

## **LITERATURE REVIEW: DAMPAK PEMBAKARAN SAMPAH TERBUKA PADA KUALITAS UDARA DAN KESEHATAN**

**Nethania Adine Subagio<sup>1\*</sup>**

Program Studi S1 Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga<sup>1</sup>

\*Corresponding Author : nethania.adine.subagio-2022@fkm.unair.ac.id

### **ABSTRAK**

Pembakaran sampah terbuka merupakan praktik pengelolaan limbah yang masih umum dilakukan di negara berkembang akibat keterbatasan infrastruktur dan rendahnya kesadaran lingkungan. Praktik ini diketahui menghasilkan berbagai polutan berbahaya yang berpotensi menurunkan kualitas udara dan menimbulkan dampak kesehatan yang serius bagi masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menilai, dan mensintesis bukti ilmiah mengenai dampak pembakaran sampah terbuka terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat melalui pendekatan *systematic literature review*. Penelusuran dilakukan pada basis data *ScienceDirect*, *PubMed*, dan *Google Scholar* terhadap artikel yang dipublikasikan tahun 2016–2025. Sebanyak 15 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis secara naratif berdasarkan jenis polutan, metode pengukuran, dan dampak kesehatan yang dilaporkan. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembakaran sampah terbuka secara konsisten meningkatkan konsentrasi polutan seperti PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, karbon monoksida (CO), karbon hitam, senyawa organik volatil (VOC), logam berat, dioksin, dan furan di udara ambien, dengan beberapa studi melaporkan kadar yang jauh melebihi baku mutu internasional. Paparan jangka pendek maupun jangka panjang terhadap polutan tersebut berkaitan dengan peningkatan risiko gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, kelahiran prematur, berat badan lahir rendah, hingga kematian dini. Secara global, paparan kronis terhadap PM<sub>2.5</sub> dari pembakaran limbah domestik diperkirakan berkontribusi terhadap sekitar satu juta kematian prematur per tahun. Pembakaran sampah terbuka merupakan masalah lingkungan dan kesehatan masyarakat yang mendesak, sehingga diperlukan kebijakan pengelolaan limbah berkelanjutan serta intervensi berbasis bukti untuk mengurangi praktik tersebut.

**Kata kunci:** kesehatan masyarakat, kualitas udara, negara berkembang, pembakaran sampah terbuka, polusi udara

### **ABSTRACT**

*Open burning of waste is a waste management practice that is still common in developing countries due to limited infrastructure and low environmental awareness. This practice is known to produce various hazardous pollutants that have the potential to reduce air quality and cause serious health impacts on the community. This study aimed to identify, assess, and synthesize scientific evidence on the impact of open waste burning on air quality and public health through a systematic literature review approach. The search was conducted on the ScienceDirect, PubMed, and Google Scholar databases for articles published between 2016 and 2025. A total of 15 articles that met the inclusion criteria were analyzed narratively based on the type of pollutant, measurement method, and reported health impacts. The results show that open waste burning consistently increases the concentration of pollutants such as PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, carbon monoxide (CO), black carbon, volatile organic compounds (VOCs), heavy metals, dioxins, and furans in ambient air, with several studies reporting levels that far exceed international quality standards. Both short-term and long-term exposure to these pollutants is associated with increased risks of respiratory disorders, cardiovascular disease, premature birth, low birth weight, and premature death. Globally, chronic exposure to PM<sub>2.5</sub> from domestic waste burning is estimated to contribute to approximately one million premature deaths per year. Open waste burning represents an urgent environmental and public health issue that requires sustainable waste management policies and evidence-based interventions to reduce this practice.*

**Keywords:** air pollution, air quality, developing countries, open waste burning, public health

## PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah terus menjadi masalah besar di banyak negara berkembang, termasuk Indonesia. Jumlah sampah meningkat secara signifikan setiap tahun karena pertumbuhan populasi dan perubahan pola konsumsi. Pembakaran sampah terbuka adalah cara cepat untuk menyingkirkan sampah karena tidak ada sistem pengelolaan sampah yang baik. Karena dianggap mudah dan murah, praktik ini banyak dilakukan di rumah tangga dan komunitas (B. S. Ramadan et al., 2023). Namun, dampak yang ditimbulkannya pada lingkungan dan kesehatan sering tidak dipertimbangkan.

Diketahui bahwa pembakaran sampah terbuka dapat menghasilkan sejumlah polutan berbahaya, termasuk partikulat halus (PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>), karbon monoksida (CO), logam berat, hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), dan senyawa dioksin serta furan (Lemieux et al., 2004). Zat-zat ini menyebabkan penurunan kualitas udara secara signifikan, terutama di daerah padat penduduk dengan ventilasi udara yang buruk. Penelitian eksperimental oleh (Wang et al., 2023) menunjukkan bahwa pembakaran sampah rumah tangga dapat meningkatkan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> hingga 3–5 kali lipat di udara ambien, sementara penelitian lapangan oleh (Krecl et al., 2021) menemukan peningkatan signifikan kadar karbon hitam selama proses pembakaran.

Pada tingkat kesehatan masyarakat, paparan polutan dari pembakaran sampah terbuka telah dikaitkan dengan peningkatan kasus penyakit pernapasan, iritasi mata, gangguan kardiovaskular, dan risiko kanker akibat paparan jangka panjang terhadap zat karsinogenik (Pathak et al., 2024). Studi di Semarang oleh (B. S. Ramadan et al., 2023) menunjukkan bahwa pembakaran sampah di lingkungan rumah tangga menyebabkan peningkatan keluhan sesak napas dan batuk kronik di masyarakat sekitar. Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran sampah bukan hanya masalah lingkungan tetapi juga masalah kesehatan dan kualitas hidup masyarakat.

Banyak penelitian yang dilakukan bersifat lokal dan deskriptif, sehingga sulit untuk mendapatkan pemahaman menyeluruh tentang hubungan antara praktik pembakaran terbuka, jenis polutan yang dihasilkan, dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat di berbagai negara. Oleh karena itu, tinjauan sistematis diperlukan untuk mengumpulkan dan menganalisis bukti ilmiah yang ada guna memberikan dasar yang lebih kuat untuk pembuatan kebijakan pengelolaan sampah dan pencemaran udara yang berfokus pada kesehatan masyarakat.

Tujuan dari tinjauan sistematis ini adalah untuk mengidentifikasi, menilai, dan mensintesis berbagai penelitian tentang dampak pembakaran sampah terbuka terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat, dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti sumber emisi, jenis polutan, paparan manusia, dan dampak kesehatan yang ditimbulkan. Diharapkan hasil tinjauan ini dapat membantu mengembangkan strategi pengelolaan lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* dengan rancangan deskriptif analitik yang bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh pembakaran sampah di ruang terbuka terhadap kondisi kualitas udara serta implikasinya bagi kesehatan masyarakat. Kajian ini berfokus pada artikel-artikel ilmiah yang telah dipublikasikan dalam rentang waktu 2016 hingga 2025.

Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data *ScienceDirect*, *PubMed*, dan *Google Scholar* menggunakan kata kunci yang relevan. Seleksi artikel mencakup tahapan identifikasi, penyaringan judul dan abstrak, serta telaah teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Data diekstraksi menggunakan lembar instrumen yang memuat informasi penulis, tahun terbit, lokasi, desain studi, jenis polutan, dan dampak kesehatan yang dilaporkan. Analisis dilakukan secara naratif dengan mengelompokkan temuan berdasarkan

jenis polutan, metode pengukuran, dan dampak kesehatan dari masing-masing studi. Kualitas artikel dinilai menggunakan pedoman dari *National Institutes of Health* (NIH). Karena penelitian ini hanya menggunakan data sekunder dari publikasi yang tersedia secara terbuka dan tidak melibatkan subjek manusia secara langsung, sehingga persetujuan etik tidak diperlukan.

## HASIL

Dampak pembakaran sampah terbuka terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat dibahas dalam lima belas artikel berdasarkan hasil pencarian literatur. Judul artikel, penulis (tahun), metode penelitian, sampel penelitian, dan hasil penelitian dimasukkan dalam evaluasi artikel tersebut. Tabel 1 menyajikan ringkasan hasil analisis literatur mengenai dampak pembakaran sampah terbuka terhadap kualitas udara dan kesehatan.

**Tabel 1. Hasil Literature Review Artikel Mengenai Dampak Pembakaran Sampah Terbuka Terhadap Kualitas Udara dan Kesehatan**

Judul	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Sampel Penelitian	Hasil Penelitian
Potential Risks of Open Waste Burning at the Household Level: A Case Study of Semarang, Indonesia	(B. Ramadan et al., 2023)	S. Penelitian menggunakan <i>mixed method</i> yang meliputi survei kuesioner daring, survei transek lapangan, analisis risiko lingkungan berdasarkan metode IPCC (2006), serta analisis laboratorium terhadap abu terbang ( <i>fly ash</i> ) dan abu dasar ( <i>bottom ash</i> ) hasil pembakaran terbuka	Terdapat 344 responden dari total 408 kuesioner yang disebar di berbagai wilayah (perkotaan, peri-urban dalam, peri-urban luar, dan pedesaan) di Kota Semarang. Selain itu, dilakukan survei transek di 16 kelurahan untuk mendeteksi insiden pembakaran sampah.	Pembakaran sampah terbuka masih umum di wilayah peri-urban Semarang dan menghasilkan sekitar 53.809,66 ton CO <sub>2</sub> per tahun, terutama dari pembakaran plastik. Risiko karsinogenik dari logam berat dan PAH tergolong rendah, namun risiko non-karsinogenik berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan kronis akibat paparan abu terbang.
The Open Burning of Plastic Wastes is an Urgent Global Health Issue	(Pathak et al., 2024)	et Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan etnografi multisitus di beberapa negara (India, Indonesia, Filipina, dan Zambia). Data dikumpulkan melalui observasi lapangan dan wawancara mendalam untuk memahami praktik pembakaran terbuka limbah plastik, ditambah telaah literatur global terkait emisi dan dampak kesehatan.	Penelitian dilakukan di berbagai wilayah dengan kondisi layanan pengelolaan sampah yang berbeda di negara-negara berkembang. Tidak disebutkan jumlah responden secara spesifik karena penelitian bersifat kualitatif dan analitis.	Pembakaran terbuka plastik masih marak di negara berpenghasilan rendah-menengah akibat terbatasnya layanan sampah. Aktivitas ini melepaskan dioksin, furan, logam berat, dan karbon hitam yang berbahaya bagi kesehatan. Peneliti menekankan perlunya kebijakan global dan tanggung jawab produsen untuk menghentikan praktik ini.

Judul	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Sampel Penelitian	Hasil Penelitian
Burning of Municipal Solid Waste: An invitation for aerosol black carbon and PM2.5 over mid-sized city in India	(Mahato et al., 2023)	Penelitian ini menggunakan metode observasional kuantitatif untuk mengukur konsentrasi <i>Black Carbon</i> (BC) dan PM2.5 selama periode pembakaran limbah padat kota di tiga jenis lokasi: industri, perkotaan, dan pedesaan di Kota Jamshedpur, India. Pengukuran dilakukan menggunakan Aethalometer (AE-33) dan <i>Envirotech</i> APM 550 sampler	Tiga lokasi pemantauan: - S1 (Industri) – NIT Jamshedpur, Adityapur - S2 (Perkotaan) – Sakchi - S3 (Pedesaan) – Sini. Pengamatan dilakukan pada tiga fase waktu (pagi, sore, dan tengah malam) selama masa pembakaran sebelum musim hujan.	Konsentrasi rata-rata <i>Black Carbon</i> (BC) adalah $145 \pm 46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (industri), $101 \pm 33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (perkotaan), dan $95 \pm 33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pedesaan). Konsentrasi PM2.5 masing-masing $1391 \pm 358 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , $998 \pm 319 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dan $957 \pm 313 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jauh melebihi batas WHO ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Korelasi Pearson menunjukkan hubungan sangat kuat antara BC dan PM2.5 yang menandakan keduanya berasal dari sumber yang sama, yaitu pembakaran limbah padat.
Characterization of Gas and Particle Emissions from Open Burning of Household Solid Waste From South Africa	(Wang et al., 2023)	Penelitian ini menggunakan penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Pengujian dilakukan pada sepuluh kategori sampah rumah tangga menggunakan alat pengukur gas (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> ) dan partikulat (PM2.5, PM10).	Sepuluh kategori sampah padat rumah tangga di Afrika Selatan: kertas, kulit/karet, tekstil, botol plastik, kantong plastik, vegetasi (kering, alami, lembap 50%), sisa makanan, dan campuran bahan.	Menemukan bahwa efisiensi pembakaran dan kadar kelembapan bahan bakar memengaruhi kadar emisi polutan. Kantong plastik menghasilkan CO <sub>2</sub> tertinggi akibat kandungan karbon tinggi dan efisiensi pembakaran tinggi, sedangkan vegetasi lembap menghasilkan emisi CO dan PM jauh lebih besar (hingga 30 kali) dibanding vegetasi kering. Tekstil memiliki kandungan nitrogen dan sulfur tertinggi, sehingga menghasilkan emisi NO <sub>2</sub> dan SO <sub>2</sub> terbesar.
Comprehensive organic emission profiles, secondary organic aerosol production potential, and OH reactivity of domestic fuel combustion in Delhi, India	(Stewart et al., 2021)	Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium. Proses pembakaran dilakukan dalam <i>chamber</i> tertutup dengan sistem sampling gas dan partikel beresolusi tinggi, serta analisis menggunakan <i>Gas Chromatography–Mass Spectrometry</i> dan <i>High-Resolution Time-of-Flight Aerosol Mass Spectrometer</i> .	Berbagai bahan bakar padat rumah tangga dari Delhi, India: kayu bakar, kotoran sapi kering, limbah padat kota (MSW), sisa tanaman, arang, serbuk gergaji, dan LPG.	Pembakaran bahan bakar padat menghasilkan berbagai VOC yang membentuk aerosol organik sekunder. Senyawa fenolik menyumbang 10–70% pembentukan SOA dan furanik 9–48% terhadap reaktivitas OH. Emisi dari limbah kota dan kotoran sapi menghasilkan 3–7 kali lebih banyak SOA dibanding kayu bakar, serta 30–230 kali lebih reaktif terhadap radikal OH dibanding LPG.

Judul	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Sampel Penelitian	Hasil Penelitian
Environmental Impact of Open Burning of Municipal Solid Wastes Dumps in Parts of Jos Metropolis, Nigeria	(Daffi et al., 2020)	Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan eksperimental untuk menilai emisi gas dan partikel dari praktik pembakaran terbuka limbah padat perkotaan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat pemantau kualitas udara portabel ( <i>Aeroqual Series 200</i> ) untuk gas beracun seperti CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , dan PM <sub>10</sub> , serta analisis laboratorium untuk karakterisasi abu hasil pembakaran.	Lima lokasi dump terbuka di Jos Metropolis, Nigeria (Gadan Bako, Apata, St. Pirans, Rwang Pam, Langtang Street); pengukuran dilakukan Desember 2019.	Nilai O <sub>2</sub> di sekitar dump berada di bawah zona nyaman (<19.5%), CO berkisar 2–9 ppm (naik saat pembakaran—tertinggi 9 ppm pada lokasi dengan plastik), dan CO <sub>2</sub> antara ≈361–700 ppm (semua >350 ppm). Pembakaran terbuka meningkatkan konsentrasi polutan; penambahan plastik memperbesar kenaikan CO. Disimpulkan bahwa praktik pembakaran sampah terbuka berpotensi merusak kualitas udara dan kesehatan masyarakat di sekitar lokasi
Estimating Environmental Damages Due to Solid Wastes' Open Burning Using Endpoint Approach in Life Cycle Assessment	(Alyasari, 2021)	Penelitian ini menggunakan metode <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> dengan pendekatan <i>endpoint</i> menggunakan perangkat lunak SimaPro-8 dan metode ReCiPe 2008 untuk menganalisis dampak lingkungan dari pembakaran terbuka limbah padat di Al-Muthanna, Irak.	Data diambil dari survei terhadap 267 responden di Provinsi Al-Muthanna, mencakup estimasi porsi limbah yang dibakar terbuka, dikumpulkan, dan didaur ulang.	Pembakaran terbuka limbah padat di Provinsi Al-Muthanna menimbulkan kerugian lingkungan yang besar, yaitu sekitar 901 ±607 DALY per tahun bagi kesehatan manusia. Dampak terbesar terhadap kesehatan manusia berasal dari toksisitas manusia, perubahan iklim, dan pembentukan partikel. Hasil penelitian menekankan perlunya pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan, seperti peningkatan daur ulang dan penerapan <i>waste-to-energy</i> .
Risk Assessment for Illegal Waste Open Burning	(Buzzo et al., 2021)	Penelitian pengembangan model ( <i>model-based study</i> ) dengan pendekatan kuantitatif melalui <i>Environmental Risk Assessment (ERA)</i> yang mengintegrasikan data spasial, model transportasi udara (AERMOD, CALPUFF), serta parameter toksisitas dan paparan dari pedoman US EPA.	Lokasi penelitian di wilayah Campania, Italia, yang memiliki tingkat pembakaran limbah ilegal tinggi; model diuji pada beberapa titik potensial pembakaran terbuka dengan data meteorologi dan komposisi limbah berbeda.	Penelitian ini mengembangkan model penilaian risiko terintegrasi untuk pembakaran limbah ilegal dengan mempertimbangkan tanah, udara, dan air, berfokus pada udara. Risiko dihitung dari toksisitas dan paparan kronis harian, dengan hasil bervariasi dari rendah hingga sangat serius (HQ > 0,9) tergantung jenis dan volume limbah.

Judul	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Sampel Penelitian	Hasil Penelitian
Solid Waste Management in Indian Himalayan Region: Current Scenario, Resource Recovery, and Way Forward for Sustainable Development	(Thakur et al., 2021)	Metode penelitian yang digunakan adalah review literatur (kajian pustaka). Penulis mengumpulkan dan menganalisis berbagai penelitian, laporan, serta data resmi (seperti CPCB, 2019) untuk menggambarkan kondisi terkini, tantangan, dan solusi pengelolaan sampah padat di wilayah Himalaya India.	Tidak ada sampel empiris secara langsung karena studi ini bersifat <i>review artikel</i> . Namun, data yang dianalisis mencakup 10 negara bagian dan 4 distrik di wilayah Himalaya India dengan total luas sekitar 533.604 km <sup>2</sup> dan populasi sekitar 50 juta jiwa.	Pengelolaan sampah di wilayah Himalaya India masih menghadapi kendala seperti keterbatasan infrastruktur, kondisi geografis yang sulit, dan rendahnya kesadaran masyarakat dalam pemilahan sampah. Akibatnya, sebagian besar sampah masih dibakar atau dibuang secara terbuka sehingga menimbulkan pencemaran udara dan air serta merusak ekosistem pegunungan. Selain itu, pengolahan sampah organik seperti <i>composting</i> dan <i>anaerobic digestion</i> belum optimal karena suhu dingin yang menghambat proses dekomposisi.
The Effect of Open-Air Waste Burning on Infant Health: Evidence from Government Failure in Lebanon	(Mouganie et al., 2020)	Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain quasi-eksperimental untuk menganalisis pengaruh paparan pembakaran sampah terbuka terhadap kesehatan bayi. Data diperoleh dari rekam medis kelahiran di <i>American University of Beirut Medical Center</i> (2010–2017) yang dikombinasikan dengan data lokasi dan waktu pembakaran sampah dari otoritas pertahanan sipil Lebanon.	Data mencakup ribuan kelahiran di wilayah Beirut dan Mount Lebanon, mencakup 373 lingkungan ( <i>neighborhoods</i> ) tempat ibu hamil tinggal. Penelitian ini fokus pada wanita hamil yang terpapar pembakaran sampah terbuka selama masa kehamilan akibat krisis sampah Lebanon tahun 2015.	Paparan pembakaran sampah terbuka selama kehamilan dapat berdampak pada kesehatan bayi. Ibu hamil yang terpapar asap pembakaran memiliki risiko lebih tinggi melahirkan bayi prematur dan bayi dengan berat badan lahir rendah. Paparan terhadap satu kejadian pembakaran meningkatkan kemungkinan kelahiran prematur sekitar 4% dan berat badan lahir rendah 5–8%, dengan penurunan berat lahir rata-rata 61–98 gram. Dampak ini lebih besar pada ibu yang sering terpapar, terutama pada trimester pertama dan kedua kehamilan.

Judul	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Sampel Penelitian	Hasil Penelitian
Waste to Energy Developing Countries—A Rapid Review: Opportunities, Challenges, and Policies in Selected Countries of Sub-Saharan Africa and South Asia towards Sustainability	(Khan et al., 2022)	Penelitian ini menggunakan metode rapid review dengan pendekatan analisis data sekunder. Data diambil dari <i>World Bank's What a Waste Global Database</i> dan berbagai publikasi ilmiah dari tahun 2016–2022 yang diperoleh melalui basis data <i>ScienceDirect</i> .	Penelitian meninjau 15 negara di Sub-Sahara Afrika (SSA) dan 8 negara di Asia Selatan (SA). Studi juga menyertakan studi kasus di Jashore, Bangladesh, untuk melihat implementasi proyek <i>waste-to-energy (WtE)</i> berbasis <i>anaerobic digestion</i> .	Sebagian besar negara berkembang di Sub-Sahara Afrika dan Asia Selatan masih mengandalkan pembuangan terbuka, dengan sekitar 70–90% sampah tidak terkelola dengan baik. Komposisi sampah yang didominasi bahan organik ( $\pm 50\%$ ) menjadikan <i>anaerobic digestion</i> sebagai teknologi yang paling sesuai untuk mengubah sampah menjadi energi.
Global Burden of Mortalities Due to Chronic Exposure to Ambient PM2.5 from Open Combustion of Waste	(Kodros et al., 2016)	Penelitian ini menggunakan metode pemodelan spasial dan analisis kuantitatif berbasis <i>Global Burden of Disease (GBD)</i> untuk memperkirakan dampak mortalitas global akibat paparan kronis terhadap partikulat halus (PM2.5) yang berasal dari pembakaran terbuka limbah domestik.	Data diambil dari berbagai wilayah global dengan fokus pada estimasi populasi yang terpapar PM2.5 dari pembakaran limbah rumah tangga, menggunakan data satelit dan model atmosfer untuk tahun 2016.	Paparan kronis terhadap PM2.5 dari pembakaran terbuka limbah domestik menyebabkan sekitar 1 juta kematian prematur secara global per tahun. Beban kematian tertinggi terjadi di wilayah Asia Selatan dan Sub-Sahara Afrika, dimana praktek pembakaran terbuka limbah masih umum. Paparan jangka panjang terhadap PM2.5 berkontribusi besar terhadap penyakit kardiovaskular, penyakit pernapasan kronis, dan kanker paru.
Analisis Kualitas Udara dan Keluhan Gangguan Pernapasan pada Pemulung di Tempat Pembuangan Akhir (TPA)	(Hamidi, 2023)	Penelitian ini menggunakan metode observasional deskriptif kuantitatif, dengan pengumpulan data melalui pengukuran kadar gas SO2 dan NO2 di udara ambien serta penyebaran kuesioner kepada pemulung untuk mengetahui keluhan sesak napas dan karakteristik individu. Analisis data dilakukan secara univariat dan disajikan dalam bentuk distribusi frekuensi.	Seluruh pemulung di TPA Kedungsari, Megaluh, Kabupaten Jombang sebanyak 30 orang ( <i>total sampling</i> ).	Kadar SO2 sebesar 230,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan NO2 sebesar 235,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , keduanya masih di bawah baku mutu udara ambien menurut PP No. 41 Tahun 1999. Dari 30 responden, 40% mengalami keluhan sesak napas dan 60% tidak. Keluhan lebih banyak terjadi pada responden berusia >50 tahun, perempuan, masa kerja >10 tahun, bekerja >8 jam/hari, merokok, memiliki riwayat penyakit pernapasan, dan tidak menggunakan masker. Meskipun kadar gas masih dalam batas aman, terdapat kecenderungan peningkatan keluhan sesak napas pada pemulung dengan karakteristik dan kebiasaan berisiko.

Judul	Penulis (Tahun)	Metode Penelitian	Sampel Penelitian	Hasil Penelitian
Revealing the Hidden Toxin of the Bottom Ashes from Open Municipal Waste Burning	(B. Ramadan et al., 2023)	Penelitian dilakukan melalui eksperimen laboratorium yang mensimulasikan praktik pembakaran terbuka limbah kota ( <i>open waste burning</i> /OWB). Sampel abu dasar dianalisis menggunakan ICP-OES untuk mengidentifikasi konsentrasi logam berat, kemudian risiko kesehatan manusia dihitung menggunakan <i>Hazard Index</i> (HI) dan <i>Carcinogenic Risk</i> (CR).	Abu dasar diperoleh dari pembakaran lima jenis limbah rumah tangga di Kota Semarang, yaitu limbah halaman, limbah makanan, plastik, kertas/karton, dan tekstil. Setiap jenis limbah dibakar tiga kali, kemudian abu yang dihasilkan dicampur untuk dianalisis.	Logam dengan konsentrasi tertinggi dalam abu dasar adalah Fe, Mn, Zn, dan Cu, sedangkan Cd dan Hg merupakan logam dengan kadar terendah. Risiko karsinogenik (CR) akibat logam As dan Cd ditemukan lebih tinggi melalui jalur <i>ingestion</i> (tertelan), terutama pada abu hasil pembakaran limbah makanan dan kertas. Nilai HI menunjukkan anak-anak lebih rentan terhadap dampak logam berat dibandingkan orang dewasa, meskipun secara umum nilainya masih di bawah batas aman internasional.
Plastic pollution and the open burning of plastic wastes	(Pathak et al., 2023)	Penelitian ini menggunakan studi kualitatif etnografis gabungan, yaitu pengamatan jangka panjang di beberapa lokasi di India serta etnografi terfokus melalui wawancara tidak terstruktur, pemetaan lokasi pembakaran, dan diskusi kelompok terarah (FGD). Pendekatan transdisipliner digunakan untuk mengaitkan data lapangan dengan kajian kebijakan dan literatur toksikologi.	Sampel penelitian melibatkan berbagai komunitas di India, Indonesia, Filipina, dan Zambia yang dipilih secara <i>purposive</i> , mencakup wilayah urban, peri-urban, dan pedesaan. Informan terdiri dari warga, pemulung, pekerja TPA, aktivis, dan pejabat lokal. Data dikumpulkan melalui wawancara etnografis, FGD, serta pemetaan lokasi pembakaran.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembakaran terbuka plastik masih sering dilakukan karena keterbatasan layanan pengelolaan sampah, biaya pembuangan yang tinggi, dan tidak adanya alternatif yang praktis. Masyarakat menganggap pembakaran sebagai cara cepat membersihkan lingkungan, sementara penilaian risiko hanya berdasarkan bau dan warna asap sehingga bahaya toksik jangka panjang seperti dioxin dan PAH sering tidak disadari.

Berdasarkan Tabel 1, seluruh studi yang dikaji secara konsisten menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi berbagai polutan udara sebagai dampak dari pembakaran sampah terbuka, mencakup PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>, CO, karbon hitam, VOC, serta logam berat. Di samping itu, studi-studi tersebut juga mengidentifikasi berbagai gangguan kesehatan yang berulang ditemukan, terutama masalah pada sistem pernapasan, gangguan kardiovaskular, serta risiko yang lebih tinggi pada kelompok rentan seperti ibu hamil dan anak-anak. Temuan-temuan ini secara keseluruhan memperkuat kesimpulan bahwa praktik pembakaran sampah terbuka memberikan kontribusi yang nyata terhadap memburuknya kualitas udara sekaligus meningkatnya risiko kesehatan di masyarakat.

## PEMBAHASAN

Dari 15 artikel yang telah ditelaah, sebagian besar menunjukkan bahwa praktik pembakaran sampah terbuka masih menjadi metode umum pengelolaan limbah di berbagai negara berkembang akibat keterbatasan infrastruktur, kesadaran masyarakat, dan kebijakan lingkungan yang lemah. Pembakaran ini terbukti menghasilkan berbagai polutan berbahaya seperti partikulat halus (PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>), karbon monoksida (CO), senyawa organik volatil (VOC), logam berat, dioksin, dan furan yang berdampak langsung terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat.

Penelitian eksperimental seperti oleh (Wang et al., 2023) dan (Mahato et al., 2023) memperlihatkan peningkatan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> dan karbon hitam jauh di atas ambang batas WHO selama proses pembakaran, menandakan tingginya potensi pencemaran udara di area permukiman padat. Hasil ini sejalan dengan (Daffi et al., 2020) yang menemukan bahwa pembakaran limbah plastik menghasilkan peningkatan signifikan kadar CO dan CO<sub>2</sub> di udara ambien.

Dari sisi kesehatan masyarakat, beberapa penelitian menunjukkan hubungan erat antara paparan polutan pembakaran dengan gangguan pernapasan dan risiko penyakit kronis. Studi oleh (Hamidi, 2023) menunjukkan bahwa masyarakat di sekitar area pembakaran atau tempat pembuangan akhir mengalami keluhan sesak napas lebih tinggi, terutama pada kelompok usia lanjut dan pekerja yang terpapar dalam waktu lama. Sementara itu, penelitian kuantitatif oleh (Mouganie et al., 2020) di Lebanon mengungkapkan bahwa paparan asap pembakaran selama masa kehamilan meningkatkan risiko kelahiran prematur dan berat badan lahir rendah.

Analisis model spasial global oleh (Kodros et al., 2016) memperkirakan bahwa paparan kronis terhadap PM<sub>2.5</sub> dari pembakaran limbah domestik berkontribusi terhadap sekitar satu juta kematian prematur setiap tahun, terutama di wilayah Asia Selatan dan Sub-Sahara Afrika. Hasil ini memperkuat urgensi penerapan kebijakan pengelolaan sampah berkelanjutan seperti *waste-to-energy* (WtE) yang disebutkan oleh (Khan et al., 2022) sebagai alternatif untuk mengurangi pembakaran terbuka dan meningkatkan nilai ekonomi limbah.

Secara keseluruhan, hasil tinjauan ini memperlihatkan adanya pola yang konsisten dalam keterkaitan antara pembakaran sampah terbuka, peningkatan kadar polutan di udara, dan munculnya dampak kesehatan pada beragam kelompok populasi, meskipun terdapat perbedaan dalam desain penelitian maupun metode pengukuran yang digunakan.

Meski demikian, tinjauan ini tidak terlepas dari sejumlah keterbatasan. Sebagian besar studi yang dianalisis bersifat observasional atau berbasis pemodelan, sehingga hubungan sebab akibat secara langsung tidak selalu dapat dibuktikan. Selain itu, keberagaman metode pengukuran polutan dan indikator kesehatan yang digunakan antarstudi menjadi kendala dalam pelaksanaan analisis kuantitatif yang lebih mendalam. Dominasi studi dari kawasan geografis tertentu juga mengharuskan kehati-hatian dalam melakukan generalisasi temuan pada skala global.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan terhadap 15 artikel, dapat disimpulkan bahwa praktik pembakaran sampah terbuka masih menjadi permasalahan serius di berbagai negara berkembang, termasuk Indonesia. Kegiatan ini terbukti menghasilkan berbagai polutan berbahaya seperti partikulat halus (PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>), karbon monoksida (CO), senyawa organik volatil (VOC), logam berat, dioksin, dan furan yang menurunkan kualitas udara secara signifikan. Dampak kesehatannya meliputi peningkatan risiko penyakit pernapasan, gangguan kardiovaskular, serta efek kronis seperti kanker dan gangguan perkembangan janin.

Paparan jangka panjang terhadap polutan hasil pembakaran sampah terbuka berkontribusi besar terhadap peningkatan angka kesakitan dan kematian dini, terutama di kawasan padat penduduk yang memiliki sistem pengelolaan limbah yang belum memadai. Oleh karena itu, pembakaran sampah terbuka merupakan isu lingkungan dan kesehatan masyarakat yang perlu segera ditangani melalui pendekatan multisektor dan berbasis kebijakan berkelanjutan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan arahan, dukungan, serta masukan selama proses penyusunan artikel ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alyaseri, I. (2021). Estimating Environmental Damages Due to Solid Wastes' Open Burning Using Endpoint Approach in Life Cycle Assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1090(1), 012088. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1090/1/012088>
- Buzzo, G., Gigante, G., Nebula, F., Palumbo, R., Pascarella, D., & Vozella, A. (2021). Risk Assessment for Illegal Waste Open Burning. *E3S Web of Conferences*, 241(1), 03005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124103005>
- Daffi, R. E., Chaimang, A. N., & Alfa, M. I. (2020). Environmental Impact of Open Burning of Municipal Solid Wastes Dumps in Parts of Jos Metropolis, Nigeria. *Journal of Engineering Research and Reports*, 30–43. <https://doi.org/10.9734/jerr/2020/v12i317083>
- Hamidi, F. (2023). ANALISIS KUALITAS UDARA DAN KELUHAN GANGGUAN PERNAPASAN PADA PEMULUNG DI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR ( TPA ). *Jurnal Insan Cendekia*, 10(1), 66–80. <https://doi.org/10.35874/jic.v10i1.1158>
- Khan, I., Chowdhury, S., & Techato, K. (2022). Waste to Energy in Developing Countries— A Rapid Review: Opportunities, Challenges, and Policies in Selected Countries of Sub-Saharan Africa and South Asia towards Sustainability. *Sustainability*, 14(7), 3740. <https://doi.org/10.3390/su14073740>
- Kodros, J. K., Wiedinmyer, C., Ford, B., Cucinotta, R., Gan, R., Magzamen, S., & Pierce, J. R. (2016). Global burden of mortalities due to chronic exposure to ambient PM 2.5 from open combustion of domestic waste. *Environmental Research Letters*, 11(12), 124022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124022>
- Krecl, P., de Lima, C. H., Dal Bosco, T. C., Targino, A. C., Hashimoto, E. M., & Oukawa, G. Y. (2021). Open waste burning causes fast and sharp changes in particulate concentrations in peripheral neighborhoods. *Science of The Total Environment*, 765, 142736. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142736>

- Lemieux, P. M., Lutes, C. C., & Santoianni, D. A. (2004). Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(1), 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2003.08.001>
- Mahato, D. K., Sankar, T. K., Ambade, B., Mohammad, F., Soleiman, A. A., & Gautam, S. (2023). *Burning of Municipal solid waste : An invitation for aerosol black carbon and PM2.5 over mid – sized city in India*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2668945/v1>
- Mouganie, P., Ajeeb, R., & Hoekstra, M. (2020). *The Effect of Open-Air Waste Burning on Infant Health: Evidence from Government Failure in Lebanon*. <https://doi.org/10.3386/w26835>
- Pathak, G., Nichter, M., Hardon, A., & Moyer, E. (2024). The Open Burning of Plastic Wastes is an Urgent Global Health Issue. *Annals of Global Health*, 90(1). <https://doi.org/10.5334/aogh.4232>
- Pathak, G., Nichter, M., Hardon, A., Moyer, E., Latkar, A., Simbaya, J., Pakasi, D., Taqueban, E., & Love, J. (2023). Plastic pollution and the open burning of plastic wastes. *Global Environmental Change*, 80, 102648. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102648>
- Ramadan, B., Rosmalina, R., Rachman, I., & Matsumoto, T. (2023). Revealing the Hidden Toxin of the Bottom Ashes from Open Municipal Waste Burning. *International Conference on Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.30955/gnc2023.00397>
- Ramadan, B. S., Rosmalina, R. T., -, S., -, M., Khair, H., Rachman, I., & Matsumoto, T. (2023). Potential Risks of Open Waste Burning at the Household Level: A Case Study of Semarang, Indonesia. *Aerosol and Air Quality Research*, 23(5), 220412. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220412>
- Stewart, G. J., Nelson, B. S., Acton, W. J. F., Vaughan, A. R., Hopkins, J. R., Yunus, S. S. M., Hewitt, C. N., Nemitz, E., Mandal, T. K., Gadi, R., Sahu, L. K., Rickard, A. R., Lee, J. D., & Hamilton, J. F. (2021). Comprehensive organic emission profiles, secondary organic aerosol production potential, and OH reactivity of domestic fuel combustion in Delhi, India. *Environmental Science: Atmospheres*, 1(2), 104–117. <https://doi.org/10.1039/D0EA00009D>
- Thakur, A., Kumari, S., Sinai Borker, S., Prashant, S. P., Kumar, A., & Kumar, R. (2021). Solid Waste Management in Indian Himalayan Region: Current Scenario, Resource Recovery, and Way Forward for Sustainable Development. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.609229>
- Wang, X., Firouzkouhi, H., Chow, J. C., Watson, J. G., Carter, W., & De Vos, A. S. M. (2023). Characterization of gas and particle emissions from open burning of household solid waste from South Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(15), 8921–8937. <https://doi.org/10.5194/acp-23-8921-2023>