JETISH: Journal of Education Technology Information Social Sciences and Health
E-ISSN: 2964-2507 P-ISSN: 2964-819X
Vol. 6 No. 1 Maret 2027

Pajanan Karbon Monoksida (CO) dan Tingkat Risiko Kesehatan pada Anak Sekolah di SD Negeri Bojonggede 03 Kabupaten Bogor

Nisrina Syifa Ramadhina[1] Erna Veronika[2] Veza Azteria[3] Ira Marti Ayu[4]
Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Esa Unggul, Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia[1,2,3,4]
Email: nisrinasyifaramadhina@student.esaunggul.ac.id[1] erna.veronika@esaunggul.ac.id[2] veza.azteria@esaunggul.ac.id[3] ira.marti@esaunggul.ac.id[4]

Abstrak

Pencemaran udara khususnya karbon monoksida (CO) merupakan masalah kesehatan lingkungan yang memiliki dampak serius pada kelompok rentan, termasuk pada anak sekolah dasar. Dampak paparan CO pada anak dapat menyebabkan penurunan kognitif, gangguan pembelajaran, dan peningkatan masalah perilaku. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) akibat pajanan CO pada siswa di SD Negeri Bojonggede 03. Penelitian ini menggunakan desain studi deskriptif kuantitatif dengan pendekatan *cross-sectional*. Populasi dalam penelitian ini siswa kelas 4, 5, dan 6 berjumlah 362 siswa. Teknik sampling menggunakan *stratified random sampling* dengan besar sampel berjumlah 86 responden. Analisis data yang digunakan yaitu analisis univariat dan perhitungan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi CO rata-rata 0,399 mg/m^3. Nilai *RfC* CO yaitu sebesar 4,794 mg/kg/hari. Analisis pajanan menghasilkan nilai rata-rata *intake* secara *realtime* sebesar 0,015 mg/kg/hari, 0,025 mg/kg/hari dalam proyeksi 3 tahun, dan 0,034 mg/kg/hari dalam proyeksi 6 tahun. Hasil seluruh RQ secara *realtime* serta proyeksi 3 dan 6 tahun menunjukan nilai *RQ*<1 yang berarti tidak berisiko atau masih dalam kategori aman. Temuan ini menegaskan bahwa pajanan CO pada siswa di SD Negeri Bojongggede 03 tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan, namun upaya preventif seperti penambahan vegetasi dan penghijauan di lingkungan sekolah tetap perlu dilakukan.
Kata Kunci: Karbon Monoksida, Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan, Anak Sekolah

Abstract

Air pollution, particularly from carbon monoxide (CO), is an environmental health issue with serious impacts on vulnerable groups, including elementary school children. CO exposure in children can lead to cognitive decline, learning impairments, and increased behavioral problems. This study aimed to analyze the environmental health risk (ARKL) associated with CO exposure among students at SD Negeri Bojonggede 03. A quantitative descriptive study design with a cross-sectional approach was employed. The study population consisted of 362 students from grades 4, 5, and 6. Stratified random sampling was used to select a sample of 86 respondents. Data analysis involved univariate analysis and the calculation of Environmental Health Risk Analysis (ARKL). The results showed an average CO concentration of 0.399 mg/m^3. The Reference Concentration (RfC) for CO was 4.794 mg/kg/day. Exposure analysis yielded average intake values of 0.015 mg/kg/day (real-time), 0.025 mg/kg/day (3-year projection), and 0.034 mg/kg/day (6-year projection). All Risk Quotient (RQ) values real-time as well as 3-year and 6-year projections were less than 1, indicating no risk or a safe status. These findings confirm that CO exposure among students at SD Negeri Bojonggede 03 does not pose a significant health risk; however, preventive measures such as increasing vegetation and greening the school environment should still be implemented.
Keywords: *Carbon Monoxide, Environmental Health Risk Analysis, School Children*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Menurut World Health Organization, pencemaran udara yaitu kontaminasi lingkungan baik di dalam ruangan (*indoor*) maupun di luar ruangan (*outdoor*) yang disebabkan oleh suatu

agen kimia, fisik, atau biologis yang merubah karakteristik alami atmosfer. Penyebab pencemaran udara umumnya berasal dari kendaraan bermotor, aktivitas industri, perangkat pembakaran rumah, dan kebakaran hutan. Pada tahun 2021, polusi udara menjadi penyebab satu dari sepuluh kematian di seluruh dunia (Ritchie & Roser, 2024). Setiap tahunnya, sekitar 6,7 juta kematian prematur terjadi akibat paparan gabungan antara polusi udara dalam ruangan dan luar ruangan (WHO, 2025). Kondisi ini juga menjadi perhatian di Indonesia, dimana data menunjukkan bahwa polusi udara termasuk faktor penyebab kematian ke-5 tertinggi di Indonesia (Syahputri dkk., 2023)., Menurut laporan *World Air Quality* (2024) dari IQAir, Indonesia menempati peringkat pertama sebagai negara berpolusi tertinggi di Asia Tenggara, peringkat ke-7 di Asia Pasifik, dan peringkat ke-15 secara global (IQAir, 2025). Pulau Jawa secara keseluruhan masih merupakan pulau dengan polusi tertinggi di Indonesia, dengan hampir seluruh kotanya memiliki tingkat polusi yang dianggap tidak sehat bagi kelompok sensitif (Hasan dkk., 2025).

Pencemaran udara tidak hanya terjadi di luar ruangan saja, tetapi dapat juga terjadi di dalam ruangan. Pencemaran udara di dalam ruangan terjadi 2 hingga 5 kali lebih tinggi daripada tingkat polusi udara di luar ruangan dan dengan cepat dapat menjadi 100 kali lebih buruk daripada polusi udara di luar ruangan (U.S EPA, 2018). Kondisi ini disebabkan oleh terbatasnya sirkulasi udara di dalam ruangan sehingga polutan cenderung terakumulasi dan bertahan lebih lama. Akibatnya, penghuni ruangan berisiko menghirup zat pencemar di dalam ruangan tersebut. Salah satu polutan udara dalam ruang yang berbahaya bagi kesehatan yaitu karbon monoksida (CO). CO adalah gas polutan yang dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan yang mengandung karbon. Sumber utama CO berasal dari asap knalpot kendaraan terutama mesin berbahan bakar bensin. Gas CO dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui proses inhalasi (pernapasan) dan disebut sebagai *the silent killer* karena sifatnya yang tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak berasa sehingga sulit dideteksi manusia. Pada konsentrasi rendah, CO menyebabkan kelelahan atau nyeri dada pada individu dengan penyakit jantung. Pada konsentrasi tinggi, dapat menyebabkan pusing, sakit kepala, mual, kebingungan, gangguan penglihatan dan koordinasi. Pada konsentrasi sangat tinggi, CO dapat berujung fatal yaitu kematian (U.S. EPA, 2025).

Penelitian yang dilakukan oleh Natul dkk., (2026) pada pedagang kaki lima di kawasan Pasar Jembatan Lima Jakarta Barat, menunjukkan konsentrasi CO berkisar antara 3,43 hingga 21,98 mg/m^3, dengan rata-rata 12,91 mg/m^3. Tingkat risiko *real-time* berada dalam batas aman (RQ≤1) dengan rata-rata sebesar 0,1846. Pada pajanan *lifetime*, tingkat risiko rata-rata mulai dikategorikan berisiko (RQ>1) di tahun ke-20, dengan RQ yaitu 1,2012. Temuan serupa oleh Ahmad (2021) pada pengukuran kualitas udara dalam ruangan di PT KCI Jakarta Utara, menunjukkan konsentrasi CO tertinggi berada di *maintenance* sebesar 1,9235 mg/m^3 dan nilai RQ 0,0208 (RQ ≤1) yang masih dalam kategori aman. SD Negeri Bojonggede 03 merupakan Sekolah Dasar yang terletak di tepi jalan raya pada daerah padat aktivitas, yaitu berada di lingkungan Pasar Tradisional Bojonggede dan berjarak 300 meter dari stasiun dan terminal Bojonggede. Hal ini menyebabkan sekolah ini berada pada daerah dengan potensi pajanan pencemaran udara yang tinggi akibat lalu lintas kendaraan dan padatnya aktivitas masyarakat di sekitar pasar, seperti aktivitas bongkar muat barang, aktivitas pedagang kaki lima, dan keluar masuk kendaraan. Tingginya kepadatan lalu lintas di sekitar sekolah dapat menjadi penyebab masuknya gas CO dari udara ambien ke dalam ruang kelas melalui pintu, jendela, dan celah ventilasi.

Studi pendahuluan dilakukan di ruang kelas 5A dengan melakukan pengukuran konsentrasi CO. Pada pukul 08.00 WIB, rata-rata konsentrasi CO yang diperoleh yaitu 0,4 mg/m^3. Pengukuran selanjutnya pada pukul 10.00 WIB, rata-rata konsentrasi CO yang

diperoleh 0,1425 mg/m^3. Nilai tersebut masih dibawah baku mutu WHO (35 mg/m^3) untuk paparan 1 jam. Hasil wawancara mengenai keluhan kesehatan pada 37 siswa di kelas 5A, menunjukkan bahwa dalam empat bulan terakhir terdapat beberapa gejala yang mungkin muncul akibat paparan CO, meliputi sesak napas pada 7 siswa, nyeri dada pada 9 siswa, dan iritasi mata pada 13 siswa. Pada saat wawancara berlangsung, ditemukan 1 siswa yang sedang mengalami iritasi mata dengan kondisi mata merah. Durasi pajanan yang berlangsung selama enam tahun masa sekolah berpotensi menyebabkan akumulasi paparan zat pencemar secara terus menerus. Dampak paparan kronis terhadap polutan udara dapat menyebabkan dampak negatif pada anak, seperti menurunnya kemampuan kognitif, gangguan pembelajaran, dan peningkatan masalah perilaku (Sofia dkk., 2025). Berdasarkan permasalahan diatas, maka penelitian ini perlu dilakukan untuk menganalisis tingkat risiko kesehatan akibat pajanan CO pada anak sekolah di SD Negeri Bojonggede 03, Kabupaten Bogor.

Penelitian Terdahulu yang Relavan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Karolina Mulyati Natul,Veza Azteria, Erna Veronika, Mayumi Nitami (2026)	*Carbon Monoxide (CO) Exposure to Health Risks for Street Vendors in Trade Centers, Traditional Five Bridges*	Studi ini bertujuan untuk menilai risiko kesehatan akibat paparan CO di kalangan pedagang kaki lima di Pasar Jembatan Lima, Jakarta Barat.	Studi deskriptif *cross sectional* dilakukan dengan menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).	Rata-rata Konsentrasi CO 12,91 mg/m^3. Tingkat risiko *real-time* berada dalam batas aman (RQ≤1) yaitu 0,1846. Pajanan *lifetime* dikategorikan berisiko (RQ>1) pada tahun ke-20, dengan nilai RQ sebesar 1,2012.	Kesamaan dalam mengkaji pajanan CO dan risiko kesehatan menggunakan pendekatan ARKL dan sebagai referensi metodologis dan bahan pembanding dalam menilai risiko kesehatan akibat CO.
2	Ayu Puspita Devy, Rachmaniyah, Ernita Sari, Khambali (2024)	Analisis Risiko Pajanan Gas Karbon Monoksida Pada Petugas Parkir di Pusat Perbelanjaan X Surabaya	Menganalisis tingkat risiko paparan gas karbon monoksida pada petugas parkir di pusat perbelanjaan X Surabaya.	Penelitian deskriptif dengan desain *cross sectional* dan menggunakan pendekatan studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	Rata-rata konsentrasi CO di area parkir adalah 1,589 ppm. Nilai *intake* tertinggi sebesar 0,159 mg/kg/hari dan tingkat risiko yang didapatkan 0,174 (RQ≤1) yang berarti tidak berisiko pada gangguan kesehatan petugas parkir.	Kesamaan dalam mengkaji pajanan CO dan tingkat risiko kesehatan menggunakan pendekatan ARKL, serta sebagai referensi dalam pengukuran konsentrasi CO.
3	Dimas Syailendra Sumarsono, Febri Juita Anggraini, Zuli Rodhiyah, Dinna Warisha (2024)	Analisis Risiko Paparan Karbon Monoksida Terhadap Anak Sekolah (Studi Kasus: SDN 94, SDN 64, SDN 201 dan SDN 13)	Menganalisa apakah paparan CO beresiko aman atau tidak aman terhadap kesehatan anak-anak SD pada saat mereka menunggu jemputan pulang sekolah dengan metode Analisis Risiko	Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	Konsentrasi CO tertinggi yaitu 18,67 mg/m3 di SDN 64 dan terendah yaitu 0,57 mg/m3 di SDN 201. Perhitungan tingkat risiko (RQ) yang dilakukan di seluruh SDN (RQ≤1) untuk seluruh siswa.	Kesamaan subjek, variabel, dan metode penelitian yang digunakan, serta sebagai referensi dalam analisis tingkat risiko kesehatan pada anak sekolah.

			Kesehatan (ARK).			
4	Yossi Kristin Anggelina, Nurul Amalia, Febri Juita Anggraini, Zuli Rodhiyah (2022)	Analisis Risiko Pajanan Karbon Monoksida (CO) terhadap Pedagang Pasar Tradisional Kota Jambi	Mengetahui konsentrasi CO dan risiko paparan CO terhadap Pedagang di Pasar Tradisional Kota Jambi.	Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	Konsentrasi CO di Pasar Angso Duo Baru berkisar antara 3.816,93–23.905,93 µg/m^3, 48 responden memiliki nilai (RQ > 1). Di Pasar Rakyat Talang Banjar konsentrasi CO berkisar 4.867,08 - 21.663,26 µg/m^3. Sebanyak 29 responden dengan nilai RQ > 1.	Kesamaan karakteristik lokasi penelitian, serta sebagai referensi pengukuran konsentrasi CO dan analisis risiko kesehatan,
5	Eka Fitriani Ahmad (2021)	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kualitas Udara Dalam Ruangan Di PT KCI Tahun 2020	Mengetahui kualitas udara dalam ruangan kantor dengan parameter CO.	Penelitian observasional dengan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	Pengukuran konsentrasi CO tertinggi terdapat di bagian *maintenance* yaitu sebesar 1,9235 mg/m^3 dengan nilai RQ 0,0208 yang artinya (RQ≤1).	Kesamaan dalam mengkaji pajanan CO melalui pengukuran kualitas udara dalam ruangan (*indoor*).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan desain studi *cros-sectional*. Penelitian ini dilaksanakan di SD Negeri Bojonggede 03 yang berlangsung pada bulan April hingga Juli 2026. Populasi dalam penelitian ini adalah siswa kelas 4, 5, dan 6 berjumlah 362 siswa. Teknik sampling yang digunakan adalah *stratified random sampling* dengan besar sampel berjumlah 86 responden. Pengumpulan data menggunakan data primer dengan melakukan pengukuran konsentrasi CO menggunakan Q-Trak™ *Indoor Air Quality Monitor* TSI (Model 7575) selama 1 jam pada 9 titik pengukuran dengan masing-masing titik dilakukan sebanyak dua kali pengukuran, wawancara menggunakan kuesioner untuk mengetahui pola aktivitas pajanan, dan pengukuran antropometri responden menggunakan timbangan digital. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan analisis univariat dan perhitungan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Universitas Esa Unggul dengan nomor etik 0926-07.183/DPKE-KEP/FINAL-EA/UEU/VII/2026.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

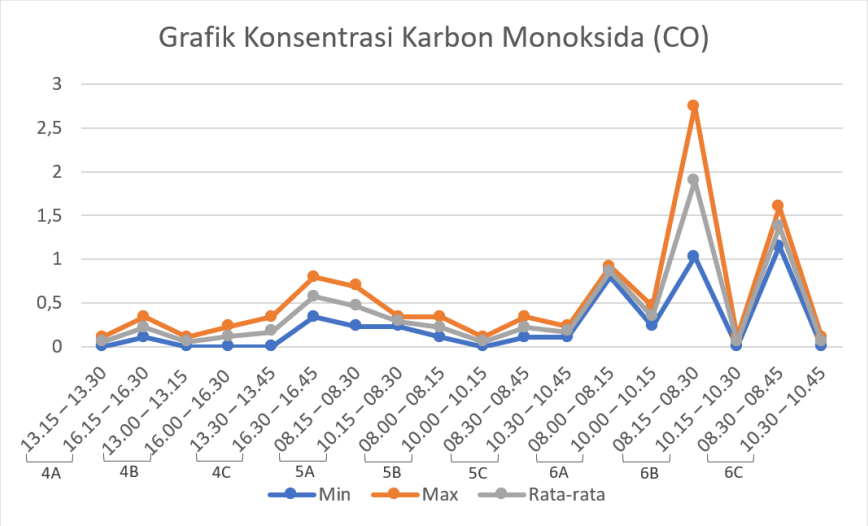
Hasil Penelitian

Konsentrasi CO di Ruangan Kelas SD Negeri Bojonggede 03

Konsentrasi CO diperoleh melalui pengukuran yang dilakukan secara langsung oleh peneliti menggunakan alat Q-Trak™ *Indoor Air Quality Monitor* TSI (Model 7575). Pengukuran konsentrasi CO dilakukan sebanyak dua kali pada setiap titik sampel, yaitu saat siswa memulai kegiatan belajar dan menjelang pulang sekolah. Hasil konsentrasi CO disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1. Konsentrasi Karbon Monoksida (CO)

Titik	Lokasi	Waktu Pengukuran	Konsentrasi CO (mg/m^3)		
			Min	Max	Rata-rata
1	4A	13.15 – 14.15	0,0	0,11	0,055
		16.15 – 17.15	0,11	0,34	0,225
2	4B	13.00 – 14.00	0,0	0,11	0,055
		16.00 – 17.00	0,0	0,23	0,115
3	4C	13.30 – 14.30	0,0	0,34	0,17
		16.30 – 16.30	0,34	0,80	0,57
4	5A	08.15 – 09.15	0,23	0,69	0,46
		10.15 – 11.15	0,23	0,34	0,285
5	5B	08.00 – 09.00	0,11	0,34	0,225
		10.00 – 11.00	0,0	0,11	0,055
6	5C	08.30 – 09.30	0,11	0,34	0,225
		10.30 – 11.30	0,11	0,23	0,17
7	6A	08.00 – 09.00	0,80	0,92	0,86
		10.00 – 11.00	0,23	0,46	0,345
8	6B	08.15 – 09.15	1,03	2,75	1,89
		10.15 – 11.15	0,0	0,11	0,055
9	6C	08.30 – 09.30	1,15	1,60	1,375
		10.30 – 11.30	0,0	0,11	0,055
Minimum					**0,0**
Maksimum					**2,75**
Rata-rata					**0,399444**



Gambar 1. Grafik Konsentrasi CO

Analisis Dosis-Respon CO (RfC)

Nilai RfC dalam penelitian ini diturunkan dari rumus *intake* dikarenakan belum tersedianya nilai RfC untuk parameter CO dalam *Integrated Risk Information* (IRIS) EPA. Nilai konsentrasi (C) diambil dari baku mutu WHO yaitu 35 mg/m^3, laju inhalasi (R): 0,5 m^3/jam, lama pajanan (tE): 6 jam/hari, frekuensi pajanan (fE): 250 hari/tahun, durasi pajanan (Dt): 6 tahun, berat badan (Wb): 15 kg, dan nilai periode waktu rata-rata efek non-karsinogenik (Tavg): 6 tahun x 365 hari = 2.190 hari. Nilai tersebut merupakan nilai *default* yang tersedia pada pedoman ARKL milik Kementerian Kesehatan RI. Sehingga, nilai RfC yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 4,794 mg/kg/hari.

Intake CO Pada Siswa di SD Negeri Bojonggede 03

Konsentrasi pajanan personal (*intake*) CO merupakan jumlah konsentrasi CO yang diterima dan masuk ke dalam tubuh manusia. Data karakteristik antropometri dan pola aktivitas pajanan yang digunakan dalam perhitungan *intake* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Karakteristik Antropometri dan Pola Aktivitas Pajanan

Variabel	N	Min	Max	Rata-rata
Berat Badan (kg)	107	19,7	77,0	**33,9**
Lama Pajanan (jam/hari)	107	4,5	5	**4,83**
Frekuensi Pajanan (hari/tahun)	107	230	230	**230**
Durasi Pajanan (tahun)	107	4	6	**4,99**

Rata-rata berat badan siswa kelas 4-6 di SD Negeri Bojonggede 03 yaitu 33,9 kg, dengan berat badan terendah 19,7 kg dan berat badan terbesar 77,0 kg. Rata-rata lama pajanan siswa yaitu 4,83 jam/hari, dengan lama pajanan paling singkat 4,5 jam/hari dan lama pajanan terlama 5 jam/hari. Frekuensi pajanan siswa yaitu 230 hari/tahun. Rata-rata durasi pajanan siswa yaitu 4,99 tahun, dengan durasi pajanan tersingkat 4 tahun dan durasi pajanan terlama 6 tahun. Perhitungan *intake* non-karsinogenik dibedakan menjadi tiga perhitungan, yaitu *intake* minimum, *intake* maksimum, dan *intake* rata-rata yang dihitung berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi CO. Hasil *intake* CO yang diterima oleh siswa di SD Negeri Bojonggede 03 secara *realtime* serta proyeksi 3 dan 6 tahun disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3. *Intake* CO *Realtime* Proyeksi 3 dan 6 Tahun

Realtime	***Intake* CO (mg/kg/hari)**
Minimum	0,0004
Maksimum	0,025
Rata-rata	0,015
Proyeksi 3 Tahun	***Intake* CO (mg/kg/hari)**
Minimum	0,012
Maksimum	0,038
Rata-rata	0,025
Proyeksi 6 Tahun	***Intake* CO (mg/kg/hari)**
Minimum	0,016
Maksimum	0,051
Rata-rata	0,034

Tingkat Risiko (RQ)

Perhitungan tingkat risiko (RQ) dilakukan dengan cara membandingkan atau membagi nilai *intake* dengan dosis respon (RfC). Apabila diperoleh nilai RQ ≤ 1, artinya tidak berisiko kesehatan. Sebaliknya, apabila nilai RQ > 1, artinya memiliki risiko kesehatan dan perlu dilakukan pengendalian. Perhitungan tingkat risiko (RQ) yang diterima oleh siswa di SD Negeri Bojonggede 03 secara *realtime* serta proyeksi 3 dan 6 tahun disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. Tingkat Risiko (RQ) *Realtime* dan Proyeksi 3 dan 6 Tahun

Realtime	**Tingkat Risiko (RQ)**
Minimum	0,00009
Maksimum	0,005
Rata-rata	0,003
Proyeksi 3 Tahun	**Tingkat Risiko (RQ)**
Minimum	0,002
Maksimum	0,008
Rata-rata	0,005
Proyeksi 6 Tahun	**Tingkat Risiko (RQ)**

Minimum	0,003
Maksimum	0,010
Rata-rata	0,007

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi CO yang dilakukan di ruang kelas 4, 5, dan 6, nilai konsentrasi CO minimum adalah 0,0 mg/m^3 yang ditemukan pada beberapa ruang kelas dan waktu pengukuran yang berbeda-beda, sedangkan nilai konsentrasi CO maksimum sebesar 2.75 mg/m^3 yang tercatat di ruang kelas 6B pada pukul 08.15-08.30 WIB. Sementara itu, nilai konsentrasi CO rata-rata dari seluruh titik pengukuran adalah 0,399 mg/m^3. Nilai tersebut masih jauh berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh WHO yaitu 35 mg/m^3 untuk pajanan selama 1 jam di udara dalam ruangan. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ahmad (2021), yang menunjukkan bahwa hasil pengukuran konsentrasi CO di dalam ruangan memiliki nilai maksimum yang berada di bawah baku mutu yaitu sebesar 1,9235 mg/m^3. Perbedaan konsentrasi CO dapat dipengaruhi oleh karakteristik bangunan sekolah dan sistem pertukaran udara di ruang kelas. Kadar konsentrasi CO lebih tinggi terjadi di ruang kelas 6 dikarenakan posisi bangunan kelas yang bersampingan langsung dengan jalan raya dan pasar, serta jendela kelas yang dibuka pada saat pengukuran dilakukan. Kondisi yang lebih dekat dengan sumber polutan menyebabkan konsentrasi CO di ruang kelas 6 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan kelas 4 dan 5. Nilai konsentrasi CO yang rendah juga dapat disebabkan oleh letak bangunan ruang kelas yang menjorok ke dalam, sehingga jaraknya jauh dari sumber polutan. Beberapa ruang kelas juga menutup pintu selama proses pembelajaran berlangsung dan terdapat jendela kelas yang menggunakan desain kaca mati. Kondisi tersebut membatasi adanya pertukaran udara dari luar, sehingga jumlah polutan yang masuk ke dalam ruangan menjadi lebih rendah.

Nilai konsentrasi CO cenderung lebih tinggi pada kelas dengan pembelajaran di termin pagi. Tingginya konsentrasi CO dipengaruhi oleh padatnya aktivitas lalu lintas di sekitar sekolah pada waktu tersebut, seperti meningkatnya volume kendaraan bermotor akibat mobilitas berangkat menuju tempat kerja, aktivitas mengantar anak sekolah yang dimana sebagaian besar kelas mengikuti pembelajaran pada termin pagi, dan tingginya aktivitas pasar yang umumnya memiliki jam operasional puncak di pagi hari. Konsentrasi gas CO pada siang hari cenderung rendah dibandingkan pagi hari dikarenakan suhu udara yang tinggi menyebabkan udara lebih mudah memuai sehingga dispersi udara akan terjadi lebih cepat, akibatnya konsentrasi gas pencemar menjadi rendah. Sebaliknya, apabila suhu udara rendah, kondisi udara menjadi stabil dan dapat menyebabkan polutan cenderung mengendap, sehingga konsentrasi bahan pencemar di udara meningkat (Ginting, 2017). Sekolah ini memiliki jumlah vegetasi yang masih sangat terbatas, khususnya keberadaan pohon di lingkungan sekolah. Pohon memiliki peranan penting sebagai penyaring alami yang mampu menekan CO hingga 0,002%. Dengan demikian, pohon dapat membantu mengurangi jumlah karbon di atmosfer dan memperbaiki kualitas udara di lingkungan sekolah. Penanaman pohon di depan pagar atau di dekat bangunan sekolah menjadi salah satu upaya untuk menahan laju gas CO agar polutan tidak masuk secara langsung ke dalam ruang kelas. Jendela kelas yang terbuka dengan posisi yang menghadap langsung ke jalan raya tanpa adanya penghalang berupa pohon dapat menyebabkan udara dari luar masuk ke dalam secara bebas tanpa adanya proses filtrasi alami. Jenis pohon yang memiliki peran dalam mereduksi CO yaitu pohon trembesi. Pohon ini memiliki daun yang berfungsi menyerap CO, sehingga dapat menjadi salah satu solusi media pereduksi emisi karbon (Sentiyaki dkk., 2018). Oleh karena itu, disarankan sekolah dapat menanam pohon atau meningkatkan penghijauan dalam upaya mempertahankan konsentrasi CO di lingkungan sekolah agar tetap berada pada tingkat yang aman.

Nilai RfC yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 4,794 mg/kg/hari. Nilai RfC menunjukkan besarnya konsentrasi referensi CO yang disarankan sebagai batas aman apabila terhirup oleh siswa. Tingkat risiko dinyatakan aman apabila nilai pajanan (*intake*) tidak lebih atau sama dengan nilai RfC. Jika nilai pajanan lebih dari nilai RfC, maka dapat berisiko kesehatan. Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad (2021) menunjukkan nilai RfC yang berbeda, yaitu sebesar 7,667 mg/m^3. Perbedaan juga ditemukan pada penelitian Sumarsono dkk., (2024), yang menggunakan nilai RfC sebesar 1,369863014 mg/kg/hari. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan konsentrasi baku mutu CO pada udara ambien yang tercantum dalam PP RI No. 22 Tahun 2021 sebesar 10 mg/m^3.

Berdasarkan perhitungan nilai *intake* CO *realtime* pada siswa SD Negeri Bojonggede 03 menunjukkan nilai minimum 0,0004 mg/kg/hari, nilai maksimum 0,025 mg/kg/hari, dan nilai rata-rata 0,015 mg/kg/hari. Siswa dengan dengan berat badan rata-rata 33,9 kg aman berada di sekolah selama 4,83 jam/hari dengan frekuensi 230 hari/tahun dalam jangka waktu *realtime.* Hasil perhitungan *intake* dalam proyeksi 3 tahun menunjukkan nilai minimum 0,012 mg/kg/hari, maksimum 0,038 mg/kg/hari dan rata-rata 0,025 mg/kg/hari. Kemudian, perhitungan *intake* dalam proyeksi 6 tahun menunjukkan nilai minimum 0,016 mg/kg/hari, maksimum 0,051 mg/kg/hari, dan rata-rata 0,034 mg/kg/hari. Secara keseluruhan, *intake realtime* dan proyeksi 3 dan 6 tahun masih dalam batas aman dosis referensi yang ditentukan (4,794 mg/kg/hari). Siswa dengan dengan berat badan rata-rata 33,9 kg aman berada di sekolah selama 4,83 jam/hari dengan frekuensi 230 hari/tahun dalam jangka waktu proyeksi 3 dan 6 tahun. Meskipun angka *intake* terus meningkat seiring dengan bertambahnya tahun proyeksi, namun nilai yang didapatkan tidak melebihi dari nilai RfC yang ditentukan. Sejalan dengan dengan penelitian Abyan dkk., (2026) yang menunjukkan bahwa nilai *intake lifetime* yang diperoleh semakin besar seiring dengan bertambahnya durasi waktu pajanan.

Intake realtime merupakan pajanan yang dihitung berdasarkan durasi pajanan saat ini, sedangkan *intake* proyeksi digunakan sebagai skenario perhitungan untuk melihat peningkatan risiko apabila pajanan berlangsung dalam jangka waktu yang lebih panjang. Pemilihan proyeksi 3 dan 6 tahun bertujuan untuk memberikan gambaran perubahan risiko yang terjadi seiring bertambahnya durasi pajanan, sehingga dapat diketahui perubahan risiko yang terjadi dari waktu ke waktu. Proyeksi 3 tahun digunakan sebagai skenario pembanding untuk melihat besarnya risiko pada separuh durasi pendidikan sekolah dasar. Sementara itu, proyeksi 6 tahun merepresentasikan durasi pajanan maksimal siswa dalam menempuh pendidikan di sekolah dasar. Besar nilai *intake* individu dapat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu berdasarkan berat badan dan pola aktivitas yang meliputi frekuensi pajanan, lama pajanan, dan durasi pajanan (Faisya dkk., 2019). Besar *intake* berbanding lurus dengan nilai konsentrasi CO, lama pajanan, frekuensi pajanan, dan durasi pajanan, artinya semakin tinggi nilai-nilai tersebut maka semakin besar nilai *intake* individu yang diterima. Sebaliknya, nilai *intake* berbading terbalik dengan berat badan dan periode waktu rata-rata, artinya semakin besar berat badan seseorang maka semakin rendah risiko terhadap kesehatan. Dalam penelitian ini, nilai *intake* tertinggi diperoleh oleh siswa dengan berat badan paling rendah dan paparan konsentrasi CO yang paling tinggi.

Hasil perhitungan RQ secara *realtime* menunjukkan bahwa siswa dengan berat badan 33,9 kg, lama pajanan 4,83 jam/hari dengan frekuensi 230 hari/tahun, serta durasi pajanan 4,99 tahun dikategorikan tidak berisiko atau dalam kategori aman ($RQ \leq 1$), dengan hasil nilai RQ minimum 0,000, RQ maksimum 0,005 dan RQ rata-rata 0,003. Hasil perhitungan RQ dalam proyeksi 3 tahun menunjukkan bahwa siswa dengan berat badan 33,9 kg, lama pajanan 4,83 jam/hari dengan frekuensi 230 hari/tahun, dan durasi pajanan 3 tahun dikategorikan tidak berisiko atau dalam kategori aman ($RQ < 1$), dengan nilai RQ minimum 0,002, RQ maksimum

0,008 dan RQ rata-rata 0,005. Perhitungan RQ dalam proyeksi 6 tahun menunjukkan siswa dengan berat badan 33,9 kg, lama pajanan 4,83 jam/hari dengan frekuensi 230 hari/tahun, dan durasi pajanan 6 tahun dikategorikan tidak berisiko atau dalam kategori aman (*RQ*<1), dengan nilai RQ minimum 0,003, RQ maksimum 0,010, dan RQ rata-rata 0,007.

Meningkatnya nilai RQ dari proyeksi 3 tahun ke 6 tahun membuktikan risiko kesehatan terus bertambah seiring meningkatnya durasi pajanan. Namun, nilai RQ dalam penelitian ini tidak melebihi angka 1 (RQ≤1) yang artinya paparan CO pada siswa ini tidak berisiko atau masih dalam kategori aman. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan belajar mengajar yang berlangsung dalam kurung waktu rata-rata 4,83 jam setiap hari di sekolah tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan akibat paparan CO, baik dalam waktu *realtime* maupun proyeksi 3 dan 6 tahun karena nilai RQ≤1 untuk seluruh siswa yang menjadi responden. Hal ini sejalan dengan penelitian Sumarsono dkk., (2024) dimana perhitungan RQ di SDN 94, SDN 64, SDN 201, dan SDN 13 memiliki RQ ≤ 1 untuk seluruh siswa. Meskipun menunjukkan kategori aman, namun paparan CO tetap berpotensi menimbulkan masalah kesehatan pada siswa, terutama pada gangguan pernapasan. Berdasarkan hasil kuesioner kepada siswa, sebanyak 58 dari 107 siswa (54,2%) mengalami gejala umum ISPA, sedangkan 49 dari 107 responden (45,8%) tidak mengalami gejala umum ISPA. Hasil identifikasi gejala umum ISPA ditentukan berdasarkan adanya batuk sebagai gejala utama dan disertai satu atau lebih gejala tambahan. Gejala ISPA yang paling banyak ditemukan oleh siswa dalam 1 bulan terakhir yaitu pilek atau hidung tersumbat. Temuan tersebut mengindikasikan meskipun konsentrasi CO di masih berada dalam batas yang diperbolehkan, namun keluhan kesehatan yang dialami siswa tetap ditemukan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitain yang telah dilakukan. maka dapat disimpulkan bahwa pengukuran konsentrasi CO di SD Negeri Bojonggede 03 menunjukkan nilai rata-rata 0,399 mg/m^3. Apabila dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan oleh WHO sebesar 35 mg/m^3, maka rata-rata konsentrasi CO yang diperoleh masih jauh berada dibawah baku mutu. Nilai RfC CO yaitu sebesar 4,794 mg/kg/hari. Hasil perhitungan *intake* menunujukkan nilai yang masih dalam batas aman dosis referensi. Hasil perhitungan RQ *realtime* dan proyeksi 3 dan 6 tahun menunjukan nilai RQ < 1 untuk seluruh siswa yang menjadi responden. Siswa dengan berat badan rata-rata 33,9 kg, lama pajanan 4,83 jam/hari dengan frekuensi 230 hari/tahun, baik dalam waktu *realtime* maupun proyeksi dalam 3 dan 6 tahun dikategorikan tidak berisiko kesehatan. Kepada pihak sekolah disarankan untuk menambahkan vegetasi sebagai penyaring alami untuk menekan CO dan menahan laju gas CO. Jenis pohon yang memiliki peran dalam mereduksi CO adalah pohon trembesi. Selain itu, disarankan untuk menutup jendela kelas yang menghadap langsung ke jalan raya atau pasar dan beralih dengan membuka jendela yang menghadap ke koridor atau area yang jauh dari sumber polutan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) untuk mengevaluasi risiko pajanan karbon monoksida (CO) pada kelompok anak usia sekolah dasar melalui integrasi pengukuran konsentrasi polutan, estimasi asupan (intake), dan pemodelan risiko berdasarkan kondisi pajanan aktual serta proyeksi jangka menengah. Berbeda dari kajian pencemaran udara yang umumnya berfokus pada pengukuran konsentrasi polutan atau identifikasi dampak kesehatan secara umum, penelitian ini menghubungkan karakteristik pajanan CO dengan estimasi risiko kesehatan spesifik pada populasi anak sekolah melalui perhitungan Risk Quotient (RQ). Kontribusi empiris penelitian ini diperkuat oleh evaluasi tiga skenario temporal, yaitu pajanan aktual (real-time), proyeksi tiga tahun, dan proyeksi enam tahun, yang memberikan gambaran komparatif mengenai

potensi perubahan risiko berdasarkan asumsi durasi pajanan. Temuan seluruh nilai RQ yang berada di bawah satu menunjukkan bahwa estimasi pajanan CO pada lokasi penelitian belum mengindikasikan risiko efek nonkarsinogenik yang melampaui tingkat referensi, sekaligus menegaskan pentingnya pendekatan preventif dalam perlindungan kesehatan lingkungan sekolah. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian kesehatan lingkungan berbasis penilaian risiko dengan menempatkan anak sekolah sebagai populasi rentan yang memerlukan pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan, serta menyediakan landasan ilmiah bagi pengembangan kebijakan pengendalian pencemaran udara dan peningkatan kualitas lingkungan pendidikan.

Penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih kepada SD Negeri Bojonggede 03 yang telah memberikan izin, dukungan, serta bantuan selama pelaksanaan penelitian baik dalam bentuk penyediaan data ataupun pendampingan saat proses penelitian. Kontribusi dan kerja sama yang diberikan menjadi bagian yang sangat penting untuk tercapainya tujuan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abyan, M. G. S., Rini, W. N. E., Rahmat, A. A., & S, O. L. (2026). Environmental Health Risk Assessment (EHRA) Of Carbon Monoxide (CO) Exposure Among Fuel Station Operators At Gas Stations In Kota Baru District In 2026. *International Journal Of Health, Engineering And Technology (IJHET)*, *5*(1), 1089–1102. https://doi.org/10.55227/ijhet.v5i1.873

Ahmad, E. F. (2021). Analisis Risiko Kesehatan LingkunganKualitas Udara Dalam Ruangan Di PT KCI Tahun 2020. *Jurnal Semesta Sehat*, *1*(2). https://doi.org/10.58185/j-mestahat.v1i2.83.

Faisya, A. F., Putri, D. A., & Ardillah, Y. (2019). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Hidrogen Sulfida (H2S) dan Ammonia (NH3) Pada Masyarakat Wilayah TPA Sukawinatan Kota Palembang Tahun 2018. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, *18*(2), 126–134. https://doi.org/10.14710/jkli.18.2.126-134.

Ginting, I. A. P. (2017). *Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan dan Faktor Meteorologi (Suhu, Suhu, Kecepatan Angin dan Kelembaban) Terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di Udara Ambien Roadside (Studi Kasus Pintu Tol Amplas dan Pintu Tol Tawang Morawa)*. Universitas Sumatera Utara. http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/3112.

Hasan, K., Analis, & CREA. (2025). *Kualitas udara Indonesia 2024: Polusi Jabodetabek capai sepuluh kali lipat batas aman WHO, Pemerintah 'menunggu dan lihat nanti'* (J. Seidman, Spesialis Komunikasi, & CREA, Eds.).

IQAir. (2025, April 23). *Kualitas udara di Indonesia*. IQAir.

Natul, K. M., Azteria, V., Veronika, E., & Nitami, M. (2026). Carbon Monoxide (CO) Exposure to Health Risks for Street Vendors in Trade Centers, Traditional Five Bridge. *Jurnal Kesehatan*, *9*(1), 48–60. https://doi.org/10.33096/woh.vi.2905.

Ritchie, H., & Roser, M. (2024). *Air Pollution*. Our World in Data. https://ourworldindata.org/air-pollution.

Sentiyaki, Astuti, A. R. A., Fathurrahman, I., Yani, S., Mandasini, Nurjannah, & Sabara, Z. (2018). Alat Penyaring Karbon Monoksida pada Knalpot Kendaraan Bermotor dengan Menggunakan Adsorben Alami Ekstrak Daun Trembesi. *Journal of Chemical Process Engineering*, *3*(1). https://doi.org/10.33536/jcpe.v3i1.192.

Sofia, N., Aprilea, N. A., Rusmilawaty, As, Z. A., & Rizani, K. (2025). Polusi Udara Dan Perkembangan Otak Anak Periode 2015-2025: Sebuah Tinjauan Sistematis. *Jurnal Skala Kesehatan*, *16*(2), 88–101. https://doi.org/10.31964/jsk.v16i2.457.

Sumarsono, D. S., Anggraini, F. J., Rodhiyah, Z., & Warisha, D. (2024). Analisis Risiko Paparan Karbon Monoksida Terhadap Anak Sekolah (Studi Kasus : SDN 94, SDN 64, SDN 201 dan SDN 13). *Jurnal Engineering Universitas Jambi*, *6*(2). https://doi.org/10.22437/jurnalengineering.v6i2.35847.

Syahputri, J., Suarga, E. B., Rahman, I., Zahari, T. N., & Ramdhani, D. A. (2023). Dampak Polusi Udara dari Sektor Transportasi terhadap Kesehatan di Indonesia. *Kementerian PPN/Bappenas*.

U.S EPA. (2018). *Indoor Air Quality*. United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality.

U.S. EPA. (2025). *What is Carbon Monoxide?* United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-carbon-monoxide.

WHO. (2025). *Household Air Pollution*. World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health.