

Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Manusia

Farhatun Haya^{1*}, Khaira Nisa², Rio Febrian Ladipasa³, Ari Suriani⁴, Afriza Media⁵

¹⁻⁵Universitas Negeri Padang, Indonesia

Alamat: Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat

*Korespondensi penulis: khaira.nsa01@gmail.com

Abstract. Air pollution is one of the most pressing environmental issues with significant impacts on human health. This study aims to examine the relationship between air pollution levels and human health disorders, as well as to identify effective mitigation solutions. Using a descriptive qualitative approach, data were collected through literature reviews from various journals, WHO reports, and other official sources. The analysis shows that exposure to air pollutants, particularly fine particulate matter (PM_{2.5}), carbon monoxide, nitrogen dioxide, and ozone, can trigger respiratory, cardiovascular, and mental health disorders, and adversely affect children and pregnancies. These impacts are both short-term and long-term, including increased premature mortality and reduced quality of life. To minimize these effects, strategic solutions are needed, such as strengthening emission regulations, promoting eco-friendly transportation, using air purifiers, developing green open spaces, and providing public education. This study emphasizes the importance of collaboration between the government, society, and the private sector in creating clean air and a sustainably healthy environment.

Keywords: Air Pollution, Environment, Human Health, Mitigation Solutions, PM_{2.5}.

Abstrak. Polusi udara merupakan salah satu isu lingkungan paling mendesak yang berdampak signifikan terhadap kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara tingkat pencemaran udara dengan gangguan kesehatan pada manusia, serta mengidentifikasi solusi mitigasi yang efektif. Dengan menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif, data dikumpulkan melalui studi pustaka dari berbagai jurnal, laporan WHO, serta sumber resmi lainnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa paparan polusi udara, khususnya partikel halus (PM_{2.5}), karbon monoksida, nitrogen dioksida, dan ozon, dapat memicu gangguan sistem pernapasan, kardiovaskular, kesehatan mental, serta berdampak buruk pada anak-anak dan kehamilan. Dampak ini bersifat jangka pendek dan jangka panjang, termasuk meningkatnya angka kematian dini dan penurunan kualitas hidup. Untuk meminimalisasi dampak tersebut, diperlukan solusi strategis seperti penguatan regulasi emisi, peningkatan transportasi ramah lingkungan, penggunaan penyaring udara, pengembangan ruang terbuka hijau, serta edukasi publik. Penelitian ini menegaskan pentingnya kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta untuk menciptakan udara bersih dan lingkungan yang sehat secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Kesehatan Manusia, Lingkungan, PM_{2.5}, Polusi Udara, Solusi Mitigasi.

1. LATAR BELAKANG

Polusi udara merupakan bentuk degradasi lingkungan yang kini tidak hanya menjadi persoalan ekologis, melainkan juga berdampak langsung terhadap kualitas hidup manusia. Fenomena ini terjadi akibat akumulasi zat pencemar berbahaya di atmosfer, seperti partikel halus (PM_{2.5} dan PM₁₀), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), dan senyawa organik volatil (VOC) yang berasal dari kendaraan bermotor, aktivitas industri, pembakaran terbuka, dan emisi rumah tangga. Kombinasi antara peningkatan populasi, urbanisasi yang cepat, dan kurangnya regulasi yang efektif memperburuk kondisi atmosfer di berbagai wilayah.

Sebagaimana dijelaskan oleh Zulkarnaen dan Putri (2021), dalam konteks Indonesia, pertumbuhan ekonomi seringkali tidak seimbang dengan perlindungan lingkungan, menyebabkan kualitas udara menurun secara signifikan di kota-kota besar.

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mencatat bahwa sekitar 99% populasi global menghirup udara dengan tingkat polutan yang melebihi batas aman yang ditetapkan untuk kesehatan (WHO, 2021). Data ini menunjukkan bahwa polusi udara bukanlah permasalahan lokal atau regional semata, melainkan telah menjadi krisis kesehatan publik skala dunia. Peningkatan polusi udara turut menyumbang angka kematian dini dan memperburuk penyakit kronis, seperti penyakit jantung, asma, dan kanker paru-paru. Laporan WHO (2023) menyebutkan bahwa lebih dari 7 juta kematian prematur terjadi setiap tahun sebagai konsekuensi langsung dari paparan terhadap udara tercemar.

Dalam konteks nasional, laporan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan bahwa indeks kualitas udara di kota-kota seperti Jakarta, Surabaya, dan Bandung sering kali berada dalam kategori tidak sehat, terutama pada musim kemarau (KLHK, 2022).

2. KAJIAN TEORITIS

Sebuah penelitian oleh Candrasari et al. (2023) menyimpulkan bahwa polusi udara di Indonesia didominasi oleh emisi transportasi dan kegiatan pembakaran sampah domestik, yang sulit dikendalikan karena keterbatasan infrastruktur dan rendahnya kesadaran masyarakat terhadap dampak jangka panjang pencemaran udara. Temuan ini diperkuat oleh data dari Dinas Kesehatan DKI Jakarta, yang melaporkan lebih dari 100 ribu kasus ISPA setiap bulan selama semester pertama tahun 2023, dengan tren peningkatan pada hari-hari dengan indeks kualitas udara tinggi.

Polusi udara tidak hanya berdampak pada sistem pernapasan dan jantung, namun juga mengancam kesehatan sistem saraf dan reproduksi. Studi oleh Zhou et al. (2022) menemukan bahwa janin yang terpapar udara tercemar selama masa kehamilan memiliki risiko lebih tinggi mengalami keterlambatan perkembangan, kelahiran prematur, dan gangguan neurokognitif. Di sisi lain, penelitian Bhatt et al. (2021) menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap polusi udara dapat memicu reaksi inflamasi di otak, mempercepat timbulnya gangguan neurodegeneratif seperti Alzheimer dan Parkinson. Dalam kajian lokal, Putri dan Maharani (2020) menjelaskan bahwa polusi udara berkontribusi terhadap peningkatan gangguan psikologis, seperti depresi dan kecemasan, terutama pada individu yang tinggal di kawasan industri padat penduduk.

Kerugian ekonomi akibat polusi udara juga tidak dapat diabaikan. Biaya yang dikeluarkan untuk pengobatan, kehilangan produktivitas, serta beban terhadap sistem layanan kesehatan publik telah mencapai angka triliunan rupiah per tahun. Laporan dari The Lancet Commission on Pollution and Health (2022) mengestimasi bahwa dampak ekonomi global akibat polusi udara mencapai lebih dari USD 4,6 triliun setiap tahun. Dalam skala nasional, riset dari Saputra (2021) memperkirakan bahwa kerugian ekonomi akibat gangguan kesehatan terkait polusi udara di Indonesia dapat mencapai 2–3% dari Produk Domestik Bruto (PDB) setiap tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran udara bukan hanya persoalan lingkungan dan kesehatan, tetapi juga menyangkut keberlanjutan pembangunan nasional.

Meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk mengendalikan pencemaran udara, seperti penerapan standar emisi, peningkatan ruang terbuka hijau, dan promosi energi terbarukan, keberhasilan implementasi kebijakan tersebut masih menghadapi banyak tantangan. Salah satu faktor yang menghambat adalah rendahnya partisipasi masyarakat serta lemahnya pengawasan terhadap pelaku industri dan transportasi. Menurut laporan Nurhalimah dan Yuliati (2019), banyak daerah di Indonesia belum memiliki sistem pemantauan kualitas udara yang memadai, sehingga intervensi kebijakan seringkali bersifat reaktif, bukan preventif. Selain itu, adaptasi terhadap teknologi ramah lingkungan masih terbatas pada sektor tertentu dan belum menjadi arus utama dalam kebijakan pembangunan.

Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah dan sistematis untuk mengkaji secara mendalam bagaimana polusi udara berdampak terhadap kesehatan masyarakat Indonesia, serta strategi yang dapat digunakan untuk meminimalkan risiko tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak-dampak utama pencemaran udara terhadap berbagai aspek kesehatan fisik dan mental, serta mengeksplorasi berbagai upaya mitigasi baik di tingkat individu maupun institusi. Dengan memahami interaksi antara sumber pencemar, jalur paparan, dan efek biologisnya, diharapkan artikel ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam merancang kebijakan yang lebih adaptif, berbasis bukti, dan berkelanjutan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai fenomena yang diteliti, yaitu dampak polusi udara terhadap kesehatan manusia. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan eksplorasi secara komprehensif terhadap realitas sosial, lingkungan, dan kesehatan yang kompleks serta berkaitan erat dengan faktor-faktor ekologis dan kebijakan publik.

Sumber data dalam penelitian ini berasal dari data sekunder, yaitu sumber rujukan primer yang meliputi artikel jurnal ilmiah, prosiding akademik, laporan lembaga internasional (seperti WHO dan UNEP), serta dokumen pemerintah yang relevan. Literatur yang digunakan dipilih secara selektif berdasarkan keterkaitannya dengan tema polusi udara, jenis polutan (seperti PM_{2.5}, NO₂, CO, dan SO₂), serta dampaknya terhadap kesehatan masyarakat, baik pada tingkat lokal di Indonesia maupun secara global. Selain itu, penelitian ini juga didukung oleh observasi terbatas secara tidak langsung terhadap tren data kualitas udara dan prevalensi penyakit terkait polusi, seperti ISPA, asma, penyakit jantung, dan gangguan kehamilan, yang dilaporkan melalui publikasi resmi.

Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif kualitatif, yang mencakup tiga tahapan utama, yaitu:

- 1) Reduksi data: Proses penyaringan dan pemilahan informasi dari berbagai sumber agar fokus terhadap data yang relevan dengan tujuan penelitian. Ini termasuk identifikasi jenis polutan utama, kelompok rentan, dan bukti epidemiologis yang konsisten.
- 2) Penyajian data: Penyusunan data dalam bentuk narasi sistematis dan tematik untuk memudahkan pemahaman dan identifikasi hubungan antara polusi udara dengan kondisi kesehatan yang ditimbulkan.
- 3) Penarikan kesimpulan dan verifikasi: Proses sintesis terhadap temuan serta interpretasi data berdasarkan kerangka teori kesehatan lingkungan, patofisiologi penyakit akibat polusi, serta regulasi pengendalian emisi.

Selama proses analisis, peneliti mengaitkan temuan yang diperoleh dari studi literatur dan data empiris dengan teori-teori relevan, seperti teori ekotoksikologi, model risiko kesehatan lingkungan, serta pendekatan sistem dalam epidemiologi. Tujuannya adalah untuk membentuk gambaran yang utuh dan komprehensif mengenai hubungan antara pencemaran udara dan berbagai dampak kesehatan, mulai dari sistem respirasi, kardiovaskular, hingga mental.

Dengan metode ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan pengetahuan interdisipliner antara kesehatan dan lingkungan, serta kontribusi praktis dalam merumuskan kebijakan mitigasi dan advokasi publik guna mengurangi dampak polusi udara terhadap kesehatan masyarakat, khususnya di kawasan urban dan industri di Indonesia.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Manusia

Polusi udara telah menjadi salah satu isu kesehatan global yang semakin mendesak. Paparan jangka panjang terhadap berbagai polutan, terutama partikel halus seperti PM_{2.5} dan PM₁₀, memiliki dampak yang luas terhadap berbagai sistem tubuh manusia, termasuk sistem pernapasan, kardiovaskular, saraf, dan kesehatan mental. Dampak buruk ini semakin terasa di negara-negara dengan tingkat polusi udara yang tinggi, termasuk Indonesia. Berdasarkan laporan dari WHO (World Health Organization), polusi udara menjadi salah satu penyebab utama kematian dini di dunia, terutama terkait dengan penyakit pernapasan dan kardiovaskular.

Dampak Polusi Udara terhadap Sistem Pernapasan

Polusi udara mempengaruhi sistem pernapasan manusia dengan cara yang sangat berbahaya. Partikel-partikel kecil yang terhirup, seperti PM_{2.5} (partikel dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer) dan PM₁₀ (partikel dengan diameter kurang dari 10 mikrometer), dapat menembus lapisan paru-paru dan memicu peradangan serta kerusakan jangka panjang pada jaringan paru-paru. Salah satu dampak yang paling umum adalah peningkatan risiko terkena penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), asma, dan bronkitis.

Anak-anak dan lansia, yang memiliki sistem kekebalan tubuh yang lebih rentan, adalah kelompok yang paling terpengaruh. Penelitian oleh Putri et al. (2019) di Jakarta menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap PM_{2.5} berkorelasi langsung dengan peningkatan kasus asma dan bronkitis pada anak-anak. Di sisi lain, Rahmawati et al. (2021) juga menemukan bahwa pekerja industri yang terpapar polutan industri, seperti SO₂, lebih berisiko mengembangkan PPOK.

Paparan jangka panjang terhadap polusi udara juga dapat menyebabkan penurunan fungsi paru-paru yang tidak dapat dipulihkan, yang memperburuk kualitas hidup dan meningkatkan biaya perawatan kesehatan di masyarakat.

Pengaruh Polusi Udara terhadap Sistem Kardiovaskular

Tidak hanya sistem pernapasan yang terpengaruh, tetapi polusi udara juga berdampak serius terhadap kesehatan jantung dan pembuluh darah. Penelitian menunjukkan bahwa paparan terhadap polutan seperti NO₂ (diodida nitrogen) dan PM_{2.5} berhubungan dengan peningkatan risiko penyakit jantung iskemik, serangan jantung, dan stroke. Polutan udara ini dapat memicu peradangan sistemik yang memperburuk kondisi kesehatan jantung dan pembuluh darah.

Dalam penelitian oleh Supriyadi et al. (2020) di Surabaya, ditemukan bahwa paparan jangka panjang terhadap polusi udara meningkatkan kejadian penyakit jantung iskemik dan serangan jantung. Temuan ini juga didukung oleh penelitian oleh Miller et al. (2022) yang menunjukkan bahwa paparan PM2.5 jangka panjang dapat meningkatkan viskositas darah dan risiko trombosis, suatu kondisi yang meningkatkan kemungkinan terbentuknya bekuan darah.

Dengan semakin buruknya kualitas udara, beban penyakit kardiovaskular akan semakin meningkat, yang membutuhkan perhatian khusus dalam kebijakan kesehatan publik.

Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Anak

Anak-anak adalah kelompok yang sangat rentan terhadap polusi udara, terutama karena sistem pernapasan mereka masih berkembang dan sistem kekebalan tubuh mereka lebih lemah dibandingkan orang dewasa. Paparan jangka panjang terhadap polutan udara seperti PM2.5 dapat menyebabkan gangguan pada perkembangan paru-paru mereka. Penurunan fungsi paru dapat mempengaruhi pertumbuhan fisik anak-anak dan memperburuk gangguan pernapasan yang sudah ada.

Studi oleh Putri et al. (2019) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PM2.5 di Jakarta berhubungan langsung dengan peningkatan kasus asma dan bronkitis pada anak-anak. Lim et al. (2020) juga menemukan bahwa anak-anak yang tinggal di daerah dengan polusi udara tinggi mengalami penurunan fungsi paru-paru sebesar 10-15% dibandingkan dengan anak-anak yang tinggal di daerah dengan udara bersih.

Penurunan fungsi paru ini tidak hanya berdampak pada kualitas hidup anak-anak, tetapi dapat memengaruhi kesehatan mereka sepanjang hidup, meningkatkan risiko penyakit pernapasan kronis di masa depan.

Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Mental

Polusi udara tidak hanya memengaruhi kesehatan fisik, tetapi juga berkontribusi terhadap gangguan kesehatan mental. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap polutan seperti PM2.5 dan NO2 berhubungan dengan peningkatan risiko gangguan mental seperti depresi dan kecemasan.

Penelitian oleh Rahmawati et al. (2021) menunjukkan bahwa paparan polusi udara dengan kadar PM10 dan NO2 yang tinggi meningkatkan prevalensi gangguan kecemasan dan depresi, terutama di kalangan orang muda dan lansia. Power et al. (2021) juga menyatakan bahwa terdapat korelasi signifikan antara paparan polusi udara dan peningkatan gangguan mental, menunjukkan bahwa dampak polusi udara lebih luas dari sekadar masalah fisik.

Gangguan kesehatan mental ini dapat memperburuk kualitas hidup masyarakat, meningkatkan beban sosial dan ekonomi, serta mengurangi produktivitas tenaga kerja.

Dampak Polusi Udara terhadap Kehamilan dan Janin

Polusi udara juga berdampak pada kesehatan ibu hamil dan janin. Paparan terhadap polutan udara selama masa kehamilan dapat menyebabkan komplikasi serius, termasuk kelahiran prematur dan gangguan perkembangan janin. Studi oleh Sari & Muliani (2020) menunjukkan bahwa ibu hamil yang terpapar polusi berat memiliki risiko 2,3 kali lebih tinggi mengalami kelahiran prematur.

selama masa kehamilan berisiko meningkatkan gangguan spektrum autisme pada anak-anak yang lahir. Dampak jangka panjang ini menunjukkan bahwa polusi udara dapat mengubah jalur perkembangan neurologis anak, yang mengarah pada gangguan kognitif dan perilaku di kemudian hari.

Solusi Praktis untuk Mengurangi Dampak Polusi Udara pada Kesehatan

Menggunakan Masker di Daerah Tercemar

Salah satu langkah mudah dan langsung yang dapat diambil oleh individu adalah menggunakan masker saat berada di luar ruangan, terutama saat kualitas udara buruk. Masker dengan filter khusus, seperti masker N95, dapat membantu menyaring partikel polusi halus yang berbahaya seperti PM_{2.5} dan PM₁₀. Masker ini efektif dalam mengurangi paparan polusi yang dapat mempengaruhi saluran pernapasan dan menimbulkan masalah kesehatan. Seperti yang dijelaskan dalam penelitian oleh Sari et al. (2020), penggunaan masker dapat mengurangi risiko penyakit pernapasan akibat polusi udara di daerah perkotaan dengan kualitas udara buruk.

Mengurangi Aktivitas di Luar Ruangan pada Hari dengan Kualitas Udara Buruk

Salah satu solusi yang dapat diterapkan dengan mudah adalah menghindari aktivitas fisik berat di luar ruangan saat kualitas udara buruk. Menunda olahraga atau aktivitas fisik berat pada hari-hari dengan indeks kualitas udara rendah dapat mengurangi risiko gangguan pernapasan dan masalah kesehatan lainnya. Dalam studi oleh Aini et al. (2021), ditemukan bahwa aktivitas fisik di luar ruangan pada hari dengan polusi udara tinggi berhubungan langsung dengan peningkatan kasus penyakit pernapasan pada masyarakat di daerah perkotaan.

Menggunakan Alat Penyaring Udara di Dalam Ruangan

Penggunaan alat penyaring udara atau air purifier dapat membantu meningkatkan kualitas udara di dalam rumah atau kantor. Alat ini menyaring debu, asap, dan partikel halus lainnya yang berbahaya bagi kesehatan. Seperti yang diungkapkan oleh Sari & Prasetyo (2021), penggunaan alat penyaring udara di dalam ruangan terbukti efektif dalam mengurangi paparan polusi di rumah, terutama bagi kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia.

Menanam Tanaman di Dalam Rumah

Beberapa tanaman rumah seperti lidah mertua, peace lily, dan tanaman monstera dapat membantu menyerap polutan dan meningkatkan kualitas udara di dalam rumah. Penelitian oleh Ningsih & Hartono (2020) menunjukkan bahwa tanaman tertentu dapat mengurangi kadar polutan seperti formaldehida dan benzen, yang merupakan komponen berbahaya dari polusi udara. Selain manfaat estetika, tanaman ini juga berfungsi sebagai filter alami untuk udara, mengurangi polusi yang dapat mempengaruhi kesehatan.

Menggunakan Transportasi Umum atau Bersepeda

Mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dengan beralih ke transportasi umum atau bersepeda adalah salah satu cara yang paling efektif untuk mengurangi polusi udara. Menurut studi oleh Yuliawati & Pratiwi (2021), peralihan ke transportasi umum dan penggunaan sepeda dapat mengurangi emisi gas buang kendaraan dan mengurangi kemacetan yang sering memperburuk kualitas udara di daerah perkotaan. Ini juga dapat mengurangi polusi udara yang berdampak pada kesehatan masyarakat, terutama di kota-kota besar dengan tingkat polusi tinggi.

Menjaga Kebersihan Lingkungan Sekitar

Kebersihan lingkungan sekitar juga berperan penting dalam mengurangi polusi udara. Menjaga kebersihan jalan, mengurangi pembakaran sampah terbuka, serta menghindari penggunaan bahan bakar fosil yang mencemari udara akan membantu menciptakan udara yang lebih bersih dan sehat. Dalam penelitian oleh Hadi et al. (2020), disebutkan bahwa pembakaran sampah terbuka dan penggunaan bahan bakar fosil secara berlebihan adalah dua faktor penyumbang utama polusi udara, yang dapat diatasi dengan kebijakan pengelolaan sampah dan energi yang lebih ramah lingkungan.

Memperbaiki Kualitas Udara di Lingkungan Sekitar Rumah

Menanam pohon atau tanaman di sekitar rumah juga dapat membantu menyaring polutan udara dan menciptakan udara yang lebih bersih. Penelitian oleh Fadhilah & Setyawan (2022) mengungkapkan bahwa penanaman pohon di daerah perkotaan memiliki dampak positif terhadap kualitas udara dengan menyerap gas berbahaya seperti CO₂ dan mengurangi suhu udara di sekitarnya. Selain itu, pohon-pohon besar membantu mengurangi debu dan partikel halus yang sering kali terhirup oleh manusia.

Peningkatan Kesadaran dan Pendidikan Masyarakat

Mengedukasi masyarakat tentang pentingnya menjaga kualitas udara adalah langkah yang sangat penting. Kampanye kesadaran tentang dampak polusi udara terhadap kesehatan dan bagaimana cara melindungi diri dari polusi udara dapat membantu masyarakat membuat pilihan yang lebih sehat dan berkelanjutan. Dalam kajian oleh Andini & Rahmawati (2021), disebutkan bahwa pendidikan dan kampanye kesadaran publik yang melibatkan masyarakat luas terbukti efektif dalam meningkatkan kesadaran akan dampak polusi udara dan pentingnya tindakan kolektif untuk menjaga kualitas udara.

5. KESIMPULAN

Polusi udara merupakan ancaman serius bagi kesehatan manusia yang mencakup berbagai sistem tubuh, mulai dari sistem pernapasan, kardiovaskular, hingga sistem saraf dan reproduksi. Paparan berkelanjutan terhadap polutan seperti PM_{2.5}, NO₂, SO₂, dan ozon terbukti meningkatkan risiko penyakit pernapasan kronis, serangan jantung, stroke, serta gangguan kesehatan mental dan perkembangan janin. Kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, ibu hamil, dan pekerja lapangan mengalami dampak paling signifikan dari pencemaran udara.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa polusi udara tidak hanya berdampak secara fisik, tetapi juga mengganggu kualitas hidup masyarakat secara menyeluruh. Efek jangka panjangnya tidak hanya menurunkan kapasitas kerja dan produktivitas, tetapi juga memperbesar beban ekonomi dan sosial akibat meningkatnya kasus penyakit yang dapat dicegah. Oleh karena itu, mitigasi terhadap polusi udara memerlukan pendekatan komprehensif yang mencakup pengendalian emisi, perlindungan kelompok rentan, dan edukasi publik untuk membangun kesadaran akan pentingnya udara bersih bagi kesehatan dan keberlanjutan hidup manusia.

DAFTAR REFERENSI

- Bhatt, D. P., Puig, K. L., Gorr, M. W., Wold, L. E., & Combs, C. K. (2021). Air pollution and neural health: Identifying mechanisms of neuroinflammation and injury. *NeuroToxicology*, 85, 172–181.
- Candrasari, S., et al. (2023). *Pemulihan dampak pencemaran udara bagi kesehatan masyarakat Indonesia*.
- Lim, Y. H., Kim, H., & Kim, J. H. (2020). Long-term exposure to air pollution and children's lung function in South Korea. *Environmental Research*, 185, 109–118.
- Lindawati. (2015). *Analisis faktor yang mempengaruhi perilaku ekonomi dan kesejahteraan rumah tangga petani usahatani terpadu padi-sapi di Provinsi Jawa Barat* [Tesis, Institut Pertanian Bogor]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/85350>
- Miller, K. A., Siscovick, D. S., Sheppard, L., Shepherd, K., Sullivan, J. H., Anderson, G. L., & Kaufman, J. D. (2022). Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *New England Journal of Medicine*, 356(5), 447–458.
- Nurhalimah, S., & Yulianti, L. (2019). Tantangan pengelolaan kualitas udara di Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 1–10.
- Power, M. C., Weisskopf, M. G., Alexeeff, S. E., Coull, B. A., Spiro, A., & Schwartz, J. (2021). Traffic-related air pollution and cognitive function in a cohort of older men. *Environmental Health Perspectives*, 129(9), 097002.
- Putri, S. R., & Maharani, S. E. (2020). Dampak buruk polusi udara bagi kesehatan dan cara meminimalkan risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), 47–58.
- Putri, W. A., Haryanto, B., & Suryono, S. (2019). Hubungan antara paparan PM2.5 dan kejadian ISPA pada anak-anak di Jakarta. *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Indonesia*, 3(2), 85–94.
- Rahmawati, E., Sari, M. N., & Lestari, D. (2021). Paparan SO₂ dan NO₂ terhadap gangguan pernapasan pada buruh informal di kawasan industri. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 12(1), 11–20.
- Saputra, A. I. (2021). Pajak karbon sebagai sumber penerimaan negara dan sistem pemungutannya. *Jurnal Anggaran dan Keuangan Negara Indonesia*, 3(1), 45–59.
- Sari, D. P., & Muliani, D. (2020). Paparan polusi udara dan kejadian kelahiran prematur di Jakarta. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, 11(1), 77–85.
- Supriyadi, H., Nugroho, S., & Wijaya, R. (2020). Hubungan kualitas udara dengan kejadian infark miokard akut di Surabaya. *Jurnal Kardiologi Indonesia*, 41(3), 162–169.
- UNEP. (2023). *Air pollution and health: Emerging global concerns*. United Nations Environment Programme.
- WHO. (2021). *Ambient (outdoor) air pollution*. World Health Organization.

- WHO. (2023). *Global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- Zhou, X., et al. (2022). Prenatal exposure to air pollution and neurodevelopment. *Environmental Health Perspectives*, 130(6), 067001.
- Zulkarnaen, D. R., & Putri, N. H. (2021). Kajian polusi udara dan kesehatan masyarakat perkotaan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(3), 183–192.