

JURNAL PROMOTIF PREVENTIF

Hubungan Kualitas Udara Ambien dengan Kejadian Pneumonia pada Balita: Studi Ekologi di Kota Medan, Indonesia, 2021–2025

The Relationship Between Ambient Air Quality and Pneumonia Incidence in Toddlers: An Ecological Study in Medan City, Indonesia, 2021–2025

Dwi Anggita^{1*}, Yulia Khairina Ashar¹, Hasrat Efendi Samsosir², Nadya Ulfa Tanjung¹

¹ Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

² Fakultas Dakwah dan Komunikasi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Article Info

Article History

Received: 20 Mei 2026

Revised: 12 Jun 2026

Accepted: 23 Jun 2026

ABSTRACT / ABSTRAK

Medan City has a continuously increasing number of cases and deaths due to pneumonia in toddlers over the past 5 years. This study aims to determine the time trend and relationship between ambient air quality and the incidence of pneumonia in toddlers in Medan City from 2021 to 2025. This study used an ecological study design using secondary data from the Medan City Health Office and the Medan City Environmental Agency. Air quality data were collected by calculating monthly averages and pneumonia data based on monthly data on toddler pneumonia incidences totaling 60 monthly observations from 2021 to 2025. The results showed that 4 of the 6 ambient air pollutants had a significant relationship with the incidence of pneumonia, namely: NO₂ ($p = 0.023$), O₃ ($p = 0.009$), SO₂ ($p = 0.000$), and PM_{2.5} ($p = 0.023$). Meanwhile, CO and PM₁₀ pollutants showed no significant relationship with the incidence of pneumonia in toddlers in Medan City from 2021 to 2025. These results show that poor air quality is significantly associated with an increase in the incidence of pneumonia in toddlers in Medan City.

Keywords: Ambient Air; Pneumonia; Toddlers; Medan City

Kota Medan memiliki angka temuan kasus dan kematian akibat penyakit Pneumonia pada balita yang terus naik dalam 5 tahun terakhir. Penelitian ini bertujuan mengetahui time trend dan hubungan antara kualitas udara ambien dengan kejadian pneumonia pada balita di kota Medan tahun 2021-2025. Penelitian ini menggunakan desain studi ekologi dengan menggunakan data sekunder yang berasal dari Dinkes Kota Medan dan DLH Kota Medan. Data kualitas udara dikumpulkan dengan cara menghitung rata-rata bulanan dan data pneumonia berdasarkan data bulanan insidens pneumonia balita yang berjumlah 60 pengamatan bulanan dari tahun 2021-2025. Hasil penelitian menunjukkan 4 dari 6 polutan udara ambien memiliki hubungan yang signifikan terhadap kejadian pneumonia, yaitu: NO₂ ($p=0,023$), O₃ ($p=0,009$), SO₂ ($p=0,000$), dan PM_{2.5} ($p=0,023$). Sementara itu untuk polutan CO dan PM₁₀ menunjukkan tidak adanya hubungan yang signifikan dengan kejadian pneumonia pada balita di kota Medan tahun 2021-2025. Hasil ini menunjukkan kualitas udara yang buruk secara signifikan berhubungan dengan peningkatan kejadian pneumonia pada balita di Kota Medan

Kata kunci: Udara Ambien; Pneumonia; Balita; Kota Medan

Corresponding Author:

Name : Dwi Anggita

Affiliate : Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan

Address : Jl. Lap. Golf No. 120, Kec. Pancur Batu, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara 20353, Indonesia

Email : anggita0801221019@uinsu.ac.id

PENDAHULUAN

Udara merupakan campuran gas penyusun atmosfer bumi yang komposisinya dapat berubah sesuai kondisi lingkungan. Kualitas udara perlu dijaga karena dipengaruhi oleh daya dukung lingkungan dan keberadaan sumber pencemar di suatu wilayah (Maharani & Aryanta, 2023). Proses pernapasan manusia selalu melibatkan udara yang berada di lingkungan sekitar, yakni udara bebas yang terdapat pada lapisan permukaan bumi. Keberadaan udara ambien mempunyai arti yang sangat penting karena kualitasnya dapat berdampak terhadap kesehatan manusia, keberlangsungan hidup organisme lain, serta memengaruhi terjadinya perubahan iklim global, baik melalui pengaruh secara langsung maupun tidak langsung (Ashar et al., 2025). Polutan termasuk udara Nitrogen dioksida (NO₂) dan sulfur dioksida (SO₂) dapat menyempitkan saluran udara dan merusak selaput lendir. Sementara itu, partikel seperti PM 2.5 dan partikel kasar (PM 10) dapat secara langsung menyebabkan peradangan pada jaringan paru-paru dan juga dapat mencapai sirkulasi melalui sistem pernapasan (Zhang et al., 2023).

Pneumonia merupakan infeksi akut pada saluran pernapasan yang menyerang jaringan paru, terutama alveoli dan saluran udara distal. Penyakit ini dapat disebabkan oleh berbagai mikroorganisme, seperti bakteri, virus, dan jamur, dengan prevalensi yang berbeda di setiap wilayah. Pneumonia lebih banyak terjadi pada kelompok rentan, khususnya anak usia di bawah lima tahun. Pada kelompok balita, agen bakteri yang paling sering ditemukan sebagai penyebab pneumonia adalah *Streptococcus pneumoniae* dan *Haemophilus influenzae* (Torres A et al., 2021). Ketika sistem kekebalan tubuh gagal menghilangkan patogen dari saluran pernafasan dan alveoli, maka terjadi infeksi saluran pernafasan yang mengakibatkan kejadian pneumonia (Masood et al., 2022).

Menurut data *World Health Organization* (WHO) tahun 2022, pneumonia merupakan penyebab kematian tertinggi akibat penyakit infeksi pada populasi anak-anak di tingkat global. Penyakit ini dilaporkan menyebabkan kematian sekitar 740.180 anak berusia 1–5 tahun, yang merepresentasikan sekitar 22% dari seluruh angka kematian balita setiap tahunnya akibat pneumonia. Mayoritas kematian tersebut terjadi di negara-negara berkembang (WHO, 2022). Berdasarkan data Kemenkes RI tahun 2024, jumlah kasus pneumonia di Indonesia menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dalam periode 5 tahun terakhir, pada tahun 2024 angka tersebut mencapai sekitar 857 ribu kasus, dengan kelompok anak usia 1–5 tahun (balita) memiliki proporsi terbesar, yaitu sebesar 52,70% (Dinkes RI, 2024).

Kota Medan sebagai kota terbesar ketiga di Indonesia dengan tingginya aktivitas masyarakat bersumber dari kendaraan bermotor dan kawasan industri berpotensi memiliki dampak dari polusi udara terhadap kesehatan (BPS, 2025). Balita sebagai kelompok terbesar yang berdampak dari polusi udara tersebut. Berdasarkan data dari Dinkes Medan angka kejadian pneumonia balita terus meningkat dalam 5 tahun terakhir pada tahun 2021-2025 (Dinkes Medan, 2024b). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Nasution dkk tahun 2025 yang menganalisis pengaruh kualitas udara terhadap kejadian ISPA di Kota Medan menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara konsentrasi polutan udara meliputi SO₂, NO₂, CO, dan CO₂ dengan peningkatan kejadian ISPA. Ketika kadar SO₂ berada di atas ambang standar yang ditetapkan, risiko terjadinya ISPA dilaporkan meningkat hingga hampir 19 kali lipat. Selanjutnya, paparan NO₂ yang tidak terkontrol dikaitkan dengan peningkatan risiko ISPA lebih dari 65 kali. Dampak paling besar ditemukan pada polutan CO, di mana risiko ISPA meningkat

hampir 98 kali lipat pada lingkungan yang tidak memenuhi standar kualitas udara. Selain itu, konsentrasi CO₂ yang berlebihan juga berkontribusi terhadap peningkatan risiko ISPA, dengan besaran lebih dari 65 kali lipat (Nasution et al., 2025).

Kondisi ini semakin diperberat oleh masalah status gizi yang rendah akibat keterbatasan ekonomi keluarga, pola konsumsi yang tidak seimbang, serta kurangnya akses terhadap pangan bergizi, sehingga daya tahan tubuh anak menurun dan infeksi pneumonia yang terjadi cenderung lebih berat, berlangsung lebih lama, serta meningkatkan risiko komplikasi dan rawat inap, menjadikan pneumonia sebagai isu penting yang perlu ditangani secara komprehensif melalui pendekatan promotif, preventif, dan protektif dalam kerangka kesehatan masyarakat industri (Firmansyah et al., 2026). Berdasarkan kompleksitas permasalahan yang telah diuraikan, diperlukan sebuah penelitian menggunakan time trend analysis, serta analisis keterkaitan antara kualitas udara ambien dengan kejadian pneumonia pada balita di Kota Medan Tahun 2021-2025.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian studi ekologi berdasarkan waktu (time trend analysis) dan analisis derajat keeratan hubungan variabel. Dalam desain studi ekologi yang menggunakan analisis data agregat, data ini mewakili populasi suatu kelompok masyarakat, sehingga tidak memerlukan pengambilan sampel secara langsung. Data yang dianalisis dengan metode ini adalah data yang dikumpulkan secara bertahap dari waktu ke waktu. Data Insidens pneumonia diperoleh dari Dinas Kesehatan Kota Medan mulai tahun 2021 sampai dengan 2025 dengan frekuensi bulanan. Sedangkan data kualitas udara kota Medan diperoleh dari Stasiun Pemantauan Kualitas Udara Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan tahun 2021 sampai 2025 dengan frekuensi bulanan. Parameter kualitas udara ambien yang menjadi penelitian terdiri dari 6 jenis konsentrasi polutan diantaranya: nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃) sulfur dioksida (SO₂), dan materi partikulat PM_{2.5} dan PM₁₀. Sampel dalam unit analisis dalam penelitian ini adalah data bulanan dari bulan Januari hingga Desember tahun 2021-2025, maka sampel penelitian ini berjumlah 60 pengamatan bulanan.

Dalam penelitian ini analisis data dilakukan dengan menggunakan statistic menggunakan SPSS yang bertujuan untuk mempermudah interpretasi dan pengujian dalam hipotesis sehingga dapat ditarik kesimpulan penelitian. Analisis univariat dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Tabel distribusi frekuensi variabel penelitian meliputi rata-rata variabel penelitian, nilai tengah, standart deviasi, dan minimum serta maksimum masing-masing variabel penelitian. Selain itu, grafik line chart digunakan untuk melihat fluktuasi kenaikan dan penurunan pola kejadian pneumonia dengan kadar polutan udara ambien berdasarkan trend bulanan dalam 5 tahun terakhir, serta menampilkan baku mutu masing-masing kadar polutan pada udara ambien. Standar baku mutu NO₂, SO₂, CO, O₃, PM_{2.5} dan PM₁₀ diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 baku mutu NO₂ yaitu 50 µg/Nm³ dalam 1 tahun, SO₂ yaitu 45 µg/Nm³ dalam 1 tahun, konsentrasi CO yaitu 4000 µg/Nm³ selama 8 jam, konsentrasi O₃ yaitu 35 µg/Nm³ selama 1 tahun, konsentrasi PM_{2.5} yaitu sebesar 15 µg/Nm³ selama 1 tahun, konsentrasi PM₁₀ yaitu sebesar 40 µg/Nm³ selama 1 tahun (Peraturan Pemerintah, 2021).

Analisis bivariat dalam penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan antara kualitas udara ambien, yang meliputi kadar NO₂, CO, O₃, SO₂, PM₁₀, dan PM_{2.5}, dengan

kejadian pneumonia pada balita. Tahap awal analisis diawali dengan pengujian normalitas data menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov karena jumlah sampel penelitian melebihi 50 responden ($n > 50$). Apabila data menunjukkan distribusi normal, maka analisis hubungan dilakukan menggunakan uji *Pearson Correlation*. Sebaliknya, jika data tidak berdistribusi normal, analisis dilakukan dengan menggunakan *Spearman's Rank Correlation Coefficient* untuk mengetahui signifikansi nilai *p-value* dari variabel yang diteliti. Selanjutnya, kekuatan hubungan antarvariabel dianalisis melalui nilai koefisien korelasi Pearson Product Moment (r). Koefisien yang bernilai positif menunjukkan adanya hubungan searah antara perubahan variabel bebas dan variabel terikat, sedangkan koefisien bernilai negatif mengindikasikan hubungan yang berlawanan arah. Tahap analisis terakhir menggunakan koefisien determinasi (r^2) untuk mengukur sejauh mana variabel kejadian pneumonia pada balita mampu menjelaskan variasi pada variabel polutan udara ambien. Penelitian ini sudah Lolos Kaji Etik dari Komite Etik Penelitian Institut Kesehatan Medistra Lubuk Pakam dengan nomor surat 036.D/KEP-MLP/IV/2026 pada tanggal 24 April 2026.

HASIL

Analisis Univariat

Pada analisis data univariat, digambarkan distribusi frekuensi variabel udara tahun 2021 sampai tahun 2025. Untuk melihat karakteristik masing-masing variabel penelitian maka ditampilkan hasil pengolahan data secara deskriptif yang disajikan dalam tabel berikut ini:

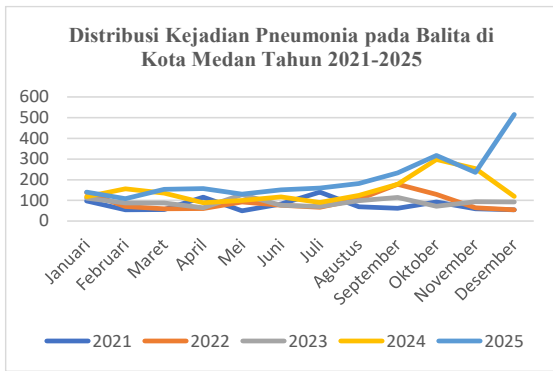
Tabel 1. Distribusi Frekuensi Variabel Penelitian

Variabel	n	Mean	Median	Standard Deviasi	Minimal	Maksimal
Pneumonia Balita	60	123,13	103	77,84	50	515
NO2	60	42,049	43,19	16,5	8,37	89,4
CO	60	30,42	26,075	19,96	9	117,27
O3	60	34,14	29,42	20,68	7	95
SO2	60	34,98	32,79	15,77	7,88	70,5
PM2.5	60	32,56	32,025	9,16	16,25	63,92
PM10	60	67,64	65,31	20,48	17,92	124

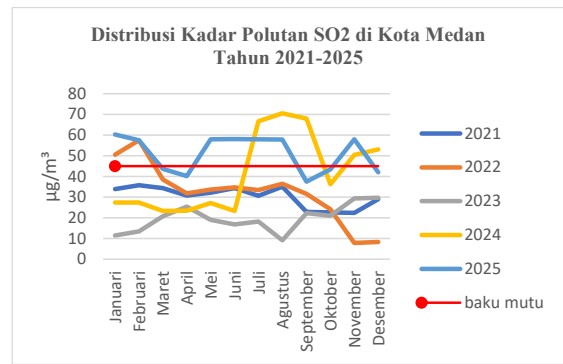
Sumber: Data Sekunder, 2021-2025

Berdasarkan tabel 1 menggambarkan data angka kejadian pneumonia pada balita dan pengukuran kualitas udara kota medan. Rata-rata proporsi pneumonia pada balita di Kota Medan selama periode 2021-2025 sebesar 123,13 (maksimum 515, minimum 50), rata-rata konsentrasi bulanan polutan menunjukkan nilai sebagai berikut: NO2 dengan nilai 42,049 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (maksimum 89,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, minimum 8,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), CO dengan nilai 30,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (maksimum 117,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, minimum 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), O3 dengan nilai 34,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (maksimum 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, minimum 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), SO2 dengan nilai 34,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (maksimum 70,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, minimum 7,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM2.5 dengan nilai 32,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (maksimum 63,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, minimum 16,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), dan PM10 dengan nilai 67,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (maksimum 124 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, minimum 17,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

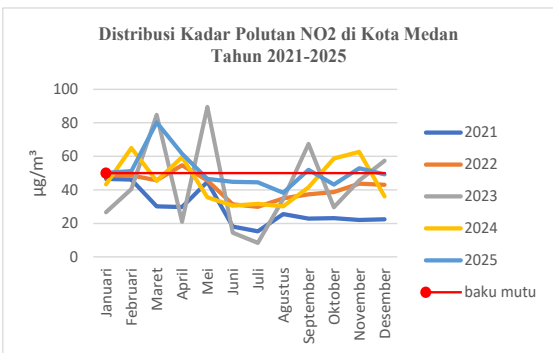
Pada analisis *time trend analysis* digambarkan distribusi frekuensi variabel udara tahun 2021 sampai tahun 2025 sebagai berikut:



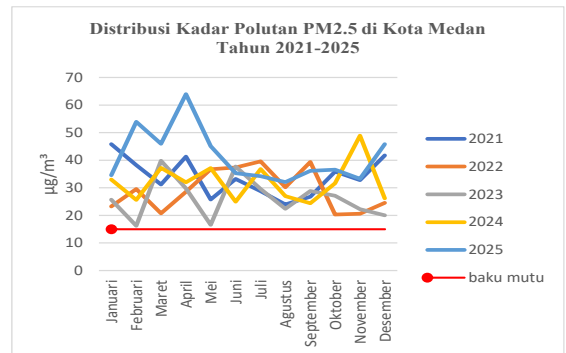
Gambar 1. Line Chart Distribusi Kejadian Pneumonia Pada Balita



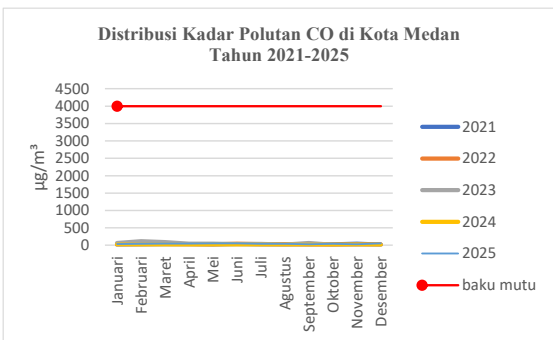
Gambar 5. Line Chart Distribusi Udara Ambien Polutan SO2



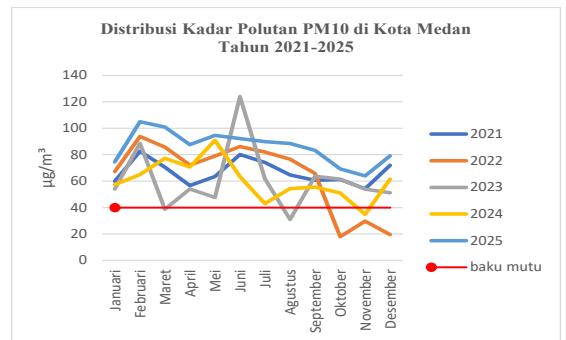
Gambar 2. Line Chart Distribusi Udara Ambien Polutan NO2



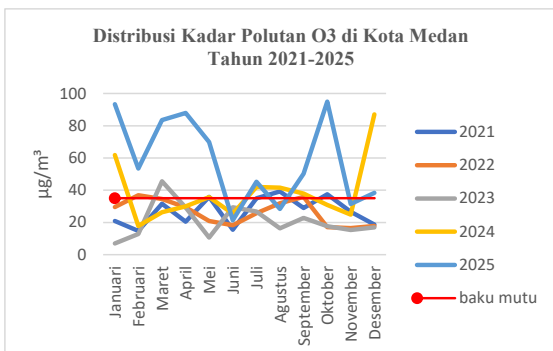
Gambar 6. Line Chart Distribusi Udara Ambien Polutan PM2.5



Gambar 3. Line Chart Distribusi Udara Ambien Polutan CO



Gambar 7. Line Chart Distribusi Udara Ambien Polutan PM10



Gambar 4. Line Chart Distribusi Udara Ambien Polutan O3

Hasil analisis tren waktu (time trend analysis) periode tahun 2021–2025 menunjukkan bahwa kejadian pneumonia pada balita di Kota Medan cenderung mengalami peningkatan dari

tahun ke tahun. Jumlah kasus pada tahun-tahun awal pengamatan relatif lebih rendah dibandingkan tahun-tahun berikutnya, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai nilai tertinggi pada tahun 2025. Kondisi ini mengindikasikan bahwa beban penyakit pneumonia pada balita masih menjadi masalah kesehatan yang perlu mendapat perhatian, mengingat peningkatan kasus yang terjadi secara konsisten selama periode pengamatan. Selain dipengaruhi oleh faktor individu dan lingkungan rumah tangga, peningkatan kasus tersebut juga dapat berkaitan dengan faktor lingkungan eksternal, termasuk perubahan kualitas udara ambien yang terjadi sepanjang tahun.

Pada periode yang sama, distribusi kadar polutan udara ambien menunjukkan pola fluktuatif antarbulan dalam 5 tahun terakhir untuk seluruh parameter yang diamati, yaitu NO₂, SO₂, CO, O₃, PM_{2.5}, dan PM₁₀. Meskipun tidak menunjukkan tren peningkatan yang konsisten setiap tahun, beberapa polutan memperlihatkan konsentrasi yang melebihi baku mutu pada bulan-bulan tertentu. Polutan partikulat, terutama PM_{2.5} dan PM₁₀, merupakan parameter yang paling sering berada di atas baku mutu dan menunjukkan variasi konsentrasi yang cukup tinggi selama periode pengamatan. Selain itu, NO₂, SO₂, dan O₃ juga dalam beberapa bulan memiliki angka di atas ambang batas yang ditetapkan, sedangkan CO cenderung stabil dan tetap berada jauh di bawah baku mutu. Secara keseluruhan, hasil analisis tren waktu menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kasus pneumonia balita yang berlangsung bersamaan dengan fluktuasi kualitas udara ambien. Temuan ini memberikan gambaran awal mengenai kemungkinan adanya keterkaitan antara paparan polutan udara dengan kejadian pneumonia pada balita, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi besarnya pengaruh masing-masing parameter polutan terhadap peningkatan kasus yang terjadi.

Analisis Bivariat

Selanjutnya dilakukan analisis normalitas data menggunakan metode uji Kolmogorov-Smirnov untuk $n > 50$ untuk menguji normalitas variabel yang digunakan. Hasil uji normalitas terlihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas Data

Variabel	Kolmogorov-Smirnov	Normalitas
Pneumonia Balita	0,000 ^b	Tidak Normal
NO ₂	0,200 ^a	Normal
CO	0,004 ^b	Tidak Normal
O ₃	0,000 ^b	Tidak Normal
SO ₂	0,013 ^b	Tidak Normal
PM _{2.5}	0,200 ^a	Normal
PM ₁₀	0,200 ^a	Normal

a. Data distribusi normal ($P > 0,05$)

b. Data tidak distribusi normal ($P < 0,05$)

Hasil uji menunjukkan bahwa pada variabel NO₂, PM_{2.5}, dan PM₁₀ mempunyai $p > \alpha$ (0,05), artinya H₀ diterima sehingga sebaran variabel data tersebut normal dan menggunakan uji korelasi *pearson correlation*. Sedangkan variabel pneumonia balita, CO, O₃, SO₂ didapat $p < \alpha$ (0,05), artinya H₀ ditolak, sebaran data variabel tersebut tidak normal dan menggunakan uji *Spearman's Rank Correlation Coefficient*.

Tabel 3. Korelasi Variabel Kualitas Udara Ambien Terhadap Kejadian Pneumonia Pada Balita

Variabel	Proporsi Pneumonia balita			
	n	P-Value	r	r ²
NO ₂	60	0,023 ^{a*}	0,294	0,086
CO	60	0,842 ^b	0,026	0,000
O ₃	60	0,009 ^{b*}	0,335	0,112
SO ₂	60	0,000 ^{b*}	0,453	0,205
PM _{2.5}	60	0,023 ^{a*}	0,293	0,086
PM ₁₀	60	0,738 ^a	0,044	0,002

Ket: *Signifikan (Nilai-p < 0,05)

(a) Hasil uji korelasi *Pearson Correlation*

(b) Hasil uji korelasi *Spearman's Rank Correlation Coefficient*.

Berdasarkan hasil uji statistik pada table 3 diatas menunjukkan terdapat hubungan yang signifikan antara Nitrogen Dioksida (NO₂) dengan pneumonia balita di kota Medan (p = 0,023), dengan kekuatan hubungan yang lemah dan berpola positif. Hubungan antara Ozon (O₃) dengan pneumonia pada balita di kota Medan menunjukkan hubungan yang signifikan (p = 0,009), dengan kekuatan hubungan yang lemah dan berpola positif. Hasil uji statistik menunjukkan terdapat hubungan yang signifikan antara Sulfur Dioksida (SO₂) dengan pneumonia balita di kota Medan (p = 0,000), dengan kekuatan hubungan yang cukup dan berpola positif. Hasil uji statistik juga menunjukkan terdapat hubungan yang signifikan antara Particulat Matter 2.5 (PM 2.5) dengan pneumonia balita di kota Medan (p = 0,738), dengan kekuatan hubungan yang lemah dan berpola positif.

Sedangkan hasil uji statistik pada variabel Karbon Monoksida (CO) menunjukkan tidak terdapat hubungan variabel tersebut dengan pneumonia balita di kota Medan (p = 0,842), dengan kekuatan hubungan yang sangat lemah dan berpola positif. Hasil uji statistik juga menunjukkan tidak terdapat hubungan antara variabel Particulat Matter 10 (PM 10) dengan pneumonia balita di kota Medan (p = 0,738), dengan kekuatan hubungan yang sangat lemah dan berpola positif.

PEMBAHASAN

Pneumonia adalah infeksi saluran pernafasan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan tempat tinggal. Penyakit ini menular melalui udara, menjadikannya sensitif terhadap kondisi tempat tinggal penderita serta paparan bahan kimia atau kerusakan fisik pada paru-paru. Studi terbaru tahun 2025 menyoroti distribusi kasus pneumonia di berbagai wilayah Indonesia, termasuk proporsi kasus di Sumatera Utara (Febrina et al., 2025). Salah satu penyebab utama pneumonia adalah polusi udara. Asap dari polutan dapat mengiritasi saluran pernapasan pada setiap individu, terutama balita (Dinkes, 2024a). Hal ini dapat menyebabkan pneumonia pada balita, memicu gejala kesulitan bernapas (sesak napas) yang ditandai dengan pernapasan cepat dan retraksi dada, serta batuk. Infeksi ini dapat disebabkan oleh berbagai mikroorganisme seperti jamur, virus, dan bakteri. Salah satunya yang disebabkan oleh infeksi *Streptococcus pneumoniae* atau *Haemophilus influenzae* (Ritonga et al., 2025). Maka dari itu, diperlukan implementasi perubahan yang nyata melalui intervensi pada lingkungan fisik dan penetapan kebijakan di tingkat institusional (Wahyudi et al., 2025).

Salah satu parameter udara ambien adalah nitrogen dioksida (NO₂). Dalam penelitian ini, menunjukkan bahwa konsentrasi NO₂ memiliki hubungan yang signifikan dengan proporsi pneumonia balita. Hal ini sejalan dengan studi case-crossover yang dilakukan di Tiongkok menunjukkan tingkat individu ini secara sistematis memiliki hubungan antara paparan jangka pendek terhadap NO₂ ambien dan rawat inap akibat penyakit pernapasan di seluruh spektrum di Tiongkok (Liu & et al, 2023). Selain itu, nilai koefisien korelasi dalam penelitian ini positif, yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NO₂ cenderung diikuti oleh peningkatan proporsi kejadian pneumonia pada balita. Serta, nilai koefisien determinasi menunjukkan bahwa NO₂ hanya mampu menjelaskan sekitar 8,6% variasi kejadian pneumonia pada balita, sedangkan sebagian besar variasi lainnya kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dianalisis dalam penelitian ini.

Kadar NO₂ dalam udara ambien di kota Medan yang rata-rata berada di atas baku mutu, kondisi tersebut dapat dikaitkan dengan karakteristik Kota Medan sebagai salah satu kota metropolitan dengan tingkat aktivitas transportasi dan urbanisasi yang tinggi. NO₂ merupakan polutan yang umumnya dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil, terutama emisi kendaraan bermotor, aktivitas industri, dan pembangkit energi. Beberapa upaya untuk menurunkan konsentrasi NO₂ di udara antara lain meningkatkan kualitas dan aksesibilitas transportasi umum agar masyarakat beralih dari kendaraan pribadi. Pemerintah juga dapat mendorong penggunaan kendaraan ramah lingkungan melalui peningkatan pajak kendaraan pribadi. Selain itu, pemusatan kawasan perdagangan yang didukung fasilitas parkir memadai dapat mengurangi kemacetan dan menekan konsentrasi NO₂ di udara (Asrudin et al., 2023).

Parameter karbon monoksida (CO) menjadi yang terendah di kota Medan dalam 5 tahun terakhir. Pada penelitian ini, karbon monoksida menunjukkan angka dibawah baku mutu dan menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan terhadap kejadian pneumonia pada balita. Berdasarkan hasil analisis tren, kadar CO relatif stabil dan berada jauh di bawah baku mutu udara ambien yang berlaku. Hal ini mungkin disebabkan oleh karakteristik meteorologi kota Medan yang beriklim tropis dengan curah hujan relatif tinggi sepanjang tahun diduga turut berperan dalam proses pengenceran dan dispersi polutan di atmosfer. Sirkulasi udara, kecepatan angin, serta tingginya kelembapan dapat membantu menurunkan akumulasi polutan di udara terbuka sehingga konsentrasi CO tetap berada pada tingkat yang rendah. Hal ini berbanding terbalik dengan penelitian tentang hubungan antara polutan udara gas dan penyakit pernapasan pada anak di lingkungan multi-kota di seluruh Tiongkok. Bahwa paparan jangka pendek terhadap CO, NO₂, SO₂, atau O₃ dikaitkan dengan peningkatan rawat inap untuk penyakit pernapasan pada anak. Hubungan tersebut dapat bervariasi tergantung pada posisi saluran pernapasan, usia, dan musim (Xu & et al, 2022).

Parameter ozon (O₃) di kota Medan menunjukkan angka yang tinggi dalam beberapa pengamatan bulanan, terutama di tahun 2025 yang terlihat kenaikan yang cukup signifikan. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa ozon (O₃) memiliki hubungan yang signifikan dengan proporsi pneumonia pada balita di Kota Medan periode 2021-2025. Nilai koefisien korelasi yang positif menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi O₃ cenderung diikuti oleh peningkatan proporsi kejadian pneumonia pada balita. Kekuatan hubungan tersebut masih tergolong lemah, konsentrasi O₃ hanya mampu menjelaskan sekitar 11,2% variasi kejadian pneumonia pada balita. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat hubungan yang bermakna secara statistik, sebagian besar variasi kejadian pneumonia kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lain di luar parameter O₃ yang diamati dalam penelitian ini.

Ozon (O₃) dan oksidan fotokimia lainnya bukanlah polutan yang diproduksi langsung dari sumber primer. Sebaliknya, mereka terbentuk dari berbagai jenis senyawa kimia melalui serangkaian reaksi kompleks di atmosfer. Proses ini dipicu oleh energi yang diterima oleh molekul nitrogen dioksida (NO_x) saat mereka menyerap cahaya dari radiasi matahari. Oleh karena itu, peningkatan konsentrasi O₃ terutama yang tertinggi pada tahun 2025 kemungkinan mencerminkan peningkatan aktivitas reaksi fotokimia di atmosfer yang dipengaruhi oleh tingginya ketersediaan polutan prekursor dan intensitas radiasi matahari. Sebagai polutan sekunder, ozon terus mengalami proses pembentukan dan penguraian melalui reaksi-reaksi kimia di atmosfer. Tingkat konsentrasi ozon di troposfer sangat dipengaruhi oleh keberadaan polutan primer, yang bersumber dari berbagai aktivitas seperti pembakaran bahan bakar fosil, emisi kendaraan bermotor, kebakaran hutan, serta pembakaran biomassa (Kurniawan, 2017). Kebakaran hutan, menghasilkan emisi polutan udara seperti ozon, karbon monoksida, sulfur dioksida, dan nitrogen dioksida. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas udara, sehingga semakin banyak orang mengalami infeksi saluran pernapasan akut atau masalah pernapasan lainnya (Pamungkas et al., 2024).

Berdasarkan hasil uji statistik menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara Sulfur Dioksida (SO₂) dengan pneumonia balita di kota Medan. Kekuatan hubungan tersebut masih berada pada kategori sedang. Berdasarkan nilai koefisien determinasi ($r^2=0,205$), konsentrasi SO₂ mampu menjelaskan sekitar 20,5% variasi kejadian pneumonia pada balita, sedangkan variasi lainnya kemungkinan dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dianalisis dalam penelitian ini. Dibandingkan seluruh parameter kualitas udara yang dianalisis, SO₂ menunjukkan nilai koefisien korelasi tertinggi, yang mengindikasikan bahwa variasi konsentrasi SO₂ memiliki hubungan yang relatif lebih kuat dengan variasi kejadian pneumonia pada balita. Gas sulfur dioksida (SO₂) menunjukkan angka yang relatif naik dan tinggi secara bulanan, sehingga tentunya berpengaruh juga terhadap kejadian pneumonia pada balita.

SO₂ merupakan salah satu indikator pencemaran udara yang erat kaitannya dengan aktivitas pembakaran bahan bakar fosil. Sebagai kota metropolitan dengan pertumbuhan penduduk, aktivitas transportasi, dan kegiatan ekonomi yang terus berkembang, Kota Medan memiliki berbagai sumber emisi yang berpotensi menghasilkan SO₂ ke udara ambien. Kondisi tersebut dapat menyebabkan peningkatan paparan SO₂ pada masyarakat, khususnya di wilayah dengan kepadatan lalu lintas dan aktivitas industri yang tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Harahap (2018), bahwa adanya hubungan yang signifikan antara kualitas udara tercemar terutama oleh polutan SO₂ dengan jumlah kasus ISPA di Kota Pekanbaru periode 2014-2017, hal ini dikarenakan SO₂ dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan kebakaran hutan, dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan bagian atas dan memicu masalah pernapasan seperti batuk, sesak napas, dan infeksi saluran pernapasan akut. SO₂ juga berperan dalam pembentukan partikel halus yang berbahaya bagi Kesehatan (Harahap, 2018).

Berdasarkan nilai korelasi (r), parameter PM₁₀ dengan kejadian pneumonia pada balita di Provinsi DKI Jakarta, menunjukkan hubungan positif, sehingga peningkatan kadar PM_{2.5} berpotensi meningkatkan kasus pneumonia balita. Temuan ini mendukung hipotesis penelitian, yang juga diperkuat oleh hasil uji statistik yang menunjukkan hubungan signifikan antara PM_{2.5} dan pneumonia balita. Hal ini sejalan dengan penelitian Zulaiha dkk. (2025) yang menunjukkan adanya hubungan antara paparan PM_{2.5} dan jumlah pasien pneumonia yang

dirawat pada tahun 2019 dengan nilai *p-value* 0,005. Kondisi tersebut mengindikasikan kemungkinan tingginya konsentrasi PM2.5 di kota Medan kemungkinan tidak hanya berasal dari sumber emisi lokal, tetapi juga dipengaruhi oleh proses pembentukan partikel sekunder di atmosfer melalui reaksi kimia yang melibatkan polutan.

PM2.5 merupakan partikel udara berukuran 2,5 mikron atau lebih kecil yang dapat masuk hingga ke paru-paru, terserap ke aliran darah, bahkan mencapai organ tubuh. Partikel ini umumnya berasal dari proses pembakaran bahan bakar padat maupun cair, seperti emisi kendaraan bermotor, pembangkit listrik, aktivitas industri, pembakaran kayu, asap rokok, serta kembang api. Karena ukurannya sangat kecil, PM2.5 dapat bertahan lama di udara dan berbahaya bagi kesehatan apabila terhirup secara terus-menerus (Mustafa et al., 2023). Pengendalian emisinya PM2.5 yang berasal dari aktivitas industri, pembakaran sampah terbuka, dan kegiatan konstruksi perlu ditingkatkan melalui penerapan standar emisi yang lebih ketat dan pengawasan yang berkelanjutan. Upaya penghijauan kawasan perkotaan dan penambahan ruang terbuka hijau juga dapat menjadi strategi pendukung untuk membantu menurunkan konsentrasi partikulat ini di udara ambien.

Dalam penelitian ini, kadar PM10 tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan kejadian pneumonia pada balita, berbeda dengan hasil pada variabel PM2.5. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah karena PM10 memiliki ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan PM2.5 sehingga cenderung tertahan pada saluran pernapasan bagian atas dan lebih mudah dikeluarkan oleh mekanisme pertahanan tubuh. Nilai koefisien korelasi PM10 terhadap proporsi pneumonia pada balita sebesar $r=0,044$ menunjukkan hubungan positif yang sangat lemah dan mendekati nol. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa perubahan konsentrasi PM10 selama periode penelitian hampir tidak berkaitan dengan perubahan proporsi kejadian pneumonia pada balita di Kota Medan. Temuan ini juga didukung oleh nilai koefisien determinasi, menunjukkan bahwa PM10 hanya mampu menjelaskan sekitar 0,2% variasi kejadian pneumonia. PM10 juga memiliki persentase pengendapan di paru-paru yang lebih rendah dibandingkan PM2.5. Partikel yang mengendap dapat masuk ke aliran darah dan menyebar ke seluruh tubuh, sehingga PM2.5 memberikan dampak kesehatan yang lebih besar dibandingkan PM10 (Wellid et al., 2024).

Oleh sebab itu, dalam penyakit pneumonia faktor yang secara konsisten berperan sebagai faktor risiko utama (*definite risk factor*) penyakit ini adalah polusi udara. Selain itu juga status gizi kurang, berat badan lahir rendah, tidak memperoleh ASI, serta kondisi permukiman yang padat dapat meningkatkan keparahan pada penderita. Dalam penelitian ini, polusi udara juga terbukti menjadi faktor lingkungan yang meningkatkan risiko pneumonia pada balita, terutama dalam penelitian ini di kota Medan, sebagai wilayah perkotaan dan kawasan industri dengan tingkat pencemaran tinggi. Maka, diperlukan penelitian lanjutan menggunakan durasi data yang lebih lama khususnya untuk kualitas udara ambien dalam mengembangkan model prediksi kejadian pneumonia pada balita berdasarkan variabel kualitas udara ambien sehingga didapat suatu model yang mampu memprediksi kejadian pneumonia balita kedepannya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, kejadian pneumonia pada balita di Kota Medan periode 2021–2025 menunjukkan kecenderungan meningkat, sementara kualitas udara ambien mengalami fluktuasi dengan beberapa parameter polutan yang pada waktu tertentu mendekati

baku mutu. Analisis menunjukkan adanya hubungan antara kejadian pneumonia pada balita dengan beberapa parameter kualitas udara ambien, yaitu NO₂, O₃, SO₂, dan PM_{2.5}, sedangkan CO dan PM₁₀ tidak menunjukkan hubungan yang signifikan.

Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya upaya pengendalian pencemaran udara sebagai bagian dari strategi pencegahan penyakit pernapasan pada balita. Oleh karena itu, diperlukan penguatan kebijakan pengendalian emisi, terutama yang berasal dari sektor transportasi dan sumber pencemar lainnya, peningkatan pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan, serta pengembangan sistem peringatan dini untuk mendukung perlindungan kesehatan masyarakat, khususnya kelompok rentan seperti balita.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoni Torres, Catia Cilloniz, Michael S. Niederman, Rosario Menéndez, James D. Chalmers, R. G. W., & Poll, T. van der. (2021). Pneumonia. *Nature Reviews Disease Primers*, 7(25). <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41572-021-00259-0>
- Ashar, Y. K., Arrazy, S., Nanda, M., & Idya, S. (2025). *Modul Kesehatan Lingkungan Dasar*. Repository UIN Sumatera Utara Medan. <https://share.google/bx7JnGLJEBJnBJQKm>
- Asrudin, N., Assiddieq, M., & Rosdiana, R. (2023). Analisis Nitrogen Dioksida (NO₂) terhadap Penurunan Kualitas Udara Ambien. *Jurnal Teluk: Teknik Lingkungan UM Kediri*, 01(2), 22–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.51454/teluk.v3i1.546>
- Badan Pusat Statistik Sumatera Utara. (2025). *Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Kendaraan di Provinsi Sumatera Utara (unit)*. Badan Pusat Statistik Sumatera Utara. <https://sumut.bps.go.id/id/statistics-table/3/VjJ3NGRGa3dkRk5MTIU1bVNFOTVVbmQyVURSTVFUMDkjMw==/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-kendaraan-di-provinsi-sumatera-utara--unit---2020.html>
- Dinas Kesehatan RI. (2024). *Profil Kesehatan Indonesia 2024*. Kemenkes RI.
- Dinkes. (2024a). *Profil kesehatan Kota Medan 2024*.
- Dinkes. (2024b). *Profil Kesehatan Provinsi Sumatera utara 2024*.
- Febrina, D., Susanti, N., Dzakhirah, J., Diwanta, F., Bangun, A. S. A. B., Barus, N. U. B., & Raisya, S. N. (2025). Analisis Spasial Kasus Pneumonia Dengan Kepadatan Penduduk dan Potensi Banjir Di RSI Malahayati Medan Tahun 2023. *Jurnal Kesehatan Jompa*. <https://doi.org/https://doi.org/10.57218/jkj.Vol4.Iss4.2040>
- Firmansyah, F. A., Dewi, R., Astuti, I., & Sutadipura, N. (2026). Hubungan Status Gizi Terhadap Keparahan Pneumonia pada Anak di RSUD Waled Kabupaten Cirebon. *Jurnal Seri Konferensi Bandung: Ilmu Kedokteran*, 6(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.29313/bcsms.v6i1.22474>
- Harahap, M. A. (n.d.). Hubungan Antara Kualitas Udara Ambien (O₃, So₂, No₂ Dan Pm₁₀) Dengan Kejadian Ispa (Infeksi Saluran Pernapasan Akut) Di Kota Pekanbaru Tahun 2014-2017. *Repository USU*. <https://doi.org/http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/2204>
- Kurniawan, A. (2017). Pengukuran Parameter Kualitas Udara (Co, No₂, So₂, O₃ Dan Pm₁₀) Di Bukit Kototabang Berbasis Ispu. *Jurnal Teknosains*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.22146/teknosains.34658>
- Liu, K., & et al. (2023). Ambient Nitrogen Dioxide and Hospitalizations of Full-Spectrum

- Respiratory Diseases: A National Case-Crossover Study. *Journal Environment & Health*, 1(2), 130–138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00039>
- Maharani, S., & Aryanta, W. R. (2023). Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan dan Cara Meminimalkan Risikonya. *Jurnal Ekosentrisme*, 3(2), 47–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.36733/jeco.v3i2.7035>
- Masood, R., Aman, A., & Karim, F. (2022). Microbial Etiology Resistance Pattern of Pneumonia : Epidemiology , Diagnosis and. *Pakistan Journal of Medical & Health Sciences*, 16(08), 846–849. <https://doi.org/https://doi.org/10.53350/pjmhs22168846>
- Mustafa, SKM., M.Kes., Herlina Susanto Sunuh, SKM., M.Sc., Indro Subagyo, SKM., M.Kes A, Bungawati, SKM., M. S. (2023). *Pencemaran Udara Dan ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut)*. CV. Eureka Media Aksara.
- Nasution, S. L. R., Girsang, E., Butar-Butar, E. F. M., Hafizah, N. Z., & Manalu, P. (2025). Dampak Kualitas Udara Dalam Ruangan Terhadap Kejadian ISPA di Kecamatan Medan Denai , Kota Medan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(3), 277–286. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jkli.70451>
- Pamungkas, A. I. P., Santoso, F. A., Pratama, D. A., Dharmaputra, M. A., Panjaitan, J., Surbakti, S. K., & Pajrin, R. (2024). Efek Kebakaran Hutan Kalimantan Pada Hukum Internasional. *JURNAL HUKUM, POLITIK DAN ILMU SOSIAL*, 3(179–190). <https://doi.org/https://doi.org/10.55606/jhpis.v3i2.3741>
- Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pub. L. No. 22 (2021). https://peraturan.bpk.go.id/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021?trk=article-ssr-frontend-pulse_x-social-details_comments-action_comment-text
- Ritonga, I. R., Ashar, Y. K., Arrazy, S., Hasibuan, R., & Naldo, J. (2025). The Relationship Between Physical Environmental Factors in the Home and the Incidence of Respiratory Infections in Children in Pasar Simundol Village. *International Journal of Health, Economics, and Social Sciences (IJHESS)*, 7(4). <https://doi.org/10.56338/ijhess.v7i4.8677>
- Wahyudi, W., Shabrina, A. D., Kudadiri, N. B., Komaruddin, N. Z., & Nurlisa, T. (2025). Faktor Risiko Gejala Penyakit Pernapasan Ispa pada Mahasiswa Fakultas Kesehatan Masyarakat UIN Sumatera Utara. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Dan Kedokteran*. <https://doi.org/https://doi.org/10.55606/klinik.v4i2.4099>
- Wellid, I., Simbolon, L. M., Falahuddin, M. A., Nurfitriani, N., Firdaus, M., Yuningsih, N., Polusi, E., Pm, U., & Saluran, I. (2024). Evaluasi Polusi Udara PM2 . 5 dan PM10 di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(2), 128–136. <https://doi.org/10.14710/ jkli.23.2.128-136>
- WHO. (2022). *pneumonia In Children*. WHO. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>
- Xu, H., & et al. (2022). Short-term exposure to gaseous air pollutants and daily hospitalizations for acute upper and lower respiratory infections among children from 25 cities in China. *Environmental Research*, 212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113493>
- Zhang, W., Ling, J., Zhang, R., Dong, J., Zhang, L., & Chen, R. (2023). Short - term effects of air pollution on hospitalization for acute lower respiratory infections in children : a time - series analysis study from Lanzhou , China. *BMC Public Health*, 23(1629), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16533-7>