

RISIKO KESEHATAN PAJANAN $PM_{2,5}$ DI UDARA AMBIEN PADA PEDAGANG KAKI LIMA DI BAWAH FLYOVER PASAR PAGI ASEMKA JAKARTA

HEALTH RISK OF EXPOSURE TO $PM_{2,5}$ IN AMBIEN AIR TO STREET VENDORS UNDER FLYOVER PASAR PAGI ASEMKA JAKARTA

Elsa Try Julita Sembiring

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Agung Podomoro,

Jalan S. Parman Kav.28 Jakarta Barat 60115

Email: elsa.try@podomorouniversity.ac.id

Abstrak: Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan kota metropolitan seperti DKI Jakarta. Pemantauan kualitas udara DKI Jakarta sepanjang tahun 2018 - 2019 oleh *AirVisual* dengan parameter kritis $PM_{2,5}$ menunjukkan kondisi tidak sehat. Debu partikulat berukuran lebih kecil 2,5 mikron ($PM_{2,5}$) sebagai salah satu polutan dari emisi yang dapat masuk dan menembus sistem saluran pernapasan manusia dan terikat darah melalui pertukaran gas pada alveolus paru sehingga dapat menyebabkan deposit pada alveolus dan mengakibatkan kerusakan sel. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis risiko kesehatan pada pedagang kaki lima karena adanya $PM_{2,5}$ pada kondisi *realtime*. Penelitian ini merupakan sebuah observasi dengan menggunakan metode Analisis Risiko Kesehatan. Pengukuran berat badan, waktu pajanan harian, frekuensi pajanan dan lama pajanan diukur dari 60 pedagang kaki lima berjenis kelamin pria yang bekerja di bawah Flyover Pasar Pagi Asemka Jakarta Barat. Pasar Pagi Asemka Jakarta Barat merupakan sebuah area perdagangan yang berdekatan dengan jalan yang ramai. Konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ di udara ambien diperoleh dari data pemantauan *AirVisual* di Mangga Besar yang berlangsung selama 24 jam selama 7 hari. Estimasi risiko kesehatan dinyatakan dalam *Risk Quotient* (RQ) berdasarkan intake *risk agent* dan dosis referensinya (RfC). Pemantauan konsentrasi $PM_{2,5}$ sebesar $35,1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada kondisi minimum, $116 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada kondisi maksimum, dan dengan rata-rata $56,71 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hasil penelitian menunjukkan $RQ < 1$ dalam pajanan *realtime* dapat diterima. Namun harus diwaspadai adanya perubahan iklim, kondisi alam dan peningkatan aktivitas lalu lintas. Oleh karena itu upaya pemantauan, pengawasan, maupun pembinaan oleh pihak pemerintah akan sangat dibutuhkan untuk meminimalisir adanya gangguan kesehatan serta menanam pohon-pohon yang dapat menyerap polutan udara di sekitar jalan raya.

Kata kunci: polusi udara; efek kesehatan; Asemka; pedagang; $PM_{2,5}$

Abstract: Air pollution is one of the problems of metropolitan cities like DKI Jakarta. During 2018-2019, air quality monitoring of DKI Jakarta by *AirVisual* with critical parameters $PM_{2,5}$ showed an unhealthy condition. Particulate matter sized less than 2.5 microns ($PM_{2,5}$) as one of the pollutants from emissions could enter and penetrate the human respiratory system and bound to blood by the gas exchange, caused deposits in the pulmonary alveoli and cell damage. The purpose of this study was to analyze the health risks of street vendors due to the presence of $PM_{2,5}$ in real-time conditions. This research was an observation using the Health Risk Analysis method. Researchers collected data by measuring body weight, daily exposure time, frequency of exposure and duration of exposure of 60 male street vendors who worked under the Pasar Pagi Asemka Flyover in West Jakarta. Pasar Pagi Asemka is a trading area located near a busy road. $PM_{2,5}$ concentrations in ambient air were obtained from *AirVisual* monitoring data in Mangga Besar, which lasts 24 hours for seven days. Health risk estimation was stated in *Risk Quotient* (RQ) based on the intake of risk agent and the reference dose (RfC). $PM_{2,5}$ concentration monitoring showed $35.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at minimum conditions and $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at maximum conditions with an average of $56.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The results showed that $RQ < 1$ in real-time exposure was acceptable. However, we must be aware of climate change, natural conditions and increased traffic activity. Therefore, efforts to monitor, supervise, and provide guidance by the government will be urgently needed to minimize health problems and to plant trees that can absorb air pollutants around the highway.

Keywords: air pollution; health effect; Asemka; street vendors; $PM_{2,5}$

PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan secara global khususnya terjadi pada negara berkembang. Pencemar dapat berasal dari proses alami seperti letusan gunung berapi, kebakaran hutan, pembusukan biotik dan sebagainya. Polusi udara bersumber dari dua kelompok yakni sumber bergerak dan tidak bergerak. Sumber tidak bergerak bersumber dari industri, rumah tangga dan pembakaran sampah, sedangkan sumber bergerak berasal dari sektor transportasi (US-EPA, 2019).

Keberadaan transportasi memiliki peran penting sebagai sumber atau penyumbang dalam pencemaran udara yang terjadi sampai saat ini hingga 70% dari total pencemaran udara akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna dalam mesin kendaraan. Jenis pencemar yang selalu ditemukan adalah partikel padatan dan gas seperti karbondioksida, nitrogen oksida, dan sulfur oksidasi (Gusti et al., 2018). Penyebab polusi udara dari sektor transportasi di perkotaan antara lain kurang baiknya layanan transportasi, peningkatan jumlah kendaraan, arus urbanisasi, dan infrastruktur jalan, dan rendahnya kesadaran masyarakat untuk tertib berlalulintas. Sumber pencemar udara parameter di DKI Jakarta didominasi sektor transportasi darat, industri, dan debu akibat adanya proyek pembangunan fisik (Tambunan, 2019).

Polusi udara secara tidak langsung dapat menjadi penyebab kematian sekitar 4,3 juta kemaian tiap tahunnya terjadi di negara berkembang yang terjadi akibat dari terpaparnya polusi udara luar ruangan (WHO, 2015). Angka kematian absolut akibat polusi udara oleh partikel padat dan ozon (O_3) yang terjadi di Indonesia di tahun 2010 sebesar 71.372 kematian, setelah itu meningkat kembali tahun 2016 sebesar 80.650 kematian (Ritchie, 2019). Hal ini diperkuat lagi dengan informasi oleh Dinas Kesehatan DKI Jakarta yang menyatakan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan penderita ISPA dari tahun 2016-2019 (CNN, 2019). Salah satu parameter pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 adalah *particulate matter* (PM) atau debu partikulat yang dibedakan berdasar ukurannya yakni $PM_{2,5}$ dan PM_{10} . PM salah satu bahan pencemar yang terdiri dari campuran kompleks partikel seperti debu, kotoran, asap, dan cairan yang ditemukan di udara dengan ukuran kecil. Jenis partikulat yang saat ini banyak diteliti karena sifatnya yang dapat menembus sampai bagian paru paling dalam dan kandungannya yang dapat beredar dalam

aliran darah adalah PM_{2.5} (partikulat berukuran <2,5µm (Azizah, 2019; *Indiana Department of Environmental Management*, 2014).

Berbagai material yang terkandung dalam PM_{2.5} ini dapat menyebabkan berbagai gangguan saluran pernafasan seperti infeksi saluran pernafasan akut (ISPA), kanker paru-paru, kardiovaskular, kematian dini, dan penyakit paru-paru obstruktif kronis (Novirsa et al., 2012; WHO, 2006). PM_{2.5} dapat menembus pertahanan sistem saluran pernapasan manusia sehingga dapat terikat oleh darah manusia melalui pertukaran udara pada alveolus di paru-paru. Partikulat dapat mengendap dalam saluran pernafasan melalui beragam mekanisme fisik antara lain sedimentasi, impaksi, difusi, intersepsi, dan elektronik presipitasi (Brown, 2015).

Penelitian terkait efek kesehatan akibat pencemaran udara di China menunjukkan adanya peningkatan kejadian kanker paru-paru dihubungkan dengan kandungan PAH dalam PM_{2.5} selama satu dekade terakhir (Leung et al., 2014; Zhang et al., 2009) menunjukkan tingkat insidensi kanker paru sebesar 1.6% (IR, ≈0.91–2.6%), melebihi IR tahunan sebesar 0.65×10^5 . PM_{2.5} yang masuk ke saluran pernafasan terdeposit dan dapat menyumbat alveolus. Selain itu juga dapat mengakibatkan kerusakan sel. PM_{2.5} menginduksi produksi radikal bebas berlebihan dan mengurangi kapasitas antioksidan sel, menghasilkan peroksidasi lipid pada membran sel serta peningkatan Ca²⁺ intraseluler yang lebih lanjut meningkatkan produksi radikal (Xing et al., 2016). Penelitian menunjukkan bahwa ada kemungkinan bahwa regulasi konsentrasi intraseluler Ca²⁺ yang dimediasi-ROS mungkin menjadi salah satu mekanisme kerusakan sel yang diinduksi PM_{2.5} (Brown et al., 2004). Penelitian menunjukkan juga bahwa apoptosis sel dan nekrosis berhubungan dengan ekspresi Ca²⁺ yang berlebihan reseptor sensitif (Xing et al., 2016). Penelitian lainnya juga menunjukkan adanya pengaruh PM_{2.5} terhadap pertumbuhan dan mortalitas dari janin dengan nilai *odd ratio* PM_{2.5} sebesar 1.26 dengan *confidence interval* (CI) 0,81-1,95) dan 2,11 (CI, 1,20-3,70) (Dejmek et al., 1999). Anak-anak dan orang tua yang memiliki riwayat penyakit jantung, paru, dan asma adalah kelompok yang memiliki kerentanan terpapar PM_{2.5} (p<0,01) (Dunea et al., 2016). Paparan PM_{2.5} dapat mengurangi angka rata-rata angka harapan hidup sebanyak 8,6 bulan. Jika partikel tersebut masuk ke dalam alveoli akan menimbulkan reaksi radang yang dapat menyebabkan keluhan pernapasan (Xing et al., 2016).

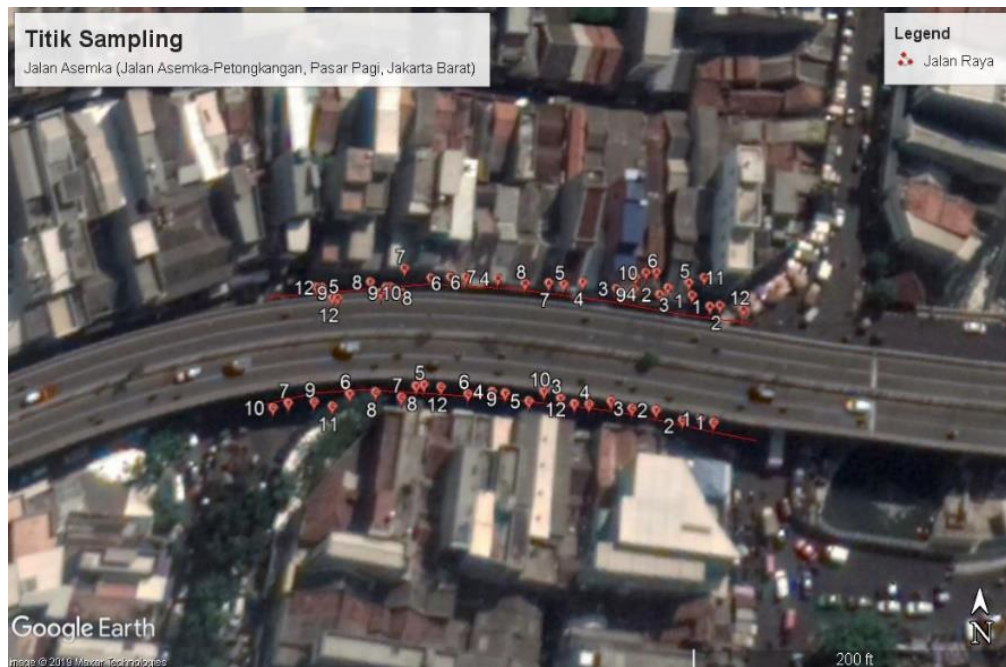
Beberapa penelitian di Indonesia juga telah membuktikan adanya hubungan $PM_{2,5}$ dengan gangguan fungsi pernafasan. Penelitian pada pedagang tetap Kota Depok menunjukkan bahwa ada hubungan signifikan antara gangguan fungsi paru dengan asupan yang melebihi dosis referensi (WAQI, 2019). Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa terdapat hubungan signifikan antara gangguan fungsi paru dengan konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ dengan proporsi sampel 50% mengalami restriktif dan 10,9% mengalami obstruktif pada pekerja industri semen di Citereup (Komariah, 2016). Penelitian pada pedagang tetap di Kampung Rambutan juga menunjukkan risiko penurunan fungsi pernafasan akibat paparan $PM_{2,5}$ dalam pajanan *realtime* dan *lifespan* 30 tahun (Falahdina, 2017). Penelitian pada masyarakat sekitar kawasan industri semen di Kec. Lubuk Kilangan juga menunjukkan adanya risiko $RQ > 1$ kesehatan akibat pajanan $PM_{2,5}$ khususnya area dengan jarak 2,5 km dari sumber polutan (Novirsa et al., 2012).

Masyarakat dengan profesi pedagang kaki lima merupakan yang paling berisiko terhadap pajanan $PM_{2,5}$ di udara. Para pedagang kaki lima ini berjualan selama bertahun-tahun di bawah *flyover* dan kontak langsung dengan polutan ini. Pasar Pagi Asemka Jakarta Barat atau lebih dikenal dengan pasar pagi lama merupakan satu pasar grosir yang cukup ramai di Jakarta mulai dari pedagang kaki lima sampai waralaba besar. Lokasinya berada di dekat *flyover* dan jalan dengan aktivitas lalu lintas cukup padat setiap hari. Parameter $PM_{2,5}$ dipilih karena merupakan parameter kritis yang dominan di Jakarta. Data hasil pengukuran kualitas udara ambien DKI Jakarta menunjukkan status tidak sehat pada hampir sepanjang tahun 2019 ditandai dengan indeks dan konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ juga melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 (Umar, 2013). Udara yang tercemar polutan $PM_{2,5}$ sangat berbahaya bagi kesehatan masyarakat yang beraktivitas sehari-hari di tempat ini. Kajian risiko kesehatan di lokasi ini belum dilakukan sehingga tidak diketahui besarnya tingkat risiko kesehatan oleh pajanan $PM_{2,5}$ pada masyarakat berisiko yang menghabiskan sebagian besar aktivitasnya di wilayah ini. Untuk memprediksi risiko kesehatan maka perlu ada studi analisis risiko pajanan $PM_{2,5}$ pada pedagang kaki lima di Pasar Pagi Asemka Jakarta Barat. Penelitian ini bertujuan untuk menprakirakan risiko kesehatan pajanan $PM_{2,5}$ yang berisiko dalam hal ini pedagang kaki lima.

METODOLOGI PENELITIAN

Studi ini dilakukan dengan penelitian observasional analitik dengan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dengan memprediksi besarnya risiko dengan titik tolak kondisi saat ini (*realtime*). ARKL adalah proses perhitungan dan prakiraan risiko pada suatu organisme pada suatu organisme sasaran, sistem atau sub populasi, termasuk identifikasi ketidakpastian yang menyertainya, setelah terpajan oleh *agent* tertentu, dengan memperhatikan karakteristik yang melekat pada *agent* itu dan karakteristik sistem sasaran yang spesifik (Leung et al., 2014). Analisis risiko terdiri dari empat tahap kajian, yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis-respon, analisis pajanan, dan karakterisasi risiko, yang selanjutnya dilanjutkan dengan manajemen risiko dan komunikasi risiko.

Subjek penelitian ini adalah populasi manusia yang berisiko yaitu pedagang kaki lima yang berdagang di bawah *flyover* sekitar Pasar Pagi Asemka berjenis kelamin pria yang berjualan di sepanjang sisi trotoar kanan dan kiri bawah *flyover* Pasar Pagi Asemka (Jalan Petokangan, Roa Malaka, Tambora, Jakarta Barat) seperti yang tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Area Penelitian

Sumber: *Google Earth*

Penelitian ini difokuskan pada jenis kelamin laki-laki karena diketahui berdasarkan penelitian serupa pekerjaan ini didominasi dengan laki-laki. Jenis kelamin yang menjadi responden dalam penelitian ini hanya laki-laki karena berkaitan dengan kapasitas paru pada kondisi yang lebih tidak normal yang dipengaruhi oleh aktivitas luar rumah lebih banyak dan terpapar polutan di lingkungan kerja dibandingkan perempuan ($p=0,003$) (Umar, 2013). Responden subjek pada penelitian ini sebanyak 60 orang yakni seluruh pedagang kaki lima yang bersedia dijadikan responden pada penelitian ini. Pengambilan sampel responden menggunakan *purposive sampling* yakni teknik sampling dengan menentukan pengambilan sampel dengan cara menetapkan ciri-ciri khusus. Responden dipilih menurut kriteria berjenis kelamin laki-laki, berprofesi pedagang kaki lima, dan bersedia mengikuti penelitian. Sebelum melakukan wawancara, peneliti akan menjelaskan maksud dan tujuan penelitian ini. Apabila responden bersedia diwawancarai maka proses dilanjutkan. Objek penelitian ini adalah konsentrasi polutan $PM_{2,5}$. Polutan konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ dengan titik sampel pantauan udara sebanyak 1 titik di Mangga Dua Selatan melalui *AirVisual* selama 24 jam selama 7 hari (14-20 Oktober 2019).

Data primer penelitian ini adalah wawancara singkat mengenai karakteristik responden dan pola aktivitas berupa berat badan, lama pajanan harian, frekuensi pajanan dalam setahun, durasi harian yang telah diterima oleh individu selama hidupnya di wilayah penelitian, dan kebiasaan serta riwayat keluhan terkait saluran pernafasan. Sedangkan, data sekunder berasal dari data yang diperoleh dari *Air Visual* berupa data konsentrasi polutan $PM_{2,5}$. Analisis yang digunakan yaitu analisis univariat dan analisis dengan metode ARKL. Analisis univariat adalah analisis deskriptif dengan membuat tabel dan distribusi frekuensi. Data sampel antropometri dan data *risk agent* dianalisis deskriptif untuk mengetahui datanya normal atau tidak normal. Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui distribusi data dalam suatu variable penelitian itu normal atau tidak normal. Jika *p-value* Uji Normalitas $\geq 0,05$ maka data itu normal. Untuk data normal maka dipergunakan nilai *mean* dan jika tidak normal dipergunakan nilai *median* (Sukadi, 2014). Analisis selanjutnya yaitu dengan menggunakan metode ARKL yang meliputi identifikasi bahaya dan sumber risiko, analisis dosis respons, analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko.

Identifikasi Bahaya

Penelitian ini dilakukan analisis *risk agent* dengan mengumpulkan dan informasi mengenai *agent* PM_{2,5} dari berbagai literatur.

Analisis Dosis-Respon

Tahapan analisis dosis-respon dengan mencari nilai dosis referensi (RfC) dari polutan yang sudah ditentukan menjadi konsentrasi dalam analisis risiko kesehatan lingkungan berdasarkan studi literatur. Nilai RfC untuk PM_{2,5} belum terdapat pada IRIS (*Integrated Risk Information System*) maupun MRL (*Minimum Risk Level*), sehingga nilai konsentrasi referensi untuk PM_{2,5} akan dihitung berdasarkan ADD (*average daily intake*) dengan diketahui nilai baku mutunya (Novirsa et al., 2012) menggunakan persamaan (1).

$$I_{nk} = \frac{CxRxt_Exf_ED_t}{W_bxt_{avg}} \quad (1)$$

dengan: I_{nk} = intake I asupan (mg/kg/hari) ; C = konsentrasi polutan PM_{2,5} pada media udara (mg/m³); R= laju asupan (m³/jam); t_E= lama pajanan (jam/hari); f_E=frekuensi pajanan (hari/tahun); D_t= durasi pajanan (tahun); W_b= berat badan (kg); t_{avg}= periode waktu rata-rata (hari). Nilai t_E diperoleh dari hasil survei, f_E dihitung berdasarkan jumlah hari kerja responden dalam satu tahun dan f_E menyatakan waktu tinggal di lokasi studi dan terpapar polutan.

Analisis Pajanan

Tahapan setelah itu adalah melakukan analisis pajanan dengan mengukur atau menghitung asupan (*intake*) dari suatu polutan menggunakan data primer yang diperoleh dari konsentrasi polutan di lingkungan. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah pajanan *realtime* dengan menggunakan nilai durasi pajanan (Dt) sebenarnya yakni lama responden bekerja di lokasi tersebut dalam satuan tahun. Analisis pajanan ditentukan oleh konsentrasi PM_{2,5} di udara berdasarkan hasil pemantauan, laju asupan menurut US-EPA (2011) untuk orang dewasa sebesar R=0,83 m³/jam, lama pajanan harian yang diterima para

pedangang kaki lima berkaitan dengan jam kerja (berdagang), serta perhitungan asupan menggunakan rumus persamaan (1).

Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko merupakan langkah terakhir pada ARKL, dimana pada tahap ini peneliti akan mendapatkan tingkat risiko untuk efek non-karsinogenik pajanan PM_{2,5} terhadap pedangang kaki lima. Nilai RQ ini akan melihat karakterisasi risiko pada pedangang kaki lima dengan konsentrasi polutan minimal, maksimal, dan rata-rata. Karakterisasi risiko ini dinyatakan dalam notasi *Risk Quotion* (RQ). Hasil perhitungan didapatkan dari RQ>1 dan nilai RQ≤1. Keadaan berisiko (tidak aman) apabila nilai RQ>1 sehingga keadaan perlu dilakukan pengendalian dan tidak berisiko (aman) jika nilai RQ≤1. Rumus yang digunakan ditunjukkan dengan Persamaan (2).

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfC} \quad (2)$$

dengan: I_{nk} = intake asupan (mg/kg/hari); RfC = Dosis Referensi (mg/kg/hari)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Bahaya

Berdasarkan kajian berbagai literatur, efek PM_{2,5} terhadap saluran pernafasan terbukti berhubungan dengan insiden gejala penafasan terutama batuk. Efek lainnya pada fungsi paru ditandai adanya gangguan pada ventilasi yang menyebabkan penurunan fungsi yang terdiri dari gangguan pengembangan paru dan gangguan obstruksi (lambatnya aliran udara di saluran nafas karena peningkatan produksi mukus (Azizah, 2019).

Pajanan jangka pendek partikulat berupa perubahan fungsi paru dan tekanan darah, gejala akut (batuk, sesak, infeksi saluran pernafasan). Sedangkan dampak jangka panjangnya PM_{2,5} dapat menyebabkan kanker paru-paru akibat masuknya senyawa-senyawa beracun yang melekat dan masuk bersama dengan PM_{2,5} ke dalam darah (Marpaung, 2012). Dampak menurut konsentrasi polutan PM_{2,5} dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Identifikasi bahaya PM_{2,5} terhadap kesehatan

Level PM _{2,5} (µg/Nm ³)	Efek Kesehatan
0 – 12	Tidak ada risiko
12,1 – 35,4	Individu sensitif kemungkinan mengalami gejala pernapasan
35,5 – 55,4	Meningkatnya gejala pernapasan, penyakit jantung & paru-paru
55,5 – 150,4	Meningkatnya risiko penyakit jantung, kematian dini bagi penderita kardiopulmoner dan meningkatkan risiko pernapasan populasi umum
150,5 – 250,4	Peningkatan signifikan memburuknya penyakit jantung, paru – paru, kematian dini penderita kardiopulmoner & meningkatnya risiko pernapasan populasi umum
250,5 – 500,4	Risiko kematian dini, penyakit jantung & paru – paru, populasi umum terancam efek penyakit pernapasan serius

Sumber:US-EPA (2014)

Karakteristik Antropometri

Variabel antropometri berat badan merupakan variabel yang sangat berpengaruh terhadap besar dosis aktual suatu polutan yang diterima individu. Hasil survei menghasilkan nilai faktor waktu pajanan, yaitu berat badan untuk semua responden rata-rata 58,45 kg, lama pajanan harian yang diterima sebesar 10 jam, dengan jumlah hari terpajan sebesar 364 hari/tahun. Elemen perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Elemen Perhitungan

Karakteristik Antropometri		Min	Max	Mean/Median	SD	<i>p-value</i> [^]	Distribusi
Berat badan (kg)	Wb	40	80	58,45*	9,57	0,44784	Normal
Pajanan harian (jam/hari)	tE	3	12,5	10,00**	2,15	0,0048	Tidak normal
Frekuensi pajanan (hari/tahun)	fE	156	364	364,00**	60,11	<0,00001	Tidak normal
Durasi pajanan (tahun)	Dt	0,4	37	5,00**	8,37	0,00198	Tidak normal

Keterangan:

*=nilai mean

**=nilai median

[^]=Uji Normalitas Data Kolmogrov-Smirnov

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Hasil pengukuran berat badan dari populasi sebesar 58,45 kg berbeda dengan nilai *default* US-EPA (2011) yakni 70 kg, tetapi hampir mendekati *default* dari Kemenkes (2012) yakni 55 kg. Penelitian yang difokuskan pada jenis kelamin laki-laki ini memungkinkan rata-rata berat badan lebih tinggi dari nilai ini. Hasil ini juga hampir menyerupai penelitian pedagang kaki lima di terminal bus Pulogadung sebesar 58 kg (Wijiarti et al., 2016). Dari hasil survei juga diperoleh diketahui bahwa pedagang secara rata-rata telah bekerja dan telah terpajan selama 5 tahun dengan durasi terlama adalah selama 37 tahun dengan pajanan tersingkat adalah 1 tahun.

Berdasarkan Tabel 3 dari hasil survei ini diketahui bahwa 55% telah berdagang di lokasi tersebut ≥ 5 tahun. Frekuensi dan durasi hariannya cukup panjang yakni >8 jam (78%) dan setiap hari sepanjang tahun. Hal ini menyerupai karakteristik antropometri penelitian pada pedagang di Pasar Siteba (Gusti et al., 2018) dan kawasan industri Manyar yakni responden bekerja >8 jam (Helmy, 2019).

Tabel 3 Distribusi Frekuensi Karakteristik Antropometri

Karakteristik Antropometri	tE		fE		Dt		Kebiasaan Merokok		APD		Keluhan ISPA	
	(jam/ hari)		(hari/ tahun)		(tahun)		Y	T	Y	T	Y	T
	<8	≥ 8	<350	≥ 350	<5	≥ 5						
Frekuensi	13	47	19	41	27	33	43	17	60	0	34	26
%	22	78	32	68	45	55	72,7	28,3	100	0	56,6	43,4

Sumber: Hasil Analisis, 2020

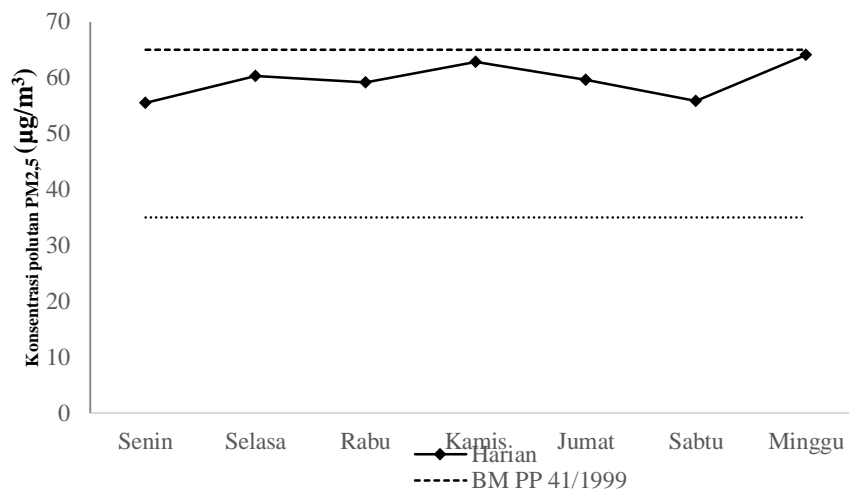
Perilaku responden menunjukkan bahwa seluruh responden (100%) tidak menggunakan masker sewaktu berdagang dan kebiasaan merokok sebanyak 72%. Perilaku serupa juga ditunjukkan penelitian serupa pada para pedagang di Jalan Prof. Soedarto Semarang yakni kebiasaan merokok (54,3%) dan tidak menggunakan APD (94,3% (Nabilla dan Nurjazuli, 2018). Perilaku ini dapat menyebabkan responden berisiko terkena gangguan

pernafasan. Keluhan kesehatan terkait inhalasi pernafasan yakni batuk datang dari 56,6% responden.

Berdasarkan hasil penelitian mengenai gambaran gangguan pernafasan dari wawancara, diketahui gangguan pernafasan paling dominan yang dialami responden selama berdagang di bawah *flyover* Pasar Pagi Asemka Jakarta Barat adalah batuk sebesar 57%. Batuk merupakan gejala awal akibat terpajan polutan udara (Emil Salim, 2006). Reflek batuk merupakan mekanisme pertahanan untuk mengeluarkan sesuatu yang ada dalam saluran pernafasan agar dapat ditelan atau dikeluarkan. Salah satu polutannya yakni $PM_{2.5}$ yang tertempel pada mukosa bronkus. Apabila terus terakumulasi dapat menyebabkan sesak nafas. Kondisi pedagang yang harus terus-menerus berada di lokasi tersebut tentu dapat berpotensi menyebabkan proses akumulasi berlangsung.

Analisis Paparan

Analisis paparan ini dibahas menurut konsentrasi polutan $PM_{2.5}$ di udara, laju asupan, lama paparan, frekuensi paparan, durasi paparan, berat badan, periode waktu rata-rata, asupan. Analisis yang dilakukan berdasarkan paparan *realtime* dengan menggunakan nilai durasi paparan (Dt) sebenarnya lama responden bekerja di lokasi penelitian dengan satuan tahun. Konsentrasi harian ini didapatkan dalam satuan $\mu g/Nm^3$ dikonversi menjadi mg/Nm^3 . Hasil pemantauan konsentrasi polutan $PM_{2.5}$ selama tujuh hari ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Konsentrasi rata-rata $PM_{2.5}$ di udara selama masa penelitian

Konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ di sekitar lokasi penelitian masih memenuhi baku mutu pada konsentrasi rata-ratanya berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Lingkungan dengan nilai konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ yakni $65 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan apabila dibandingkan dengan *National Ambient Air Quality Standards* US-EPA (NAAQS) sudah melewati standar yang ditetapkan karena baku mutu yang ditetapkan lebih ketat yakni $35 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ dipengaruhi kondisi cuaca khususnya setelah turun hujan mengalami penurunan konsentrasi karena terdeposisi atau mengendap ke permukaan tanah, air, dan bangunan (Thirafi, 2019). Kondisi cuaca yang sudah mulai memasuki musim penghujan pada saat penelitian ini berlangsung menyebabkan konsentrasi polutan cenderung menurun karena terdeposisi (Radulescu et al., 2015). Kondisi ini didukung juga dengan data dari *AirVisual* yang menunjukkan bahwa kondisi udara memiliki kecenderungan lebih baik pada musim penghujan pada bulan Januari, Februari, Maret, dan Desember 2018. Rendahnya konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ ini dipengaruhi oleh faktor cuaca, di mana pada saat peneliti melakukan pengambilan data konsentrasi polutan $PM_{2,5}$, kondisi cuaca telah terjadi hujan sehingga polutan di udara dibersihkan oleh hujan. Meskipun konsentrasi PM masih di bawah baku mutu tidak membebaskan seluruh populasi karena menurut penelitian paparan debu (Saputra et al., 2016)

Kondisi maksimum ($>65 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$) dengan konsentrasi $116 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ terjadi pada hari Senin sekitar pukul 07.00. Pada waktu-waktu ini konsentrasi debu polutan dimungkinkan meningkat drastis dikarenakan beban tinggi transportasi berkaitan dengan waktu berangkat kerja, sekaligus secara meteorologis bersamaan dengan waktu dimana dapat terjadi peristiwa inversi suhu pada atmosfer perkotaan (Colombi, et al., 2013). Jumlah kendaraan yang melintas, titik kemacetan, dan kegiatan menaikkan dan menurunkan penumpang dari angkutan kota dapat menjadi penyebab tingginya konsentrasi maksimum. Ditambah lagi berada di bawah jalan layang dengan lalu lintas padat, minimnya ruang terbuka disekitar area turut berkontribusi dalam menurunkan kualitas udara.

Komposisi $PM_{2,5}$ tidak dilakukan pada penelitian ini, tetapi berdasarkan hasil evaluasi komposisi PM udara ambien dari penelitian suatu area perkotaan di ditunjukkan bahwa di dalamnya mengandung senyawa logam beracun diantaranya Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Mn, Al, Sr,

Fe, dan Zn (Ali et al., 2019). Penelitian komposisi sektor transportasi menunjukkan bahwa partikulat mengandung Fe, Ba, Sb, Mn dan Cu dengan ukuran partikulat logam didominasi oleh satu hingga lima mikron (Wijiarti et al., 2016). Kebanyakan logam berat ini berpotensi beracun pada makhluk hidup tergantung dosis dan durasi paparannya (Gusti et al., 2018). Perhitungan asupan pada pedagang kaki lima di Pasar Pagi Asemka Jakarta Barat menggunakan persamaan (1) dengan memasukkan elemen hasil survei hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Perhitungan *Intake*

Konsentrasi polutan PM _{2,5}	Min Max	Mean	SD
Intake pada C_{minimum} (35,1 µg/Nm³)	1,05×10 ⁻³ 7,45×10 ⁻³	4,32×10 ⁻³	1,21×10 ⁻³
Intake pada C_{maksimum} (116 µg/Nm³)	3,46×10 ⁻³ 2,46×10 ⁻²	1,43×10 ⁻²	4,01×10 ⁻³
Intake pada C_{rata-rata} (56,078 µg/Nm³)	1,67×10 ⁻³ 1,19×10 ⁻²	6,91×10 ⁻³	1,94×10 ⁻³

Keterangan:

Data terdistribusi normal menurut Uji Normalitas Data Kolmogrov-Smirnov

Kondisi konsentrasi polutan PM_{2,5} yang melebihi baku mutu menurut *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) ini berpengaruh pada hasil perhitungan asupan dan nilai risiko. Besar nilai konsentrasi polutan PM_{2,5} maka semakin besar pula nilai asupannya. Besar asupan pada keadaan rata-rata adalah 0,00655 mg/kg dengan kondisi minimum 0,00410 mg/kg dan maksimum 0,0135 mg/kg. Namun nilai yang diterima sebenarnya dapat berbeda dengan perhitungan. Hal yang mempengaruhi antara lain: pengukuran langsung konsentrasi polutan PM_{2,5} yang masuk tidak menggunakan *personal dust sampler* (PDS) yang lebih akurat dalam menunjukkan konsentrasi partikulat yang dihirup setiap waktu berdasarkan pola aktivitas setiap individu. Selain itu, jumlah asupan ini ditentukan beberapa faktor diantaranya umur, jenis kelamin, kebiasaan merokok, dan penggunaan masker (Novirsa et al., 2012).

Besarnya asupan berbanding lurus dengan nilai konsentrasi polutan, lama pajanan, frekuensi, dan laju inhalasi serta berbanding terbalik dengan berat badan. Apabila faktor lain dianggap konstan maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar berat badan seseorang maka akan semakin kecil pula nilai asupan yang diterimanya (Falahdina, 2017). Sebaliknya semakin kecil beratnya maka semakin besar nilai asupan yang diterima. Berdasarkan perhitungan dari seluruh responden pada kondisi konsentrasi polutan $PM_{2.5}$ rata-rata, nilai asupan tertinggi ditemukan pada respon dengan berat badan paling minimum yaitu sebesar 0,0123 mg/kg/hari. Berdasarkan hasil survei tidak ada pedagang kaki lima yang menggunakan masker dan 72% diantaranya merupakan perokok aktif. Dengan demikian, risiko yang diterima pedagang kaki lima bukan hanya dari $PM_{2.5}$ tetapi juga dapat dari kebiasaan merokok.

Analisis Dosis Respon

Penentuan dosis referensi aman ini (RfC) menggunakan nilai baku *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS), yakni $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk baku mutu $PM_{2.5}$. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tidak digunakan karena nilai *default* faktor pemajannya tidak diketahui. Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan (1) diperoleh nilai RfC sebesar 0,01 mg/kg/hari.

Karakterisasi Risiko

Hasil perhitungan didapatkan dari $RQ > 1$ dan nilai $RQ \leq 1$. Keadaan berisiko (tidak aman) apabila nilai $RQ > 1$ sehingga keadaan perlu dilakukan pengendalian dan tidak berisiko (aman) jika nilai $RQ \leq 1$. Tabel 5 menunjukkan bahwa RQ rata-rata pada konsentrasi minimum yaitu 0,377, pada konsentrasi maksimum sebesar 1,250, dan pada konsentrasi rata-rata yaitu 0,603. Nilai RQ rata-rata baik pada konsentrasi polutan minimum dan rata-rata masih berada di bawah 1 ($RQ < 1$) sehingga dapat dikatakan bahwa risiko yang diterima oleh pedagang kaki lima di Pasar Pagi Asemka Jakarta Barat masih dapat dikatakan aman. Risiko tidak aman ($RQ > 1$) ditemukan pada 70% pedagang kaki lima jika konsentrasi udara pada kondisi maksimum.

Hasil survei menunjukkan bahwa karakteristik responden menunjukkan bahwa para pedagang bekerja sepanjang hari dan sepanjang tahun. Durasi pajanan yang lebih lama akan

lebih beresiko mengalami gangguan kesehatan dikarenakan konsentrasi debu yang masuk ke dalam tubuh akan lebih banyak. Hal ini ditunjukkan dalam penelitian pada pekerja bahwa ada peningkatan risiko gangguan kesehatan untuk paparan jangka panjang (Yuliawati, 2015). Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai RQ *realtime* pada konsentrasi rata-rata menunjukkan RQ<1 atau pajanan aman bagi pedangang kaki lima yakni 0,603. Nilai RQ>1 ditunjukkan pada kondisi maksimum pada konsentrasi polutan yaitu RQ sebesar 1,25. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Perhitungan RQ

Konsentrasi polutan PM _{2,5}	Min Max	Mean	SD Varians
RQ pada C _{minimum} (35,1 µg/Nm ³)	0,100 0,714	0,377	0,209 0,017
RQ pada C _{maksimum} (116 µg/Nm ³)	0,332 2,360	1,250	0,131 0,188
RQ pada C _{rata-rata} (56,078 µg/Nm ³)	0,160 1,141	0,603	0,433 0,044

Keterangan: Data terdistribusi normal menurut Uji Normalitas Data Kolmogrov-Smirnov
Sumber: Hasil Analisis, 2020

Nilai RQ<1 pada konsentrasi rata-rata bukan berarti setiap individu terlepas dari risiko kesehatan karena ditemukan dua pedangang kaki lima (3%) yang berisiko tidak aman, seperti yang tercantum pada Tabel 6. Ukuran partikel halus ini dianggap lebih aktif dibanding PM₁₀ karena akan berhenti di bronkiolus respiratorius dan alveolus. Sebagian partikulat akan masuk ke paru-paru, sebagian lagi menempel pada mukosa bronkus yang dapat menimbulkan reaksi batuk. Akumulasi dalam jumlah besar menyebabkan gangguan pada saluran pernafasan atas yaitu sesak nafas. Debu pada alveolus ini dapat menyebabkan pengerasan pada jaringan yang restriktif, obstruktif, dan campuran sehingga mengurangi kapasitas tampungan udara dan penurunan pengangkutan oksigen. Semakin tinggi dosis pajanan PM_{2,5} semakin turun fungsi paru (Marpaung, 2012) .

Tabel 6 Distribusi Frekuensi Nilai RQ

Konsentrasi polutan PM _{2,5}	RQ<1		RQ>1	
	f	%	f	%
RQ pada C_{minimum} (35,10 µg/m³)	60	100	0	0
RQ pada C_{maksimum} (116 µg/m³)	20	30	40	70
RQ pada C_{rata-rata} (56,07 µg/m³)	58	97	2	3

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Simulasi perhitungan RQ juga dilakukan pada kondisi konsentrasi polutan PM_{2,5} maksimum mengingat terdapat kecenderungan peningkatan konsentrasi polutan PM_{2,5} setiap tahun dari 2016 sampai 2018 menurut pemantauan *AirVisual*. Berdasarkan perhitungan RQ pada kondisi konsentrasi maksimum ditunjukkan bahwa 70% responden memiliki risiko tidak aman. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terhadap pedangang kaki lima di Semarang memiliki risiko pada pajanan debu pada konsentrasi tinggi (Marpaung, 2012). Penelitian di Depok juga menunjukkan bahwa ada hubungan antara konsentrasi debu ambien dengan risiko terkenanya gangguan fungsi paru pada pedangang kaki lima di terminal (Hikmiyah, 2018). Penelitian di Kampung Rambutan juga menunjukkan pada kondisi PM_{2,5} maksimum, RQ>1 dengan rentang 1,79 s.d 13,56 (Falahdina, 2017). Nilai yang jauh lebih besar ini dipengaruhi konsentrasi debu di udara yang jauh melebihi baku mutu yakni 3,964 mg/m³ dan dilakukan langsung berdekatan dengan sumber polutan.

Manajemen Risiko

Manajemen risiko dilakukan dengan tujuan agar individu atau populasi yang berisiko terpajan agen risiko tetap aman dari gangguan kesehatan. Manajemen risiko yang dapat dilakukan yaitu menurunkan konsentrasi pajanan, mengurangi waktu pajanan, dan mengurangi frekuensi pajanan. Dalam rangka mempertahankan konsentrasi polutan PM_{2,5} agar tetap berada di bawah baku mutu dan tidak meningkat pada jam-jam sibuk, upaya yang

dapat dilakukan adalah membatasi usia kendaraan bermotor dan penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Kontrol emisi kendaraan dapat menjadi strategi untuk mengurangi polutan diantaranya $PM_{2,5}$ (EPA, 2014). Pemerintah Provinsi DKI Jakarta juga dapat menerapkan program bebas kendaraan bermotor pada sekitar area ini mengingat sumber polutan udara di Jakarta berasal dari sector transportasi. Untuk mengurangi konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ yang ada dapat dilakukan dengan melakukan penghijauan di sekitar jalan tersebut. Keberadaan pohon berdaun lebar dapat menyerap polutan yang ada di udara. Setiap satu hektar ruang terbuka hijau dapat menghasilkan 0,6 ton oksigen per harinya (Emil Salim, 2006). Untuk mengurangi waktu pajanan dan frekuensi belum dapat dilakukan karena tidak ada aturan jam kerja atau berdagang sehingga pengendalian yang dapat dilakukan adalah anjuran penggunaan alat pelindung diri (APD) berupa masker yang dipengaruhi oleh kesadaran setiap individu. Selain itu perlu dilakukan sosialisasi kepada para pedagang kaki lima untuk mengurangi kebiasaan merokok. Namun hal ini juga tergantung dari kesadaran setiap individu.

KESIMPULAN

Konsentrasi polutan $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian masih memenuhi baku mutu ($<65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 pada kondisi rata-rata $56,078 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan kondisi minimum $35,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan sudah melebihi bakumutu pada kondisi maksimum $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Namun bila dibandingkan dengan *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) US-EPA, kualitas udara sudah melewati bakumutu pada kondisi rata-ratanya. Secara umum, para pedagang kaki lima memiliki kategori aman atau belum berisiko kesehatan non karsinogenik akibat paparan $PM_{2,5}$ pada konsentrasi rata-rata. Risiko tidak aman ($RQ > 1$) ditemukan pada 65% pedagang kaki lima apabila terpapar pada konsentrasi maksimum secara simultan dengan nilai RQ sebesar 1,248. Risiko yang diterima dapat lebih besar dibandingkan perhitungan, mengingat 72% responden merupakan perokok aktif. Namun, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk melihat pengaruh kebiasaan ini terhadap kesehatan para pedagang kaki lima.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental Chemistry and Ecotoxicology Of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019(Cd). <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Azizah, I. T. N. (2019). Analysis The Level of PM_{2,5} And Lung Function of Organic Fertilizer Industry Workers In Nganjuk. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(2), 141. <https://doi.org/10.20473/jkl.v11i2.2019.141-149>
- Brown, D. M., Donaldson, K., Borm, P. J., Schins, R. P., Dehnhardt, M., Gilmour, P., Jimenez, L. A., & Stone, V. (2004). Calcium and ROS-mediated activation of transcription factors and TNF- α cytokine gene expression in macrophages exposed to ultrafine particles. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, 286(2 30-2), 344–353. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00139.2003>
- Brown, J. S. (2015). Deposition of Particles. In *Comparative Biology of the Normal Lung* (2nd ed., pp. 513–536). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404577-4.00027-8>
- Colombi, Cristina & Angius, S. & Gianelle, V. & Lazzarini, M. (2013). Particulate matter concentrations, Physical characteristics and elemental composition in the Milan underground transport system. *Atmospheric Environment*, 70(May 2013), 166–178. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24436-1_17
- Dejmek, J., Selevan, S. G., Beneš, I., Solanský, I., & Šrám, R. J. (1999). Fetal growth and maternal exposure to particulate matter during pregnancy. *Environmental Health Perspectives*, 107(6), 475–480. <https://doi.org/10.1289/ehp.99107475>
- Dunea, D., Iordache, S., Liu, H. Y., Böhler, T., Pohoata, A., & Radulescu, C. (2016). Quantifying the impact of PM_{2.5} and associated heavy metals on respiratory health of children near metallurgical facilities. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(15), 15395–15406. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6734-x>
- Emil Salim, S. K. (2006). *Jakarta Kota Polusi: Menggugat Hak Atas Udara Bersih* (A. Nurbianto, B., Muhammad, Ed.; 1st ed.). aukuus Lingkungan Hidup Jakarta.
- US-EPA. (2011). *Exposure Factor Handbook*. US EPA. https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscmm.getfile?p_download_id=526169
- US-EPA. (2014). *Air Quality Index: A Guide to Air Quality and Your Health*. https://www3.epa.gov/airnow/airnow_aqi_brochure_02_14.pdf
- US-EPA. (2019). *Air Quality Trends Show Clean Air Progress*. US EPA. <https://gispub.epa.gov/air/trendsreport/2019/#home>
- Falahdina, A. (2017). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan PM_{2,5} pada Pedagang Tetap di Terminal Kampung Rambutan. Tugas Akhir. Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2570>
- Gusti, A., Arlesia, A., & Anshari, L. H. (2018). Penurunan Derajat Kesehatan Pedagang Akibat Paparan Debu PM₁₀ di Kawasan Pasar Siteba Kota Padang. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 14(3), 233. <https://doi.org/10.30597/mkmi.v14i3.4260>
- Helmy, R. (2019). Hubungan Paparan Debu dan Karakteristik Individu dengan Status Faal Paru Pedagang di Sekitar Kawasan Industri Gresik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(2), 132. <https://doi.org/10.20473/jkl.v11i2.2019.150-157>
- Hikmiyah, A. F. (2018). Analysis of Dust and NO₂ Level in the Ambient Air and Sweeper's Respiratory Complaints in Purabaya Bus Station Sidoarjo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(2), 138. <https://doi.org/10.20473/jkl.v10i2.2018.138-148>
- Indiana Department of Environmental Management. (2014). *Criteria Pollutants: Particulate Matter (PM_{2.5}/PM₁₀)*. In.Gov. https://www.in.gov/idem/files/factsheet_oaq_criteria_pm.pdf

- CNN. (2019). *Dinkes DKI Sebut Tren Penderita ISPA Meningkat 2016-2018*. Cnnindonesia.Com. <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20190730181324-20-416867/dinkes-dki-sebut-tren-penderita-ispa-meningkat-2016-2018>
- Kemkes RI. (2001). Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 876/Menkes/SK/ VIII/2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan. Jakarta.
- Komaridah, V. H. (n.d.). *Analisis Risiko dan Dampaknya terhadap Penurunan Fungsi Paru Pekerja Industri Semen di Plant 06 Indocment Citereup-Bogor tahun 2016*.
- Leung, P. Y., Wan, H. T., Billah, M. B., Cao, J. J., Ho, K. F., & Wong, C. K. C. (2014). Erratum: Chemical and biological characterization of air particulate matter 2.5, collected from five cities in China (Environ. Pollut. (2014) 194 (188-195)). *Environmental Pollution*, 195, 232. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.09.008>
- Marpaung, Y. M. (2012). *Pengaruh Paparan Debu Respirable PM2.5 Terhadap Kejadian Gangguan Fungsi Paru Pedagang Tetap di Terminal Terpadu Kota Depok Tahun 2012*. 70.
- Naura Sepridha Nabilla, Nurjazuli, H. L. D. (2018). HUBUNGAN PAPARAN DEBU TERHIRUP DENGAN GANGGUAN FUNGSI PARU PADA MASYARAKAT BERISIKO DI JALAN PROF. SOEDARTO SEMARANG. *JURNAL KESEHATAN MASYARAKAT (e-Journal)*, 6(6), 269–278. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Novirsa, R., Achmadi, U., & Fahmi. (2012). Analisis Risiko Paparan PM_{2,5} di Udara Ambien Siang Hari terhadap Masyarakat di Kawasan Industri Semen Risk Analysis of PM_{2,5} Exposure in Ambien Air at Noon towards Community in Cement Industrial Estate. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, 7(4), 173–179.
- Organization, W. H. (2015). *World Health Statistic 2015*. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2013.0625>
- Radulescu, C., Iordache, S., Dunea, D., Stih, C., & Dulama, I. D. (2015). Risks assessment of heavy metals on public health associated with atmospheric exposure to PM_{2.5} in urban area. *Romanian Journal of Physics*, 60(7–8), 1171–1182.
- Ritchie H, R. (2019). *Mental Health*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/mental-health>
- Saputra, R. A., Suwondo, A., Jayanti, S., Keselamatan, B., & Masyarakat, F. K. (2016). Hubungan Paparan Debu Kapas Dan Karakteristik Individu Dengan Gejala Penyakit Bisinosis Pada Pekerja Spinning 1 Pt. X Kabupaten Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro*, 4(4), 738–746.
- Sukadi. 2014. Analisis Risiko Kesehatan Paparan PM₁₀ dan SO₂ di Kelapa Gading Jakarta Utara Tahun 2014. Tugas Akhir. Program S1 Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia. Depok.
- Tambunan, L. T. (2019). *Transportasi Darat Penyumbang Terbesar Polusi Udara di Jakarta*. Beritasatu.Com. <https://www.beritasatu.com/megapolitan/565361/transportasi-darat-penyumbang-terbesar-polusi-udara-di-jakarta>
- Thirafi, H. (2019). *Data BMKG Menjelaskan Penurunan Kualitas Udara di Jakarta Biasa Terjadi Saat Musim Kemarau*. <https://www.bmkg.go.id/press-release/?p=data-bmkg-menjelaskan-penurunan-kualitas-udara-di-jakarta-biasa-terjadi-saat-musim-kemarau&tag=press-release&lang=ID>
- Umar, P. R. H. (2013). FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KAPASITAS PARU PETERNAK AYAM. In *Universitas Negeri Gorontalo*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- WAQI. (2019). *Polusi Udara Dunia: Indeks Kualitas Udara Real-time*. Waqi.Info. <https://waqi.info/id/#/c/3.25/9.091/1.8z>
- WHO. (2015). *Exposure to Air Pollution: A Major Public Health Concern*. Int. https://www.who.int/ipcs/features/air_pollution.pdf
- Wijarti, K., Darundiati, Y. H., & Dewanti, N. A. Y. (2016). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Sulfur Dioksida (So₂) Udara Ambien Pada Pedagang Kaki Lima Di Terminal Bus Pulogadung, Jakarta Timur. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro*, 4(4), 983–991.
- Xing, Y. F., Xu, Y. H., Shi, M. H., & Lian, Y. X. (2016). The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*, 8(1), E69–E74. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19>

- Yuliawati, R. (2015). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Pembuat Kasur (Studi Kasus Di Desa Banjarkerta Karanganyar Purbalingga). *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 1(2), 154–158.
- Zhang, Y., Tao, S., Shen, H., & Jianmin, M. (2009). Inhalation exposure to ambient polycyclic aromatic hydrocarbons and lung cancer risk of Chinese population. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(50), 21063–21067. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905756106>