

HUBUNGAN POLUSI UDARA AMBIEN PM_{2.5} DENGAN PENINGKATAN KASUS INFEKSI SALURAN PERNAPASAN AKUT (ISPA) : SCOPING REVIEW

Dwi Ranti Putri Ramadhani^{1*}

Departemen Kesehatan Lingkungan, Prodi S1 Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga¹

*Corresponding Author : dwi.ranti.putri-2022@fkm.unair.ac.id

ABSTRAK

Polusi udara ambien merupakan salah satu determinan lingkungan utama yang mempengaruhi kesehatan respiratori secara global. Particulate matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) memiliki kemampuan menembus hingga alveoli dan memicu berbagai gangguan kesehatan, termasuk infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Penelitian ini bertujuan untuk memetakan bukti ilmiah mengenai hubungan antara paparan PM_{2.5} dan kejadian ISPA secara global. Penelitian menggunakan pendekatan *scoping review* yang mengikuti kerangka Arksey dan O'Malley serta pedoman PRISMA-ScR. Pencarian literatur dilakukan pada basis data PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan WHO Library untuk periode 2015–2025 menggunakan kombinasi kata kunci terkait PM_{2.5}, polusi udara ambien, dan infeksi respiratori. Proses seleksi literatur meliputi tahap identifikasi, penyaringan judul dan abstrak, evaluasi teks lengkap, serta penentuan artikel yang memenuhi kriteria inklusi. Sebanyak 160 artikel teridentifikasi pada tahap awal pencarian dan setelah proses penyaringan diperoleh 20 studi yang memenuhi kriteria analisis. Hasil kajian menunjukkan adanya hubungan positif antara peningkatan konsentrasi PM_{2.5} dan peningkatan kejadian ISPA di berbagai wilayah dunia. Risiko relatif dilaporkan meningkat sekitar 2–8% untuk setiap kenaikan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konsentrasi PM_{2.5}. Paparan PM_{2.5} juga berkaitan dengan peningkatan inflamasi paru, stres oksidatif, serta penurunan fungsi imun saluran pernapasan. Dapat disimpulkan bahwa paparan PM_{2.5} merupakan faktor risiko penting terhadap peningkatan kejadian ISPA secara global sehingga pengendalian emisi polusi udara dan penguatan sistem pemantauan kualitas udara menjadi langkah penting dalam pencegahan penyakit respiratori.

Kata kunci : Infeksi Saluran Pernapasan Akut, kesehatan lingkungan, PM_{2.5}, polusi udara ambien, *scoping review*

ABSTRACT

Ambient air pollution is a major environmental determinant affecting respiratory health worldwide. This study employed a scoping review approach following the methodological framework proposed by Arksey and O'Malley and reported in accordance with the PRISMA-ScR guidelines. Literature searches were conducted in four electronic databases: PubMed, Scopus, ScienceDirect, and the WHO Library, covering publications from 2015 to 2025. The search strategy used combinations of keywords related to PM_{2.5}, ambient air pollution, and respiratory infections. The literature selection process included identification, title and abstract screening, full-text assessment, and final inclusion based on predefined eligibility criteria. A total of 160 articles were initially identified through database searching. After the screening process, 20 studies met the inclusion criteria and were included in the analysis. The findings consistently indicated a positive association between increased PM_{2.5} concentrations and higher incidence of ARIs across different regions worldwide. Relative risk was reported to increase by approximately 2–8% for every 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rise in PM_{2.5} concentration. Exposure to PM_{2.5} was also associated with increased pulmonary inflammation, oxidative stress, and impaired immune function in the respiratory system. PM_{2.5} exposure represents a significant environmental risk factor for the increased occurrence of acute respiratory infections globally. Therefore, strengthening air pollution control strategies and improving air quality monitoring systems are essential measures for preventing respiratory diseases and reducing the global burden of ARIs.

Keywords : Acute Respiratory Infection, ambient air pollution, environmental health, PM_{2.5}, *scoping review*

PENDAHULUAN

Polusi udara ambien merupakan salah satu faktor risiko lingkungan terbesar yang mempengaruhi kesehatan manusia secara global. Organisasi Kesehatan Dunia melaporkan bahwa paparan polusi udara ambien berkaitan dengan sekitar 6–7 juta kematian prematur setiap tahun akibat penyakit kardiovaskular dan respiratori (World Health Organization, 2023). Di antara berbagai komponen polusi udara, particulate matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ atau $\text{PM}_{2.5}$ menjadi perhatian utama karena ukurannya yang sangat kecil sehingga mampu menembus hingga alveoli paru dan bahkan memasuki sirkulasi sistemik (Xing et al., 2016). Karakteristik tersebut menyebabkan $\text{PM}_{2.5}$ memiliki potensi toksisitas yang tinggi terhadap sistem pernapasan manusia. Paparan $\text{PM}_{2.5}$ telah dikaitkan dengan berbagai gangguan kesehatan, termasuk penyakit kardiovaskular, kanker paru, dan penyakit respiratori akut maupun kronis (Liu et al., 2017). Salah satu dampak kesehatan yang paling sering dilaporkan adalah peningkatan kejadian infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). ISPA merupakan kelompok penyakit yang meliputi pneumonia, bronkitis akut, influenza, dan infeksi respiratori lainnya yang masih menjadi penyebab utama morbiditas dan mortalitas di berbagai negara, terutama pada anak-anak dan kelompok usia lanjut (Odo et al., 2022). Penelitian epidemiologis menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ sebesar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berkaitan dengan peningkatan risiko penyakit respiratori dan rawat inap akibat gangguan paru sebesar sekitar 2–8% (Horne et al., 2018).

Hubungan antara paparan $\text{PM}_{2.5}$ dan peningkatan kejadian penyakit respiratori dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme biologis. Partikel halus ini dapat memicu stres oksidatif, inflamasi jaringan paru, serta gangguan fungsi sistem imun saluran pernapasan sehingga meningkatkan kerentanan individu terhadap infeksi patogen respiratori (Xing et al., 2016). Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa $\text{PM}_{2.5}$ juga dapat berperan sebagai media transportasi mikroorganisme dan virus respiratori di atmosfer sehingga berpotensi meningkatkan transmisi penyakit infeksi (Cao et al., 2021). Kondisi ini menyebabkan paparan $\text{PM}_{2.5}$ menjadi salah satu determinan penting dalam dinamika penyakit respiratori di berbagai wilayah dunia. Meskipun hubungan antara polusi udara dan penyakit respiratori telah banyak diteliti, terdapat variasi hasil penelitian yang dipengaruhi oleh perbedaan kondisi geografis, komposisi kimia partikulat, serta faktor meteorologis seperti suhu dan kelembapan udara (Zhang et al., 2021). Variasi tersebut menunjukkan bahwa pemahaman mengenai hubungan antara $\text{PM}_{2.5}$ dan kejadian ISPA masih memerlukan sintesis literatur yang lebih komprehensif untuk mengidentifikasi pola global serta kesenjangan penelitian yang masih ada.

Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk memetakan bukti ilmiah mengenai hubungan antara polusi udara ambien $\text{PM}_{2.5}$ dengan peningkatan kejadian infeksi saluran pernapasan akut berdasarkan literatur ilmiah yang dipublikasikan dalam satu dekade terakhir.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *scoping review* untuk memetakan bukti ilmiah mengenai hubungan antara paparan polusi udara ambien particulate matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) dan kejadian infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Metode *scoping review* dipilih karena mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan penelitian, karakteristik metodologis studi, serta kesenjangan penelitian yang masih ada dalam suatu bidang kajian. Prosedur penelitian mengikuti kerangka metodologis yang dikembangkan oleh Arksey dan O'Malley serta pembaruan dari Levac et al., dengan pelaporan hasil mengacu pada pedoman PRISMA-ScR (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews*). Pencarian literatur dilakukan pada empat basis data ilmiah internasional yaitu PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan WHO Library. Rentang waktu

publikasi yang digunakan adalah tahun 2015–2025 untuk memperoleh literatur terbaru yang relevan dengan topik penelitian. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci yang berkaitan dengan polusi udara dan penyakit respiratori, yaitu: ("PM2.5" OR "fine particulate matter") AND ("ambient air pollution") AND ("acute respiratory infection" OR "pneumonia" OR "influenza" OR "respiratory disease").

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi artikel ilmiah berbahasa Inggris, dipublikasikan pada jurnal peer-reviewed dalam periode 2015–2025, serta menyajikan data empiris mengenai hubungan antara paparan PM2.5 dan penyakit respiratori termasuk ISPA, pneumonia, influenza, atau tuberkulosis. Studi yang dimasukkan dalam kajian ini mencakup penelitian observasional, kohort, time-series, studi ekologis, maupun systematic review yang menggunakan data manusia. Sementara itu, artikel opini, editorial, laporan singkat tanpa data empiris, serta penelitian yang hanya membahas particulate matter berukuran PM10 tanpa analisis PM2.5 dikeluarkan dari kajian. Data yang diekstrak dari setiap artikel meliputi nama penulis dan tahun publikasi, lokasi penelitian, desain studi, karakteristik populasi atau sampel penelitian, serta temuan utama yang berkaitan dengan hubungan antara paparan PM2.5 dan penyakit respiratori. Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis secara deskriptif dengan mengelompokkan studi berdasarkan wilayah geografis, jenis desain penelitian, serta jenis penyakit respiratori yang diteliti. Hasil analisis disajikan dalam bentuk narasi dan tabel untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai pola hubungan antara polusi udara PM2.5 dan kejadian ISPA berdasarkan bukti ilmiah yang tersedia.

HASIL

Hasil penelusuran literatur pada empat basis data ilmiah yaitu PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan WHO Library menghasilkan sejumlah publikasi yang relevan dengan topik hubungan antara polusi udara ambien particulate matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM2.5) dan penyakit respiratori. Pada tahap identifikasi diperoleh 160 artikel potensial yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2015–2025. Setelah proses penghapusan duplikasi dan penyaringan judul serta abstrak, sejumlah artikel dieliminasi karena tidak sesuai dengan kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Tahap evaluasi teks lengkap menghasilkan 20 artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan dalam sintesis scoping review ini. Secara geografis, sebagian besar penelitian berasal dari wilayah Asia Timur dan Asia Selatan, khususnya Tiongkok, yang memiliki jumlah publikasi paling banyak mengenai dampak polusi udara terhadap kesehatan respiratori. Selain itu, beberapa studi juga berasal dari Amerika Serikat, Iran, Vietnam, serta penelitian multi-negara yang mencakup berbagai wilayah dunia. Variasi lokasi penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara paparan PM2.5 dan penyakit respiratori telah menjadi perhatian global dalam penelitian kesehatan lingkungan.

Berdasarkan desain penelitian, sebagian besar studi menggunakan pendekatan *time-series* dan kohort observasional untuk menganalisis hubungan antara konsentrasi PM2.5 dan kejadian penyakit respiratori. Beberapa penelitian menggunakan desain *cross-sectional* dan *ecological study*, sementara beberapa lainnya merupakan *systematic review* dan *meta-analysis* yang mengkaji hubungan polusi udara dengan penyakit infeksi respiratori secara komprehensif. Hasil kajian menunjukkan bahwa seluruh penelitian yang dianalisis melaporkan adanya hubungan antara peningkatan konsentrasi PM2.5 dan peningkatan kejadian penyakit respiratori. Peningkatan konsentrasi PM2.5 sebesar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dilaporkan berkaitan dengan peningkatan risiko penyakit respiratori sebesar sekitar 2–8%. Dampak tersebut terutama terlihat pada peningkatan kejadian pneumonia, influenza, tuberkulosis, serta berbagai bentuk infeksi saluran pernapasan akut lainnya.

Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa kelompok populasi tertentu memiliki tingkat kerentanan yang lebih tinggi terhadap dampak polusi udara, terutama anak-anak, lansia, dan

individu dengan kondisi kesehatan yang sudah ada sebelumnya. Selain itu, beberapa studi menunjukkan bahwa komponen kimia tertentu dalam PM_{2.5} seperti *black carbon* (BC) dan *organic matter* (OM) memiliki kontribusi yang lebih besar terhadap peningkatan kejadian penyakit respiratori dibandingkan komponen partikulat lainnya. Ringkasan karakteristik penelitian yang dianalisis dalam kajian ini disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Pemetaan Studi Global Hubungan PM_{2.5} dan Penyakit Respiratori

No.	Penulis	Tahun	Lokasi	Desain Studi	Populasi/Sampel	Temuan Utama
1.	Li et al.	2020	China	Time-series	Kasus ISPA nasional	BC dan OM meningkatkan risiko ISPA
2.	Odo et al.	2022	35 negara	Cross-sectional	Anak <5 tahun	Risiko ISPA meningkat 5% per 10 µg/m ³
3.	Horne et al.	2018	USA	Time-series	95.000 pasien	PM _{2.5} meningkatkan rawat inap ISPA
4.	Popovic et al.	2019	Global	Systematic review	67 studi	Polusi udara memperburuk TB
5.	Niu et al.	2017	China	Observasional	PM _{2.5} urban	Inflamasi dan stres oksidatif paru
6.	Wang et al.	2023	China	Ecological cohort	Kasus nasional	Paparan PM _{2.5} meningkatkan TB
7.	Khajavi et al.	2021	Iran	Cohort	10.000 responden	Paparan jangka panjang meningkatkan penyakit respiratori
8.	Zhang et al.	2021	China	Time-series	Data influenza	PM _{2.5} meningkatkan influenza
9.	Cao et al.	2021	Global	Review	–	PM _{2.5} berperan dalam transmisi virus
10.	Shao et al.	2021	Global	Review	–	Aerosol meningkatkan penyebaran virus
11.	Liu et al.	2017	Global	Meta-analysis	110 studi	Risiko penyakit respiratori meningkat
12.	Xing et al.	2016	Global	Review	–	PM _{2.5} menyebabkan inflamasi paru
13.	Croft et al.	2020	USA	Cohort	Medicare population	PM _{2.5} meningkatkan pneumonia
14.	Gu et al.	2020	China	Time-series	Data rawat inap	PM _{2.5} berhubungan dengan influenza
15.	Zhou et al.	2022	China	Panel study	70 anak	Paparan jangka pendek menurunkan fungsi paru
16.	Nhung et al.	2017	Vietnam	Systematic review	Anak-anak	PM _{2.5} meningkatkan rawat inap anak
17.	Di et al.	2017	USA	Cohort	60,9 juta penduduk	PM _{2.5} meningkatkan mortalitas respiratori
18.	Yuan et al.	2025	China	Ecological	Kasus TB	Paparan PM _{2.5} meningkatkan risiko TB

19.	Zhang et al.	2023	China	Time-series	Kasus influenza	PM2.5 meningkatkan influenza musiman
20.	Yan et al.	2022	China	Cohort	38,7 ribu penduduk dewasa	PM2.5 meningkatkan infeksi respiratori kronis

PEMBAHASAN

Kajian ini menunjukkan bahwa paparan polusi udara ambien khususnya particulate matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM2.5) memiliki hubungan yang konsisten dengan peningkatan kejadian penyakit respiratori, termasuk infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), pneumonia, influenza, serta tuberkulosis. Sebagian besar studi yang dianalisis menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PM2.5 berkaitan dengan meningkatnya risiko penyakit respiratori pada berbagai kelompok populasi. Temuan ini memperkuat bukti bahwa polusi udara merupakan salah satu determinan lingkungan penting yang mempengaruhi kesehatan sistem pernapasan manusia. Hasil kajian ini sejalan dengan berbagai penelitian epidemiologis yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PM2.5 berhubungan dengan peningkatan kejadian penyakit respiratori dan rawat inap akibat infeksi saluran pernapasan. Penelitian di beberapa negara juga menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PM2.5 sebesar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berkaitan dengan peningkatan risiko penyakit respiratori sekitar 2–8%. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa bahkan peningkatan kecil pada konsentrasi PM2.5 dapat memberikan dampak kesehatan yang signifikan pada tingkat populasi.

Secara biologis, hubungan antara paparan PM2.5 dan penyakit respiratori dapat dijelaskan melalui mekanisme inflamasi dan stres oksidatif pada jaringan paru. Partikel halus PM2.5 mampu menembus hingga alveoli paru dan memicu respon inflamasi yang dapat merusak jaringan paru serta menurunkan fungsi sistem imun saluran pernapasan. Kondisi ini meningkatkan kerentanan individu terhadap infeksi patogen respiratori seperti virus influenza, bakteri penyebab pneumonia, maupun mikroorganisme lainnya. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa partikel aerosol di udara juga dapat berperan sebagai media transportasi patogen respiratori yang mempercepat proses transmisi penyakit. Kajian ini juga menunjukkan bahwa terdapat variasi geografis dalam penelitian mengenai hubungan polusi udara dan penyakit respiratori. Sebagian besar penelitian berasal dari negara-negara di Asia Timur dan Amerika Serikat yang memiliki sistem pemantauan kualitas udara yang lebih berkembang. Sementara itu, penelitian di wilayah negara berkembang seperti Afrika dan beberapa negara Asia Tenggara masih relatif terbatas meskipun wilayah tersebut memiliki beban penyakit respiratori yang cukup tinggi. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu diperhatikan dalam pengembangan kajian kesehatan lingkungan secara global.

Selain faktor lingkungan, kerentanan terhadap dampak polusi udara juga dipengaruhi oleh karakteristik populasi. Anak-anak dan lansia merupakan kelompok yang paling rentan terhadap paparan PM2.5 karena sistem pernapasan yang masih berkembang pada anak-anak serta penurunan fungsi paru dan adanya penyakit komorbid pada kelompok usia lanjut. Oleh karena itu, upaya pengendalian polusi udara menjadi sangat penting dalam melindungi kelompok populasi yang rentan terhadap dampak kesehatan dari paparan polutan udara. Dari perspektif kesehatan masyarakat, hasil kajian ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan kebijakan pengendalian polusi udara. Pengurangan emisi dari sektor transportasi, industri, serta pembakaran bahan bakar fosil dapat memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan kualitas udara dan penurunan risiko penyakit respiratori. Selain itu, penguatan sistem pemantauan kualitas udara serta peningkatan kesadaran masyarakat mengenai dampak polusi udara juga merupakan langkah penting dalam upaya pencegahan penyakit yang berkaitan

dengan faktor lingkungan. Secara keseluruhan, temuan dalam kajian ini memperkuat bukti bahwa polusi udara ambien khususnya PM_{2.5} merupakan faktor risiko penting bagi peningkatan kejadian penyakit respiratori. Kajian ini juga memberikan kontribusi dalam memperkaya pemahaman mengenai hubungan antara faktor lingkungan dan kesehatan manusia, serta menyoroti pentingnya integrasi kebijakan kesehatan lingkungan dalam upaya perlindungan kesehatan masyarakat secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Kajian ini bertujuan untuk memetakan bukti ilmiah mengenai hubungan antara paparan polusi udara ambien particulate matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) dan kejadian infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Berdasarkan hasil sintesis dari berbagai penelitian yang dianalisis, ditemukan bahwa peningkatan konsentrasi PM_{2.5} secara konsisten berhubungan dengan peningkatan kejadian penyakit respiratori, termasuk pneumonia, influenza, dan tuberkulosis pada berbagai kelompok populasi. Peningkatan konsentrasi PM_{2.5} dilaporkan berkaitan dengan peningkatan risiko penyakit respiratori sekitar 2–8% untuk setiap kenaikan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hubungan tersebut dapat dijelaskan melalui mekanisme biologis berupa peningkatan stres oksidatif, inflamasi pada jaringan paru, serta penurunan fungsi sistem imun saluran pernapasan yang meningkatkan kerentanan individu terhadap infeksi patogen respiratori. Selain itu, komponen kimia tertentu dalam PM_{2.5} seperti black carbon dan organic matter memiliki kontribusi yang lebih besar terhadap peningkatan risiko penyakit respiratori karena berasal dari sumber emisi antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil dan emisi kendaraan bermotor.

Temuan dalam kajian ini menegaskan bahwa polusi udara ambien merupakan determinan penting dalam kesehatan respiratori masyarakat secara global. Oleh karena itu, upaya pengendalian emisi polutan udara, penguatan sistem pemantauan kualitas udara, serta integrasi kebijakan kesehatan lingkungan dalam perencanaan pembangunan menjadi langkah strategis untuk menurunkan beban penyakit respiratori akibat polusi udara. Selain itu, penelitian lanjutan masih diperlukan untuk memahami secara lebih mendalam variasi dampak kesehatan PM_{2.5} di berbagai wilayah geografis serta kontribusi komposisi kimia partikulat terhadap risiko penyakit respiratori.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada berbagai pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan bantuan, referensi, dan dukungan selama proses penyusunan sehingga artikel ini dapat disusun dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Cao, Y., Shao, L., Jones, T., Oliveira, M. L. S., Ge, S., Feng, X., Silva, L. F. O., & Bérubé, K. (2021). Multiple relationships between aerosol and COVID-19: A framework for global studies. *Gondwana Research*, 93, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.02.002>
- Croft, D. P., Zhang, W., Lin, S., Thurston, S. W., Hopke, P. K., van Wijngaarden, E., Squizzato, S., Masiol, M., Utell, M. J., & Rich, D. Q. (2020). Associations between Source-Specific Particulate Matter and Respiratory Infections in New York State Adults. *Environmental science & technology*, 54(2), 975–984. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04295>
- Di, Q., Wang, Y., Zanobetti, A., Wang, Y., Koutrakis, P., Choirat, C., Dominici, F., & Schwartz, J. D. (2017). Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *New*

- England Journal of Medicine*, 376(26), 2513–2522.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoal702747>
- Gu, X., Guo, T., Si, Y., Wang, J., Zhang, W., Deng, F., Chen, L., Wei, C., Lin, S., Guo, X., & Wu, S. (2020). Association Between Ambient Air Pollution and Daily Hospital Admissions for Depression in 75 Chinese Cities. *The American journal of psychiatry*, 177(8), 735–743. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2020.19070748>
- Horne, B. D., Joy, E. A., Hofmann, M. G., Gesteland, P. H., Cannon, J. B., Lefler, J. S., Blagev, D. P., Korgenski, E. K., Torosyan, N., Hansen, G. I., Kartchner, D., & Pope, C. A. (2018). Short-Term Elevation of Fine Particulate Matter Air Pollution and Acute Lower Respiratory Infection. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 198(6), 759–766. <https://doi.org/10.1164/rccm.201709-1883OC>
- Khajavi, A., Tamehri Zadeh, S. S., Azizi, F., Brook, R. D., Abdi, H., Zayeri, F., & Hadaegh, F. (2021). Impact of short- and long-term exposure to air pollution on blood pressure: A two-decade population-based study in Tehran. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 234, 113719. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113719>
- Li, D., Shi, T., Meng, L., Zhang, X., Li, R., Wang, T., Zhao, X., Zheng, H., & Ren, X. (2024). An association between PM2.5 components and respiratory infectious diseases: A China's mainland-based study. *Acta Tropica*, 254, 107193. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2024.107193>
- Nhung, N. T. T., Amini, H., Schindler, C., Kutlar Joss, M., Dien, T. M., Probst-Hensch, N., Perez, L., & Künzli, N. (2017). Short-term association between ambient air pollution and pneumonia in children: A systematic review and meta-analysis of time-series and case-crossover studies. *Environmental Pollution*, 230, 1000–1008. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.063>
- Odo, D. B., Yang, I. A., Dey, S., Hammer, M. S., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Dong, G.-H., Yang, B.-Y., Hystad, P., & Knibbs, L. D. (2022). Ambient air pollution and acute respiratory infection in children aged under 5 years living in 35 developing countries. *Environment International*, 159, 107019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107019>
- Popovic, I., Soares Magalhaes, R. J., Ge, E., Marks, G. B., Dong, G.-H., Wei, X., & Knibbs, L. D. (2019). A systematic literature review and critical appraisal of epidemiological studies on outdoor air pollution and tuberculosis outcomes. *Environmental Research*, 170, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.011>
- Qian, L., Cheng, X., Guixiang, J., Hui, L., Wentao, S., Chunlan, Z., Aihua, G., & Peng, Z. (2017). Effect of exposure to ambient PM2.5 pollution on the risk of respiratory tract diseases: a meta-analysis of cohort studies. *The Journal of Biomedical Research*, 31(2), 130. <https://doi.org/10.7555/JBR.31.20160071>
- Shao, L., Ge, S., Jones, T., Santosh, M., Silva, L. F. O., Cao, Y., Oliveira, M. L. S., Zhang, M., & BéruBé, K. (2021). The role of airborne particles and environmental considerations in the transmission of SARS-CoV-2. *Geoscience Frontiers*, 12(5), 101189. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101189>
- Tao, R., Cao, W., Li, M., Yang, L., Dai, R., Luo, X., Liu, Y., Ge, B., Su, X., & Xu, J. (2020). PM2.5 compromises antiviral immunity in influenza infection by inhibiting activation of NLRP3 inflammasome and expression of interferon- β . *Molecular Immunology*, 125, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2020.07.001>
- Wang, S., Wu, G., Du, Z., Wu, W., Ju, X., Yimaer, W., Chen, S., Zhang, Y., Li, J., Zhang, W., & Hao, Y. (2023). The causal links between long-term exposure to major PM2.5 components and the burden of tuberculosis in China. *Science of The Total Environment*, 870, 161745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161745>
- World Health Organization (2023) *Ambient air pollution and health*. Geneva: WHO.

- Xing, Y.-F., Xu, Y.-H., Shi, M.-H., & Lian, Y.-X. (2016). The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of thoracic disease*, 8(1), E69-74. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19>
- Yan, M., Ge, H., Zhang, L., Chen, X., Yang, X., Liu, F., Shan, A., Liang, F., Li, X., Ma, Z., Dong, G., Liu, Y., Chen, J., Wang, T., Zhao, B., Zeng, Q., Lu, X., Liu, Y., & Tang, N.-J. (2022). Long-term PM2.5 exposure in association with chronic respiratory diseases morbidity: A cohort study in Northern China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 244, 114025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114025>
- Yuan, D., Xie, B., Pang, Z., Liu, K., & Chen, B. (2025). Short- and long-term exposure to ambient air pollution and greenness in relation to pulmonary tuberculosis incidence. *Scientific Reports*, 15(1), 25594. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11465-1>
- Zhang, R., Li, Y., Bi, P., Wu, S., Peng, Z., Meng, Y., Wang, Y., Wang, S., Huang, Y., Liang, J., & Wu, J. (2023). Seasonal associations between air pollutants and influenza in 10 cities of southern China. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 252, 114200. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114200>
- Zhang, R., Meng, Y., Song, H., Niu, R., Wang, Y., Li, Y., & Wang, S. (2021). The modification effect of temperature on the relationship between air pollutants and daily incidence of influenza in Ningbo, China. *Respiratory Research*, 22(1), 153. <https://doi.org/10.1186/s12931-021-01744-6>
- Zhou, J., Lei, R., Xu, J., Peng, L., Ye, X., Yang, D., Yang, S., Yin, Y., & Zhang, R. (2022). The Effects of Short-Term PM2.5 Exposure on Pulmonary Function among Children with Asthma—A Panel Study in Shanghai, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11385. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811385>