

Kajian Literatur Review Publikasi Pencemaran Udara Parameter PM_{2,5} di Benua Eropa dan Benua Afrika

Ricky Al Fahri¹⁾ dan Dian Hudawan Santoso^{1,2a)}

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 dari partikel debu terutama PM_{2,5} akhir-akhir ini mulai banyak mendapatkan perhatian dari berbagai kalangan. Dampak negatif pencemaran PM_{2,5} pada suatu daerah dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan yang pada akhirnya dapat mengganggu kesehatan manusia. Kajian literatur review dilakukan guna mengetahui bagaimana perbandingan tren penelitian terkait partikel debu PM_{2,5} di benua Eropa yang mewakili negara maju serta benua Afrika yang mewakili negara miskin atau berkembang. Kajian literatur review penelitian pencemaran udara ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang baik terhadap fenomena pencemaran udara diantara ke dua kawasan tersebut. Kajian literatur review dilakukan dengan metode bibliometrik. Metadata dikumpulkan dari berbagai artikel yang terindeks Scopus. Penelusuran artikel dilakukan sebanyak dua kali dengan kata kunci berupa “*air pollution*” OR “*air quality*” AND “*Europe*” AND “*particulate matter*” OR *pm* OR *pm_{2,5}*. Kata kunci pada penelusuran yang kedua adalah “*air pollution*” OR “*air quality*” AND “*Africa*” AND “*particulate matter*” OR *pm* OR *pm_{2,5}* dengan kategori, judul artikel, abstrak, dan kata kunci. Metadata dipilih berdasarkan subject area, tipe dokumen, kata kunci, tahap publikasi, tipe sumber dan bahasa. Metadata yang telah didapatkan kemudian diekspor dalam format CSV untuk dianalisis dengan bantuan *software Biblioshiny*. Kajian ini dapat memberikan sudut pandang baru terkait penelitian yang sejenis sehingga dapat melengkapi khazanah keilmuan bidang penelitian terkait. Hasil kajian menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan tingkat pencemaran antara Eropa dan Afrika, kedua benua menghadapi tantangan serupa dalam pengelolaan polusi udara. Implikasi praktisnya mencakup penerapan kebijakan mitigasi yang disesuaikan dengan kondisi lokal, serta mempertimbangkan faktor sosial-ekonomi dan geografis untuk mengurangi konsentrasi PM_{2,5}. Secara ilmiah, penelitian ini berkontribusi dalam pemahaman distribusi dan dampak PM_{2,5}, serta membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut tentang teknologi pemantauan dan pengembangan kebijakan mitigasi berbasis bukti.

Kata kunci : Africa; bibliometrik; Eropa; PM_{2,5}; pencemaran udara

ABSTRACT

Air pollution from dust particles, especially PM_{2,5}, has recently started to get a lot of attention from various circles. The negative impact of PM_{2,5} pollution in an area can cause a decrease in environmental quality, which in turn can interfere with human health. The literature review was conducted to find out how the comparison of research trends related to PM_{2,5} dust particles in the European continent which represents developed countries and the African continent which represents poor or developing countries. This literature review of air pollution research is expected to provide good insight into the phenomenon of air pollution between the two regions. The literature review was conducted using bibliometric methods. Metadata was collected from various Scopus-indexed articles. The article search was conducted twice with keywords such as "air pollution" OR "air quality" AND "Europe" AND "particulate matter" OR pm OR pm_{2,5}. The keywords for the second search were "air pollution" OR "air quality" AND "Africa" AND "particulate matter" OR pm OR pm_{2,5} with categories, article title, abstract, and keywords. Metadata was selected based on subject area, document type, keywords, publication stage, source type, and language. The metadata that has been obtained is then exported in CSV format to be analyzed with the help of Biblioshiny software. This study can provide a new perspective related to similar research so that it can complement the scientific repertoire of related research fields. This study can provide a new perspective related to similar research so that it can complement the scientific repertoire of related research fields. This study can provide a new perspective on similar research so that it can complement the scientific treasury of related research fields. The results of the study show that despite the

differences in pollution levels between Europe and Africa, both continents face similar challenges in air pollution management. Practical implications include the implementation of mitigation policies that are tailored to local conditions, and consider socio-economic and geographical factors to reduce PM_{2.5} concentrations. Scientifically, this study contributes to the understanding of the distribution and impacts of PM_{2.5}, and opens up opportunities for further research on monitoring technology and the development of evidence-based mitigation policies.

Keywords: Africa; air pollution; bibliometrics; Europe; PM_{2.5}

PENDAHULUAN

Pencemaran udara telah menjadi isu lingkungan global yang mendesak, mempengaruhi kualitas hidup milyaran orang di seluruh dunia (Santoso *et al.*, 2024). Salah satu indikator utama kualitas udara adalah konsentrasi PM_{2.5}, partikel halus dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer yang dapat menembus jauh ke dalam sistem pernapasan dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan. Meski setiap benua menghadapi tantangan yang berbeda terkait pencemaran udara, Benua Eropa dan Afrika menawarkan kontras yang tajam dalam pendekatan, penyebab, dan dampak pencemaran udara, khususnya PM_{2.5} (Kallos *et al.*, 1998).

Di Eropa, tingkat pencemaran udara PM_{2.5} secara umum mengalami penurunan dalam beberapa dekade terakhir (Piketh, S. J., & Walton, N. M., 2004). Berkat kebijakan lingkungan yang ketat dan teknologi yang lebih bersih, negara-negara di Eropa telah berhasil mengurangi emisi polutan berbahaya. Meskipun begitu, beberapa kota besar di Eropa masih mengalami tingkat PM_{2.5} yang tinggi, terutama di musim dingin, akibat faktor seperti transportasi berbasis bahan bakar fosil dan penggunaan energi berbasis batubara (Koolen, C. D., & Rothenberg, G., 2019). Oleh karena itu, meski telah ada kemajuan, kualitas udara di Eropa masih menghadapi tantangan serius.

Sebaliknya, Afrika menghadapi kondisi yang lebih sulit (Fisher *et al.*, 2021). Pertumbuhan populasi yang pesat, urbanisasi yang tak terkontrol, serta ketergantungan pada bahan bakar fosil dan biomassa untuk keperluan rumah tangga dan industri telah menjadikan kualitas udara di beberapa kota besar di Afrika sangat buruk. Negara-negara seperti Nigeria, Mesir, dan Afrika Selatan mencatat konsentrasi PM_{2.5} yang secara rutin melebihi ambang batas aman yang direkomendasikan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO). Pencemaran udara di Afrika menjadi perhatian besar (Imane *et al.*, 2022), terutama karena kurangnya regulasi yang efektif serta infrastruktur yang memadai untuk memantau dan mengendalikan emisi (Katoto *et al.*, 2019).

Perbedaan mendasar dalam sumber pencemaran antara Eropa dan Afrika juga menunjukkan tingkat industrialisasi yang berbeda (Lacressonnière *et al.*, 2017). Di Eropa, pencemaran PM_{2.5} lebih banyak berasal dari sektor transportasi dan industri, meskipun ada peningkatan dalam penggunaan energi terbarukan (Stohl *et al.*, 2002). Di Afrika, pencemaran udara PM_{2.5} umumnya bersumber dari aktivitas domestik seperti pembakaran kayu dan arang untuk keperluan memasak, serta dari polusi industri yang tidak diatur dengan baik (Makoni., 2020). Faktor-faktor ini memperburuk kondisi udara di daerah perkotaan Afrika yang sedang berkembang pesat.

Secara geografis, Eropa dan Afrika juga memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda yang mempengaruhi pola distribusi PM_{2.5}. Eropa, dengan iklim yang lebih stabil, memiliki polusi udara yang lebih terkonsentrasi di daerah perkotaan dan industri. Di sisi lain, Afrika mengalami kontribusi besar dari debu gurun, khususnya dari Gurun Sahara, yang dapat membawa partikel halus melintasi benua. Fenomena alam ini menambah beban pencemaran di Afrika, terutama di wilayah Afrika Utara dan sekitarnya.

Dampak kesehatan dari paparan PM_{2.5} tidak dapat diabaikan. Di Eropa, meskipun kualitas udara relatif lebih baik dibandingkan Afrika, jumlah korban akibat penyakit pernapasan dan kardiovaskular terkait polusi udara tetap signifikan. Sementara itu, di Afrika, tingginya tingkat PM_{2.5} di udara berdampak buruk pada kesehatan jutaan penduduk yang tinggal di kota-kota besar, terutama kelompok yang paling rentan seperti anak-anak

dan lansia. Kurangnya akses ke pelayanan kesehatan yang memadai memperburuk dampak ini (Fayiga *et al.*, 2018).

Perbandingan antara Eropa dan Afrika dalam hal pencemaran udara, khususnya PM_{2,5}, memberikan wawasan penting tentang bagaimana perbedaan dalam regulasi, sumber energi, dan kondisi sosial-ekonomi dapat memengaruhi kualitas udara. Dengan demikian, pendekatan dan solusi untuk mengatasi pencemaran udara di kedua benua ini harus disesuaikan dengan konteks lokal, serta melibatkan kerjasama global untuk mencapai tujuan kualitas udara yang lebih baik.

Dalam artikel ini, akan dibahas lebih lanjut terkait dengan tren penelitian pencemaran udara pada parameter PM_{2,5} di Benua Eropa dan Benua Afrika. Diharapkan dapat mengetahui pola-pola penelitian sejenis untuk dijadikan sebagai dasar dalam penentuan penelitian baru yang dapat mengisi kesenjangan penelitian yang sejenis. Pada akhirnya dapat diberikan alternatif solusi dalam mengurangi dampak buruk PM_{2,5} terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

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 Wales 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 pollution*” OR “*air quality*” AND “*europa*” AND “*particulate matter*” OR *pm* OR *pm_{2,5}*. Kata kunci pada penelusuran yang kedua adalah “*air pollution*” OR “*air quality*” AND “*africa*” AND “*particulate matter*” OR *pm* OR *pm_{2,5}* dengan kategori, judul artikel, abstrak, dan kata kunci, dalam kurun waktu 1984 – 2024. Pencarian artikel dilakukan pada tanggal 4 Oktober 2024 dengan didapatkan sejumlah 250 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 48 dokumen. Selanjutnya dari data literatur SCOPUS yang telah disaring diekspor dalam format CSV ke dalam Blioshiny app (<https://www.bibliometrix.org>). Ada banyak alternatif perangkat lunak bibliometrik yang dapat digunakan seperti CiteSpace (Cheng, S. 2019), BibExcel, VOSviewer, CitiNet Explorer dan Biblioshiny. Dalam artikel ini Biblioshiny dipilih dengan berbagai kelebihan dan kekurangan yang ada dibandingkan dengan perangkat lunak yang lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang analisis terkait hasil pencarian artikel berdasarkan data literatur SCOPUS. Analisis ini mencakup pemeriksaan trend dan kemajuan dalam artikel yang berkaitan dengan pencemaran udara *pm_{2,5}* dari Benua Eropa dan Benua Afrika.

Tabel 1. Informasi Utama Artikel yang Diterbitkan Dikumpulkan Dari Data Literatur Scopus Penelitian Pencemaran Udara PM_{2,5} Di Benua Eropa

Deskripsi	Hasil
INFORMASI UTAMA TERKAIT DATA	
Waktu (<i>timespan</i>)	1969 – 2024
Sumber (Jurnal, Buku, dan sebagainya)	270
Dokumen	940
%Tingkat Pertumbuhan Tahunan	7, 21
Rata-rata Usia Dokumen	9,09
Rata-rata Sitasi setiap Dokumen	35,26
Referensi	42.786
ISI DOKUMEN	
Kata Kunci Tambahan (ID)	4.694
Kata Kunci Penulis (DE)	2.027
PENULIS	
Penulis	3.981
Penulis dari Dokumen Penulis Tunggal	70
KOLABORASI PENULIS	
Dokumen dengan Penulis Tunggal	82
Rekan Penulis per Dokumen	5,95
%Rekan Penulis Internasional	36,81
TIPE DOKUMEN	
Artikel	940

(Sumber : Analisis Penulis Tahun 2024)

Berdasarkan **Tabel 1** yang merangkum hasil pencarian artikel di Scopus tentang pencemaran udara parameter PM2.5 di Benua Eropa, terdapat total 940 dokumen yang dipublikasikan dalam rentang waktu 1984 hingga 2024. Tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata adalah 7,21%, dengan 270 artikel yang memiliki rata-rata 35,26 sitasi per dokumen. Dokumen-dokumen ini berasal dari 52 sumber berbeda, dan rata-rata usia dokumen adalah 9,09 tahun. Diketahui pula jumlah referensi adalah 42786. Terdapat 4694 kata kunci plus (ID) dan 2027 kata kunci dari penulis (DE). Jumlah total penulis adalah 3981, dengan 70 di antaranya adalah penulis tunggal. Rata-rata jumlah penulis per dokumen adalah sekitar 5,95, dan 36,81% dari dokumen tersebut melibatkan kerjasama internasional. Data ini menunjukkan adanya minat penelitian yang signifikan dan kolaborasi internasional yang kuat dalam studi pencemaran udara PM2.5 di Eropa.

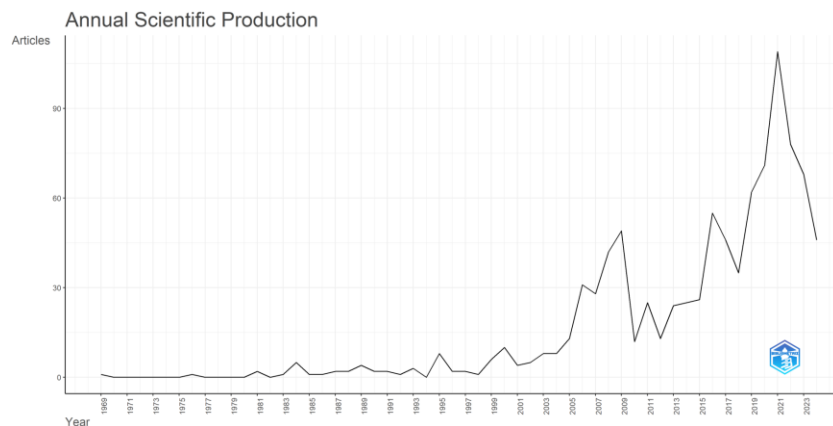
Tabel 2. Informasi utama artikel yang diterbitkan dikumpulkan dari data literatur Scopus penelitian pencemaran udara PM2,5 di benua Eropa

Deskripsi	Hasil
INFORMASI UTAMA TERKAIT DATA	
Waktu (<i>timespan</i>)	1984 – 2024
Sumber (Jurnal, Buku, dan sebagainya)	52
Dokumen	100
%Tingkat Pertumbuhan Tahunan	5,65
Rata-rata Usia Dokumen	6,67
Rata-rata Sitasi setiap Dokumen	16,76
Referensi	4.876
ISI DOKUMEN	
Kata Kunci Tambahan (ID)	664
Kata Kunci Penulis (DE)	313
PENULIS	
Penulis	432
Penulis dari Dokumen Penulis Tunggal	6

Deskripsi	Hasil
INFORMASI UTAMA TERKAIT DATA	
KOLABORASI PENULIS	
Dokumen dengan Penulis Tunggal	6
Rekan Penulis per Dokumen	5,43
%Rekan Penulis Internasional	45
TIPE DOKUMEN	
Artikel	100

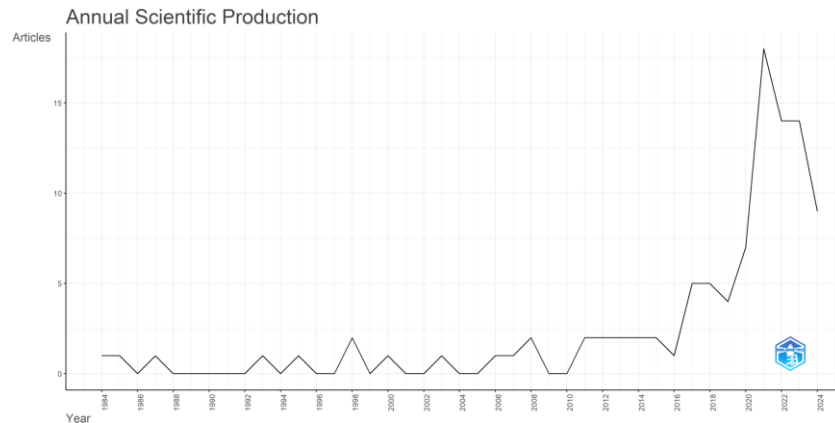
(Sumber : Analisis Penulis Tahun 2024)

Berdasarkan **Tabel 2** yang merangkum hasil pencarian artikel di Scopus tentang pencemaran udara parameter PM2.5 di Benua Afrika, terdapat total 100 dokumen yang dipublikasikan dalam rentang waktu 1984 hingga 2024. Tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata adalah 5,65%, dengan dokumen-dokumen ini memiliki rata-rata 16,76 sitasi per dokumen. Dokumen-dokumen ini berasal dari 52 sumber berbeda, dan rata-rata usia referensi adalah 6,67 tahun. Terdapat 664 kata kunci plus (ID) dan 313 kata kunci dari penulis (DE). Jumlah total penulis adalah 432, dengan enam di antaranya adalah penulis tunggal. Rata-rata jumlah penulis per dokumen adalah sekitar 5,43, dan 45% dari dokumen tersebut melibatkan kerjasama internasional. Data ini menunjukkan adanya minat penelitian yang signifikan dan kolaborasi internasional yang kuat dalam studi pencemaran udara PM2.5 di Afrika.



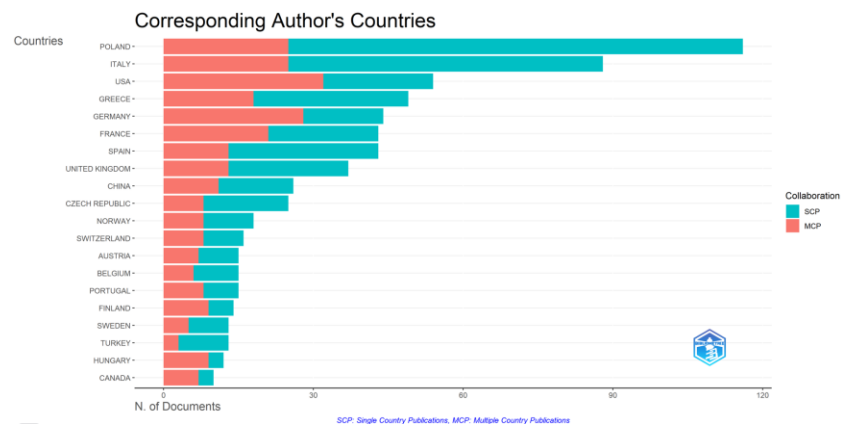
Gambar 1. Grafik Produksi Ilmiah Tahunan Di Benua Eropa
(Sumber : Hasil Analisis Penulis Tahun 2024)

Gambar 1 adalah grafik produksi ilmiah tahunan menunjukkan trend peningkatan jumlah artikel yang dipublikasikan tentang pencemaran udara parameter PM2.5 di Eropa. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa jumlah artikel meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun, dengan beberapa fluktuasi. Puncak tertinggi terjadi pada satu tahun tertentu dengan lebih dari 80 artikel yang dipublikasikan, diikuti oleh penurunan tajam setelahnya. Tahun-tahun yang menunjukkan kenaikan signifikan dalam produksi ilmiah termasuk tahun-tahun di mana jumlah artikel meningkat secara bertahap hingga mencapai puncaknya. Tren ini mencerminkan meningkatnya perhatian dan penelitian terhadap masalah pencemaran udara di Eropa, yang mungkin dipicu oleh meningkatnya kesadaran akan dampak kesehatan dan lingkungan dari PM2.5. Data ini menunjukkan bahwa penelitian tentang PM2.5 di Eropa terus berkembang, dengan kontribusi yang signifikan dari komunitas ilmiah.



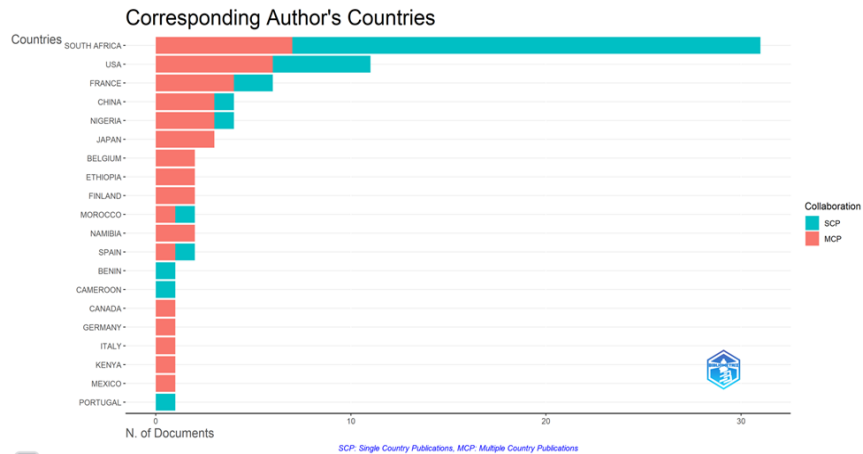
Gambar 2. Grafik Produksi Ilmiah Tahunan Di Benua Afrika
(Sumber : Hasil Analisis Penulis Tahun 2024)

Gambar 2 adalah grafik produksi ilmiah tahunan menunjukkan tren peningkatan jumlah artikel yang dipublikasikan tentang pencemaran udara parameter PM2.5 di Afrika. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa jumlah artikel meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun, dengan beberapa fluktuasi. Pada awal periode, jumlah artikel yang dipublikasikan berada di bawah 5 artikel per tahun. Namun, terjadi peningkatan yang stabil hingga mencapai puncak lebih dari 15 artikel per tahun pada tahun-tahun terakhir yang ditampilkan. Peningkatan ini mencerminkan meningkatnya perhatian dan penelitian terhadap masalah pencemaran udara di Afrika, yang mungkin dipicu oleh meningkatnya kesadaran akan dampak kesehatan dan lingkungan dari PM2.5. Data ini menunjukkan bahwa penelitian tentang PM2.5 di Afrika terus berkembang, dengan kontribusi yang signifikan dari komunitas ilmiah.



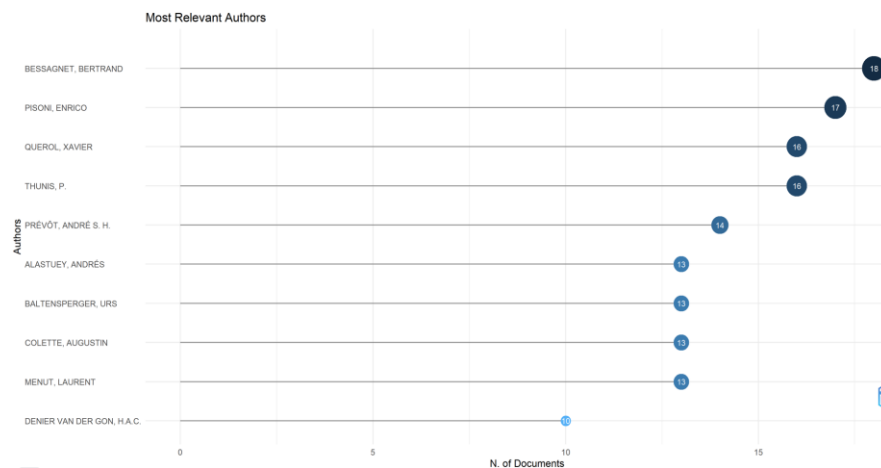
Gambar 3. Negara-negara Penulis Koresponding Author Di Benua Eropa
(Sumber : Hasil Analisis Penulis Tahun 2024)

Gambar 3 adalah grafik yang menunjukkan jumlah dokumen yang diterbitkan oleh penulis korespondensi dari berbagai negara di Eropa terkait penelitian pencemaran udara PM2.5. Negara dengan jumlah dokumen tertinggi adalah Italia, dengan lebih dari 90 dokumen, diikuti oleh Spanyol dan Jerman, masing-masing dengan sekitar 80 dan 70 dokumen. Grafik ini juga membedakan antara publikasi dari satu negara (SCP) yang ditandai dengan warna teal dan publikasi dari beberapa negara (MCP) yang ditandai dengan warna merah. Italia tidak hanya memiliki jumlah publikasi tunggal tertinggi tetapi juga terlibat dalam kolaborasi internasional yang signifikan. Negara-negara lain yang berkontribusi lebih dari 20 dokumen termasuk Yunani, Prancis, Inggris, Polandia, Denmark, Republik Ceko, dan Norwegia. Data ini mencerminkan aktivitas penelitian yang intensif dan kolaboratif di Eropa dalam menangani isu pencemaran udara PM2.5.



Gambar 4. Negara-Negara Penulis Koresponding Author Di Benua Afrika
(Sumber : Hasil Analisis Penulis Tahun 2024)

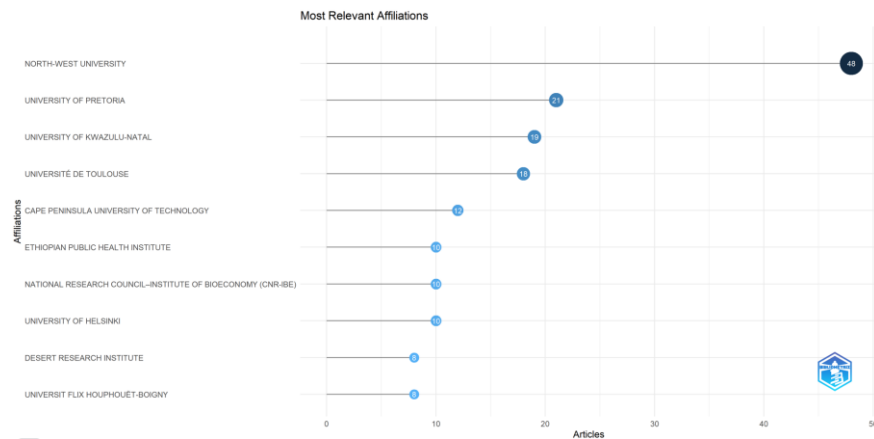
Gambar 4 menunjukkan jumlah dokumen yang diterbitkan oleh penulis korespondensi dari berbagai negara terkait penelitian pencemaran udara PM2.5 di Afrika. Negara dengan jumlah dokumen tertinggi adalah Afrika Selatan, dengan lebih dari 30 dokumen, diikuti oleh Nigeria dan Amerika Serikat, masing-masing dengan sekitar 25 dan 20 dokumen. Grafik ini juga membedakan antara publikasi dari satu negara (SCP) yang ditandai dengan warna teal dan publikasi dari beberapa negara (MCP) yang ditandai dengan warna merah. Afrika Selatan tidak hanya memiliki jumlah publikasi tunggal tertinggi tetapi juga terlibat dalam kolaborasi internasional yang signifikan. Negara-negara lain yang berkontribusi termasuk Prancis, China, Belgia, Ethiopia, Maroko, Spanyol, Kamerun, Kanada, Italia, Kenya, Meksiko, dan Portugal. Data ini mencerminkan aktivitas penelitian yang intensif dan kolaboratif di Afrika dalam menangani isu pencemaran udara PM2.5.



Gambar 5. Penulis yang Paling Relevan Di Benua Eropa
(Sumber : Hasil Analisis Penulis Tahun 2024)

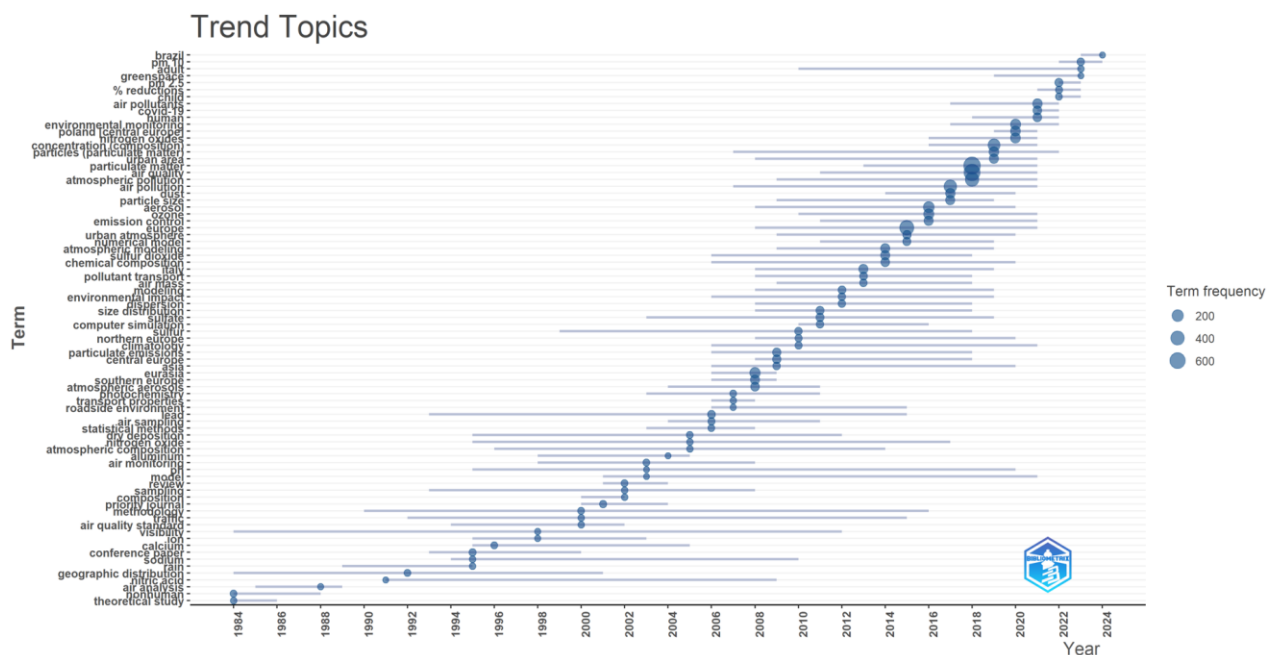
Gambar 5 menunjukkan penulis yang paling relevan dalam penelitian pencemaran udara PM2.5 di Eropa berdasarkan jumlah dokumen yang diterbitkan. Penulis dengan jumlah publikasi tertinggi adalah Bessagnet, Bertrand, dengan lebih dari 15 artikel. Diikuti oleh Pisoni, Enrico dan Querol, Xavier, masing-masing dengan sekitar 12 dan 10 artikel. Penulis lainnya yang juga berkontribusi signifikan termasuk Thunis, P., Prevot, André S H., Alastury, Andrés, Baltensporcieal Urs, Colette Augustin, Menuit Laurent, dan Dener

Van Der Con, H.A.C.. Grafik ini memberikan gambaran tentang penulis yang paling aktif dan berpengaruh dalam penelitian PM2.5 di Eropa, menunjukkan kontribusi mereka yang signifikan dalam bidang ini.



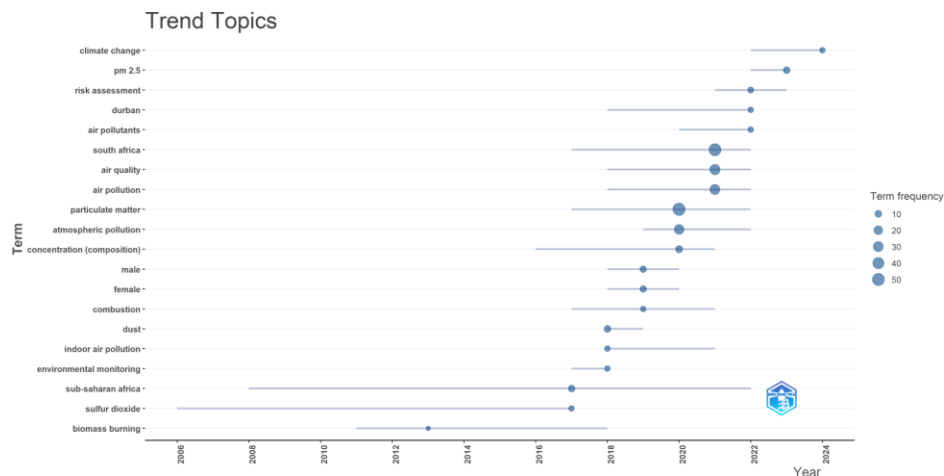
Gambar 6. Penulis yang Paling Relevan Di Benua Afrika
(Sumber : Hasil Analisis Penulis Tahun 2024)

Gambar 6 menunjukkan penulis yang paling relevan dalam penelitian pencemaran udara PM2.5 di Afrika berdasarkan jumlah dokumen yang diterbitkan. Penulis dengan jumlah publikasi tertinggi adalah Roelof Burger, dengan hampir 20 artikel. Diikuti oleh Janine Wichmann dan Stuart A. Piketh, masing-masing dengan sekitar 15 dan 12 artikel. Penulis lainnya yang juga berkontribusi signifikan termasuk Johan P. Beukes, Cathy Liousse, Pieter O. Van Zyl, Bruce Language, Caradeey Wright, Eric Gardrat, dan Redicccam Garland. Grafik ini memberikan gambaran tentang penulis yang paling aktif dan berpengaruh dalam penelitian PM2.5 di Afrika, menunjukkan kontribusi mereka yang signifikan dalam bidang ini.



Gambar 7. Tren Topik Penelitian Pencemaran Udara PM2,5 Di Benua Eropa
(Sumber : Hasil Analisis Penulis Tahun 2024)

Gambar 7 menunjukkan tren topik penelitian pencemaran udara PM_{2.5} di Eropa dari tahun 1984 hingga 2024. Kata kunci yang paling sering muncul termasuk *'air quality'*, *'emission'*, *'atmospheric'*, dan *'environmental policy'*. Setiap kata kunci ditampilkan dengan bar horizontal yang menunjukkan frekuensi kemunculannya pada tiga tahun berbeda: 2000, 2010, dan 2020, dengan warna abu-abu muda, abu-abu sedang, dan abu-abu gelap masing-masing. Misalnya, kata kunci *'air quality'* menunjukkan peningkatan signifikan dalam frekuensi dari tahun 2000 hingga 2020, mencerminkan perhatian yang semakin besar terhadap kualitas udara di Eropa. Demikian pula, kata kunci seperti *'emission'* dan *'atmospheric'* juga menunjukkan tren peningkatan, menandakan fokus yang terus berkembang pada emisi dan atmosfer dalam penelitian PM_{2.5}. Grafik ini memberikan wawasan tentang bagaimana topik-topik tertentu telah menjadi lebih menonjol dalam penelitian pencemaran udara PM_{2.5} di Eropa selama dua dekade terakhir.



Gambar 8. Tren Topik Penelitian Pencemaran Udara PM_{2.5} Di Benua Afrika
(Sumber : Hasil Analisis Penulis Tahun 2024)

Gambar 8 menunjukkan tren topik penelitian pencemaran udara PM_{2.5} di Afrika dari tahun 1998 hingga 2021. Kata kunci yang paling sering muncul termasuk *'climate change'*, *'risk assessment'*, *'urban'*, *'air pollutants'*, *'South Africa'*, *'air quality'*, *'particulate matter'*, dan *'biomass burning'*. Setiap titik pada grafik mewakili frekuensi kemunculan kata kunci tersebut pada tahun tertentu, dengan ukuran titik yang lebih besar menunjukkan frekuensi yang lebih tinggi. Misalnya, kata kunci *'climate change'* dan *'air quality'* menunjukkan peningkatan signifikan dalam frekuensi dari tahun 2000 hingga 2020, mencerminkan perhatian yang semakin besar terhadap perubahan iklim dan kualitas udara di Afrika. Demikian pula, kata kunci seperti *'particulate matter'* dan *'urban'* juga menunjukkan tren peningkatan, menandakan fokus yang terus berkembang pada partikel udara dan isu-isu perkotaan dalam penelitian PM_{2.5}. Grafik ini memberikan wawasan tentang bagaimana topik-topik tertentu telah menjadi lebih menonjol dalam penelitian pencemaran udara PM_{2.5} di Afrika selama dua dekade terakhir.

KESIMPULAN

Perbandingan penelitian pencemaran udara PM_{2.5} di Eropa dan Afrika menunjukkan perbedaan signifikan dalam jumlah publikasi, pendekatan, dan tantangan yang dihadapi. Eropa telah lebih maju dalam menurunkan kadar PM_{2.5} berkat regulasi ketat dan teknologi bersih, sementara Afrika masih tertinggal, dengan masalah utama seperti pembakaran biomassa dan debu Gurun Sahara yang memperburuk kualitas udara. Jumlah penelitian di Eropa jauh lebih tinggi dibandingkan Afrika, namun keduanya menunjukkan peningkatan

perhatian terhadap isu polusi udara. Peluang kebaruan di Afrika terutama terletak pada penelitian solusi untuk mitigasi dampak polusi dari biomassa dan urbanisasi tak terkendali, serta peningkatan infrastruktur pemantauan. Sementara di Eropa, tantangan utama masih terkait dengan polusi dari transportasi dan pemanasan selama musim dingin, yang membutuhkan inovasi teknologi lebih lanjut. Keduanya juga bisa memanfaatkan teknologi berbasis IoT dan sensor biaya rendah untuk pemantauan kualitas udara.

Penelitian PM_{2.5} di kedua benua terkait erat dengan tujuan SDGs, terutama SDG 3 (Kesehatan), SDG 7 (Energi Bersih), dan SDG 11 (Kota Berkelanjutan). Penelitian lebih lanjut di Afrika dapat berfokus pada penggantian biomassa dengan energi bersih, sementara di Eropa perlu fokus pada pengurangan polusi perkotaan dan dampak urban heat island. Kedua kawasan membutuhkan pendekatan lokal yang tepat untuk mencapai lingkungan yang lebih bersih dan sehat.

Saran untuk kebijakan dan penelitian di masa depan

Di Afrika, kebijakan sebaiknya fokus pada transisi energi dari biomassa ke energi bersih, serta pengembangan infrastruktur pemantauan kualitas udara dengan memanfaatkan teknologi berbasis sensor murah. Penelitian lebih lanjut perlu diarahkan pada solusi mitigasi dampak polusi dari pembakaran biomassa dan urbanisasi yang tidak terkendali. Di Eropa, kebijakan harus mengutamakan pengurangan polusi perkotaan dengan teknologi ramah lingkungan untuk transportasi dan pemanasan, serta mengatasi efek urban heat island. Penelitian juga perlu difokuskan pada pengembangan solusi teknologi inovatif yang dapat mengurangi polusi selama musim dingin.

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
- 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. *Atmosphere*, 6(8), 1243–1258. <https://doi.org/10.3390/ATMOS6081243>
- Fayiga, A. O., Ipinmoroti, M. O., & Chirenje, T. (2018). Environmental pollution in Africa. *Environment, development and sustainability*, 20, 41–73.
- Fisher, S., Bellinger, D. C., Cropper, M. L., Kumar, P., Binagwaho, A., Koudoukoupo, J. B., ... & Landrigan, P. J. (2021). Air pollution and development in Africa: impacts on health, the economy, and human capital. *The Lancet Planetary Health*, 5(10), e681–e688.
- Imane, S., Oumaima, B., Kenza, K., Laila, I., Youssef, E. M., Zineb, S., & Mohamed, E. J. (2022). A review on climate, air pollution, and health in North Africa. *Current Environmental Health Reports*, 9(2), 276–298.
- Kallos, G., Kotroni, V., Lagouvardos, K., & Papadopoulos, A. (1998). On the long-range transport of air pollutants from Europe to Africa. *Geophysical Research Letters*, 25(5), 619–622.
- Katoto, P. D., Byamungu, L., Brand, A. S., Mokaya, J., Strijdom, H., Goswami, N., ... & Nemery, B. (2019). Ambient air pollution and health in Sub-Saharan Africa: Current evidence, perspectives and a call to action. *Environmental research*, 173, 174–188.
- Koolen, C. D., & Rothenberg, G. (2019). Air pollution in Europe. *ChemSusChem*, 12(1), 164–172.
- Lacressonnière, G., Watson, L., Gauss, M., Engardt, M., Andersson, C., Beekmann, M., ... & Vautard, R. (2017). Particulate matter air pollution in Europe in a + 2 °C warming world. *Atmospheric*

- environment*, 154, 129-140
- Makoni, M. (2020). Air pollution in Africa. *The Lancet Respiratory Medicine*, 8(7), e60-e61.
- 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
- Piketh, S. J., & Walton, N. M. (2004). Characteristics of atmospheric transport of air pollution for Africa. *Air Pollution: Intercontinental Transport of Air Pollution*, 173-195.
- 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.
- Stohl, A., Eckhardt, S., Forster, C., James, P., & Spichtinger, N. (2002). On the pathways and timescales of intercontinental air pollution transport. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D23), ACH-6.
- Zhang, M. (2019). The 100 most-cited articles on prenatal diagnosis: A bibliometric analysis. *Medicine*, 98(38). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000017236>