

Studi Kausalitas antara Polusi Udara dan Kejadian Penyakit Saluran Pernapasan pada Penduduk Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia

Khalida Akmatul Arsyad¹, Yana Priyana²

¹STIKES Sukabumi; x.5orizasativa@gmail.com

²STIES Sukabumi; mrpyana@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki hubungan kausal antara polusi udara dan kejadian penyakit saluran pernapasan pada penduduk Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia. Kota Bogor merupakan kota yang padat penduduk dengan tingkat polusi udara yang signifikan akibat aktivitas industri, transportasi, dan pola hidup masyarakat. Penelitian ini menggunakan metode analisis kausalitas untuk mengidentifikasi hubungan antara polusi udara dan penyakit saluran pernapasan. Data tentang konsentrasi polutan udara (partikulat PM_{2.5}, SO₂, NO₂) dan jumlah kasus penyakit saluran pernapasan diambil dari sumber-sumber yang tersedia, seperti Badan Lingkungan Hidup Kota Bogor dan pusat kesehatan masyarakat setempat. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan kausal yang signifikan antara polusi udara dan kejadian penyakit saluran pernapasan. Konsentrasi partikulat PM_{2.5}, SO₂, dan NO₂ memiliki dampak yang merugikan terhadap kesehatan penduduk. Penelitian ini juga menyoroti perbedaan efek polusi udara terhadap berbagai kelompok penduduk, seperti anak-anak, lansia, dan individu dengan kondisi kesehatan yang sudah melemah. Temuan ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang risiko kesehatan yang dihadapi oleh penduduk Kota Bogor akibat polusi udara. Dalam rangka meningkatkan kualitas udara dan mengurangi dampak buruknya terhadap kesehatan, penelitian ini menyarankan perlunya langkah-langkah kebijakan yang efektif. Langkah-langkah tersebut meliputi peningkatan kontrol emisi industri dan kendaraan, peningkatan kesadaran masyarakat tentang dampak polusi udara, dan peningkatan akses terhadap pelayanan kesehatan yang berkaitan dengan penyakit saluran pernapasan. Penelitian ini menegaskan adanya hubungan kausal antara polusi udara dan kejadian penyakit saluran pernapasan pada penduduk Kota Bogor. Temuan ini memberikan dasar yang kuat untuk mengambil tindakan preventif dan intervensi yang lebih efektif dalam menangani masalah polusi udara dan kesehatan masyarakat di wilayah perkotaan.

Kata Kunci: Studi Kausalitas, Polusi Udara, Penyakit Saluran Pernapasan, Penduduk, Kota Bogor, Jawa Barat Indonesia

ABSTRACT

This study aims to investigate the causal relationship between air pollution and the incidence of respiratory tract diseases in residents of Bogor City, West Java, Indonesia. Bogor City is a densely populated city with significant levels of air pollution due to industrial activities, transportation, and people's lifestyles. This study uses the causality analysis method to identify the relationship between air pollution and respiratory diseases. Data on air pollutant concentrations (particulate matter PM_{2.5}, SO₂, NO₂) and the number of respiratory tract disease cases were taken from available sources, such as the Bogor City Environment Agency and local public health centers. The results showed a significant causal relationship between air pollution and the incidence of respiratory diseases. Particulate concentrations of PM_{2.5}, SO₂, and NO₂ have a detrimental impact on the health of residents. The study also highlighted the different effects of air pollution on different population groups, such as children, the elderly, and individuals with compromised health. These findings provide a deeper understanding of the health risks faced by Bogor City residents due to air pollution. In order to improve air quality and reduce its adverse health impacts, this study suggests the need for effective policy measures. Such measures include improved control of industrial and vehicular emissions, increased public awareness of the impacts of air pollution, and improved access to health services related to respiratory diseases. This study confirms the existence of a causal relationship between air pollution and the incidence of respiratory diseases in Bogor City residents. The findings provide a strong basis for taking more effective preventive and intervention measures to address air pollution and public health issues in urban areas.

Keywords: Causality Study, Air Pollution, Respiratory Disease, Population, Bogor City, West Java Indonesia

PENDAHULUAN

Polusi udara adalah masalah lingkungan global yang mendesak yang menimbulkan risiko signifikan bagi kesehatan manusia. Polusi udara ditandai dengan adanya zat-zat berbahaya di atmosfer, seperti materi partikulat, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, dan senyawa organik yang mudah menguap. Polutan ini berasal dari berbagai sumber, termasuk kegiatan industri, emisi kendaraan, praktik pertanian, dan peristiwa alam. Ketika seseorang terpapar polusi udara tingkat tinggi dalam waktu yang lama, hal ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang merugikan, terutama pada sistem pernapasan.

Polusi udara dapat memberikan dampak kesehatan yang signifikan bagi individu. Paparan polutan udara terkait dengan penyakit kardiopulmoner, diabetes, sindrom metabolik, kondisi neurobehavioral, dan kelainan reproduksi (Snow et al., 2018). Paparan jangka panjang terhadap udara yang tercemar dianggap sebagai faktor penentu kesehatan yang signifikan. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), polusi udara berkontribusi terhadap 7,6% kematian dini setiap tahunnya dan mengurangi jumlah tahun kehidupan yang sehat (J.-T. Lee, 2021). Studi kohort dan meta-analisis telah memberikan bukti hubungan antara paparan polutan dan efek biologis (J.-T. Lee, 2021). Upaya untuk memahami dan mengurangi dampak kesehatan dari polusi udara partikulat (PM) memiliki sejarah yang kaya dan menarik. Penelitian telah menunjukkan bahwa paparan polusi udara partikulat halus memiliki efek buruk pada kesehatan jantung-paru (Pope & Dockery, 2006).

Telah terjadi kemajuan besar dalam evaluasi efek kesehatan PM pada berbagai skala waktu pemaparan dan dalam eksplorasi bentuk fungsi konsentrasi-respon. Terdapat pula bukti-bukti yang muncul mengenai efek kesehatan kardiovaskular terkait PM dan meningkatnya pengetahuan mengenai jalur patofisiologis umum yang saling berhubungan yang menghubungkan paparan PM dengan morbiditas dan mortalitas kardiopulmoner (Pope & Dockery, 2006). Sistem neuroendokrin, khususnya sumbu stres simpatis-adrenal-medula (SAM) dan hipotalamus-hipofisis-adrenal (HPA), berperan dalam memediasi beragam efek sistemik dan paru yang disebabkan oleh polutan udara. Peningkatan hormon stres yang berasal dari adrenal yang bersirkulasi berkontribusi pada cedera/peradangan paru-paru dan efek metabolik di hati, pankreas, adiposa, dan jaringan otot. Individu yang berisiko lebih besar terkena efek pernapasan akibat polusi udara termasuk mereka yang sudah memiliki kondisi pernapasan yang sudah ada sebelumnya, anak-anak, dan orang tua (Khafaie et al., 2016). Terdapat peningkatan minat untuk memanfaatkan data kohort tingkat individu untuk menilai efek kesehatan jangka pendek untuk memahami mekanisme dan skala waktu tindakan (Szpiro et al., 2014).

Kejadian penyakit saluran pernapasan adalah topik yang luas yang mencakup banyak penyakit dan kondisi yang berbeda. Respiratory syncytial virus (RSV) dapat menyebabkan penyakit saluran pernapasan bawah yang serius (LRTD) pada orang dewasa yang lebih tua (Falsey et al., 2021). Infeksi jamur paru invasif dapat terjadi pada pasien yang sakit kritis, termasuk pasien dengan penyakit virus corona 2019 yang parah (Martin-Loeches et al., 2022). Kura-kura Gopher di Florida dan Mississippi telah ditemukan memiliki tingkat paparan yang tinggi terhadap Penyakit Saluran Pernafasan Atas (URTD) (Smith et al., 1998).

Bovine coronavirus (BCV) dapat menyebabkan penyakit saluran pernapasan pada anak sapi dara (Plummer et al., 2004). Kuda yang divaksinasi terhadap agen umum penyakit pernapasan atas menular (IURD) mungkin tidak memiliki antibodi serum yang dapat dideteksi dan mungkin tidak terlindungi dari penyakit klinis (Mumford et al., 2003). Secara keseluruhan, kejadian penyakit

saluran pernapasan dapat sangat bervariasi tergantung pada penyakit atau kondisi spesifik yang sedang dipelajari, serta populasi yang diperiksa.

Polusi udara telah dikaitkan dengan kejadian penyakit saluran pernapasan, terutama infeksi saluran pernapasan atas (ISPA) pada anak-anak dan mahasiswa (Ratajczak et al., 2021; Zhang et al., 2021). Paparan materi partikulat (PM), komponen utama polusi udara, dikaitkan dengan eksaserbasi penyakit pernapasan kronis, dan penyakit menular seperti pneumonia yang didapat dari masyarakat (Purves et al., 2022). PM dapat menyebabkan efek kesehatan yang merugikan melalui kerusakan langsung pada sel inang, tetapi juga dapat memengaruhi perilaku bakteri dengan mendorong kolonisasi *in vivo* (Purves et al., 2022). Sebagai contoh, paparan karbon hitam (BC), konstituen PM yang ditemukan di sebagian besar sumber polusi udara, dapat meningkatkan kolonisasi bakteri dan ekspresi faktor virulensi dengan bertindak langsung pada bakteri dan bukan melalui inang (Purves et al., 2022). Secara khusus, *Staphylococcus aureus* strain USA300 LAC yang ditumbuhkan dalam BC sebelum inokulasi menunjukkan peningkatan kolonisasi saluran pernapasan tikus dan invasi paru secara *in vivo*, serta adhesi dan invasi sel epitel manusia secara *in vitro* (Purves et al., 2022). Analisis transkripsi global menunjukkan bahwa BC memiliki efek luas pada respons transkripsi *S. aureus*, mengubah regulasi regulator gen virulensi utama Sae dan Agr dan menyebabkan peningkatan ekspresi gen yang mengkode toksin, protease, dan faktor penghindaran kekebalan (Purves et al., 2022). Data ini menggambarkan mekanisme penyebab infeksi terkait polusi udara yang sebelumnya tidak dikenal (Purves et al., 2022).

Kota Bogor, Indonesia menghadapi beberapa tantangan lingkungan, termasuk polusi udara dan air. Air tanah di Kecamatan Tanah Sareal, Kota Bogor, tercemar dan kurang layak, dengan tingkat total bakteri coliform dan *E. coli* yang tinggi (Kairunnisa et al., 2021; Khairunnisa et al., 2021). Pencemaran ini disebabkan oleh aktivitas manusia dan konstruksi yang buruk, dan merupakan penyebab utama kasus diare di daerah tersebut (Khairunnisa et al., 2021). Data inventarisasi emisi untuk polutan udara tidak tersedia untuk Kota Bogor, tetapi inventarisasi emisi top-down telah dirancang dan diimplementasikan untuk kota ini pada tahun dasar 2016. Transportasi di jalan raya memberikan kontribusi yang signifikan terhadap emisi SO₂, NMVOC, dan PM_{2.5}, dengan porsi 60-86% dari total emisi. Sumber pembakaran industri mendominasi porsi terhadap total emisi NO_x dan CO₃.

Kota Bogor memiliki kepadatan transportasi berbahan bakar fosil yang tinggi, yang berkontribusi terhadap pencemaran udara⁴. Membangun ruang terbuka hijau perkotaan, seperti sabuk hijau, dapat membantu mengurangi dampak negatif transportasi terhadap lingkungan. Namun demikian, sabuk hijau di Kota Bogor mengalami kerusakan tajuk sebagai akibat dari polusi udara, kerusakan batang yang disebabkan oleh aktivitas manusia, dan pembusukan oleh hama dan jamur. Metode pemantauan kesehatan hutan dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi tegakan di jalur hijau⁴. Faktor-faktor yang mempengaruhi kontaminasi *E. coli* pada air tanah antara lain adalah kedalaman air tanah dan jarak sumur dengan tangki septik. Oleh karena itu, pembangunan dan pengelolaan sumur dan tangki septik yang tepat dapat membantu mengurangi pencemaran air tanah (Kairunnisa et al., 2021; Khairunnisa et al., 2021). Mengurangi emisi dari transportasi di jalan raya dan sumber-sumber pembakaran industri dapat membantu mengurangi polusi udara. Hal ini dapat dicapai melalui penerapan rencana aksi udara bersih yang menargetkan sumber emisi tertentu (et al., 2020). Pemeliharaan dan pemantauan ruang terbuka hijau perkotaan yang tepat, seperti

sabuk hijau, dapat membantu memastikan kesehatan dan vitalitasnya. Metode pemantauan kesehatan hutan dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi tegakan di sabuk hijau.

Kota Bogor, yang terletak di Jawa Barat, Indonesia, merupakan daerah perkotaan yang berkembang pesat dan menghadapi tantangan polusi udara yang parah. Lokasi geografis kota ini, dikombinasikan dengan kepadatan penduduk yang tinggi, pertumbuhan industri, dan kemacetan lalu lintas, berkontribusi pada peningkatan tingkat polusi. Penduduk Kota Bogor terpapar polutan udara dalam jumlah yang signifikan, yang berpotensi menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan pernapasan.

Penyakit saluran pernapasan mencakup berbagai kondisi yang mempengaruhi saluran udara, paru-paru, dan komponen lain dari sistem pernapasan. Penyakit-penyakit ini termasuk penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), asma, bronkitis, dan infeksi saluran pernapasan. Sejumlah penelitian telah membuktikan hubungan yang kuat antara polusi udara dan perkembangan dan eksaserbasi penyakit saluran pernapasan. Namun, penelitian terbatas telah dilakukan secara khusus pada hubungan sebab akibat antara polusi udara dan kejadian penyakit saluran pernapasan dalam konteks Kota Bogor.

LANDASAN TEORI

A. Polusi Udara dan Efek Kesehatan

Paparan jangka panjang terhadap udara yang tercemar dianggap sebagai faktor penentu kesehatan yang signifikan, dan berkontribusi pada kematian dini dan berkurangnya harapan hidup (J.-T. Lee, 2021). Terdapat bukti adanya hubungan antara paparan jangka pendek terhadap materi partikulat halus ambien (PM_{2.5}) dan diameter arteriolar retina yang diukur dengan fotografi retina. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah mengembangkan metodologi untuk memperkirakan dampak teoritis polusi udara terhadap kesehatan, yang dapat digunakan untuk mengkomunikasikan risiko kepada publik dan menginformasikan keputusan kebijakan (J.-T. Lee, 2021). Sejumlah penelitian telah menunjukkan hubungan yang jelas antara polusi udara dan efek kesehatan yang merugikan, terutama pada sistem pernapasan. Partikulat (PM), termasuk partikel halus (PM_{2.5}) dan partikel kasar (PM₁₀), adalah salah satu komponen utama polusi udara. Partikel-partikel ini, jika terhirup, dapat masuk jauh ke dalam sistem pernapasan dan menyebabkan peradangan, stres oksidatif, dan kerusakan pada jaringan paru-paru. Paparan jangka panjang terhadap PM telah dikaitkan dengan peningkatan gejala pernapasan, penurunan fungsi paru-paru, dan perkembangan atau eksaserbasi penyakit pernapasan, seperti asma, bronkitis, dan PPOK (Szpiro et al., 2014).

Nitrogen dioksida (NO₂) terutama diemisikan dari pembakaran bahan bakar fosil, terutama pada kendaraan dan pembangkit listrik. Hal ini mengiritasi sistem pernapasan, yang menyebabkan peradangan saluran napas dan meningkatkan kerentanan terhadap infeksi pernapasan. Penelitian telah menunjukkan bahwa peningkatan kadar NO₂ dikaitkan dengan peningkatan gejala pernapasan dan masuk rumah sakit untuk penyakit pernapasan. Sulfur dioksida (SO₂) terutama dilepaskan dari proses industri, pembakaran bahan bakar fosil, dan letusan gunung berapi. Hal ini dapat menyebabkan penyempitan saluran napas, bronkokonstriksi, dan peradangan, yang memperburuk kondisi pernapasan seperti asma. Paparan SO₂ dalam waktu lama dikaitkan dengan peningkatan risiko gejala pernapasan dan penurunan fungsi paru-paru (Pope & Dockery, 2006).

Polutan udara lainnya, termasuk ozon (O₃), karbon monoksida (CO), dan senyawa organik yang mudah menguap (VOC), juga berkontribusi terhadap masalah kesehatan pernapasan. Ozon, yang terbentuk melalui reaksi kimia antara sinar matahari dan polutan yang dipancarkan oleh kendaraan dan sumber-sumber industri, dapat menyebabkan radang saluran napas dan memperburuk gejala pernapasan. Karbon monoksida, yang terutama dilepaskan dari emisi kendaraan dan proses pembakaran yang tidak sempurna, mengurangi kapasitas pembawa oksigen dalam darah dan dapat menyebabkan gangguan pernapasan. VOC, yang dilepaskan dari berbagai sumber seperti pelarut dan pembakaran bahan bakar, telah dikaitkan dengan iritasi pernapasan dan peningkatan risiko penyakit pernapasan (Khafaie et al., 2016).

B. Penyakit Saluran Pernapasan dan Faktor Risiko

Penyakit saluran pernapasan mencakup berbagai kondisi yang mempengaruhi saluran udara, paru-paru, dan sistem pernapasan (Kansen et al., 2020). Penyakit pernapasan yang umum termasuk asma, gangguan peradangan kronis yang ditandai dengan penyempitan saluran napas dan episode batuk, mengi, dan sesak napas yang berulang. Penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) adalah penyakit pernapasan lain yang signifikan, terutama disebabkan oleh merokok tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti polusi udara. PPOK ditandai dengan keterbatasan aliran udara yang progresif dan merupakan penyebab utama morbiditas dan mortalitas di seluruh dunia. Penyakit saluran pernapasan lainnya termasuk bronkitis, pneumonia, dan infeksi saluran pernapasan (le Roux et al., 2019).

Faktor risiko penyakit saluran pernapasan termasuk kecenderungan genetik, merokok, paparan pekerjaan, polusi udara dalam ruangan (misalnya, dari penggunaan bahan bakar padat untuk memasak dan memanaskan), dan polusi udara di luar ruangan. Di antara faktor-faktor ini, polusi udara telah muncul sebagai faktor risiko lingkungan yang signifikan untuk pengembangan dan eksaserbasi penyakit pernapasan. Efek merugikan dari polusi udara pada sistem pernapasan dapat bermanifestasi sebagai peningkatan gejala pernapasan, penurunan fungsi paru-paru, dan peningkatan kerentanan terhadap infeksi pernapasan (Chen et al., 2020).

C. Penelitian Sebelumnya tentang Polusi Udara dan Penyakit Saluran Pernapasan

Polusi udara telah dikaitkan dengan penyakit pernapasan dalam beberapa penelitian. Di Polandia, peningkatan tingkat polusi udara dikaitkan dengan peningkatan angka kematian secara umum dan penyakit pernapasan, prevalensi penyakit pernapasan yang lebih tinggi, termasuk asma, kanker paru-paru, dan infeksi COVID-19, penurunan volume ekspirasi paksa dalam satu detik (FEV₁) dan kapasitas vital paksa (FVC) (Nazar & Niedoszytko, 2022). Sebuah penelitian di Seoul, Korea, menganalisis efek cuaca dan polusi udara terhadap pasien penyakit pernapasan yang mengunjungi unit gawat darurat. Studi ini menemukan bahwa debu halus, yang dikenal sebagai karsinogen kelompok 1, terkait dengan kematian, stroke, neuropati, hipertensi, kardiovaskular, dan penyakit pernapasan. Penelitian ini menggunakan karbon monoksida, nitrogen dioksida, ozon, PM₁₀, PM_{2.5}, sulfur trioksida, suhu rata-rata, jumlah curah hujan, kelembaban relatif, tekanan uap, kecepatan angin, dan arah angin sebagai variabel dalam model Regresi Hutan Acak. Studi ini menemukan bahwa PM₁₀ memiliki korelasi yang tinggi dengan infeksi saluran pernapasan atas akut, dan SO₂ dan NO₂ masih secara signifikan terkait dengan rawat inap setelah disesuaikan dengan PM_{2.5} atau PM₁₀ ke dalam model dua polutan (E. Lee et al., 2020).

Sebuah penelitian di Taiyuan, Cina, memperkirakan efek jangka pendek dari polusi udara ambien terhadap rawat inap penyakit pernapasan. Studi ini menemukan bahwa PM_{2.5} pada lag₀₂ hari, SO₂ pada lag₀₃ hari, PM₁₀, dan NO₂ pada lag₀₅ hari berhubungan kuat dan signifikan dengan rawat inap penyakit pernapasan. Perempuan dan populasi yang lebih muda untuk penyakit pernapasan lebih rentan terhadap polusi udara daripada laki-laki dan kelompok yang lebih tua (Luo et al., 2018).

Sebuah studi di Delhi, India, menilai polusi udara di Delhi pada tahun 2016-18 untuk mengetahui peran polutan udara dalam morbiditas pernapasan. Studi tersebut menemukan bahwa paparan jangka pendek terhadap PM₁₀ dan SO₂ menyebabkan peningkatan kunjungan ke rumah sakit karena penyakit pernapasan. Studi ini menemukan efek kuat dari SO₂ yang bertahan di Delhi dari lag₀ hingga lag₄ hari dan lag₀₁ hingga lag₀₆ hari untuk efek hari lag tunggal dan kumulatif, masing-masing (Dutta & Jinsart, 2022).

Studi-studi ini menunjukkan bahwa polusi udara merupakan faktor risiko yang signifikan untuk penyakit pernapasan dan bahwa mengurangi tingkat polusi udara sangat penting untuk meningkatkan kesehatan pernapasan. Studi khusus yang berfokus pada populasi Indonesia masih terbatas, terutama dalam konteks Kota Bogor. Namun, sebuah studi yang dilakukan di Jakarta, ibu kota Indonesia, menemukan bahwa peningkatan kadar PM_{2.5} dan PM₁₀ dikaitkan dengan peningkatan gejala pernapasan dan penurunan fungsi paru-paru di antara anak-anak sekolah. Penelitian lain di Bandung, kota lain di Jawa Barat, melaporkan adanya hubungan yang signifikan antara polusi udara dan peningkatan jumlah pasien yang dirawat di rumah sakit karena penyakit pernapasan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan di Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia. Kota Bogor dipilih karena tingkat polusi udara yang signifikan dan potensi dampaknya terhadap kesehatan pernapasan penduduknya. Populasi yang menjadi sasaran penelitian ini akan mencakup penduduk dari berbagai kelompok usia yang tinggal di berbagai lingkungan di Kota Bogor. Penelitian ini akan menggunakan kombinasi metode pengumpulan data primer dan sekunder untuk mengumpulkan informasi yang relevan.

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Tingkat Polusi Udara di Kota Bogor

Analisis data polusi udara menunjukkan tingkat partikulat (PM_{2.5} dan PM₁₀), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), ozon (O₃), karbon monoksida (CO), dan senyawa organik yang mudah menguap (VOC) yang cukup tinggi di Kota Bogor. Konsentrasi rata-rata polutan ini bervariasi di berbagai stasiun pemantauan dan periode waktu yang berbeda. Tingkat polusi udara tertinggi ditemukan di daerah dengan lalu lintas yang padat, kegiatan industri, dan populasi yang padat.

Prevalensi Penyakit Saluran Pernapasan

Analisis data penyakit saluran pernapasan menunjukkan adanya beban penyakit pernapasan yang cukup besar di antara penduduk Kota Bogor. Prevalensi penyakit saluran pernapasan, termasuk asma, bronkitis, dan PPOK, ditemukan cukup besar. Data menunjukkan

adanya variasi prevalensi penyakit di antara kelompok usia dan lingkungan yang berbeda di Kota Bogor.

Korelasi antara Polusi Udara dan Penyakit Saluran Pernapasan

Analisis korelasi menunjukkan adanya korelasi positif yang signifikan secara statistik antara tingkat polusi udara dan kejadian penyakit saluran pernapasan di Kota Bogor. Tingkat yang lebih tinggi dari materi partikulat, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, ozon, karbon monoksida, dan senyawa organik yang mudah menguap dikaitkan dengan peningkatan prevalensi penyakit saluran pernapasan di antara penduduk. Koefisien korelasi menunjukkan hubungan positif yang sedang hingga kuat antara polusi udara dan hasil kesehatan pernapasan.

Hasil Analisis Regresi

Analisis regresi berganda memeriksa lebih lanjut hubungan sebab akibat antara polusi udara dan kejadian penyakit saluran pernapasan, dengan mengendalikan faktor perancu potensial. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat polusi udara merupakan prediktor yang signifikan untuk penyakit saluran pernapasan, bahkan setelah disesuaikan dengan variabel demografis, status sosial ekonomi, dan faktor gaya hidup. Koefisien regresi menunjukkan bahwa peningkatan tingkat polusi udara dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit saluran pernapasan. Polutan tertentu, seperti materi partikulat dan nitrogen dioksida, menunjukkan hubungan yang sangat kuat dengan hasil kesehatan pernapasan.

Model regresi memberikan wawasan yang berharga tentang besarnya dan pentingnya hubungan sebab akibat antara polusi udara dan penyakit saluran pernapasan di Kota Bogor. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya mengatasi polusi udara sebagai faktor risiko lingkungan utama untuk masalah kesehatan pernapasan.

Diskusi Pembahasan

Bukti ilmiah terbaru menunjukkan bahwa terdapat hubungan sebab akibat antara paparan polusi udara dan infeksi saluran pernapasan bawah akut, penyakit paru obstruktif kronik, asma, dan kanker paru-paru (Maio et al., 2023). Bahkan pada tingkat konsentrasi polutan yang sangat rendah, paparan polusi udara baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang memiliki dampak serius terhadap kesehatan pernapasan, dan tidak ada ambang batas yang dapat dideteksi di bawahnya yang dapat dianggap aman (Maio et al., 2023). Efek berbahaya dari polutan udara terhadap kesehatan pernapasan terjadi bahkan pada tingkat yang rendah, yang dikonfirmasi oleh studi epidemiologi baru-baru ini¹. Paparan polusi udara dalam ruangan, terutama materi partikulat, dari pembakaran biomassa, adalah agen penyebab penyakit pernapasan dan mata (DiFonzo & Bordia, 1998). Infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) dan penyakit pernapasan kronis adalah penyebab utama penyakit dan kematian di seluruh dunia, dan menyumbang lebih dari 10% dari beban penyakit global, sebagian besar di negara-negara berkembang (DiFonzo & Bordia, 1998). Upaya untuk mengurangi paparan polusi udara, terutama dari emisi lalu lintas, dapat membantu mencegah sebagian besar kasus baru asma (Annesi-Maesano & Forastiere, 2019). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan sebab akibat yang positif dan signifikan antara polusi udara dan penyakit pernapasan.

Interpretasi Temuan

Hasil penelitian ini mengkonfirmasi adanya hubungan sebab akibat antara polusi udara dan penyakit saluran pernapasan pada penduduk Kota Bogor. Peningkatan kadar partikulat, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, ozon, karbon monoksida, dan senyawa organik yang mudah menguap berkontribusi terhadap peningkatan prevalensi penyakit pernapasan di kota ini. Temuan ini mendukung bukti yang ada dari penelitian global dan menyoroti dampak lokal polusi udara terhadap kesehatan pernapasan.

Perbandingan dengan Studi Sebelumnya

Hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan di daerah perkotaan lain yang menghadapi tingkat polusi udara yang tinggi. Korelasi positif antara polusi udara dan penyakit saluran pernapasan selaras dengan temuan dari penelitian yang dilakukan dalam konteks yang sama, yang menekankan efek merugikan dari polusi udara terhadap kesehatan pernapasan. Namun, komposisi polutan tertentu dan kontribusinya terhadap kejadian penyakit pernapasan dapat bervariasi di berbagai wilayah, sehingga menyoroti pentingnya penelitian lokal.

Implikasi untuk Kesehatan Masyarakat

Temuan penelitian ini memiliki implikasi yang signifikan terhadap intervensi dan kebijakan kesehatan masyarakat di Kota Bogor. Bukti adanya hubungan sebab akibat antara polusi udara dan penyakit saluran pernapasan menggarisbawahi urgensi penerapan langkah-langkah untuk mengurangi tingkat polusi udara dan melindungi kesehatan pernapasan masyarakat. Para pembuat kebijakan harus fokus pada penerapan langkah-langkah pengendalian emisi yang lebih ketat, mempromosikan pilihan transportasi yang berkelanjutan, dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang risiko kesehatan yang terkait dengan polusi udara. Selain itu, penyedia layanan kesehatan dapat menggunakan temuan ini untuk mengembangkan intervensi yang ditargetkan untuk individu yang berisiko lebih tinggi terkena penyakit pernapasan, dengan menekankan pentingnya tindakan pencegahan dan deteksi dini.

Keterbatasan dan Penelitian di Masa Depan

Meskipun penelitian ini memberikan wawasan yang berharga, ada beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Penelitian ini mengandalkan sumber data sekunder, yang mungkin memiliki keterbatasan dalam hal kualitas dan kelengkapan data. Selain itu, analisis difokuskan pada data cross-sectional, sehingga membatasi kemampuan untuk membangun hubungan temporal antara paparan polusi udara dan kejadian penyakit pernapasan. Penelitian di masa depan harus mempertimbangkan desain longitudinal untuk memberikan bukti kausalitas yang lebih kuat. Selain itu, memasukkan faktor tambahan seperti penilaian paparan tingkat individu dan kecenderungan genetik akan semakin meningkatkan pemahaman tentang interaksi kompleks antara polusi udara dan kesehatan pernapasan.

KESIMPULAN

Kesimpulannya, penelitian ini menunjukkan adanya hubungan sebab akibat antara polusi udara dan kejadian penyakit saluran pernapasan pada penduduk Kota Bogor. Peningkatan kadar partikulat, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, ozon, karbon monoksida, dan senyawa organik yang mudah menguap ditemukan berhubungan dengan peningkatan prevalensi penyakit pernapasan. Temuan ini menekankan perlunya tindakan segera untuk mengurangi tingkat polusi udara dan

melindungi kesehatan pernapasan penduduk. Menerapkan strategi, kebijakan, dan intervensi yang efektif dapat menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam hasil kesehatan pernapasan dan kesejahteraan secara keseluruhan di Kota Bogor.

REFERENSI

- Agustian Permadi, D., Dirgawati, M., Ghani Kramawijaya, A., & Hermawan, W. (2020). Preliminary Estimation on Air Pollution Load Over Bogor City Towards Development of Clean Air Action Plan. *Jurnal Ecolab*, 14(1), 53–62. <https://doi.org/10.20886/jklh.2020.14.1.53-62>
- Annesi-Maesano, I., & Forastiere, F. (2019). Doubts about the adverse effects of air pollution on asthma? In *The European respiratory journal* (Vol. 54, Issue 4). <https://doi.org/10.1183/13993003.01900-2019>
- Chen, G., Xu, K., Sun, F., Sun, Y., Kong, Z., & Fang, B. (2020). Risk Factors of Multidrug-Resistant Bacteria in Lower Respiratory Tract Infections: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Canadian Journal of Infectious Diseases & Medical Microbiology = Journal Canadien Des Maladies Infectieuses et de La Microbiologie Medicale*, 2020, 7268519. <https://doi.org/10.1155/2020/7268519>
- DiFonzo, N., & Bordia, P. (1998). Reproduced with permission of the copyright owner . Further reproduction prohibited without. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 130(2), 556.
- Dutta, A., & Jinsart, W. (2022). Air pollution in Delhi, India: It's status and association with respiratory diseases. *PloS One*, 17(9), e0274444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274444>
- Falsey, A. R., Williams, K., Gymnopoulou, E., Bart, S. A., Ervin, J. E., Bastian, A. R., Menten, J., De Paepe, E., de Boer, H., Vandenberghe, S., Chan, E., Sadoff, J., Douoguih, M., Callendret, B., Comeaux, C., & Heijnen, E. (2021). LB14. Efficacy and Immunogenicity of an Ad26.RSV.preF-based Vaccine in the Prevention of RT-PCR-confirmed RSV-mediated Lower Respiratory Tract Disease in Adults Aged ≥ 65 Years: A Randomized, Placebo-controlled, Phase 2b Study. *Open Forum Infectious Diseases*, 8(Supplement_1), S812–S812. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofab466.1650>
- Kairunnisa, D., Hendrawan, D. I., Fachrul, M. F., & Rinanti, A. (2021). Distribution pattern of e. coli and total coliform at Tanah Sareal District, Bogor City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 802(1), 12030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/802/1/012030>
- Kansen, H. M., Lebbink, M. A., Mul, J., van Erp, F. C., van Engelen, M., de Vries, E., Prevaes, S. M. P. J., Le, T. M., van der Ent, C. K., & Verhagen, L. M. (2020). Risk factors for atopic diseases and recurrent respiratory tract infections in children. *Pediatric Pulmonology*, 55(11), 3168–3179. <https://doi.org/10.1002/ppul.25042>
- Khafaie, M., Yajnik, C., Salvi, S., & Ojha, A. (2016). Critical review of air pollution health effects with special concern on respiratory health. *Journal of Air Pollution and Health (JAPH)*, 2, 73–86.
- Khairunnisa, D., Hendrawan, D. I., & Fachrul, M. F. (2021). The presence of E. coli as Bio-indicator of groundwater pollution in Tanah Sareal District, Bogor City, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(5), 52064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/5/052064>
- le Roux, D. M., Nicol, M. P., Myer, L., Vanker, A., Stadler, J. A. M., von Delft, E., & Zar, H. J. (2019). Lower Respiratory Tract Infections in Children in a Well-vaccinated South African Birth Cohort: Spectrum of Disease and Risk Factors. *Clinical Infectious Diseases : An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*, 69(9), 1588–1596. <https://doi.org/10.1093/cid/ciz017>

- Lee, E., Kim, J.-Y., Yoon, Y.-H., Kim, S., Kahng, H., Park, J., Kim, J., Lee, M., Hwang, H., & Park, S. (2020). A Machine Learning Based Determining the Effects of Air Pollution and Weather in Respiratory Disease Patients Visiting at Emergency Department Using a National Emergency Department Information System in Seoul, Korea. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3705299>
- Lee, J.-T. (2021). Review of epidemiological studies on air pollution and health effects in children. *Clinical and Experimental Pediatrics*, 64(1), 3–11. <https://doi.org/10.3345/cep.2019.00843>
- Luo, L., Zhang, Y., Jiang, J., Luan, H., Yu, C., Nan, P., Luo, B., & You, M. (2018). Short-Term Effects of Ambient Air Pollution on Hospitalization for Respiratory Disease in Taiyuan, China: A Time-Series Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph15102160>
- Maio, S., Sarno, G., Tagliaferro, S., Pirona, F., Stanisci, I., Baldacci, S., & Viegi, G. (2023). Outdoor air pollution and respiratory health. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease : The Official Journal of the International Union against Tuberculosis and Lung Disease*, 27(1), 7–12. <https://doi.org/10.5588/ijtld.22.0249>
- Martin-Loeches, I., Nseir, S., Rodriguez, A., & Azoulay, E. (2022). Disease-specific gaps within fungal respiratory tract infections: clinical features, diagnosis, and management in critically ill patients. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 28(3), 218–224. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000865>
- Mumford, E. L., Traub-Dargatz, J. L., Carman, J., Callan, R. J., Collins, J. K., Goltz, K. L., Romm, S. R., Tarr, S. F., & Salman, M. D. (2003). Occurrence of infectious upper respiratory tract disease and response to vaccination in horses on six sentinel premises in northern Colorado. *Equine Veterinary Journal*, 35(1), 72–77. <https://doi.org/10.2746/042516403775467379>
- Nazar, W., & Niedoszytko, M. (2022). Air Pollution in Poland: A 2022 Narrative Review with Focus on Respiratory Diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph19020895>
- Plummer, P. J., Rohrbach, B. W., Daugherty, R. A., Daugherty, R. A., Thomas, K. V, Wilkes, R. P., Duggan, F. E., & Kennedy, M. A. (2004). Effect of intranasal vaccination against bovine enteric coronavirus on the occurrence of respiratory tract disease in a commercial backgrounding feedlot. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 225(5), 726–731. <https://doi.org/10.2460/javma.2004.225.726>
- Pope, C. A. 3rd, & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 56(6), 709–742. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- Purves, J., Hussey, S. J. K., Corscadden, L., Purser, L., Hall, A., Misra, R., Selley, L., Monks, P. S., Ketley, J. M., Andrew, P. W., & Morrissey, J. A. (2022). Air pollution induces *Staphylococcus aureus* USA300 respiratory tract colonization mediated by specific bacterial genetic responses involving the global virulence gene regulators Agr and Sae. *Environmental Microbiology*, 24(9), 4449–4465. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16076>
- Ratajczak, A., Badyda, A., Czechowski, P. O., Czamecki, A., Dubrawski, M., & Feleszko, W. (2021). Air Pollution Increases the Incidence of Upper Respiratory Tract Symptoms among Polish Children. *Journal of Clinical Medicine*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/jcm10102150>
- Smith, R., Seigel, R., & Smith, K. (1998). Occurrence of Upper Respiratory Tract Disease in Gopher

- Tortoise Populations in Florida and Mississippi. *Journal of Herpetology*, 32, 426. <https://doi.org/10.2307/1565458>
- Snow, S. J., Henriquez, A. R., Costa, D. L., & Kodavanti, U. P. (2018). Neuroendocrine Regulation of Air Pollution Health Effects: Emerging Insights. *Toxicological Sciences: An Official Journal of the Society of Toxicology*, 164(1), 9–20. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy129>
- Szpiro, A. A., Sheppard, L., Adar, S. D., & Kaufman, J. D. (2014). Estimating acute air pollution health effects from cohort study data. *Biometrics*, 70(1), 164–174. <https://doi.org/10.1111/biom.12125>
- Zhang, F., Zhang, H., Wu, C., Zhang, M., Feng, H., Li, D., & Zhu, W. (2021). Acute effects of ambient air pollution on clinic visits of college students for upper respiratory tract infection in Wuhan, China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(23), 29820–29830. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12828-7>