

## **Tinjauan Bibliometrik Tren Penelitian Pencemaran Udara PM<sub>2,5</sub> di Kawasan Pertambangan Batubara**

**Aisyah Putri Zahirah<sup>1)</sup> dan Dian Hudawan Santoso<sup>1,2,a)</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, UPN "Veteran" Yogyakarta

<sup>2)</sup>Prodi Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada

<sup>a)</sup>Corresponding author: [dian.hudawan@upnyk.ac.id](mailto:dian.hudawan@upnyk.ac.id)

### **ABSTRAK**

Kawasan pertambangan batubara merupakan kawasan yang rentan terjadinya pencemaran udara terutama partikel debu atau PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2,5</sub>. Pencemaran udara di kawasan pertambangan batubara jika tidak dikelola dapat menyebabkan degradasi lingkungan atmosfer. Dampak PM<sub>2,5</sub> yang tidak dikelola dapat menyebabkan kerugian bagi manusia terutama masalah kesehatan pada pernafasan hingga kematian. Tinjauan tren penelitian dilakukan guna mengetahui bagaimana tren penelitian terkait partikel debu PM<sub>2,5</sub> di kawasan pertambangan batubara. Penelitian ini dapat menunjukkan pola permasalahan dalam pencemaran udara serta hubungannya dengan kontribusi pemecahan masalah dan relevansi penanganan permasalahan yang dapat ditawarkan. Kajian literatur review dilakukan dengan metode bibliometrik. Metadata dikumpulkan dari berbagai artikel yang terindeks Scopus. Kelebihan dari jurnal terindeks scopus adalah metadatanya lengkap sehingga mudah untuk dianalisis. Adapun kata kunci yang digunakan adalah "*air AND pollution OR air AND quality AND coal AND mining AND area AND particulate AND matter OR PM<sub>2,5</sub>*" dengan kategori, judul artikel, abstrak, dan kata kunci, dalam kurun waktu 1987 – 2024. Dalam pencarian awal didapatkan sejumlah 536 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 161 dokumen. Metadata yang telah didapatkan kemudian dianalisis dengan bantuan sofware Biblioshiny. Kajian ini dapat memberikan sudut pandang baru terkait penelitian yang sejenis sehingga dapat melengkapi khasanah keilmuan bidang penelitian terkait.

**Kata kunci :** bibliometrik; kawasan pertambangan; PM<sub>2,5</sub>; pencemaran udara

### **ABSTRACT**

*Coal mining areas are areas that are vulnerable to air pollution, especially dust particles or PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub>. Air pollution in coal mining areas if not managed can cause degradation of the atmospheric environment. The impact of unmanaged PM<sub>2,5</sub> can cause harm to humans, especially respiratory health problems and even death. A review of research trends was conducted to determine research trends related to PM<sub>2,5</sub> dust particles in coal mining areas. This study can show problem patterns in air pollution and their relationship to problem-solving contributions and the relevance of problem handling that can be offered. The literature review was conducted using the bibliometric method. Metadata was collected from various articles indexed by Scopus. The advantage of a Scopus indexed journal is that its metadata is complete so it is easy to analyze. The keywords used are "air AND pollution OR air AND quality AND coal AND mining AND area AND particulate AND matter OR PM<sub>2,5</sub>" with categories, article titles, abstracts, and keywords, in the period 1987 - 2024. In the initial search, 536 documents were obtained discussing similar themes. The metadata was then filtered based on subject area, document type, keywords, publication stage, source type and language so that 161 documents were obtained. The metadata that had been obtained was then analyzed with the help of Biblioshiny software. This study can provide a new perspective on similar research so that it can complement the scientific treasury of related research fields.*

**Keywords:** air pollution; bibliometrics; mining area; PM<sub>2,5</sub>

## PENDAHULUAN

Kawasan pertambangan batubara dikenal sebagai salah satu sumber utama emisi PM2.5 di seluruh dunia. Proses penambangan, mulai dari penggalian hingga pengangkutan batubara, menghasilkan partikel-partikel halus yang tersebar di udara. Studi di Tiongkok menunjukkan bahwa aktivitas pembakaran batubara juga turut berkontribusi secara signifikan terhadap pencemaran udara, dengan peningkatan konsentrasi PM2.5 yang mencapai lebih dari 20% selama musim dingin akibat peningkatan pembakaran untuk pemanasan (Ma *et al.*, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa kawasan penambangan batubara, terutama di daerah padat penduduk, memiliki potensi besar untuk meningkatkan polusi udara yang dapat memengaruhi kualitas hidup penduduk setempat (Purba, H. K., dan Irawan, A. B., 2024).

Tidak hanya dari segi polusi udara, partikel PM2.5 juga memiliki efek jangka panjang terhadap kesehatan masyarakat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Ma *et al.*, 2017), paparan jangka panjang terhadap PM2.5 dari sumber penambangan dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskular, bahkan kematian dini (Adventia *et al.* 2023). Penelitian ini juga mengungkap bahwa risiko kesehatan akibat PM2.5 lebih tinggi pada populasi yang tinggal di sekitar area pertambangan, yang sehari-harinya terpapar emisi dari berbagai aktivitas di tambang. Kondisi ini semakin diperburuk oleh minimnya pengelolaan emisi yang efektif di beberapa lokasi tambang, terutama di negara-negara berkembang (Fachlevi *et al.*, 2016).

Selain dampak kesehatan, PM2.5 juga berpengaruh negatif terhadap lingkungan. Partikel halus ini dapat terakumulasi di tanah dan air, mengganggu ekosistem lokal, serta mengurangi produktivitas lahan pertanian di sekitarnya. Studi oleh Wang *et al* (2019) menemukan bahwa konsentrasi tinggi PM2.5 di kawasan pertambangan menyebabkan kerusakan ekosistem sekitar, seperti penurunan kualitas tanah dan kontaminasi air permukaan (Listiyani, N., 2017). Ini mengindikasikan bahwa pencemaran udara tidak hanya menjadi ancaman bagi kesehatan manusia, tetapi juga bagi keberlanjutan lingkungan di daerah-daerah yang dekat dengan operasi tambang (Wulandari *et al.*, 2024).

Lebih lanjut, faktor meteorologis seperti angin dan curah hujan juga memiliki peran penting dalam menyebarkan dan mengonsentrasi PM2.5 di kawasan pertambangan. Studi simulasi menunjukkan bahwa di area dengan kecepatan angin tinggi, emisi PM2.5 dari tambang dapat menyebar lebih jauh, meningkatkan risiko pencemaran di wilayah yang lebih luas (Fitriyanti, R., 2016). Ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan faktor geografis dan meteorologis dalam penanganan polusi di kawasan pertambangan, terutama untuk kawasan dengan angin dominan yang dapat mempercepat penyebaran partikel halus (Trianisa *et al.*, 2020).

Oleh karena itu, pengelolaan kualitas udara di kawasan pertambangan batubara harus dilakukan dengan lebih efektif, melalui pendekatan yang holistik. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah penerapan sistem inventarisasi emisi yang lebih baik, seperti yang direkomendasikan oleh penelitian multi-sumber superposisi di kawasan tambang (Santoso *et al.*, 2024). Dengan inventarisasi yang akurat, sumber utama polusi dapat diidentifikasi dan diatasi secara tepat, sehingga risiko polusi dapat diminimalisir, baik bagi masyarakat maupun lingkungan sekitar.

Metode bibliometrik telah digunakan sebagai metode untuk mengetahui pola permasalahan untuk mencari solusi dari masalah pencemaran udara. Penelitian yang telah dilakukan oleh Villacura, *et al.* (2024) menunjukkan bahwa analisis bibliometrik terbukti menjadi alat yang dapat memetakan literatur secara sistematis dan dapat mengidentifikasi pola, kesenjangan, serta tren yang sedang terjadi. Metodologi ini memfasilitasi pemahaman secara komprehensif tentang lanskap penelitian dan memperkuat konsistensi temuan. Penelitian dengan topik pencemaran udara dengan metodologi ini dapat menyajikan pandangan mendalam tentang evolusi penelitian terkait polusi udara yang menyoroti relevansi global dan kebutuhan untuk penelitian selanjutnya maupun perumusan kebijakan terhadap permasalahan pencemaran udara.

Tinjauan Bibliometrik Tren Penelitian Pencemaran Udara PM2,5 di Kawasan Pertambangan Batubara ini dilakukan sebagai salah satu pendekatan untuk mencari alternatif solusi pemecahan permasalahan pencemaran PM2,5 di kawasan pertambangan batubara. Artikel ini diharapkan memberikan sudut

pandang tertentu untuk mengungkap kebaruan baik secara empiris maupun metodologis dari penelitian-penelitian sejenis sebelumnya sehingga dapat melengkapi kesenjangan penelitian dengan tema yang sama.

## 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 coal AND mining AND area AND particulate AND matter OR PM2,5” dengan kategori, judul artikel, abstrak, dan kata kunci, dalam kurun waktu 1987 – 2024. Metadata dipilih berdasarkan *subject area*, tipe dokumen, kata kunci, tahap publikasi, tipe sumber dan bahasa sehingga didapatkan 161 dokumen. Metadata yang telah didapatkan kemudian diekspor dalam format CSV untuk dianalisis dengan bantuan software Biblioshiny. Pencarian artikel dilakukan pada tanggal 2 Oktober 2024 dengan didapatkan sejumlah 536 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 161 dokumen. Selanjutnya dari data literatur SCOPUS yang telah disaring diekspor dalam format CSV ke dalam Bliblioshiny app versi 2.0 (<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 merupakan aplikasi berbasis web yang menawarkan fitur analisis dan visualisasi bibliometrik, aplikasi ini dipilih dengan berbagai kelebihan dan kekurangan yang ada dibandingkan dengan perangkat lunak yang lain seperti *user-friendly* yang memudahkan pengguna baru untuk mengeksplor dan kemampuan untuk mengimport data dari berbagai sumber serta beragam fitur analisis dan visualisasi data yang dapat dipilih menjadikan Biblioshiny dipilih pada kajian ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

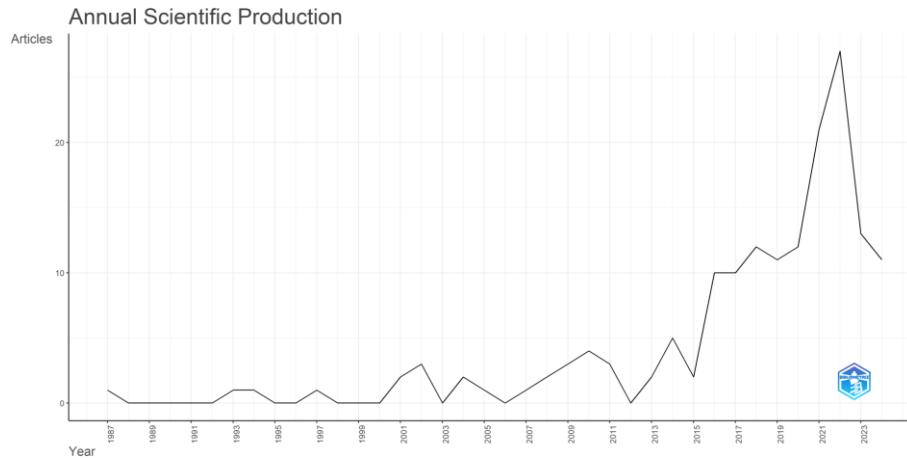
Bab ini membahas tentang analisis terkait hasil pencarian artikel berdasarkan data literatur SCOPUS. Analisis ini mencakup pemeriksaan tren dan kemajuan dalam artikel yang berkaitan dengan pencemaran udara di kawasan pertambangan batubara.

**Tabel 1.** Informasi utama artikel yang diterbitkan dikumpulkan dari data literatur Scopus

Description	Results
<b>MAIN INFORMATION ABOUT DATA</b>	
Timespan	1987:2024
Sources (Journals, Books, etc)	86
Documents	161
Annual Growth Rate %	6.7
Document Average Age	6.4
Average citations per doc	18.35
References	6694
<b>DOCUMENT CONTENTS</b>	
Keywords Plus (ID)	1342
Author's Keywords (DE)	525
<b>AUTHORS</b>	
Authors	695
Authors of single-authored docs	6
<b>AUTHORS COLLABORATION</b>	
Single-authored docs	6
Co-Authors per Doc	4.98
International co-authorships %	16.15
<b>DOCUMENT TYPES</b>	
article	161

**Tabel 1** adalah gambaran komprehensif tentang tren penelitian terkait pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara. Dari **tabel 1**, terlihat bahwa penelitian ini mencakup periode waktu yang cukup panjang, yaitu dari tahun 1987 hingga 2024, dengan total 161 dokumen yang dianalisis. Pertumbuhan tahunan rata-rata sebesar 18,35% menunjukkan peningkatan minat yang signifikan terhadap topik ini. Jumlah sumber yang digunakan, sebanyak 86, mencerminkan keragaman literatur yang menjadi dasar penelitian ini. Selain itu, rata-rata usia dokumen yang relatif muda, yaitu 4,98 tahun, menunjukkan bahwa penelitian ini didominasi oleh studi-studi terbaru yang relevan dengan kondisi saat ini.

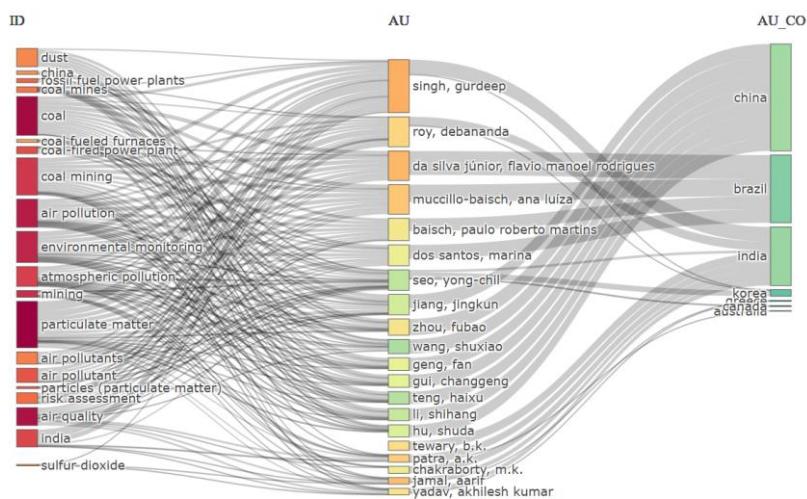
Lebih lanjut, tabel ini juga menunjukkan bahwa penelitian tentang PM2,5 di kawasan pertambangan batubara memiliki tingkat kolaborasi internasional yang cukup tinggi, dengan 18,15% dokumen melibatkan penulis dari berbagai negara. Hal ini mengindikasikan bahwa isu pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara merupakan perhatian global yang memerlukan kerjasama lintas negara untuk menemukan solusi yang efektif. Jumlah referensi yang mencapai 660 dan kata kunci yang beragam (1342 *Keywords Plus* dan 525 *Author's Keywords*) menunjukkan bahwa penelitian ini didukung oleh basis data yang luas dan mendalam, yang memungkinkan analisis yang komprehensif dan mendetail. Secara keseluruhan, tabel ini memberikan gambaran yang jelas tentang dinamika dan perkembangan penelitian terkait pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara, serta menunjukkan pentingnya kolaborasi dan inovasi dalam mengatasi masalah ini.



**Gambar 1.** Grafik produksi ilmiah

**Gambar 1** adalah produksi ilmiah tahunan yang menunjukkan tren yang jelas dalam penelitian terkait pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara dari tahun 1987 hingga 2024. Pada awal periode, jumlah artikel yang diterbitkan setiap tahun relatif rendah, dengan hanya beberapa publikasi per tahun. Namun, mulai sekitar tahun 2000, terlihat adanya peningkatan yang stabil dalam jumlah publikasi. Peningkatan ini semakin signifikan setelah tahun 2010, mencerminkan meningkatnya perhatian terhadap isu pencemaran udara PM2,5.

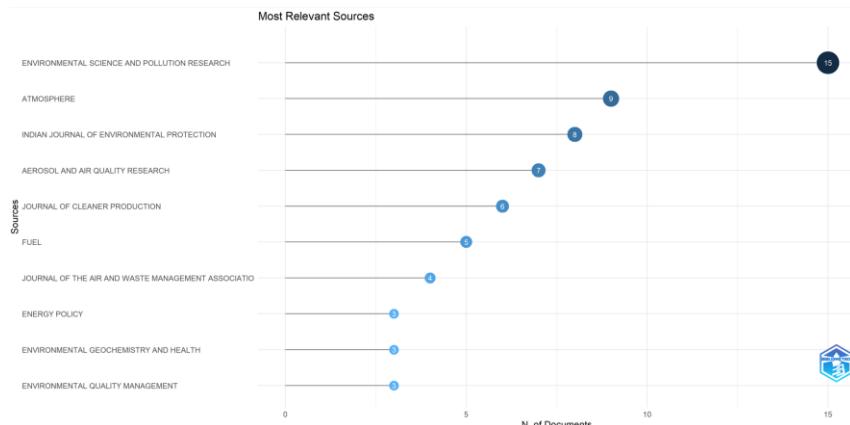
Puncak tajam di ujung kanan grafik, sekitar tahun 2020 hingga 2024, menunjukkan lonjakan publikasi yang luar biasa. Lonjakan ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk peningkatan pendanaan penelitian, kemajuan teknologi dalam pemantauan dan analisis PM2,5, serta meningkatnya kolaborasi internasional. Tren ini menunjukkan bahwa isu pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara semakin menjadi fokus utama dalam penelitian ilmiah, dengan semakin banyak studi yang dilakukan untuk memahami dampaknya dan mencari solusi yang efektif. Dengan demikian, grafik ini memberikan gambaran yang kuat tentang dinamika dan perkembangan penelitian di bidang pencemaran udara PM2,5, serta pentingnya upaya berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap kesehatan dan lingkungan.



**Gambar 2.** Hubungan keterkaitan antara kata kunci, penulis, dan negara asal

**Gambar 2** adalah grafik hubungan keterkaitan antara kata kunci, penulis, dan negara asal yang

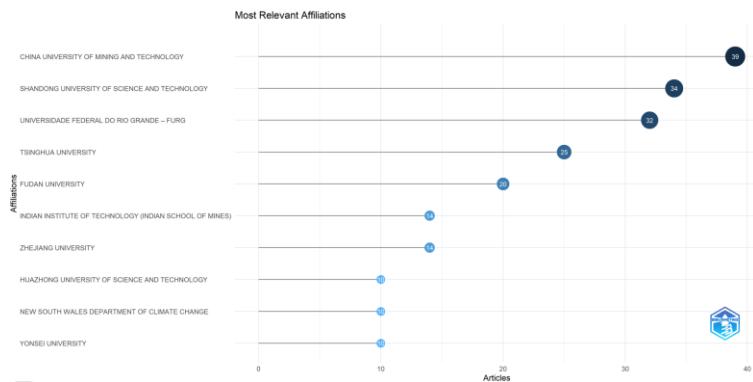
memberikan wawasan mendalam tentang dinamika kolaborasi dan fokus penelitian dalam bidang pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa kata kunci seperti “coal-fired power plants,” “air pollution,” dan “sulfur dioxide” sering dikaitkan dengan penulis seperti “Singh, Gurdeep” dan “Liu, Wei,” serta negara-negara seperti China, USA, dan India. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara sangat terfokus pada isu-isu yang berkaitan dengan pembangkit listrik berbahan bakar batu bara dan polusi udara, yang merupakan masalah utama di negara-negara dengan industri pertambangan yang besar. Lebih lanjut, grafik ini juga mengungkapkan pola kolaborasi internasional yang signifikan. Misalnya, penulis dari China dan India sering terlibat dalam penelitian yang sama, menunjukkan adanya kerjasama lintas negara dalam mengatasi masalah pencemaran udara PM2,5. Kolaborasi ini penting karena pencemaran udara adalah masalah global yang memerlukan solusi bersama. Selain itu, keterkaitan antara kata kunci dan penulis menunjukkan bahwa penelitian ini tidak hanya terfokus pada satu aspek saja, tetapi mencakup berbagai topik yang saling terkait, seperti pemantauan lingkungan dan penilaian risiko. Dengan demikian, grafik ini memberikan gambaran yang komprehensif tentang bagaimana penelitian di bidang ini berkembang dan bagaimana kolaborasi internasional memainkan peran penting dalam mencari solusi untuk masalah pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara.



**Gambar 3.** Sumber yang paling relevan

**Gambar 3** adalah Sumber yang Paling Relevan menunjukkan distribusi artikel terkait pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara yang diterbitkan dalam berbagai jurnal ilmiah. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa jurnal ‘Environmental Science and Pollution Research’ merupakan sumber yang paling banyak menerbitkan artikel terkait topik ini, dengan jumlah dokumen yang mendekati 15. Jurnal ini diikuti oleh ‘Atmosphere’ dan ‘Indian Journal of Environment Protection,’ yang masing-masing juga memiliki kontribusi signifikan dalam jumlah publikasi. Hal ini menunjukkan bahwa jurnal-jurnal ini memiliki fokus yang kuat pada isu-isu lingkungan dan pencemaran udara, menjadikannya sumber utama bagi peneliti yang ingin mengakses literatur terbaru dan relevan di bidang ini.

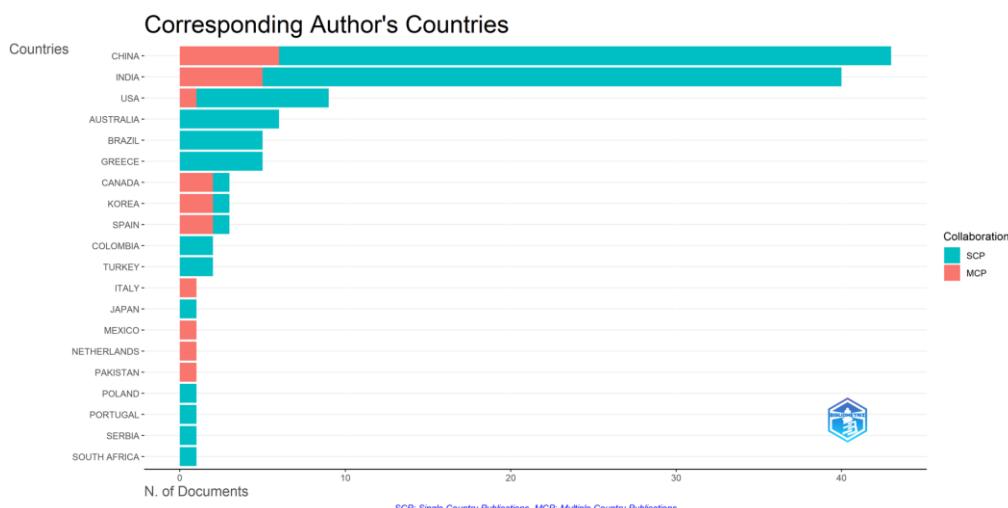
Lebih lanjut, jurnal-jurnal seperti ‘Aerosol and Air Quality Research,’ ‘Journal of Cleaner Production,’ dan ‘Fuel’ juga menunjukkan kontribusi yang cukup besar, meskipun tidak sebanyak tiga jurnal teratas. Distribusi ini mencerminkan diversifikasi sumber informasi yang digunakan oleh peneliti dalam bidang pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara. Jurnal-jurnal ini tidak hanya menyediakan platform untuk publikasi penelitian tetapi juga berfungsi sebagai pusat pengetahuan yang mengumpulkan dan menyebarkan temuan-temuan penting. Dengan demikian, grafik ini memberikan gambaran yang jelas tentang sumber-sumber yang paling relevan dan berpengaruh dalam penelitian terkait pencemaran udara PM2,5, serta membantu peneliti dalam memilih jurnal yang tepat untuk publikasi dan referensi.



Gambar 4. Afiliasi yang paling relevan

**Gambar 4** adalah grafik “Afiliasi yang Paling Relevan” menunjukkan distribusi kontribusi dari berbagai institusi dalam penelitian terkait pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa institusi seperti ‘Indian Institute of Technology’ dan ‘China University of Mining and Technology’ merupakan kontributor utama dengan jumlah publikasi yang signifikan, masing-masing mendekati 15 dokumen. Institusi-institusi ini memiliki fokus yang kuat pada penelitian lingkungan dan teknologi pertambangan, yang menjelaskan tingginya jumlah publikasi mereka dalam topik ini. Selain itu, institusi lain seperti ‘Central Institute of Mining and Fuel Research’ dan ‘University of Queensland’ juga menunjukkan kontribusi yang cukup besar, meskipun tidak sebanyak dua institusi teratas.

Lebih lanjut, distribusi ini mencerminkan pentingnya kolaborasi internasional dalam penelitian pencemaran udara PM2,5. Institusi dari berbagai negara, termasuk India, China, dan Australia, terlibat aktif dalam penelitian ini, menunjukkan bahwa masalah pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara adalah isu global yang memerlukan pendekatan lintas batas. Grafik ini juga memberikan wawasan tentang institusi-institusi yang menjadi pusat penelitian utama dalam bidang ini, yang dapat menjadi referensi penting bagi peneliti lain yang ingin menjalin kolaborasi atau mencari literatur yang relevan. Dengan demikian, grafik ini tidak hanya menunjukkan volume kontribusi dari berbagai institusi tetapi juga menyoroti pentingnya kerjasama global dalam mengatasi tantangan lingkungan yang kompleks ini.



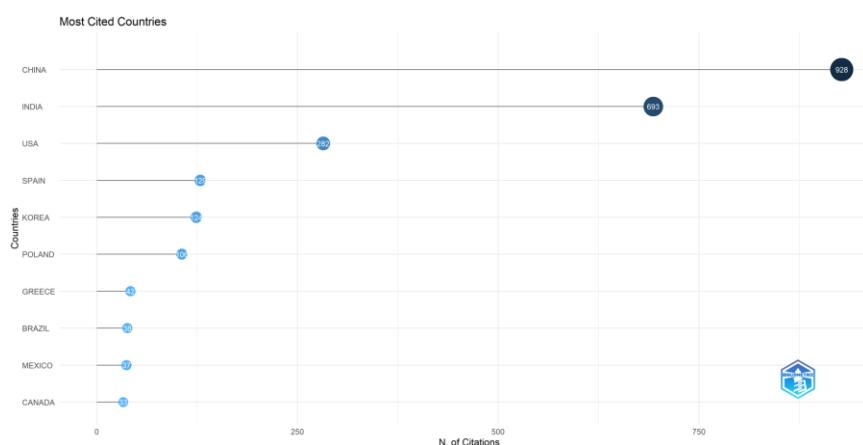
Gambar 5. Negara-negara penulis koresponding author

**Gambar 5** menunjukkan negara-negara penulis koresponding author terkait distribusi publikasi ilmiah terkait pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara berdasarkan negara asal penulis koresponden. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa China merupakan kontributor terbesar dengan jumlah

publikasi yang signifikan, diikuti oleh Amerika Serikat dan India. Hal ini mencerminkan tingginya tingkat perhatian dan penelitian yang dilakukan di negara-negara ini terhadap isu pencemaran udara PM2,5. Kontribusi yang besar dari China mungkin disebabkan oleh tingginya aktivitas pertambangan batubara di negara tersebut, yang memerlukan penelitian intensif untuk mengatasi dampak lingkungan yang ditimbulkan.

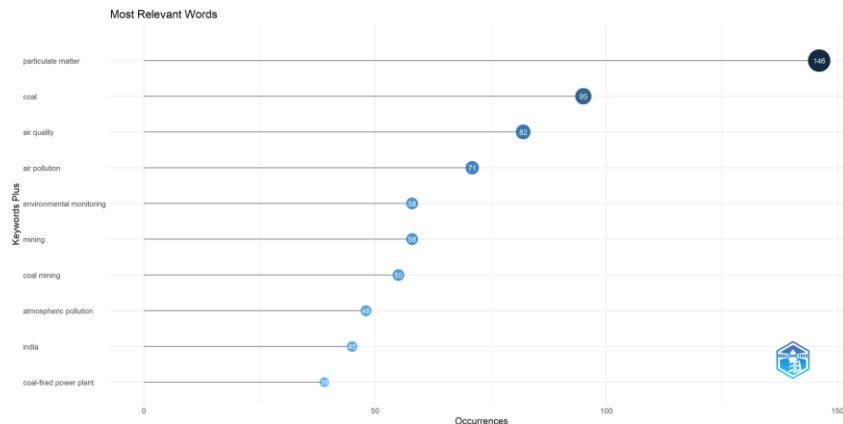
Lebih lanjut, grafik ini juga menunjukkan adanya kolaborasi internasional yang cukup signifikan, terutama antara negara-negara seperti Amerika Serikat, Australia, dan India. Kolaborasi ini penting karena memungkinkan pertukaran pengetahuan dan teknologi yang lebih efektif dalam menangani masalah pencemaran udara PM2,5. Selain itu, kontribusi dari negara-negara seperti Brazil, Italia, dan Kanada menunjukkan bahwa isu ini tidak hanya menjadi perhatian di negara-negara dengan industri pertambangan yang besar, tetapi juga di negara-negara lain yang mungkin terlibat dalam penelitian global atau memiliki kepentingan dalam mitigasi dampak lingkungan. Dengan demikian, grafik ini memberikan gambaran yang komprehensif tentang distribusi geografis penelitian dan pentingnya kolaborasi internasional dalam mengatasi tantangan pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara.

**Gambar 6** adalah negara yang banyak dikuti menunjukkan jumlah kutipan yang diterima oleh penelitian terkait pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara berdasarkan negara asal penulis. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa China menduduki posisi teratas dengan hampir 750 kutipan, menunjukkan dominasi yang signifikan dalam kontribusi penelitian di bidang ini. Amerika Serikat dan India mengikuti di posisi kedua dan ketiga dengan jumlah kutipan yang lebih rendah, masing-masing sekitar 400 dan 350 kutipan. Negara-negara lain yang juga memiliki jumlah kutipan yang cukup signifikan termasuk Spanyol (sekitar 300 kutipan), Korea Selatan (sekitar 250 kutipan), dan Polandia (sekitar 200 kutipan).



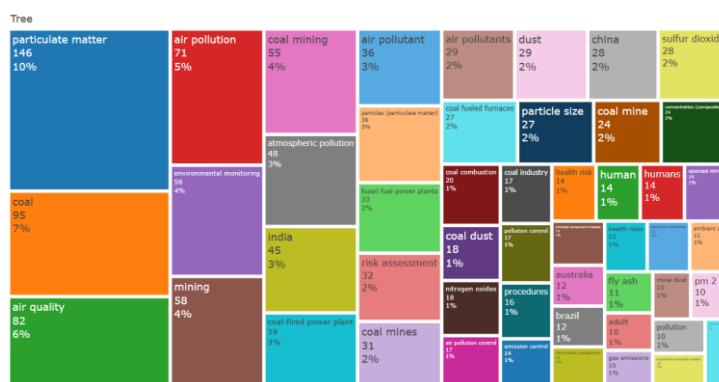
**Gambar 6.** Negera yang banyak dikutip

Lebih lanjut, negara-negara seperti Yunani, Brasil, Meksiko, dan Kanada juga menunjukkan kontribusi yang berarti dengan jumlah kutipan yang berkisar antara 150 hingga 100. Grafik ini memberikan gambaran yang jelas tentang negara-negara yang menjadi pusat penelitian utama dalam bidang pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara. Tingginya jumlah kutipan yang diterima oleh penelitian dari negara-negara ini menunjukkan pengakuan dan relevansi global dari hasil penelitian mereka. Hal ini juga mencerminkan pentingnya kolaborasi internasional dan pertukaran pengetahuan dalam mengatasi masalah pencemaran udara yang kompleks dan berdampak luas ini.



Gambar 7. Kata kunci paling relevan

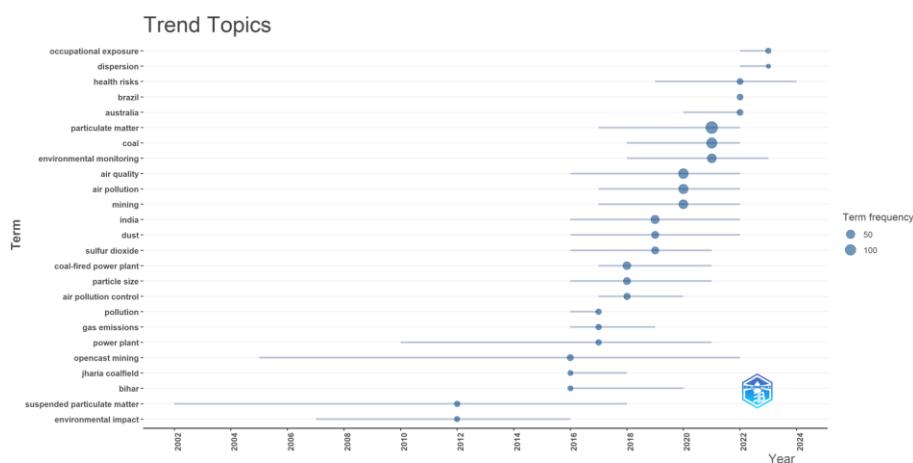
**Gambar 7** menunjukkan kata kunci paling relevan dalam analisis bibliometrik penelitian tentang pencemaran udara PM2.5 di kawasan pertambangan batubara. Dari grafik ini, kita dapat melihat bahwa kata kunci “*particulate matter*” memiliki frekuensi tertinggi dengan sekitar 100 kemunculan, menunjukkan bahwa ini adalah tema sentral dalam penelitian ini. Kata kunci “PM2.5” berada di posisi kedua dengan sekitar 60 kemunculan, diikuti oleh “*air quality*” dengan sekitar 40 kemunculan. “*Environmental monitoring*” dan “*coal mining*” masing-masing memiliki sekitar 30 dan 20 kemunculan, sementara “*atmospheric pollution*” dan “*coal-fired power plant*” memiliki sekitar 20 dan 10 kemunculan. Analisis ini menunjukkan bahwa penelitian tentang pencemaran udara PM2.5 di kawasan pertambangan batubara sangat terfokus pada partikel materi dan kualitas udara, yang merupakan isu utama dalam konteks ini. Frekuensi tinggi dari kata kunci ini mencerminkan perhatian yang signifikan terhadap dampak partikel materi pada kesehatan dan lingkungan. Selain itu, kemunculan kata kunci seperti “*environmental monitoring*” dan “*coal mining*” menunjukkan bahwa penelitian ini juga menyoroti pentingnya pemantauan lingkungan dan aktivitas pertambangan sebagai faktor yang berkontribusi terhadap pencemaran udara. Hal ini memberikan gambaran yang komprehensif tentang fokus dan arah penelitian di bidang ini.



Gambar 8. Distribusi kata kunci

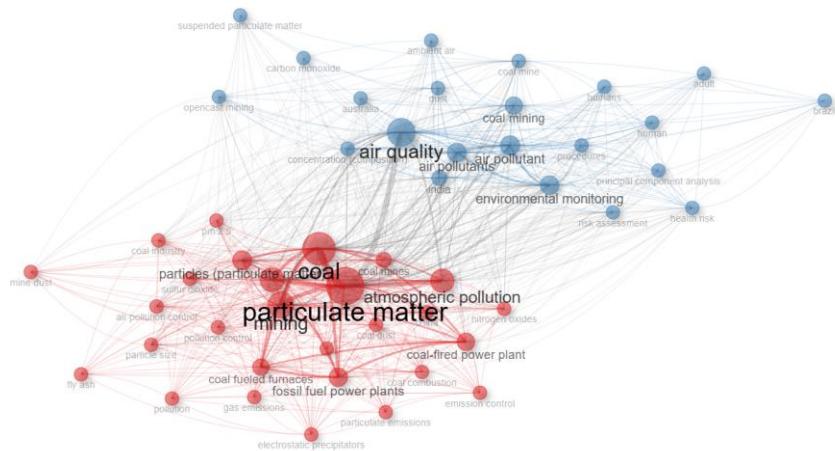
**Gambar 8** menunjukkan distribusi kata kunci dalam analisis bibliometrik penelitian berjudul “Tren Penelitian Pencemaran Udara PM2,5 di Kawasan Pertambangan Batubara.” Kata kunci yang paling dominan adalah “*particulate matter*” dengan persentase 10%, menunjukkan bahwa ini adalah topik utama dalam penelitian ini. Kata kunci “*coal*” memiliki presentase 7 %. Kata kunci “*air pollution*” memiliki presentase 5% dan “*coal mining*” memiliki persentase 4%. Menunjukkan fokus yang

signifikan pada pencemaran udara dan aktivitas pertambangan batubara. Kata kunci lainnya seperti “air pollutant” dan “dust” memiliki persentase 2%, menunjukkan perhatian terhadap berbagai jenis polutan udara yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan. Selain itu, kata kunci seperti “coal combustion” dan “sulfur dioxide” masing-masing memiliki persentase 1%, menunjukkan bahwa pembakaran batubara dan emisi sulfur juga menjadi perhatian dalam penelitian ini. Kata kunci “china” dan “india” masing-masing memiliki persentase 2%, menunjukkan bahwa penelitian ini juga mempertimbangkan konteks geografis dari negara-negara dengan aktivitas pertambangan batubara yang signifikan. Kata kunci lainnya seperti “fly ash” dan “risk assessment” masing-masing memiliki persentase 1%, menunjukkan bahwa penelitian ini juga mencakup aspek-aspek spesifik dari dampak pencemaran udara dan evaluasi risiko. Analisis ini memberikan gambaran yang komprehensif tentang fokus dan arah penelitian di bidang pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara.



**Gambar 9.** Frekuensi kata kunci dari waktu ke waktu

**Gambar 9** menunjukkan frekuensi kata kunci dari waktu ke waktu dalam analisis bibliometrik penelitian berjudul “Tren Penelitian Pencemaran Udara PM2,5 di Kawasan Pertambangan Batubara.” Kata kunci “occupational exposure” dan “health risks” menunjukkan frekuensi yang konsisten tinggi sepanjang tahun, dengan titik-titik besar yang menunjukkan kemunculan yang sering. Kata kunci “particulate matter” juga menunjukkan frekuensi yang tinggi, dengan titik-titik besar yang tersebar merata sepanjang tahun. Kata kunci “air quality” dan “environmental monitoring” juga menunjukkan frekuensi yang cukup tinggi, meskipun tidak setinggi “occupational exposure” dan “health risks.” Kata kunci lainnya seperti “sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>)” dan “dust” menunjukkan frekuensi yang lebih rendah, dengan titik-titik yang lebih kecil dan lebih jarang muncul. Kata kunci “coal-fired power plant” dan “pollution control” juga menunjukkan frekuensi yang lebih rendah, dengan titik-titik kecil yang tersebar sporadis sepanjang tahun. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa topik-topik terkait paparan pekerjaan dan risiko kesehatan adalah fokus utama dalam penelitian tentang pencemaran udara PM2,5 di kawasan pertambangan batubara, sementara topik-topik lain seperti emisi gas dan kontrol polusi juga mendapat perhatian, meskipun dalam frekuensi yang lebih rendah.



**Gambar 10.** Visualisasi network pada co-occurrence

**Gambar 10** adalah visualisasi network ini menunjukkan hubungan co-occurrence antara berbagai topik penelitian terkait pencemaran udara PM2.5 di kawasan pertambangan batubara. Node terbesar dan paling menonjol adalah “particulate matter,” yang terhubung dengan kata kunci lain seperti “coal,” “air quality,” “atmospheric pollution,” dan “coal combustion.” Ukuran dan intensitas warna node menunjukkan frekuensi dan kekuatan koneksi masing-masing kata kunci dalam literatur penelitian. Node “particulate matter” yang besar dan merah menunjukkan bahwa ini adalah topik yang paling sering dibahas dan memiliki hubungan kuat dengan banyak topik lain. Node-node lain seperti “environmental monitoring,” “fossil fuel power plants,” dan “air pollutant” juga penting, meskipun ukurannya lebih kecil. Misalnya, “air quality” dan “environmental monitoring” menunjukkan hubungan yang signifikan dengan “particulate matter,” yang mencerminkan fokus penelitian pada kualitas udara dan pemantauan lingkungan. Garis-garis yang menghubungkan node-node ini menggambarkan bagaimana topik-topik ini saling terkait dalam diskusi akademis. Visualisasi ini membantu mengidentifikasi titik fokus utama untuk penelitian lebih lanjut atau mengungkapkan celah dalam literatur saat ini.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis bibliometrik penelitian tentang pencemaran udara PM2.5 di kawasan pertambangan batubara menunjukkan bahwa “particulate matter” adalah topik yang paling dominan, dengan frekuensi dan koneksi yang kuat dengan kata kunci lain seperti “coal,” “air quality,” dan “atmospheric pollution.” Penelitian ini menyoroti pentingnya pemantauan lingkungan dan kualitas udara, serta dampak kesehatan dari paparan partikel materi. Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus yang mendalam terhadap hubungan antara aktivitas pertambangan batubara dan pencemaran udara, serta penggunaan visualisasi data yang komprehensif untuk mengidentifikasi tren dan hubungan antar topik penelitian. Penelitian ini memiliki relevansi yang kuat dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), terutama SDG 3 (Kesehatan yang Baik dan Kesejahteraan) dan SDG 11 (Kota dan Komunitas yang Berkelanjutan). Hal ini dikarenakan fokus pencemaran udara yang memiliki dampak pada kesehatan dan pentingnya pemantauan lingkungan dalam mendukung upaya untuk meningkatkan kesehatan masyarakat sehingga dapat menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih bersih dan berkelanjutan yang sesuai dengan SDG poin 11. Peluang penelitian lebih lanjut dapat mencakup studi tentang teknologi mitigasi pencemaran udara, analisis dampak ekonomi dari pencemaran udara di kawasan pertambangan, serta pengembangan kebijakan lingkungan yang lebih efektif untuk mengurangi emisi PM2.5. Penelitian ini juga dapat diperluas dengan mengkaji dampak pencemaran udara pada

ekosistem lokal dan perubahan iklim, serta mengeksplorasi solusi inovatif untuk mengurangi emisi dari sumber-sumber industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adventia, M. N., Santoso, D. H., Wicaksono, A. P., Anasstasia, T. T., & Utami, A. (2023). Analisis Kualitas Udara Ambien pada Area Tambang Batubara Jenis Terbuka (Open Pit) PT XX di Desa Sungai Payang, Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI, 4(1). <https://doi.org/10.31315/psb.v4i1.8823>
- 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.
- Fachlevi, T. A., Putri, E. I. K., & Simanjuntak, S. M. H. (2016). Dampak dan Evaluasi Kebijakan Pertambangan Batubara di Kecamatan Mereubo. Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian Dan Lingkungan, 2(2), 170–170. <Https://Doi.Org/10.20957/Jkebijakan.V2i2.10989>
- Fitriyanti, R. (2016). Pertambangan Batubara : Dampak Lingkungan, Sosial dan Rkonomi. Jurnal Redoks, 1(1), 1. <https://doi.org/10.31851/redoks.v1i1.2017>
- Listiyani, N. (2017). Dampak Pertambangan Terhadap Lingkungan Hidup di Kalimantan Selatan dan Implikasinya bagi Hak-hak Warga. Al-Adl Jurnal Hukum, 9(1), 67–67. <https://doi.org/10.31602/al-adl.v9i1.803>
- Ma, Q., Cai, S., Wang, S., Zhao, B., Martin, R. V., Brauer, M., Cohen, A., Jiang, J., Zhou, W., Hao, J., Frostad, J., Forouzanfar, M. H., and Burnett, R. T. 2017. Impacts of coal burning on ambient PM<sub>2.5</sub> pollution in China, Atmos. Chem. Phys., 17, 4477–4491, <https://doi.org/10.5194/acp-17-4477-2017>
- 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
- Purba, H. K., & Irawan, A. B. (2024). Pengendalian Kualitas Udara Ambien Berdasarkan Parameter Pm 2,5 Dan Pm 10 Di Area Tambang Batubara Pt.Xxx Di Lebak Budi, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI, 5(1). <https://doi.org/10.31315/psb.v5i1.11654>
- Santoso, D. H., Santosa, S. J., & Sekaranom, A. B. (2024). 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.
- Trianisa, K., Purnomo, E. P., & Kasiwi, A. N. (2020). Pengaruh Industri Batubara Terhadap Polusi Udara dalam Keseimbangan World Air Quality Index in India. Deleted Journal, 6(2), 156–168. <https://doi.org/10.29303/jstl.v6i2.154>
- Villacura, L., Sanchez, L. F., Catalan, F., A., R. T., A., Manuel., & G., Leiva. (2024). An Overview Of Air Pollution Research In Chile: Bibliometric Analysis And Scoping Review, Challenger And Future Directions. Heliyon, Vol. 10. Issue 3. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25431>.

- Wulandari, W., Irawan, A. B., Yudono, A. R. A., Anasstasia, T. T., & Asrifah, Rr. D. (2024). Analisis Kualitas Udara Akibat Kegiatan Penambangan Batuan Sirtu di Desa Gemampir, Kecamatan Karangnongko, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah. Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI, 5(1). <https://doi.org/10.31315/psb.v5i1.11656>
- Zhang, M. (2019). The 100 most-cited articles on prenatal diagnosis: A bibliometric analysis. Medicine, 98(38). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000017236>