

PM2.5 Exposure nd The Risk Of Respiratory Diseases In The Population: A Systematic Literature Review

Paparan PM2.5 dan Risiko Penyakit Pernapasan Pada Masyarakat: Systematic Literature Review

Elsa Yoreina Purba¹, Sufia Idya²

¹⁾ Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, elsayoreinapurba31@gmail.com

²⁾ Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, sufiaidya@uinsu.ac.id

ABSTRACT

Background: Air pollution is an important environmental problem affecting public health, particularly through exposure to particulate matter with an aerodynamic diameter of $\leq 2.5 \mu\text{m}$ (PM2.5). Its small particle size allows PM2.5 to penetrate deep into lung tissues and contribute to various respiratory disorders.

Objective: This study aims to analyze the relationship between PM2.5 exposure and the risk of respiratory diseases and to identify factors influencing its health effects.

Methods: A Systematic Literature Review (SLR) was conducted using 20 scientific articles published between 2017 and 2026. Articles were obtained from several scientific databases based on inclusion criteria covering studies of human exposure to PM2.5 and its effects on the respiratory system. The findings were analyzed using narrative synthesis according to exposure characteristics, respiratory disease outcomes, and associated risk factors.

Results: The review showed that PM2.5 exposure was associated with increased risks of acute respiratory infections (ARI), asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), pneumonia, and decreased lung function. These effects were related to oxidative stress, inflammation, pulmonary epithelial cell damage, and impaired immune responses. Health risks were also influenced by PM2.5 concentration, exposure duration, pollution sources, environmental conditions, age, and individual health status. Children, older adults, and individuals with pre-existing respiratory diseases were identified as particularly vulnerable groups.

Conclusion: PM2.5 exposure is associated with increased respiratory disease risk and impaired lung function, particularly through oxidative stress and inflammatory mechanisms. Preventive measures should therefore prioritize vulnerable populations.

Keywords: PM2.5, Air Pollution, Respiratory Diseases, Public Health, Systematic Literature Review.

ABSTRAK

Latar Belakang: Pencemaran udara merupakan masalah lingkungan yang berdampak terhadap kesehatan masyarakat, terutama akibat paparan Particulate Matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM2.5). Ukurannya yang sangat kecil memungkinkan PM2.5 masuk hingga jaringan paru dan memicu berbagai gangguan pernapasan.

Tujuan: Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan paparan PM2.5 dengan risiko penyakit pernapasan serta mengidentifikasi faktor yang memengaruhi dampak kesehatannya.

Metode: Penelitian menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) terhadap 20 artikel ilmiah yang dipublikasikan pada periode 2017–2026. Artikel diperoleh dari beberapa database ilmiah berdasarkan kriteria inklusi penelitian yang membahas paparan PM2.5 pada manusia dan dampaknya terhadap sistem pernapasan. Data dianalisis menggunakan sintesis naratif berdasarkan karakteristik paparan, jenis penyakit, dan faktor risiko.

Hasil: Kajian menunjukkan bahwa paparan PM2.5 berhubungan dengan peningkatan risiko infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asma, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), pneumonia, dan penurunan fungsi paru. Dampak tersebut berkaitan dengan stres oksidatif, inflamasi, kerusakan sel epitel paru, serta gangguan respons imun. Risiko kesehatan juga dipengaruhi oleh konsentrasi dan durasi paparan, sumber pencemar, kondisi lingkungan, usia, dan kondisi kesehatan individu. Anak-anak, lansia, dan individu dengan riwayat penyakit pernapasan merupakan kelompok yang lebih rentan.

Kesimpulan: Paparan PM2.5 berhubungan dengan peningkatan risiko penyakit pernapasan dan gangguan fungsi paru, terutama melalui mekanisme stres oksidatif dan inflamasi. Upaya pencegahan perlu memberikan perhatian khusus kepada kelompok rentan.

Kata kunci: PM2.5, pencemaran udara, penyakit pernapasan, kesehatan masyarakat, systematic literature review.

* Korespondensi : Elsa Yoreina Purba, UIN Sumatera Utara, elsayoreinapurba31@gmail.com

Diterima:	Direvisi:	Diterbitkan:
6-08-2026	14-08-2026	16-08-2026
Copyright © 2026 Author(s), All rights reserved		DOI: https://doi.org/10.63935/diagnosa.xxxx.xxx

I. PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang berdampak terhadap kesehatan masyarakat. Pertumbuhan aktivitas transportasi, industri, pembakaran bahan bakar fosil, dan pembakaran terbuka berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi polutan di udara, termasuk particulate matter berukuran $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM2.5) (1). Ukurannya yang sangat kecil memungkinkan PM2.5 bertahan di atmosfer dan terhirup hingga mencapai bagian terdalam paru-paru. Setelah masuk ke sistem pernapasan, PM2.5 dapat memicu berbagai respons biologis, seperti stres oksidatif, inflamasi, dan kerusakan sel epitel paru yang berpotensi mengganggu fungsi pernapasan (2).

World Health Organization menempatkan pencemaran udara sebagai salah satu risiko lingkungan utama bagi kesehatan. WHO memperkirakan bahwa sekitar 7 juta kematian dini setiap tahun berkaitan dengan kombinasi paparan pencemaran udara ambien dan pencemaran udara rumah tangga. Dengan demikian, angka tersebut tidak dapat diartikan sebagai jumlah kematian yang semata-mata disebabkan oleh paparan PM2.5. Dalam pedoman kualitas udara WHO, nilai pedoman rata-rata tahunan PM2.5 ditetapkan sebesar $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai tersebut merupakan nilai pedoman kualitas udara, bukan batas aman absolut, karena risiko kesehatan akibat PM2.5 dapat tetap ditemukan pada berbagai tingkat paparan. Oleh karena itu, konsentrasi PM2.5 yang berada di atas $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lebih tepat dinyatakan sebagai konsentrasi yang melebihi nilai pedoman tahunan WHO.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa paparan PM2.5 berkaitan dengan gangguan pada sistem pernapasan, baik akibat paparan jangka pendek maupun jangka panjang. Gangguan yang dilaporkan meliputi infeksi saluran pernapasan, asma, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), pneumonia, serta penurunan fungsi paru. Liu et al. (2017) menemukan adanya hubungan antara paparan PM2.5 dan peningkatan risiko penyakit saluran pernapasan, terutama pada anak-anak (3). Lin et al. (2024) juga melaporkan bahwa peningkatan PM2.5 dan komponennya berkaitan dengan peningkatan kunjungan gawat darurat dan rawat inap akibat asma dan PPOK (4). Sementara itu, Croft et al. (2019) menunjukkan adanya hubungan antara peningkatan konsentrasi PM2.5 dan kunjungan rumah sakit akibat influenza dan pneumonia (5).

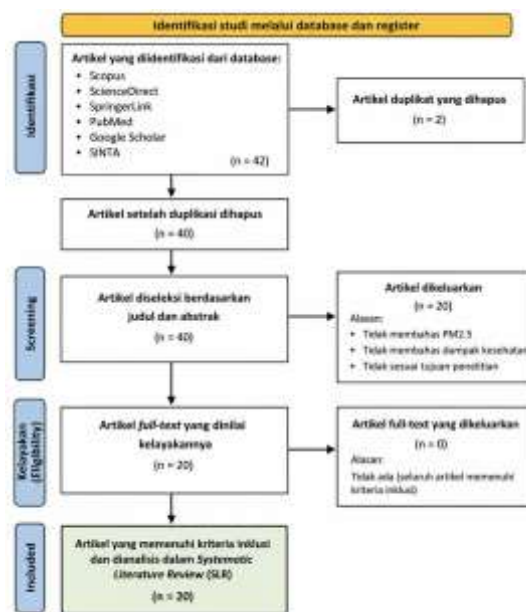
Besarnya dampak kesehatan akibat PM2.5 dapat berbeda pada setiap individu dan lingkungan. Faktor seperti usia, kondisi kesehatan sebelumnya, durasi paparan, aktivitas sehari-hari, dan kedekatan dengan sumber pencemar dapat memengaruhi tingkat risiko. Anak-anak, lansia, dan individu dengan penyakit pernapasan sebelumnya merupakan kelompok yang lebih rentan terhadap perubahan kualitas udara. Di Indonesia, sumber PM2.5 antara lain berasal dari aktivitas kendaraan bermotor, industri, dan pembakaran, terutama di kawasan perkotaan dengan aktivitas manusia yang tinggi (6). Wellid et al. (2024) juga menunjukkan bahwa konsentrasi PM2.5 pada beberapa lokasi penelitian telah melebihi nilai pedoman kualitas udara WHO, meskipun hubungan dengan kejadian ISPA turut dipengaruhi oleh faktor lain seperti perilaku masyarakat dan akses terhadap pelayanan kesehatan (7).

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji hubungan paparan PM2.5 dengan gangguan kesehatan pernapasan, hasil yang diperoleh menunjukkan variasi berdasarkan desain penelitian, karakteristik populasi, lokasi, durasi paparan, metode pengukuran, dan jenis outcome kesehatan yang diamati. Sebagian penelitian juga berfokus pada kelompok atau wilayah tertentu sehingga gambaran mengenai dampak PM2.5 pada masyarakat masih perlu disintesis secara lebih menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan systematic literature review untuk menganalisis hubungan paparan PM2.5 dengan risiko penyakit pernapasan pada masyarakat serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi dampaknya.

II.METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan pendekatan deskriptif kualitatif dan sintesis naratif (*narrative synthesis*). SLR digunakan untuk mengidentifikasi, menyeleksi, menilai, dan mensintesis bukti ilmiah mengenai hubungan paparan Particulate Matter (PM_{2.5}) dengan risiko penyakit dan gangguan kesehatan pernapasan pada masyarakat. Pendekatan deskriptif kualitatif digunakan karena penelitian ini tidak mengumpulkan data primer dan tidak melakukan analisis statistik terhadap data responden, tetapi menginterpretasikan serta membandingkan temuan dari penelitian yang telah dipublikasikan (8).

Pelaksanaan SLR dilaporkan berdasarkan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. PRISMA digunakan untuk meningkatkan transparansi pelaporan proses identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan pemilihan artikel yang dimasukkan dalam kajian. Proses seleksi artikel ditampilkan dalam diagram alur PRISMA yang mencakup tahap identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan (*eligibility*), dan artikel yang termasuk dalam kajian (*included*) (9).



Gambar Diagram Alur Seleksi Artikel Berdasarkan Pedoman Prisma

Pencarian literatur dilakukan melalui enam basis data, yaitu Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, PubMed, Google Scholar, dan SINTA. Artikel yang dipertimbangkan adalah publikasi pada periode 2017–2026. Strategi pencarian disusun berdasarkan dua kelompok konsep utama, yaitu paparan PM_{2.5} dan outcome kesehatan pernapasan. Kata kunci yang digunakan meliputi “PM_{2.5}”, “PM_{2.5}”, “fine particulate matter”, “PM_{2.5} exposure”, “respiratory disease”, “respiratory health”, “respiratory infection”, “asthma”, “COPD”, “pneumonia”, dan “lung function”. Kata kunci dikombinasikan menggunakan operator Boolean AND dan OR untuk memperoleh artikel yang relevan dengan fokus kajian.

Pencarian dilakukan pada 1 Agustus 2026 dan seluruh hasil pencarian dari masing-masing basis data dicatat untuk mendokumentasikan jumlah artikel yang diperoleh. Artikel yang ditemukan dari beberapa basis data kemudian diperiksa dan duplikat dihapus sebelum proses penyaringan.

Proses seleksi artikel dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Pencarian artikel dilakukan melalui enam basis data, yaitu Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, PubMed, Google Scholar, dan SINTA. Berdasarkan hasil pencarian awal, diperoleh sebanyak 42 artikel yang berkaitan dengan paparan PM2.5 dan dampaknya terhadap kesehatan.

Pada tahap awal seleksi, dilakukan pemeriksaan terhadap artikel yang memiliki kesamaan atau duplikasi. Sebanyak 2 artikel dieliminasi karena merupakan artikel duplikat, sehingga diperoleh 40 artikel yang masuk ke tahap screening. Selanjutnya, dilakukan penyaringan berdasarkan judul dan abstrak untuk menilai kesesuaian dengan fokus penelitian. Pada tahap ini, sebanyak 20 artikel dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria penelitian, seperti hanya membahas pencemaran udara secara umum, tidak menjadikan PM2.5 sebagai paparan utama, tidak membahas dampak kesehatan manusia, atau tidak sesuai dengan tujuan kajian.

Sebanyak 20 artikel yang lolos tahap screening kemudian dilakukan penilaian teks lengkap (full-text assessment) pada tahap kelayakan (eligibility). Berdasarkan hasil pemeriksaan, seluruh artikel tersebut memenuhi kriteria inklusi sehingga tidak terdapat artikel yang dieliminasi pada tahap ini. Selanjutnya, sebanyak 20 artikel digunakan sebagai sumber utama dalam proses sintesis Systematic Literature Review (SLR). Rangkaian proses seleksi artikel disajikan dalam diagram alur PRISMA.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Artikel

No	Penulis	Metode	Fokus penelitian	Hasil Utama
1	(1)	Systematic review	Dampak toksik PM2.5 terhadap kesehatan manusia	Paparan PM2.5 meningkatkan risiko gangguan pernapasan melalui mekanisme stres oksidatif, inflamasi, dan kerusakan sel.
2	(10)	Meta-analysis	Hubungan paparan PM2.5 jangka panjang dengan mortalitas	Paparan PM2.5 dalam jangka panjang berhubungan dengan peningkatan risiko kematian akibat berbagai penyakit.
3	(11)	Systemtic review	Dampak kesehatan akibat paparan PM2.5	Paparan PM2.5 jangka panjang berhubungan dengan peningkatan risiko penyakit kronis, termasuk PPOK dan gangguan sistem pernapasan. Risiko semakin meningkat pada masyarakat yang tinggal di wilayah dengan tingkat polusi tinggi.
4	(12)	Literature review	Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat	Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat Pencemaran udara akibat berbagai sumber seperti kendaraan bermotor dan aktivitas industri berkontribusi

				terhadap gangguan kesehatan, terutama gangguan pernapasan akibat paparan partikel pencemar.
5	(6)	Literature review	Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat	Pencemaran udara yang berasal dari kendaraan, industri, dan pembakaran sampah meningkatkan risiko penyakit pernapasan seperti ISPA, asma, dan PPOK pada masyarakat.
6	(13)	Health Risk Assessment	Risiko kesehatan akibat paparan PM2.5	Konsentrasi PM2.5 yang tinggi berhubungan dengan keluhan kesehatan seperti batuk, sesak napas, iritasi mata, dan menunjukkan adanya risiko kesehatan akibat paparan polutan.
7	(14)	Analisis bibliometrik	Perkembangan teknologi pemantauan PM2.5 menggunakan LCS dan IoT	Penelitian mengenai pemantauan PM2.5 mengalami peningkatan, terutama dalam pengembangan teknologi pemantauan kualitas udara secara real-time yang dapat mendukung pencegahan risiko kesehatan akibat polusi udara.
8	(15)	Analisis bibliometrik	Perkembangan penelitian PM2.5 dan dampaknya terhadap kesehatan	Penelitian terkait PM2.5 mengalami peningkatan setiap tahun dengan fokus utama pada dampaknya terhadap penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan kesehatan masyarakat.
9	(2)	Literature review	Mekanisme biologis PM2.5 terhadap kesehatan manusia	PM2.5 dapat masuk ke saluran pernapasan bagian dalam dan memicu stres oksidatif, inflamasi, kerusakan DNA, serta meningkatkan risiko gangguan pernapasan kronis.
10	(16)	Systematic review dan meta-analysis	Hubungan paparan PM2.5 dengan risiko stroke hemoragik	Paparan PM2.5 menunjukkan hubungan signifikan terhadap peningkatan risiko kejadian dan kematian akibat stroke hemoragik. Hasil ini menunjukkan bahwa paparan partikel halus dapat memberikan dampak sistemik terhadap kesehatan manusia.

11	(3)	Meta-analisis studi kohort	Hubungan paparan PM2.5 dengan risiko penyakit saluran pernapasan, terutama pada anak-anak	Paparan PM2.5 berhubungan signifikan dengan peningkatan risiko penyakit saluran pernapasan. Dampak terbesar ditemukan pada anak-anak berupa batuk, mengi (wheezing), dan infeksi saluran napas bawah.
12	(4)	Studi observasional analisis hubungan paparan PM2.5 dengan data kesehatan	Pengaruh paparan PM2.5 jangka pendek terhadap kejadian asma dan PPOK	Peningkatan PM2.5 dan komponennya (POC serta SOC) meningkatkan risiko kunjungan gawat darurat dan rawat inap akibat asma serta PPOK, terutama pada anak-anak dan lansia.
13	(17)	Literature review	Mekanisme biologis PM2.5 terhadap kesehatan manusia, khususnya sistem pernapasan	PM2.5 dapat menyebabkan stres oksidatif, inflamasi, apoptosis, dan gangguan fungsi sel. Pada paru-paru, PM2.5 menyebabkan kerusakan epitel serta inflamasi kronis yang meningkatkan risiko penyakit respirasi.
14	(5)	Studi epidemiologi berbasis data rumah sakit	Hubungan paparan PM2.5 dengan kejadian influenza dan pneumonia	Peningkatan konsentrasi PM2.5 dalam beberapa hari sebelum kejadian berhubungan dengan meningkatnya kunjungan rumah sakit akibat influenza dan pneumonia pada orang dewasa.
15	(7)	Studi observasional pengukuran kualitas udara	Hubungan konsentrasi PM2.5 dengan kualitas udara dan kejadian ISPA di masyarakat	Konsentrasi PM2.5 di beberapa lokasi penelitian melebihi standar WHO. Hubungan langsung dengan kasus ISPA belum terlihat jelas karena dipengaruhi faktor lain seperti akses layanan kesehatan dan perilaku masyarakat.
16	(18)	Studi pemantauan kualitas udara	Evaluasi kadar PM2.5 pada kawasan industri dan potensi risiko kesehatan masyarakat sekitar	Kadar PM2.5 masih berada di bawah ambang WHO, tetapi pemantauan kualitas udara tetap diperlukan untuk mencegah peningkatan risiko gangguan pernapasan akibat aktivitas industri.

17	(19)	Studi time series	Hubungan peningkatan konsentrasi PM2.5 dengan kejadian PPOK	Peningkatan kadar PM2.5 memiliki hubungan kuat dengan peningkatan kasus rawat jalan PPOK. Kualitas udara menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap penyakit paru kronis.
18	(20)	Literature review	Dampak paparan PM2.5 terhadap penyakit pernapasan seperti	Paparan PM2.5 secara konsisten meningkatkan risiko PPOK, asma, ISPA, serta penurunan fungsi paru. Selain itu, PM2.5 juga berdampak pada kesehatan kardiovaskular dan kelompok rentan.
19	(21)	Studi observasional	Hubungan Paparan Polusi Udara PM 2.5 Dengan Risiko Gangguan Kesehatan Masyarakat Di Wilayah Perkotaan	Paparan PM2.5 tinggi berhubungan dengan gangguan pernapasan dan penyakit kardiovaskular. Individu dengan paparan tinggi memiliki risiko gangguan kesehatan lebih besar dibandingkan kelompok dengan paparan rendah.
20	(22)	Studi intervensi edukasi kesehatan	Edukasi Mengurangi Paparan Debu Pm2,5 Dengan penggunaan Alat Pelindung Diri Bagi Pedagang Kaki Lima Dan Warga Di Wilayah Jalan Rappocini Raya Kota Makassar	Edukasi mengenai bahaya PM2.5 meningkatkan pengetahuan masyarakat dan penggunaan masker sebagai upaya perlindungan. Pencegahan melalui edukasi dan APD dapat mengurangi risiko kesehatan akibat paparan PM2.5.

Hubungan Paparan PM2.5 dengan Penyakit Pernapasan

Hasil sintesis terhadap artikel yang dianalisis menunjukkan bahwa paparan PM2.5 secara umum berkaitan dengan peningkatan risiko berbagai gangguan kesehatan pernapasan. Outcome yang ditemukan meliputi infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asma, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), influenza, pneumonia, dan penurunan fungsi paru. Meskipun demikian, hubungan yang ditemukan tidak sepenuhnya seragam karena setiap penelitian memiliki perbedaan dalam desain, karakteristik populasi, lokasi penelitian, metode pengukuran paparan, durasi paparan, dan faktor lain yang dapat memengaruhi outcome kesehatan.

Pada gangguan saluran pernapasan akut, hasil penelitian menunjukkan adanya kecenderungan hubungan antara peningkatan paparan PM2.5 dan gangguan pernapasan, meskipun bukti yang diperoleh tidak selalu konsisten. Wellid et al. (2024) menemukan bahwa konsentrasi PM2.5 pada beberapa lokasi penelitian melebihi nilai pedoman kualitas udara WHO, tetapi hubungan langsung antara PM2.5 dan kejadian ISPA belum terlihat secara jelas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kejadian ISPA tidak hanya dipengaruhi oleh konsentrasi PM2.5, tetapi juga dapat berkaitan dengan faktor lain, seperti perilaku masyarakat dan akses terhadap pelayanan kesehatan. Temuan tersebut menegaskan pentingnya

mempertimbangkan berbagai faktor ketika menginterpretasikan hubungan antara PM2.5 dan gangguan pernapasan.

Hubungan yang lebih konsisten ditemukan pada asma dan PPOK. Lin et al. (2024) melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi PM2.5 beserta komponennya, termasuk primary organic carbon (POC) dan secondary organic carbon (SOC), berkaitan dengan peningkatan kunjungan gawat darurat dan rawat inap akibat asma dan PPOK. Dampak tersebut terutama ditemukan pada kelompok anak-anak dan lansia. Pada konteks Indonesia, Wulan et al. (2023) juga menunjukkan adanya hubungan antara peningkatan konsentrasi PM2.5 dan peningkatan jumlah kasus rawat jalan PPOK di Kota Bengkulu. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan paparan PM2.5 dapat berkaitan dengan bertambahnya kebutuhan pelayanan kesehatan akibat gangguan pernapasan kronis.

Paparan PM2.5 juga ditemukan berkaitan dengan influenza dan pneumonia. Croft et al. (2019) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PM2.5 dalam beberapa hari sebelum kejadian berkaitan dengan meningkatnya kunjungan rumah sakit akibat influenza dan pneumonia pada orang dewasa. Sementara itu, meta-analisis Liu et al. (2017) menemukan bahwa paparan PM2.5 berhubungan dengan peningkatan risiko penyakit saluran pernapasan, khususnya pada anak-anak, dengan manifestasi berupa batuk, mengi (*wheezing*), dan infeksi saluran pernapasan bawah. Temuan tersebut menunjukkan bahwa dampak PM2.5 terhadap kesehatan pernapasan dapat muncul baik pada paparan jangka pendek maupun paparan dalam periode yang lebih panjang.

Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan kecenderungan hubungan positif antara peningkatan paparan PM2.5 dan berbagai gangguan kesehatan pernapasan, terutama asma, PPOK, pneumonia, influenza, serta gangguan saluran pernapasan lainnya. Namun, perbedaan temuan antarpelitian menunjukkan bahwa PM2.5 tidak dapat dipandang sebagai satu-satunya faktor yang menentukan terjadinya penyakit pernapasan. Interpretasi hubungan tersebut perlu mempertimbangkan karakteristik individu, lingkungan, durasi paparan, sumber pencemar, dan metode pengukuran yang digunakan dalam masing-masing penelitian.

Mekanisme Biologis Paparan PM2.5 terhadap Penyakit Pernapasan

Hubungan antara paparan PM2.5 dan gangguan pernapasan dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme biologis. Ukuran aerodinamis PM2.5 yang sangat kecil memungkinkan partikel masuk hingga bagian dalam sistem pernapasan dan mencapai alveolus. Setelah terdeposit di jaringan paru, berbagai komponen yang terkandung dalam PM2.5 dapat memicu respons biologis yang meliputi stres oksidatif, inflamasi, kerusakan sel epitel, serta perubahan respons imun. Garcia et al. (2023), Sangkham et al. (2024), dan Zhang et al. (2026) menunjukkan bahwa mekanisme tersebut berperan dalam berbagai dampak kesehatan yang berkaitan dengan paparan partikel halus.

Stres oksidatif merupakan salah satu mekanisme utama yang ditemukan dalam artikel yang dikaji. Sangkham et al. (2024) menjelaskan bahwa komponen PM2.5, termasuk logam berat dan senyawa organik, dapat meningkatkan pembentukan radikal bebas. Ketika produksi radikal bebas melebihi kemampuan sistem antioksidan tubuh, terjadi ketidakseimbangan yang dapat menimbulkan kerusakan seluler. Pada jaringan paru, kondisi tersebut dapat menyebabkan kerusakan sel epitel dan mengganggu fungsi pertahanan saluran pernapasan. Garcia et al. (2023) juga menunjukkan bahwa stres oksidatif akibat paparan PM2.5 berkaitan dengan perubahan fungsi sel dan peningkatan risiko gangguan kesehatan.

Selain stres oksidatif, PM2.5 dapat memicu respons inflamasi pada jaringan pernapasan. Zhang et al. (2026) menjelaskan bahwa paparan PM2.5 dapat mengaktifkan berbagai jalur inflamasi dan meningkatkan pelepasan mediator yang menyebabkan peradangan pada jaringan paru. Apabila paparan berlangsung secara berulang atau dalam jangka panjang, proses inflamasi dapat menjadi persisten dan berkontribusi terhadap gangguan fungsi paru serta perkembangan atau perburukan penyakit pernapasan kronis seperti asma dan PPOK.

Kerusakan pada lapisan epitel saluran pernapasan juga dapat menurunkan kemampuan tubuh dalam mempertahankan diri terhadap bahan asing dan mikroorganisme. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan kerentanan terhadap infeksi saluran pernapasan. Temuan Croft et al. (2019) yang menunjukkan adanya hubungan antara peningkatan konsentrasi PM2.5 dengan kunjungan rumah sakit akibat influenza dan pneumonia mendukung kemungkinan keterlibatan gangguan pertahanan saluran pernapasan dalam dampak kesehatan akibat paparan PM2.5.

Dengan demikian, mekanisme biologis dampak PM2.5 terhadap kesehatan pernapasan dapat dipahami melalui masuknya partikel ke bagian dalam paru, pembentukan radikal bebas, stres oksidatif, aktivasi inflamasi, dan kerusakan jaringan pernapasan. Mekanisme tersebut dapat saling berkaitan dan berkontribusi terhadap munculnya maupun memburuknya gangguan pernapasan, terutama pada individu yang mengalami paparan berulang dan memiliki kerentanan tertentu.

Faktor yang Memengaruhi Risiko Paparan PM2.5 terhadap Kesehatan Pernapasan

Hasil sintesis menunjukkan bahwa dampak kesehatan akibat PM2.5 tidak hanya dipengaruhi oleh konsentrasi partikel di udara, tetapi juga oleh durasi paparan, sumber pencemar, kondisi lingkungan, karakteristik individu, dan kondisi kesehatan sebelumnya. Perbedaan faktor tersebut menyebabkan tingkat kerentanan terhadap paparan PM2.5 dapat berbeda pada setiap kelompok masyarakat.

Usia merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kerentanan terhadap paparan PM2.5. Liu et al. (2017) menunjukkan bahwa anak-anak merupakan kelompok yang lebih rentan terhadap gangguan saluran pernapasan akibat paparan PM2.5, dengan outcome seperti batuk, mengi, dan infeksi saluran pernapasan bawah. Kerentanan tersebut berkaitan dengan sistem pernapasan yang masih dalam tahap perkembangan. Lansia juga menjadi kelompok yang perlu mendapatkan perhatian. Lin et al. (2024) menunjukkan bahwa peningkatan paparan PM2.5 berkaitan dengan peningkatan pelayanan kesehatan akibat asma dan PPOK, terutama pada kelompok usia yang lebih rentan, termasuk anak-anak dan lansia.

Kondisi kesehatan sebelumnya juga memengaruhi dampak paparan PM2.5. Individu yang telah memiliki asma, PPOK, atau gangguan fungsi paru berpotensi mengalami perburukan kondisi ketika terpapar konsentrasi PM2.5 yang lebih tinggi. Wulan et al. (2023) menemukan hubungan antara peningkatan PM2.5 dan peningkatan kasus rawat jalan PPOK, sedangkan Lin et al. (2024) menemukan peningkatan kunjungan gawat darurat dan rawat inap akibat asma dan PPOK. Hasil tersebut menunjukkan bahwa paparan PM2.5 tidak hanya berkaitan dengan risiko gangguan pernapasan baru, tetapi juga dapat berhubungan dengan eksaserbasi atau peningkatan kebutuhan pelayanan kesehatan pada individu yang sebelumnya telah memiliki penyakit respirasi.

Selain karakteristik individu, sumber pencemar dan lingkungan tempat tinggal memengaruhi tingkat paparan yang diterima masyarakat. Candrasari et al. (2023) menjelaskan bahwa aktivitas kendaraan bermotor, industri, dan pembakaran merupakan sumber pencemaran udara yang dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan masyarakat. Masyarakat yang tinggal atau beraktivitas di kawasan dengan lalu lintas padat, aktivitas industri, maupun sumber pembakaran berpotensi mengalami paparan PM2.5 yang lebih besar dibandingkan masyarakat yang tinggal di lingkungan dengan kualitas udara yang lebih baik. Pakpahan dan Halimatussadiyah (2025) juga menunjukkan bahwa kelompok dengan tingkat paparan PM2.5 yang lebih tinggi memiliki risiko gangguan kesehatan lebih besar dibandingkan kelompok dengan tingkat paparan yang lebih rendah.

Upaya perlindungan dan perilaku masyarakat juga menjadi faktor yang perlu diperhatikan. Rafidah et al. (2023) menunjukkan bahwa edukasi mengenai bahaya PM2.5 dapat meningkatkan pengetahuan masyarakat dan mendorong penggunaan alat pelindung diri seperti masker. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pengetahuan dan tindakan pencegahan dapat menjadi bagian dari upaya mengurangi paparan, meskipun perlindungan individu tetap perlu didukung oleh upaya pengendalian sumber pencemar dan peningkatan kualitas lingkungan.

Berdasarkan hasil tersebut, kerentanan terhadap dampak PM2.5 merupakan hasil interaksi antara tingkat dan durasi paparan, sumber pencemar, kondisi lingkungan, usia, kondisi kesehatan individu, dan perilaku pencegahan. Anak-anak, lansia, serta individu dengan penyakit pernapasan sebelumnya merupakan kelompok yang perlu mendapatkan perhatian lebih besar dalam upaya pencegahan dampak pencemaran udara.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil systematic literature review terhadap 20 artikel, paparan PM2.5 secara umum berkaitan dengan peningkatan risiko berbagai gangguan kesehatan pernapasan, meliputi ISPA, asma, PPOK, influenza, pneumonia, dan penurunan fungsi paru. Meskipun arah hubungan pada sebagian besar penelitian menunjukkan kecenderungan peningkatan risiko seiring meningkatnya paparan PM2.5, hasil antarpelitian tidak sepenuhnya konsisten karena adanya perbedaan desain penelitian, karakteristik populasi, durasi dan metode pengukuran paparan, kondisi lingkungan, serta faktor individu. Secara biologis, dampak PM2.5 terhadap sistem pernapasan berkaitan dengan stres oksidatif, inflamasi, kerusakan epitel, dan perubahan respons imun. Risiko tersebut juga dipengaruhi oleh usia, kondisi kesehatan sebelumnya, sumber pencemar, lingkungan tempat tinggal, dan durasi paparan, dengan anak-anak, lansia, serta individu yang memiliki penyakit pernapasan sebelumnya sebagai kelompok yang lebih rentan.

Dengan demikian, hasil kajian mendukung adanya hubungan antara paparan PM2.5 dan gangguan kesehatan pernapasan, tetapi tidak digunakan untuk menentukan besarnya kekuatan hubungan secara kuantitatif karena penelitian ini menggunakan sintesis naratif dan tidak melakukan meta-analisis. Upaya mengurangi dampak PM2.5 perlu diarahkan pada pengendalian emisi dari sumber pencemar, pemantauan kualitas udara, peningkatan edukasi dan tindakan perlindungan masyarakat, serta perhatian khusus terhadap kelompok rentan.

REFERENSI

1. Garcia A, Santa E, Falco A De, Paula J De, Gioda A, Rosa C. Toxicological Effects of Fine Particulate Matter - Health Risks and Associated Systemic Injuries — Systematic Review. *Water, Air, Soil Pollut.* 2023;1–23.
2. Sangkham S, Phairuang W, Sherchan SP, Pansakun N, Munkong N, Sarndhong K, et al. An update on adverse health effects from exposure to PM 2.5. *Environ Adv.* 2024;18(September):1–15.
3. Liu Q, Xu C, Ji G, Liu H, Shao W, Zhang C, et al. Effect of exposure to ambient PM 2.5 pollution on the risk of respiratory tract diseases : a meta-analysis of cohort studies. *J Biomed Res.* 2017;31(2):130–42.
4. Lin S, Xue Y, Thandra S, Qi Q, Hopke PK, Thurston W, et al. PM 2.5 and its components and respiratory disease healthcare encounters – Unanticipated increased exposure-response relationships in recent years after environmental policies. *Environ Pollut.* 2024;360(June):124585.
5. Croft DP, Zhang W, Lin S, Thurston SW, Hopke PK, Masiol M, et al. The Association between Respiratory Infection and Air Pollution in the Setting of Air Quality Policy and Economic Change. 2019;16(3):321–30.
6. Candrasari S, Clarissa EC, Kusumawardani F, Henrietta GC. Pemulihan Dampak Pencemaran Udara Bagi Kesehatan Masyarakat Indonesia. *J Prof.* 2023;10(2):849–54.
7. Wellid I, Simbolon LM, Falahuddin MA, Nurfitriani N, Firdaus M, Yuningsih N, et al. Evaluasi Polusi Udara PM2.5 dan PM10 di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut. *JKLI.* 2024;23(2):128–36.
8. Ringo SS. SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW DENGAN METODE PRISMA : PEMBELAJARAN BERDIFERENSIASI PADA Sariaman Siringo Ringo Abstrak A . Pendahuluan Setiap siswa memiliki karakteristik yang unik , yang tercermin dalam cara mereka belajar dan berinteraksi di dalam kelas (. *J Didakt Pendidik Dasar.* 2025;9(1):209–26.
9. Muhammad D, Martadireja O, Susaningsih C. Tinjauan literatur sistematis: analisis aplikasi keimigrasian dengan metode prisma (2020-2026) systematic literature review: analysis of immigration applications using the prisma method (2020-2026). *Tematics.* 2026;8(1):211–29.
10. Vodonos A, Awad YA, Schwartz J. The concentration-response between long-term PM 2.5 exposure

- and mortality ; A meta-regression approach. *Environ Res.* 2018;166:677–89.
11. Yang Z, Mahendran R, Yu P, Xu R, Yu W, Godellawattage S. Health Effects of Long - Term Exposure to Ambient - PM 2 . 5 in Asia - Pacific : a Systematic Review of Cohort Studies. *Curr Environ Heal Reports.* 2022;9:130–51.
 12. Ertiana E Della. DAMPAK PENCEMARAN UDARA TERHADAP KESEHATAN MASYARAKAT: LITERATUR REVIEW. *J Ilm Permas J Ilm STIKES Kendal.* 2022;12(2):287–96.
 13. Umar A, Lailil A, Rosinta A, Tri A. Environmental health risks and impacts of PM 2 . 5 exposure on human health in residential areas , Bantul , Yogyakarta , Indonesia. *Toxicol Reports.* 2025;14(February):1–10.
 14. Santoso DH, Santosa SJ, Sekaranom AB. Bibliometric Analysis of Research Trends on Utilisation of Low-Cost Sensor (LCS) and Internet of Things (IoT) for PM2 . 5 Air Pollution Monitoring. *JMEL.* 2024;8(2):35–45.
 15. Lee J eun, Lim HJ, Kim Y youl. Publication trends in research on particulate matter and health impact over a 10-year period : 2009 – 2018. *Environ Anal Heal Toxicol.* 2021;36(1):1–13.
 16. Zhao K, Li J, Du C, Zhang Q, Guo Y, Yang M. Ambient fine particulate matter of diameter $\leq 2 . 5 \mu \text{m}$ and risk of hemorrhagic stroke : a systemic review and meta-analysis of cohort studies. *Springer.* 2021;28:20970–80.
 17. Zhang R, Zhang Z, Zhou Z, Yi F, Yang Y, Guo D, et al. Health Risk and Pathogenesis of PM 2 . 5 in Human Systems. *MDPI.* 2026;14:1–35.
 18. Leste T, Maria E, Oliveira G De, Khatimi H. Analisis Dampak Kualitas Minyak di Blok A, Suai, Covalima, Timor Leste. *Bul Profesi Ins.* 2022;5(5):22–6.
 19. Wulan S, Lidiawati L, Dirhan, Maydinar D. DAMPAK PM2,5 TERHADAP JUMLAH KASUS RAWAT JALAN PENYAKIT PARU OBSTRUKTIF KRONIS DI KOTA BENGKULU. *J Kesehat Saintika Meditory.* 2023;7(1):537–46.
 20. Kasela A, Srisantyorini T, Jaksa S. ANCAMAN POLUSI UDARA JAKARTA TERHADAP KESEHATAN MANUSIA: DAMPAK PAPARAN PM2,5, OZON, DAN NOX TERHADAP PENYAKIT PERNAPASAN, KARDIOVASKULAR, SERTA KESEHATAN IBU DAN ANAK. *J Nusantara Sos Sains.* 2026;2(2):105–14.
 21. Pakpahan ELE, Halimatussadiyah E. HUBUNGAN PAPARAN POLUSI UDARA PM2,5 DENGAN RISIKO GANGGUAN KESEHATAN MASYARAKAT DI WILAYAH PERKOTAAN. *Al-Tamimi Kesmas.* 2025;14(2):254–62.
 22. Rafidah, Rivai A, Kasim KP. EDUKASI MENGURANGI PAPARAN DEBU PM2,5 DENGAN PENGGUNAAN ALAT PELINDUNG DIRI BAGI PEDAGANG KAKI LIMA DAN WARGA DI WILAYAH JALAN RAPPOCINI RAYA KOTA MAKASSAR. *Media Implementasi Ris Kesehat.* 2023;4(1):34–8.