



Perbandingan Risiko Kesehatan Paparan SO₂ dan NO₂ pada Anak dan Dewasa di Kawasan Industri Semen

Comparison of Health Risks from SO₂ and NO₂ Exposure among Children and Adults in a Cement Industrial Area

Evi Aprianti Radjiman ^{*1}, Uswatun Hasanah², Nur Ilmi Mardatillah³, Muhammad Ikram ⁴

^{1,3}Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

²Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan Universitas Negeri Makassar

⁴Program Studi Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Parepare

e-mail: ^{*1}evi.aprianti@uin-alauddin.ac.id, ²uswatun.hasanah@unm.ac.id,

³ilmimardatillah@uin-alauddin.ac.id ⁴Ikrambaco12@Gmail.com

ABSTRACT

The cement industry is one of the major sources of air pollutant emissions that may pose health risks to surrounding communities, particularly through exposure to sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen dioxide (NO₂). Children and adults have different physiological characteristics and exposure patterns, which may result in different levels of health risk. This study aimed to compare the health risks associated with SO₂ and NO₂ exposure between children and adults living around a cement industrial area. This study employed a quantitative approach using the Environmental Health Risk Assessment (EHRA) method conducted at eight residential locations surrounding PT Semen Tonasa, South Sulawesi, in January 2024. The sample consisted of 160 respondents, including 80 children and 80 adult, selected through purposive sampling. The analyzed parameters included SO₂ and NO₂ concentrations, intake values, and Risk Quotient (RQ). The results showed that SO₂ and NO₂ concentrations ranged from 16.1–51.3 µg/m³ and 16.9–46.2 µg/m³, respectively, which were still below the ambient air quality standards. Comparatively, adults exhibited higher intake and RQ values under realtime exposure conditions, whereas children showed higher values under lifetime exposure projections. All RQ values remained below 1, indicating that the exposure had not caused significant non-carcinogenic health risks. Nevertheless, the differing risk patterns between the two groups suggest that children may have greater vulnerability to long-term health effects, while adults are more affected by short-term exposure. These findings highlight the importance of adopting a vulnerable-based approach in air quality management within industrial areas.

Keywords : Hypertension; medication compliance; family history; knowledge

PUBLISHED BY :

Fakultas Ilmu Kesehatan
Universitas Muhammadiyah Parepare

Address :

Jl. Jend. Ahmad Yani Km. 6, Lembah Harapan
Kota Parepare, Sulawesi Selatan.

Email :

jurnalmakes@gmail.com

Phone :

+62 853 3520 4999

Article history :

Submitted 24 Mei 2026

Accepted 9 September 2026

Available online 11 September 2026



ABSTRAK

Industri semen merupakan salah satu sumber emisi polutan udara yang berpotensi menimbulkan dampak kesehatan bagi masyarakat di sekitarnya, khususnya melalui paparan sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂). Kelompok anak dan dewasa memiliki karakteristik fisiologis dan pola pajanan yang berbeda, sehingga berpotensi menunjukkan tingkat risiko yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan risiko kesehatan akibat paparan SO₂ dan NO₂ antara kelompok anak dan dewasa di sekitar kawasan industri semen. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode Environmental Health Risk Assessment (EHRA) yang dilakukan pada delapan lokasi permukiman di sekitar PT Semen Tonasa, Sulawesi Selatan, pada Januari 2024. Sampel terdiri dari 160 responden, yaitu 80 anak dan 80 dewasa yang dipilih secara purposive sampling. Parameter yang dianalisis meliputi konsentrasi SO₂ dan NO₂, nilai intake, serta Risk Quotient (RQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ dan NO₂ masing-masing berada pada kisaran 16,1–51,3 µg/m³ dan 16,9–46,2 µg/m³, yang masih berada di bawah baku mutu kualitas udara ambien. Secara komparatif, kelompok dewasa menunjukkan nilai intake dan RQ yang lebih tinggi pada kondisi realtime, sedangkan kelompok anak menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada proyeksi pajanan jangka panjang (lifetime). Seluruh nilai RQ masih berada di bawah 1, yang menunjukkan bahwa paparan belum menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik secara signifikan. Meskipun demikian, perbedaan pola risiko antara kedua kelompok menunjukkan bahwa anak-anak memiliki potensi kerentanan yang lebih tinggi terhadap dampak jangka panjang, sementara dewasa lebih terpengaruh oleh paparan jangka pendek. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan berbasis kelompok rentan dalam pengelolaan kualitas udara di kawasan industri.

Kata kunci : Environmental Health Risk Assessment (EHRA), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), industri semen, anak dan dewasa risiko kesehatan

PENDAHULUAN

Industri semen merupakan salah satu sektor penting dalam pembangunan infrastruktur global, namun juga menjadi kontributor signifikan terhadap pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran udara. Proses produksi semen melibatkan pembakaran bahan bakar fosil pada suhu tinggi yang menghasilkan berbagai polutan, termasuk sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan partikulat. Emisi dari industri ini diketahui berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara serta menimbulkan dampak kesehatan bagi masyarakat yang tinggal di sekitarnya¹

Polusi udara saat ini telah diakui sebagai salah satu faktor risiko utama terhadap kesehatan global. Paparan terhadap polutan seperti SO₂ dan NO₂ berkaitan erat dengan peningkatan kejadian penyakit pernapasan dan kardiovaskular, termasuk asma, bronkitis, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), serta peningkatan mortalitas². Selain itu, dampak polusi udara tidak hanya bersifat akut, tetapi juga kronis akibat paparan jangka panjang, bahkan pada konsentrasi yang berada di bawah standar kualitas udara yang ditetapkan.³

Dampak kesehatan akibat polusi udara tidak terjadi secara merata pada seluruh kelompok populasi. Anak-anak merupakan kelompok yang paling rentan karena sistem pernapasan yang masih berkembang, laju inhalasi yang lebih tinggi relatif terhadap berat badan, serta faktor perilaku seperti aktivitas luar ruangan yang lebih intens. Paparan polusi udara pada anak-anak telah dikaitkan dengan gangguan perkembangan paru, peningkatan kejadian infeksi saluran pernapasan, serta risiko penyakit kronis di kemudian hari⁴. Di sisi lain, kelompok dewasa juga memiliki risiko kesehatan yang signifikan, terutama akibat paparan kumulatif jangka panjang yang dapat meningkatkan kejadian penyakit kronis seperti gangguan paru dan kardiovaskular.²

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji dampak polusi udara terhadap kesehatan, sebagian besar studi masih berfokus pada populasi umum atau hanya pada satu kelompok usia tertentu. Kajian yang secara khusus membandingkan risiko kesehatan antara kelompok anak dan dewasa pada paparan polutan udara di kawasan industri, khususnya industri semen, masih terbatas. Padahal, perbedaan karakteristik fisiologis dan pola pajanan antara kedua kelompok tersebut berpotensi menghasilkan perbedaan tingkat risiko yang signifikan.

Di Provinsi Sulawesi Selatan, keberadaan industri semen seperti PT Semen Tonasa yang beroperasi di dekat kawasan permukiman berpotensi meningkatkan paparan polutan udara pada masyarakat sekitar. Kondisi ini menuntut adanya kajian yang lebih spesifik untuk memahami perbedaan risiko kesehatan antar kelompok usia yang terpapar.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan risiko kesehatan akibat paparan sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂) antara kelompok anak dan dewasa di sekitar kawasan industri semen dengan menggunakan pendekatan *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kerentanan kelompok populasi serta menjadi dasar dalam pengambilan kebijakan pengelolaan kualitas udara dan perlindungan kesehatan masyarakat.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA) untuk menilai risiko kesehatan akibat paparan polutan udara pada masyarakat di sekitar kawasan industri semen. Pendekatan EHRA banyak digunakan dalam penelitian kesehatan lingkungan untuk mengevaluasi potensi risiko non-karsinogenik akibat paparan polutan udara pada populasi manusia.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di delapan lokasi permukiman yang berada di sekitar kawasan industri PT Semen Tonasa, Kabupaten Pangkep, Provinsi Sulawesi Selatan. Pemilihan lokasi didasarkan pada variasi jarak dari sumber emisi industri. Pengambilan data dilakukan pada Januari 2023.

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan industri semen yang terdiri dari kelompok anak dan dewasa. Sampel penelitian berjumlah 160 responden, yang terdiri dari 80 anak usia 6–12 tahun dan 80 dewasa, yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan.

Kriteria inklusi meliputi:

1. Bertempat tinggal di lokasi penelitian minimal 3 tahun
2. Berada di lokasi penelitian minimal 12 jam per hari
3. Bersedia menjadi responden

Penelitian ini menggunakan pendekatan komparatif untuk mengidentifikasi perbedaan pola risiko kesehatan antara kelompok anak dan dewasa berdasarkan nilai intake dan *Risk Quotient* (RQ).

Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan meliputi konsentrasi polutan udara SO₂ dan NO₂ pada masing-masing lokasi penelitian, serta karakteristik responden yang mencakup usia, berat badan, durasi paparan, dan aktivitas harian. Data diperoleh melalui pengukuran kualitas udara, wawancara, dan observasi lapangan.

Risk Assessment

Penilaian risiko kesehatan dilakukan menggunakan metode EHRA melalui perhitungan intake dan *Risk Quotient* (RQ). Nilai intake dihitung berdasarkan parameter konsentrasi polutan, laju inhalasi,

frekuensi pajanan, durasi pajanan, dan berat badan responden. Selanjutnya, nilai RQ diperoleh dengan membandingkan nilai intake terhadap nilai referensi (*Reference Concentration/RfC*)

Interpretasi nilai RQ adalah sebagai berikut:

- $RQ < 1$ menunjukkan paparan belum berisiko terhadap kesehatan non-karsinogenik
- $RQ \geq 1$ menunjukkan adanya potensi risiko kesehatan non-karsinogenik

6 Data Analysis

Analisis data dilakukan secara deskriptif dan komparatif. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan konsentrasi polutan udara, karakteristik responden, serta nilai intake dan RQ. Sementara itu, analisis komparatif dilakukan untuk mengidentifikasi perbedaan pola risiko kesehatan antara kelompok anak dan dewasa berdasarkan nilai intake dan RQ.

HASIL

Karakteristik Responden

Penelitian ini melibatkan 160 responden yang terdiri dari 80 anak dan 80 dewasa yang tinggal di sekitar kawasan industri semen. Karakteristik responden meliputi usia, berat badan, durasi pajanan, dan aktivitas harian. Secara umum, kelompok dewasa memiliki berat badan dan durasi aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan anak-anak, yang berpotensi mempengaruhi nilai pajanan individu.

Tabel 1 Distribusi Karakteristik Responden Dewasa di Kabupaten Pangkajene Kepulauan (Pangkep) Tahun 2023 (N=80)

Variabel	Dewasa (%)	Anak (%)
Jenis Kelamin		
Laki-laki	22 (27.5)	37 (46.3)
Perempuan	58 (72.5)	43 (53.8)
Usia		
26–32 tahun	33 (41.3)	–
33–39 tahun	9 (11.3)	–
40–45 tahun	38 (47.5)	–
6–8 tahun	–	26 (32.5)
9–10 tahun	–	30 (37.5)
11–12 tahun	–	24 (30.0)
Pendidikan		
Tidak sekolah	5 (6.3)	–
SD	20 (25.0)	80 (100)
SMP	13 (16.3)	–
SMA	40 (50.0)	–
Sarjana	2 (2.5)	–
Pekerjaan		
IRT	47 (58.8)	–
Wiraswasta	27 (33.8)	–
Petani/Nelayan	3 (3.8)	–
Buruh	3 (3.8)	–
Siswa	–	80 (100)
Berat Badan (kg)		
11–20	–	18 (22.5)
21–30	–	37 (46.3)

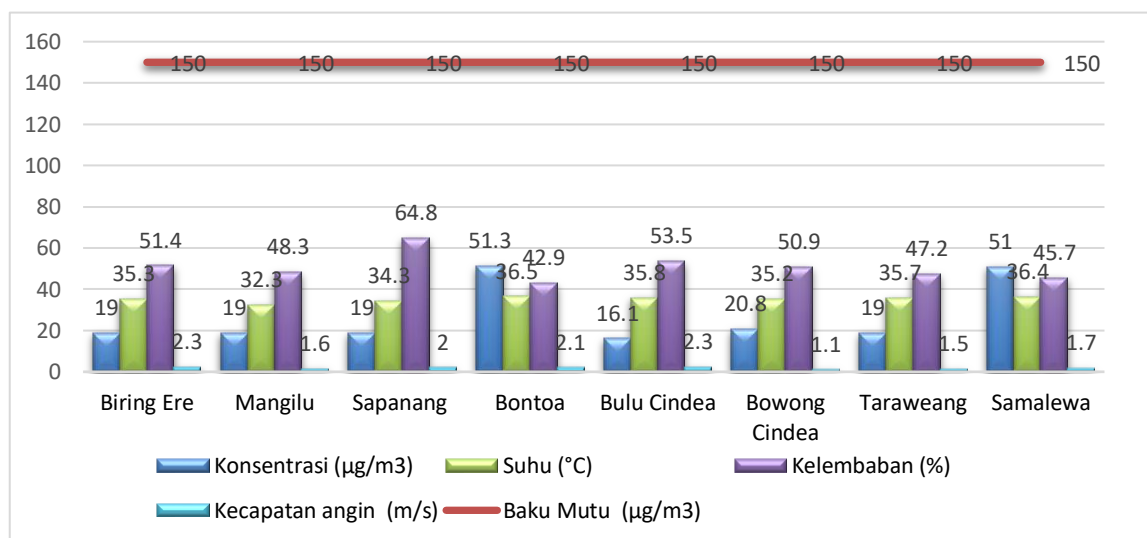
≥ 31	–	25 (31.3)
31–40	5 (6.3)	–
41–50	16 (20.0)	–
51–60	20 (25.0)	–
≥ 61	39 (48.8)	–

Sumber: Data Primer, 2023

Konsentrasi SO_2 dan NO_2 di Lokasi Penelitian

Parameter SO_2

Sampel lingkungan dalam penelitian ini adalah kualitas udara ambien parameter SO_2 di 8 lokasi yaitu Desa Mangilu, Desa Biring Ere, Kelurahan Sapanang, Kelurahan Samalewa, Desa Bulu Cindea, Desa Bowong Cindea, Kelurahan Bontoa, dan Desa Taraweang. Masing-masing lokasi dilakukan pengambilan titik kualitas udara sebanyak 1 titik setiap desa. dan data meteorologi meliputi suhu, kelembaban dan kecepatan angin.



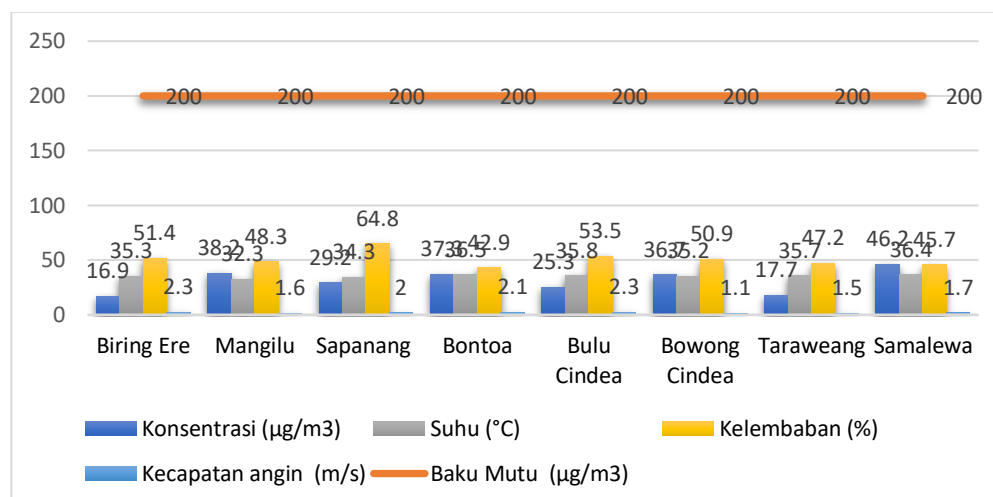
Sumber: Data Primer, 2023

Gambar 1 Grafik Kualitas udara ambien parameter SO_2 di Kabupaten Pangkajene Kepulauan 2023.

Gambar 1 menunjukkan grafik konsentrasi udara ambien, suhu, kelembaban dan kecepatan angin di sekitar Kawasan industri PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkajene Kepulauan. Konsentrasi SO_2 tertinggi di desa Bontoa yaitu $51,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan yang terendah di desa Bulu Cindea yaitu $16,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Suhu di 8 lokasi penelitian yaitu berkisar $32,3 - 36,5^{\circ}\text{C}$, kelembaban berkisar $42,9 - 64,8 \%$, dan kecepatan angin berkisar $1,1 - 2,3 \text{ (m/s)}$. Rendahnya konsentrasi SO_2 dipengaruhi oleh suhu, kelembaban dan kecepatan angin yang relatif.

Parameter NO_2

Sampel lingkungan dalam penelitian ini adalah kualitas udara ambien parameter NO_2 di 8 lokasi yaitu Desa Mangilu, Desa Biring Ere, Kelurahan Sapanang, Kelurahan Samalewa, Desa Bulu Cindea, Desa Bowong Cindea, Kelurahan Bontoa, dan Desa Taraweang. Masing-masing lokasi dilakukan pengambilan titik kualitas udara sebanyak 1 titik setiap desa. dan data meteorologi meliputi suhu, kelembaban dan kecepatan angin.



Sumber: Data Primer, 2023

Gambar 2 Kualitas udara ambien parameter NO₂ dan Data Metereologi di Kabupaten Pangkajene Kepulauan 2023

Gambar 2 menunjukkan konsentrasi udara ambien, suhu, kelembaban dan kecepatan angin di sekitar Kawasan industri PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkajene Kepulauan. Konsentrasi NO₂ tertinggi di desa samalewa yaitu 46,2 µg/m³ dan paling rendah di Desa Biring Ere yaitu 16,9 µg/m³. Dari 8 titik lokasi tidak terdapat yang melebihi baku mutu lingkungan pada tiap parameter. Suhu di 8 lokasi penelitian yaitu berkisar 32.3 – 36.5°C, kelembaban berkisar 42.9 – 64.8 %, dan kecepatan angin berkisar 1.1 – 2.3 (m/s). Rendahnya konsentrasi NO₂ dipengaruhi oleh suhu, kelembaban dan kecepatan angin yang relatif.

Perbandingan *Intake* SO₂ dan NO₂ pada Anak dan Dewasa

Nilai *intake* SO₂ dan NO₂ menunjukkan perbedaan antara kelompok anak dan dewasa. Pada kondisi *realtime*, kelompok dewasa memiliki nilai *intake* yang lebih tinggi dibandingkan anak-anak. Hal ini dipengaruhi oleh laju inhalasi dan durasi aktivitas yang lebih besar pada kelompok dewasa.

Sebaliknya, pada proyeksi pajanan jangka panjang (*lifetime*), kelompok anak menunjukkan nilai *intake* yang lebih tinggi dibandingkan dewasa. Kondisi ini berkaitan dengan faktor berat badan yang lebih rendah pada anak-anak, sehingga meningkatkan nilai *intake* relatif terhadap berat badan.

Tabel 2 Nilai Min, Max dan Mean ADD Non Karsinogenik Responden untuk Durasi Pajanan SO₂ di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa Kecamatan Pangkajene Kepulauan

Dt (Durasi pajanan)	ADD (mg/kg/hari)							
	Min		Max		Average		Ket	
	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa
Realtime	0,0011	0,0031	0,0108	0,0326	0,0039	0,0112	MS	MS
Lifetime								
5	0,0007	0,0005	0,0061	0,0041	0,0021	0,0015	MS	MS
10	0,0013	0,0010	0,0122	0,0081	0,0042	0,0030	MS	MS
15	0,0020	0,0014	0,0183	0,0122	0,0063	0,0046	MS	MS
20	0,0026	0,0019	0,0245	0,0163	0,0084	0,0061	MS	MS
25	0,0033	0,0204	0,0306	0,0024	0,0106	0,0076	MS	MS
30	0,0039	0,0029	0,0367	0,0244	0,0127	0,0091	MS	MS

Keterangan : MS (Memenuhi Syarat)

Sumber : Data Primer 2023

Berdasarkan tabel 2 nilai asupan intake *realtime* non karsinogenik SO₂ 160 responden diperoleh hasil bahwa nilai mean dewasa 0.0112 lebih tinggi dibandingkan anak-anak yaitu 0.0039. Sedangkan asupan intake *lifetime* non karsinogenik SO₂ proyeksi tahun ke 5 – 30 nilai average untuk anak-anak yaitu 0.0021 – 0.0127 lebih tinggi di bandingkan orang dewasa yaitu 0.0015 – 0.0091. Keseluruhan rata-rata intake nonkarsinogen *realtime* dan *lifetime* masih memenuhi syarat, karena lebih rendah dari nilai RfC SO₂ yaitu 0.026.

Tabel 3 Nilai Min, Max dan Mean ADD Non Karsinogenik Responden untuk Durasi Paparan NO₂ di sekitar kawasan industri PT. Semen Tonasa Kecamatan Pangkajene Kepulauan

Dt (Durasi paparan)	ADD (mg/kg/hari)							
	Min		Max		Mean		Ket	
	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa
Realtime	0,0009	0,0029	0,0110	0,0288	0,0045	0,0129	MS	MS
Lifetime								
5	0,0007	0,0004	0,0055	0,0037	0,0024	0,0018	MS	MS
10	0,0013	0,0009	0,0111	0,0074	0,0049	0,0035	MS	MS
15	0,0020	0,0013	0,0166	0,0111	0,0073	0,0053	MS	MS
20	0,0027	0,0018	0,0222	0,0148	0,0098	0,0071	MS	MS
25	0,0034	0,0022	0,0277	0,0184	0,0122	0,0088	MS	MS
30	0,0040	0,0027	0,0332	0,0221	0,0147	0,0106	MS	MS

Keterangan : MS (Memenuhi Syarat)

Sumber : Data Primer 2023

Berdasarkan tabel 3 nilai asupan intake *realtime* non karsinogenik NO₂ 160 responden diperoleh hasil bahwa nilai mean dewasa 0.0129 lebih tinggi dibandingkan anak-anak yaitu 0.0045. Sedangkan asupan intake *lifetime* non karsinogenik NO₂ proyeksi tahun ke 5 – 30 nilai mean untuk orang dewasa yaitu 0.0018 – 0.0106 lebih rendah di bandingkan anak-anak yaitu 0.0024 – 0.0147. Keseluruhan rata-rata intake nonkarsinogen *realtime* dan *lifetime* masih memenuhi syarat, karena lebih rendah dari nilai RfC NO₂ yaitu 0.02

Perbandingan Risk Quotient (RQ) pada Anak dan Dewasa

Nilai Risk Quotient (RQ) menunjukkan adanya perbedaan pola risiko antara kelompok anak dan dewasa. Pada kondisi *realtime*, kelompok dewasa memiliki nilai RQ yang lebih tinggi dibandingkan anak-anak, dengan nilai RQ SO₂ sebesar 0,4298 pada dewasa dan 0,1498 pada anak, serta RQ NO₂ sebesar 0,6473 pada dewasa dan 0,2265 pada anak.

Namun demikian, pada proyeksi paparan jangka panjang (*lifetime*), kelompok anak menunjukkan peningkatan nilai RQ yang lebih tinggi dibandingkan dewasa. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun risiko saat ini lebih tinggi pada dewasa, potensi risiko jangka panjang lebih besar pada kelompok anak.

Secara keseluruhan, seluruh nilai RQ masih berada di bawah 1, yang menunjukkan bahwa paparan belum menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik secara signifikan. Namun, perbedaan pola risiko antara kedua kelompok menunjukkan adanya potensi kerentanan yang berbeda.

Tabel 4 Nilai Min, Max, dan Mean Risk Quotient (RQ) SO₂ di Sekitar Kawasan Industri PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkajene Kepulauan 2023

Dt (Durasi pajanan)	RQ (mg/kg/hari)							
	Min		Max		Average		Ket	
	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa
Realtime	0,0407	0,1183	0,4154	1,2532	0,1498	0,4298	MS	MS
Lifetime								
5	0,0252	0,0185	0,2351	0,1567	0,0812	0,0586	MS	MS
10	0,0504	0,0370	0,4702	0,3133	0,1624	0,1171	MS	MS
15	0,0756	0,0555	0,7053	0,4700	0,2436	0,1757	MS	MS
20	0,1008	0,0740	0,9405	0,6266	0,3248	0,2342	MS	MS
25	0,1260	0,0925	1,1756	0,7833	0,4061	0,2928	MS	MS
30	0,1512	0,1110	1,4107	0,9400	0,4873	0,3514	MS	MS

Keterangan : MS (Memenuhi Syarat)

Sumber : Data Primer 2023

Berdasarkan tabel 4 dapat diketahui nilai tingkat risiko *realtime* non karsinogenik atau *Risk Quotient* (RQ) SO₂ 160 responden (anak-anak dan dewasa) yaitu nilai mean dewasa 0.4298 lebih tinggi dibandingkan anak-anak yaitu 0.1498, namun dari rata-rata keduanya tidak terdapat nilai RQ > 1 yang berarti rata-rata masyarakat di sekitar Kawasan industri PT. Semen Tonasa tidak berisiko. Sedangkan RQ *lifetime* proyeksi tahun ke 5 - 30 untuk anak-anak sekitar 0.0812 – 0.4873 dan dewasa sekitar 0,0586 – 0,3514 yang berarti rata-rata Masyarakat di sekitar Kawasan industri PT. Semen Tonasa pada proyeksi tahun ke 5-30 juga tidak berisiko karena nilai rata-rata RQ <1.

Tabel 5 Nilai Min, Max, dan Mean Risk Quotient (RQ) NO₂ di Sekitar Kawasan Industri PT. Semen Tonasa Kabupaten Pangkajene Kepulauan 2023

Dt (Durasi pajanan)	RQ (mg/kg/hari)							
	Min		Max		Mean		Ket	
	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa	Anak-anak	Dewasa
Realtime	0,0471	0,1433	0,5520	1,4380	0,2265	0,6473	MS	MS
Lifetime								
5	0,0336	0,0224	0,2769	0,1845	0,1221	0,0884	MS	MS
10	0,0672	0,0448	0,5538	0,3690	0,2442	0,1768	MS	MS
15	0,1008	0,0672	0,8307	0,5535	0,3663	0,2651	MS	MS
20	0,1345	0,0896	1,1075	0,7380	0,4884	0,3535	MS	MS
25	0,1681	0,1120	1,3844	0,9225	0,6105	0,4419	MS	MS
30	0,2017	0,1344	1,6613	1,1069	0,7326	0,5303	MS	MS

Keterangan : MS (Memenuhi Syarat)

Sumber : Data Primer 2023

Berdasarkan tabel 5 dapat diketahui nilai tingkat risiko *realtime* non karsinogenik atau *Risk Quotient* (RQ) NO₂ 160 responden (anak-anak dan dewasa) yaitu nilai mean dewasa 0.6473 lebih tinggi dibandingkan anak-anak yaitu 0.2265, namun dari rata-rata keduanya tidak terdapat nilai RQ > 1 yang berarti rata-rata masyarakat di sekitar Kawasan industri PT. Semen Tonasa tidak berisiko. Sedangkan RQ *lifetime* proyeksi tahun ke 5 - 30 untuk anak-anak lebih tinggi sekitar 0,1221– 0,7326 dibandingkan orang dewasa sekitar 0,0884 – 0,5303. Dari nilai rata-rata tersebut tidak terdapat nilai RQ > 1 yang berarti proyeksi untuk anak-anak dan dewasa tahun ke 5-30 secara keseluruhan masih belum berisiko.

PEMBAHASAN

Perbandingan Konsentrasi dan Paparan Lingkungan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ dan NO₂ di seluruh lokasi penelitian masih berada di bawah baku mutu kualitas udara ambien. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Alzboon (2021) yang melaporkan bahwa konsentrasi polutan gas di sekitar industri semen umumnya masih berada dalam batas regulasi, meskipun aktivitas industri tetap memberikan kontribusi terhadap penurunan kualitas udara di kawasan sekitar⁵. Penelitian lain pada kawasan industri semen di India juga menunjukkan bahwa konsentrasi SO₂ dan NO₂ cenderung lebih rendah dibandingkan partikulat, namun tetap mengalami peningkatan pada area yang berdekatan dengan sumber emisi industri⁶.

Hasil yang serupa juga dilaporkan pada penelitian di kawasan industri semen Nigeria dan Tiongkok, dimana konsentrasi SO₂ dan NO₂ masih berada di bawah ambang batas nasional, tetapi masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan industri tetap mengalami paparan polutan udara secara terus-menerus akibat aktivitas produksi dan mobilitas kendaraan industri⁷. Beberapa studi menjelaskan bahwa rendahnya konsentrasi polutan gas pada pengukuran sesaat dapat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi, arah angin, kelembaban, serta waktu pengambilan sampel, sehingga hasil pengukuran belum tentu sepenuhnya merepresentasikan paparan kronis yang diterima masyarakat setiap hari².

Pada penelitian ini, kelompok anak dan dewasa berada pada lingkungan paparan yang sama, namun menunjukkan pola intake dan *Risk Quotient* (RQ) yang berbeda. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik fisiologis memiliki peran penting dalam menentukan tingkat risiko kesehatan akibat paparan polutan udara.

Perbedaan Intake antara Anak dan Dewasa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok dewasa memiliki nilai intake yang lebih tinggi pada kondisi *realtime*, sedangkan kelompok anak menunjukkan nilai intake yang lebih tinggi pada proyeksi *lifetime*. Perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor fisiologis dan pola aktivitas masing-masing kelompok.

Kelompok dewasa cenderung memiliki laju inhalasi dan durasi aktivitas yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan jumlah polutan yang terhirup dalam jangka pendek. Sebaliknya, pada kelompok anak, nilai intake relatif terhadap berat badan menjadi lebih tinggi, terutama dalam proyeksi jangka panjang⁸.

Temuan ini konsisten dengan literatur yang menyebutkan bahwa perbedaan karakteristik fisiologis, seperti berat badan dan laju inhalasi, berperan penting dalam menentukan tingkat paparan individu terhadap polutan udara².

Perbandingan Risk Quotient (RQ) antara Anak dan Dewasa

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan pola risiko antara kelompok anak dan dewasa. Kelompok dewasa menunjukkan nilai RQ yang lebih tinggi pada kondisi *realtime*, sedangkan kelompok anak menunjukkan peningkatan nilai RQ yang lebih tinggi pada proyeksi pajanan jangka panjang (*lifetime*).

Perbedaan ini menunjukkan bahwa kelompok dewasa lebih rentan terhadap paparan jangka pendek, sementara kelompok anak memiliki potensi risiko yang lebih besar dalam jangka panjang. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa risiko kesehatan tidak hanya bergantung pada besarnya paparan saat

ini, tetapi juga pada durasi dan karakteristik biologis individu.

Secara keseluruhan, nilai RQ yang diperoleh masih berada di bawah 1, yang menunjukkan bahwa paparan belum menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik secara signifikan. Namun, studi menunjukkan bahwa efek kesehatan akibat polusi udara dapat terjadi bahkan pada konsentrasi rendah dan bersifat kumulatif dalam jangka panjang⁹.

Kerentanan Anak terhadap Paparan Polusi Udara

Kelompok anak menunjukkan potensi risiko jangka panjang yang lebih tinggi dibandingkan dewasa. Hal ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa anak-anak merupakan kelompok yang paling rentan terhadap paparan polusi udara.

Menurut Air quality and respiratory health in children oleh Aithal et al. (2023), anak-anak memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap polusi udara karena sistem pernapasan yang masih berkembang, laju inhalasi yang lebih tinggi relatif terhadap berat badan, serta mekanisme pertahanan tubuh yang belum optimal. Paparan polusi udara pada anak-anak telah dikaitkan dengan peningkatan risiko infeksi saluran pernapasan, asma, serta gangguan perkembangan paru¹⁰.

Selain itu, penelitian How air pollution fuels respiratory infections in children oleh Esposito et al. (2025) menunjukkan bahwa paparan polutan seperti SO₂ dan NO₂ dapat memicu stres oksidatif, inflamasi, serta gangguan sistem imun pada anak-anak, yang pada akhirnya meningkatkan risiko penyakit pernapasan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang¹¹.

Implikasi Kesehatan pada Kelompok Dewasa

Meskipun kelompok dewasa menunjukkan risiko jangka panjang yang lebih rendah dibandingkan anak-anak, nilai RQ yang lebih tinggi pada kondisi *realtime* menunjukkan bahwa kelompok ini tetap memiliki risiko kesehatan yang perlu diperhatikan. Paparan polusi udara pada dewasa telah dikaitkan dengan peningkatan kejadian penyakit kronis seperti PPOK, penyakit kardiovaskular, dan gangguan paru lainnya¹².

Selain itu, paparan kumulatif dalam jangka panjang juga dapat meningkatkan risiko penyakit degeneratif, terutama pada individu dengan faktor risiko tambahan seperti kebiasaan merokok atau kondisi kesehatan sebelumnya¹³.

Implikasi Kesehatan Lingkungan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun konsentrasi SO₂ dan NO₂ masih berada di bawah baku mutu, terdapat perbedaan pola risiko antara kelompok anak dan dewasa. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis ambang batas saja tidak cukup untuk menggambarkan risiko kesehatan secara menyeluruh.

Studi menunjukkan bahwa efek kesehatan akibat polusi udara dapat terjadi pada berbagai tingkat konsentrasi dan bersifat kumulatif, sehingga kelompok rentan seperti anak-anak memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan kualitas udara⁹.

Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian emisi dan pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan, serta kebijakan yang lebih sensitif terhadap kelompok rentan dalam masyarakat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pola risiko kesehatan antara kelompok anak dan dewasa akibat paparan SO₂ dan NO₂ di kawasan industri semen. Meskipun konsentrasi polutan masih berada di bawah baku mutu kualitas udara ambien dan seluruh nilai Risk Quotient (RQ) < 1, hasil analisis menunjukkan bahwa kelompok dewasa memiliki nilai intake dan RQ yang lebih tinggi pada kondisi *realtime*, sedangkan kelompok anak menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada proyeksi pajanan jangka panjang (*lifetime*). Temuan ini mengindikasikan bahwa dewasa lebih rentan terhadap paparan jangka pendek, sementara anak-anak memiliki potensi risiko yang lebih besar dalam jangka panjang akibat karakteristik fisiologis dan durasi pajanan yang lebih panjang. Oleh karena itu, meskipun kondisi saat ini masih dalam batas aman secara regulasi, diperlukan perhatian khusus terhadap kelompok rentan serta upaya pemantauan dan pengendalian kualitas udara secara berkelanjutan untuk mencegah dampak kesehatan di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Etim MA, Babaremu K, Lazarus J, Omole D. Health Risk and Environmental Assessment of Cement Production in Nigeria. *Atmosphere* (Basel) [Internet]. 2021;12(9). Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/9/1111>
2. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front public Heal*. 2020;8:14.
3. Brumberg HL, Karr CJ. Ambient Air Pollution: Health Hazards to Children. *Pediatrics*. 2021 Jun;147(6).
4. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. *Chest*. 2019 Feb;155(2):409–16.
5. Al-zboon K, Matalqah W, Ammary B. Effect of Cement Industry on Ambient Air Quality and Potential Health Risk : A Case Study from Riyadh , Saudi Arabia. 2021;4(1):14–23.
6. Yadav V, Mor V, Singh W. Characterization and Source Apportionment of Heavy Metals in Ambient Particulate Matter in Manesar, Gurugram. *Pollution* [Internet]. 2025;11(3):938–54. Available from: https://jpoll.ut.ac.ir/article_101010.html
7. Zhang M, Shi L, Ma X, Zhao Y, Gao L. Study on Comprehensive Assessment of Environmental Impact of Air Pollution. *Sustainability* [Internet]. 2021;13(2). Available from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/476>
8. WHO. global air quality guidelines. 2021; Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
9. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. *Chest* [Internet]. 2019 Feb 1;155(2):409–16. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042>
10. Aithal SS, Sachdeva I, Kurmi OP. Air quality and respiratory health in children. *Breathe* [Internet]. 2023 Jun 13;19(2):230040. Available from: <https://publications.ersnet.org/content/breathe/19/2/230040.abstract>

11. Esposito S, Fainardi V, Titolo A, Lazzara A, Menzella M, Campana B, et al. How air pollution fuels respiratory infections in children: current insights. *Front Public Heal* [Internet]. 2025;Volume 13-2025. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2025.1567206>
12. Sin DD, Doiron D, Agusti A, Anzueto A, Barnes PJ, Celli BR, et al. Air pollution and COPD: GOLD 2023 committee report. 2023; Available from: https://publications.ersnet.org/content/erj/61/5/2202469?utm_source
13. Park J, Kim HJ, Lee CH, Lee CH, Lee HW. Impact of long-term exposure to ambient air pollution on the incidence of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis. *Environ Res* [Internet]. 2021;194:110703. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120316029>