

Perubahan Iklim dan Kesehatan Paru

Titis Dewi Wahyuni dan Mukhtar Ikhsan

Departemen Pulmonologi dan Ilmu Kedokteran Respirasi FKUI - RS Persahabatan, Jakarta

PENDAHULUAN

Perubahan iklim terus terjadi, hal ini disebabkan meningkatnya suhu udara dan lautan, melelehnya salju dan es serta meningkatnya tinggi permukaan laut.¹ Pengaruh iklim sangat besar terhadap kesehatan manusia. Cuaca dan iklim berubah sejak zaman Hipocrates. Panas menyebabkan hipertermi, dingin menyebabkan hipotermi dan kemarau menyebabkan kelaparan. Banjir, angin topan, tornado dan kebakaran hutan mengakibatkan luka-luka, kecelakaan dan kematian. Iklim mempengaruhi berkembangnya penyakit tropik dan meningkatkan risiko *vector borne diseases* seperti malaria dan demam dengue, mempengaruhi risiko *foodborne*, *water borne diseases* dan *emerging infectious diseases* seperti hantavirus, *Ebola hemorrhagic fever* dan *West Nile virus*. Telah dibuktikan bahwa terdapat hubungan antara cuaca dan kematian karena penyakit kardiovaskuler dan penyakit pernapasan.² WHO memperkirakan tahun 2000, akibat perubahan iklim terjadi 150.000 kematian pertahun.³

Suhu yang ekstrim baik dingin maupun panas, perubahan polusi udara, banjir, gas, hujan, petir, perubahan alergen, kebakaran hutan dan hujan debu, berpotensi menyebabkan penyakit pernapasan baik jangka pendek maupun jangka panjang. Penyakit yang utama terjadi adalah asma, rhinosinusitis, penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) dan infeksi jalan napas. Penduduk di daerah miskin dengan keterbatasan sarana kesehatan akan menderita lebih banyak dibandingkan dengan di daerah yang mempunyai sarana kesehatan yang memadai.⁴

Perubahan komposisi gas rumah kaca dari sumber alami ke sumber buatan manusia mempengaruhi perubahan iklim.⁵ Paparan lingkungan dapat dikontrol dengan cara mengerti sumber emisi, tingkat paparan, luas paparan dan strategi mengontrolnya.⁶ Presiden Susilo Bambang Yudoyono telah membatasi emisi gas rumah kaca dan menargetkan Indonesia dapat menurunkan emisinya 26% pada tahun 2020.⁷ Strategi menurunkan gas rumah kaca adalah melalui efisiensi energi, menggunakan energi yang dapat diperbaharui, meningkatkan pemeliharaan hutan dan menghutankan kembali yang sudah gundul, membangun teknologi penangkap gas rumah kaca.⁵

POLUSI UDARA DAN EFEK RUMAH KACA

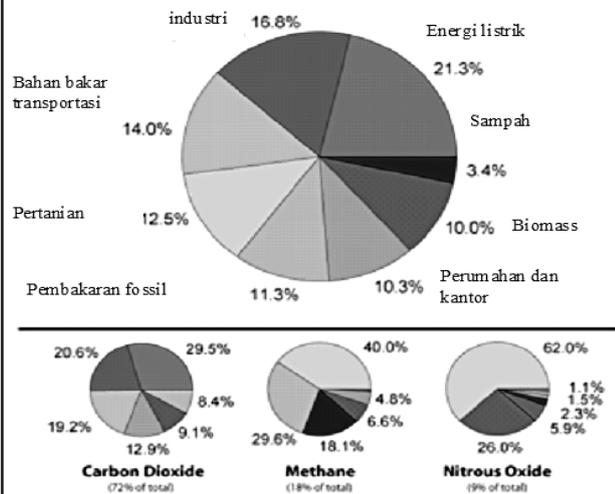
Polusi udara

Polusi udara terjadi saat bahan-bahan kimia, partikel atau materi biologi ditemukan di atmosfer merugikan manusia dan makhluk hidup lainnya atau merusak lingkungan. Polutan dapat berasal dari partikel padat, droplet cair atau gas dan dapat juga berasal dari alam atau buatan manusia. Polutan primer langsung diemisikan, seperti gunung meletus, karbon monoksida dari buangan kendaraan bermotor atau sulfur dioksida yang dihasilkan pabrik. Polutan sekunder tidak langsung diemisikan, terbentuk saat polutan primer bereaksi atau berinteraksi contohnya ozon yang terjadi akibat efek fotokimia. Berikut ini termasuk ke dalam polutan primer; dikutip dari 8

1. Sulfur dioksida (SO₂), dihasilkan gunung berapi dan industri. Oksidasi SO₂ menghasilkan nitrogen oksida (NO₂), asam sulfat (H₂SO₄) dan hujan asam.
2. Nitrogen oksida berasal dari pembakaran pada suhu tinggi
3. Karbon monoksida tidak berwarna dan berbau tapi sangat toksik, merupakan hasil pembakaran gas, batu bara, kayu dan gas buangan kendaraan bermotor.
4. Karbon dioksida (CO₂) adalah gas rumah kaca dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan pembakaran hutan. Gas ini merupakan transmisi yang bagus untuk cahaya matahari tetapi membatasi kembalinya radiasi inframerah dari bumi ke angkasa, yang dikenal dengan efek rumah kaca. Pemanasan global terjadi akibat meningkatnya jumlah CO₂.
5. Campuran gas yang mudah menguap, digolongkan sebagai metan (CH₄) dan bukan metan.
6. Bahan partikel (PM) dihasilkan secara alami atau buatan manusia
7. Logam toksik seperti timah, cadmium dan tembaga.
8. Chlorofluorocarbons (CFCs), merusak lapisan ozon.
9. Amonia (NH₃) dihasilkan pertanian.
10. Polutan radioaktif yang dihasilkan ledakan nuklir, perang dan proses penghancuran radon.

Efek rumah kaca

Efek rumah kaca adalah fenomena gas rumah kaca/*greenhouse* gas (GHG) di atmosfer yang menyebabkan terperangkapnya panas dan meningkatnya suhu permukaan. Gas rumah kaca yang terbanyak adalah uap air, CO₂, metan, NO₂ dan CFCs. Gas rumah kaca yang lain adalah, hidrofluorokarbon (HFCs), perfluorokarbon (PFCs) dan ozon. Perubahan komposisi GHG dari sumber alami ke buatan mempengaruhi perubahan iklim.^{8,9} Sumber emisi rumah kaca akibat buatan manusia dapat dilihat pada gambar 1.¹⁰



Gambar 1. Sumber emisi rumah kaca

Dikutip dari (10)

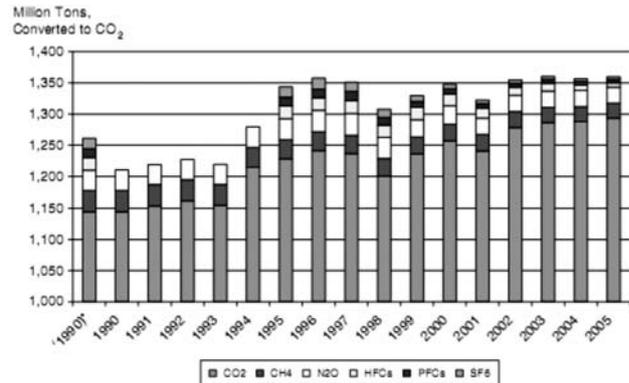
Efek rumah kaca penting untuk kehidupan di bumi, mekanisme terjadinya efek rumah kaca dapat dilihat pada gambar 2. Tanpa terperangkapnya panas oleh efek seperti uap air, CO₂ dan komponen atmosfer lainnya, bumi akan menjadi tidak bernyawa, planet menjadi beku (suhu rata-rata -18°C). Sejak era industri dimulai, aktivitas manusia secara dramatis meningkatkan efek rumah kaca. Kecepatan peningkatan GHG ke atmosfer mencapai 20% sejak tahun 1990.⁹



Gambar 2. Efek rumah kaca

Dikutip dari (5)

Gas CO₂ adalah GHG yang sangat penting dan meningkat lebih dari 90% dalam dekade terakhir.¹¹ Emisi CO₂ paling banyak berasal dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas. Atmosfir berisi 370 ppm CO₂ dengan konsentrasi tertinggi dalam 420.000 tahun mungkin sepanjang 2 juta tahun. Konsentrasi CO₂ pada akhir abad 21 bervariasi dari 490-1.260 atau 75 - 350% peningkatan di atas konsentrasi preindustri.⁵ Perubahan emisi GHG di Jepang bisa dilihat pada gambar 3.¹²



Gambar 3. Perubahan emisi GHG di Jepang tahun 1990 2005
Dikutip dari (12)

PERUBAHAN IKLIM DAN KESEHATAN

Menurut National Climatic Data Center, selama abad terakhir suhu permukaan global meningkat sekitar 0,6° C tetapi sejak tahun 1976 terjadi peningkatan tiga kali lebih tinggi. Suhu permukaan daratan meningkat lebih cepat daripada suhu permukaan laut.¹³ Suhu antara 40° dan 70° garis lintang utara memanas lebih cepat daripada garis lintang di bawahnya. Salju yang turun di belahan bumi utara terjadi penurunan 10% sejak 1966.⁹ Efek perubahan iklim telah banyak dilaporkan. Gletser mengalir cepat dan es di kutub utara meleleh. Hasilnya adalah permukaan laut meningkat 1-2 mm/tahun selama 100 tahun terakhir. Perubahan suhu berefek pada kepadatan spesies. Aktivitas manusia juga turut mempercepat perubahan iklim.⁵

Efek peningkatan suhu

Semua makhluk hidup mempunyai suhu ideal, suhu di bawah dan di atasnya akan meningkatkan kematian. Terjadi peningkatan frekuensi dan intensitas gelombang musim panas, khususnya di daerah sentral, timur dan selatan Eropa. Selama musim panas tahun 2003 di Itali, usia > 65 tahun mempunyai risiko 34% kematian dan risiko penyakit respirasi. Angka kematian tinggi pada pasien PPOK dan perempuan.⁴ Polusi udara seperti debu, NO₂, SO₂ dan ozon meningkat sebagai adaptasi terhadap suhu yang memanas.

Polusi udara seperti ozon dan partikel menyebabkan meningkatnya kasus respirasi dan menurunnya fungsi paru.¹⁴ Walaupun konsentrasi polutan bervariasi antara satu area dengan area lain, polutan yang paling banyak di atmosfer daerah perkotaan adalah NO₂, ozon dan PM sedangkan SO₂ banyak ditemukan di daerah industri.¹⁵

Penyebaran penyakit infeksi

Perubahan iklim meningkatkan suhu dan perubahan kelembaban. Vektor penyakit akan terpengaruh seperti nyamuk dan meningkatnya kasus kolera di berbagai area. Cuaca juga berpengaruh terhadap risiko *foodborne*, *water borne diseases* dan *emerging infectious diseases*, *Ebola hemorrhagic fever* dan *West Nile virus*. Walaupun efek terhadap respirasi terjadi secara tidak langsung, iklim dapat menyebabkan gangguan paru contohnya Hantavirus outbreak tahun 1993 di AS yang menyebabkan kematian 42%.^{6,16} Masalah kesehatan berhubungan dengan cuaca ekstrem seperti banjir, badai dan kekeringan adalah kematian, kecelakaan, meningkatnya infeksi dan kesehatan mental pascatrauma. Suhu lokal, hujan, awan, uap air, kecepatan angin dan arah angin mempengaruhi proses kimia dan interaksi yang terjadi di lingkungan baik lokal maupun global.¹⁷ Perubahan ekonomi dan teknologi, semuanya berpengaruh terhadap kesehatan individu dan masyarakat (gambar 4).⁵

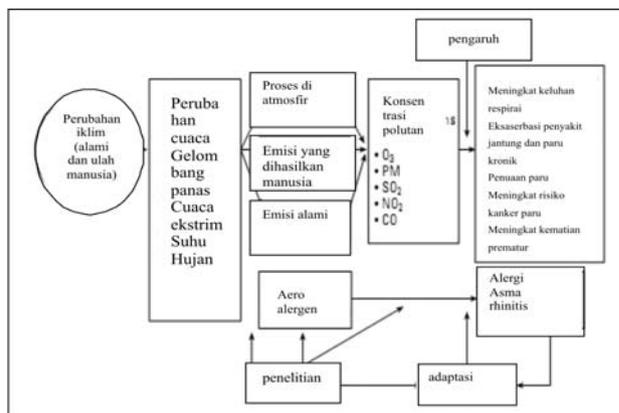


Gambar 4. Pengaruh lingkungan terhadap kesehatan
Dikutip dari (5)

PENGARUH LINGKUNGAN TERHADAP KESEHATAN PARU

Paru adalah satu dari organ paling penting yang terpajan dengan bahan-bahan di lingkungan sekitar. Polusi udara yang berpengaruh adalah bahan kimia dan biologi di atmosfer, termasuk asap rokok sedangkan yang paling berbahaya terhadap pernapasan adalah bahan kimia berupa gas NO₂, O₃, SO₂, PM, *formaldehida* (HCHO) dan *aeroallergens*

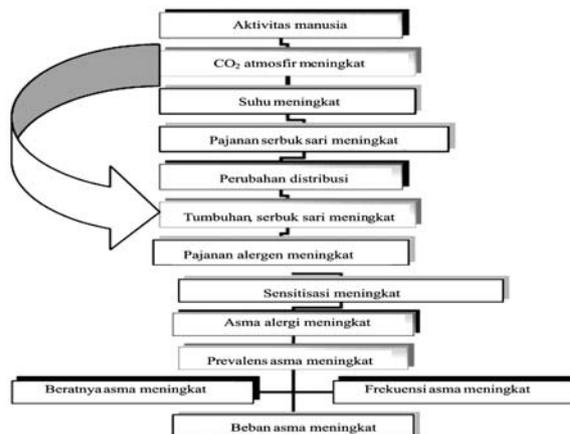
seperti spora jamur dan serbuk sari.¹⁵ Perubahan iklim mempengaruhi polutan dengan cara mempengaruhi cuaca dan konsentrasi polusi, mempengaruhi emisi, peningkatan pembakaran bahan bakar yang berasal dari fosil, mempengaruhi sumber alami emisi dan merubah distribusi alergen di udara. Pengaruh perubahan iklim dan hubungannya dengan konsentrasi polutan dan respons tubuh dapat dilihat pada gambar 5. Sejak tahun 1996 perhatian terhadap PM meningkat khususnya pada pasien asma, PPOK dan penyakit jantung koroner.¹⁷



Gambar 5. Perubahan iklim dan polusi udara
Dikutip dari (17)

Mekanisme pertahanan paru

Faktor anatomi hidung dan nasofaring berfungsi sebagai filter dan detektor iritan sedangkan produksi mukus pada bronkus dan cabang-cabangnya dapat menghindarkan terhadap pajanan iritan. Imunitas seluler dan humoral berperan terhadap rangsangan biologi seperti bakteri, virus dan jamur. Risiko pajanan terhadap bahan kimia yang ada di udara tergantung kepada dosis inhalasi dan konsentrasi. Bagaimana pajanan alergen mempengaruhi asma dapat dilihat pada gambar 6.¹⁷



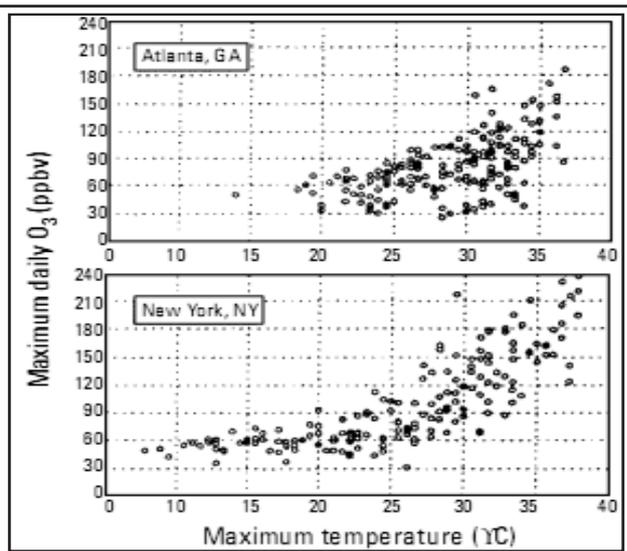
Gambar 6. Perubahan iklim dan asma
Dikutip dari (17)

Efek toksik udara bervariasi antar individu tergantung derajat kerentanan dan sensitivitas terhadap pajanan. Pajanan bersifat individual, terutama pada perempuan, usia lanjut dan risiko penyakit jantung dan paru.⁵ Perempuan muda mempunyai risiko lebih tinggi daripada laki-laki muda untuk terjadinya gejala respirasi, berkurangnya fungsi paru dan meningkatnya penggunaan obat asma karena polusi udara. Perempuan muda penderita asma mempunyai risiko lebih tinggi terhadap polusi udara dibandingkan dengan perempuan muda bukan asma, walaupun beberapa studi tidak menemukan perbedaan jenis kelamin. Six Cities Study melaporkan tidak ada perbedaan laki-laki dan perempuan untuk terjadinya kematian karena polusi udara. Adventists Health Study on Smog (AHSMOG) melaporkan laki-laki mempunyai risiko tinggi terjadinya kanker paru. Perbedaan jenis kelamin ini dibandingkan menggunakan penilaian objektif seperti parameter biologi (hormon, marker inflamasi) dan fisiologi (fungsi paru, hiperesposif bronkial).¹⁹

Perbedaan kerentanan jenis kelamin terhadap polusi udara adalah hasil interaksi faktor genetik, biologi dan sosiokultural. Jenis kelamin berbeda dalam hal pertumbuhan organ dan maturasi sistem imun. Perempuan mempunyai paru dan kaliber jalan napas yang lebih kecil, hiperesponsif bronkial lebih tinggi. Jantung perempuan juga lebih kecil (dua pertiga) dan denyut nadi lebih cepat dibandingkan laki-laki. Estrogen mempengaruhi paru dan jalan napas serta jantung. Estrogen mempunyai efek kontriksi otot polos bronkus sehingga estrogen memperbesar insidens asma pada perempuan remaja. Faktor sosiokultural, kebiasaan dan pajanan bervariasi antara laki-laki dan perempuan karena perbedaan aktivitas, pekerjaan dan pajanan domestik. Perempuan lebih terpajan terhadap zat berbahaya (seperti NO₂ dan asap karena memasak, perokok pasif, produk kosmetik, pajanan dalam rumah).¹⁹

Ozon

Ozon merupakan komponen oksidan fotokimia utama dan berjumlah sampai 90% total kadar oksidan di kota. Ozon dihasilkan oleh reaksi fotokimia yang melibatkan radiasi ultraviolet pada campuran NO₂ dan hidrokarbon yang berasal dari emisi kendaraan. Sekitar 40-60% inhalasi ozon diserap pada jalan napas hidung, sisanya mencapai jalan napas bawah. Faktor meteorologi secara teori dapat mempengaruhi kadar ozon di permukaan termasuk radiasi ultraviolet, suhu, kecepatan angin, pengendapan, campuran atmosfer dan transportasi. Gambar 7 menunjukkan terdapat hubungan antara suhu dengan kadar ozon.^{17, 20}



Gambar 7. Hubungan suhu dan konsentrasi ozon di Atlanta, Georgia dan New York

Dikutip dari (17)

Ozon dapat mencetuskan eksaserbasi penyakit respirasi kronik dan menyebabkan menurunnya fungsi paru, meningkatkan reaktivitas bronkus dan risiko eksaserbasi asma.⁴ Berbagai penelitian selama ini pada manusia menunjukkan 3 tipe respons paru terhadap pajanan akut ozon, yaitu batuk iritatif dan nyeri substernal pada saat inspirasi, penurunan kapasitas vital paksa (KVP) dan volume ekspirasi paksa detik pertama (VEP₁) serta inflamasi neutrofil di submukosa saluran napas diikuti dengan peningkatan konsentrasi mediator dan protein pada cairan *bronchoalveolar lavage* (BAL).²⁰ Respons jalan napas terhadap polutan adalah dengan meningkatkan permeabilitas epitel, inflamasi, meningkatkan stres oksidatif dan meningkatkan neuropeptida.²⁰

Sebagai oksidan yang kuat ozon dihubungkan dengan penurunan fungsi paru, eksaserbasi penyakit respirasi kronik, meningkatnya kunjungan ke rumah sakit karena penyakit pernapasan dan kematian di Eropa dan AS. Terdapat 1500 kematian karena ozon setiap tahunnya di Inggris. Langkah yang diambil untuk adaptasi adalah merubah pola aktivitas seperti meminimalkan waktu yang dihabiskan di luar ruangan untuk menghindari panas.⁴

Kadar ozon tergantung pada NO₂ yang dihasilkan kendaraan. Inhalasi ozon jangka pendek pertama kali akan dibatasi oleh sel silia yang sangat sensitif. Sel klara mengalami degranulasi dan destruksi kemudian akan terjadi reorganisasi epitel dalam waktu 7 hari. Ozon adalah oksidan sangat kuat yang mempunyai kemampuan melawan pertahanan paru dengan cara merangsang peroksidasi lemak dan meninaktifkan biomolekul. Tabel 1 menunjukkan faktor

lingkungan yang berdampak pada kesehatan paru.¹⁸ Ozon juga meningkatkan permeabilitas sel epitel, menyokong masuknya alergen inhalasi dan toksin dan melepaskan sitokin inflamasi interleukin (IL)-1, IL-6, IL-8 dan tumor necrosis factor (TNF). Studi pada hewan menunjukkan waktu bersihan mukosilier menurun saat ozon meningkat dan menyebabkan kerentanan terhadap infeksi bakteri di jalan napas. Ozon juga menurunkan fungsi paru, meningkatkan respons jalan napas dan menurunkan fungsi paru.¹⁸

Tabel 1. Faktor lingkungan yang mempengaruhi pertahanan paru

Tipe	Asal	Efek respirasi	Pertahanan paru
Ozon	Reaksi fotokimia dari kendaraan	Menurunnya fungsi paru Hiperresponsif bronkial Gejala respirasi meningkat Angka rawat meningkat Toleransi latihan menurun	Sistim antioksidan Permeabilitas sel epitel sitokin inflamasi Bersihan mukosilier
Nitrogen dioksida	Pembakaran bensin kendaraan	Menurunnya fungsi paru Hiperresponsif bronkial Gejala respirasi meningkat Angka rawat meningkat Toleransi latihan menurun	Sistim antioksidan sitokin inflamasi
Particulate matter	Aktivitas kendaraan dan industri	Menurunnya fungsi paru Gejala respirasi meningkat Meningkat kematian kardiorespirasi Bronkokonstriksi Hiperresponsif bronkial Inflamasi jalan napas	Sistim antioksidan sitokin inflamasi Bersihan mukosilier Sistim antioksidan sitokin inflamasi fagositosis makrofag sensitisasi Sistim antioksidan
Sulfur dioksida	Pembakaran industri Kendaraan	Menurunnya fungsi paru Meningkat gejala respirasi, kematian respirasi	Sistim antioksidan

Dikutip dari (18)

Beberapa studi menunjukkan efek ozon terhadap kematian. Selama musim panas peningkatan konsentrasi ozon 10 µg m⁻³ meningkatkan kematian 0,33% setiap hari, 0,45% kematian kardiovaskuler dan 1,13% kematian karena respirasi.²² Ozon merupakan oksidan poten yang bersifat iritan dan toksik terhadap saluran napas. Efek ozon terhadap kesehatan paru tergantung pada konsentrasi serta lamanya pajanan. Inhalasi ozon jangka pendek dengan konsentrasi mendekati, sama atau lebih dari standar menyebabkan penurunan fungsi paru dan meningkatkan reaktivitas saluran napas baik pada orang sehat maupun penderita asma. Inhalasi ozon di atas konsentrasi standar pada penderita asma dan PPOK meningkatkan eksaserbasi serta kunjungan rumah sakit. Pajanan jangka panjang ozon di atas konsentrasi standar dapat menyebabkan fibrosis paru. Suplementasi antioksidan selama pajanan ozon memberikan efek proteksi terhadap penurunan fungsi paru.²¹

Nitrogen dioksida

Nitrogen dioksida berasal dari pembuangan kendaraan dan pembakaran bahan bakar. Saat digabung dengan sinar matahari dan hidrokarbon menghasilkan ozon. NO₂ seperti ozon adalah suatu polutan oksidan tetapi kurang poten dan kurang reaktif.

Respons inflamasinya juga berbeda, karena terdapat recruitment limfosit T dan makrofag.²² Pada subjek normal, inhalasi NO₂ menyebabkan inflamasi paru serta meningkatkan *glutathione* dan tidak ditemukan perubahan fungsi paru.²³

Suatu studi di delapan wilayah di Jakarta menunjukkan hubungan antara jumlah kendaraan dan konsentrasi polutan. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor, sistem transportasi dan lalu lintas yang tidak memadai, standar emisi yang lemah serta kurangnya perawatan kendaraan telah menimbulkan dampak terhadap polusi udara. Hal ini diperburuk dengan pengendalian polusi udara yang belum memadai. Badan pengendali dampak lingkungan (BAPEDAL) tahun 1992 melaporkan bahwa emisi kendaraan bermotor menyumbang 73% NO₂ sebagai salah satu polutan di udara. World Bank (1994) melaporkan bahwa diperkirakan pada tahun 2000 polusi udara di kota-kota besar di Indonesia akan meningkat dua kali lipat dari keadaan tahun 1990, menjadi lima kali lipat pada tahun 2010 dan sembilan kali lipat pada tahun 2020.²⁴ Penelitian yang dilakukan oleh Sunyer dkk di Barcelona menunjukkan kadar NO₂ dihubungkan dengan meningkatnya kematian pada pasien asma dengan kunjungan ke ruang gawat darurat lebih dari satu kali pada musim panas. Ozon juga meningkatkan risiko kematian pada pasien asma selama musim semi dan musim panas. Sedangkan hubungannya tidak signifikan dengan partikel, serbuk sari dan spora dan tidak ada interaksi antara polusi udara dengan serbuk sari dan spora.²⁵

Particulate matter (PM)

Particulate matter adalah komponen utama polusi udara di perkotaan, terdiri dari campuran partikel, *traffic and combustion-derived carbon-centred ultrafine particles* (<100 nm diameter), partikel kedua (nitrat dan sulfat), debu berisi endotoksin dan partikel biologi (spora, serbuk sari). Jika PM dapat mencapai jalan napas bawah disebut PM₁₀ (disebut juga thoracic PM) dan PM_{2.5} partikel dengan ukuran diameter <2,5 µm (disebut respirable PM). Parenkim paru menahan PM_{2.5} sedangkan partikel >5 and <10 µm mencapai jalan napas proksimal dan dieliminasi oleh bersihan mukosilier. Materi ini sangat toksik karena ukurannya yang kecil melebihi komposisi kimia.²⁶ Data epidemiologi menunjukkan hubungan antara kadar PM dan meningkatnya morbiditi, termasuk gejala respirasi, eksaserbasi alergi, asma, menurunnya fungsi paru dan perawatan pada pasien PPOK. Di Eropa, the Air Pollution and Health: a European Approach (APHEA-2) menunjukkan angka rawat asma

dan PPOK meningkat 1.0% per 10 mg/m³ PM10.²⁷ Paparan terhadap PM memperburuk penyakit respirasi kronik dan kardiovaskuler, merubah pertahanan tubuh dan merusak jaringan paru, menyebabkan kematian prematur dan menambah kemungkinan terjadi kanker.⁴

Sulfur dioksida

Gas SO₂ dan NO_x dioksidasi di atmosfer ke dalam bentuk *sulfuric acid* dan *nitric acid*. Asam ini disimpan di permukaan bumi dalam bentuk kering sebagai gas atau aerosol atau dalam bentuk basah sebagai hujan asam. Suhu yang tinggi meningkatkan laju oksidasi, meningkatkan potensi penyimpanan asam.²¹ Gas SO₂ berasal dari pembakaran bahan bakar, berasal dari industri dan kendaraan. Paparan SO₂ menunjukkan peningkatan *reactive oxygen species* paru, tetapi konsentrasi tinggi penting dalam mekanisme antioksidan.²⁸ Berbeda dengan ozon, bronkokonstriksi yang disebabkan oleh inhalasi SO₂ segera terjadi dan responsnya signifikan pada fungsi paru pasien asma yang diobservasi.²⁹

Efek polusi udara dalam ruangan

Polusi udara dalam ruangan yang berasal dari pembakaran bahan bakar biomass untuk memasak dan memanaskan adalah penyebab kesakitan dan kematian di dunia, khususnya karena penyakit infeksi pada anak < 5 tahun (dengan estimasi 1,5 juta kematian per tahun) dan PPOK pada perempuan yang tidak merokok.³⁰ Data menunjukkan pengaruh suhu lebih besar pada anak laki-laki yang tinggal dalam suatu keluarga besar di daerah miskin.³¹

STRATEGI MENGHADAPI PERUBAHAN IKLIM

Strategi akan efektif jika melibatkan lintas sektoral baik dari pemerintahan, perusahaan, masyarakat dan individu. Lagipula perubahan iklim adalah bagian dari perubahan global, termasuk pertumbuhan populasi, penggunaan lahan, perubahan ekonomi dan teknologi, semuanya berpengaruh terhadap kesehatan individu dan masyarakat.⁵ Strategi untuk menghadapi pemanasan global adalah dengan cara mitigasi, adaptasi dan *geoengineering*.^{dikutip dari 32, 33}

1. Mitigasi.

Tahun 2007 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) menyebutkan mitigasi adalah

intervensi manusia untuk menurunkan sumber atau meningkatkan pencucian gas rumah kaca. Usaha jangka pendek dapat dilakukan dengan efisiensi energi, meningkatkan manajemen hutan, menetapkan protokol penggunaan CFCs, meningkatkan pengolahan sampah. Untuk jangka panjang adalah meningkatkan koordinasi dengan peneliti untuk mengembangkan teknologi baru dan melakukan observasi dan pengawasan. Sektor penyediaan energi, transportasi, industri dan pertanian harus menerapkan pengurangan emisi global. Menetapkan nilai CO₂ antara 445-710 ppm tahun 2030.

2. Adaptasi.

Adaptasi menurut IPPC adalah menyesuaikan dengan sistem alam atau manusia saat merubah lingkungan. Adaptasi ini bisa reaktif, individu, umum, otonomi atau direncanakan. Banyak cara untuk adaptasi terhadap pemanasan global dengan meminimalkan efek pemanasan, seperti memasang penyejuk ruangan sampai infrastruktur termasuk konservasi air, pencegahan banjir.

3. *Geoengineering*

Adalah suatu pilihan yang melibatkan teknik lingkungan skala besar untuk melawan atau meniadakan efek kimia di atmosfer. Teknik yang dilakukan adalah reboisasi hutan, meningkatkan absorpsi CO₂ dan menyaring sinar matahari. Modifikasi lingkungan skala luas sehingga nyaman bagi manusia, membuang gas rumah kaca dari atmosfer dengan teknik penangkapan CO₂ di udara.

Hal ini melibatkan strategi public health untuk meminimalkan kerugian terhadap kesehatan karena perubahan iklim. Strategi ini termasuk meningkatkan surveillance dan pelaporan, meningkatkan sistem ramalan cuaca dan peringatan dini, meningkatkan program manajemen kegawat darurat dan bencana, mengembangkan vaksin dan obat-obatan (tabel 2). Meningkatnya paparan panas dapat diturunkan dengan memodifikasi tempat tinggal seperti merubah desain gedung. Penggunaan penyejuk ruangan meningkat tetapi secara signifikan menyumbang pemanasan global dan dibutuhkan alternatif lain untuk mendinginkan ruangan.⁴

Tabel 2. Strategi menghadapi perubahan iklim

	<i>Internasional</i>	<i>Nasional</i>	<i>Komunitas</i>	<i>Bisnis</i>	<i>Individual</i>
Menurunkan emisi dan meningkatkan penggunaan energi yang dapat diperbaharui	Menetapkan emisi karbon	Membuat daftar GHG	Sertifikat LEED untuk gedung umum <i>Leadership in Energy and Environmental Design.</i>	Audit energi untuk kantor	Kurangi menggunakan kendaraan, gunakan transportasi umum
	Mensupport penggunaan energi yang dapat diperbaharui	Menetapkan emisi karbon	Audit energi dan renovasi gedung	Memberi reward untuk pekerja yang menggunakan transport publik, atau <i>walk/bike to work</i>	Menggunakan kendaraan yang hemat energi
	Menyokong penelitian dan pengembangan	Meningkatkan penggunaan solar, energi angin	Menghemat listrik di area umum	Promosi konservasi energi	Audit energi di rumah dan kantor
	Promosi konservasi energi	Investasi penelitian dan pengembangan energi	Memberi reward pada bisnis dan rumah yang menghemat energi	Membeli peralatan hemat energi	Membeli alat hemat energi
		Tingkatkan efisiensi standar bahan bakar kendaraan	Maksimalikan transport umum, membuat jalur sepeda, pajak parkir kendaraan pribadi	Support <i>telecommuting</i>	Membeli makanan lokal
		Promosi energi konservasi	Mengembangkan penghargaan	Video dan <i>teleconference meeting</i>	Terlibat dalam usaha penghematan energi
		Menambah transportasi publik	Promosi energi konservasi		Gunakan bola lampu pijar
Meningkatkan reboisasi	Menangkap penebang hutan	Identifikasi, proteksi dan reboisasi hutan	Menanam pohon	Memperbanyak ruang hijau	Menanam pohon
	Menanam hutan kembali	Melindungi hutan nasional	Memberi reward untuk ruang hijau	Menambah tanaman dan pohon di tempat parkir	Mensupport taman dan jalur hijau
Mengikat karbon	Support penelitian dan pengembangan	Support penelitian dan pengembangan	Support penelitian dan pengembangan	Support penelitian dan pengembangan	Support melalui investasi pribadi

Dikutip dari (5)

KESIMPULAN

1. Perubahan iklim merupakan masalah kesehatan yang cukup besar.
2. Aktivitas manusia meningkatkan perubahan suhu dan mempengaruhi efek rumah kaca.
3. Polusi udara dan gas rumah kaca menurunkan fungsi paru dan menyebabkan berbagai gangguan dan keluhan pernapasan terutama pada orang-orang yang berisiko tinggi.
4. Strategi mitigasi, adaptasi dan *geoengineering* diperlukan untuk menghadapi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

1. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: the physical science basis-summary for policy makers. [Internet]. 2007 [cited 2010 Jan 5] Available from: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>.
2. Frumkin H, Hess J, Luber G, Malilay J and McGeekin M. Climate Change: The Public Health Response. American Journal of Public Health. 2008; 98:227-36.
3. Patz JA, Campbell-Lendrum D, Holloway T, Foley JA. Impact of regional climate change on human health. Nature. 2005;438:310-7.
4. Ayres JG, Forsberg B, Maesano IA, Dey R, Ebi KL, Helms PJ, et al. Climate change and respiratory disease: European Respiratory Society position statement. Eur Respir J. 2009;34:295-302.
5. Shea KM and the Committee on Environmental Health. Global Climate Change and Children's Health. Pediatrics. 2007;20:1359-67.
6. Kurmi OP, Ayres JG. The non-occupational environment and the lung:opportunities for intervention. Chron Respir Dise. 2007;4:227-36.
7. Ministry of Finance (2009). Ministry of Finance Green Paper: Economic and Fiscal Policy Strategies for Climate Change Mitigation in Indonesia. Ministry of Finance and Australia Indonesia Partnership, Jakarta.
8. Wikipedia. Air pollution. [Internet]. 2010 [cited 2010 Jan 30]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Air_pollution.
9. National Climatic Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration. Global warming: frequently asked questions. [Internet]. 2010 [cited 2010 Jan 5]. Available from: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/globalwarming.html>.
10. Wikipedia. Air pollution. [Internet]. 2010 [cited 2010 Jan 30]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/greenhouse_gases.
11. WMO. World Data Centre for Greenhouse Gases. Greenhouse gas bulletin: the state of greenhouse gases in the atmosphere using global observations up to December 2004. [Internet]. 2004 [cited 2010 Jan 5]. Available from http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/products/bulletin/Bulletin2004/mo_bulletin_1.pdf.
12. Kondoh K. The Challenge of climate change and energy policies for building a sustainable society in Japan. [Internet]. 2009 [cited 2010 Jan 11]. Available from <http://oae.sagepub.com/cgi/content/abstract/22/1/52>
13. National Climatic Data Center. Climate of 2005

- annual review: temperature trends. [Internet]. 2005 [cited 2010 Jan 5]. Available from <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2005/ann/global.html>.
14. Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164:1860-6.
 15. Amato GD, Liccardi G, Cazzola M. Outdoor air pollution, climatic changes and allergic bronchial Asthma. *Eur Respir J*. 2002;20:763-76.
 16. Centers for Disease Control and Prevention. El Nino special report: could El Nino cause an outbreak of hantavirus disease in the southwestern United States? [Internet]. 2009 [cited 2010 Jan 11]. Available from <http://www.cdc.gov/ncidod/diseases/hanta/hps/noframes/elNino.htm>.
 17. Berna SM, Samet JM, Grambsch A, Ebi KL, and Romieu I. The potential impacts of climate variability and change on health impacts of extreme weather events in the United States. *Environ Health Perspect*. 2001;109:199-209.
 18. Olivieri D and Scoditti E. Impact of environmental factors on lung defences. *Eur Respir Rev*. 2005;14:51-6.
 19. Maesano A, Agabiti N, Pistelli R, Couilliot MF, Forastiere F. Subpopulations at increased risk of adverse health outcomes from air pollution. *Eur Respir J*. 2003;21: 57s-63s.
 20. Amato GD, Liccardi G, Cazzola M. Outdoor air pollution, climatic changes and allergic bronchial Asthma. *Eur Respir J*. 2002;20:763-76.
 21. Susanto AD, Yunus F, Wiyono WH, Ikhsan M. Pengaruh Inhalasi Ozon terhadap Kesehatan Paru. *CDK*. 2003;138:11-6.
 22. Gryparis A, Forsberg B, Katsouyanni K. Acute effects of ozone on mortality from the air pollution and health: a European approach project. *Am J Respir Crit Care Med*. 2004;170:1080-7.
 23. Blomberg A. Airway inflammatory and antioxidant responses to oxidative and particulate air pollutants experimental exposure studies. *Clin Exp Allergy*. 2000;30:310-7.
 24. Aditama TY. Penilaian polusi udara. *J Respir Indon*. 1999;19:4-5.
 25. Sunyer J, Basagaña X, Belmonte J, Antó JM. Effect of nitrogen dioxide and ozone on the risk of dying in patients with severe asthma. *Thorax*. 2002;57:687-3
 26. Li XY, Gilmour PS, Donaldson K. Free-radical activity and pro-inflammatory effects of particulate air pollution in vivo and in vitro. *Thorax*. 1996;51:1216-22.
 27. Sydbom A, Blomberg A, Parnia S, Stenfors N, Sandstrom T, Dahle SE. Health effects of diesel exhaust emissions. *Eur Respir J*. 2001;17:733-46.
 28. Rage E, Siroux V, Kunzli N, Pin I, Kauffmann F. Air pollution and asthma severity in adults. *Occup Environ Med*. 2009;66:182-8.
 29. Balmes JR, Fine JM, Sheppard D. Symptomatic bronchoconstriction after short-term inhalation of sulphur dioxide. *Am Rev Respir Dis*. 1987;136:1117-21.
 30. Health and Environment Linkages Initiative. Indoor Air Pollution and Household Energy. [Internet]. 2009 [cited 2010 Jan 11]. Available from: <http://www.who.int/heli/risks/indoorair>.
 31. Erling V, Jalil F, Hanson LA, Zaman Shakila. The impact of climate on the prevalence of respiratory tract infections in early childhood in Lahore, Pakistan. *J Pub Health Med*. 1999;21:331-9.
 32. Wikipedia. Air pollution. [Internet]. 2010 [cited 2010 Jan 30]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming
 33. Wikipedia. Air pollution. [Internet]. 2010 [cited 2010 Jan 30]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Mitigation_of_global_warming

AGD

