meletus dapat menciptakan pencemaran, kebakaran di hutan yang disebabkan oleh musim kemarau panjang bukan karena ulah manusia, dan masih banyak lagi.

2. Sumber Buatan

Selanjutnya penyebab polusi yang kedua adalah polusi dan pencemaran yang disebabkan oleh kegiatan yang bersumber dari perbuatan manusia. Sumber buatan manusia kemudian dibedakan lagi

menjadi dua hal, ada pencemaran luar ruangan dan ada juga pencemaran dalam ruangan.

a. Sumber Pencemaran Luar Ruangan

Sumber pencemaran yang disebabkan dari luar ruangan yaitu pencemaran karena pembangkit listrik, asap kendaraan bermotor yang sangat berbahaya disebut juga dengan emisi kendaraan bermotor, pembakaran yang dilakukan sektor industri, sistem dan tata kelola pemanasan gedung dll. Asap adalah fitur yang sangat menonjol dalam pencemaran udara. Asap dapat dihasilkan dan dipancarkan akibat dari berbagai macam bentuk pembakaran seperti pembakaran biomassa, asap dari tungku, dan juga asap dari pabrik dan kendaraan.

b. Sumber Pencemaran Dalam Ruangan

Jika tadi membahas sumber pencemaran diluar ruangan sekarang kita membahas tentang sumber pencemaran dalam ruangan. Pencemaran ini biasanya terjadi dinegara Eropa yang memiliki pemanas dalam ruangan untuk menghangatkan tubuh. Meskipun hal ini sederhana pada faktanya tetap saja memicu polusi terhadap udara. Setelah mengerti dan paham mengenai penyebab pencemaran udara karena sumber kemunculannya. Kita juga perlu memahami bahwa masih banyak lagi faktor yang menjadi salah satu pemicu dan penyebab lahirnya pencemaran udara.

Pencemaran Udara Akibat dari Aktivitas Manusia

Berikut ini adalah penyebab dari adanya pencemaran udara akibat dari aktivitas manusia yang harus diketahui :

1) Pembakaran bahan bakar fosil

Bahan bakar fosil yang kemudian mengalami proses pembakaran dapat berubah menjadi partikel berbahaya yang kemudian merusak kualitas udara. Sulfur dioksida merupakan pancaran yang dihasilkan dari proses pembakaran yang dilakukan terhadap batu bara, minyak

bumi, dan juga bahan lainnya. Biasanya hasil pembakaran tersebut digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Kendaraan motor yang membutuhkan bensin sebagai syarat untuk mendapatkan energi yang digunakan untuk menjalankan motor. Dengan kata lain kendaraan bermotor yang kita gunakan juga mengalami proses pembakaran. Pembakaran dari kendaraan bermotor ini juga yang menyebabkan polusi udara meningkat.

2) Kegiatan Pertanian

Kegiatan dan aktivitas manusia lainnya yang merusak dan mencemari udara adalah kegiatan pertanian. Dalam aktivitas bertani kita tahu zat amonia yang selalu digunakan sangat berbahaya bagi udara. Namun disisi lain, zat gas yang berupa amonia tersebut merupakan zat yang sangat ampuh untuk mengusir hama dan juga serangga. Amonia digunakan oleh petani yang menjadi bahan dasar utama pestisida. Pestisida yang digunakan dalam kegiatan pertanian dapat mengeluarkan amonia yang merupakan zat berbahaya bagi lingkungan bukan hanya merusak dan mencemari udara tetapi juga mencemari air.

3) Tumpukan sampah yang ada di TPA

Tumpukan sampah dapat menghasilkan gas yang sangat beracun. Ketika limbah yang menumpuk tersebut disimpan dan kemudian dikubur maka limbah tersebut akan menghasilkan metana yang beracun. Metana lain yang juga beracun adalah metana yang keluar akibat rumah kaca, dimana gas itu mudah terbakar dan teramat sangat berbahaya. Sampah lainnya yang sangat berbahaya adalah sampah yang dihasilkan oleh barang elektronik karena limbah elektronik menciptakan proses pembongkaran secara tidak ilmiah dan masif. Pembongkaran ini seperti pencucian bahan dengan material kimia, kemudian kabel yang sangat mudah terbakar melahirkan gas berbahaya, dan lainnya yang masih banyak lagi.

4) Operasi Penambangan

Operasi yang dilakukan dalam kegiatan penambangan juga menciptakan pencemaran udara yang sangat memprihatinkan. Definisi dari kegiatan penambangan sendiri merupakan proses yang dilakukan dimana mineral yang berada dibawah bumi kemudian tanpa sadar mengalami ekstraksi akibat alat berat penambangan. Dalam proses tersebut, debu dan juga bahan kimia yang dihasilkan dapat menjadi penyebab polusi udara yang sangat mematikan. Karena proses inilah dapat merusak kesehatan dari pekerja atau pun juga kesehatan penduduk disekitar yang tinggal ditempat penambangan.

5) Pencemaran dalam Ruangan

Dalam ruangan juga bisa terjadi pencemaran udara terutama ruangan yang memiliki produk seperti lukisan. Dalam melukis kita menggunakan bahan kimia seperticat, zat yang menyusun cat ini sangat berbahaya dan salah satu penyumbang polusi udara. Kita sendiri tahu bahwa cat memiliki bau yang sangat menyengat dan dapat mengganggu sistem pernapasan manusia.

B. DAMPAK PENCEMARAN UDARA

Dampak Negatif Pencemaran Udara yaitu pencemaran udara tentunya menghasilkan banyak sekali dampak negatif bagi kehidupan umat manusia dimuka bumi ini. Dampak dari pencemaran ini bukan hanya menyerang satu sektor saja tetapi menyerang banyak sektor yang ada dimuka bumi dan kehidupan manusia serta lingkungan hidup.

Dampak Pencemaran Udara Terhadap Manusia :

1. Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan

Pencemaran udara tentunya sangat berdampak terhadap kesehatan manusia karena dapat menyebabkan penyakit paru (bronchitis) dan juga alat pernapasan lainnya. Penyakit yang menyerang alat pernapasan dan segala sistemnya disebabkan karena debu kotor dan berbahaya. Sedangkan Karbon Monoksida dapat menyerang kesehatan yang ada pada

hemoglobin. Hemoglobin sendiri merupakan alat yang digunakan untuk mengangkut oksigen. Didalam hemoglobin terkandung zat besi yang ada dalam sel darah merah. WHO sebagai organisasi kesehatan dunia menyebutkan bahwa 3,2 juta dari kasus kematian yang ada dimuka bumi ini disebabkan karena adanya pencemaran udara. Dengan kata lain, pencemaran udara sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Kita tahu kendaraan bermotor yang ada di Indonesia adalah sumber utama penyebab adanya pencemaran udara dikota besar. Berdasarkan data yang dirilis *World Bank* dalam waktu yang terjadi sejak tahun 1995 hingga 2001 pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 100%. Dengan tidak diiringinya perawatan dari mulai bahan bakar yang kurang memadai dan berkualitas buruk menyebabkan kadar timbal yang sangat berbahaya terus bertambah tinggi.

2. Dampak pencemaran udara terhadap ekonomi

Akibat pencemaran udara Indonesia mengalami kerugian sebanyak 1,8 triliun Rupiah. Dana sebanyak ini hanya digunakan untuk menanggulangi kerusakan akibat pencemaran udara. Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan oleh *World Bank*, kerugian ini akan terus mengalami peningkatan hingga 4,3 triliun.

3. Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kehidupan Sosial

Pencemaran udara bisa merusak kesehatan. Oleh karena itu setiap orang akan mengurangi aktivitasnya demi terhindar dari polusi udara. Hal ini akan menyebabkan aktivitas sosial terbatas dan terhambat.

4. Dampak Pencemaran Udara Terhadap Pendidikan

Selain menyerang saluran pernapasan yang tidak baik bagi kesehatan, pencemaran udara juga dapat mempengaruhi cara berpikir siswa. Pikiran para siswa akan terhambat ketika harus dihadapkan pada suatu permasalahan yang harus mereka selesaikan akibat pencemaran udara yang menyiksa mereka.

Pencemaran Udara dapat menyebabkan

1. Pernapasan Jadi Terganggu

Dampak pencemaran udara dari asap kendaraan, asap pabrik, asap rokok, dan lain-lain bisa memicu terjadinya gangguan pernapasan, seperti asma, ISPA, dan kanker paru-paru. Selain itu, pencemaran udara juga bisa berakhir pada berkurangnya kadar oksigen didalam tubuh manusia.

2. Mengganggu Jalannya Oksigen yang Ada dalam Darah

Bukan hanya saluran pernapasan, sistem peredaran darah juga dapat terganggu karena dampak dari pencemaran udara. Hal ini disebabkan oleh karbon monoksida (CO) yang jumlahnya sangat banyak sehingga membuat kadar protein inflamasi dan jumlah kekentalan darah bertambah. Itulah yang memicu radang pembuluh darah yang bisa mengakibatkan penyakit kardiovaskular.

3. Pemanasan Global

Salah satu dampak pencemaran udara adalah peningkatan pemanasan global. Akibatnya suhu udara diseluruh dunia jadi bertambah, permukaan laut meninggi, dan membuat banyaknya es didaerah yang dingin lebih cepat mencair. Kondisi ini juga bisa mengakibatkan berkurangnya tempat tinggal untuk sebagian spesies tumbuhan dan hewan diberbagai negara.

4. Memicu Keguguran Autisme

Bagi ibu hamil, polusi udara juga sangat membahayakan diri dan janinnya. Dampak pencemaran udara bagi ibu hamil bisa memicu peradangan diseluruh tubuhnya dan memicu kelahiran prematur. Sementara untuk janin, keadaan ini dapat mengakibatkan keguguran, asma untuk anaknya kelak, dan memicu autisme.

Dampak Pencemaran Udara Terhadap Lingkungan :

1. Dampak Pencemaran Udara Terhadap Pertanian

Sektor pertanian sangat dirugikan dengan adanya pencemaran udara. Lahan hijau menjadi berkurang, fotosintesis pada pepohonan menjadi terganggu, dan masih banyak lagi. Sama seperti halnya manusia tanaman

juga akan mudah terserang penyakit. Penyakit yang menyerang tumbuhan akibat pencemaran udara seperti klorosis dan juga nekrosis. Jika hal ini sudah terjadi maka bisa mengakibatkan siklus udara juga menjadi berkurang dan menurun, karena udara kotor dan tidak baik untuk dihirup.

2. Hujan Asam

Hujan memiliki tingkat keasaman yang normal jika berada dalam tingkat keasaman (pH) sebesar 5,6. Namun karena adanya pencemaran udara yang disebabkan oleh SO₂ dan juga NO₂ hal ini akan menciptakan reaksi antara air hujan dan pada akhirnya menurunkan pH dari air hujan itu sendiri. Akibatnya kualitas air yang ada dipermukaan dapat membuat logam-logam berat terlarut dan meresap melalui tanah. Resapan air ini berdampak buruk terhadap kualitas air yang ada ditanah dan air yang ada dipermukaan.

3. Efek Rumah Kaca

Keberadaan CO₂, CFC, metana, ozon, dan N₂O disebabkan karena adanya efek dari rumah kaca yang terjadi dilapisan troposfer. Gas berbahaya ini pada akhirnya menyerap radiasi dari matahari yang nantinya akan dipantulkan kembali kebumi. Efek rumah kaca bisa mengakibatkan terjadinya pemanasan global atau global warning. Pemanasan Global ini menyebabkan es kutub utara dan selatan mencair sehingga permukaan air laut akan naik. Selain itu siklus kehidupan flora dan juga fauna juga akan terancam.

4. Kerusakan Lapisan Ozon

Lapisan ozon adalah lapisan yang melindungi bumi. Lapisan ozon melakukan filter dari radiasi yang dihasilkan oleh sinar ultraviolet matahari. Kerusakan lapisan ozon yang disebabkan oleh pencemaran udara dapat menyebabkan kanker terhadap kulit manusia dan hewan serta merusak kesehatan tumbuhan.

Dampak Pencemaran Udara 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. Terhadap tiga faktor yang mempengaruhi kecepatan perkaratan (*corroction*) pada logam, yaitu kelembaban, tipe/jenis pencemar dan temperatur. Beberapa studi telah dilakukan didaerah-daerah perkotaan untuk mengetahui hubungan pemaparan pencemaran terhadap pengkaratan logam. Pengaruh pencemaran udara terhadap batuan adalah terbentuknya noda/kotoran (Soiling) dan pelapukan (deterioration) batuan kapus yang umum digunakan sebagai bahan bangunan dan pemahatan marmer.

Banyak gedung-gedung diperkotaan telah terpapar oleh pencemar udara seperti asap, SO₂, 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 (SO₂) terhadap kulit dan kertas udara yang cukup penting. Terhadap tiga faktor yang mempengaruhi kecepatan perkaratan (*corroction*) pada logam, yaitu kelembaban, tipe/jenis pencemar dan temperatur.

DAFTAR PUSTAKA

Undang-Undang Nomor 23 tahun 1997 Tentang Pencemaran Lingkungan.
Keputusan Menteri Kesehatan RI nomor 1407 tahun 2002 tentang Pedoman
Pengendalian Dampak Pencemaran Udara

Kementerian Lingkungan Hidup, Pengendalian pencemaran Udara. Jakarta
Marulam MT Simarmata., dkk. Pengantar Pencemaran Udara Yayasan Kita
Menulis, 2022 xiv; 198 hlm; 16 x 23 cm ISBN: 978-623-342-544-5
Cetakan 1, Juli 2022 I. Pengantar Pencemaran Udara II. Yayasan Kita
Menulis

Peraturan Pemerintah RI nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian
Pencemaran Udara

Iriyanti Dwi Putri ,dkk, Mekanisme Pencemaran Udara, 2014, Program Studi
Teknik Lingkungan, Jurusan Sipil ,Fakultas Teknik, Universitas
Hasanuddin

https://www.academia.edu/30048193/Makalah_Pencemaran_Udara, diakss
tanggal 16 Januari 2023

<file:///C:/Users/Acer/Downloads/pencemaran%20latar%20belakang.pdf>,
diakses tanggal 16 Januari 2023

Kementerian lingkungan hidup Kementerian Lingkungan Hidup ,
Pencemarn Udara, [http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/images/doc
s/pencemaran_udara.pdf](http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/images/docs/pencemaran_udara.pdf)

Agus Samsudrajat, Parameter pencemaran udara dan dampaknya terhadap terhadap
kesehatan, [https://agus34drajat.files.wordpress.com/2010/10/pedoman-
paramater-pencemaran-udara1.pdf](https://agus34drajat.files.wordpress.com/2010/10/pedoman-paramater-pencemaran-udara1.pdf)

UII,Anonim ,
[https://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/2140/05.2%20bab%
202.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/2140/05.2%20bab%202.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

I. DAMPAK POSITIF PENYEHATAN UDARA

A. PENYEHATAN UDARA

Penyehatan adalah upaya untuk meningkatkan kualitas udara dan pencegahan terhadap penurunan kualitas udara. Udara adalah ruang di atas bumi yang berisi campuran berbagai gas yang tidak berwarna dan tidak berbau (seperti oksigen dan nitrogen) yang memenuhi ruang di atas bumi seperti yang kita hirup apabila kita, udara merupakan campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Udara tidak tampak, sehingga sering kita anggap tidak ada.

Disekitar bumi kita ada 5,8 miliar ton udara. Makin jauh dari bumi, kerapatan udara semakain kecil. Setelah 10 km dari bumi kita tidak dapat hidup lagi. Di atas 2 km lilin tidak dapat menyala lagi. Karena itu makhluk hidup bergantung kepada selapis udara setebal 900 km. Jika bumi dikecilkan sampai garis tengahnya 5 cm, maka lapisan udara tempat kita dapat hidup tapi akan lebih tipis dari sehelai kertas. Ilmuwan menduga bahwa 95% makhluk hidup di bumi didukung oleh lapisan udara setebal 3 km dari permukaan bumi (Sastrawijaya, 2009). Udara dibagi menjadi dua yaitu :

- a) Udara Bersih Udara bersih adalah udara yang mengandung beberapa macam gas dengan komposisi yang normal. Contohnya gas oksigen merupakan esensial bagi kehidupan makhluk hidup, termasuk manusia. Namun, akibat aktivitas manusia yang tidak ramah lingkungan, udara sering kali menurun kualitasnya. Perubahan inidapat berupa sifat-sifat fisis maupun kimiawi. Perubahan kimiawi dapat berupa pengurangan maupun penambahan salah satu komponen kimia yang terkandung dalam udara. Kondisi seperti itu lazim disebut dengan pencemaran (polusi) udara.
- b) Udara Kotor Secara umum definisi udara tercemar adalah perbedaan komposisi udara aktual dengan kondisi udara normal

dimana komposisi udara aktual tidak mendukung kehidupan manusia. Bahan atau zat pencemaran udara sendiri dapat berbentuk gas dan partikel.

Jadi pengertian dari penyehatan udara adalah Upaya untuk meningkatkan kualitas udara dan pencegahan terhadap penurunan kualitas udara yang memenuhi ruang diatas bumi

B. DAMPAK POSITIF PENYEHATAN UDARA

1. Bagi Manusia

- a) Udara sebagai alat bantu sistem pencernaan makanan.
- b) Udara sebagai sarana meningkatkan tekanan darah dan mengatur sirkulasi darah dan kelangsungan denyut jantung manusia.
- c) Udara yang bebas polusi akan membuat tubuh lebih santai dan segar.
- d) Udara sebagai sarana untuk menguatkan dan membuat sistem kekebalan tubuh, agar dapat berfungsi dengan baik.
- e) Udara sebagai alat bantu untuk bernapas. Semua makhluk hidup membutuhkan udara untuk bernapas atau istilah biologisnya adalah proses respirasi. Dengan adanya udara, kita semua sebagai makhluk hidup dapat bernapas, karena pada dasarnya udara itu dapat menghasilkan oksigen yang bermanfaat bagi kehidupan manusia dan hewan.
- f) Udara sebagai sarana membersihkan saluran pada fungsi paru-paru.
- g) Udara dapat mengoptimalkan kemampuan otak untuk berpikir jernih, sehingga dapat meningkatkan konsentrasi dan fokus menjadi lebih baik.
- h) Udara yang bersih dapat membantu mengatasi stres manusia.
- i) Udara dapat membantu mengeringkan pakaian.

- j) Udara sebagai media pengolah makanan. Udara memiliki sifat yang dapat menghantarkan panas. Oleh karena itu, udara juga dapat dimanfaatkan dalam hal pengolahan makanan. Jenis pengolahan makanan yang membutuhkan udara adalah pengolahan makanan dengan proses pengasapan (seperti daging asap dan ikan asap).
- k) Udara sebagai jaringan komunikasi. Semua jaringan komunikasi yang ada di bumi ini memanfaatkan gelombang radio yang dapat dihantarkan melalui udara. Hal ini berarti udara dapat membantu dan dapat menyediakan jalur komunikasi yang kita gunakan dalam kehidupan dan kelangsungan hidup sehari-hari.

2. Bagi Lingkungan

- a) Udara sebagai penghasil energi. Angin dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, dan salah satu teknologi yang memanfaatkan angin dan mengkonversi manfaat udara ini menjadi energi gerak.
- b) Udara sebagai media penyerap radiasi sinar matahari. Salah satu manfaat udara yang paling penting adalah mampu dan dapat menyerap kandungan sinar ultraviolet yang masuk ke dalam bumi kita. Dengan adanya udara sebagai penyerap sinar ultraviolet, maka kadar sinar ultraviolet yang mengenai tubuh kita menjadi berkurang dan efek dari radiasinya akan menimbulkan efek yang semakin kecil.
- c) Udara sebagai perantara uap air. Naiknya uap air hingga menjadi awan yang nantinya akan turun kembali ke bumi menjadi hujan, membutuhkan udara untuk menjadi perantara proses naiknya uap air tersebut hingga menjadi awan. Hal ini berarti bahwa air hujan yang turun ke bumi dalam prosesnya terjadi dengan bantuan udara.

- d) Udara sebagai perantara gelombang suara dan bunyi. Dalam hal ini udara berguna sebagai media penghantar suara, seperti untuk berbicara. Ketika tidak terdapat udara, maka kita tidak akan dapat mendengar satu bunyi-bunyian pun termasuk bunyi musik.
 - e) Udara sebagai pengantar cahaya. Manfaat udara lainnya ialah udara mampu menjadi pengantar cahaya. Ini artinya setiap cahaya yang muncul, tidak akan sampai kepada indera penglihatan kita tanpa adanya bantuan udara. Maka dari itu keberadaan udara sangatlah penting bagi kehidupan kita sehari-hari.
 - f) Udara membantu penyerbukan pada tanaman.
 - g) Udara dapat membantu menerbangkan burung dan pesawat.
 - h) Udara dapat membantu menentukan klasifikasi keadaan iklim, cuaca, dan musim di suatu tempat.
3. Bagi Udara
- a) Lapisan udara dapat melindungi bumi dari benda-benda angkasa dalam sistem tata surya.
 - b) Udara sebagai sarana penyeimbang temperatur udara di permukaan bumi agar tetap normal.
 - c) Udara berguna dalam proses fotosintesis. Pencemaran udara merupakan masuknya atau tercampurnya suatu unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan sehingga menurunkan kualitas lingkungan dan dapat membahayakan kesehatan manusia. Terdapat dua jenis sumber pencemaran udara, yang pertama adalah pencemaran akibat sumber alamiah (*natural sources*) dan berasal dari kegiatan manusia (*anthropogenic sources*). Pencemaran udara terjadi karena adanya sumber yang bergerak dan sumber tidak bergerak, meliputi sektor transportasi, emisi pabrik industri dan domestik.

Faktor lainnya yang secara tidak langsung berpengaruh terhadap terjadinya pencemaran udara adalah pertumbuhan penduduk, laju urbanisasi yang tinggi, pengembangan tata ruang yang tidak seimbang dan rendahnya tingkat kesadaran masyarakat mengenai pencemaran udara. Kualitas udara sangat dipengaruhi aktivitas yang dilakukan oleh manusia [1]. Menurut laporan dari *World Health Organization* (WHO) tahun 2018 menyebutkan bahwa, terdapat 7 juta orang setiap harinya di seluruh dunia meninggal akibat polusi udara, diantaranya 4,2 juta orang meninggal karena polusi udara yang bersumber dari kegiatan aktivitas manusia.

C. TINDAKAN PENGENDALIAN PENCEMARAN

Pengelolaan Lingkungan hidup merupakan upaya sadar dan berencana secara terpadu dalam pemanfaatan, penataan, pemeliharaan, pengawasan dan pengendalian serta pengembangan sumber daya secara bijaksana untuk meningkatkan mutu lingkungan hidup. Udara sebagai sumber daya alam yang mempengaruhi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya harus dijaga dan dipelihara kelestarian fungsinya untuk pemeliharaan kesehatan dan kesejahteraan manusia serta perlindungan bagi makhluk hidup lainnya.

Kementerian Lingkungan Hidup, 2007 Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dari komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Dampak dari pencemaran udara adalah :

1. Peningkatan suhu permukaan bumi, efek rumah kaca
2. Perubahan iklim
3. Hujan asam, korosif & berubahnya kesuburan tanah
4. Penipisan lapisan Ozon
5. Sering terjadinya Asbut (asap dan kabut)
6. Gangguan kesehatan dan lainnya

Dampak pencemaran udara pada akhirnya akan merugikan kehidupan makhluk hidup di bumi dan khususnya berdampak terhadap memburuknya kesehatan manusia. Sumber pencemaran udara dibagi menjadi dua yaitu sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Pencemaran udara dari sumber bergerak berasal dari kegiatan transportasi sedang pencemaran udara dari sumber tidak bergerak berasal dari kegiatan industri, pembakaran sampah, kebakaran hutan dan lahan.

Penanggulangan pencemaran udara sumber tidak bergerak meliputi pengawasan terhadap penaatan baku mutu emisi yang telah ditetapkan, pemantauan emisi yang keluar dari kegiatan dan mutu udara ambien disekitar lokasi kegiatan, dan pemeriksaan penaatan terhadap ketentuan persyaratan teknis pengendalian pencemaran udara. Penanggulangan pencemaran udara dari sumber bergerak meliputi pengawasan terhadap penaatan ambang batas emisi buang, pemeriksaan emisi gas buang untuk kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor lama, pemantauan mutu udara ambien di sekitar jalan, pemeriksaan emisi gas buang kendaraan bermotor di jalan dan pengadaan bahan bakar minyak bebas timah hitam serta solar berkadar belerang rendah sesuai standar internasional.

Pengendalian pencemaran udara adalah upaya pencegahan dan/atau penanggulangan pencemaran udara serta pemulihan mutu udara. Pengendalian pencemaran udara meliputi pencegahan dan penanggulangan pencemaran, serta pemulihan mutu udara dengan melakukan inventarisasi mutu udara ambien, pencegahan sumber pencemar, baik dari sumber bergerak maupun sumber tidak bergerak termasuk sumber gangguan serta penanggulangan keadaan darurat (Pasal 16 PP 41 1999).

Kewenangan Pemerintah terkait pengendalian pencemaran udara berdasarkan UU 32 Tahun 2009 antara lain :

1. Menetapkan kebijakan nasional, provinsi dan kabupaten
2. Mengkoordinasi dan melaksanakan pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup
3. Melakukan pembinaan dan pengawasan ketaatan penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan terhadap ketentuan perizinan lingkungan dan peraturan perundang-undangan;
4. Menetapkan standar pelayanan minimal;
5. Mengelola informasi lingkungan hidup nasional;
6. Mengembangkan sarana dan standar laboratorium lingkungan hidup;
7. Menerbitkan izin lingkungan;
8. Melakukan penegakan hukum lingkungan hidup.

Dasar kebijakan pengendalian pencemaran udara adalah :

- a) Undang Undang No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup;
- b) Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara;
- c) Keputusan Menteri Negara LH No:KEP-13/MENLH/1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak.
- d) KepKa.BAPEDAL No:KEP-205/BAPEDAL/1996 tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran udara Sumber Tidak Bergerak.
- e) KepMen LH No: KEP-48/MENLH/11/1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan
- f) KepMen LH No: KEP-49/MENLH/11/1996 tentang Baku Mutu Getaran
- g) KepMen LH No: KEP-50/MENLH/11/1996 tentang Baku Tingkat Kebauan.
- h) KepMenLH No: KEP-15/MENLH/4/1906 tentang Program Langit Biru.

- i) KepMen LH No. 129/2003 tentang Baku Mutu Emisi Usaha dan atau Kegiatan Minyak dan gas Bumi.
- j) KepMen LH No. 141/2003 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe baru Dan Kendaraan Bermotor Yang Sedang Diproduksi
- k) KepMen LH No.133/2004 tentang Baku Mutu Emisi Usaha Bagi Kegiatan Industri Pupuk.
- l) KepMen LH No.06/2006 tentang Baku Mutu Emisi Usaha Bagi Kendaraan Bermotor
- m) PerMen LH No.07/2007 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap.
- n) PerMen LH No. /2008 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak bagi Industri Keramik
- o) PerMen LH No. /2008 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak

Dalam menyikapi permasalahan pencemaran udara, Badan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Banten, melakukan beberapa kegiatan pengendalian pencemaran air yang bisa diterapkan. Beberapa kegiatan pengendalian pencemaran air diantaranya sebagai berikut :

1. Pembinaan Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Bagi Industri

Dalam kegiatan ini peserta akan mendapatkan bimbingan teknis mengenai peraturan perundang-undangan dalam pencemaran udara pada masing-masing industri sehingga tidak ada kendala lagi yang menghalangi para pelaku industri untuk melakukan pengendalian emisi sesuai dengan peraturan yang berlaku. Peserta Pembinaan Teknis Pengendalian Pencemaran udara Bagi Industri adalah perusahaan yang berada di Provinsi Banten. Tujuan dari kegiatan ini adalah :

- a. Untuk melakukan pengelolaan lingkungan yang sinergi dalam menciptakan perubahan yang bersifat konkret untuk menuju keseimbangan ekologi, sosial dan ekonomi.
 - b. Untuk meningkatkan kepedulian kepada pemangku kepentingan tentang pentingnya pengendalian pencemaran lingkungan.
2. Pemantauan Kualitas Udara Ambien

Kualitas udara ambien merupakan tahap awal untuk memahami dampak negatif cemaran udara terhadap lingkungan. Kualitas udara ambien ditentukan oleh:

- a. kuantitas emisi cemaran dari sumber cemaran
- b. Proses transportasi, konversi dan penghilangan cemaran di atmosfer.

Kualitas udara ambien akan menentukan dampak negatif cemaran udara terhadap kesehatan masyarakat dan kesejahteraan masyarakat (tumbuhan, hewan, material dan lain-lainnya). Pencemaran Udara terjadi karena masuknya/dimasukkannya zat pencemar ke udara ambien oleh kegiatan manusia. Udara yang tercemar menjadi tidak sehat, untuk kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Kegiatan pemantuan kualitas udara ambien dilaksanakan di 8 kabupaten/kota di wilayah provinsi Banten. Lokasi pemantauan udara ambien adalah kawasan industry, pemukiman dan padat lalu lintas (Novirsa,2012).

DAFTAR PUSTAKA

<https://id.wikipedia.org/wiki/Udara>

<https://www.prudential.co.id/id/pulse/article/tinggal-di-perkotaan-ketahui-dulu-dampak-pencemaran-udara-ini/>

<https://www.prudential.co.id/id/pulse/article/tinggal-di-perkotaan-ketahui-dulu-dampak-pencemaran-udara-ini/>

<https://www.gramedia.com/literasi/dampak-negatif-dari-pencemaran-udara/>

Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Jakarta. 2013. Zat – zat Pencemar Udara.

Badan Pusat Statistik. 2017. Kota Yogyakarta dalam Angka Tahun 2017. Penerbit Haksoro. Yogyakarta.

Brimblecome, P. 1986. Air Composition and Chemistry. Cambridge University Press. Cambridge

Budiyono, Afif. 2001. Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara pada Lingkungan. Jurnal LAPAN . Berita Dirgantara. Volume 2. Nomor 1.

Fardiaz, Srikandi. 1992. Polusi Air Dan Udara. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Goyal P and Khrisna RK. 2013. A line source model for Delhi. Transportation Research Part D(4): 241-249. Hassan H, Singh MP, Gribben RJ, Srivastava RM, Radojevic M, L

J. REKAYASA PENCEGAHAN PENCEMARAN UDARA

A. Klasifikasi Bahan Pencemar Udara

Banyak faktor yang dapat menyebabkan pencemaran udara, diantaranya pencemaran yang ditimbulkan oleh sumber-sumber alami maupun kegiatan manusia atau kombinasi keduanya. Pencemaran udara dapat mengakibatkan dampak pencemaran udara bersifat langsung dan lokal, regional, maupun global atau tidak langsung dalam kurun waktu lama.

Pencemar udara dibedakan menjadi pencemar primer dan pencemar sekunder :

1. Polutan primer

Polutan primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemaran udara atau polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu, dan dapat berupa:

a. Polutan Gas terdiri dari:

- Senyawa karbon, yaitu hidrokarbon, hidrokarbon teroksigenasi, dan karbon oksida (CO atau CO₂) karena ia merupakan hasil dari pembakaran
- Senyawa sulfur, yaitu oksida.
- Senyawa halogen, yaitu flour, klorin, hydrogen klorida, hidrokarbon terklorinasi, dan bromin.

b. Partikel

Partikel yang di atmosfer mempunyai karakteristik yang spesifik, dapat berupa zat padat maupun suspense aerosol cair sulfur di atmosfer. Bahan partikel tersebut dapat berasal dari proses kondensasi, proses (misalnya proses menyemprot/ spraying) maupun proses erosi bahan tertentu.

2. Polutan Sekunder

Polutan sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, misalnya reaksi foto kimia. Sebagai contoh adalah disosiasi NO_2 yang menghasilkan NO dan O radikal.

Proses kecepatan dan arah reaksinya dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain:

- a. Konsentrasi relative dari bahan reaktan
- b. Derajat fotoaktivasi
- c. Kondisi iklim
- d. Topografi lokal dan adanya embun.

B. Zat-zat Pencemaran Udara

Ada beberapa polutan yang dapat menyebabkan pencemaran udara, antara lain:

1. Karbon monoksida (CO)

Gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan bersifat racun. Dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil, misalnya gas buangan kendaraan bermotor.

2. Nitrogen dioksida (NO_2)

Gas yang paling beracun. Dihasilkan dari pembakaran batu bara di pabrik, pembangkit energi listrik dan knalpot kendaraan bermotor.

3. Sulfur dioksida (SO_2)

Gas yang berbau tajam, tidak berwarna dan tidak bersifat korosi. Dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur terutama batubara. Batubara ini biasanya digunakan sebagai bahan bakar pabrik dan pembangkit tenaga listrik.

4. Partikulat (asap atau jelaga)

Polutan udara yang paling jelas terlihat dan paling berbahaya. Dihasilkan dari cerobong pabrik berupa asap hitam tebal.

Macam-macam partikel, yaitu :

- a. Aerosol : partikel yang terhambur dan melayang di udara
- b. Fog (kabut) : aerosol yang berupa butiran-butiran air dan berada di udara
- c. Smoke (asap) : aerosol yang berupa campuran antara butir padat dan cair dan melayang berhamburan di udara
- d. Dust (debu) : aerosol yang berupa butiran padat dan melayang-layang di udara

5. Hidrokarbon (HC)

Uap bensin yang tidak terbakar. Dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna di dalam kendaraan. Gas ini biasanya terdapat pauang bensin yang tidak terbakar dan keluar melalui knalpot.

7. Timbal (Pb)

Logam berat yang digunakan manusia untuk meningkatkan pembakaran pada kendaraan bermotor. Hasil pembakaran tersebut menghasilkan timbal oksida yang berbentuk debu atau partikulat yang dapat terhirup oleh manusia.

8. Karbon dioksida (CO₂)

Gas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna bahan bakar kendaraan bermotor dan pabrik serta gas hasil kebakaran hutan.

2. Pencegahan Pencemaran Udara

Pencegahan yang ditempuh terhadap pencemaran udara tergantung dari sifat dan sumber polutannya. Pencegahan yang paling sederhana dan mudah dilakukan yaitu menggunakan masker sebagai pelindung untuk menghindari terjadinya gangguan kesehatan.

Tindakan yang dilakukan untuk mencegah pencemaran udara seperti mengurangi polutan, bahan yang mengakibatkan polusi dengan peralatan, mengubah polutan, melarutkan polutan, dan mendispersikan-menguraikan polutan.

1. Mencegah pencemaran udara berbentuk gas

a. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses melekatnya molekul polutan atau ion pada permukaan zat padat-adsorben-seperti karbon aktif dan silikat. Adsorben mempunyai sifat dapat menyerap zat lain sehingga menempel pada permukaannya tanpa reaksi kimia serta memiliki daya kejenuhan yang bersifat disposal (sekali pakai buang) atau dibersihkan dulu, kemudian digunakan lagi.

b. Absorpsi

Absorpsi merupakan proses penyerapan yang memerlukan solven yang baik untuk memisahkan polutan gas dengan konsentrasinya. Metode absorpsi ini pada prinsipnya hampir sama dengan metode adsorpsi, hanya bedanya bahwa emisi hidrokarbon mengalami kontak dengan cairan di mana hidrokarbon akan larut atau tersuspensi.

c. Kondensasi

Kondensasi merupakan proses perubahan uap air atau benda gas menjadi benda cair pada suhu udara di bawah titik embun. Polutan gas diarahkan mencapai titik kondensasi tinggi dan titik penguapan yang rendah, seperti hidrokarbon dan gas organik lainnya.

d. Pembakaran

Pembakaran merupakan proses untuk menghancurkan gas hidrokarbon yang terdapat di dalam polutan dengan mempergunakan proses oksidasi panas yang disebut inceneration. Inceneration merupakan salah satu metode dalam pengolahan limbah padat dengan menggunakan pembakaran yang menghasilkan gas dan residu pembakaran.

2. Mencegah pencemaran udara berbentuk partikel

A. Filter

Filter udara dimaksudkan untuk menangkap debu atau polutan partikel yang ikut keluar pada cerobong atau stack pada permukaan filter, agar tidak ikut terlepas ke lingkungan sehingga hanya udara bersih saja yang keluar dari cerobong. Penggunaan filter udara seharusnya disesuaikan dengan sifat gas buangan yang keluar seperti berdebu banyak, bersifat asam, bersifat alkalis dan sebagainya. Beberapa contoh jenis filter yang banyak digunakan seperti cotton, nylon, orlon, dacron, fiberglass, polypropylene, wool, nomex, tefloyn.

B. Siklon

Kelebihan penggunaan siklon adalah

1. Harga cukup murah
2. Tidak banyak bagian-bagian yang berputar
3. Dapat digunakan dalam segala kondisi suhu operasi

C. ELECTROSTATIC PRECIPITATOR

Alat pengendap elektrostatic dapat digunakan untuk membersihkan udara kotor dalam jumlah yang relative besar. Alat ini menggunakan arus searah (DC) yang mempunyai tegangan antara 25-100 kv, berupa tabung silinder di mana dindingnya diberi muatan positif sedangkan di tengah ada sebuah kawat yang merupakan pusat silinder, sejajar dinding silinder, diberi muatan negative.

D. Kolektor Mekanik

Mengendapkan polutan partikel yang ukurannya relative besar dapat dengan menggunakan tenaga gravitasi. Pengendap siklon atau cyclone Separators adalah pengendap debu yang ikut dalam gas buangan atau udara dalam ruang pabrik yang berdebu.

E. Scrubber

Scrubber merupakan alat yang dapat memisahkan partikel dalam flue gas. Dalam prosesnya biasanya digunakan air untuk menangkap partikel

/ debu di dalam flue gas. Dalam penggunaannya di industri terdapat dua jenis scrubber yaitu wet scrubber dan semi wet scrubber (dry scrubber). Wet scrubber dapat mengurangi polutan udara yaitu penanggulangan emisi debu dan pencemar yang dihasilkan oleh gas buang dari proses pembakaran. Semi wet scrubber merupakan pengembangan dari scrubber yang ada. Keunggulannya dibanding wet scrubber adalah tidak menghasilkan limbah cair sehingga lebih praktis karena tidak lagi membutuhkan pengolahan limbah cair

F. Program penghijauan

Tumbuh-tumbuhan menyerap hasil pencemaran udara berupa karbon dioksida (CO₂) dan melepaskan oksigen (O₂). Tumbuh-tumbuhan akan menghisap dan mengurangi polutan, dengan melepaskan gas oksigen maka akan mengurangi jumlah polutan di udara.

Semakin banyak tumbuh-tumbuhan ditanam sebagai paru-paru kota maka kualitas udara akan semakin sehat sehingga akan mendukung program langit biru (prolabir). Program penghijauan ini seharusnya merupakan gerakan nasional agar semua pihak dapat berpartisipasi aktif.

G. Ventilasi udara

Penggunaan dan penempatan ventilasi udara seharusnya disesuaikan dengan kebutuhan. Perhatian utama yaitu tercukupinya kebutuhan gas oksigen (O₂) dalam ruangan serta menjadikan udara dalam ruangan bebas dari berbagai polutan. Bila akan menggunakan exhaust fan, maka usahakan dekat dengan sumber pencemaran, agar polutan segera dapat keluar dalam ruangan.

3. Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara

Upaya penanggulangan dilakukan dengan tindakan pencegahan (preventif) yang dilakukan sebelum terjadinya pencemaran dan tindakan kuratif yang dilakukan sesudah terjadinya pencemaran.

1. Usaha Preventif (sebelum pencemaran)

- a. Mengembangkan energi alternatif dan teknologi yang ramah lingkungan.
- b. Mensosialisasikan pelajaran lingkungan hidup (PLH) di sekolah dan masyarakat.
- c. Mewajibkan dilakukannya AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) bagi industri atau usaha yang menghasilkan limbah.
- d. Tidak membakar sampah di pekarangan rumah.
- e. Tidak menggunakan kulkas yang memakai CFC (freon) dan membatasi penggunaan AC dalam kehidupan sehari-hari.
- f. Tidak merokok di dalam ruangan.
- g. Menanam tanaman hias di pekarangan atau di pot-pot.
- h. Ikut berpartisipasi dalam kegiatan penghijauan.
- i. Ikut memelihara dan tidak mengganggu taman kota dan pohon pelindung.
- j. Tidak melakukan penebangan hutan, pohon dan tumbuhan liar secara sembarangan.
- k. Mengurangi atau menghentikan penggunaan zat aerosol dalam penyemprotan ruang.
- l. Menghentikan penggunaan busa plastik yang mengandung CFC.
- m. Mendaur ulang freon dari mobil yang ber-AC.
- n. Mengurangi atau menghentikan semua penggunaan CFC dan CCl₄.

2. Usaha kuratif (sesudah pencemaran)

Bila telah terjadi dampak dari pencemaran udara, maka perlu dilakukan beberapa usaha untuk memperbaiki keadaan lingkungan, dengan cara:

- a. Menggalang dana untuk mengobati dan merawat korban pencemaran lingkungan.
- b. Kerja bakti rutin di tingkat RT/RW atau instansiinstansi untuk membersihkan lingkungan dari polutan.

- c. Melokalisasi tempat pembuangan sampah akhir (TPA) sebagai tempat/pabrik daur ulang.
- d. Menggunakan penyaring pada cerobong di kilang minyak atau pabrik yang menghasilkan asap atau jelaga penyebab pencemaran udara.
- e. Mengidentifikasi dan menganalisa serta menemukan alat atau teknologi tepat guna yang berwawasan lingkungan setelah adanya musibah/kejadian akibat pencemaran udara, misalnya menemukan bahan bakar dengan kandungan timbal yang rendah (BBG)

3. Program pemerintah

Selain usaha preventif dan kuratif, Pemerintah juga perlu mencanangkan program-program yang bertujuan untuk mengendalikan pencemaran, khususnya pencemaran udara, yaitu :

- a. PROGRAM LANGIT BIRU yang dicanangkan sejak Agustus 1996. Bertujuan untuk meningkatkan kembali kualitas udara yang telah tercemar, misalnya dengan melakukan uji emisi kendaraan bermotor.
- b. Keharusan membuat cerobong asap bagi industri/ pabrik.
- c. Imbauan mengurangi bahan bakar fosil (minyak, batu bara) dan menggantinya dengan energy Alternatif lainnya.
- d. Membatasi beroperasinya mobil dan mesin pembakar yang sudah tua dan tidak layak pakai.
- e. Larangan menggunakan gas CFC.
- f. Larangan beredarnya insektisida berbahaya seperti DDT (dikhloro difenil trikloro etana).
- g. Melarang penggunaan CFC pada produksi kosmetika.
- h. Menetapkan undang-undang dan hukum tentang pelaksanaan perlindungan lapisan ozon

4. Secara nasional dan internasional

Solusi untuk mengatasi polusi udara kota terutama ditujukan pada pembenahan sektor transportasi, tanpa mengabaikan sektor-sektor lain. Hal ini kita perlu belajar dari kota-kota besar lain di dunia, yang telah berhasil

menurunkan polusi udara kota dan angka kesakitan serta kematian yang diakibatkan :

- a. Pemberian izin bagi angkutan umum kecil hendaknya lebih dibatasi, sementara kendaraan angkutan massal, seperti bus dan kereta api diperbanyak dan ditinjau sesuai dengan kebutuhan.
- b. Pembatasan usia kendaraan, terutama bagi angkutan umum, perlu dipertimbangkan sebagai salah satu solusi. Sebab, semakin tua kendaraan, terutama yang kurang terawat, semakin besar potensi untuk memberi kontribusi polutan udara.
- c. Potensi terbesar polusi oleh kendaraan bermotor adalah kemacetan lalu lintas dan tanjakan. Karena itu, pengaturan lalu lintas, rambu-rambu, dan tindakan tegas terhadap pelanggaran berkendara dapat membantu mengatasi kemacetan lalu lintas dan mengurangi polusi udara.
- d. Pemberian penghambat laju kendaraan di permukiman atau gang-gang yang sering diistilahkan dengan “polisi tidur” justru merupakan biang polusi. Kendaraan bermotor akan memperlambat laju.
- e. Uji emisi harus dilakukan secara berkala pada kendaraan umum maupun pribadi meskipun secara uji petik (spot check). Perlu dipikirkan dan dipertimbangkan adanya kewenangan tambahan bagi polisi lalu lintas untuk melakukan uji emisi di samping memeriksa surat-surat dan kelengkapan kendaraan yang lain.

4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia

- NOMOR 41 TAHUN 1999 tentang PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA
- Pasal 5 ayat (2) Undang-Undang Dasar 1945
- Undang-undang nomor 23 tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup (lembaran negara tahun 1997 nomor 68, tambahan lembaran negara nomor 3699.)

5. Progam Rekayasa Pengendalian Pencemaran Udara di Kota Madiun

- Membuat kawasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di beberapa lokasi seperti RTH Kartini, RTH Ngegong dan beberapa tempat lainnya



- Membuat memanfaatkan lahan-lahan tidur untuk ditanami tanaman produktif



- Merencanakan kota sejuta bunga dengan membangun trotoar dan menanam bunga-bunga di sepanjang jalan
- Membuat program sampah menjadi berkah dengan memanfaatkan gas metan yang berasal dari proses fermentasi sampah di TPA Kota Madiun



- Mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar solar

Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Solar Di Madiun

© Selasa, 13 September 2022 19:53 WIB



TERPOPULER



Kecelakaan beruntun lintas Padang-Bukittinggi tewaskan tiga orang dan libatkan sembilan kendaraan
29.855 views



Mantan atlet peraih emas futsal PON Riau jadi korban kecelakaan beruntun lintas Padang-Bukittinggi
18.863 views



Tujuh kendaraan terlibat kecelakaan beruntun di Pandakian Nurul Ikhlas Tanah Datar, satu orang meninggal
6.545 views



Tak ada penculikan anak di Padang, Ternyata cuma rekayasa
6.527 views



Putusan pengadilan: Bakrie Pasaman Plantation serahkan kebun plasma 300 hektare
3.778 views

LIPUTAN KHUSUS

- Melakukan pemantauan kualitas udara di Kota Madiun dengan melakukan uji emisi kendaraan bermotor dan melakukan uji udara ambien di beberapa titik secara rutin.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. A. (2019). *Buku ajar konsep-konsep dasar dalam keperawatan komunitas*. Deepublish
- Citraswari, H., Husein, A., & Muryoto, M. (2015). Hubungan Perilaku Penyehatan Udara di Dalam Ruang Rumah dan gangguan Kesehatan Keluarga di kelurahan Caturtunggal Wilayah Kerja Puskesmas Depok III, Sleman, Yogyakarta. *Sanitasi: Jurnal KesehatanLingkungan*, 6(4), 157-164
- Deputi Bidang Tata Lingkungan Kementrian Lingkungan Hidup. Memprakirakan Dampak Lingkungan Kualitas Udara. In: Kementrian Lingkungan Hidup, editor. 2007.
- Novirsa R. Analisis Risiko dan Gambaran Spasial PM 2,5 di udara ambien (outdoor) di Siang Hari Terhadap Masyarakat di Kawasan Industri. Depok: FKM UI. 2012.

K. REKAYASA PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA

A. Rekayasa Pengendalian Pencemaran Udara

Pengendalian pencemaran akan membawa dampak positif bagi lingkungan karena hal tersebut akan menyebabkan kesehatan masyarakat yang lebih baik, kenyamanan hidup lingkungan sekitar yang lebih tinggi, resiko yang lebih rendah, kerusakan materi yang rendah, dan yang paling penting ialah kerusakan lingkungan yang rendah. Faktor utama yang harus diperhatikan dalam pengendalian pencemaran ialah karakteristik dari pencemar dan hal tersebut bergantung pada jenis dan konsentrasi senyawa yang dibebaskan ke lingkungan, kondisi geografik sumber pencemar, dan kondisi meteorologis lingkungan. Pengendalian pencemaran udara dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pengendalian pada sumber pencemar dan pengenceran limbah gas. Pengendalian pada sumber pencemar merupakan metode yang lebih efektif karena hal tersebut dapat mengurangi keseluruhan limbah gas yang akan diproses dan yang pada akhirnya dibuang ke lingkungan. Di dalam sebuah pabrik kimia, pengendalian pencemaran udara terdiri dari dua bagian yaitu penanggulangan emisi debu dan penanggulangan emisi senyawa pencemar.

Rekayasa pengendalian pencemaran udara bisa dilakukan dengan beberapa cara, antara lain :

1. Pengendalian pencemaran udara emisi bergerak dan tidak bergerak
2. Pengendalian pencemaran udara ambien

Untuk pengendalian pencemaran udara emisi tidak bergerak bisa dilakukan beberapa cara, antara lain :

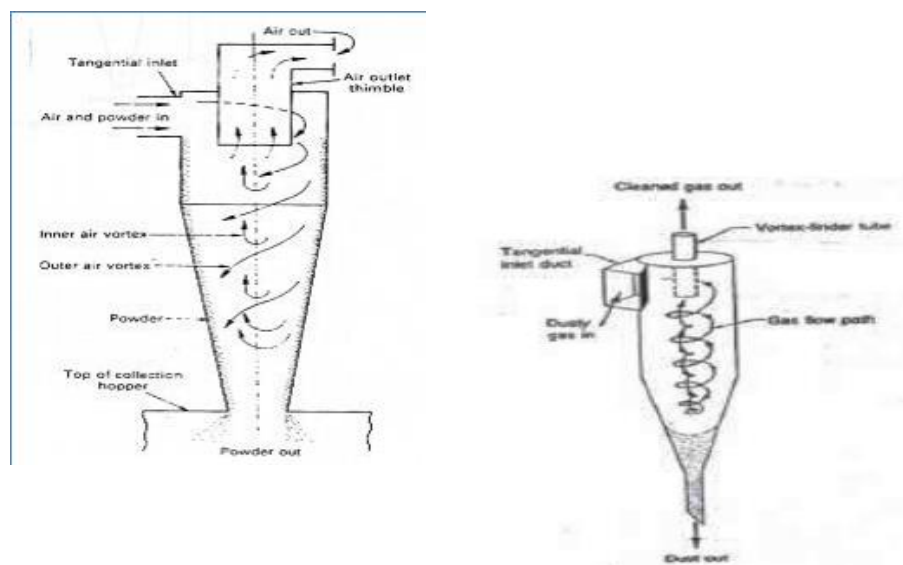
- a. Rekayasa pemasangan penyaring udara pada cerobong pembakaran

Alat-alat pemisah debu bertujuan untuk memisahkan debu dari aliran gas buang. Debu dapat ditemui dalam berbagai ukuran, bentuk, komposisi kimia, densitas, daya kohesi, dan sifat higroskopik yang berbeda. Maka dari itu, pemilihan alat pemisah debu yang tepat berkaitan dengan tujuan akhir pengolahan dan juga aspek ekonomis Debu/partikulat seperti telah diketahui memiliki berbagai macam variasi baik dalam segi bentuk dan ukuran, yang bisa juga terkandung dalam larutan ataupun berwujud debu kering, dengan rentang yang sangat besar baik dalam segi fisik dan kimiawi. Debu dan asap yang tersuspensi di udara dapat dihilangkan dari aliran udara dengan menggunakan beberapa alat pengendali. Terdapat tiga buah alat yang dapat menyisahkan partikulat dari udara, yaitu :

➤ Cyclone

merupakan alat mekanis sederhana yang digunakan untuk menyisahkan partikulat dari aliran gas. Cyclone cukup efektif untuk menyisahkan partikulat kasar dengan diameter $>10\text{mm}$. Prinsip penyisihan partikulat dari aliran gas pada alat ini adalah dengan memanfaatkan gaya sentrifugal sehingga jika gaya

sentrifugalnya besar maka efisiensi penyisihan partikulat juga akan tinggi. Pada umumnya cyclone dirancang dengan kesamaan geometris dimana perbandingan dimensinya bersifat konstan untuk berbagai diameter (Diameter body = D_o). Nilai perbandingan ini akan menentukan apakah cyclone tersebut termasuk jenis konvensional, efisiensi tinggi atau high throughput. Jenis-jenis cyclone secara garis besar terbagi menjadi tiga, yaitu konvensional, efisiensi tinggi dan high throughput. Air pollution control (APC) pada umumnya dapat dideskripsikan sebagai teknologi pemisahan. Dalam APC, polutan dalam bentuk gas, aerosol, atau partikel padat, dipisahkan dari gas pembawanya (carrier gas), yang biasanya adalah udara. Pemisahan ini dimaksudkan untuk mencegah polutannya masuk ke dalam lingkungan dan merusak lingkungan serta menurunkan kualitas kesehatan masyarakat. (Schiffner, 2013).



➤ **Particulate Scrubber**

Particulate scrubber dirancang dengan konsep menambahkan kadar air pada pencemar partikulat sehingga akan terpisah dari aliran udara emisi. Kriteria desain unit ini tergantung pada konsumsi energi yang diperlukan selama proses penyisihan, makin tinggi energi yang digunakan maka makin tinggi pula efisiensi penyisihannya.

Prinsip penyisihan menggunakan wet scrubber dapat melalui 4 mekanisme, diantaranya :

1. Impingement : Memperbesar ukuran partikulat dengan membubuhkan spray air pada jalur edar partikulat.
2. Difusi : Adanya gradien konsentrasi antara spray air dan partikulat menyebabkan difusi yang menghasilkan deposisi basah.
3. Kondensasi : Butir spray air terkondensasi pada permukaan partikulat.
4. Menambah tingkat kelembaban dan gaya electrostatic antar partikel.

Dengan adanya penggunaan wet scrubber diharapkan partikulat yang terbang ke udara dapat dikurangi secara signifikan sehingga akan dapat mengurangi pencemaran udara oleh partikulat.



Wet scrubber

Sedangkan untuk rekayasa pengendalian pencemaran udara emisi bergerak bisa dilakukan dengan beberapa cara seperti halnya :

1. Penanggulangan pencemaran udara dari sumber bergerak meliputi pengawasan terhadap penataan ambang batas emisi gas buang, pemeriksaan emisi gas buang untuk kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor lama, pemantauan mutu udara ambien di sekitar jalan, pemeriksaan emisi gas buang kendaraan bermotor di jalan dan pengadaan bahan bakar minyak bebas timah hitam serta solar berkadar belerang rendah sesuai standar internasional.

Sedangkan untuk peraturan pemerintah dalam hal rekayasa penanggulangan pencemaran udara menerapkan beberapa hal untuk menangani hal tersebut, antara lain :

1. Rekayasa dengan penanaman pohon atau reboisasi.

Dengan penanaman pohon-pohon yang efektif membantu mengurangi polusi udara seperti halnya penanaman pohon trembesi sangat efektif. Seperti halnya adanya hutan kota di area perkotaan. Pohon trembesi kerap dijumpai di jalanan atau taman-taman kota sebagai pohon peneduh. Pohon trembesi disebut juga pohon hujan atau Ki Hujan. Satu batang trembesi dewasa dengan percabangan lebih dari 15 meter mampu menyerap 28,5 ton gas setara karbon dioksida (CO₂) per tahun.

Sebagai penahan dan penyaring polutan partikel padat di udara hutan kota. Vegetasi mengambil CO₂ dalam proses fotosintesis dan menghasilkan O₂ yang sangat diperlukan makhluk hidup untuk pernapasan. Menurut Grey dan Deneke (1976), setiap jam 1 ha daun-daun hijau menyerap 8 kg CO₂ yang dihembuskan oleh nafas manusia sedkitar 200 orang dalam waktu yang sama sebagai pernafasannya.

Udara alami yang bersih sering dikotori oleh debu, baik yang dihasilkan oleh kegiatan alami maupun kegiatan manusia. Dengan adanya hutan atau pohon-pohon, partikel padat yang tersuspensi pada lapisan biosfer bumi akan dapat dibersihkan oleh tajuk pohon melalui proses serapan. Partikel yang melayang-layang di permukaan bumi sebagian akan diserap pada permukaan daun, khususnya daun yang berbulu dan mempunyai permukaan yang kasar dan sebagian lagi terserap masuk kedalam ruang stomata daun.

Ada juga partikel yang menempel pada kulit pohon, cabang dan ranting. Dengan demikian hutan menyaring udara menjadi lebih bersih dan sehat.

2. Program Langit Biru

Program Langit Biru merupakan sebuah program Upaya Pengendalian Pencemaran Udara yang diupayakan oleh pemerintah Indonesia secara nasional. Program Langit Biru diumumkan pada tanggal 6 Agustus 1996 di Semarang oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup. Program langit biru memiliki tujuan yaitu untuk mengendalikan pencemaran udara, khususnya yang bersumber dari sektor transportasi. Selain itu, program langit biru juga memiliki tujuan untuk mencapai kualitas udara ambien yang memenuhi standar kesehatan manusia dan makhluk hidup yang lain.

3. Ruang Terbuka Hijau (RTH)

Menurut ketentuan Pasa 1 angka 31 Undang-undang No. 26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang menyatakan bahwa, Ruang Terbuka Hijau adalah area memanjang/jalur dan/atau mengelompok, yang penggunaannya bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang disengaja ditanam. Dari pengertian tersebut tanaman yang dimaksud haruslah tanaman yang dapat menyerap dan menetralsir gas-gas yang berasal dari gas buang atau emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor ataupun dari polutan udara yang lain. Luasan wilayah Ruang Terbuka Hijau yang diwajibkan dalam ketentuan pasal 29 Undang-undang No. 26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang adalah 30% dari luas wilayah

kota. Terdiri dari 20% Terbuka Hijau Publik dan 10% Ruang Terbuka Hijau Privat (Tokan, 2015).

4. Pengelompokan Area atau Daerah Industri

Diharapkan dengan pengelompokan area industri atau pabrik yang jauh dari pemukiman maka jangkauan polusi atau polutan yang dihasilkan oleh aktifitas industri tersebut tidak mengganggu masyarakat baik dari segi Kesehatan maupun aktifitas masyarakat.

5. Penggunaan Masker

Dimasa pandemic kemarin sangat dianjurkan untuk penggunaan masker guna mencegah penularan penyakit melalui udara atau airborne maupun penularan secara droplet. Selain penggunaan masker berfungsi sebagai pencegahan penularan penyakit, masker juga sangat efektif digunakan dalam melindungi diri dari kontak polusi udara atau polutan yang mana dapat menyebabkan beberapa penyakit seperti ISPA.

DAFTAR PUSTAKA

Daryanto. 2004. *Masalah Pencemaran*. Bandung : TARSITO. Anonim. 2009. *Polusi Udara*.

<http://oerleebook.files.wordpress.com/2009/10/polusi-udara.pdf>

[di unduh pada tanggal 27 Oktober 2013] Anonim. 2011. *Pencemaran Udara*.

<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/21023/4/Chapter%20II.pdf>

[di unduh pada tanggal 27 Oktober 2013]

Rahman. 2012. *Dampak Pencemaran Lingkungan*.

http://rahmankesling.blogspot.com/2012/12/dampak-pencemaran-udara-dan-solusinya_4719.html

[di unduh pada tanggal 30 Oktober 2013]

Anonim. 2013. *Upaya Penanggulangan Polusi Udara*

<http://takbagi.blogspot.com/2013/02/upaya-penanggulangan-polusi-udara.html>

[di unduh pada tanggal 30 Oktober 2013]

Anonim. Tt. *Penyebab Polusi Udara*.

<http://www.artikellingkunganhidup.com/penyebab-polusi-udara.html>

[di unduh pada tanggal 30 Oktober 2013]

Dewa. 2013. *Dampak Pencemaran Udara dan Solusinya*.

<http://dewa-sumberilmu.blogspot.com/2013/05/dampak-pencemaran-udara-dan-solusinya.html>

[di unduh pada tanggal 30 Oktober 2013]

Mala. 2012. *Cara Mengatasi Pencemaran Udara*.

L.BAKU MUTU UDARA EMISI AMBIENT

A. Regulasi Baku Mutu Kualitas Udara

1. Undang Undang No. 32 tahun 2009 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Secara garis besar, UU Nomor 32 Tahun 2009 berisikan upaya sistematis dan terpadu untuk melestarikan lingkungan serta sebagai upaya pencegahan terjadinya pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup. Hal ini tercermin dalam Pasal 1 ayat (2) UU Nomor 32 Tahun 2009 yang berbunyi: "Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup adalah upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum."

Adapun tujuan dari upaya perlindungan serta pengelolaan lingkungan hidup, tercantum dalam Pasal 3 UU Nomor 32 Tahun 2009, yakni: Melindungi wilayah NKRI dari pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup.

- a. Menjamin keselamatan, kesehatan dan kehidupan manusia.
- b. Menjamin kelangsungan kehidupan makhluk hidup serta kelestarian ekosistem.
- c. Menjaga kelestarian fungsi lingkungan hidup.
- d. Mencapai keserasian, keselarasan dan keseimbangan lingkungan hidup.
- e. Menjamin terpenuhinya keadilan generasi masa kini serta masa depan.
- f. Menjamin pemenuhan serta perlindungan hak atas lingkungan hidup sebagai bagian dari hak asasi manusia.

- g. Mengendalikan pemanfaatan sumber daya alam secara bijaksana.
 - h. Mewujudkan pembangunan berkelanjutan.
 - i. Mengantisipasi isu lingkungan global
2. PP Nomor 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara

Baku mutu kualitas udara terbagi atas baku mutu udara ambien (BMU) dan baku mutu emisi (BME). Baku mutu udara ambien diatur melalui Peraturan Pemerintah No.41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi, dan/atau komponen yang ada atau yang seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Adapun parameter polutan yang diatur dalam PP no.41 tahun 1999 tersebut terdiri atas SO₂, CO, NO₂, O₃, HC, PM₁₀, PM_{2.5}, TSP, Pb, Dustfall, Total F, Indeks Fluor, Chlorine & Chlorine dioxide, dan Indeks Sulfat.

3. Permen LH No. 7 tahun 2007 BME Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel uap

Parameter Yang Diatur Permen LH No. 7 tahun 2007 BME Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel uap Partikulat, SO₂, NO₂, HCl, Cl₂, NH₃, HF, Opasitas Dalam permen Lh ini yang dimaksud dengan ketel uap adalah sebuah alat penghasil panas yang menggunakan bahan baku air atau minyak yang dipanaskan dengan bahan bakar biomassa, minyak, batu bara, dan/ atau gas. Baku mutu emisi sumber tidak bergerak bagi ketel uap yang diatur dalam Peraturan Menteri ini tidak berlaku untuk industri besi dan baja, industry pulp dan kertas, industri semen, pembangkit listrik tenaga uap, industry pupuk, dan usaha dan/ atau kegiatan minyak dan gas bumi.

4. Permen LH No. 17 tahun 2008 BME Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Industri Keramik

Parameter yang diatur dalam Permen LH No. 17 tahun 2008 BME Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Industri Keramik yaitu Partikulat, SO₂, NO_x, HF. Yang dimaksud dengan Industri keramik adalah usaha dan/atau kegiatan yang melakukan proses pengolahan bahan baku berupa bahan tambang yang mengandung oksida-oksida non logam seperti kaolin, fielsdspar, pasir silika, dan tanah liat melalui proses pembakaran pada suhu kurang lebih 1300⁰C.

Lampiran
Peraturan Menteri Negara
Lingkungan Hidup
Nomor : 17 Tahun 2008
Tanggal: 20 November 2008

BAKU MUTU EMISI SUMBER TIDAK BERGERAK BAGI USAHA
DAN/ATAU KEGIATAN INDUSTRI KERAMIK

No	Sumber	Parameter	Kadar/Beban Emisi Maksimum	Satuan
1.	Kiln	Sulfur Dioksida (SO ₂) Nitrogen Oksida (NO _x) Total Partikulat Hidrogen Fluorida (HF)	400 600 150 10	mg/Nm ³ mg/Nm ³ mg/Nm ³ mg/Nm ³
2.	Semua Sumber selain kiln dan utilitas (<i>Crushing, Grinding, Finishing, dan Drying</i>)	Total Partikulat	150	mg/Nm ³
3.	Semua sumber	Opasitas	20	%

Catatan :

1. Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atmosfer)
2. Nitrogen oksida (NO_x) merupakan penjumlahan gas (NO₂ + NO) dan dinyatakan sebagai NO₂.
3. Untuk gas Nitrogen Oksida dan Sulfur Dioksida pada proses pembakaran di Kiln dikoreksi sebesar 10 % oksigen.
4. Opasitas digunakan sebagai indikator praktis pemantauan dan dikembangkan untuk memperoleh hubungan korelatif dengan pengamatan total partikel.

5. Permen LH No. 18 tahun 2008 BME Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Industri Carbon Black

Parameter yang diatur dalam Permen LH No. 18 tahun 2008 BME Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Industri Carbon

Black yaitu Partikulat, SO₂, NO_x (as NO₂). Yang dimaksud dengan industri Carbon Black adalah industri yang mengolah bahan baku berupa hidrokarbon cair atau gas melalui proses pembakaran tidak sempurna atau dekomposisi termal sehingga diperoleh produk berupa unsur karbon dengan kemurnian tinggi.

Lampiran I
Peraturan Menteri Negara
Lingkungan Hidup
Nomor : 18 Tahun 2008
Tanggal : 20 November 2008

BAKU MUTU EMISI SUMBER TIDAK BERGERAK BAGI INDUSTRI
CARBON BLACK

No.	Parameter	Beban Emisi Maksimum (kg/Ton Bahan Baku)
1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	54
2.	Nitrogen Oksida (NO _x) sebagai NO ₂	12
3.	Total Partikulat	2

Catatan :

1. Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atmosfer).
2. Pengukuran kadar setiap parameter dikoreksi terhadap oksigen (O₂) sebesar 7%.

Lampiran II
Peraturan Menteri Negara
Lingkungan Hidup
Nomor : 18 Tahun 2008
Tanggal : 20 November 2008

BAKU MUTU EMISI SUMBER TIDAK BERGERAK BAGI INDUSTRI
CARBON BLACK

No.	Parameter	Beban Emisi Maksimum (kg/Ton Bahan Baku)
1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	45
2.	Nitrogen Oksida (NO _x) sebagai NO ₂	10
3.	Total Partikulat	1,5

Catatan :

1. Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 atmosfer).
2. Pengukuran kadar setiap parameter dikoreksi terhadap oksigen (O₂) sebesar 7%.

6. Permen LH No. 21 tahun 2008 BME Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Pembangkit Listrik Termal

Yang dimaksud Pembangkit Tenaga Listrik Termal adalah suatu kegiatan yang memproduksi tenaga listrik dengan menggunakan bahan bakar padat, cair, gas, campuran antara padat, cair, dan/atau gas, atau uap panas bumi. Parameter yang diatur dalam dalam permen LH ini yaitu Partikulat, SO₂, NO_x (as NO₂) dan O₃.

7. Permen LH No. 12 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara Di Daerah

Yang dimaksud pencemaran udara dalam Peraturan Menteri ini, Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu udara yang telah ditetapkan.

Ruang lingkup pengendalian pencemaran udara yang diatur dalam Peraturan Menteri ini meliputi :

- a. penetapan baku mutu udara ambien;
- b. penetapan status mutu udara ambien daerah;
- c. penetapan baku mutu emisi, baku mutu emisi gas buang, dan baku mutu gangguan;
- d. pelaksanaan koordinasi operasional pengendalian pencemaran udara; dan
- e. koordinasi dan pelaksanaan pemantauan kualitas udara.

Penetapan angka BMUA bertujuan untuk melindungi kesehatan manusia termasuk kesehatan terhadap populasi yang sensitif seperti penderita asthma, anak balita dan kelompok orang lanjut usia. Dengan fokus utama pada kesehatan manusia, maka nilai ambang batas perlu

ditetapkan berdasarkan informasi dari studi hubungan dosis-response, yang menghubungkan penyakit dengan level pajanan/konsentrasi pencemar pada periode waktu yang sama. Walaupun kesehatan manusia merupakan fokus utama dari penetapan BMUA, pencemaran udara juga dapat menimbulkan dampak merugikan terhadap lingkungan dan ekosistem.

8. Permen LHK No. 70 tahun 2016 BME Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal

Peraturan Menteri ini bertujuan untuk memberikan batasan baku mutu emisi dan kewajiban melakukan pemantauan emisi kepada penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan pengolahan sampah secara termal. Parameter yang diatur diantaranya Partikulat, SO₂, NO_x, HCl, CO, Hg, HF, Dioxin, Furans.

LAMPIRAN I
 PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
 REPUBLIK INDONESIA
 NOMOR
 TENTANG
 BAKU MUTU EMISI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN
 PENGOLAHAN SAMPAH SECARA TERMAL

BAKU MUTU EMISI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN PENGOLAHAN
 SAMPAH SECARA TERMAL

No.	Parameter	Satuan	Batas Maksimum Usulan
1.	Total Partikulat	mg/ Nm ³	120
2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	mg/ Nm ³	210
3.	Oksida Nitrogen (NO _x)	mg/ Nm ³	470
4.	Hidrogen Klorida (HCl)	mg/ Nm ³	10
5.	Merkuri (Hg)	mg/ Nm ³	3
6.	Karbon Monoksida (CO)	mg/ Nm ³	625
7.	Hidrogen Fluorida (HF)	mg/ Nm ³	2
8.	Dioksin & Furan	ng/ Nm ³	0,1

Keterangan:

- Volume gas diukur dalam keadaan standar (25°C dan tekanan 1 (satu) atmosfer).
- Semua parameter dikoreksi dengan Oksigen (O₂) sebesar 11% (sebelas persen).
- Pengukuran dioksin dan furan dilakukan setiap 5 (lima) tahun sekali.

9. Permen LHK No. 20 tahun 2017 BME Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, Kategori N, Kategori O

Dalam peraturan menteri ini yang dimaksud dengan Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor. Sedangkan yang dimaksud dengan Kendaraan Bermotor Kategori M, Kategori N, dan Kategori O adalah kendaraan bermotor yang beroda 4 (empat) atau lebih dengan penggerak motor bakar cetus api dan penggerak motor bakar penyalaan kompresi sesuai dengan SNI 09-1825-2002 . Parameter yang di atur dalam peraturan menteri ini diantaranya NO_x, HC, CO

10. Permen LHK No. 19 tahun 2017 BME Usaha dan/atau Kegiatan Industri Semen

Yang dimaksud dengan usaha dan/atau Kegiatan Semen adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan yang menggunakan bahan mentah seperti batu kapur, tanah liat, pasir besi, pasir silika, gypsum dan bahan sejenis lainnya di dalam proses produksinya. Parameter yang diatur dalam peraturan menteri ini diantaranya Partikulat, SO₂, NO_x (as NO₂).

LAMPIRAN II

PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN

NOMOR P.19/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2/2017

TENTANG

BAKU MUTU EMISI BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN INDUSTRI SEMEN

BAKU MUTU EMISI SUMBER TIDAK BERGERAK BAGI KETEL UAP (*BOILER*) ATAU PEMBANGKIT UAP (*STEAM GENERATOR*) ATAU PEMANAS PROSES (*PROCESS HEATER*) ATAU PENGOLAHAN PANAS (*HEATER TREATER*) BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN INDUSTRI SEMEN

NO	PARAMETER	KETEL UAP BERBAHAN BAKAR (mg/Nm ³)		
		BATUBARA	MINYAK	GAS
1.	Partikulat	100	100	30
2.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	750	650	50
3.	Nitrogen Oksida (NO _x)	750	450	150

11. Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 tahun 2009 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak di Jawa Timur

Industri atau jenis kegiatan usaha lainnya yang wajib menggunakan

baku mutu emisi sumber tidak bergerak sebagaimana tersebut dalam Peraturan Gubernur ini, meliputi :

- a. Industri logam dan sejenisnya;
- b. Industri pulp dan kertas;
- c. Industri semen;
- d. Industri pengolahan kayu;
- e. Industri pupuk amonium sulfat (ZA);
- f. Industri pupuk urea;
- g. Industri pupuk fosfat (SP-36, TSP);
- h. Industri pupuk asam fosfat dan hasil samping;
- i. Industri pupuk majemuk - NPK;
- j. Industri karbit (Kalsium Karbida);
- k. Industri cat;
- l. Industri gula;
- m. Industri keramik;
- n. Ketel uap berbahan bakar biomassa berupa bagas atau ampas dan/atau daun tebu kering;
- o. Ketel uap berbahan bakar biomassa lainnya;
- p. Ketel uap berbahan bakar biomassa serabut dan/atau cangkang;
- q. Ketel uap berbahan bakar batu bara;
- r. Ketel uap berbahan bakar minyak;

- s. Ketel uap berbahan bakar gas;
- t. Kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas;
- u. Kegiatan kilang minyak;
- v. Kegiatan kilang LNG;
- w. Kegiatan unit penangkapan sulfur;
- x. Industri atau jenis kegiatan usaha lainnya.

Dalam pasal 5 disebutkan bahwa :

(1) Setiap penanggung jawab industri atau kegiatan usaha lainnya

sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2, wajib memenuhi ketentuan :

- (a) membuat cerobong emisi yang dilengkapi dengan sarana pendukung meliputi lubang pengambilan contoh uji, tangga lantai kerja (platform), aliran listrik dan alat pengaman;
- (b) memasang unit pengendalian pencemaran udara;
- (c) melakukan pengukuran secara manual dan pengujian emisi setelah kondisi proses stabil.

(2) Catatan pemantauan hasil emisi sebagaimana dimaksud pada ayat

(1) huruf c, sekurang-kurangnya 6 (enam) bulan sekali wajib

disampaikan kepada :

- (a). Kepala BLH; dan
- (b). Bupati / Walikota

6. TEKNOLOGI PENGENDALIAN EMISI

Primer, Particulate Matter (PM), didefinisikan sebagai material halus dalam bentuk solid maupun cair (liquid droplets) di udara dengan ukuran antara 0.05 μm hingga 100 μm . Selain itu, partikulat juga ditemukan dalam bentuk suspensi dengan rata-rata ukuran kurang dari 40 μm . Pengelompokan partikulat berdasarkan ukurannya dibagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu a) ultra fine particle, dengan ukuran $< 0.1 \mu\text{m}$, b) fine particle, dengan ukuran 0.1 – 2.0 μm , dan c) coarse particle, dengan ukuran $>2 \mu\text{m}$. Selain itu, klasifikasi lainnya yang digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel adalah sifat aerodinamis yaitu kurang atau sama dengan 10 μm (PM10). Partikulat dari hasil pembakaran di mesin diesel pada umumnya berukuran kurang dari 2,5 μm (PM2.5). Sebagai sebuah hasil reaksi kimia, partikel ini juga memiliki susunan partikel yang lebih kecil dengan ukuran diameter kurang dari 0,1 μm (CEPA, 1999). PM dapat bersumber dari industri maupun pertambangan baik dari proses pembakaran maupun non pembakaran. Karakteristik PM yang penting antara lain; ukuran, distribusi ukuran, bentuk, densitas, stickness, korosivitas, reaktivitas dan toksisitas (Cooper & Alley, 1986).

Karakteristik PM tersebut penting dalam desain peralatan pengendalian PM disamping parameter gas buang seperti tekanan, temperatur, viskositas, kelembaban, komposisi kimia dan flammability. Peralatan pengendalian PM umumnya terdiri atas pemisah mekanik (gravity settler/cyclone), fabric filter, electrostatic precipitators dan wet scrubber. Settling chamber adalah alat pengendalian partikulat pertama yang sering dipakai untuk menurunkan emisi debu. Saat ini sudah jarang dipakai karena tingkat efisiensinya yang rendah untuk partikel berukuran kecil. Cyclone separator adalah alat yang menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan tekanan rendah karena adanya perputaran untuk memisahkan materi berdasarkan perbedaan massa jenis dan ukuran. Cara kerjanya didasarkan pada gerakan pusaran (cyclonic) aliran udara yang akan menyebabkan terjadinya gaya sentrifugal pada partikel halus, akibatnya partikel halus akan terkumpul pada dinding cyclone dan selanjutnya

jatuh melalui lubang bawah, sedangkan gas yang bebas dari padatan halus akan keluar melalui cerobong. Memiliki bentuk yang khas, dapat ditempatkan di atap dari suatu instalasi atau di samping bangunan. Cyclone digunakan sebagai pre-cleaner, didesain untuk menyisihkan >80% kandungan partikel yang berdiameter >20 μm (Cooper & Alley, 1986)(Marinuc & Rus, 2011). Electrostatic Precipitator (ESP) adalah alat pengendalian pencemar partikulat yang didasari pada konsep presipitasi akibat gaya elektrostatis. Sangat efektif sebagai pengendali partikulat yang berukuran <10 μm . Cara kerja dari electrostatic precipitator adalah; (1) melewatkan gas buang (flue gas) melalui suatu medan listrik yang terbentuk di antara elektrodbermuatan dengan plat pengumpul (collector plate), flue gas yang mengandung butiran debu pada awalnya bermuatan netral dan pada saat melewati medan listrik, partikel debu akan terionisasi sehingga partikel debu tersebut menjadi bermuatan negatif (-), (2) partikel debu yang sekarang bermuatan negatif (-) kemudian menempel pada plat-plat pengumpul. Debu yang dikumpulkan di collector plate dipindahkan kembali secara periodik dari collector plate melalui suatu getaran (rapping) (Chandra, 2006). Debu ini kemudian jatuh ke bak penampung (ash hopper), dan dipindahkan ke fly ash silo dengan cara di vakum atau dihembuskan. Fabric filter adalah unit pengendali pencemaran udara yang disisihkan melalui mekanisme impaksi, intersepsi dan difusi. Menggunakan bahan filter tertentu seperti nilon atau wol untuk menyisihkan partikel dari aliran gas buang. Salah satu kelebihan unit ini yakni dapat diterapkan untuk skala pembebanan kecil hingga tinggi, dengan cara kerja mirip vacuum cleaner (Bhargava, 2006). Perbandingan kemampuan tiap peralatan pengendalian partikel beserta rentang suhu maksimum pengoperasian dengan contoh pada suatu unit insinerator sampah kota.

Oksida-oksida Nitrogen (NO_x) adalah merujuk pada tujuh bentuk senyawa gas; NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , dan N_2O_5 . Dari ke tujuh bentuk tersebut, NO dan NO_2 adalah dua polutan gas yang sangat penting karena jumlah yang diemisikan adalah yang terbesar, sehingga terminologi NO_x dalam pembahasan polusi udara biasanya mengacu pada gas NO dan NO_2 .

Pembentukan NO_x dalam pembakaran umumnya dikontrol oleh 3 jalur, mengacu sebagai NO_x termal, NO_x bahan bakar dan NO_x segera (prompt) (Sarofim et al, 2006). Emisi NO_x sangat bervariasi tergantung pada jenis bahan bakar dan jenis pembakaran. Dampak NO₂ pada kesehatan bervariasi dengan tingkat paparan. Paparan dari beberapa menit sampai dengan satu jam pada level antara 50-100 ppm NO₂, menyebabkan membengkaknya kulit paru-paru selama 6-8 minggu. Paparan pada 150-200 ppm NO₂ menyebabkan hilangnya fibrosis tenggorokan (bronchiolitis fibrosa obliterans), suatu kondisi yang fatal dalam 3-5 minggu setelah terpapar. Kematian akan datang jika terpapar NO₂ sebanyak 500 ppm atau lebih dalam waktu 2-10 hari (Haidong Kan et al, 2012). Metode mengendalikan emisi NO_x pada boiler terdiri dari metode pre-combustion (dengan memilih bahan bakar rendah nitrogen), metode mengendalikan proses pembakaran, serta metode post-combustion (dengan menggunakan bahan kimia pengurai NO_x menjadi N₂ dan H₂O). Metode pengendalian combustion dapat mencapai pengurangan NO_x dengan mengendalikan kondisi lingkungan pembakaran bahan bakar seperti suhu nyala, rasio bahan bakar/oksigen dan waktu tinggal bahan bakar untuk menekan produksi NO_x pada tahap pembakaran. Metode pengendalian post-combustion dapat mengurangi emisi NO_x dengan menetralkan NO_x menjadi gas nitrogen melalui reaksi kimia baik dengan atau tanpa penggunaan katalis (de Gouw, 2013).

Metode pengurangan NO_x post-combustion yang banyak diterapkan di power plant adalah dengan memanfaatkan keberadaan katalis. Beberapa yang umum dikenal antara lain Selective Non-Catalyst Reduction (SNCR), Selective Catalyst Reduction (SCR), Lean-NO_x catalyst dan NO_x adsorber catalyst (LNT). Tulisan ini akan membahas pada metode SNCR dan SCR sebagai metode yang paling sering digunakan. Selama sekitar 30 tahun sistem SNCR telah banyak digunakan diberbagai pabrik maupun plant insinerasi limbah serta cukup menguasai pasar. Hal ini mungkin disebabkan tidak berkembangnya proses-proses atau metode baru dalam pengurangan NO_x samping itu karena baku mutu NO_x yang kebanyakan masih di atas 100 mg/Nm³ sehingga masih

dalam kemampuan SNCR. Dalam metode proses SNCR reduktan NO_x adalah dalam bentuk larutan (amonia cair, urea) atau bentuk gas yang diinjeksikan ke gas buang yang panas. Berikut adalah reaksi total pasca pembakarannya (Nam, 2000);

Urea : $\text{NH}_2\text{CONH}_2 + 2 \text{NO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ atau untuk,

Ammonia: $4 \text{NH}_3 + 4 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

membentuk nitrogen molekuler, karbon dioksida dan air. Pengurangan NO_x secara signifikan terjadi pada suhu yang optimal antara 900 hingga 11000C tergantung komposisi gas buang. Di atas rentang suhu tersebut, amonia akan teroksidasi membentuk NO_x. Pada suhu yang lebih rendah, laju reaksi diperlambat, menyebabkan slip amonia yang mungkin terjadi yang selanjutnya menghasilkan pembentukan garam amonia di jalur gas buang dan dapat menyebabkan masalah berikutnya. Oleh karena itu, slip amonia harus dijaga seminimal mungkin. Reaksi kimia ini serupa jika digunakan katalis dan juga berlangsung pada rentang suhu terbatas, yang berada pada jarak tertentu di luar tungku atau ketel.

Berikut adalah gambaran langkah penggunaan urea dalam SNCR:

1. Distribusi dan pencampuran tetesan cairan dalam aliran gas buang
2. Penguapan air dimana bahan kimia reagen diencerkan
3. Dekomposisi reagen menjadi spesies reaktif
4. Reaksi fase gas antara NH₂ dan NO_x Selain

Selain distribusi dan pencampuran dalam gas buang, ukuran tetesan (droplet) sangat penting untuk hasil proses. Tetesan, yang terlalu kecil, akan menguap terlalu cepat dan mungkin menyebabkan reaksi pada suhu yang terlalu tinggi sehingga NO_x lebih banyak terbentuk. Tetesan yang terlalu besar, akan menguap terlalu lambat sehingga reaksi akan berlangsung di sisi bawah atau di luar rentang suhu, yang akan menyebabkan peningkatan slip amonia, dan

penurunan reduksi NO_x. Urea yang dilarutkan dalam air hanya dapat terdekomposisi menjadi spesies NH₂ reaktif setelah air yang melapisi partikel urea telah sepenuhnya menguap. Tempat di dalam gas buang dimana reaksi dalam metode ini berlangsung, dapat didefinisikan dalam ukuran tetesan air dan kedalaman penetrasi yang dihasilkan. Jika air tetesan diinjeksikan cukup besar di tempat yang terlalu panas, maka sangat mungkin terjadi pengurangan NO_x karena reaksinya bisa terjadi di hilir titik injeksi di tempat yang lebih dingin dalam stream gas buang. Massa air pengencer, yang juga digunakan sebagai media pembawa larutan urea, memastikan suatu kedalaman tinggi penetrasi pada konsumsi energi yang agak rendah, dan bila perlu mendinginkan gas buang pada suhu yang dikehendaki.

DAFTAR PUSTAKA

- Rao, A. B., Edward S. Rubin. 2002. A Technical, Economic, and Environmental Assessment of Amine-Based CO₂ Capture Technology for Power Plant Greenhouse Gas Control. *Environmental Science Technology*, 36 (20), 2002.
- Soedomo, M.H. 2001. Pencemaran Udara. Penerbit ITB. Bandung
- Soemirat, J. 2014. Kesehatan Lingkungan. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- WHO. 2018. http://www.who.int/sustainable-development/AirPollution_Climate_Health_Factsheet.pdf,
- Quina, M.J, J.C.M. Bordado dan Rosa M. Quinta-Fereirra. 2011.
- Budiyono, Afif. 2001. Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara pada Lingkungan. *Jurnal LAPAN . Berita Dirgantara*. Volume 2. Nomor 1.
- Sihotang, S. R. 2010. Pemetaan Distribusi Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) dari Kontribusi Kendaraan Bermotor di Kampus ITS Surabaya. *Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember .Surabaya*.
- Nisrina Setyan dan Asep Sofyan. 2012. Analisis Distribusi Pencemar Udara NO₂, SO₂,CO, dan O₂ di Jakarta denan WRF-CHEM. *Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung*. Bandung
- Wardhana, Wisnu Arya. 2001. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit ANDI. Yogyakarta
- Zendrako, E. 2010. Pengukuran Kadar Gas Pencemar Nitrogrn Dioksida Di Udara Sekitar Kawasan Industri. Medan. Universitas Sumatera Selatan.
- Kamal, Nahlan. 2015. Studi tingkat kualitas udara pada kawasan mall panakukang di Makassar.
- Shostya, Anna. 2016. Ambient Air Pollution in China : Predicting a Turning Point. International Atlantic Economic Society. New York City.
- Suryanto.2012. Analisis Tingkat Polusi Udara Terhadap Pengaruh pertumbuhan Kendaraan di Jakarta. Skripsi.Universitas Gunadarma. Jakarta