

Kajian Literatur Review Penelitian Pengelolaan Pencemaran Udara PM_{2,5} di Daerah Perkotaan

Ichlasul Kevin Hilmi¹⁾ dan Dian Hudawan Santoso^{1,2,a)}

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, UPN “Veteran” Yogyakarta

²⁾Prodi Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada

^{a)}Corresponding author: dian.hudawan@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran udara di perkotaan telah menjadi fenomena yang umum di seluruh dunia. Pencemaran udara di perkotaan jika tidak dikelola dapat menyebabkan penurunan kualitas udara dan lingkungan. Salah satu parameter penting dari pencemaran udara adalah partikulat, khususnya PM_{2,5}. Dampak PM_{2,5} yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerugian bagi manusia dan lingkungan. Kajian literatur review dilakukan guna mengetahui bagaimana tren penelitian terkait pengelolaan pencemaran udara, khususnya PM_{2,5} di daerah perkotaan. Dengan mengetahui tren penelitian, diharapkan dapat memberikan peluang penelitian sejenis dengan kebaruan dan novelty yang baik. Kajian literatur review dilakukan dengan metode bibliometrik. Metadata dikumpulkan dari jurnal-jurnal yang terindeks Scopus. Kelebihan dari jurnal terindeks Scopus adalah metadatanya lebih lengkap sehingga mudah untuk dianalisis. Adapun kata kunci yang digunakan adalah “*air AND pollution OR air AND quality AND management AND particulate AND matter OR pm OR pm2.5 AND urban AND area*” dengan kategori, judul artikel, abstrak, dan kata kunci, dalam kurun waktu 1967–2024. Metadata difilter berdasarkan subject area, tipe dokumen, kata kunci, tahap publikasi, tipe sumber, dan bahasa sehingga didapatkan 220 dokumen. Metadata yang telah didapatkan kemudian diekspor dalam format CSV untuk dianalisis dengan bantuan software Biblioshiny dan VOSviewer. Hasil kajian ini tidak hanya memberikan wawasan tentang tren penelitian PM_{2,5} di kawasan perkotaan tetapi juga menjadi landasan penting bagi perumusan kebijakan berbasis bukti (*evidence-based policy*) untuk pengelolaan pencemaran udara. Dengan identifikasi tren, teknologi, dan pendekatan manajemen terkini, studi ini dapat membantu pembuat kebijakan dan praktisi lingkungan dalam merancang strategi mitigasi yang efektif, meningkatkan kualitas udara, serta mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*, SDGs), khususnya pada aspek kesehatan dan lingkungan.

Kata Kunci: Bibliometrik; Pencemaran Udara; Perkotaan; PM_{2,5}

ABSTRACT

Urban air pollution has become a common phenomenon around the world. If unmanaged, urban air pollution can lead to degradation of air quality and the environment. One of the important parameters of air pollution is particulate matter, especially PM_{2.5}. The uncontrolled impact of PM_{2.5} can cause harm to humans and the environment. The literature review was conducted to find out how research trends related to air pollution management, especially PM_{2.5} in urban areas. By knowing research trends, it is expected to provide similar research opportunities with good novelty and novelty. The literature review was conducted using the bibliometric method. Metadata was collected from scopus-indexed journals. The advantage of scopus indexed journals is that the metadata is more complete so it is easy to analyze. The keywords used were "air AND pollution OR air AND quality AND management AND particulate AND matter OR pm OR pm2.5 AND urban AND area" with categories, article titles, abstracts, and keywords, within the period 1967 - 2024. Metadata was filtered based on subject area, document type, keywords, publication stage, source type and language, resulting in 220 documents. The metadata that has been obtained is then exported in CSV format for analysis with the help of Biblioshiny and Vosviewer software. This study can provide alternative problem solving related to air pollution management in urban areas.

Keywords: air pollution; bibliometric; urban area; PM_{2,5}

PENDAHULUAN

Pencemaran udara telah menjadi salah satu isu lingkungan yang paling mendesak di daerah perkotaan, terutama dengan meningkatnya konsentrasi partikulat halus seperti PM_{2,5} (Ismiyati *et al.*, 2014). Partikulat ini, dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer, memiliki kemampuan untuk masuk jauh ke dalam sistem pernapasan dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius (Astuti, W., dan Kusumawardani, Y., 2017). Di seluruh dunia, berbagai kota besar menghadapi tantangan dalam mengelola kualitas udara akibat emisi dari kendaraan bermotor, industri, dan kegiatan domestik yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi (Shah, J. J., and Nagpal, T. 1997).

Di kawasan perkotaan, polusi udara sering kali diakibatkan oleh kombinasi sumber stasioner dan bergerak (Gusti *et al.*, 2023). Emisi dari industri, pembangkit listrik, dan penggunaan bahan bakar fosil menjadi faktor utama yang memperburuk kualitas udara. Selain itu, peningkatan penggunaan kendaraan bermotor tanpa disertai pengelolaan yang baik turut berkontribusi dalam peningkatan kadar PM_{2,5} di atmosfer (Deshermansyah, D. 2016). Kota-kota besar di negara berkembang sering kali menghadapi permasalahan ini karena keterbatasan infrastruktur untuk mengontrol dan mengurangi polusi udara (Aghorru, R., dan Kopravi, M. 2023).

Pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} menjadi krusial mengingat dampaknya yang signifikan terhadap kesehatan masyarakat (Irawadi, R., dan Razif, M. 2023). Studi menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap PM_{2,5} dapat menyebabkan penyakit pernapasan kronis, penyakit jantung, serta meningkatkan risiko kematian dini (Saputra, A. E., dan Akmal, D. 2021). Selain itu, kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan individu dengan masalah kesehatan tertentu lebih berisiko terhadap dampak buruk dari paparan PM_{2,5} (Wellid *et al.*, 2024). Dengan demikian, upaya pengendalian dan pemantauan konsentrasi PM_{2,5} di daerah perkotaan sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat (Santosa *et al.*, 2008).

Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai pendekatan pengelolaan pencemaran udara telah diusulkan, mulai dari regulasi emisi hingga penggunaan teknologi pemantauan yang lebih canggih. Penggunaan sensor udara dengan biaya rendah (*Low-Cost Sensors/LCS*) berbasis *Internet of Things (IoT)* menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan untuk memantau kualitas udara secara real-time di berbagai wilayah perkotaan (Rosa *et al.*, 2020). Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data yang lebih luas dengan biaya yang lebih terjangkau, sehingga dapat digunakan oleh pemerintah kota maupun komunitas lokal untuk merancang kebijakan yang lebih efektif.

Namun, pengelolaan pencemaran udara bukan hanya soal teknologi. Diperlukan pendekatan terpadu yang melibatkan kebijakan, regulasi, dan partisipasi masyarakat (Santoso *et al.*, 2024). Program pengurangan emisi, peningkatan kualitas transportasi umum, serta kesadaran publik akan pentingnya menjaga kualitas udara merupakan beberapa langkah penting yang harus diambil oleh pemerintah daerah dalam upaya mengurangi kadar PM_{2,5} di lingkungan perkotaan (Astuti, W., dan Kusumawardani, Y. 2017).

Dengan meningkatnya perhatian terhadap dampak polusi udara pada kesehatan dan lingkungan, penting bagi pemerintah kota untuk terus mengembangkan strategi yang efektif dan berkelanjutan dalam mengelola pencemaran udara PM_{2,5}. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola dan tren penelitian terkait pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan termasuk pada strategi mitigasi yang telah dilakukan oleh pemerintah serta dampaknya terhadap kualitas udara. Kajian analisis bibliometrik ini diharapkan memberikan alternatif tema-tema dalam pengelolaan kualitas udara di perkotaan untuk mengisi kesenjangan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada akhirnya diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai pendekatan-pendekatan yang dapat diterapkan untuk mencapai kualitas udara yang lebih baik di kota-kota besar.

METODE

Kajian ini menggunakan pendekatan bibliometrik untuk identifikasi, analisis dan visualisasi data. Pendekatan bibliometrik dikembangkan oleh Allen Richard pada tahun 1969 (Azer, S. A. 2017) yang

sebelumnya telah dikembangkan juga oleh Coles dan Eales pada tahun 1917 (Casado-Aranda, L.-A. 2021). Kelebihan dari pendekatan bibliometrik adalah dapat digunakan untuk identifikasi tren dan perkembangan berbagai macam bidang keilmuan (Zhang, M. 2019). Analisis bibliometrik dapat memberikan pemahaman yang mendalam terhadap kemajuan suatu bidang, dalam hal ini adalah pengelolaan kualitas udara ambien khususnya *particulate matter*. Analisis yang dilakukan berupa analisis kutipan, kutipan bersama, distribusi geografis, frekuensi kata dan penulisan bersama untuk melihat perkembangan yang terjadi pada suatu bidang (Wang, F. (2016) Data-data yang dipakai untuk analisis dalam tulisan ini diambil dari database SCOPUS (<https://www.scopus.com>) yang merupakan salah satu database ilmiah terbesar di dunia (Zhang, J. 2021). Langkah pencarian artikel yang akan dianalisis dilakukan dengan tahapan berupa pencarian artikel dengan kata kunci, kompilasi data, pengaturan dan pembersihan data, analisis, interpretasi dan visualisasi (Zhao, L. 2019). Pencarian artikel yang relevan digunakan kata kunci berupa “*air AND pollution OR air AND quality AND management AND particulate AND matter OR pm OR pm_{2,5} AND urban AND area*” dengan kategori, judul artikel, abstrak, dan kata kunci, dalam kurun waktu 1967 – 2024. Metadata dipilih berdasarkan subject area, tipe dokumen, kata kunci, tahap publikasi, tipe sumber dan bahasa sehingga didapatkan 220 dokumen. Metadata yang telah didapatkan kemudian diekspor dalam format CSV untuk dianalisis dengan bantuan software Biblioshiny. Pencarian artikel dilakukan pada tanggal 5 Oktober 2024 dengan didapatkan sejumlah 390 dokumen yang membahas tentang tema yang sejenis. Metadata kemudian dilakukan penyaringan berdasarkan subject area, tipe dokumen, kata kunci, tahap publikasi, tipe sumber dan bahasa sehingga didapatkan 220 dokumen. Selanjutnya dari data literatur SCOPUS yang telah disaring diekspor dalam format CSV ke dalam Biblioshiny app (<https://www.bibliometrix.org>).

Ada banyak alternatif perangkat lunak bibliometrik yang dapat digunakan seperti CiteSpace (Cheng, S. 2019), BibExcel, VOSviewer, CiteNetExplorer dan Biblioshiny. Dalam artikel ini Biblioshiny dipilih dengan berbagai kelebihan dan kekurangan yang ada dibandingkan dengan perangkat lunak yang lain. Biblioshiny dipilih sebagai perangkat analisis utama karena keunggulannya dalam menyediakan antarmuka grafis yang intuitif dan mudah digunakan tanpa memerlukan keahlian pemrograman tingkat lanjut. Hal ini meningkatkan transparansi proses analisis, memungkinkan interpretasi hasil yang lebih mudah oleh para peneliti lintas disiplin. Selain itu, Biblioshiny menawarkan integrasi yang baik dengan perangkat lunak R, memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis lanjutan jika diperlukan. Dibandingkan dengan perangkat lunak lain, seperti VOSviewer, Biblioshiny lebih fleksibel dalam visualisasi jaringan dan menghasilkan laporan yang lebih rinci secara otomatis, sehingga mempermudah proses interpretasi dan komunikasi hasil penelitian.

Glosarium

Berikut adalah penjelasan beberapa istilah teknis yang digunakan dalam metode penelitian ini:

1. Bibliometrik: Metode kuantitatif untuk menganalisis publikasi ilmiah, seperti artikel jurnal, berdasarkan metadata seperti kata kunci, jumlah sitasi, dan penulis.
2. Biblioshiny: Perangkat lunak berbasis web yang terintegrasi dengan *R package* Bibliometrix, digunakan untuk analisis bibliometrik dan visualisasi data.
3. VOSviewer: Perangkat lunak untuk visualisasi hubungan antar data bibliometrik, sering digunakan untuk memetakan jaringan kata kunci atau kolaborasi penulis.
4. Metadata: Informasi deskriptif tentang dokumen, mencakup judul, abstrak, kata kunci, nama penulis, jurnal, dan sitasi.
5. Kata Kunci: Istilah atau frasa yang digunakan untuk menggambarkan topik utama sebuah artikel, digunakan untuk pencarian dan analisis tren.
6. CSV (Comma-Separated Values): Format file yang digunakan untuk menyimpan data tabular, sering digunakan dalam analisis data bibliometrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

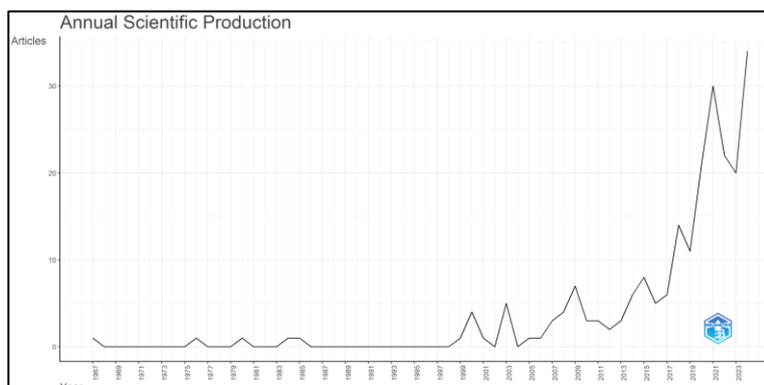
Bab ini membahas tentang analisis terakit hasil pencarian artikel berdasarkan data literatur SCOPUS. Analisis ini mencakup pemeriksaan tren dan kemajuan dalam artikel yang berkaitan dengan Pengelolaan Pencemaran Udara PM2,5 di Daerah Perkotaan.

Tabel 1. Informasi Utama Artikel yang Diterbitkan Dikumpulkan dari Data Literatur Scopus

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	1967:2024
Sources (Journals, Books, etc)	98
Documents	220
Annual Growth Rate %	6.38
Document Average Age	6.65
Average citations per doc	23.3
References	10618
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	1715
Author's Keywords (DE)	700
AUTHORS	
Authors	1083
Authors of single-authored docs	6
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored docs	7
Co-Authors per Doc	5.33
International co-authorships %	29.09
DOCUMENT TYPES	
Article	220

Tabel 1 merangkum hasil pencarian artikel ilmiah di Scopus mengenai penelitian pengelolaan pencemaran udara PM2,5 di daerah perkotaan dari tahun 1967 hingga 2024. Dari tabel ini, terlihat bahwa terdapat 220 dokumen yang ditemukan dalam rentang waktu tersebut, menunjukkan bahwa topik ini telah menjadi fokus penelitian yang signifikan. Tingkat pertumbuhan tahunan dokumen adalah 6,38%, yang menunjukkan peningkatan yang stabil dalam output penelitian dari waktu ke waktu. Rata-rata kutipan per dokumen adalah 23,3, yang mencerminkan dampak dan relevansi studi-studi ini dalam komunitas ilmiah. Selain itu, usia rata-rata dokumen adalah 6,65 tahun, menunjukkan bahwa penelitian ini relatif baru dan terus berkembang.

Melihat pola kepenulisan, terdapat 1083 penulis yang berkontribusi dalam bidang ini dengan rata-rata 7 dokumen yang ditulis oleh satu penulis. Rasio kolaborasi per dokumen adalah 5,33, yang menunjukkan tingkat kolaborasi yang tinggi, mungkin karena kompleksitas penelitian pengelolaan pencemaran udara yang sering memerlukan pendekatan interdisipliner. Persentase kolaborasi internasional yang mencapai 29,09% juga menunjukkan adanya perhatian dan kerjasama global dalam mengatasi masalah pencemaran udara di perkotaan. Hal ini penting karena pencemaran udara adalah masalah yang melintasi batas negara dan memerlukan solusi global.

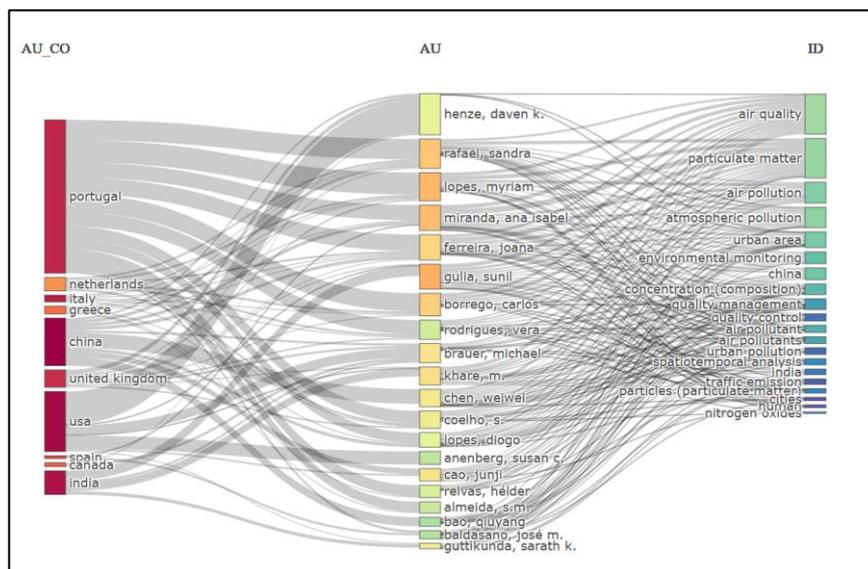


Gambar 1. Grafik Produksi Ilmiah Tahunan

Gambar 1 merupakan grafik produksi ilmiah tahunan dari tahun 1967 hingga 2023 menunjukkan tren yang menarik dalam penelitian pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan. Pada awal periode, dari tahun 1967 hingga sekitar tahun 1980, jumlah artikel yang diterbitkan sangat rendah, dengan hanya beberapa artikel per tahun. Hal ini mungkin disebabkan oleh kurangnya kesadaran global tentang dampak kesehatan dari PM_{2,5} dan keterbatasan teknologi serta metodologi penelitian pada masa itu. Namun, mulai tahun 1980-an, terlihat sedikit peningkatan dalam jumlah artikel, mencerminkan mulai adanya perhatian terhadap isu ini.

Memasuki tahun 1990-an hingga awal 2000-an, grafik menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan dalam jumlah artikel yang diterbitkan. Peningkatan ini bisa dikaitkan dengan meningkatnya kesadaran global tentang perubahan iklim dan dampak polusi udara terhadap kesehatan masyarakat. Selain itu, perkembangan teknologi pemantauan kualitas udara dan peningkatan pendanaan penelitian juga berkontribusi pada peningkatan jumlah publikasi. Pada periode ini, beberapa kebijakan lingkungan yang lebih ketat mulai diterapkan di berbagai negara, yang mendorong lebih banyak penelitian untuk mendukung kebijakan tersebut.

Puncak produksi artikel terlihat pada dekade terakhir, terutama setelah tahun 2010. Grafik menunjukkan lonjakan tajam dalam jumlah artikel yang diterbitkan, dengan puncak tertinggi pada tahun 2021. Lonjakan ini mencerminkan urgensi yang semakin besar dalam menangani masalah pencemaran udara PM_{2,5}, didorong oleh bukti ilmiah yang semakin kuat tentang dampak negatifnya terhadap kesehatan dan lingkungan. Selain itu, kolaborasi internasional yang lebih kuat dan peningkatan akses terhadap data serta teknologi canggih telah memungkinkan peneliti untuk melakukan studi yang lebih komprehensif dan mendalam. Periode ini juga ditandai dengan peningkatan jumlah konferensi dan publikasi jurnal khusus yang berfokus pada isu pencemaran udara, yang semakin mendorong produksi ilmiah di bidang ini.

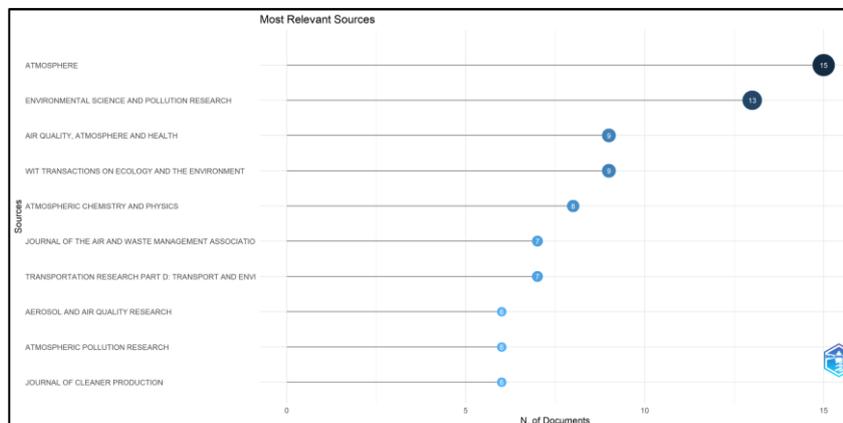


Gambar 2. Hubungan Keterkaitan antara Kata Kunci, Penulis, dan Negara Asal

Gambar 2 adalah hubungan keterkaitan antara kata kunci, penulis, dan negara asal menunjukkan jaringan kolaborasi yang kompleks dalam penelitian pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan. Dari grafik ini, terlihat bahwa peneliti dari berbagai negara seperti Amerika Serikat, China, India, dan beberapa negara Eropa seperti Portugal, Belanda, Italia, dan Yunani, memiliki kontribusi yang signifikan dalam penelitian ini. Kata kunci seperti “air quality,” “particulate matter,” “environmental monitoring,” dan “urban pollution” sering muncul, menunjukkan fokus utama penelitian pada kualitas udara dan dampak partikulat di lingkungan perkotaan.

Peneliti dari Amerika Serikat, seperti Henze Daven K dan Anenberg Susan C, memiliki banyak keterkaitan dengan berbagai kata kunci, menunjukkan bahwa mereka memiliki kontribusi yang luas dan beragam dalam bidang ini. Peneliti dari China, seperti Cao Junj dan Chen Weiwei, juga menunjukkan keterlibatan yang signifikan, terutama dalam topik-topik seperti “air pollutants” dan “urban pollution.” Hal ini menunjukkan bahwa penelitian di China sangat berfokus pada polusi udara di daerah perkotaan, yang mungkin disebabkan oleh tingkat polusi yang tinggi di negara tersebut.

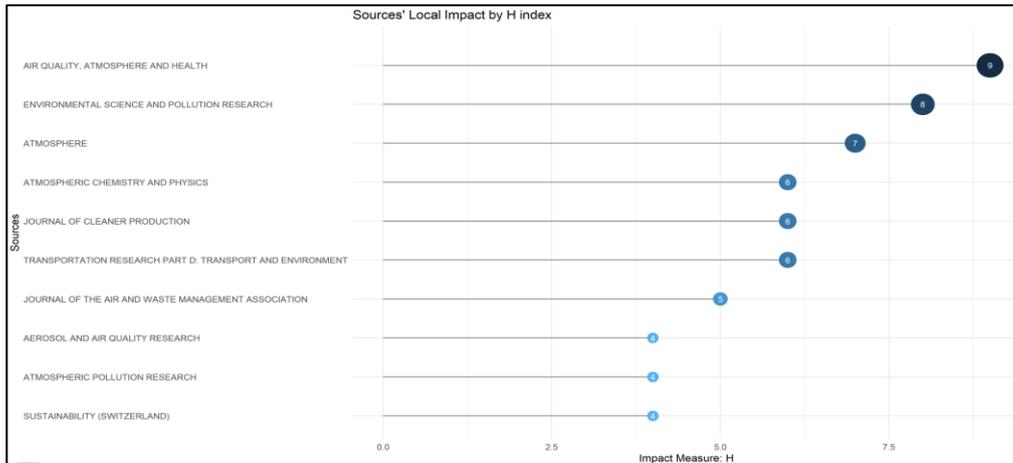
Kolaborasi internasional juga terlihat jelas dalam grafik ini, dengan banyak peneliti dari berbagai negara yang bekerja sama dalam penelitian ini. Misalnya, peneliti dari Portugal seperti Lopes Myriam dan Miranda Ana Isabel, serta peneliti dari Italia seperti Borrego Carlos, menunjukkan keterkaitan dengan peneliti dari negara lain dan berbagai kata kunci. Ini menunjukkan bahwa masalah pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan adalah isu global yang memerlukan kerjasama lintas negara untuk menemukan solusi yang efektif. Kata kunci penting lainnya yang muncul dalam grafik ini termasuk “absorption spectra,” “quality control,” dan “environmental monitoring,” yang menunjukkan berbagai aspek teknis dan metodologis yang diteliti dalam upaya mengelola pencemaran udara.



Gambar 3. Sumber yang Paling Relevan

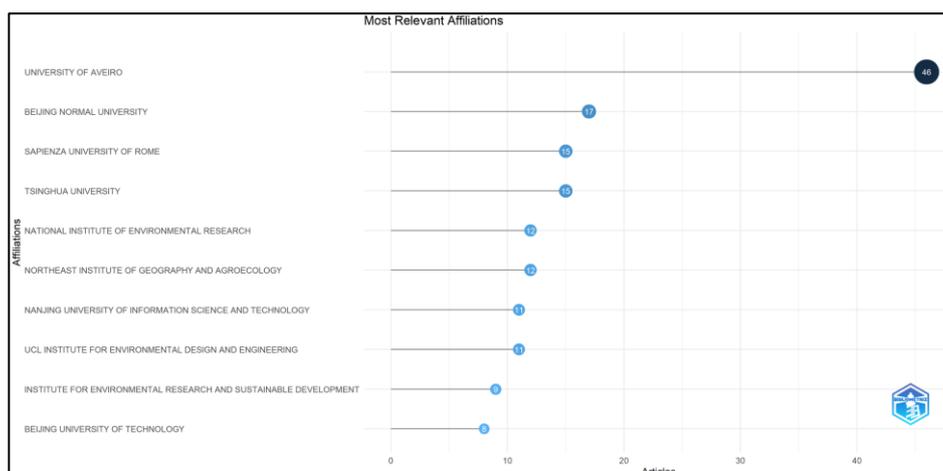
Gambar 3 adalah grafik sumber yang paling relevan menunjukkan bahwa jurnal "ATMOSPHERE" adalah sumber yang paling dominan dalam penelitian pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan, dengan hampir 15 dokumen yang diterbitkan. Ini menunjukkan bahwa "ATMOSPHERE" adalah jurnal yang sangat berpengaruh dan sering menjadi pilihan utama bagi peneliti untuk mempublikasikan temuan mereka dalam bidang ini. Jurnal lain yang juga memiliki kontribusi signifikan termasuk "ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH" dan "AIR QUALITY: ATMOSPHERE AND HEALTH," yang masing-masing memiliki sekitar 10 hingga 12 dokumen. Dominasi jurnal-jurnal ini mencerminkan fokus mereka pada isu-isu lingkungan dan kesehatan yang terkait dengan polusi udara.

Selain itu, jurnal-jurnal seperti "WIT TRANSACTIONS ON ECOLOGY AND THE ENVIRONMENT" dan "JOURNAL OF THE AIR AND WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION" juga menunjukkan relevansi yang tinggi dengan masing-masing memiliki sekitar 8 hingga 10 dokumen. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan tidak hanya terbatas pada satu atau dua jurnal, tetapi tersebar di berbagai publikasi yang berfokus pada ekologi, kesehatan lingkungan, dan manajemen kualitas udara. Keberagaman sumber ini menunjukkan bahwa topik ini adalah bidang penelitian yang luas dan interdisipliner, yang melibatkan berbagai aspek dari ilmu lingkungan hingga kesehatan masyarakat.



Gambar 4. Sumber Dampak Lokal Berdasarkan Indeks H

Gambar 4 adalah grafik "Sumber Dampak Lokal Berdasarkan Indeks H" menunjukkan bahwa jurnal "ATMOSPHERE" memiliki dampak lokal yang paling signifikan dalam penelitian pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan. Indeks H yang tinggi menunjukkan bahwa artikel-artikel yang diterbitkan dalam jurnal ini tidak hanya banyak, tetapi juga sering dikutip oleh peneliti lain, menandakan pengaruh yang besar dalam komunitas ilmiah. Jurnal lain yang juga memiliki dampak signifikan termasuk "ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH" dan "AIR QUALITY: ATMOSPHERE AND HEALTH," yang menunjukkan bahwa penelitian yang diterbitkan dalam jurnal-jurnal ini juga memiliki pengaruh besar dan sering dijadikan referensi oleh peneliti lain. Selain itu, jurnal-jurnal seperti "WIT TRANSACTIONS ON ECOLOGY AND THE ENVIRONMENT" dan "JOURNAL OF THE AIR AND WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION" juga menunjukkan indeks H yang cukup tinggi, menandakan bahwa mereka juga memiliki kontribusi yang signifikan dalam bidang ini. Indeks H yang tinggi pada jurnal-jurnal ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan adalah topik yang sangat relevan dan penting, dengan banyak peneliti yang merujuk pada artikel-artikel ini untuk mendukung penelitian mereka sendiri. Keberagaman jurnal dengan indeks H tinggi ini menunjukkan bahwa topik ini adalah bidang penelitian yang luas dan interdisipliner, yang melibatkan berbagai aspek dari ilmu lingkungan hingga kesehatan masyarakat.

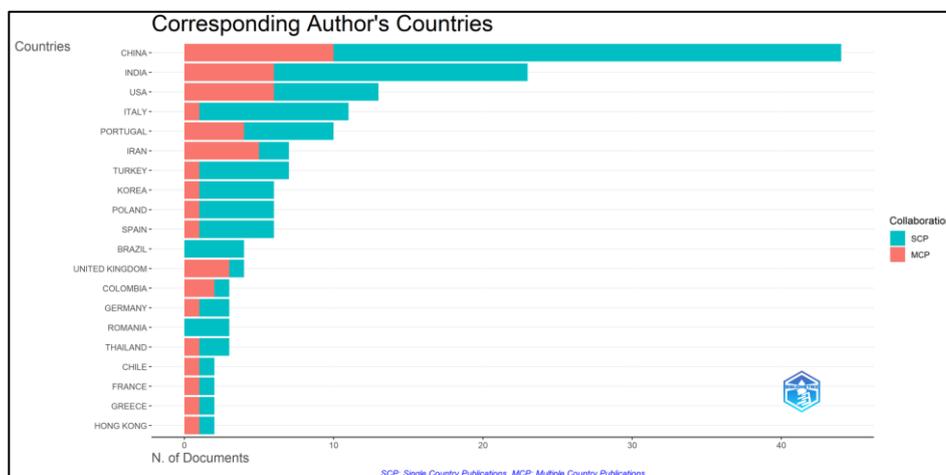


Gambar 5. Afiliasi yang Paling Relevan

Gambar 5 adalah afiliasi yang paling relevan menunjukkan bahwa Beijing Normal University adalah afiliasi yang paling dominan dalam penelitian pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah

perkotaan, dengan jumlah artikel yang diterbitkan mendekati 50. Dominasi ini menunjukkan bahwa universitas ini memiliki program penelitian yang kuat dan berfokus pada isu-isu lingkungan, khususnya terkait dengan polusi udara. Selain itu, Chinese Academy of Sciences dan Shanghai University juga menunjukkan kontribusi yang signifikan dengan masing-masing menerbitkan lebih dari 30 artikel. Hal ini mencerminkan pentingnya penelitian di China dalam bidang ini, yang mungkin didorong oleh tingkat polusi udara yang tinggi di negara tersebut dan kebutuhan mendesak untuk menemukan solusi yang efektif.

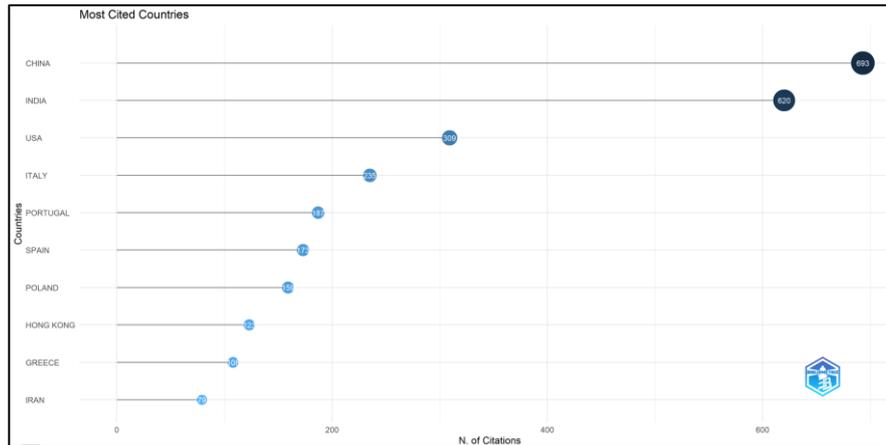
Afiliasi lain yang juga memiliki kontribusi penting termasuk Tongji University dan Nankai University, yang masing-masing menerbitkan sekitar 20 hingga 25 artikel. Di luar China, University of Aveiro dari Portugal juga menunjukkan relevansi yang tinggi dengan lebih dari 20 artikel yang diterbitkan. Ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan adalah topik yang menarik perhatian global, dengan kontribusi signifikan dari berbagai institusi di seluruh dunia. Keberagaman afiliasi ini menunjukkan bahwa masalah pencemaran udara PM_{2,5} adalah isu global yang memerlukan kolaborasi lintas negara dan disiplin untuk menemukan solusi yang efektif.



Gambar 6. Negara-Negara Penulis Koresponding Author

Gambar 6 adalah grafik negara-negara penulis koresponding author menunjukkan bahwa China adalah negara yang paling dominan dalam penelitian pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan. China memiliki jumlah dokumen tertinggi dengan hampir 40 publikasi dari penulis tunggal negara (SCP) dan sekitar 15 publikasi dari kolaborasi multi-negara (MCP). Dominasi ini mencerminkan tingginya tingkat perhatian dan sumber daya yang dialokasikan oleh China untuk mengatasi masalah pencemaran udara, yang mungkin disebabkan oleh tingkat polusi yang tinggi di negara tersebut. Selain itu, Amerika Serikat juga menunjukkan kontribusi yang signifikan dengan lebih dari 20 publikasi SCP dan sekitar 10 publikasi MCP, menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini juga sangat aktif di Amerika Serikat.

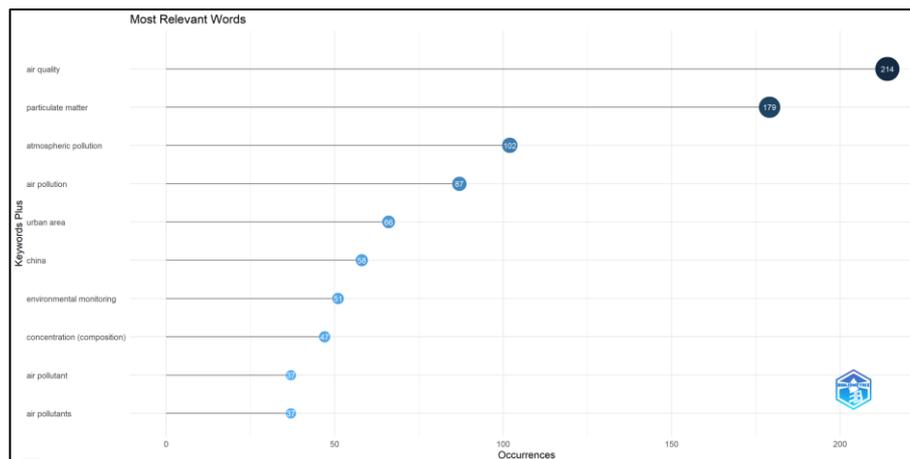
Negara-negara lain yang juga memiliki kontribusi penting termasuk India, Italia, dan Portugal, yang masing-masing memiliki lebih dari 10 publikasi SCP dan beberapa publikasi MCP. Hal ini menunjukkan bahwa masalah pencemaran udara PM_{2,5} adalah isu global yang menarik perhatian dari berbagai negara di seluruh dunia. Kolaborasi multi-negara yang terlihat dalam grafik ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} sering melibatkan kerjasama internasional, yang penting untuk menemukan solusi yang efektif dan berbagi pengetahuan serta teknologi. Negara-negara seperti Korea, Polandia, dan Spanyol juga menunjukkan kontribusi yang signifikan, menandakan bahwa penelitian ini adalah bidang yang luas dan interdisipliner yang melibatkan berbagai negara dan institusi.



Gambar 7. Negara yang Banyak Dikutip

Gambar 7 adalah grafik negara yang banyak dikutip menunjukkan bahwa China dan Amerika Serikat adalah negara-negara yang paling banyak dikutip dalam penelitian pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan. China memiliki jumlah kutipan tertinggi, dengan lebih dari 600 kutipan, menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan oleh peneliti di China sangat berpengaruh dan sering dijadikan referensi oleh peneliti lain di seluruh dunia. Amerika Serikat juga menunjukkan jumlah kutipan yang signifikan, dengan lebih dari 500 kutipan. Dominasi kedua negara ini mencerminkan tingginya kualitas dan relevansi penelitian yang dilakukan di sana, serta kontribusi besar mereka dalam memahami dan mengelola masalah pencemaran udara PM_{2,5}.

Negara-negara Eropa seperti Italia, Portugal, dan Spanyol juga menunjukkan jumlah kutipan yang cukup tinggi, masing-masing dengan lebih dari 200 kutipan. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian di negara-negara ini juga sangat dihargai dan sering dirujuk dalam literatur ilmiah. Selain itu, negara-negara seperti Polandia, Hong Kong, dan Yunani juga memiliki kontribusi yang signifikan, meskipun dengan jumlah kutipan yang lebih rendah. Keberagaman negara yang banyak dikutip ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} adalah isu global yang melibatkan kontribusi dari berbagai negara dan wilayah, mencerminkan pentingnya kolaborasi internasional dalam mengatasi masalah lingkungan yang kompleks ini.

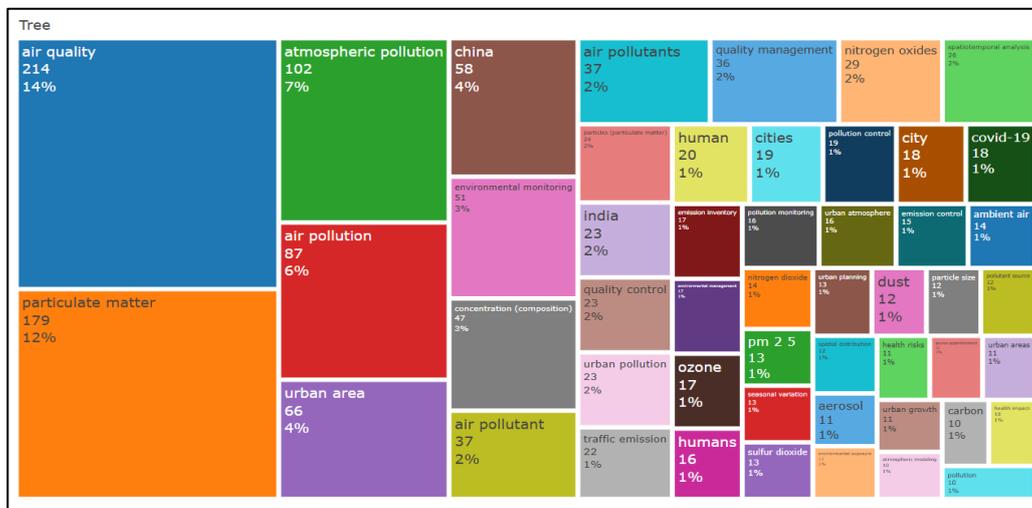


Gambar 8. Kata Kunci Paling Relevan

Gambar 8 adalah grafik yang menunjukkan kata kunci paling relevan dalam penelitian terkait pengelolaan pencemaran udara PM_{2,5} di daerah perkotaan. Kata kunci “air pollution” memiliki frekuensi tertinggi, hampir mencapai 200 kemunculan, yang menunjukkan bahwa topik ini sangat dominan dalam literatur. Kata kunci “particulate matter” dan “PM_{2,5}” juga memiliki frekuensi tinggi,

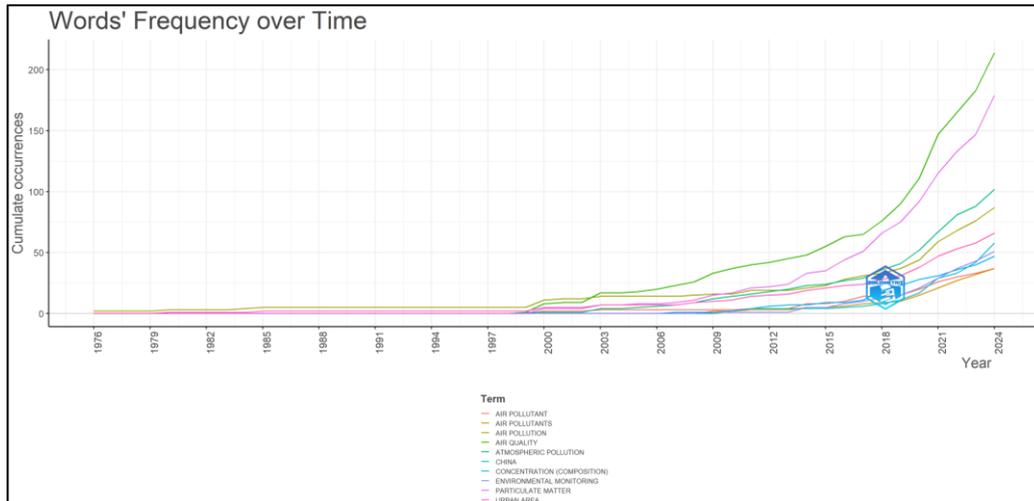
mengindikasikan fokus yang kuat pada partikel halus sebagai polutan utama yang diukur dan dianalisis. “Air quality index (AQI)” dan “urban area” juga sering muncul, menunjukkan pentingnya pemantauan kualitas udara dan konteks perkotaan dalam penelitian ini. Kata kunci “environmental monitoring” dan “air pollutants” memiliki frekuensi yang lebih rendah, tetapi tetap relevan, mencerminkan aspek teknis dan spesifik dari pemantauan dan jenis polutan yang diteliti.

Analisis ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pengelolaan pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan sangat terfokus pada pemahaman dan pengukuran polusi udara secara umum, dengan penekanan khusus pada partikel halus dan indeks kualitas udara. Frekuensi tinggi dari kata kunci terkait menunjukkan bahwa ada perhatian besar terhadap dampak kesehatan dan lingkungan dari PM2.5, serta pentingnya pemantauan dan pengelolaan kualitas udara di daerah perkotaan. Kata kunci dengan frekuensi lebih rendah, seperti “environmental monitoring” dan “air pollutants,” menunjukkan bahwa meskipun aspek-aspek ini penting, mereka mungkin lebih spesifik atau teknis dalam konteks penelitian yang lebih luas. Hal ini dapat memberikan wawasan tentang area yang mungkin memerlukan lebih banyak penelitian atau perhatian dalam upaya pengelolaan pencemaran udara di masa depan.



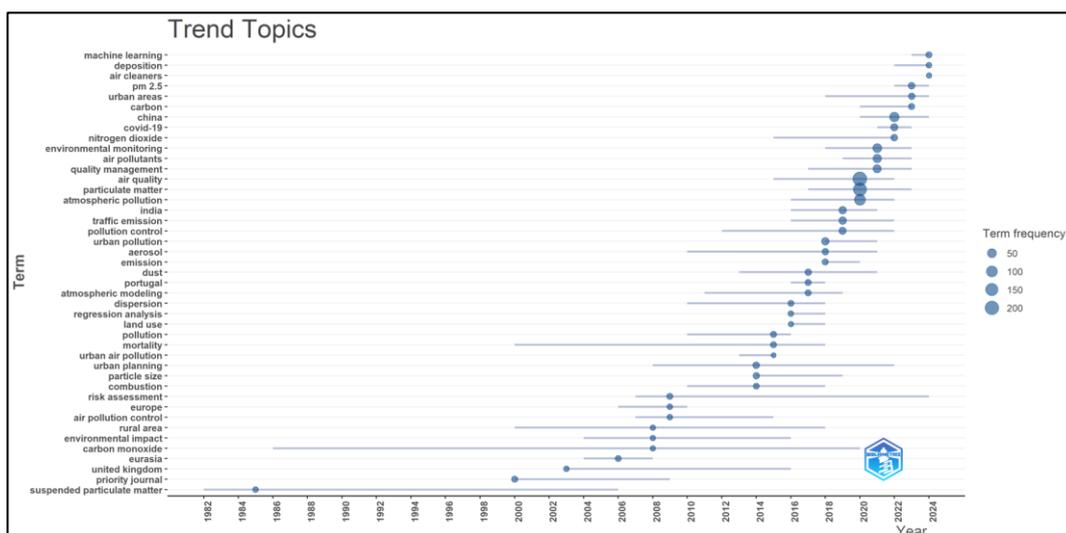
Gambar 9. Distribusi Kata Kunci

Gambar 9 merupakan distribusi persentase kata kunci dalam penelitian bibliometrik terkait pengelolaan pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan. Kata kunci “air quality” (14%) dan “particulate matter” (12%) juga memiliki persentase yang signifikan, mengindikasikan bahwa kualitas udara dan partikel halus adalah aspek penting yang sering dibahas dalam penelitian ini. “Urban area” (4%) dan “atmospheric pollution” (7%) juga menonjol, menunjukkan bahwa konteks perkotaan dan polusi atmosfer secara umum adalah area yang sering dieksplorasi. Kata kunci seperti “human health,” “nitrogen oxides,” dan “COVID-19” muncul dengan persentase lebih kecil, tetapi tetap relevan, mencerminkan perhatian terhadap dampak kesehatan dan polutan spesifik dalam konteks pandemi.



Gambar 10. Frekuensi Kata Kunci dari Waktu ke Waktu

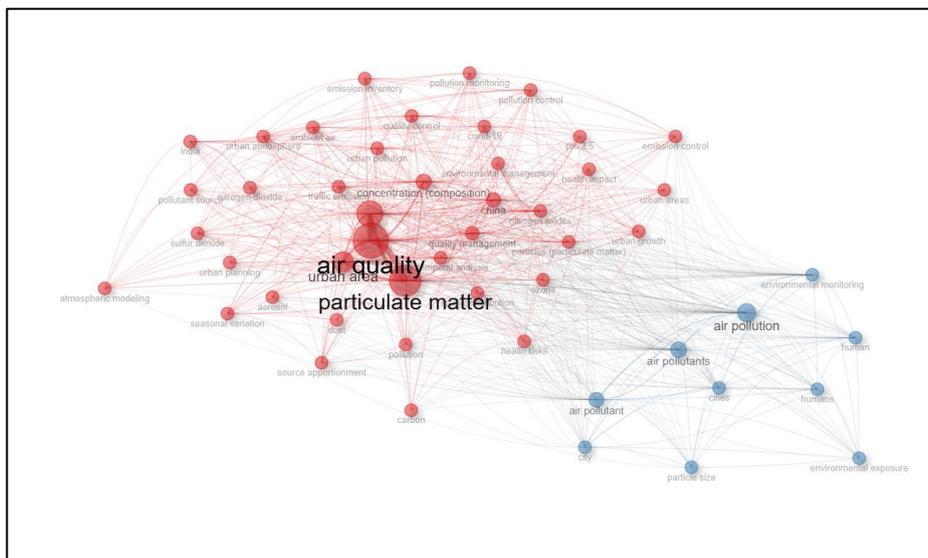
Gambar 10 menunjukkan frekuensi kumulatif dari berbagai kata kunci dalam penelitian bibliometrik terkait pengelolaan pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan dari tahun 1976 hingga 2024. Kata kunci seperti “PM2.5,” “air pollution,” “air quality,” “atmospheric pollution,” “concentration,” “environmental monitoring,” dan “particulate matter” semuanya menunjukkan tren peningkatan yang signifikan dari waktu ke waktu. Terutama setelah tahun 2015, terlihat lonjakan tajam dalam frekuensi penggunaan kata kunci ini, yang mencerminkan meningkatnya perhatian dan penelitian terhadap isu-isu terkait polusi udara di daerah perkotaan. Kata kunci “air pollution” dan “PM2.5” menunjukkan peningkatan yang paling signifikan, menandakan bahwa topik ini menjadi semakin relevan dan penting dalam literatur ilmiah. Peningkatan ini juga dapat dikaitkan dengan meningkatnya kesadaran global tentang dampak kesehatan dan lingkungan dari polusi udara, serta perkembangan teknologi pemantauan dan regulasi yang lebih ketat. Grafik ini memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana fokus penelitian telah berkembang dan meningkat seiring waktu, menunjukkan prioritas dan perhatian yang diberikan oleh komunitas ilmiah terhadap pengelolaan pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan.



Gambar 11. Tren Topik Penelitian

Gambar 11 menunjukkan tren topik penelitian dalam kajian bibliometrik terkait pengelolaan

pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan dari tahun 1998 hingga 2021. Setiap topik diwakili oleh titik-titik dengan ukuran yang bervariasi sepanjang sumbu waktu, di mana ukuran titik mencerminkan frekuensi kemunculan topik tersebut dalam literatur. Topik seperti “machine learning” dan “decision trees” menunjukkan peningkatan signifikan dalam beberapa tahun terakhir, mencerminkan adopsi teknologi canggih dalam analisis dan pengelolaan data polusi udara. “Air quality index” dan “urban areas” juga menunjukkan tren yang stabil dan meningkat, menandakan pentingnya pemantauan kualitas udara dan konteks perkotaan dalam penelitian ini. Topik seperti “environmental monitoring” dan “particulate matter” tetap relevan sepanjang periode, menunjukkan fokus berkelanjutan pada pemantauan lingkungan dan partikel polutan spesifik. Grafik ini memberikan wawasan mendalam tentang bagaimana fokus penelitian telah berkembang dan berubah seiring waktu, serta menunjukkan adopsi teknologi baru dan peningkatan perhatian terhadap isu-isu spesifik dalam pengelolaan pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan.



Gambar 12. Visualisasi *Network* pada *Co-occurrence*

Gambar 12 merupakan visualisasi network yang Anda menunjukkan hubungan ko-occurrence dalam penelitian bibliometrik terkait pengelolaan pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan. Pada pusat jaringan terdapat node besar yang dilabeli “air quality” dan “particulate matter,” menunjukkan bahwa kedua topik ini adalah tema sentral dalam penelitian. Node-node ini dikelilingi oleh banyak node lebih kecil yang terhubung dengan garis, menunjukkan hubungan atau ko-occurrence antara berbagai istilah dan konsep dalam studi yang dianalisis. Warna node bervariasi dari merah ke biru, kemungkinan menunjukkan kategori yang berbeda atau tingkat kekuatan koneksi dalam jaringan. Node “air pollution” dan “air pollutants” juga terlihat menonjol, mengindikasikan bahwa polusi udara secara umum dan polutan spesifik adalah topik penting yang sering dibahas. Visualisasi ini memberikan gambaran sekilas tentang bagaimana berbagai konsep terkait polusi udara saling berhubungan dan topik mana yang paling menonjol dalam penelitian akademis tentang pengelolaan pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan. Hal ini dapat membantu peneliti untuk mengidentifikasi area yang paling banyak diteliti serta potensi celah dalam literatur yang memerlukan perhatian lebih lanjut.

KESIMPULAN

Dari berbagai analisis yang telah dilakukan, terlihat bahwa penelitian tentang pengelolaan pencemaran udara PM2.5 di daerah perkotaan menunjukkan tren yang meningkat secara signifikan, terutama setelah tahun 2015. Topik-topik seperti “air pollution,” “air quality,” dan “particulate matter” mendominasi

literatur, menunjukkan fokus yang kuat pada pemahaman dan pengukuran polusi udara serta dampaknya terhadap kesehatan dan lingkungan. Adopsi teknologi canggih seperti “*machine learning*” dan “*decision trees*” dalam analisis data polusi udara juga mencerminkan upaya untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pemantauan dan pengelolaan kualitas udara. Visualisasi network menunjukkan hubungan erat antara berbagai konsep, menandakan bahwa penelitian ini bersifat multidisiplin dan mencakup berbagai aspek teknis dan kesehatan.

Kaitan penelitian ini dengan peluang kebaruan (*novelty*) dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) sangat jelas. Fokus pada PM2.5 dan kualitas udara di daerah perkotaan sejalan dengan SDG 3 (Kesehatan yang Baik dan Kesejahteraan) dan SDG 11 (Kota dan Komunitas yang Berkelanjutan). Penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pemahaman ilmiah tentang polusi udara tetapi juga menawarkan solusi praktis untuk meningkatkan kualitas hidup di daerah perkotaan. Peluang kebaruan muncul dari penggunaan teknologi baru dan pendekatan interdisipliner yang dapat membuka jalan bagi metode pemantauan dan pengelolaan yang lebih efektif. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya relevan secara akademis tetapi juga memiliki dampak nyata dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat perkotaan.

Rekomendasi Praktis :

1. Peningkatan Sistem Pemantauan Kualitas Udara: Pemerintah kota dapat mengadopsi teknologi sensor rendah biaya dan pemrosesan data berbasis *machine learning* untuk memantau PM2.5 secara real-time, sehingga memungkinkan respons cepat terhadap lonjakan polusi.
2. Kebijakan Transportasi Ramah Lingkungan: Mendorong penggunaan kendaraan listrik, peningkatan transportasi umum yang efisien, dan pengurangan kendaraan berbahan bakar fosil untuk menekan emisi di pusat kota.
3. Penghijauan Kota: Menanam lebih banyak pohon di area perkotaan untuk menyerap polutan udara dan meningkatkan kualitas udara secara alami.
4. Pengendalian Emisi Industri: Menerapkan standar emisi yang lebih ketat untuk pabrik dan industri di kawasan perkotaan, serta menyediakan insentif untuk teknologi pengendalian polusi.
5. Kampanye Kesadaran Publik: Mengedukasi masyarakat tentang dampak polusi udara dan mendorong perilaku ramah lingkungan, seperti bersepeda atau berjalan kaki.
6. Kolaborasi Interdisipliner: Meningkatkan kerja sama antara ahli lingkungan, insinyur data, pembuat kebijakan, dan organisasi masyarakat untuk merancang solusi yang efektif dan berkelanjutan.

Dengan rekomendasi ini, hasil penelitian tidak hanya menjadi referensi akademik tetapi juga berfungsi sebagai pedoman praktis untuk pengelolaan pencemaran udara yang lebih baik di perkotaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, F., et al. (2020). Trends in Low-Cost Sensor Technology for Air Quality Monitoring: A Bibliometric Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121585. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121585
- Aghorru, R., & Kopravi, M. (2023). Rancang Bangun Sistem Pemantau Kualitas Udara dan Polusi Udara PM2,5 Yang terintegrasi dengan Platform. *Technologia Jurnal Ilmiah*, 14(3), 311–311. <https://doi.org/10.31602/Tji.V14i3.12029>
- Astuti, W., & Kusumawardani, Y. (2017). Analisis Pencemaran Udara Dengan Box Model (Daya Tampung Beban Pencemar Udara) Studi Kasus Di Kota Tangerang. *Jurnal Neo Teknika*, 3(1), 21–28.
- Azer, S. A. (2017). Top-Cited Articles in Problem-Based Learning: A Bibliometric Analysis and Quality of Evidence Assessment. *Journal of Dental Education*, 81(4), 458–478. <https://doi.org/10.21815/JDE.016.011>
- Castell, N., et al. (2017). Can Low-Cost Sensors Substantially Improve Air Quality Monitoring and Exposure Assessment?. *Environmental International*, 99, 293–302. DOI: 10.1016/j.envint.2016.12.007

- Casado-Aranda, L.-A. (2021). Analysis of the scientific production of the effect of COVID-19 on the environment: A bibliometric study. *Environmental Research*, 193, 110416–110416. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2020.110416>
- Chen, W. (2015). Air Quality of Beijing and Impacts of the New Ambient Air Quality Standard.
- Deshermansyah, D. (2016). Evaluasi Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara Dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Udara DKI Jakarta. *IJEEM - Indonesian Journal Of Environmental Education And Management*, 1(1), 1–21. <https://doi.org/10.21009/Ijeem.011.01>
- Gusti, W., Noviana, N., Sartika, R., Anggraini, L., Pradipta, A., & Johan, H. (2023). Analisis Kondisi Udara Di Kota Bengkulu Sebagai Landasan Pembelajaran Pencemaran Udara Siswa SMP. *PSEJ (Pancasakti Science Education Journal)*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.24905/Psej.V8i1.162>
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). *Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. 1(3), 241–248. <https://doi.org/10.25292/J.Mtl.V1i3.23>
- Irawadi, R., & Razif, M. (2023). Keterkaitan Curah Hujan Terhadap PM2.5 Dan PM10 Di Pos Pengamatan Kualitas Udara Cibereum, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *JURNAL ENVIROTEK*, 15(1), 22–26. <https://doi.org/10.33005/Envirotek.V15i1.216>
- Mead, M.I., et al. (2013). The Use of Electrochemical Sensors for Monitoring Urban Air Quality in Low-Cost, High-Density Networks. *Atmospheric Environment*, 70, 186-203. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.11.060
- Rosa, A. A., Simon, B. A., & Lieanto, K. S. (2020). Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 Dan MQ-135. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 12(1), 23-28.
- Santosa, S. J., Okuda, T., & Tanaka, S. (2008). Air Pollution And Urban Air Quality Management In Indonesia. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 36(5-6), 466-475.
- Santoso, D. H., Santosa, S. J., & Sekaranom, A. B. (2024, May). Analysis And Trends Research Publications On Air Quality (PM 2.5) Management Strategies. In IOP Conference Series: Earth And Environmental Science (Vol. 1339, No. 1, P. 012042). IOP Publishing.
- Saputra, A. E., & Akmal, D. (2021). Identifikasi Paparan PM2, 5 Di Wilayah Kota Cimahi. *Jurnal Kesehatan Kartika*, 16(3), 104-109.
- Shah, J. J., & Nagpal, T. (Eds.). (1997). *Urban Air Quality Management Strategy In Asia: Kathmandu Valley Report* (Vol. 378). World Bank Publications.
- Wellid, I., Simbolon, L. M., Falahuddin, M. A., Nurfitriani, N., Sumeru, K., Bin Sukri, M. F., & Yuningsih, N. (2024). Evaluasi Polusi Udara PM2. 5 Dan PM10 Di Kota Bandung Serta Kaitannya Dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(2), 129-137.
- Zhang, M. (2019). The 100 most-cited articles on prenatal diagnosis: A bibliometric analysis. *Medicine*, 98(38). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000017236>