

Polusi udara terkait lalu lintas dan kesehatan respirasi



CrossMark

I Gusti Ngurah Bagus Artana^{1,2*}, Ida Bagus Ngurah Rai², I Made Bakta³

ABSTRAK

Polusi udara meningkatkan risiko menderita berbagai masalah kesehatan, terutama di bidang respirasi. Paparan polusi udara terkait lalu lintas bersifat involunter dan mengenai manusia sejak dalam kandungan hingga kematian. Polutan udara mengandung bahan-bahan seperti nitrogen dioksida, sulfur dioksida, karbon monoksida, benzene, ozon, *particulate matter* 10 (PM10), timbal, arsenik, cadmium, nikel, benzopyrene, dan *particulate matter* 2,5 (PM2.5) yang dapat mempengaruhi kesehatan paru. Menentukan hubungan sebab akibat berbagai polutan utama dari jalan raya

terhadap sistem respirasi manusia merupakan hal yang sangat rumit dilakukan. Secara umum dapat disimpulkan, polutan terkait lalu lintas akan mencetuskan reaksi inflamasi yang akan bergulir sesuai variasi individu manusia yang terpajan. Konsep stress oksidatif akibat polutan terkait lalu lintas juga mulai banyak diteliti. Hal ini memberikan harapan dalam membantu mekanisme anti-oksidan manusia dalam menghadapi ancaman polusi udara yang semakin sulit dihindari.

Kata Kunci: Polusi udara, Sistem respirasi, Kesehatan paru

Cite Pasal ini: Artana, I.G.N.B., Rai, I.B.N., Bakta, I.M. 2018. Polusi udara terkait lalu lintas dan kesehatan respirasi. *Intisari Sains Medis* 9(3): 101-105. DOI: [10.15562/ism.v9i3.303](https://doi.org/10.15562/ism.v9i3.303)

PENDAHULUAN

Polusi udara meningkatkan risiko menderita berbagai masalah kesehatan, terutama di bidang respirasi.¹ Penelitian-penelitian terbaru mengenai tingkat polusi udara menunjukkan peningkatan yang tajam dan sangat signifikan diberbagai belahan dunia, terutama pada negara dengan populasi yang besar. Hal ini tentu meningkatkan angka kesakitan terkait polusi udara tersebut. Pada tahun 2010, didapatkan lebih dari 200 ribu kematian akibat kanker paru di seluruh dunia, akibat polusi udara.² World Health Organization (WHO) mendapatkan 3,7 juta kematian prematur (yang belum seharusnya terjadi) di seluruh dunia tahun 2012 akibat polusi udara.^{2,3}

Polusi udara terkait lalu lintas serupa halnya dengan asap rokok dalam menyebabkan masalah kesehatan respirasi. Tetapi berbeda halnya dengan merokok, polusi udara bukan merupakan pilihan gaya hidup, sehingga sifat paparan yang dialami menjadi tidak dapat dihindari dan menyebabkan masalah kesehatan pada manusia dari dalam kandungan hingga meninggal. Kendaraan bermotor merupakan sumber utama polusi udara masyarakat perkotaan. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di seluruh dunia semakin tahun tidak dapat dibendung. Jurnal industri otomotif dunia mencatat 1,2 milyar kendaraan bermotor tahun 2014 di seluruh dunia. Kendaraan bermotor mengeluarkan

gas buang yang mengandung berbagai bahan berbahaya. Sampai saat ini kendaraan bermotor telah diketahui mengeluarkan gas karbondioksida, karbonmonoksida, hidrokarbon, oksida nitrogen, *particulate matter* (PM), serta berbagai bahan berbahaya yang dikelompokkan menjadi *mobile-source air toxic* (MSAT).^{4,5}

Manusia normal menghirup 10-15 ribu liter udara perhari. Melalui proses inhalasi inilah paparan polutan dari udara terjadi pada manusia. Manusia tidak mampu memilih udara yang akan dimasukkan ke sistem pernapasannya. Hal ini menjadikan sistem pernapasan sebagai target utama berbagai bahan berbahaya dari udara. Selain polutan utama yang telah ditetapkan berbahaya bagi kesehatan respirasi (*particulate matter*, ozon, dan nitrogen dioksida), berbagai polutan baru telah diidentifikasi dari udara, yaitu polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and volatile organic compounds (VOC). Penelitian terbaru bahkan mendapatkan bahwa, kumpulan berbagai polutan akan memberikan efek yang jauh lebih merusak kesehatan dibandingkan jumlah pengaruhnya masing-masing pada kesehatan.^{3,5}

Hingga saat ini kepedulian dan kewaspadaan kita pada polusi udara, terutama yang berkaitan lalu lintas masih sangat kurang. Pembangunan dan perekonomian yang semakin berkembang memunculkan kota-kota padat penduduk dengan jumlah kendaraan bermotor yang meningkat pula.

¹S3 Ilmu Kedokteran Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

²Departemen Ilmu Penyakit Paru, Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

³Departemen Ilmu Penyakit Dalam, Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

*Corresponding:

I Gusti Ngurah Bagus Artana;
Departemen Ilmu Penyakit Paru,
Fakultas Kedokteran, Universitas
Udayana;
bagusartana@gmail.com

Received: 2018-08-06

Accepted: 2018-09-01

Diterbitkan: 2018-12-1

Sementara pada sisi lain, polusi udara terkait lalu lintas juga meningkat, yang akan mengancam kesehatan respirasi secara khusus. Berikut ini kami jelaskan mengenai polusi udara terkait lalu lintas dan pengaruhnya pada kesehatan respirasi, terutama pada aspek inflamasi dan stress oksidatif yang dialami sistem respirasi.

POLUTAN UDARA

Parlemen Uni Eropa pada tahun 2008 mengeluarkan peraturan mengenai polusi udara, yang dikenal sebagai Environmental Protection Act (EPA). Dalam peraturan tersebut, negara-negara Uni Eropa sepakat untuk melakukan pemantauan yang ketat terhadap kualitas udaranya. EPA menetapkan 12 bahan dari udara yang diberikan tanda berbahaya bagi kesehatan. Keduabelas bahan tersebut adalah nitrogen dioksida, sulfur dioksida, karbon monoksida, benzene, ozon, *particulate matter* 10 (PM10), timbal, arsenik, cadmium, nikel, benzopyrene, dan *particulate matter* 2,5 (PM2.5).⁴

Polutan dari udara dapat dikelompokkan menjadi polutan udara primer dan polutan udara sekunder berdasarkan proses pembentukannya. Polutan udara primer merupakan berbagai bahan polutan yang dikeluarkan langsung ke atmosfer dari sumbernya. Beberapa contoh polutan udara primer adalah asap dari pipa pembuangan pabrik dan beberapa komponen dari gas buang kendaraan bermotor. Emisi polutan udara primer ini dapat dihitung langsung dari ujung pipa pembuangan sumbernya dengan tepat. Sebaliknya pada polutan udara sekunder, proses pembentukan bahan berbahaya terjadi di atmosfer. Bahan-bahan berbahaya tersebut merupakan hasil reaksi kimia polutan udara primer di udara. Reaksi kimia ini melibatkan pula komponen alamiah atmosfer, yaitu oksigen dan air. Contoh polutan udara sekunder yang paling populer adalah ozon yang terbentuk melalui reaksi kimia khusus yang dipengaruhi berbagai faktor alamiah di atmosfer. Polutan udara sekunder sulit diukur kadar emisinya di udara, walaupun dapat dihitung secara kasar dari komponen-komponen penyusunnya. Dalam kaitannya dengan gas buang kendaraan bermotor, polutan terkait lalu lintas dapat berupa polutan udara primer dan sekunder.^{5,6}

Hallain yang harus ditentukan dari polutan udara adalah sifat fisiknya. Berdasarkan sifat fisiknya, polutan udara dapat dibagi menjadi polutan gas dan polutan partikel (*particulate*). Polutan udara gas merupakan molekul kecil berbentuk fisik gas atau uap, yang mampu melewati filter yang tidak bereaksi dengannya. Polutan gas ini biasanya hanya sampai saluran nafas atas, tidak sampai masuk ke saluran nafas bawah dan jaringan paru. Sedangkan

polutan udara bentuk partikel terdiri dari material padat atau cair yang terperangkap di atmosfer. Partikel ini bisa merupakan polutan udara primer maupun sekunder dengan berbagai ukuran.⁷

MEKANISME PEMBENTUKAN BERBAGAI POLUTAN UDARA

Sulfur Dioksida

Sumber utama sulfur dioksida pada udara adalah sisa pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur. Bahan bakar fosil mengandung 1-5 persen sulfur dari sumbernya. Saat proses pembakaran terjadi, sulfur pada bahan bakar tersebut berubah menjadi sulfur dioksida. Proses pemurnian bahan bakar di berbagai belahan dunia telah mulai mengurangi kadar sulfur pada minyak mentahnya. Hal ini berkaitan dengan proses perdagangan bahan bakar dan standar emisi yang sangat ketat ditetapkan di negara-negara barat sebagai konsumen bahan bakar.⁸

Oksida Nitrogen

Serupa dengan proses pembentukan sulfur dioksida pada pembakaran bahan bakar, komponen nitrogen juga akan diubah menjadi oksida nitrogen pada proses ini. Proses ini banyak melibatkan batu bara sebagai sumbernya, karena kandungan nitrogen pada minyak yang jauh lebih sedikit dari batu bara. Sebagian besar oksida nitrogen yang ada pada udara adalah nitric oxide (NO-). Lebih dari 90% Proses pembentukan oksida nitrogen ini terjadi melalui reaksi kimia di atmosfer.^{9,10}

Karbon Monoksida

Karbon monoksida merupakan gas yang terjadi akibat pembakaran tidak sempurna bahan bakar yang mengandung karbon. Sedangkan pembakaran yang sempurna akan menghasilkan gas buang berupa karbon dioksida. Sebagian besar oksidasi bahan bakar kendaraan bermotor di dunia hanya sampai menghasilkan karbon monoksida. Inilah yang menyebabkan kendaraan bermotor sebagai sumber polutan karbon monoksida utama.¹⁰

Volatile organic compounds (VOC)

Volatile organic compounds (VOC) terdiri dari berbagai jenis hidrokarbon, oksigenat, halogenat, dan bahan karbon lain yang ada dalam bentuk uap di atmosfer. Sumber utama VOC ini adalah kebocoran system gas bertekanan (contohnya metana dan gas alam) dan penguapan bahan bakar cair dari tangki kendaraan bermotor. Proses pembakaran bahan bakar fosil juga menimbulkan VOC ini akibat adanya bagian bahan bakar yang tidak terbakar atau terbakar sebagian.^{5,11}

Tabel 1. Jenis Polutan pada udara dan mekanisme pembentukannya

Jenis Polutan	Mekanisme Pembentukan
<i>Sulfur Dioksida</i>	Sisa pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur
<i>Oksida Nitrogen</i>	Sisa pembakaran bahan bakar terutama bersumber dari batu bara
<i>Karbon Monoksida</i>	Diproduksi akibat pembakaran tidak sempurna bahan bakar yang mengandung karbon
<i>Volatile organic compounds (VOC)</i>	Terdiri dari berbagai jenis hidrokarbon, oksigenat, halogenat, dan bahan karbon lain yang bersumber dari kebocoran system gas bertekanan (contohnya metana dan gas alam) dan penguapan bahan bakar cair dari tangki kendaraan bermotor
<i>Partikel Karbon</i>	Dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa terdiri dari karbon dalam bentuk elemental maupun organik yang memiliki volatilitas rendah
<i>Partikel primer non-karbon</i>	Abu yang terdiri dari material mineral yang dilepaskan saat pembakaran bahan bakar
<i>Oksida Nitrogen/ sistem azon</i>	Material buangan oksida nitrogen (nitric oxide {NO}), yang merupakan 95% dari oksida nitrogen hasil pembakaran dan bereaksi dengan ozon

Partikel Karbon

Partikel-partikel yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa terdiri dari karbon dalam bentuk elemental maupun organik yang memiliki volatilitas rendah. Komponen karbon elemental bersama dengan api akan membentuk radikal bebas karbon dan polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) yang sangat toksik.^{12,13}

Partikel primer non-karbon

Abu yang melayang di udara merupakan sumber utama polutan ini. Abu ini terdiri dari material mineral yang dilepaskan saat pembakaran bahan bakar dan terbawa ke atmosfer dan terjebak di dalamnya. Abu dan debu yang ada di permukaan jalan raya juga menjadi sumber dari partikel non-karbon ini, walaupun dalam jumlah yang tidak sebanyak mineral sisa pembakaran.^{7,14}

Oksida Nitrogen/sistem ozon

Material buangan oksida nitrogen sebagian besar berupa nitric oxide (NO), yang merupakan 95% dari oksida nitrogen hasil pembakaran. Pada kondisi ini, NO tidak memberikan efek buruk pada kesehatan manusia. Tetapi saat NO berubah menjadi nitrogen dioksida di atmosfer akibat reaksi kimia NO dengan ozon, maka masalah sebenarnya

sudah terlambat untuk diantisipasi. Reaksi kimia yang mendasari pembentukan nitrogen dioksida dari NO disebut sistem ozon. Satu hal yang sangat diperlukan reaksi ini adalah ketersediaan sinar matahari.^{5,15}

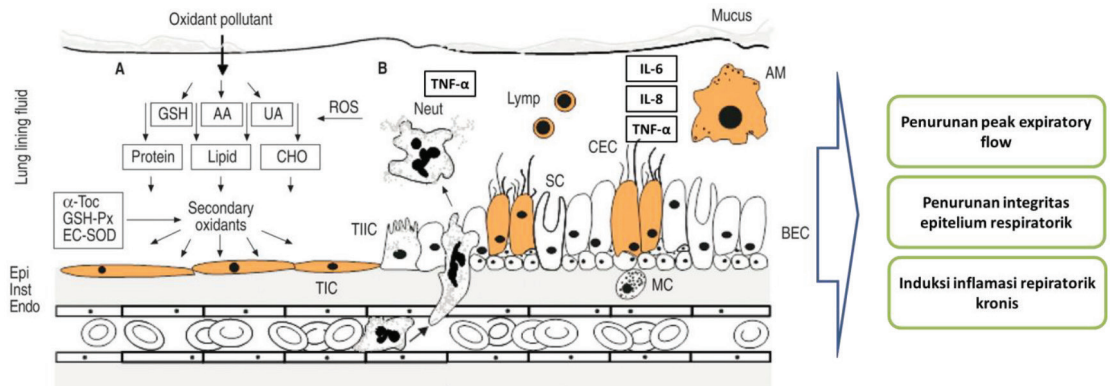
Ozon sebagai komponen yang sangat penting pada system ozon tersebut merupakan polutan udara sekunder yang berasal dari dalam atmosfer. Sumber-sumber lokasi ozon yaitu hemisfer utara bumi dan pemecahan oksigen yang diperantarai sinar matahari biasanya menyelimuti bumi di lapisan stratosfer. Lapisan ozon pada kedua lokasi tersebut melindungi kita dari pengaruh buruk sinar ultraviolet. Troposfer juga dapat menghasilkan ozon dari reaksi kimia hidrokarbon reaktif. Reaksi ini menghasilkan peroxy radical. Pada udara yang berpolusi (kaya NO), peroxy radical ini akan bereaksi dengan NO untuk membentuk nitrogen dioksida yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan.¹⁶

Ringkasan jenis-jenis polutan udara dan mekanisme pembentukannya disajikan pada **Tabel 1** di bawah ini.

Polusi Udara Terkait Lalu Lintas dan Kesehatan Respirasi

Polusi udara terkait lalu lintas merupakan hal yang sangat kompleks untuk dibicarakan. Polusi udara jenis ini berasal dari emisi gas buang kendaraan bermotor, luruhnya permukaan jalan, gesekan dari rem, kopling, dan roda kendaraan bermotor. Berbagai hasil penelitian di berbagai negara tidak mendapatkan kesamaan karakteristik polusi udara akibat lalu lintas ini. Pengukuran efek masing-masing sumber polusi terhadap kelainan kesehatan yang terjadi menjadi sangat sulit dilakukan. Beberapa penelitian toksikologi terstandar memang telah membuktikan pengaruh masing-masing polutan pada tubuh manusia, tetapi tidak demikian halnya dengan gabungan keseluruhan proses yang mendasari polusi udara terkait lalu lintas ini. Hal ini yang masih menjadi tantangan untuk bias menunjukkan hubungan sebab akibat yang jelas antara pajanan dengan masalah kesehatan yang terjadi secara spesifik. Geris besar efek polusi udara terhadap pernafasan ditampilkan pada **Gambar 1**.^{3,5}

Beberapa tahun terakhir, para peneliti memfokuskan penelitian terkait polusi udara lalu lintas pada ozon, sulfur dioksida, oksida nitrogen, serta particulate matter (baik PM2.5 maupun PM 10). Efek polutan-polutan tersebut diamati secara individual dan dalam suatu kesatuan udara. Pengaruh polutan-polutan tersebut pada kesehatan respirasi paling awal dalam proses inflamasi yang terjadi di sepanjang saluran pernafasan. Pajanan



Gambar 1. Rangkuman efek polusi udara terhadap kesehatan pernafasan

ozon terukur di laboratorium sudah terbukti meningkatkan kadar mediator inflamasi (IL-8) hewan coba.¹⁷ Pelepasan tumor necrosis factor α (TNF- α) dan interleukin (interleukin 8 and 6) juga dibuktikan meningkat secara signifikan pada saluran nafas manusia yang terpajan ozon.¹⁸

Particulate matter (PM) yang memiliki porsi yang sangat besar dalam mencemari udara juga berdampak negative pada kesehatan respirasi. Berbagai penelitian telah membuktikan adanya peningkatan kadar mediator inflamasi dan sel-sel imun tubuh setelah pajanan PM di laboratorium maupun dari gas buang kendaraan berbahan bakar diesel maupun bensin.¹⁹ Pada penelitian hewan coba yang dipajan dengan polusi udara lalu lintas, penurunan fungsi paru juga dapat dibuktikan akibat berkurangnya elastisitas dan struktur paru akibat proses inflamasi. Inflamasi sistemik juga dibuktikan setelah pajanan PM dalam jangka waktu lama. Inflamasi sistemik ini berujung pada terjadinya gangguan kardiovaskuler dan saraf otonom hewan coba.¹⁷

Pajanan nitrogen dioksida dikaitkan dengan kerusakan sel-sel epitel saluran nafas dan paru. Kerusakan dan kematian sel epitel pada sistem respirasi hewan coba masih belum jelas disebabkan oleh proses inflamasi spesifik atau secara umum bersama dengan pajanan polutan udara lain. Beberapa penelitian yang dirangkum oleh kelompok studi HEI dari Amerika tidak memberikan hubungan efek-penyebab yang jelas berkenaan dengan pajanan nitrogen dioksida.^{11,14} Pajanan sulfur dioksida pada saluran nafas manusia dapat menyebabkan bronkokonstriksi dan mencetuskan inflamasi di seluruh jaringan paru. Aktivasi sitokin dan kemokin pada jaringan paru tersebut melalui reaksi yang belum sepenuhnya dapat dijelaskan.^{19,20}

Kelompok studi HEI pada publikasi terakhirnya telah menjelaskan akibat pajanan polutan terkait lalu lintas pada sistem kardiorpulmonal. Efek

pajanan tersebut adalah peningkatan keluhan respirasi, penurunan peak expiratory flow, serta peningkatan respons inflamasi pada jalan nafas manusia dewasa. Pajanan polutan terkait lalu lintas paling singkat selama 20 menit sudah dapat memberikan efek pada saluran nafas sukarelawan sehat, berupa peningkatan hitung netrofil, exhaled nitric oxide, penurunan ringan pada peak expiratory flow, serta resistensi jalan nafas.¹⁴ Hasil penelitian oleh Costa, dkk. (2014) tidak dapat menemukan hubungan sebab akibat apabila sampel sukarelawan sehat diberikan pajanan polutan secara individual di laboratorium.¹⁵ Inkonsistensi inilah yang mempersulit kita menyimpulkan akibat pajanan polutan terkait lalu lintas pada sistem respirasi manusia.^{15,16}

Beberapa penelitian terbaru mencoba masuk pada peranan stress oksidatif untuk menjelaskan dampak polusi udara terkait lalu lintas pada kesehatan respirasi manusia. Hal ini didasari pada berbagai penelitian mengenai particulate matter (PM), yang merupakan polutan utama terkait lalu lintas. Sebagian besar penelitian mendapatkan potensi PM dalam menghasilkan oksidan yang berbahaya bagi sistem respirasi manusia.

Paru manusia menghirup 10 liter udara per menit dalam keadaan normal, yang tersebar merata pada 100-140 m² area paru. Area tersebut merupakan target berbagai pajanan polusi udara dan infeksi. Sistem respirasi manusia telah memiliki system pertahanan yang sangat rapi dan komprehensif dalam menghadapi ancaman tersebut. Udara dengan berbagai zat berbahaya akan dilembabkan dan disaring secara mekanis di saluran nafas atas. Sel-sel epitel pada sistem respirasi manusia merupakan barrier protektif dalam mempertahankan kesehatan respirasi kita. Sel epitel merupakan awal pergerakan sel dan sistem imunologis dalam melawan ancaman mikroorganisme, allergen, maupun bahan kimia seperti polusi udara terkait lalu lintas.^{17,21}

Beberapa polutan terkait lalu lintas secara konstan menghasilkan radikal bebas di udara melalui berbagai reaksi kimia. Radikal bebas tersebut secara konstan memajan manusia. Selain bahan oksida eksogenik dari udara, manusia juga terpajan oleh oksida endogen akibat reaksi kimia yang berhubungan dengan proses respirasi dan fagositosis sel. Pada individu sehat, peranan gen sangat penting untuk menjaga keseimbangan respons antioksidan/xenobiotic terhadap polusi udara.¹⁸ Keseimbangan ini yang mencegah pengaruh buruk radikal bebas pada system respirasi manusia.²¹

KESIMPULAN

Polusi udara terkait lalu lintas merupakan faktor risiko penyakit respirasi utama di dunia. Paparan polusi udara terkait lalu lintas bersifat involunter dan mengenai manusia sejak dalam kandungan hingga kematian. Menentukan hubungan sebab akibat berbagai polutan utama dari jalan raya terhadap system respirasi manusia merupakan hal yang sangat rumit dilakukan. Secara umum dapat disimpulkan, polutan terkait lalu lintas akan mencetuskan reaksi inflamasi yang akan bergulir sesuai variasi individu manusia yang terpajan. Konsep stress oksidatif akibat polutan terkait lalu lintas juga mulai banyak diteliti. Hal ini memberikan harapan dalam membantu mekanisme anti-oksidan manusia dalam menghadapi ancaman polusi udara yang semakin sulit dihindari.

DAFTAR PUSTAKA

1. WHO, 2010, WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants, World Health Organization, European Centre for Environment and Health, Bonn.
2. WHO, 2017, 'European detailed mortality database', updated August 2016, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen (<http://data.euro.who.int/dmdb/>) accessed 17 July 2018.
3. Lelieveld J, Evans JS, Fnais M, et al. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 2015;525(7569):367-371.
4. Environmental Protection Agency. Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen-Health Criteria (Final Report). Washington, DC: Environmental Protection Agency; 2008
5. World Health Organization. WHO Air Quality Guidelines Global Update 2005. Report on a Working Group Meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2005.
6. RCP, 2016, Every breath we take: The lifelong impact of air pollution, Working Party Report, Royal College of Physicians, London, UK (<https://www.rcplondon.ac.uk/projects/outputs/every-breath-we-take-lifelong-impact-air-pollution>) accessed 17 July 2018.
7. Hendriks C, Kranenburg R, Kuenen J, et al. The origin of ambient particulate matter concentrations in the Netherlands. *Atmos Environ* 2013;69:289-303.
8. Héroux M-E, Anderson H T, Atkinson, R, et al. Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J of Public Health* 2015;60:619-627.
9. Fuzzi S, Baltensperger U, Carslaw K, et al. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmos Chem and Phys* 2015;15:8217-8299.
10. Bernstein A, Rice M. Lungs in a warming world: climate change and respiratory health. *Chest* 2013;143: 1455-1459.
11. Sierra-Vargas MP, Teran LM. Air pollution: Impact and prevention *Respirology*. 2012;17: 1031-1038.
12. Marino E, Caruso M, Campagna D, et al. Impact of air quality on lung health: myth or reality? *Ther Adv Chronic Dis* 2015;6(5):286-298.
13. Huang Y. Outdoor air pollution: a global perspective. *J Occup Environ Med*. 2014; 56(S10):S3-S7.
14. HEI Traffic Panel (2010) Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects. Boston, MA: Health Effects Institute. Available at: <http://pubs.healtheffects.org/view.php?id=334> (accessed 17 July 2018).
15. Costa S, Ferreira J, Silveira C, et al. Integrating health on air quality assessment – review report on health risks of two major European outdoor air pollutants: PM and NO₂. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2014;17:307-340.
16. Perez L, Rapp R, Künzli N. The Year of the Lung: outdoor pollution and lung health. *Swiss Med Wkly*. 2010;140:w13129.
17. Vawda S, Mansour R, Takeda A, et al. Associations Between Inflammatory and Immune Response Genes and Adverse Respiratory Outcomes Following Exposure to Outdoor Air Pollution: A HuGE Systematic Review *Am J Epidemiol*. 2014;179(4):432-442.
18. Minelli C, Wei I, Sagoo G, et al. Interactive effects of antioxidant genes and air pollution on respiratory function and airway disease: a HuGE review. *Am J Epidemiol*. 2011;173(6): 603-620.
19. Yang IA, Fong KM, Zimmerman PV, et al. Genetic susceptibility to the respiratory effects of air pollution. *Postgrad Med J*. 2009;85(1006):428-436.
20. Janeway CA Jr, Medzhitov R. Innate immune recognition. *Annu Rev Immunol*. 2002;20(1):197-216.
21. Kelly FJ. Oxidative stress: its role in air pollution and adverse health effects. *Occup Environ Med*. 2003;60(8):612-616.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution