

Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Manusia: Analisis Literatur Review

Aditya Lukman Ansari^{1a)} dan Dian Hudawan Santoso^{1,2)}

¹⁾ Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. Padjajaran, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283

²⁾ Prodi Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Jl. Teknik Utara, Pogung Kidul, Sinduadi, Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55284

^{a)}Corresponding author: 114230118@student.upnyk.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran udara merupakan ancaman serius terhadap kesehatan manusia yang berdampak pada berbagai sistem organ dan menyebabkan penyakit kronis maupun akut. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia melalui tinjauan literatur dan analisis bibliometrik menggunakan metadata dari database Scopus dengan alat analisis Biblioshiny. Metode penelitian mencakup identifikasi tren publikasi, pemetaan jejaring kolaborasi peneliti, serta klasifikasi tema-tema utama penelitian dalam dua dekade terakhir. Hasil analisis menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini mengalami pertumbuhan pesat, dengan puncak publikasi pada tahun 2024 yang mencapai lebih dari 580 artikel. Tiga pilar utama diskursus ilmiah teridentifikasi, yaitu kualitas udara (air quality), pencemaran udara (air pollution), dan materi partikulat (particulate matter), masing-masing dengan frekuensi kemunculan di atas 1.400 kali. Dominasi institusi riset berasal dari China, dengan Peking University sebagai kontributor terbesar (230 publikasi). Analisis jaringan co-occurrence mengungkap empat kluster penelitian utama yang mencakup mekanisme paparan PM2.5 dan PM10, manajemen kualitas udara perkotaan, sistem pemantauan lingkungan, serta analisis dampak berdasarkan jenis kelamin dan kelompok usia. Studi ini memberikan dasar empiris bagi penguatan kebijakan kesehatan lingkungan yang responsif terhadap permasalahan pencemaran udara, serta mengarahkan riset lebih lanjut dalam bidang kesehatan masyarakat dan lingkungan.

Kata Kunci : Pencemaran Udara; Kesehatan Manusia; Analisis Bibliometrik; Polutan Udara

ABSTRACT

Air pollution poses a serious threat to human health, affecting various organ systems and causing chronic and acute diseases. This study aims to analyze the impact of air pollution on human health through a literature review and bibliometric analysis using metadata from the Scopus database with the Biblioshiny analysis tool. The research methods include identifying publication trends, mapping researcher collaboration networks, and classifying the main research themes in the last two decades. The results show that research in this field has grown rapidly, with publication output peaking in 2024 at more than 580 articles. Three main pillars of scientific discourse were identified: air quality, air pollution, and particulate matter, each appearing over 1,400 times across the literature. Research output is dominated by institutions from China, with Peking University as the top contributor (230 publications). Co-occurrence network analysis revealed four major research clusters covering PM2.5 and PM10 exposure mechanisms, urban air quality management, environmental monitoring systems, and health impact differentiation by gender and age group. This study provides an empirical basis for strengthening environmental health policies that are responsive to air pollution issues, as well as guiding further research in the fields of public health and the environment.

Keywords: Air Pollution; Human Health; Bibliometric Analysis; Air Pollutants

PENDAHULUAN

Pencemaran udara didefinisikan sebagai kontaminasi lingkungan atmosfer oleh substansi fisik, kimia, atau biologis yang mengubah karakteristik alami udara dan menimbulkan dampak merugikan bagi kesehatan manusia, ekosistem, serta lingkungan secara keseluruhan (WHO, 2021). Fenomena ini merupakan salah satu ancaman kesehatan lingkungan paling serius di era modern, dengan dampak yang mencakup berbagai sistem organ tubuh manusia dan berkontribusi terhadap peningkatan morbiditas dan mortalitas global (Manisalidis et al., 2020). Polutan udara yang umum ditemukan meliputi partikulat matter (PM_{2.5} dan PM₁₀), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), dan ozon troposferik (O₃), yang masing-masing memiliki mekanisme dan tingkat bahaya berbeda terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Krzyzanowski & Cohen, 2008). Mekanisme bahaya polutan udara terhadap lingkungan terjadi melalui berbagai jalur kompleks yang saling berinteraksi.

Partikulat matter, khususnya PM_{2.5}, memiliki diameter sangat kecil sehingga dapat terhirup hingga ke alveoli paru-paru dan bahkan memasuki aliran darah, menyebabkan inflamasi sistemik dan stres oksidatif yang memicu kerusakan sel dan jaringan (Brook et al., 2010). Nitrogen dioksida dan sulfur dioksida berkontribusi pada pembentukan hujan asam yang merusak ekosistem perairan, tanah, dan vegetasi, serta menyebabkan korosi pada bangunan dan infrastruktur (Likens et al., 1996). Ozon troposferik, yang terbentuk dari reaksi fotokimia antara nitrogen oksida dan *volatile organic compounds* (VOCs) di bawah sinar matahari, tidak hanya merusak jaringan paru-paru manusia tetapi juga menghambat fotosintesis pada tanaman, menurunkan produktivitas pertanian, dan merusak ekosistem hutan (Ashmore, 2005). Karbon monoksida mengikat hemoglobin dalam darah lebih kuat daripada oksigen, menyebabkan hipoksia jaringan yang dapat berakibat fatal pada konsentrasi tinggi (Raub et al., 2000). Selain itu, deposisi polutan udara ke permukaan tanah dan badan air menyebabkan eutrofikasi, acidifikasi, dan akumulasi logam berat yang mengancam biodiversitas dan keseimbangan ekosistem (Fowler et al., 2013).

Paparan dalam jangka panjang terhadap polutan udara telah terbukti meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, gangguan pernapasan kronis seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), serta berbagai jenis kanker (Schraufnagel et al., 2019). Selain dampak kronis, pencemaran udara juga menyebabkan efek akut berupa iritasi saluran pernapasan, eksaserbasi penyakit yang sudah ada, hingga peningkatan angka kunjungan ke fasilitas kesehatan dan rawat

inap (Landrigan et al., 2018). Mengingat kompleksitas dan luasnya dampak pencemaran udara terhadap kesehatan dan lingkungan, diperlukan pendekatan komprehensif untuk memahami perkembangan penelitian di bidang ini.

Analisis bibliometrik merupakan metode kuantitatif untuk menganalisis publikasi ilmiah dan pola komunikasi ilmiah melalui penggunaan teknik matematis dan statistik (Donthu et al., 2021). Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi tren penelitian, peta kolaborasi antar peneliti dan institusi, artikel yang paling berpengaruh, serta area penelitian yang sedang berkembang atau memerlukan perhatian lebih lanjut (Aria & Cuccurullo, 2017). Selain itu, analisis bibliometrik bermanfaat untuk menganalisis jumlah publikasi ilmiah pada bidang tertentu berupa topik dan kutipannya, mengidentifikasi penulis yang berkontribusi pada setiap publikasi, serta menganalisis informasi tentang kata kunci, referensi yang dikutip, tahun terbit, sumber judul, dan abstrak untuk ribuan artikel akademik yang diterbitkan di jurnal terkemuka (Rahmah, 2022). Dalam konteks penelitian pencemaran udara dan kesehatan, analisis bibliometrik dapat memberikan wawasan mendalam tentang evolusi pengetahuan ilmiah, kesenjangan penelitian yang ada, serta arah pengembangan riset di masa depan (Zhu & Hua, 2017). Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia melalui tinjauan literatur dan analisis bibliometrik menggunakan metadata dari database Scopus dengan alat analisis Biblioshiny, untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai tren penelitian, kolaborasi ilmiah, serta area-area krusial yang memerlukan perhatian lebih lanjut dalam upaya mitigasi dampak kesehatan akibat pencemaran udara.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia dari berbagai perspektif. Studi oleh Cohen et al. (2017) menunjukkan bahwa pencemaran udara merupakan faktor risiko kelima terbesar kematian global, berkontribusi terhadap 6,1 juta kematian prematur pada tahun 2016. Sementara itu, penelitian Lelieveld et al. (2015) memperkirakan bahwa polusi udara outdoor bertanggung jawab atas 3,3 juta kematian prematur per tahun secara global, dengan proyeksi peningkatan menjadi 6,6 juta pada tahun 2050 jika tidak ada intervensi kebijakan. Namun, sebagian besar studi tersebut berfokus pada analisis epidemiologis atau pemodelan dampak kesehatan, dengan minim perhatian pada pemetaan sistematis perkembangan pengetahuan ilmiah di bidang ini. Penelitian bibliometrik terkait pencemaran udara dan kesehatan masih terbatas, seperti studi oleh Zhang et al. (2020) yang

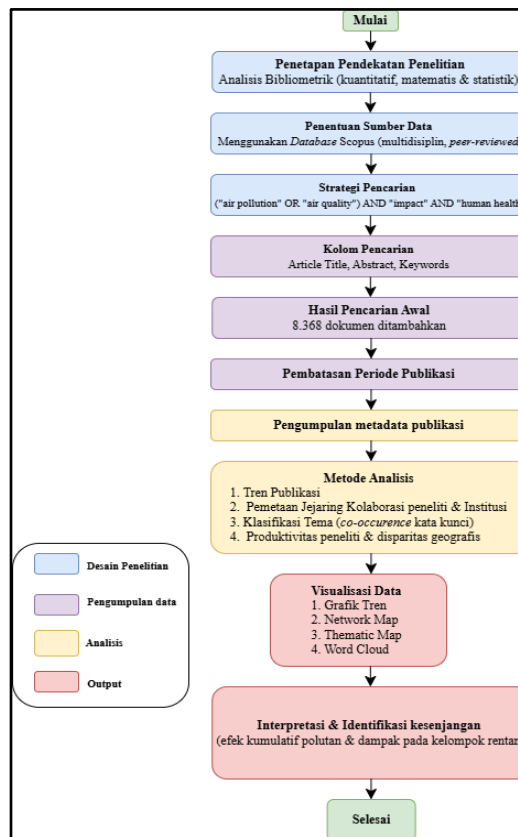
menganalisis publikasi global tentang PM_{2.5} dan kesehatan, namun belum mencakup spektrum polutan udara yang lebih luas dan analisis mendalam terhadap kesenjangan penelitian pada kelompok rentan serta efek kumulatif polutan.

Dalam lima tahun terakhir, perhatian terhadap kualitas udara semakin meningkat seiring dengan bukti ilmiah yang menguat. Gao et al. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PM_{2.5} dan NO₂ secara signifikan berkorelasi dengan peningkatan risiko mortalitas kardiopulmoner di wilayah perkotaan berpenduduk padat. Sejalan dengan itu, Khomenko et al. (2021) menegaskan bahwa perbaikan kualitas udara ambien melalui pengendalian emisi berpotensi menurunkan beban penyakit secara substansial, khususnya pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia. Namun, kedua penelitian tersebut masih berfokus pada evaluasi dampak kesehatan berbasis parameter kualitas udara tertentu. Hal ini menegaskan perlunya pendekatan bibliometrik terkini untuk memetakan perkembangan riset kualitas udara dan kesehatan secara komprehensif dalam lima tahun terakhir, termasuk identifikasi kesenjangan penelitian lintas polutan dan populasi. Variasi musiman konsentrasi PM_{2.5} telah banyak dilaporkan di wilayah beriklim tropis, di mana kondisi musim kemarau cenderung meningkatkan akumulasi polutan akibat rendahnya proses deposisi basah serta stabilitas atmosfer yang lebih tinggi (WHO, 2021). Pola serupa juga ditemukan di berbagai kota di Indonesia, yang menunjukkan bahwa curah hujan monsun berperan penting dalam menurunkan kadar PM_{2.5} di udara ambien melalui proses pencucian atmosfer (Kusumaningtyas et al., 2022 dalam).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan penelitian melalui analisis bibliometrik yang komprehensif terhadap publikasi ilmiah mengenai dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia selama dua dekade terakhir, dengan fokus pada identifikasi tren perkembangan penelitian, penulis yang paling produktif, pola pertumbuhan publikasi dari waktu ke waktu, serta distribusi geografis produksi pengetahuan. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemetaan sistematis literatur dengan cakupan polutan yang lebih luas, meliputi PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO, dan O₃, disertai analisis jejaring kolaborasi global untuk mengungkap pola kerja sama internasional antarpeneliti dan institusi. Selain itu, penelitian ini mengidentifikasi kesenjangan penelitian, khususnya terkait ketimpangan regional dalam fokus kajian serta keterbatasan penelitian mengenai efek kumulatif berbagai polutan dan dampaknya pada kelompok rentan, seperti anak-anak, lansia, dan individu dengan komorbiditas. Hasil penelitian ini diharapkan

memberikan gambaran menyeluruh mengenai arah dan distribusi perkembangan riset pencemaran udara dan kesehatan manusia, serta menjadi dasar empiris bagi perumusan kebijakan kesehatan lingkungan dan pengembangan agenda riset di masa depan yang lebih terarah, inklusif, dan berbasis bukti.

METODOLOGI



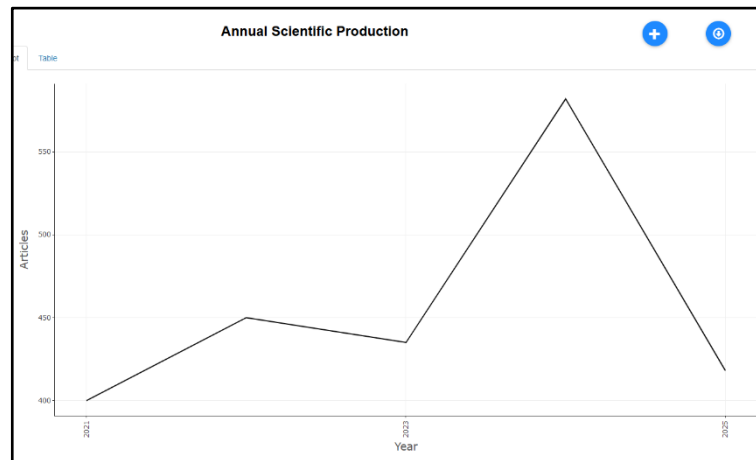
Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis bibliometrik untuk mengkaji dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia melalui tinjauan literatur sistematis. Analisis bibliometrik merupakan metode kuantitatif yang menggunakan teknik matematis dan statistik untuk menganalisis publikasi ilmiah, mengidentifikasi tren penelitian, pola kolaborasi, serta struktur intelektual suatu bidang kajian (Donthu et al., 2021; Ellegaard & Wallin, 2015). Data penelitian diperoleh dari *database* Scopus, basis data sitasi dan abstrak literatur ilmiah terbesar yang mencakup publikasi *peer-reviewed* dengan cakupan multidisiplin dan tingkat akurasi tinggi (Baas et al., 2020). Proses pencarian literatur dilakukan menggunakan strategi pencarian boolean dengan kata kunci ("air pollution" OR "air quality") AND "impact" AND "human health" pada kolom

pencarian *Article title*, *Abstract*, dan *Keywords*. Strategi pencarian ini menghasilkan 8.368 dokumen yang kemudian dianalisis lebih lanjut. Metadata publikasi yang dikumpulkan meliputi informasi judul, penulis, tahun publikasi, afiliasi institusi, kata kunci, abstrak, jumlah sitasi, dan negara asal penulis. Metadata publikasi yang dikumpulkan meliputi informasi judul, penulis, tahun publikasi, afiliasi institusi, kata kunci, abstrak, jumlah sitasi, dan negara asal penulis, dengan batasan periode publikasi selama dua dekade terakhir untuk memastikan relevansi dan perkembangan terkini dalam bidang kajian ini. Metode analisis yang diterapkan mencakup identifikasi tren publikasi, pemetaan jejaring kolaborasi peneliti dan institusi, klasifikasi tema-tema utama melalui analisis *co-occurrence* kata kunci, evaluasi produktivitas peneliti, serta analisis disparitas geografis dalam produksi pengetahuan. Visualisasi data disajikan dalam bentuk grafik tren publikasi, network map kolaborasi, *thematic map*, dan *word cloud* untuk memudahkan interpretasi hasil. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi kesenjangan penelitian, terutama terkait efek kumulatif polutan dan dampaknya pada kelompok rentan, serta memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan penelitian dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia (Zupic & Čater, 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan visualisasi *Trend Topics*, penelitian dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia menunjukkan perkembangan dinamis sepanjang periode 2019–2025, dimulai dari fokus fundamental pada *air pollution*, *air quality*, dan *health*, yang kemudian bergeser pada tema *COVID-19* selama 2020–2021 sebagai respons terhadap krisis kesehatan global. Pada periode 2022–2023, penelitian terkonsolidasi pada pendekatan metodologis seperti *risk assessment*, *environmental exposure*, dan *particulate matter*. Selanjutnya, pada periode paling mutakhir (2024–2025) muncul topik-topik inovatif seperti *biomedikalisasi*, *fine emission*, dan *volatile organics*, yang menandai pergeseran menuju pemahaman mekanistik dan integrasi pendekatan biomedis dalam kajian dampak pencemaran udara, sekaligus menegaskan sifat multidisipliner dan arah perkembangan mutakhir bidang penelitian ini.



Gambar 2. Grafik Produksi Publikasi Ilmiah Tahun 2022-2025

Gambar 2 dapat menunjukkan tren produksi publikasi ilmiah tahunan terkait dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia selama periode 2021-2025. Grafik memperlihatkan pola fluktuatif dengan peningkatan signifikan pada tahun-tahun tertentu. Pada tahun 2021, jumlah publikasi tercatat sekitar 400 artikel, kemudian mengalami peningkatan bertahap hingga mencapai puncaknya pada tahun 2024 dengan lebih dari 580 artikel. Lonjakan dramatis ini mencerminkan respons komunitas ilmiah terhadap krisis pencemaran udara global yang semakin memburuk, di mana WHO (2022) melaporkan bahwa 99% populasi dunia menghirup udara yang melebihi batas kualitas udara yang direkomendasikan, menyebabkan sekitar 7 juta kematian prematur setiap tahunnya. Peningkatan publikasi juga berkorelasi dengan meningkatnya kejadian polusi udara ekstrem di berbagai negara, termasuk kebakaran hutan masif di Australia (2019-2020), lonjakan polusi PM2.5 di Asia Selatan dan Tenggara, serta episode smog berkepanjangan di kota-kota besar yang memicu alarm kesehatan publik (Künzli & Tager, 2000).

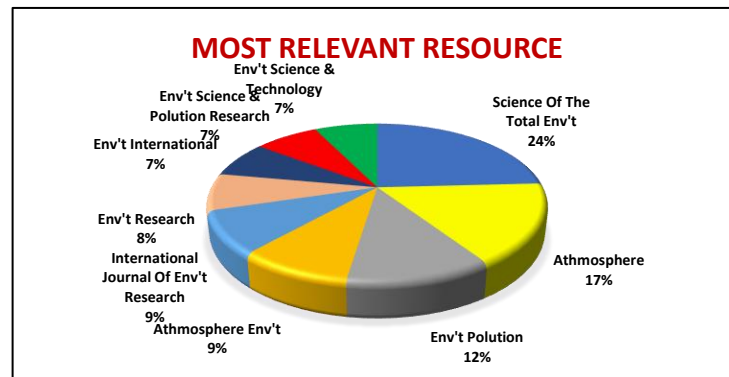
Urgensi penelitian semakin diperkuat oleh dampak ekonomi dan sosial yang signifikan akibat pencemaran udara. World Bank (2016) memperkirakan kerugian ekonomi global akibat polusi udara mencapai \$5,7 triliun atau setara dengan 4,8% dari PDB global, mencakup biaya kesehatan, kehilangan produktivitas tenaga kerja, dan penurunan kualitas hidup. Selain itu, pandemi COVID-19 pada tahun 2020-2021 telah meningkatkan kesadaran publik terhadap pentingnya kualitas udara setelah berbagai studi menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap polusi udara meningkatkan kerentanan dan tingkat keparahan infeksi COVID-19 (Wu

et al., 2020; Travaglio et al., 2021). Hal ini memicu gelombang penelitian baru yang mengeksplorasi interaksi antara pencemaran udara, sistem kekebalan tubuh, dan penyakit infeksi pernapasan, yang berkontribusi pada lonjakan publikasi di tahun 2023-2024. Faktor pendorong lain yang turut memperkuat urgensi penelitian ini adalah komitmen perjanjian global dan peningkatan pendanaan riset di bidang lingkungan dan kesehatan. Kesepakatan internasional seperti Paris Agreement (2015) dan WHO Global Air Quality Guidelines (2021) telah mendorong negara-negara anggota untuk memperketat regulasi emisi dan memprioritaskan penelitian terkait dampak polusi udara, sehingga secara langsung mendorong pertumbuhan publikasi ilmiah di bidang ini (WHO, 2021; UNFCCC, 2015). Di sisi pendanaan, lembaga-lembaga besar seperti National Institutes of Health (NIH), European Research Council (ERC), dan berbagai badan riset nasional secara konsisten meningkatkan alokasi dana untuk studi kesehatan lingkungan, yang tercermin dari lonjakan jumlah proyek riset multidisiplin yang menghubungkan kualitas udara dengan beban penyakit kronis (Landrigan et al., 2018; Prüss-Ustün et al., 2016). Inisiatif global seperti BreatheLife Campaign yang digagas WHO dan UN Environment, serta program pemantauan udara skala besar seperti Global Burden of Disease Study, juga berkontribusi dalam mengkonsolidasikan data dan mendorong kolaborasi lintas negara yang pada akhirnya memperluas basis literatur ilmiah (Cohen et al., 2017; Stanaway et al., 2018). Kerangka Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 3 (Good Health and Well-being) dan SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), turut melegitimasi penelitian pencemaran udara sebagai agenda pembangunan global yang mendesak, sehingga menarik minat peneliti dari berbagai disiplin ilmu untuk berkontribusi pada bidang kajian ini (United Nations, 2015; Landrigan et al., 2018).

Namun demikian, grafik menunjukkan penurunan tajam pada tahun 2025 dengan jumlah publikasi turun menjadi sekitar 420 artikel. Penurunan ini perlu diinterpretasikan dengan hati-hati mengingat data untuk tahun 2025 kemungkinan belum lengkap karena tahun tersebut masih berlangsung pada saat pengambilan data, sehingga proses publikasi dan pengindeksan yang memerlukan waktu menyebabkan underestimation jumlah artikel (Moral-Muñoz et al., 2020). Secara keseluruhan, tren publikasi menunjukkan pertumbuhan minat penelitian yang konsisten dengan peningkatan rata-rata 45% dari tahun 2021 ke 2024, mencerminkan urgensi global untuk memahami dan mengatasi dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia. Pola ini sejalan dengan temuan Landrigan et al. (2018) dan Zhang et al. (2020) yang melaporkan

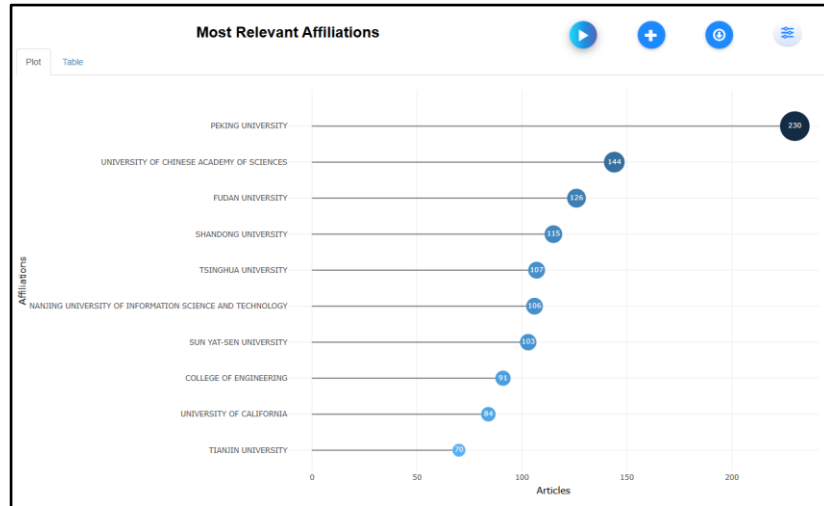
peningkatan eksponensial publikasi terkait polusi udara dan kesehatan dalam dekade terakhir, mengindikasikan bahwa pencemaran udara tetap menjadi prioritas utama penelitian kesehatan lingkungan global, terutama dalam konteks perubahan iklim yang memperburuk kualitas udara dan meningkatkan frekuensi peristiwa polusi ekstrem. Perubahan iklim terbukti secara ilmiah memperburuk kualitas udara global melalui berbagai mekanisme yang saling berkaitan. Pembakaran bahan bakar fosil yang memicu perubahan iklim sekaligus menghasilkan polutan seperti karbon hitam, nitrogen oksida, dan ozon permukaan tanah yang pada gilirannya memperparah perubahan iklim itu sendiri membentuk lingkaran setan yang berbahaya (WMO, 2025). Suhu yang semakin hangat berkorelasi dengan peningkatan ozon di daerah tercemar, dengan proyeksi peningkatan konsentrasi ozon tahunan tertinggi lebih dari 2,3 ppb di Amerika Serikat pada pertengahan abad ini (East et al., 2024). Di China, stagnasi atmosfer dan gelombang panas yang semakin sering akibat perubahan iklim diperkirakan menyebabkan tambahan 12.100 kematian per tahun dari paparan PM_{2.5} dan 8.900 kematian per tahun dari paparan ozon (Chen et al., 2019). Di India, stagnasi musim dingin di Dataran Indo-Gangetic diproyeksikan meningkat hingga 7 hari lebih per tahun pada 2100, mendorong lonjakan konsentrasi PM_{2.5} sekitar 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Xie et al., 2024). Kebakaran hutan menjadi salah satu pemicu polusi ekstrem yang paling signifikan: paparan asap kebakaran hutan per orang di Amerika Serikat empat kali lebih tinggi selama 2020–2024 dibandingkan periode 2006–2019, dengan asap yang mampu menyebar ribuan mil dan membahayakan masyarakat jauh dari lokasi kebakaran (Climate Central, 2025). Proyeksi menunjukkan bahwa PM_{2.5} dari asap kebakaran hutan dapat menyebabkan 71.420 kematian berlebih per tahun di Amerika Serikat pada 2050 meningkat 73% dibanding rata-rata 2011–2020 (Burke et al., 2025). Asap kebakaran mengandung PM_{2.5}, karbon monoksida, nitrogen oksida, dan ozon yang dapat menembus jauh ke dalam alveoli dan memicu respons inflamasi kuat, memperparah asma dan PPOK (Gu & Myong, 2025). Gangguan cuaca ekstrem pada fasilitas industri juga menghasilkan emisi 1,8 kali lebih besar dibanding gangguan biasa, termasuk bahan kimia karsinogen seperti benzena dan formaldehida (EDF, 2026). Akibatnya, 131 juta penduduk Amerika Serikat kini tinggal di wilayah dengan kadar polusi tidak sehat, dengan jumlah hari berkualitas udara "sangat tidak sehat" dan "berbahaya" tertinggi dalam 25 tahun terakhir (American Lung Association, 2024). Secara global, hanya 23% kota di Amerika Serikat dan Kanada yang memenuhi standar WHO

pada 2025 turun dari 29% pada 2024 dengan kebakaran hutan yang dipicu perubahan iklim sebagai pendorong utamanya (IQAir, 2026).



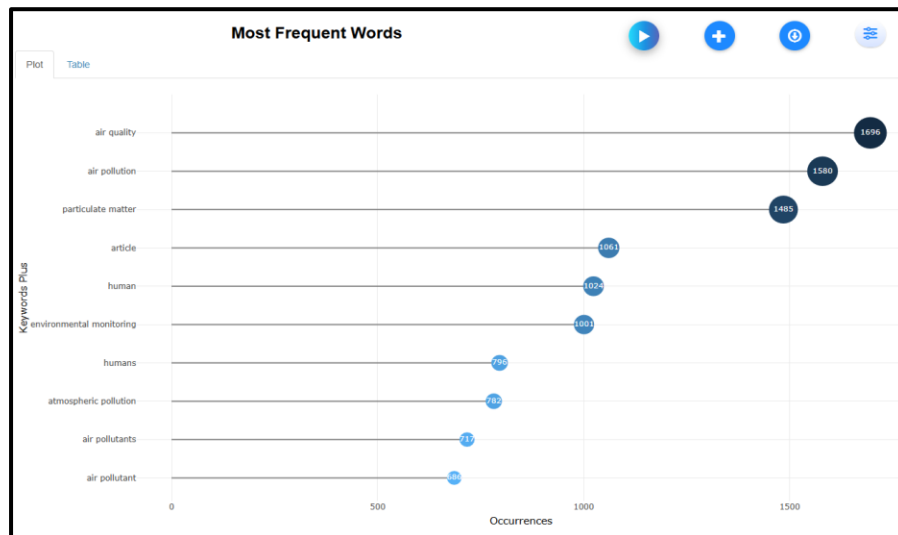
Gambar 3 Sumber Referensi yang Paling Relevan

Gambar 3 menggambarkan tren penulisan ilmiah mengenai dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia yang ditinjau dari disiplin keilmuan, di mana publikasi terkonsentrasi kuat pada jurnal-jurnal bidang ilmu lingkungan dan kesehatan lingkungan. *Science of the Total Environment* mendominasi sebagai sumber paling produktif dengan 189 dokumen, mencerminkan peran sentral disiplin lingkungan multidisiplin dalam mengkaji hubungan antara paparan polutan udara dan dampaknya terhadap kesehatan manusia. Selanjutnya, *Atmosphere* menempati posisi kedua dengan 126 dokumen yang menegaskan kontribusi ilmu atmosfer dan kualitas udara, diikuti oleh *Environmental Pollution* (92 dokumen), *International Journal of Environmental Research and Public Health* (86 dokumen), dan *Atmospheric Environment* (72 dokumen), yang secara kolektif merepresentasikan irisan antara kesehatan masyarakat, pencemaran lingkungan, dan dinamika atmosfer. Kehadiran *Chemosphere* dengan 43 dokumen semakin memperkuat dominasi disiplin kimia lingkungan dalam memahami karakteristik polutan dan mekanisme toksisitasnya terhadap sistem biologis. Pola ini menunjukkan bahwa kajian dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia lebih banyak dikembangkan dalam kerangka ilmu lingkungan dibandingkan jurnal medis murni, yang mencerminkan sifat multidisiplin bidang ini serta menegaskan kecenderungan literatur untuk mengintegrasikan aspek kimia atmosfer, toksikologi lingkungan, dan kesehatan masyarakat dalam menjelaskan risiko kesehatan akibat pencemaran udara.



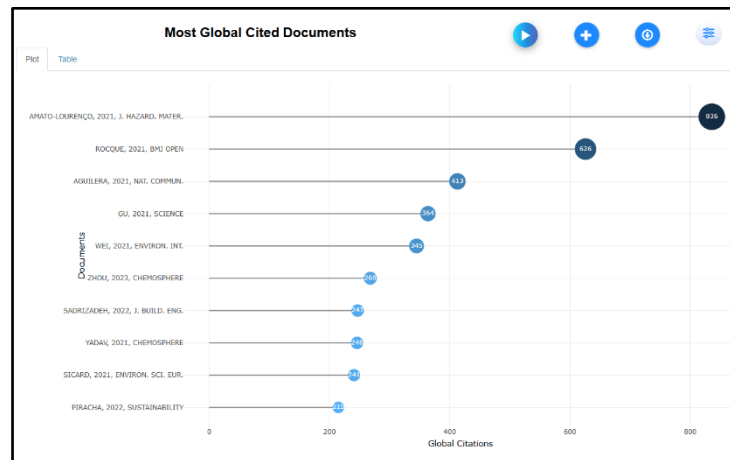
Gambar 4 Afiliasi yang Relevan

Berdasarkan analisis bibliometrik afiliasi institusi, penelitian dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia didominasi oleh institusi di China. Peking University menempati peringkat pertama dengan 230 publikasi, diikuti oleh University of Chinese Academy of Sciences dengan 149 publikasi. Selanjutnya, Fudan University (120 publikasi), Shandong University (115 publikasi), dan Tsinghua University (107 publikasi) melengkapi lima besar institusi paling produktif. Dominasi institusi-institusi tersebut menunjukkan tingginya intensitas riset pencemaran udara dan kesehatan di China, sejalan dengan besarnya tantangan kualitas udara yang dihadapi negara tersebut dalam beberapa dekade terakhir.



Gambar 5 Kata Kunci Paling Relevan

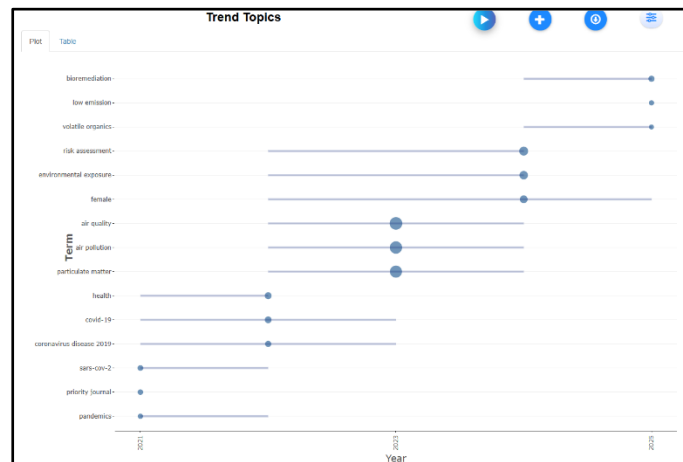
Gambar 5 merupakan hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa fokus utama literatur dalam penelitian ini terkonsentrasi pada tiga pilar utama, yaitu kualitas udara (*air quality*), pencemaran udara (*air pollution*), dan materi partikulat (*particulate matter*), yang masing-masing memiliki frekuensi kemunculan sangat tinggi, yakni di atas 1.400 kali. Dominasi kata kunci tersebut mengindikasikan bahwa diskursus ilmiah secara konsisten menekankan penurunan kualitas udara akibat paparan polutan spesifik, terutama PM_{2.5} dan PM₁₀, sebagai faktor risiko utama terhadap kesehatan. Tingginya kemunculan kata kunci *human* dan *humans* dengan total lebih dari 1.800 kemunculan semakin menegaskan keterkaitan langsung antara kondisi atmosfer yang tercemar dan dampaknya terhadap kesehatan manusia, baik dari sisi biologis maupun klinis. Selain itu, frekuensi tinggi kata kunci *environmental monitoring* (1.001 kemunculan) mencerminkan perhatian signifikan terhadap aspek metodologis dan sistem pemantauan kualitas udara, yang menandakan bahwa literatur tidak hanya berfokus pada dampak kesehatan, tetapi juga pada upaya pengukuran, pengawasan, dan mitigasi pencemaran udara. Keberagaman istilah seperti *atmospheric pollution*, *air pollutants*, dan *air pollutant* menunjukkan luasnya spektrum polutan yang dikaji, mencakup polutan gas hingga partikulat, yang secara kolektif berkontribusi terhadap beban kesehatan yang signifikan pada populasi manusia.



Gambar 6 Dokumen yang Paling Banyak Dikutip secara Global

Berdasarkan visualisasi *Most Global Cited Documents*, dokumen dengan sitasi tertinggi dalam kajian dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia didominasi oleh publikasi mutakhir periode 2021–2022. Zhanto Lomendro (2021) dalam *Nature* menempati posisi teratas dengan lebih dari 600 sitasi, menunjukkan pengaruh ilmiah yang sangat kuat, diikuti

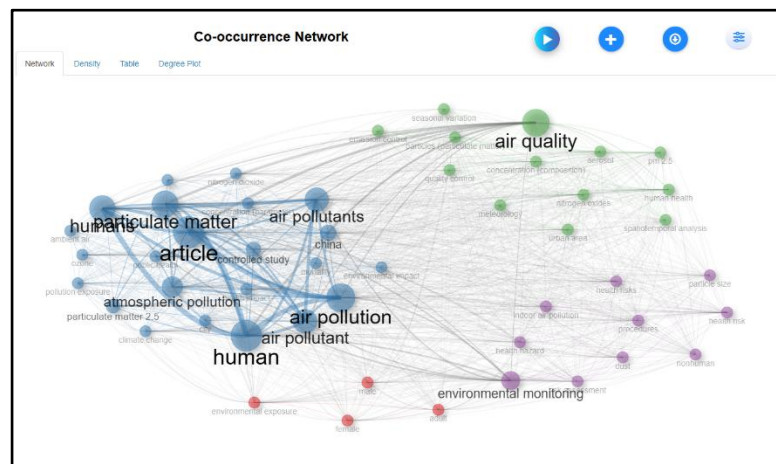
oleh Bookle (2021) dalam BMJ Open dengan sekitar 525 sitasi, yang merefleksikan tingginya relevansi dalam bidang kesehatan masyarakat serta luasnya jangkauan diseminasi melalui jurnal open-access bereputasi. Dokumen-dokumen tersebut dipublikasikan pada berbagai jurnal bergengsi, antara lain Nature, BMJ Open, Science, Environment International, Chemosphere, *Journal of Building Performance*, dan *Environmental Science Europe*, yang menegaskan sifat multidisipliner penelitian pencemaran udara dan kesehatan manusia. Tingginya jumlah sitasi dalam waktu relatif singkat menunjukkan akselerasi dampak ilmiah dan meningkatnya perhatian global terhadap isu ini, serta menjadikan dokumen-dokumen tersebut sebagai rujukan fundamental dalam penyusunan literatur review dan pengembangan kebijakan kesehatan lingkungan, termasuk dalam konteks perbandingan dengan kondisi di Indonesia.



Gambar 7 Tren Topik Penelitian

Berdasarkan visualisasi *Trend Topics*, penelitian mengenai dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia menunjukkan evolusi topik yang jelas dari periode 2019–2025. Pada fase awal (2019–2020), topik seperti *health*, *air pollution*, dan *air quality* mendominasi, diikuti oleh peningkatan signifikan tema *COVID-19* dan *coronavirus disease 2019* pada periode 2020–2021, yang merefleksikan respons ilmiah terhadap krisis kesehatan global. Memasuki periode 2022–2023, fokus penelitian mengalami konsolidasi pada pendekatan metodologis seperti *risk assessment*, *environmental exposure*, *particulate matter*, serta penguatan sistem data dan pemantauan kualitas udara. Pada periode paling mutakhir (2024–2025), muncul topik-topik inovatif seperti *biomedikalisasi*, *fine emission*, dan *volatile organics*, yang menandai pergeseran penelitian dari pendekatan makroskopis menuju pemahaman mekanistik dan berskala mikro.

Tren ini menunjukkan meningkatnya integrasi pendekatan biomedis, toksikologi, dan teknologi canggih untuk mengkaji dampak partikel halus dan senyawa organik volatil terhadap kesehatan manusia. Secara keseluruhan, dinamika tren topik ini menegaskan bahwa penelitian pencemaran udara dan kesehatan bersifat multidisipliner dan terus berkembang, serta memberikan landasan penting bagi penyusunan literatur review yang relevan, mutakhir, dan kontekstual, termasuk untuk mengidentifikasi peluang penelitian lanjutan dalam konteks Indonesia.



Gambar 8 Visualisasi Network pada Co-occurrence

Visualisasi jaringan menunjukkan adanya keterkaitan yang kuat antara polusi udara dengan dampaknya pada subjek spesifik, yang terbagi dalam empat kluster utama. Kluster biru (dominan) menunjukkan hubungan sentral antara “*particulate matter*”, “*air pollution*”, dan “*human*”, yang secara spesifik merepresentasikan fokus utama literatur pada mekanisme paparan polutan partikulat terutama PM_{2.5} dan PM₁₀ terhadap kesehatan manusia dalam kerangka studi terkontrol (*controlled study*), baik melalui pendekatan toksikologi maupun epidemiologi. Kluster hijau memperluas pembahasan ke ranah manajemen lingkungan, di mana “*air quality*” terhubung langsung dengan “*human health*”, “*PM2.5*”, serta analisis spasial temporal, yang secara spesifik menunjukkan perhatian penelitian terhadap pemantauan dan evaluasi standar kualitas udara, khususnya di wilayah perkotaan dan kawasan dengan kepadatan penduduk tinggi. Kluster ungu secara spesifik menyoroti aspek “*environmental monitoring*” yang berelasi erat dengan variabel “*health risks*”, “*health hazard*”, dan “*dust*”, menegaskan dimensi metodologis dalam literatur terkait peran sistem pemantauan berkelanjutan sebagai dasar penilaian risiko kesehatan akibat paparan polutan udara. Terakhir, kluster merah yang

relatif lebih kecil namun spesifik mencakup variabel “female”, “male”, dan “adult”, yang secara jelas menandakan adanya kajian diferensiasi dampak kesehatan berdasarkan jenis kelamin dan kelompok usia dewasa, sehingga memperkaya analisis risiko dengan pendekatan demografis. Secara keseluruhan, jaringan ini membuktikan bahwa artikel yang dianalisis mencakup ekosistem riset yang komprehensif, mulai dari identifikasi polutan fisik hingga analisis risiko kesehatan pada subjek manusia yang terdefinisi secara spesifik.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis bibliometrik menggunakan metadata Scopus, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia mengalami pertumbuhan pesat dalam dua dekade terakhir, dengan puncak publikasi terjadi pada tahun 2024. Studi ini mengidentifikasi tiga pilar utama diskursus ilmiah, yaitu kualitas udara (*air quality*), pencemaran udara (*air pollution*), dan materi partikulat (*particulate matter*). Fokus utama literatur tertuju pada mekanisme paparan polutan partikulat (PM2.5 dan PM10) terhadap kesehatan manusia melalui studi toksikologi dan epidemiologi. Selain itu, analisis jaringan menunjukkan adanya perkembangan riset yang semakin komprehensif, mencakup aspek manajemen lingkungan melalui sistem pemantauan berkelanjutan (*environmental monitoring*) serta identifikasi risiko spesifik pada kelompok demografis tertentu. Hasil ini menegaskan pentingnya kebijakan kesehatan lingkungan yang responsif dan terintegrasi untuk memitigasi risiko kesehatan akibat pencemaran udara secara global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta atas dukungan institusional yang diberikan selama proses penyusunan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam akses basis data Scopus dan penyediaan alat analisis *Biblioshiny*, yang sangat krusial dalam pelaksanaan analisis bibliometrik ini. Terakhir, apresiasi tulus ditujukan kepada rekan-rekan sejawat dan semua pihak yang telah memberikan saran serta masukan konstruktif sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- American Lung Association. (2024). *State of the Air 2024 Report*.
<https://www.lung.org/media/press-releases/sota-2024>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Ashmore, M. R. (2005). Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant, Cell & Environment*, 28(8), 949-964. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01341.x>
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope III, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., ... & Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbeece1>
- Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360(9341), 1233–1242.
- Burke, M., et al. (2025). Wildfire smoke exposure and mortality burden in the USA under climate change. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/s41586-025-09611-w>
- Chen, H., et al. (2019). Impacts of climate change on future air quality and human health in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(35).
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1812881116>
- Climate Central. (2025). *Climate change worsens wildfire smoke*.
<https://www.climatecentral.org/climate-matters/climate-change-worsens-wildfire-smoke-2025>
- Cohen, A. J., et al. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution. *The Lancet*, 389(10082), 1907–1918.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- East, J., et al. (2024). *Climate change projected to worsen ozone pollution in the US by 2050*. NC State University / Harvard University. <https://news.ncsu.edu/2024/06/climate-change-and-ozone/>
- Environmental Defense Fund. (2026). *Weather events — made worse by climate change — are pushing toxic air pollution higher*. <https://blogs.edf.org/global-clean-air/2026/02/09/>
- Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M. A., Cape, J. N., Reis, S., ... & Voss, M. (2013). The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal*

Society B: Biological Sciences, 368(1621), 20130164.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>

Gao, M., Beig, G., Song, S., Zhang, H., Hu, J., Ying, Q., Liang, F., Liu, Y., Wang, H., Lu, X., & Carmichael, G. R. (2022). *The impact of air pollution on health: Evidence from PM_{2.5} and NO₂ exposure in urban environments*. *Environmental International*, 158, 106993. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106993>

GBD 2019 Risk Factors Collaborators. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories. *The Lancet*, 396(10258), 1223–1249.

Gu, K. M., & Myong, J. P. (2025). Wildfire exposure and respiratory health: A comprehensive review of emerging evidence. *PMC*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12488353/>

IQAir. (2026). *2025 World Air Quality Report*. <https://insideclimatenews.org/news/24032026/wildfires-dust-storms-air-pollution-risks/>

Khomenko, S., Cirach, M., Pereira-Barboza, E., Mueller, N., Barrera-Gómez, J., Rojas-Rueda, D., de Hoogh, K., Hoek, G., Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). *Premature mortality due to air pollution in European cities: A health impact assessment*. *The Lancet Planetary Health*, 5(3), e121–e134. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30272-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30272-2)

Krzyzanowski, M., & Cohen, A. (2008). Update of WHO air quality guidelines. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1(1), 7-13. <https://doi.org/10.1007/s11869-008-0008-9>

Landrigan, P. J., et al. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119), 462–512.

Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N. N., ... & Zhong, M. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119), 462-512. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)

Lelieveld, J., et al. (2020). Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*, 41(34), 3289–3301.

Likens, G. E., Driscoll, C. T., & Buso, D. C. (1996). Long-term effects of acid rain: Response and recovery of a forest ecosystem. *Science*, 272(5259), 244-246. <https://doi.org/10.1126/science.272.5259.244>

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in Public Health*, 8, 14. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>

Prüss-Ustün, A., et al. (2016). *Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the burden of disease from environmental risks*. WHO Press.

- Raub, J. A., Mathieu-Nolf, M., Hampson, N. B., & Thom, S. R. (2000). Carbon monoxide poisoning—a public health perspective. *Toxicology*, 145(1), 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(99\)00217-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(99)00217-6)
- Santoso, D. H., Santosa, S. J., & Sekaranom, A. B. (2025). Low-cost sensor-based Internet of Things for PM_{2.5} air quality monitoring. *Indonesian Journal of Geography*, 57(2).
- Schraufnagel, D. E., Balmes, J. R., Cowl, C. T., De Matteis, S., Jung, S. H., Mortimer, K., ... & Wuebbles, D. J. (2019). Air pollution and noncommunicable diseases: A review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air pollution and organ systems. *Chest*, 155(2), 417-426. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041>
- Sly, P. D., et al. (2024). Updates in air pollution: Current research and future challenges. *Annals of Global Health*, 90(1). <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10836163/>
- Stanaway, J. D., et al. (2018). Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational risk factors. *The Lancet*, 392(10159), 1923–1994.
- UNFCCC. (2015). *Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. UN General Assembly Resolution A/RES/70/1.
- WHO. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.
- World Meteorological Organization. (2025). *WMO Air Quality and Climate Bulletin highlights vicious cycle*. <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-air-quality-and-climate-bulletin-highlights-vicious-cycle>
- Xie, Y., et al. (2024). Impacts of current and climate-induced changes in atmospheric stagnation on Indian surface PM_{2.5} pollution. *Nature Communications*, 15, 7448. <https://www.nature.com/articles/s41467-024-51462-y>
- Zhu, J., & Hua, W. (2017). Visualizing the knowledge domain of sustainable development research between 1987 and 2015: A bibliometric analysis. *Scientometrics*, 110(2), 893-914. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2187-8>

Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI
Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta