

Karakteristik Risiko Kesehatan Non-Karsinogenik Akibat Paparan PM_{2,5} di Tempat-Tempat Umum Kota Jakarta.

Rismawati Pangestika^{*}, Ikhwan Ridha Wilti

Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

^{*}Coresponding author : rismawati_pangestika@uhamka.ac.id

Info Artikel : Diterima 15 April 2020 ; Disetujui 3 Oktober 2020 ; Publikasi 1 April 2021

Cara Sitasi (Vancouver): Pangestika R, Wilti I. Karakteristik Risiko Kesehatan Non-Karsinogenik Akibat Paparan PM_{2,5} di Tempat-Tempat Umum Kota Jakarta. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2021 Apr;20(1):7-14. <https://doi.org/10.14710/jkli.20.1.7-14>.

ABSTRAK

Latar belakang: Jakarta merupakan salah satu kota metropolitan yang mengalami penurunan kualitas udara. Salah satu komponen udara yang berbahaya bagi kesehatan adalah *Particulat Matter 2,5* (PM_{2,5}). Berdasarkan data *Air Quality Index* pada Oktober 2019, kualitas udara Jakarta setara dengan konsentrasi PM_{2,5} sebesar 87,9 µg/m³ yang melebihi ambang batas yaitu 65 µg/m³. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis risiko non-karsinogenik akibat paparan PM_{2,5} di sekitar tempat-tempat umum kota Jakarta.

Metode: Penelitian ini berupa penelitian deskriptif menggunakan studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) untuk mengetahui tingkat risiko atau *Risk Quotient (RQ)* paparan PM_{2,5} pada radius 0-20 meter setiap lokasi. Jika nilai RQ>1 maka dikategorikan tidak aman, sedangkan nilai RQ≤1 dikategorikan aman.

Hasil: Konsentrasi PM_{2,5} di semua lokasi secara rata-rata masih di bawah baku mutu. Tingkat risiko paparan PM_{2,5} berdasarkan perhitungan asupan atau *intake* dibandingkan dengan hasil analisis dosis-respon rata-rata dikategorikan aman terutama di masjid dan taman kota. Sedangkan di lokasi lainnya memiliki tingkat risiko paparan yang dikategorikan tidak aman pada radius 10 meter dari pintu masuk stasiun, titik awal di pintu masuk terminal, dan radius 10 meter dari pintu gerbang sekolah yang memiliki nilai RQ>1 tertinggi.

Simpulan: Beberapa tempat umum masih memiliki risiko tidak aman akibat paparan PM_{2,5} terhadap gangguan kesehatan, sehingga strategi pengelolaan diperlukan untuk menurunkan risiko gangguan kesehatan pada masyarakat dan peningkatan kualitas udara.

Kata kunci: PM_{2,5}; ARKL; tempat-tempat umum

ABSTRACT

Title: Health Risks Assessment for Non-Carcinogenic PM_{2,5} Exposure in Public Places in Jakarta

Background: Jakarta is a metropolitan city that has experienced a decline in air quality. One component of air that is harmful is *Particulat Matter 2,5* (PM_{2,5}). Based on *Air Quality Index* data in October 2019, Jakarta's air quality is equivalent to a PM_{2,5} concentration of 87,9 µg/m³ which exceeds the threshold of 65 µg / m³. The purpose of this study is to analyze the non-carcinogenic risk due to PM_{2,5} exposure around public places in the city of Jakarta.

Method: This research is a descriptive study using the *Environmental Health Risk Analysis (EHRA)* study method to determine the level of risk or *Risk Quotient (RQ)* of PM_{2,5} exposure at 0-20 meters in each location.. If the value of RQ> 1 is categorized as unsafe, while the value of RQ≤1 is categorized as safe.

Result: PM_{2,5} concentrations in all locations were on average still below the quality standard. The level of risk of PM_{2,5} exposure based on the calculation of intake or intake compared with the results of the average dose-response analysis is considered safe in mosques and park. Meanwhile, other locations have an exposure risk level that is categorized as unsafe at a radius of 10 meters from the station entrance, the starting point at the terminal entrance, and a radius of 10 meters from the school gate that has the highest RQ>1.

Conclusion: Some public places still have an insecure risk due to $PM_{2.5}$ exposure to health problems, so management strategies are needed to reduce the risk of health problems in the community and increasing air quality.

Keywords: $PM_{2.5}$; risk assessment; public places

PENDAHULUAN

Jakarta sebagai ibukota sekaligus kota metropolitan dengan berbagai macam aktivitas menjadi salah satu kota yang paling padat penduduknya seiring pesatnya pembangunan. Seiring banyaknya aktivitas di Jakarta menyisakan dampak negatif, salah satunya adalah penurunan kualitas udara. Sumber polusi di Jakarta tidak hanya dari sektor transportasi dan pemukiman saja, tetapi juga dari sektor Pembangkit Listrik Tenaga Batubara (PLTU) yang menjadikannya ibukota yang dikelilingi PLTU terbanyak dalam radius 100 km. Emisi PLTU dapat meningkatkan paparan polutan NO_2 , partikulat dan SO_2 . Beberapa PLTU di wilayah Jabodetabek saat ini telah menyumbang polutan ke udara antara lain, NO_2 , SO_2 , Merkuri (Hg) Timbal (Pb), Arsenik (Ar), Kadmium (Cd) dan $PM_{2.5}$.¹

Salah satu komponen udara yang dapat memberikan dampak berbahaya bagi kesehatan adalah *Particulat Matter* (PM). $PM_{2.5}$ (partikulat) adalah partikel halus pada komponen udara yang berukuran lebih kecil dari 2,5 mikron (mikrometer) dengan Nilai ambang batas (NAB) sebesar $65 \mu g/m^3$.² Partikel yang terdapat pada udara ambien umumnya berukuran 0,1 – 50 μm atau lebih. Partikel $PM_{2.5}$ ini dalam konsentrasi yang tinggi sangat berbahaya karena dapat menembus pada bagian paru-paru dan sistem kardiovaskular sehingga berisiko menyebabkan infeksi saluran pernafasan akut, kanker paru-paru, penyakit kardiovaskular bahkan kematian. Partikel udara halus pada umumnya bersumber dari kendaraan bermotor, pembakaran biomassa, pembakaran bahan bakar.³

Keramaian dan kepadatan kota Jakarta dari berbagai sektor seperti industri, perkantoran, pemukiman serta ciri khas kemacetan lalu lintas mempengaruhi penurunan kualitas udara. Perubahan kualitas udara Jakarta dapat terjadi secara fluktuatif dan insidental. Peningkatan kepadatan aktivitas lalu lintas menyebabkan kualitas udara semakin memburuk. Hal itu terjadi pada saat ada *event* tertentu, misalnya saat menjelang ajang olahraga terbesar di Asia pada tahun 2018 lalu yaitu Asian Games ke-18 terjadi peningkatan konsentrasi $PM_{2.5}$ yang melebihi ambang batas pada saat sebelum dan sedang berlangsungnya *Asian Games*.⁴

Perlindungan terhadap masyarakat di daerah perkotaan atau urban dari paparan polutan udara yang dapat mengganggu kesehatan perlu dilakukan, misalnya dengan pemantauan kualitas udara ambien otomatis (*Air quality Monitoring System / AQMS*) yang selanjutnya diikuti dengan analisis risiko hasil pemantauan terkait kebijakan pengelolaan kualitas udara yang dapat diketahui oleh masyarakat.⁵

Kualitas udara Jakarta di ulang tahunnya yang ke-492 lalu sempat memburuk, yaitu selama dua pekan diantara tanggal 19-27 Juni 2019. Beberapa kali Jakarta menempati kota dengan kualitas udara terburuk di dunia dengan Indeks Kualitas Udara atau AQI (*Air Quality Index*) kategori “tidak sehat” dan sudah melebihi baku mutu udara ambien harian.⁶ Berdasarkan data pada 11 Oktober 2019, kualitas udara Jakarta masih berada di peringkat empat terburuk di dunia setelah negara Pakistan (kota Lahore), India (kota Delhi) dan Uni Emirat Arab (kota Dubai). Kualitas udara Jakarta tersebut setara dengan nilai polutan $87,9 \mu g/m^3$.⁷ Fakta kualitas udara Jakarta yang tercemar dapat menimbulkan kekhawatiran terhadap adanya risiko timbulnya penyakit pada manusia, misalnya gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular.⁸

Berdasarkan data kualitas udara di Jakarta tersebut, maka peneliti ingin menganalisis risiko non-karsinogenik akibat paparan salah satu polutan udara yaitu $PM_{2.5}$ dengan mengambil lokasi di kawasan komersial atau kawasan penting di Jakarta. Melalui analisis risiko paparan polutan udara ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya perbaikan kualitas udara di Jakarta sehingga kualitas kesehatan pun akan meningkat. Bentuk pengelolaan risiko dapat berupa pengembangan opsi regulasi dan pertimbangan aspek sosial – ekonomi – politik – teknologi dalam perbaikan kualitas lingkungan kota Jakarta.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini berupa penelitian deskriptif dengan studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) untuk melihat risiko kesehatan non-karsinogenik pada masyarakat di kawasan komersial atau tempat-tempat umum di wilayah Jakarta Selatan. Populasi dalam penelitian ini adalah semua orang yang beresiko antara lain: (1) Orang yang melewati jalan (komuter); (2) Orang yang bekerja (beraktivitas); dan (3) Orang yang bertempat tinggal (bermukim). Penentuan jumlah sampel menggunakan *non probability sampling* yaitu peluang seseorang menjadi responden tidak diketahui karena tidak diketahui dengan pasti jumlahnya sehingga peluangnya tidak sama.

Jumlah sampel ditentukan dengan cara *quota sampling* sebanyak 50 responden baik responden laki-laki maupun perempuan dewasa. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara *accidental sampling*, yaitu penentuan sampel berdasarkan siapa saja (calon target responden) yang kebetulan ditemui pada saat melakukan penelitian dan atas persetujuan atau kesediaan responden.

Lokasi penelitian terdiri dari 5 lokasi yaitu Stasiun (Lokasi 1), Masjid (Lokasi 2), Terminal (Lokasi 3), Sekolah (Lokasi 4) dan Taman Kota (Lokasi 5). Pengukuran konsentrasi PM_{2.5} dilakukan pada 5 titik setiap lokasi yaitu 1 titik di pintu utama, 5 meter, 10 meter, 15 meter dan 20 meter dari pintu utama. Lama pengukuran selama 1 jam. Pengukuran PM_{2.5} menggunakan alat sampel digital *air quality detector*. Data antropometri responden didapatkan melalui wawancara langsung.

Berikut rumus dalam metode ARKL yang digunakan dalam penelitian :
Penilaian Intake :

$$I_{nk} = \frac{C \cdot R \cdot t_E \cdot f_E \cdot D_t}{W_b \cdot t_{AVG}}$$

Perhitungan Tingkat Risiko Non Karsinogen :

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfC}$$

Keterangan :

I_{nk} (Intake) : jumlah konsentrasi PM_{2.5} yang masuk ke dalam tubuh (mg/kg/hari)

C (Concentration) : konsentrasi PM_{2.5} pada udara (mg/m³)

R (Rate) : laju inhalasi atau banyaknya volume udara setiap jam yang terhirup (m³/jam) (nilai *default* orang dewasa sebesar 0,83 m³/jam)⁹

t_E (Time of exposure): lama pajanan setiap hari (jam/hari)

f_E (Frequency of exposure) : jumlah hari terjadi pajanan setiap tahun (hari/tahun)

D_t (Duration time) : jumlah tahun terjadinya pajanan (tahun)

W_b (Weight of body) : berat badan responden (kg)

t_{AVG} (time average): periode waktu rata-rata untuk efek non karsinogenik (hari)
(nilai *default* yaitu 30 tahun x 365 hari/tahun = 10.950 hari)

RQ (Risk Quotient): tingkat risiko efek dari pajanan PM_{2.5}

RfC (Reference Concentration) : nilai referensi agen risiko pada pajanan inhalasi

Karakterisasi risiko digunakan untuk menentukan paparan konsentrasi PM_{2.5} yang dapat menimbulkan risiko gangguan kesehatan pada kelompok masyarakat di sekitar lokasi berdasarkan nilai *intake* yang diperoleh. Penentuan tingkat risiko (RQ) dilakukan dengan membandingkan *intake* dengan konsentrasi agen risiko (RfC). Penentuan RfC

dilakukan berdasarkan analisis dosis-respon dengan menggunakan nilai batas aman paparan PM_{2.5} oleh *National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) US-EPA* tahun 2006 yaitu sebesar 35 µg/m³ karena nilai *default* untuk antropometri subjek pajanan diketahui. Sedangkan untuk baku mutu PM_{2.5} menurut PP RI Nomor 41 Tahun 1999 tidak dapat digunakan karena nilai *default* antropometri belum diketahui. Berdasarkan perhitungan RfC dari *default* tersebut dihasilkan bahwa $RfC = 0,009$ mg/kg/hari.¹⁰ Tingkat risiko dikatakan aman dinyatakan dengan $RQ \leq 1$, sedangkan tingkat risiko dikatakan tidak aman dinyatakan dengan $RQ > 1$ sehingga diperlukan strategi pengelolaan risiko.⁹

Strategi pengelolaan risiko merupakan tindak lanjut berdasarkan hasil perhitungan karakteristik risiko yang menunjukkan adanya tingkat risiko yang tidak aman. Strategi ini dapat meliputi penentuan batas aman antara lain⁹ :

1. Konsentrasi Aman PM_{2.5}

$$C_{nk(saman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{AVG}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

2. Waktu Aman Pajanan PM_{2.5}

$$t_{E(nk(saman))} = \frac{RfC \times W_b \times t_{AVG}}{C \times R \times f_E \times D_t}$$

3. Frekuensi Aman Pajanan PM_{2.5}

$$f_{E(nk(saman))} = \frac{RfC \times W_b \times t_{AVG}}{C \times R \times t_E \times D_t}$$

4. Durasi Aman Pajanan PM_{2.5}

$$D_{nk(saman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{AVG}}{C \times R \times t_E \times f_E}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa pengukuran konsentrasi PM_{2.5}, karakteristik antropometri (usia dan berat badan) responden yang berada di lokasi ataupun yang bermukim di lokasi penelitian, pola aktivitas masyarakat (waktu pajanan, frekuensi pajanan dan durasi pajanan), analisis *intake* atau asupan responden (mg/kg/hari), karakterisasi tingkat risiko dan penentuan strategi pengendalian risiko disajikan pada masing-masing tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi

Jarak	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5
0 meter	11	11	22	11	10
5 meter	15	10	11	12	14
10 meter	55	9	15	58	10
15 meter	19	10	12	14	19
20 meter	28	13	11	10	10

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi PM_{2.5} kategori tinggi pada lokasi 4 (lingkungan sekitar sekolah) sebesar 58 µg/m³. Sedangkan hasil pengukuran konsentrasi PM_{2.5}

terendah pada lokasi 2 (masjid) sebesar 9 µg/m³. Berdasarkan hasil tersebut, konsentrasi PM_{2.5} di semua lokasi secara rata-rata masih di bawah baku mutu sebesar 65 µg/m³ yang ditetapkan dalam

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

Tabel 2. Distribusi Analisis karakteristik Antropometri Masyarakat

Variabel	Mean	Median	Min	Max	SD	p-value
Lokasi 1						
Usia (tahun)	37,8	37	18	71	17,63	0,62
Berat Badan (kg)	59,8	60	48	72	8,55	0,39
Lokasi 2						
Usia (tahun)	42,4	41	34	61	7,48	0,07
Berat Badan (kg)	69,8	68	50	105	17,65	0,35
Lokasi 3						
Usia (tahun)	46,9	41	23	70	16,30	0,66
Berat Badan (kg)	62,9	62	49	78	11,21	0,19
Lokasi 4						
Usia (tahun)	39,6	40	19	58	14,25	0,12
Berat Badan (kg)	67,6	65	46	95	16,01	0,65
Lokasi 5						
Usia (tahun)	33,0	31	27	43	5,30	0,43
Berat Badan (kg)	58,2	55	46	87	13,64	0,06

Tabel 3. Distribusi Analisis Pola Aktivitas Masyarakat

Variabel	Mean	Median	Min	Max	SD	p-value
Lokasi 1						
Waktu Paparan (jam/hari)	7,6	9	1	18	5,82	0,18
Frekuensi Paparan (hari/tahun)	4,5	6	1	7	2,84	0,58
Durasi Paparan (tahun)	11	2	1	35	13,38	0,06
Lokasi 2						
Waktu Paparan (jam/hari)	12,4	9	8	24	5,27	0,12
Frekuensi Paparan (hari/tahun)	5,5	6	3	7	1,27	0,07
Durasi Paparan (tahun)	8,6	6	1	25	8,06	0,38
Lokasi 3						
Waktu Paparan (jam/hari)	13,1	12	7	24	5,04	0,13
Frekuensi Paparan (hari/tahun)	6,1	6	4	7	1,05	0,08
Durasi Paparan (tahun)	9,6	4	1	30	10,04	0,18
Lokasi 4						
Waktu Paparan (jam/hari)	11,8	12	2	20	4,57	0,06
Frekuensi Paparan (hari/tahun)	5,9	5	4	7	1,10	0,13
Durasi Paparan (tahun)	8,9	6	1	30	10,20	0,44
Lokasi 5						
Waktu Paparan (jam/hari)	6,3	5	1	10	3,28	0,35
Frekuensi Paparan (hari/tahun)	4,2	8	1	7	1,92	0,38
Durasi Paparan (tahun)	4,2	4	1	9	2,49	0,82

Tabel 4. Distribusi Analisis Intake atau Asupan Responden (mg/kg/hari)

Variabel	Mean	Median	Min	Max	SD	p-value
Intake 1	0,01221	0,00259	0,00002	0,13000	0,03451	0,704
Intake 2	0,00675	0,00361	0,00033	0,03942	0,00035	
Intake 3	0,01313	0,00423	0,00048	0,10775	0,00169	
Intake 4	0,02585	0,00504	0,00013	0,19436	0,00763	
Intake 5	0,00182	0,00221	0,00002	0,01043	0,00035	

Keterangan : Intake sesuai lokasi (1,2,3,4 & 5)

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa karakteristik antropometri responden dapat dilihat pada usia terendah adalah 18 tahun dan usia tertinggi adalah 71 tahun di lokasi 1 (stasiun). Sedangkan variabel berat badan terendah sebesar 46 kg di lokasi

4 (sekolah) dan lokasi 5 (taman kota), serta berat badan tertinggi sebesar 105 kg di lokasi 2 (masjid). Hasil uji normalitas data menunjukkan bahwa semua variabel terdistribusi normal ($p > 0,05$).

Berdasarkan Tabel 3. dapat diketahui bahwa rata-rata waktu paparan yang tertinggi sebesar 13,1 jam/hari di lokasi 3 (terminal) dan waktu paparan terendah sebesar 6,3 jam/hari di lokasi 5 (taman kota). Rata-rata frekuensi pajanan tertinggi sebesar 6,1 hari/tahun di lokasi 3 (terminal) dan terendah sebesar 4,2 hari/tahun di lokasi 5 (taman kota). Rata-rata durasi pajanan tertinggi sebesar 11 tahun di lokasi 1 (stasiun) dan rata-rata terendah sebesar 4,2 tahun di lokasi 5 (taman kota). Hasil uji normalitas data menunjukkan bahwa semua variabel terdistribusi normal ($p>0,05$).

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa intake $PM_{2,5}$ maksimum sebesar 0,02585 mg/kg/hari

di lokasi 4 (sekitar sekolah) dan intake minimum sebesar 0,00182 mg/kg/hari di lokasi 5 (taman kota). Hasil uji normalitas data menunjukkan bahwa variabel intake atau asupan $PM_{2,5}$ terdistribusi normal ($p>0,05$). Asupan atau intake pajanan setiap individu berbeda-beda karena dapat dipengaruhi oleh konsentrasi $PM_{2,5}$, berat badan, waktu pajanan, frekuensi pajanan dan durasi waktu pajanan berdasarkan aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat, walaupun laju asupan yang digunakan dalam menentukan intake ini menggunakan nilai *default*.

Tabel 5. Tingkat Risiko (RQ) $PM_{2,5}$

Lokasi	RQ (Risk Quotient)				
	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5
0 meter	0,274	0,427	1,116	0,451	0,074
5 meter	0,373	0,388	0,558	0,492	0,103
10 meter	1,368	0,349	0,761	2,377	0,074
15 meter	0,473	0,388	0,609	0,574	0,140
20 meter	0,697	0,504	0,558	0,410	0,074

Tabel 6. Strategi Pengelolaan Risiko Pajanan $PM_{2,5}$

Pengelolaan Risiko		Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5
Konsentrasi (C)	C minimum (mg/m^3)	11	9	11	10	10
	C rata-rata (mg/m^3)	25,6	10,6	14,2	21	12,6
	C maksimum (mg/m^3)	55	13	22	58	19
	C aman (mg/m^3)	12,73	13,32	10,76	12,00	35,71
Waktu Pajanan (t_E)	t_E minimum (jam)	1	8	7	2	1
	t_E rata-rata (jam)	7,6	12,4	13,1	11,8	6,3
	t_E maksimum (jam)	18	24	24	20	10
	t_E aman (jam)	2,8	6,8	2,6	3,4	5,7
Frekuensi Pajanan (f_E)	f_E minimum (hari)	1	3	4	4	1
	f_E rata-rata (hari)	4,5	5,5	6,1	5,9	4,2
	f_E maksimum	7	7	7	7	7
	f_E aman (hari)	7	13	4	7	4,5
Durasi Pajanan (D_i)	D_i minimum (tahun)	35	25	30	30	9
	D_i rata-rata (tahun)	11	8,6	9,6	8,9	4,2
	D_i maksimum (tahun)	1	1	1	1	1
	D_i aman (tahun)	0,36	0,71	0,25	0,33	0,78
	D_i aman (bulan)	4,3	8,5	3,0	4,0	9,4

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa beberapa nilai tingkat risiko (RQ) pajanan $PM_{2,5}$ sebagian besar menunjukkan risiko aman ($RQ \leq 1$). Namun jika berdasarkan titik radius ada yang nilai $RQ > 1$ yaitu pada radius 10 meter di lokasi 1 (stasiun), titik 0 meter di lokasi 3 (terminal) dan radius 10 meter di lokasi 4 (sekitar sekolah) dimana di lokasi 4 ini merupakan nilai $RQ > 1$ yang tertinggi. Tingkat risiko berdasarkan nilai $RQ > 1$ menunjukkan bahwa pajanan $PM_{2,5}$ pada masyarakat dapat dikategorikan tidak aman untuk frekuensi selama 1 tahun (365 hari) untuk ketiga lokasi dan radius tersebut. Sedangkan lokasi lainnya yaitu lokasi 2 (masjid) dan lokasi 5 (taman kota) menghasilkan nilai $RQ \leq 1$ yang dikategorikan

aman untuk frekuensi yang sama. Pajanan $PM_{2,5}$ sebagai polutan udara biasanya memberikan efek berupa gangguan pernapasan pada orang yang terpajan dalam waktu yang lama.

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa lokasi yang dikategorikan aman untuk paparan $PM_{2,5}$ dilihat dari konsentrasinya adalah lokasi 2 (masjid) dan lokasi 5 (taman kota) karena nilai minimum-maksimum konsentrasi $PM_{2,5}$ masih di bawah konsentrasi aman yang direkomendasikan berdasarkan perhitungan pengelolaan risiko. Frekuensi pajanan di semua lokasi masih berada di bawah hasil perhitungan frekuensi aman pajanan yang direkomendasikan. Sedangkan waktu pajanan dan durasi pajanan di

semua lokasi berada di atas batas aman yang direkomendasikan. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa responden merupakan masyarakat yang menetap atau bermukim di lokasi tersebut sehingga lama tinggal cukup lama di lokasi tersebut yang berpengaruh terhadap hasil perhitungan waktu pajanan dan durasi pajanan yang aman.

Konsentrasi PM_{2,5}

Lokasi pengukuran dengan nilai konsentrasi PM_{2,5} yang tinggi yaitu stasiun, sekitar sekolah, dan terminal, merupakan lokasi yang lalu lintasnya padat ditambah banyak pedagang. Sedangkan di masjid dan taman kota menunjukkan hasil konsentrasi PM_{2,5} yang cukup rendah dikarenakan sedikitnya aktivitas kendaraan bermotor dan banyaknya pepohonan di lokasi tersebut yang dapat berfungsi untuk menyaring udara sekitar. Konsentrasi PM_{2,5} dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain banyaknya kendaraan bermotor, fluktuasi konsentrasi akibat pengaruh suhu, kelembaban, dan kecepatan angin.¹¹

Konsentrasi PM_{2,5} dapat berubah setiap saat, sehingga pada saat tertentu, seseorang dapat terpajan melebihi nilai ambang batas (NAB) ataupun dibawah NAB.¹² Hasil pengukuran PM_{2,5} yang rendah dapat disebabkan karena banyaknya tanaman hijau yang dapat berfungsi sebagai peredam pencemaran udara.¹³ Selain itu, rendahnya konsentrasi PM_{2,5} tersebut dapat juga disebabkan oleh kecepatan angin yang membawa partikulat di udara menuju ke tempat yang lebih jauh dari sumber pencemar sehingga akan menghasilkan nilai konsentrasi yang rendah pada kawasan yang dekat sumber pencemar.¹⁰ Sedangkan kawasan umum yang terletak di daerah urban dapat memiliki konsentrasi PM_{2,5} yang tinggi karena padatnya aktivitas lalu lintas dan banyaknya industri. Selain itu, kondisi meteorologi juga dapat mempengaruhi konsentrasi PM_{2,5} karena dapat melarutkan, menimbulkan difusi, dan memberikan akumulasi polutan di udara.¹⁴

Karakteristik Antropometri

Berat badan termasuk dalam notasi untuk perhitungan *intake* karena berkaitan dengan laju asupan atau pajanan berdasarkan waktu, frekuensi, dan durasi pajanan sehingga berpeluang untuk menentukan tinggi atau rendahnya risiko pajanan PM_{2,5}.¹⁵ Orang yang memiliki nilai berat badan yang makin besar dapat memiliki risiko gangguan kesehatan yang lebih kecil, karena adanya jaringan lemak yang lebih banyak sehingga dapat melarutkan zat toksik. Sebaliknya, jika nilai berat badan semakin kecil dapat berisiko lebih besar untuk menerima paparan polutan udara melalui inhalasi yang dapat langsung berinteraksi dengan sel tubuh.¹⁶ Namun juga tidak direkomendasikan untuk memiliki berat badan yang mengarah ke risiko obesitas karena dapat memicu risiko gangguan kesehatan lainnya.

Karakteristik usia yang terpajan konsentrasi PM_{2,5} berkaitan dengan faktor risiko gangguan

kesehatan. Bertambahnya usia atau penuaan berkaitan dengan akumulasi pajanan berdasarkan umur sering menjadi faktor risiko gangguan.¹² Umur yang semakin bertambah memberikan tingkat risiko gangguan kesehatan yang lebih tinggi dengan munculnya penyakit yang dapat dipengaruhi oleh paparan sumber infeksi atau polutan yang dapat menurunkan tingkat imunitas dan aktivitas fisiologis, misalnya fungsi elastisitas jaringan paru berkurang.¹⁶

Pola Aktivitas Masyarakat

Aktivitas masyarakat di semua lokasi berdasarkan waktu, frekuensi, dan durasi pajanan cukup bervariasi, karena ada yang bermukim atau menetap lama di lingkungan sekitar, ada yang hanya melewati tempat tersebut karena perjalanan menuju tempat bekerja sehingga waktu dan frekuensi pajanannya lebih sedikit. Aktivitas masyarakat di luar ruangan dalam jangka waktu yang lama dapat memberikan risiko pajanan PM_{2,5} yang lebih tinggi, misalnya para pekerja yang bekerja di luar ruangan dalam jangka waktu lebih dari 6 jam karena kondisinya sangat berdekatan dengan sumber polutan udara.¹³ Orang yang terpajan konsentrasi PM_{2,5} dalam waktu yang lama berisiko 1,174kali lipat untuk mengalami gangguan kesehatan dibandingkan orang yang minim pajanan PM_{2,5}.¹⁷ Semakin lama orang berada di lapangan (jalan raya dan tempat umum) menghirup udara (polutan dan kontaminasi asap kendaraan bermotor), akan memiliki risiko gangguan kesehatan yang tinggi pula, terutama organ pernapasan.¹⁶

Analisis Intake atau Asupan Masyarakat

Hasil analisis *intake* digunakan untuk mengetahui gambaran risiko kesehatan di lokasi berdasarkan proyeksi beberapa tahun ke depan.¹⁶ Tingginya hasil perhitungan *intake* sebanding dengan tingginya konsentrasi PM_{2,5} pada lokasi yang diukur seperti pada lokasi 1 (stasiun), lokasi 3 (terminal), dan lokasi 4 (sekolah). Semakin tinggi konsentrasi PM_{2,5}, maka semakin tinggi pula nilai *intake* pada individu. Sedangkan hubungan nilai *intake* dengan durasi pajanan yaitu semakin panjang durasi pajanan, maka *intake* PM_{2,5} juga semakin besar.¹⁰ Nilai *intake* yang rendah berada di lokasi 2 (masjid) dimana rata-rata berat badan paling tinggi dibanding lokasi lainnya. Nilai berat badan yang semakin besar akan memberikan nilai yang lebih kecil pada *intake* dan tingkat risiko gangguan kesehatan yang bersifat non karsinogenik akibat pajanan PM_{2,5} yang diterima, begitu juga sebaliknya.¹⁵

Karakteristik Risiko

Tingkat risiko (RQ) yang lebih besar dari nilai 1 tersebut menunjukkan adanya risiko kesehatan non-karsinogenik yang harus dihindari agar kesehatan masyarakat dan lingkungan sekitar tetap terjaga dengan baik.¹⁸ Konsentrasi PM_{2,5} di lingkungan luar dapat mempengaruhi kualitas udara di dalam ruangan,

termasuk sarana tempat-tempat umum. Jika kualitas udara di lingkungan luar tidak bisa dikendalikan atau diturunkan, maka dapat mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan karena konsentrasi polutan udara seperti $PM_{2,5}$ dapat meningkat 20 kali lipat jika udara luar sangat berdebu.¹⁹ Namun risiko paling tinggi berasal dari pajanan $PM_{2,5}$ yang berasal dari lalu lintas atau kendaraan bermotor.²⁰

Pajanan jangka panjang dari $PM_{2,5}$ menyebabkan gangguan fungsi paru-paru yang dapat berlanjut pada risiko penyakit kardiovaskular.²¹ Gangguan fungsi paru-paru dengan prevalensi paling tinggi pada anak-anak, diikuti remaja dan dewasa.²² $PM_{2,5}$ juga dapat menyebabkan kerusakan paru-paru antara lain Penyakit Paru-Paru Kronis (PPOK) dan asma. Jika tidak segera dilakukan tindakan, maka PPOK dapat berkembang dengan kondisi PPOK Eksaserbasi Akut.¹³ Gangguan kesehatan lain yang berisiko akibat paparan $PM_{2,5}$ yaitu dapat menurunkan volume cairan serebrospinal di otak ditandai dengan keluhan nyeri kepala dengan frekuensi sering yang selanjutnya menjadi faktor risiko degenerasi saraf.²³ Oleh karena itu diperlukan strategi pengelolaan risiko untuk mengendalikan kualitas lingkungan agar risiko gangguan kesehatan dapat menurun.

Strategi Pengelolaan Risiko

Strategi pengelolaan risiko yang dapat dilakukan agar konsentrasi $PM_{2,5}$ dapat dikategorikan aman sesuai perhitungan yaitu dengan dilakukan penghijauan atau perbanyak penanaman pohon yang dapat berfungsi untuk menyerap polutan. Kebijakan dalam perencanaan kota dan transportasi juga dapat mendorong masyarakat untuk mengubah perilaku seperti edukasi untuk berjalan kaki dan bersepeda sebagai bagian dari aktivitas fisik untuk kesehatan. Promosi penggunaan transportasi umum juga dapat berkontribusi untuk mengurangi emisi dari kendaraan bermotor akibat padatnya lalu lintas kendaraan.²¹ Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa pembakaran bahan bakar fosil dari aktivitas transportasi menyumbangkan emisi partikulat ke udara dalam jumlah yang besar yang selanjutnya konsentrasi polutan tersebut akan meningkatkan risiko gangguan kesehatan.²⁴

Kebijakan dalam strategi pengelolaan lingkungan juga dapat menjadi alternatif dalam pemberian solusi masalah polusi udara dan pelaksanaannya agar mewujudkan kualitas hidup masyarakat yang lebih baik.²⁵ Implementasi pengelolaan lingkungan dalam pengendalian polusi udara antara lain dapat berupa penambahan ruang terbuka hijau publik, evaluasi kebijakan berdasarkan skenario penurunan emisi kendaraan.²⁶ Selain itu diperlukan sosialisasi terkait bahaya polusi udara dan edukasi tentang cara pengurangan risiko pajanan polutan udara yang bisa dilakukan oleh masyarakat.²⁷ Perbaikan kualitas udara perlu dilakukan lebih ketat berkaitan dengan pengendalian emisi kendaraan bermotor dan industri untuk mengurangi dampak

negatif terhadap pemukiman.²⁸ Berkaitan dengan perlindungan personal juga dapat dilakukan dengan proteksi diri, misalnya menggunakan APD (minimal masker) untuk orang-orang yang sering bekerja di lapangan serta rutin mengonsumsi makanan yang bergizi untuk menjaga imunitas tubuh.²⁹ Pengelolaan risiko tersebut juga berkaitan dengan kebijakan pengelolaan lingkungan baik di tingkat pusat maupun daerah agar dapat sejalan dengan pembangunan yang berkelanjutan tetapi tetap ramah terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan.

SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan simpulan antara lain: 1) Tingkat risiko (RQ) pajanan $PM_{2,5}$ berdasarkan perhitungan asupan atau *intake* $PM_{2,5}$ dibandingkan dengan hasil analisis dosis-respon secara rata-rata masih tergolong aman ($RQ \leq 1$), walaupun jika berdasarkan tiga titik radius ada yang dikategorikan tidak aman ($RQ > 1$) sehingga tetap memerlukan strategi pengelolaan risiko kesehatan. 2) Pengelolaan risiko sangat diperlukan berkaitan dengan kebijakan dan pelaksanaannya agar kualitas hidup masyarakat semakin meningkat dan menurunnya risiko gangguan kesehatan akibat polutan udara. 3) Hasil studi ini dapat dikembangkan dengan memperkirakan tingkat risiko hingga beberapa tahun ke depan, menghubungkan konsentrasi $PM_{2,5}$ dengan parameter udara lainnya serta menghubungkan dengan pola aktivitas masyarakat yang lebih spesifik lagi misalnya berkaitan dengan pemukiman dan pekerjaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Greenpeace Indonesia. Pembunuhan Senyap di Jakarta: Bagaimana Tingkat Polusi Udara Berbahaya di Kota Jakarta akan Semakin Memburuk. Jakarta; 2017.
2. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. $PM_{2,5}$ Concentration [Internet]. 2019. Available from: <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-partikulat-pm25.bmkg?lang=EN>
3. Mukhtar R, Hamonangan Panjaitan E, Wahyudi H, Santoso M, Kurniawati S. Komponen Kimia $PM_{2,5}$ Dan PM_{10} Di Udara Ambien Di Serpong – Tangerang. *J Ecolab*. 2013;7(1):1–7.
4. Virgianto RH, Akbar D. Analisis Konsentrasi $PM_{2,5}$ selama Penyelenggaraan Asian Games ke-18 di Jakarta. *J Stat dan Mat*. 2019;1(1):44–62.
5. Alfiah T, Yuliawati E. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Udara Ambien Terhadap Pengguna Jalan Dan Masyarakat Sekitar Pada Ruas Jalan Ir. Sukarno Surabaya. *Infomatek*. 2018;20(1):27.
6. WALHI. Kualitas Udara Jakarta Terus Memburuk! Warga Resmi Gugat Gubernur, Menteri hingga Presiden [Internet]. 2019. Available from: <http://walhi.or.id/kualitas-udara-jakarta-terus-memburuk-warga-resmi-gugat-gubernur-menteri-hingga-presiden>

7. AirVisual. Jakarta air quality index (AQI) and PM2.5 air pollution is 16 16:00,. 2019;8–11. Available from: <https://www.airvisual.com/indonesia/jakarta>
8. Fadhillah F. Hak Atas Lingkungan Hidup yang Baik dan Sehat dalam Konteks Mutu Udara Jakarta. *Indones Cent Environ Law*. 2018;4(Seri Lembar Pencemaran Udara).
9. Kementerian Kesehatan. Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Jakarta: Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan; 2012.
10. Rosalia O, Wispriyono B, Kusnopranto H. Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogen pada Remaja Siswa Akibat Pajanan Inhalasi Debu Particulate Matter <2,5 9PM2,5). *J Media Kesehat Masy Indones*. 2018;14(1):26–35.
11. Marufi I. Artikel Penelitian Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (SO 2 , H 2 S , NO 2 dan TSP) Akibat Transportasi Kendaraan Bermotor di Kota Surabaya. *Media Pharm Indones*. 2017;1(4):189–96.
12. Azizah ITN. Analysis The Level Of PM2,5 And Lung Function Of Organic Fertilizer Industry Workers In Nganjuk. *J Kesehat Lingkung*. 2019;11(2):141.
13. Rahmadini AD, Haryanto B. Dampak Pajanan Particulate Matter 2,5 (PM2,5) terhadap gejala Penyakit Paru Obstruktif (PPOK) Kronis Eksaserbasi Akut pada Pekerja di Pelabuhan Tanjung Priok 2018. *J Nas Kesehat Lingkung Glob*. 2020;1(1):17–26.
14. Silitonga A, Wispriyono B. Analisis Risiko Kesehatan Pajanan Inhalasi Debu Particulate Matter 2 . 5 pada Siswa Sekolah Menengah Pertama di Kota Depok Tahun 2018. *J Nas Kesehat Lingkung Glob*. 2020;1(1):10–6.
15. Handika RA, Purwaningrum SI, Lestari RA. Analisis Risiko Non Karsinogenik Pajanan PM 10 di Kawasan Komersial Kota Jambi. *Serambi Eng*. 2019;IV(2):514–21.
16. Rahmadani R, Tualeka AR. Karakteristik Risiko Kesehatan Akibat Paparan Polutan Udara pada Pekerja Sol Sepatu (Di Sekitar Jalan Raya Bubutan Kota Surabaya). *J Kesehat Lingkung*. 2016;8(2):164.
17. Arba S. Kosentrasi Respirable Debu Particulate Matter (Pm 2 , 5) Dan Gangguan Kesehatan Pada Masyarakat Di Pemukiman Sekitar PLTU. *Promot J Kesehat Masy*. 2019;9(V):178–84.
18. Faisya AF, Putri DA, Ardillah Y. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Hidrogen Sulfida (H2S) dan Ammonia (NH3) Pada Masyarakat Wilayah TPA Sukawinatan Kota Palembang Tahun 2018. *J Kesehat Lingkung Indones*. 2019;18(2):126.
19. Katra I, Krasnov H. Exposure assessment of indoor PM levels during extreme dust episodes. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(5).
20. Liu Q, Xu C, Ji G, Liu H, Shao W, Zhang C, et al. Effect of exposure to ambient PM2.5 pollution on the risk of respiratory tract diseases: A meta-analysis of cohort studies. *J Biomed Res*. 2017;31(2):130–42.
21. World Health Organization. Health Effects of Particulate Matter, Policy Implications for Contries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia. Copenhagen; 2013.
22. Guo C, Hoek G, Chang LY, Bo Y, Lin C, Huang B, et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter (Pm2:5) and lung function in children, adolescents, and young adults: A longitudinal cohort study. *Environ Health Perspect*. 2019;127(12):1–9.
23. Erickson LD, Gale SD, Anderson JE, Brown BL, Hedges DW. Association between Exposure to Air Pollution and Total Gray Matter and Total White Matter Volumes in Adults: A Cross-Sectional Study. *Brain Sci*. 2020;10(3):164.
24. Azni IN, Wispriyono B, Sari M. Analisis Risiko Kesehatan Pajanan PM 10 Pada Pekerja Industri Readymix Pt. X Plant Kebon Nanas Jakarta Timur. *J Media Kesehat Masy Indones* [Internet]. 2015;10:203–9. Available from: <https://media.neliti.com/media/publications/212927-analisis-risiko-kesehatan-pajanan-pm10-p.pdf>
25. Kadarisman M, Gunawan A, Ismiyati I. Kebijakan Manajemen Transportasi Darat Dan Dampaknya Terhadap Perekonomian Masyarakat Di Kota Depok. *J Manaj Transp Dan Logistik*. 2017;3(1):41.
26. Jahja SGA, Sulistyarso H. Strategi Pengembangan Kebijakan Penurunan Emisi Kendaraan di kawasan Senayan, Jakarta. *J Tek ITS*. 2020;8(2):114–20.
27. Pamungkas RE, Sulistiyani, Rahardjo M. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) Akibat Paparan Karbonmonoksida (CO) melalui Inhalasi pada Pedagang di Sepanjang Jalan Depan Pasar Projo Ambarawa Kabupaten Semarang. *J Kesehat Masy*. 2017;5(5):824–31.
28. Pramitha E, Haryanto B. Effect of Exposure to 2.5 µm Indoor Particulate Matter on Adult Lung Function in Jakarta. *Osong Public Heal Res Perspect*. 2019;10(2):51–5.
29. Rumselly KU. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kualitas Udara Ambien Di Kota Ambon. *J Kesehatan Lingkungan*. 2016;8(2):158–63.