

Penilaian Risiko Paparan Sulfur Dioksida (SO₂), dan Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Pedagang Kaki Lima di Pasar Raya Kota Padang

Fida Ayat Al Ahrosh¹, Zygri Cyurisma Hanena¹, Tivanny Edwin¹, Resti Ayu Lestari^{1*}

Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Andalas

*Corresponding author: restiyul@eng.unand.ac.id



©2026. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Info Artikel: Diterima 9 April 2026 ; Direvisi 21 Oktober 2026 ; Disetujui 26 Oktober 2026

Tersedia online : 30 Oktober 2026 ; Diterbitkan secara teratur : Oktober 2026



Cara sitasi: Al Ahrosh FA, Hanena ZC, Edwin T, Lestari RA. Penilaian Risiko Paparan Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂), dan Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Pedagang Kaki Lima di Pasar Raya Kota Padang. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2026 Okt;25(3):412-422. <https://doi.org/10.14710/jkli.83659>.

ABSTRAK

Latar belakang: Aktivitas transportasi di kawasan Pasar Raya Kota Padang berpotensi menyebabkan paparan SO₂ dan NO₂ pada pedagang kaki lima. Penelitian ini mengevaluasi konsentrasi ketiga gas, hubungan dengan parameter lingkungan, serta estimasi risiko inhalasi individual dan gabungan.

Metode: Penelitian observasional dilakukan di tiga titik lokasi Pasar Raya selama Mei–Juni 2025. Pengambilan sampel gas dilakukan menggunakan impinger selama 8 jam, dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. Data meteorologi, jumlah kendaraan, serta wawancara terhadap 33 pedagang di setiap titik digunakan sebagai data pendukung. Analisis dilakukan secara deskriptif dan korelasi menggunakan uji Spearman.

Hasil: Konsentrasi SO₂ (8,84–14,94 µg/m³), dan NO₂ (16,28–29,38 µg/m³) masih memenuhi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021. Faktor jumlah kendaraan berhubungan positif konsentrasi polutan, sementara suhu, kelembapan, tekanan, dan kecepatan angin menunjukkan korelasi negatif. Nilai Hazard Quotient (HQ) SO₂ dan NO₂ baik *realtime* maupun *lifetime* menunjukkan nilai < 1. Sementara untuk nilai Hazard Index (HI) *lifetime* > 1 untuk titik 1 dan 2.

Simpulan: Paparan tunggal SO₂ dan NO₂ relatif aman dan tersebut belum berpotensi membahayakan kesehatan para pedagang kaki lima di lokasi studi baik ketika penelitian ini dilakukan maupun jangka panjang. Akan tetapi paparan secara simultan (NO₂ dan SO₂) berpotensi menimbulkan gangguan fungsi kesehatan dalam jangka panjang untuk 2 titik lokasi sampling.

Kata kunci: karbon monoksida; sulfur dioksida; nitrogen dioksida; pedagang kaki lima; analisis risiko kesehatan

ABSTRACT

Title: *Inhalation Risk Assessment of Carbon Monoxide, Sulfur Dioxide, and Nitrogen Dioxide among Street Vendors in Padang City*

Background: Transportation activities in the Pasar Raya area of Padang City may expose street vendors to SO₂ and NO₂. This study evaluates the concentrations of CO, SO₂, and NO₂, their relationships with environmental parameters, and the individual and combined risks associated with inhalation exposure.

Methods: An observational study was conducted at three locations in Pasar Raya, Padang City, from May to June 2025. Gas samples were collected using impingers over an 8-hour period and analyzed using UV-Vis spectrophotometry. Meteorological data, vehicle counts, and interviews with 33 street vendors at each location

were used as supporting data. Descriptive and correlation analyses were performed using Spearman's rank correlation test.

Results: SO₂ concentrations (8.84–14.94 µg/m³) and NO₂ concentrations (16.28–29.38 µg/m³) remained below the ambient air quality standards stipulated in Government Regulation No. 22 of 2021. Vehicle counts were positively correlated with pollutant concentrations, whereas temperature, relative humidity, atmospheric pressure, and wind speed showed negative correlations. The hazard quotients (HQs) for SO₂ and NO₂ were below 1 for both real-time and lifetime exposure scenarios. However, the lifetime hazard index (HI) exceeded 1 at Sites 1 and 2.

Conclusion: Individual exposure to SO₂ and NO₂ was associated with hazard quotient (HQ) values below 1, indicating no potential non-carcinogenic risk from either pollutant alone under the assessed real-time and lifetime exposure scenarios. However, combined exposure to SO₂ and NO₂ resulted in lifetime hazard index (HI) values exceeding 1 at two sampling sites, indicating the potential for adverse non-carcinogenic health effects from long-term exposure.

Keywords: carbon monoxide; sulfur dioxide; nitrogen dioxide; street vendors; health risk assessment

PENDAHULUAN

Pasar tradisional, seperti Pasar Raya Padang, berfungsi sebagai pusat aktivitas ekonomi dan sosial yang mengumpulkan pembeli dan penjual dalam jumlah besar. Hal ini diwarnai oleh aktivitas transportasi dan pembakaran terbuka, serta pembakaran bahan bakar fosil. Kota Padang memiliki jumlah kendaraan yang cukup besar, dengan 496.662 kendaraan pribadi, menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Barat pada tahun 2022. Dalam kondisi lalu lintas yang padat ini, emisi gas buang kendaraan bermotor dapat meningkat, termasuk nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂).¹ Gas SO₂ memiliki bau yang tajam dan tidak terbakar serta pencemar primer dan bereaksi dengan pencemar lain di atmosfer untuk membentuk senyawa sulfur yang menyebabkan hujan asam.² Sebagian besar SO₂ (80 persen) dihasilkan secara alami melalui oksidasi H₂S, sementara 20 persen lainnya berasal dari kegiatan manusia, seperti penggunaan bahan bakar kendaraan bermotor yang mengandung belerang dan tidak berwarna.

NO₂ diidentifikasi sebagai polutan udara berwarna coklat dan beraroma tajam yang dihasilkan dari reaksi antara nitrogen dan oksigen. Kontributor utama emisi gas ini meliputi aktivitas pembakaran fosil seperti minyak, batubara, bensin, dan gas alam.³ Selain itu, NO₂ terbentuk secara termal pada suhu tinggi, yang bersumber dari emisi gas buang kendaraan bermotor serta sumber stasioner seperti pembangkit listrik dan boiler industri.⁴

Kontaminasi gas NO₂, dan SO₂ di area pasar berisiko menimbulkan gangguan kesehatan serius bagi pedagang akibat durasi paparan yang lama. Paparan NO₂ berkaitan erat dengan iritasi saluran napas dan eksaserbasi asma. Di sisi lain, SO₂ berkontribusi pada iritasi okular dan peningkatan risiko Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK). Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pedagang yang beraktivitas di dekat sumber emisi transportasi berpotensi mengalami paparan polutan udara dalam jangka panjang. Penelitian Abidin, dkk mengkaji risiko paparan NO₂, CO, dan partikel tersuspensi pada pedagang di Makassar.⁵ Penelitian tersebut memperlihatkan relevansi penilaian risiko berbasis konsentrasi lingkungan dan karakteristik paparan individu pada kelompok pekerja informal di kawasan dengan aktivitas transportasi tinggi. Tanpa strategi mitigasi yang efektif, pedagang yang terpapar secara kronis menghadapi ancaman kesehatan jangka panjang.³

Studi mengenai risiko kesehatan di kawasan *Shopping Center* Manado, mengungkapkan konsentrasi SO₂ (110,88–132,12 µg/Nm³) dan NO₂ (130,69–205,10 µg/Nm³) telah melampaui ambang batas aman. Paparan NO₂ di lokasi tersebut terdeteksi berisiko baik secara *realtime* maupun *lifetime*, sementara SO₂ menunjukkan risiko pada proyeksi *lifetime*.⁶ Berdasarkan data-data tersebut, potensi gangguan kesehatan serupa sangat mungkin terjadi di kawasan pasar lainnya, termasuk Pasar Raya Kota Padang. Penelitian internasional memperkuat pentingnya penilaian paparan polutan pada pedagang kaki lima. Kongtip, dkk melakukan penelitian di Bangkok melaporkan bahwa risiko gejala saluran pernapasan atas pada pedagang di tepi jalan mencapai 2,71–4,42 kali, sedangkan gejala saluran pernapasan bawah mencapai 3,62–7,82 kali dibandingkan pedagang di kawasan permukiman.⁷ Di Delhi, juga ditemukan bahwa 43% pedagang kaki lima melaporkan sakit kepala dan 40% mengalami mata merah.⁸ Selain itu, tinjauan sistematis yang mencakup 82 penelitian, menemukan indikasi peningkatan inflamasi dan stres oksidatif pada pekerja luar ruang yang terpapar polusi udara.⁹

Estimasi besaran risiko kesehatan yang dipicu oleh paparan gas NO₂, dan SO₂ di area pasar menjadi instrumen krusial dalam perumusan strategi mitigasi yang tepat sasaran. Metodologi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) diterapkan sebagai kerangka kerja sistematis yang mencakup tahapan identifikasi bahaya, analisis dosis respon, analisis paparan, serta karakterisasi risiko. Pendekatan ini mengintegrasikan aspek pengelolaan serta komunikasi risiko kepada pemangku kepentingan dan masyarakat luas.¹⁰

Hasil dari ARKL berperan sebagai basis data fundamental dalam perumusan kebijakan pengendalian mutu udara serta implementasi teknologi bersih untuk mereduksi emisi polutan. Di samping aspek teknis, pendekatan ini juga berfungsi sebagai instrumen edukasi bagi pedagang untuk meningkatkan kesadaran akan kualitas udara

dan perilaku hidup sehat serta ARKL menjadi metodologi krusial dalam memproteksi kesehatan publik dari risiko polusi di area pasar.¹⁰

MATERI DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi pengamatan meliputi depan gedung baru Pasar Raya fase VII (Titik 1), persimpangan Trend Shop (Titik 2), dan persimpangan Jalan Pasar Raya I (Titik 3). Pengukuran dilaporkan berlangsung selama empat hari per titik pada pukul 09.00–17.00 WIB yang disesuaikan dengan lama paparan pedagang selama jam operasional harian dan mencakup hari kerja serta akhir pekan Sampling berlangsung selama empat hari di setiap titik, yakni dari tanggal 31 Mei sampai 20 Juni 2024. Lokasi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Rincian Kegiatan Penelitian

Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini terdiri dari data sekunder dan primer. Data sekunder meliputi jumlah pekerja serta tata letak Pasar Raya, Kota Padang, dengan sekitar 50 pedagang di masing-masing titik penelitian. Data primer mencakup parameter meteorologi (suhu, kelembapan udara, kecepatan dan arah angin), konsentrasi gas SO₂, dan NO₂, serta kuesioner mengenai karakteristik dan kebiasaan pedagang pinggir jalan di Pasar Raya Kota Padang.

Pengukuran Sampel Gas

Pengambilan sampel gas SO₂, dan NO₂ dilakukan menggunakan alat gas impinger dengan absorban yang disesuaikan untuk setiap gas. Konsentrasi NO₂ dihitung dengan metode Griess-Saltzman dan spektrofotometer, mengikuti standar SNI 19-7119.7-2005 dan SNI 7119-2:2017. Sementara untuk SO₂ diuji dengan menggunakan metode parosanilin sesuai dengan SNI 19-7119.7-2005 tentang Udara ambien - Bagian 7: Cara uji kadar sulfur dioksida (SO₂) dengan metoda parosanilin menggunakan spektrofotometer.

Nilai konsentrasi gas yang didapatkan selama pengukuran 8 jam dikonversi ke 24 jam untuk dibandingkan dengan standar Indonesia (PP 22/2021) untuk gas SO₂ dan NO₂. Persamaan Canter yang digunakan ini dapat dilihat pada Persamaan 1. Sementara untuk perhitungan potensi risiko kesehatan, nilai konsentrasi yang digunakan nilai aktual (sampling 8 jam).

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p \dots \dots \dots \text{Persamaan 1}$$

Keterangan:

C1 : Estimasi konsentrasi periode target

C2 : Estimasi konsentrasi periode sampling aktual

t2 : Durasi waktu target

t1 : Durasi sampling aktual

p : konstanta adjustment (0.17-0.20)

Pengambilan Data Kuesioner

Kuesioner diisi oleh 99 responden, yaitu pedagang kaki lima di Pasar Raya Kota Padang. Data yang dikumpulkan mencakup jenis kelamin, usia, berat badan, lama bekerja, keluhan kesehatan, kebiasaan merokok, dan aktivitas sehari-hari. Pedagang yang terlibat sebagai responden dalam penelitian ini adalah pedagang yang minimal sudah bekerja minimal 1 tahun di lokasi studi dan tidak memiliki riwayat gangguan fungsi paru atau organ pernapasan lainnya.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Analisis ini mengikuti Pedoman Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Pengelolaan Lingkungan tahun 2012, yang meliputi identifikasi bahaya, analisis dosis-respon, analisis paparan, serta perhitungan karakteristik risiko atau Hazard Quotient (HQ). Penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik (ethical clearance) dari Fakultas Kedokteran Universitas Andalas dengan nomor 419/UN.16.2/KEP-FK/2025.

Formula yang digunakan pada kegiatan penelitian ini mencakup (5)

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}} \dots \dots \dots \text{Persamaan 2}$$

$$HQ = \frac{I}{RfD} \text{ atau } HQ = \frac{I}{RfC} \dots \dots \dots \text{Persamaan 3}$$

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + \dots \text{ (dst)} \dots \dots \dots \text{Persamaan 4}$$

Jika nilai RfC belum ditentukan dalam standar internasional seperti EPA maupun OEHHA, maka nilai RfC akan ditentukan menggunakan persamaan 5 .

$$RfC \text{ atau } RfD = \frac{NOAEL}{UF \times MF} \dots \dots \dots \text{Persamaan 5}$$

Keterangan:

I_{nk} : Intake (asupan), jumlah risk agent yang masuk (mg/kg.hr)

C : Konsentrasi *risk agent* (mg/m³)

R : Laju asupan atau konsumsi, (m³/jam)

t_E : Wwaktu pajanan (jam/hari)

f_E : Frekuensi pajanan (hari/tahun)

D_t : Durasi pajanan (tahun)

W_b : Berat badan (kg)

t_{avg} : Periode waktu rata-rata (30 x 365 hari/tahun)

HQ : *Hazard Quetion*

HI : *Hazard Index*

RfC : *Reference Concentration* (mg/m³)

RfD : *Reference Dose* (mg/kg.hari)

NOAEL : *No Observed Adverse Effect Level*

UF : *Uncertainty factor*

MF : *Modifying factor*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Gas

Nilai konsentrasi gas SO₂ dan NO₂ terendah didapatkan pada lokasi titik 3 (kontrol).. Hal ini disebabkan karena lokasi titik 3 berada di kawasan yang jarang dilewati oleh kendaraan bermotor dan bertindak sebagai lokasi *background*/kontrol.

Nilai baku mutu gas SO₂ dan NO₂ tercantum pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Untuk baku mutu SO₂ dan NO₂ masing-

masing 75 dan 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada waktu 24 jam. Perbandingan antara data konsentrasi polutan hasil pengukuran dengan baku mutu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan Konsentrasi Gas Polutan dengan Baku Mutu

No.	Jenis Polutan	Lokasi	Konsentrasi Gas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Baku mutu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	Lama Pengukuran	Keterangan
			8 jam	24 jam (Pers. Canter)			
1	SO ₂	Titik 1	14,94	12,39	75	24 jam	Memenuhi Baku Mutu
		Titik 2	14,24	11,81			
		Titik 3	8,84	7,33			
2	NO ₂	Titik 1	29,38	24,37	65	24 jam	Memenuhi Baku Mutu
		Titik 2	26,03	21,60			
		Titik 3	16,28	13,51			

*Lampiran VII PP 22 tahun 2021

Berdasarkan hasil pemantauan, konsentrasi gas SO₂, dan NO₂ di seluruh titik lokasi penelitian teridentifikasi masih berada di bawah ambang batas maksimal yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021 mengenai baku mutu konsentrasi polutan untuk udara ambien. Hasil ini memiliki kemiripan dengan studi di Kota Surabaya, yang menyatakan bahwa meskipun volume kendaraan dan faktor meteorologi berfluktuasi, kadar NO₂ di kawasan padat lalu lintas tetap memenuhi standar kualitas udara.¹² Selain itu, literatur pendukung menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ di zona transportasi urban umumnya masih dalam kategori aman, walaupun terdapat tendensi peningkatan selama jam-jam sibuk.¹³

Analisis faktor meteorologi terhadap konsentrasi CO, SO₂ dan NO₂

1. Uji Normalitas

Hasil uji normalitas dari data penelitian dapat dilihat pada **Tabel 2**. Analisis ini bertujuan untuk mengungkap hubungan antara faktor meteorologi dan konsentrasi gas CO di udara ambien.

Tabel 2 Hasil Uji Normalitas

Variabel	Titik	Sig	Keterangan
Konsentrasi SO ₂	1	0,003	Tidak Terdistribusi Normal
	2	0,232	Distribusi Normal
	3	0,432	Distribusi Normal
Konsentrasi NO ₂	1	0,862	Distribusi Normal
	2	0,973	Distribusi Normal
	3	0,274	Distribusi Normal
Suhu	1	0,409	Distribusi Normal
	2	0,974	Distribusi Normal
	3	0,972	Distribusi Normal
Kelembapan	1	0,800	Distribusi Normal
	2	0,853	Distribusi Normal
	3	0,024	Tidak Terdistribusi Normal
Tekanan	1	0,419	Distribusi Normal
	2	0,474	Distribusi Normal
	3	0,053	Distribusi Normal
Kecepatan Angin	1	0,140	Distribusi Normal
	2	0,140	Distribusi Normal
	3	0,224	Distribusi Normal
Jumlah Kendaraan	1	0,372	Distribusi Normal
	2	0,635	Distribusi Normal
	3	0,900	Distribusi Normal

Hasil analisis dari Tabel 2 menunjukkan bahwa tidak semua data dalam penelitian ini berdistribusi normal berdasarkan metode Shapiro-Wilk. Hal ini terlihat dari nilai signifikansi (Sig.) pada beberapa variabel, seperti konsentrasi CO dan SO₂ di Titik 1, serta kelembapan di Titik 3, yang semuanya di bawah ambang batas 0,05. Akibatnya, data tersebut tidak memenuhi asumsi normalitas yang diperlukan untuk uji korelasi parametrik seperti Pearson. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan uji korelasi non-parametrik Spearman Rank.¹⁴ Uji Spearman lebih tepat untuk data non-normal karena tidak memerlukan asumsi distribusi tertentu dan dapat diterapkan pada data ordinal atau kuantitatif yang menyimpang dari normalitas.¹⁵

2. Uji Korelasi

Analisis uji korelasi diterapkan untuk mengukur tingkat kekuatan hubungan variabel meteorologi dan konsentrasi CO, SO₂, serta NO₂, yang dinyatakan dalam bentuk koefisien korelasi. Variabel meteorologi yang dianalisis mencakup suhu udara, kelembapan, tekanan udara, dan kecepatan angin. Analisis bivariat menggunakan metode Spearman disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Hasil Uji Korelasi Variabel Meteorologi dengan Konsentrasi Gas

No	Variabel meteorologi	Nilai Korelasi(r)	Sig (p)	Keterangan
Konsentrasi SO ₂				
1	Suhu Udara	0,562	0,057	Tidak Signifikan
2	Kelembapan Udara	-0,410	0,186	Tidak Signifikan
3	Tekanan Udara	-0,361	0,249	Tidak Signifikan
4	Kecepatan Angin	-0,165	0,610	Tidak Signifikan
Konsentrasi NO ₂				
1	Suhu Udara	0,557	0,06	Tidak signifikan
2	Kelembapan Udara	-0,564	0,056	Tidak Signifikan
3	Tekanan Udara	-0,049	0,879	Tidak Signifikan
4	Kecepatan Angin	-0,014	0,965	Tidak signifikan

Suhu udara dapat memengaruhi konsentrasi polutan melalui perubahan pencampuran atmosfer dan reaksi kimia, tetapi pengaruhnya bergantung pada karakteristik sumber emisi dan kondisi meteorologi setempat. Korelasi positif suhu dengan SO₂, dan NO₂ dalam penelitian ini dapat mencerminkan perubahan kondisi atmosfer yang berlangsung bersamaan dengan variasi emisi, bukan hanya dari pengaruh langsung kenaikan suhu. Studi di Semenanjung Malaysia menunjukkan bahwa hubungan antara variabel iklim dan polutan ambien berbeda menurut jenis polutan dan skala waktu pengamatan.¹⁶ Penelitian di Pakistan juga menunjukkan bahwa hubungan polutan dengan suhu dan parameter meteorologi lainnya bervariasi secara spasial dan temporal.¹⁷ Dengan demikian, hubungan positif yang teramati dalam penelitian ini perlu ditafsirkan secara hati-hati, terutama karena korelasi suhu dengan SO₂ dan NO₂ belum signifikan pada taraf 5%.

Korelasi negatif antara kelembapan udara dan konsentrasi polutan dapat berkaitan dengan perubahan kondisi atmosfer yang memengaruhi dispersi dan transformasi polutan. Kelembapan tinggi dapat mendukung terjadinya reaksi pada permukaan partikel atau dalam fase air, tetapi pengurangan konsentrasi polutan melalui deposisi basah bergantung pada keberadaan hujan dan tidak dapat disimpulkan hanya dari nilai kelembapan relatif. Penelitian di Malaysia periode 2017–2021 menunjukkan bahwa hubungan kelembapan dengan polutan berbeda menurut karakteristik kawasan, termasuk kawasan perkotaan, pinggiran kota, dan industri.¹⁸ Temuan tersebut memperkuat bahwa kelembapan bukan faktor tunggal yang menentukan konsentrasi polutan. Oleh karena itu, korelasi negatif yang ditemukan dalam penelitian ini lebih tepat dilihat sebagai pola asosiasi yang mungkin dipengaruhi oleh kondisi atmosfer dan emisi setempat, bukan bukti bahwa kelembapan secara langsung menurunkan konsentrasi SO₂, dan NO₂.

Data penelitian menunjukkan bahwa korelasi antara tekanan udara dan kadar polutan bersifat variatif, yang mengindikasikan ketiadaan hubungan linear langsung antara kedua variabel tersebut.^{19,20} Fenomena ini terjadi karena tekanan udara merupakan parameter atmosfer yang memengaruhi stabilitas udara. Tekanan udara berkaitan dengan dinamika atmosfer yang dapat memengaruhi transportasi dan dispersi polutan. Namun, pengaruhnya terhadap konsentrasi polutan tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan nilai tekanan udara, karena juga bergantung pada kondisi angin, stabilitas atmosfer, dan karakteristik emisi. Dalam penelitian ini, korelasi tekanan udara dengan konsentrasi polutan tidak signifikan secara statistik, sehingga belum terdapat bukti yang cukup untuk menyatakan adanya hubungan linear antara kedua variabel tersebut.

Kecepatan angin merupakan parameter krusial dalam reduksi polutan atmosfer melalui mekanisme dispersi. Namun, dalam penelitian ini, tidak ditemukan korelasi yang signifikan antara kecepatan angin dan konsentrasi polutan yang diatributkan pada nilai kecepatan angin yang cenderung konstan di seluruh lokasi sampling. Temuan ini sejalan dengan studi di Kota Tabanan yang melaporkan ketiadaan hubungan signifikan antara pergerakan angin dan fluktuasi polutan di area lalu lintas.²¹ Hal ini mengindikasikan bahwa ketika variasi kecepatan angin minimal, faktor emisi lokal menjadi lebih dominan dalam menentukan konsentrasi polutan.

3. Analisis Jumlah Kendaraan Terhadap Konsentrasi SO₂, NO₂

Analisis korelasi dilakukan untuk menilai seberapa kuat hubungan antara jumlah kendaraan dan kadar SO₂, serta NO₂, yang ditunjukkan oleh besarnya koefisien korelasi. Analisis dilakukan menggunakan metode bivariat yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

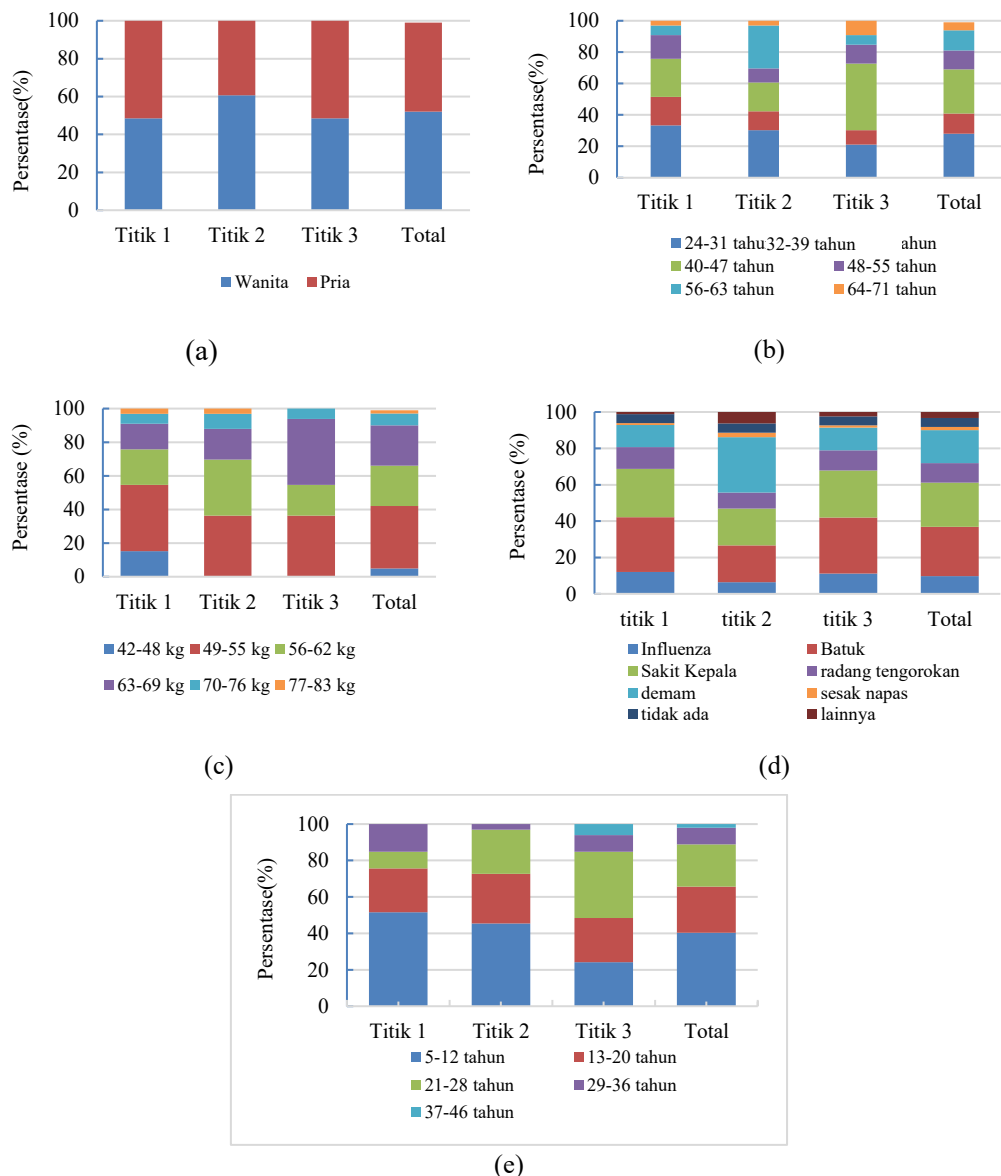
Tabel 4 Hasil Uji Korelasi Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi Gas

Variabel Konsentrasi	Nilai Korelasi(r)	Sig (p)	Keterangan
SO ₂	0,670	0,017	Signifikan (Positif kuat)
NO ₂	0,986	0,000	Signifikan (Positif kuat)

Koefisien korelasi antara jumlah kendaraan dan konsentrasi gas menunjukkan hubungan positif, dengan kekuatan korelasi yang berbeda untuk setiap polutan. Hubungan ini signifikan pada SO₂ ($r = 0,670$; $p = 0,017$) dan NO₂ ($r = 0,986$; $p < 0,001$). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kendaraan cenderung berkaitan dengan peningkatan konsentrasi SO₂ dan NO₂ selama periode pengamatan. Pola tersebut sejalan dengan peran aktivitas transportasi sebagai salah satu sumber emisi gas pencemar di udara ambien. Meskipun demikian, kekuatan hubungan yang diamati juga dapat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi dan sumber emisi lainnya.^{19,22}

Karakteristik Responden

Penelitian mencakup 99 pedagang (33 orang pada setiap titik) dengan data antropometri dan informasi kegiatan kerja. Metode pemilihan disebut *purposive sampling* dengan kriteria yang sudah dijelaskan pada sub bab metodologi. Karakteristik yang tersedia disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Karakteristik Responden Berdasarkan Jenis Kelamin (a); Usia (b); berat badan (c); Penyakit Keluhan (d); dan Durasi Pajanan (e)

Berdasarkan Gambar 2 didapatkan data bahwa sebagian besar responden yang beraktivitas di Pasar Raya Kota Padang selama lebih dari 5 tahun. Hal tersebut dapat menunjukkan adanya pajanan polutan yang terakumulasi ke dalam tubuh responden selama beraktivitas di lingkungan pasar.²³ Responden yang terpajan polutan secara terus menerus akan meningkatkan risiko terkena penyakit pernafasan.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kerja (ARKL)

Identifikasi Bahaya

Penelitian ini menganalisis agen risiko seperti gas SO₂, dan NO₂ yang besar bersumber dari asap kendaraan bermotor. Agen risiko tersebut tersebar melalui udara di sekitar Pasar Raya Kota Padang. Ketiga agen risiko tersebut memasuki tubuh melalui proses inhalasi dan dapat dengan mudah menembus membran alveolus, hampir setara dengan kemampuan difusi oksigen. Pajanan SO₂ melalui pernapasan dapat merusak saluran pernapasan, dan semakin tinggi konsentrasi SO₂ yang terhirup, semakin luas peradangan yang terjadi.²⁴ Peradangan ini mempermudah masuknya agen penyebab infeksi, sehingga meningkatkan kerentanan balita terhadap pneumonia. Efek polutan NO₂ dalam waktu 15 menit tidak boleh konsentrasinya melebihi dari 1,9 ppm dan terpapar gas ini dengan konsentrasi 5 ppm selama 15 menit akan memberikan efek akut dalam tubuh.²⁵

Analisis Dosis Respon

Tahapan analisis dosis-respons dilakukan guna mengevaluasi tingkat toksisitas agen risiko serta memprediksi dampak kesehatan yang ditimbulkan. Dalam konteks pajanan non-karsinogenik melalui jalur inhalasi, parameter toksisitas ditentukan menggunakan *Reference Concentration* (RfC), yang merepresentasikan ambang batas konsentrasi harian tanpa efek merugikan bagi kesehatan selama masa hidup. Dikarenakan nilai RfC untuk senyawa ini belum tersedia dalam basis data USEPA maupun OEHHA, maka nilai tersebut diestimasi melalui konversi data *No Observed Adverse Effect Level* (NOAEL) yang kemudian disesuaikan dengan *Uncertainty Factor* (UF) dan *Modifying Factor* (MF) sebagaimana dirumuskan pada Persamaan 5.

Dalam studi ini, parameter toksisitas SO₂ melalui jalur inhalasi diestimasi dengan nilai NOAEL sebesar 0,25 ppm diperoleh dari ATSDR, yang kemudian dikonversi dan disesuaikan untuk menetapkan RfD sebagai basis kalkulasi *Hazard Quotient* (HQ). Nilai RfD untuk SO₂ ini didapatkan sebesar 0,024 mg/kg.hari. Mengingat nilai RfD NO₂ tidak tersedia dalam basis data *Integrated Risk Information* (IRIS), penelitian ini mengadopsi nilai baku mutu dari *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) US-EPA sebesar 0.10 mg/m³, yang setara dengan 0,0248 mg/kg.hari setelah proses perhitungan pendekatan untuk nilai RfD.

Analisis Pajanan

Analisis pajanan menggabungkan konsentrasi gas, waktu serta frekuensi pajanan, durasi kerja, laju inhalasi, dan berat badan. Skenario realtime menggambarkan durasi yang dilaporkan sampai penelitian, sedangkan lifetime memerlukan proyeksi yang dinyatakan jelas. Tabel 5 dan 6 menyajikan nilai intake dari naskah awal; perhitungan ulang tingkat individu belum dapat dilakukan tanpa data dan parameter lengkap.

Nilai *intake* dihitung berdasarkan konsentrasi riil NO₂ dan SO₂ pada tiap titik sampling untuk memberikan gambaran kuantitatif mengenai besaran pajanan responden. Dengan melakukan kalkulasi terpisah bagi setiap parameter polutan, penelitian ini dapat memetakan sejauh mana kontribusi masing-masing agen pencemar terhadap paparan melalui jalur pernapasan (inhalasi) yang dialami oleh populasi di lokasi penelitian.

Hasil perhitungan *intake* disajikan dalam bentuk Tabel 5 dan Tabel 6 pada setiap titik pengamatan. Tabel tersebut memberikan gambaran variasi *intake* antar polutan dan antar lokasi, baik untuk periode pajanan *realtime* maupun *lifetime*.

Tabel 5. Nilai *Intake Realtime*

Nilai	Nilai intake (mg/kg/hari)					
	Titik 1		Titik 2		Titik 3	
	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂
Max	0,006	0,002	0,003	0,001	0,003	0,001
Min	0,001	0,000	0,001	0,000	0,0003	0,0001
Rata2	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001

Tabel 6. Nilai *Intake Lifetime*

Nilai	Nilai intake (mg/kg/hari)					
	Titik 1		Titik 2		Titik 3	
	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂
Max	0,010	0,024	0,007	0,021	0,005	0,015
Min	0,003	0,009	0,003	0,010	0,002	0,006
Rata2	0,007	0,021	0,005	0,018	0,004	0,012

Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko atau *Hazard Quotient* (HQ) dilakukan untuk menilai potensi dampak kesehatan *nonkarsinogenik* akibat pajanan konsentrasi gas CO, SO₂, dan NO₂ pada para pedagang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai HQ pada periode *realtime* maupun *lifetime* di seluruh lokasi pengambilan data berada di bawah nilai satu (HQ < 1). Hasil ini menyimpulkan seluruh responden tidak berisiko mengalami gangguan kesehatan akibat pajanan gas CO, SO₂, dan NO₂. Untuk rincian lebih lanjut mengenai nilai HQ dari konsentrasi gas CO, NO₂ dan SO₂ dapat dilihat pada **Tabel 7 dan Tabel 8**.

Tabel 7. Nilai HQ *Realtime*

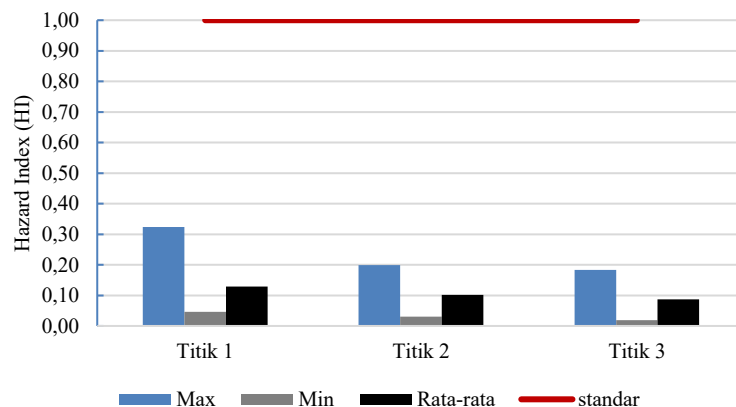
Nilai	Nilai HQ					
	Titik 1		Titik 2		Titik 3	
	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂
Max	0,228	0,096	0,137	0,062	0,127	0,057
Min	0,032	0,014	0,021	0,010	0,013	0,006
Rata2	0,090	0,038	0,070	0,032	0,060	0,027

Tabel 8. Nilai HQ *Lifetime*

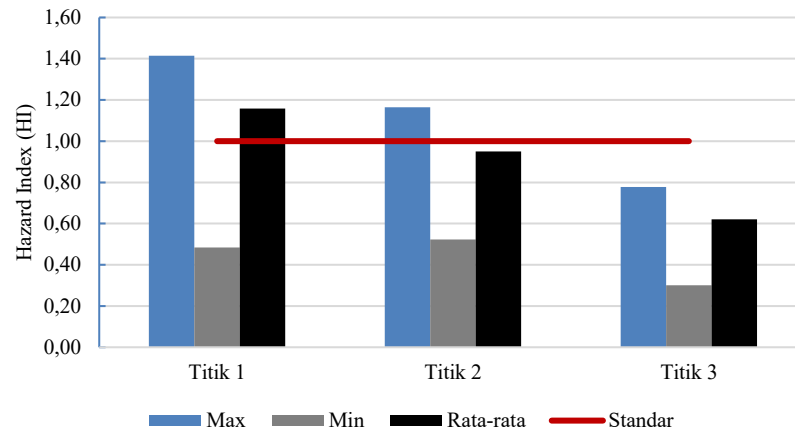
Nilai	Nilai HQ					
	Titik 1		Titik 2		Titik 3	
	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂
Max	0,419	0,997	0,291	0,886	0,127	0,602
Min	0,101	0,383	0,115	0,408	0,013	0,237
Rata2	0,298	0,860	0,218	0,732	0,060	0,478

Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8 diketahui bahwa nilai HQ *realtime* dan HQ *lifetime* polutan CO, SO₂, dan NO₂ menunjukkan nilai HQ < 1. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi polutan tersebut tidak berisiko terhadap pedagang. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa nilai HQ *realtime* dan *lifetime* pada pedagang di Pasar Gaung, Kota Padang masih berada dalam kategori aman.

Evaluasi risiko kumulatif dilakukan melalui penghitungan *Hazard Index* (HI) untuk memproyeksi dampak kesehatan dari paparan simultan berbagai polutan berdasarkan Persamaan 3. Mengingat NO₂ dan SO₂ memiliki organ target yang sama, yaitu sistem pernapasan khususnya paru-paru, maka kalkulasi HI difokuskan pada kedua kontaminan tersebut. Representasi visual mengenai nilai HI untuk NO₂ dan SO₂ pada skenario *realtime* maupun *lifetime*, disajikan secara mendalam pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Gambar 3. Nilai HI *realtime* untuk pajanan NO₂ dan SO₂

Berdasarkan Gambar 3, dapat disimpulkan bahwa nilai *Hazard Index* (HI) masih berada di bawah satu, yang menunjukkan bahwa tingkat pajanan belum berpotensi menimbulkan dampak kesehatan pada pedagang kaki lima di Pasar Raya. Kondisi tersebut didukung oleh nilai konsentrasi senyawa yang terukur, yang masih memenuhi baku mutu sebagaimana ditetapkan dalam PP Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian pada pedagang di salah satu pasar tradisional di Kota Padang, yaitu Pasar Siteba, yang menunjukkan bahwa tingkat pajanan NO₂ dan SO₂ masih berada dalam batas aman.²⁶

Gambar 4. Nilai HI *lifetime* untuk pajanan NO₂ dan SO₂

Nilai HI *lifetime* yang digambarkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa terdapat potensi risiko gangguan fungsi paru pada lokasi sampling 2 dan 3 yang ditunjukkan dengan nilai HI >1. Hal ini dimungkinkan karena para pedagang terpapar dalam periode yang lebih panjang dibandingkan dengan HI secara real-time. Temuan ini konsisten dengan penelitian pada sopir bus di Palembang yang juga menghasilkan nilai HI >1.²⁷

SIMPULAN

Konsentrasi CO, SO₂, dan NO₂ yang terukur selama delapan jam menunjukkan perbedaan antarlokasi. Data durasi delapan jam belum cukup untuk membuktikan kepatuhan SO₂ dan NO₂ terhadap baku mutu 24 jam. Analisis bivariat menunjukkan beberapa asosiasi meteorologi dan lalu lintas, tetapi tidak mendukung kesimpulan kausal. Semua HQ polutan yang dilaporkan berada di bawah satu; meskipun demikian, interpretasi toksikologinya memerlukan verifikasi nilai acuan dan konsistensi satuan. Penjumlahan rerata HQ NO₂ dan SO₂ memberi HI *lifetime* >1 hanya di Titik 1 (1,158), yang menunjukkan potensi perhatian dalam penilaian risiko gabungan, bukan diagnosis gangguan fungsi paru. Konfirmasi periode penelitian, validasi prosedur pengukuran CO, audit dosis-respons, serta perhitungan HI individual diperlukan sebelum naskah digunakan sebagai dasar keputusan risiko definitif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Andalas atas dukungan yang diberikan dalam penelitian ini melalui hibah penelitian dengan nomor kontrak 304/UN16.19/PT.01.03/PSS/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Huysal K, Ustundag Budak Y, Aydin U, Demirci H, Turk T, Karadag M. 27437130(1). Iran Red Crescent Med. 2016.
- Hoque M, Ashraf Z, Kabir M, Nasrin S. Meteorological Influences on Seasonal Variations of Air Pollutants (SO₂, NO₂, O₃, CO, PM_{2.5}, and PM₁₀) in the Dhaka Megacity. American Journal of Pure and Applied Biosciences. 2020;15-23. <https://doi.org/10.34104/ajpab.020.15023>
- Debelu Desi, Mengistu Dechasa Adare, Aschalew Alemayehu, Mengistie Bizatu, Deriba Wegene. Global Public Health Implications of Traffic Related Air Pollution: Systematic Review. Environ Health Insights. 2024;18:11786302241272403. <https://doi.org/10.1177/11786302241272403>
- Arifin B. Studi Profil Ozon Permukaan (O₃) Dan Gas Karbon Monoksida (CO) Antara Kota Bandung Dan Bukit Kototabang Tahun 2008 Study Of Surface Ozon (O₃) And Carbon Monoxide (CO) Profile Between Bandung City And Bukit Kototabang On 2008. Jurnal Ilmu Lingkungan. 2019;17:239-44. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.239-244>
- Abidin EA, Mallongi A, Amqam H, Birawida AB, Moedjiono AI, Healthy H, dkk. Risk Analysis to Street Vendors Due to Exposure of Nitrogen Dioxide (NO₂), Carbon Monoxide (CON), and Total Suspended Particles (TSP). Univers J Public Health. 2024;12:460-70. <https://doi.org/10.13189/ujph.2024.120304>
- Wenas RA, Pinontoan OR, Sumampouw OJ. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) di Sekitar Kawasan Shopping Center Manado tahun 2020. Indonesian Journal of Public Health and Community Medicine. 2020;1:53-8.
- Pornpimol Kongtip, Wanpen Thongsuk, Witaya Yoosook, Suttinun Chantanakul, Sumalee Singhaniyom. Bangkok, one of the largest cities in Southeast. 2020.

8. Barthwal V, Jain S, Babuta A, Jamir C, Sharma AK, Mohan A. Health impact assessment of Delhi's outdoor workers exposed to air pollution and extreme weather events: an integrated epidemiology approach. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29:44746-58. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18886-9>
9. Sellaro F, Pernetti R, Oddone E. Early biological effects in outdoor workers exposed to urban air pollution: A systematic review. *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd; 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124985>
10. Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) [Internet]. 2012.
11. Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) [Internet]. 2012.
12. Fauzianto F, Ali M. Analisis Komparatif Pemantauan Kualitas Udara Ambien di Surabaya Pada Tahun 2023. *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*. 2024;3:1-13. <https://doi.org/10.58192/ocean.v3i2.2085>
13. Masere MA, Sumarlin S, Assiddieq M. Kualitas Udara Ambien Parameter Sulfur Dioksida (SO₂) pada Rona Lingkungan Awal Pembangunan Jalan Alternatif Matabundu-Lalingato:(Studi Kasus Desa Matabundu-Lalingato, Kabupaten Kolaka Timur, Provinsi Sulawesi Tenggara). *Jurnal TELUK: Teknik Lingkungan UM Kendari*. 2024;4:1-4. <https://doi.org/10.51454/teluk.v4i2.717>
14. Liu Y. A Short Note on Spearman Correlation: Impact of Tied Observations. *ERN: Other Econometrics: Econometric & Statistical Methods (Topic)* [Internet]. 2017. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2933193>
15. Al-Mekhlafi ABA, Isha ASN, Al-Quraishi MS, Kanwal N. Implementation of a psychomotor vigilance test to investigate the effects of driving fatigue on oil and gas truck drivers' performance. *Front Public Health*. 2023;11:1160317. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1160317>
16. Zheng Y, Ooi MCG, Juneng L, Wee HB, Latif MT, Nadzir MSM, dkk. Assessing the impacts of climate variables on long-term air quality trends in Peninsular Malaysia. *Science of the Total Environment*. 2023;901. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166430>
17. Saeed W, Tajbar S, Ullah Z. Spatiotemporal covariability between air pollution and meteorological variables over Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Environ Monit Assess*. 2025;197:450. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13869-y>
18. Ping WY, Abd Rais Z, Ramli N, Mohamed Noor N, Ul-Saufie AZ, Hamid HA, dkk. Granger Causality Analysis of Air Pollutants and Meteorological Parameters. Dalam. MDPI AG; 2025. hlm. 6. <https://doi.org/10.3390/eesp2025033006>
19. RADOVIĆ B, ILIĆ P, POPOVIĆ Z, VUKOVIĆ J, SMILJANIĆ S. AIR QUALITY IN THE TOWN OF BIJE LJINA-TRENDS AND LEVELS OF SO₂ AND NO₂ CONCENTRATIONS. *Quality of Life: A Multi-Disciplinary Journal of Food Science, Environmental Science & Public Health*. 2022;13. <https://doi.org/10.7251/QOL2201046R>
20. Haque MdS, Islam S. Effectiveness of waste plastic bottles as construction material in Rohingya displacement camps. *Clean Eng Technol*. 2021;3:100110. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100110>
21. Millah HR, Sudiadnyana IW, Aryana IK, Sali IW. Hubungan Faktor Meteorologis dan Kepadatan Lalu Lintas dengan Kualitas Udara di Kota Tabanan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 2022.
22. Hamzah I, Lihawa F. Analisis Hubungan Jumlah Kendaraan Dan Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Di Kota Gorontalo, Provinsi Gorontalo. *Dampak*. 2022;19:40-9. <https://doi.org/10.25077/dampak.19.1.40-49.2022>
23. Maherdyta NR, Syafitri A, Septywantoro F, Kejora PA, Gulo SD, Sulistiyorini D. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂) pada Masyarakat di Wilayah Yogyakarta. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*. 2022;2:51-9. <https://doi.org/10.36086/jsl.v2i1.1040>
24. Brand P, Bertram J, Chaker A, Jörres RA, Kronseder A, Kraus T, dkk. Biological effects of inhaled nitrogen dioxide in healthy human subjects. *Int Arch Occup Environ Health*. 2016;89:1017-24. <https://doi.org/10.1007/s00420-016-1139-1>
25. interscan.https://gasdetection.com/articles/safety-protocols-for-nitrogen-dioxide-no2-gas-exposure/?utm_source=chatgpt.com. 2024. Safety Protocols for Nitrogen Dioxide (NO₂) Gas Exposure.
26. Gusti A. Health risk assessment of inhalation exposure to So₂ and No₂ among traders in a traditional market. *Public Health of Indonesia*. 2019;5:30-5. <https://doi.org/10.36685/phi.v5i2.253>
27. Sunarsih E, Suheryanto S, Mutahar R, Garmini R. Risk assesment of air pollution exposure (NO₂, SO₂, total suspended particulate, and particulate matter 10 micron) and smoking habits on the lung function of bus drivers in Palembang City. *Kesmas*. 2019;13:202-6. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v13i4.1923>