

## Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan PM<sub>10</sub> Di Lingkungan Pertambangan: Studi di Dusun Kapuran Gunung Sadeng, Jember

*(Environmental Health Risk Analysis of PM<sub>10</sub> Exposure in Mining Area: Study in Mountain Sadeng Kapuran, Jember Regency)*

R Moh Dimas Maulana, Khoiron  
Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember  
Jl. Kalimantan No. 37 Jember, Indonesia, 68121  
e-mail: khoiron@unej.ac.id

### **Abstract**

*Air pollution increases with city development, which leads to an increase in domestic and industrial activity, including an increase in particulate matter 10 (PM<sub>10</sub>) pollutants. Kapuran is located less than 20 meters from the limestone mining industry, where the community is potentially exposed to pollutants, especially PM<sub>10</sub>. This was an observational descriptive study to analyze the health risk of people in Kapuran. The study used 63 respondents who lived in Kapuran. Data were collected by interviews and direct measurements of air samples which were taken at 6 locations, i.e., 3 locations at community residential areas and 3 locations at the main road of community access and mining vehicles. Air sampling is carried out for 1 hour at each location. The PM<sub>10</sub> air measurements are at a minimum of 0.060 mg/m<sup>3</sup> at the first location and a maximum of 0.091 mg/m<sup>3</sup> at the third location. The PM<sub>10</sub> exposure are at a maximum of 0.0173, indicating an unsafe limit. The risk characteristics (RQ) calculation showed there were 11 respondents who had an RQ value of more than 1 meaning an unsafe health risk.*

**Keywords:** *environmental health risk analysis, mining, particulate matter*

### **Abstrak**

Polusi udara meningkat seiring dengan perkembangan kota dan ini menyebabkan peningkatan aktivitas domestik dan industri, termasuk meningkatnya polutan *particulate matter* 10 (PM<sub>10</sub>). Dusun Kapuran terletak kurang dari 20 meter dari industri pertambangan batu kapur, sehingga masyarakat sekitar Dusun Kapuran berpotensi terpapar polutan terutama PM<sub>10</sub>. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis tingkat risiko kesehatan masyarakat di Dusun Kapuran. Penelitian ini menggunakan desain deskriptif observasional dengan 63 responden masyarakat yang bertempat tinggal di Dusun Kapuran. Data dikumpulkan dengan wawancara dan pengukuran sampel udara secara langsung yang diambil di 6 titik lokasi, yaitu 3 titik di kawasan pemukiman dan 3 titik di jalan utama akses masyarakat dan kendaraan pertambangan. Pengambilan sampel udara dilakukan selama 1 jam di setiap titik. Hasil pengukuran udara PM<sub>10</sub> minimal sebesar 0,060 mg/m<sup>3</sup> di titik pertama dan nilai maksimal sebesar 0,091 mg/m<sup>3</sup> di titik ketiga. Hasil perhitungan paparan PM<sub>10</sub> maksimal terbesar 0,0173 berada di batas tidak aman. Hasil karakteristik risiko menunjukkan terdapat 11 responden yang memiliki nilai karakterisasi risiko (RQ) >1 yang artinya memiliki risiko tidak aman.

**Kata kunci:** analisis risiko Kesehatan lingkungan, pertambangan, *particulate matter*

## Pendahuluan

Pencemaran udara merupakan salah satu masalah lingkungan. Polusi udara meningkat seiring dengan perkembangan kota dan ini menyebabkan peningkatan aktivitas domestik dan industri. Emisi polusi udara meningkat setiap tahun. Persatuan Dokter Paru Indonesia (PDPI) menunjukkan bahwa polusi udara di Indonesia memiliki berhubungan dengan permasalahan kesehatan paru seperti penurunan fungsi paru (21-24%), asma (1,3%), PPOK (prevalensi 6,3% pada bukan perokok) dan 4% dari kasus kanker paru-paru. Beberapa kota di Indonesia bahkan termasuk dalam daftar 50 kota dengan kualitas udara terburuk di Asia Tenggara menurut IQAir, seperti Tangerang Selatan, Bekasi, Pekanbaru Pontianak dan Jakarta [1].

Dusun Kapuran merupakan salah satu dusun yang berbatasan langsung dengan pertambangan terbesar yang berada terletak di Desa Grenden Kecamatan Puger Kabupaten Jember. Masyarakat tinggal di Dusun Kapuran berpeluang terpapar oleh polutan debu yang berasal dari aktivitas pertambangan terutama akses jalan yang dilewati oleh kendaraan pertambangan. Wilayah industri dan pertambangan memiliki kondisi lingkungan yang biasanya memiliki pencemaran tinggi (Satriyani, 2013). Paparan terhadap *particulate matter* (PM) dikaitkan dengan peningkatan risiko masalah pernapasan, penyakit kardiovaskular dan penyakit paru-paru [2].

Debu yang kapur yang berasal di dalam tambang banyak mencemari lingkungan sekitar yang berakibat warga banyak yang mengalami penyakit ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut). Gejala yang biasa terjadi pada penderita ISPA antar lain hidung tersumbat, pilek, batuk, sesak napas, radang tenggorokan, nyeri kepala [3]. Data yang berasal dari Puskesmas Puger didapatkan penderita ISPA pada bulan Januari sampai dengan Agustus tahun 2022 didapatkan Usia (<1 tahun) sebanyak 31 orang atau 72,3%, usia (1-5 tahun) sebanyak 41,83% atau sebanyak 19 orang dengan total penderita ISPA di puskesmas Puger sebanyak 50 orang. Berdasarkan studi pendahuluan yang telah dilakukan maka perlu dilakukan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan pada masyarakat Dusun Kapuran.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan pada masyarakat Dusun Kapuran. Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) berperan sebagai alat untuk melindungi masyarakat dari penyakit [4]. Analisis Risiko Kesehatan terdapat empat tahap, yaitu Identifikasi bahaya

mengetahui jenis bahaya dari suatu sumber, Analisis dosis-respon bertujuan untuk menemukan nilai dosis referensial, Analisis paparan mengukur atau menghitung paparan faktor risiko, Karakterisasi risiko digunakan untuk menetapkan suatu tingkat risiko yang berasal dari paparan agen risiko [8].

Berdasarkan besar dampak yang timbul akibat paparan *Particulate Matter 10* maka diperlukan penelitian ini dengan tujuan untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan dengan risk agent *Particulate Matter 10* di Dusun Kapuran.

## Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah deskriptif observasional untuk menggambarkan atau mendeskripsikan tentang suatu keadaan secara objektif [5]. Penelitian menggunakan langkah Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan, yaitu menilai tingkat risiko masyarakat terhadap paparan *particulate matter* (PM<sub>10</sub>) di sekitar daerah pertambangan batu kapur .

Penelitian dilakukan pada permukiman dalam radius 20-meter dari pertambangan batu kapur yang berada di Dusun Kapuran Desa Grenden Kecamatan Puger Kabupaten Jember. Pengukuran sampel udara untuk mengukur konsentrasi *particulate matter* (PM<sub>10</sub>). Pengukuran dilakukan di 6 titik lokasi yang tersebar di Dusun Kapuran.

Data juga dikumpulkan dari responden penelitian, yaitu penduduk yang tinggal di Dusun Kapuran Desa Grenden Kecamatan Puger Kabupaten Jember. Responden dipilih dengan teknik *simple random sampling* sebanyak 63 orang.

## Hasil

Dusun Kapuran merupakan salah satu dusun yang terletak di Desa Grenden Kecamatan Puger Kabupaten Jember. Desa Grenden dikenal sebagai desa dengan penghasil batu kapur dan wilayah pertambangan kapur terbesar di Kabupaten Jember. Tahap pertama dari analisis risiko adalah identifikasi bahaya. Risk agent yang akan diidentifikasi adalah *Particulate Matter 10*. Identifikasi PM<sub>10</sub> dengan mengukur konsentrasinya di udara di 6 titik lokasi jalan raya dan gang permukiman masyarakat. Hasil pengukuran didapatkan bahwa konsentrasi PM<sub>10</sub> minimal sebesar 0,060 mg/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>) sedangkan konsentrasi maksimal sebesar 0,091 (mg/m<sup>3</sup>).

**Karakteristik responden**

Data karakteristik responden penelitian ini ditunjukkan pada table 1.

Table 1. Karakteristik Responden

Pola Aktivitas	Nilai
Berat badan rata-rata (W <sub>b</sub> )	55 kg
Pajanan Harian (tE)	8 jam
Frekuensi Paparan (fE)	365 hari
Laju inhalasi (R)	0,83 m <sup>3</sup> /jam

Nilai pajanan harian (tE) dan durasi pajanan (Dt) diperoleh dari survey sedangkan frekuensi pajanan (fE) dihitung dengan mengurangi waktu satu tahun (365 hari) dengan lama responden meninggalkan lokasi penelitian. Nilai R ditentukan menggunakan nilai default EPA untuk dewasa. Nilai Dt digunakan untuk menghitung jumlah asupan (I) *realtime* atau saat penelitian dilakukan sedangkan untuk pajanan sepanjang hayat atau *lifetime* menggunakan nilai default EPA 30 tahun.

Intake PM<sub>10</sub> yang diterima populasi dihitung menggunakan persamaan :

$$I = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

Hasil perhitungan *intake* (I) diperoleh berdasarkan nilai Pajanan harian (t<sub>e</sub>) dan Durasi Pajanan (D<sub>t</sub>) yang diperoleh dari hasil wawancara. Nilai R menggunakan nilai *default* EPA 0,83 m<sup>3</sup>/jam untuk dewasa yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai *intake*. Hasil perhitungan *intake* yang dilakukan kepada 63 responden diperoleh nilai *intake* minimal tertinggi pada berat badan 35 kg sebesar 0,0114, *intake* maksimal terbesar adalah pada berat badan 35 kg sebesar 0,0173 dan *intake* rata-rata terbesar adalah pada berat badan 35 kg sebesar 0,0142.

**Karakterisasi Risiko (RQ)**

Data karakterisasi risiko (RQ) dari responden dusun kapuran sebagai berikut:

Table 2. Perhitungan Intake Responden Dusun Kapuran Tahun 2023

NO	PERHITUNGAN INTAKE			
	Berat Badan	I <sub>min</sub>	I <sub>max</sub>	I <sub>rata-rata</sub>
1	35 kg	0,0114	0,0173	0,0142
2	43 kg	0,0093	0,0141	0,0116
3	45 kg	0,0089	0,0134	0,0111
4	47 kg	0,0085	0,0129	0,0106
5	48 kg	0,0083	0,0126	0,0104
6	49 kg	0,0081	0,0123	0,0102
7	50 kg	0,0080	0,0121	0,0100
8	51 kg	0,0078	0,0118	0,0098
9	52 kg	0,0077	0,0116	0,0096
10	53 kg	0,0075	0,0114	0,0094
11	54 kg	0,0074	0,0112	0,0092
12	55 kg	0,0072	0,0110	0,0091
13	56 kg	0,0071	0,0108	0,0089
14	57 kg	0,0070	0,0106	0,0087
15	58 kg	0,0074	0,0094	0,0073
16	60 kg	0,0066	0,0101	0,0083
17	65 kg	0,0061	0,0093	0,0077
18	67 kg	0,0059	0,0090	0,0074
19	68 kg	0,0059	0,0089	0,0073
20	70 kg	0,0057	0,0086	0,0071
21	75 kg	0,0053	0,0081	0,0066
22	80 kg	0,0050	0,0076	0,0062
16	60 kg	0,0066	0,0101	0,0083
17	65 kg	0,0061	0,0093	0,0077
18	67 kg	0,0059	0,0090	0,0074
19	68 kg	0,0059	0,0089	0,0073
20	70 kg	0,0057	0,0086	0,0071
21	75 kg	0,0053	0,0081	0,0066
22	80 kg	0,0050	0,0076	0,0062

$$RQ = \frac{Ink}{RfD/RfC}$$

Table 3 Perhitungan Karakterisasi Risiko Dusun Kapuran Tahun 2023

PERHITUNGAN KARAKTERISASI RISIKO				
NO	Berat Badan	RQ <sub>min</sub>	RQ <sub>max</sub>	RQ <sub>rata-rata</sub>
1	35 kg	0,8	1,2	0,9
2	43 kg	0,6	0,9	0,8
3	45 kg	0,6	0,9	0,7
4	47 kg	0,6	0,9	1,4
5	48 kg	0,6	0,8	0,7
6	49 kg	0,5	0,8	0,7
7	50 kg	0,5	0,8	1,9
8	51 kg	0,5	0,8	1,5
9	52 kg	0,5	1,2	0,6
10	53 kg	0,5	0,8	0,6
11	54 kg	0,5	0,7	1,5
12	55 kg	0,5	0,7	0,6
13	56 kg	0,5	0,7	1,6
14	57 kg	0,5	0,7	0,6
15	58 kg	0,6	0,6	1,5
16	60 kg	0,4	0,7	2,3
17	65 kg	0,4	0,6	1,9
18	67 kg	0,0	0,6	0,5
19	68 kg	0,4	0,6	1,5
20	70 kg	0,4	0,6	0,5
21	75 kg	0,4	0,5	0,4
22	80 kg	0,3	0,5	0,4

Hasil perhitungan Karakterisasi Risiko (RQ) pada RQ maksimal terbesar terdapat 1 kategori berat badan yang melebihi nilai batas RQ>1 pada berat badan 35 kg sebesar 1,2, sedangkan untuk Karakterisasi Risiko (RQ) rata-rata terbesar terdapat 9 katategori berat badan yang melebihi RQ>1 yakni pada berat badan 47 kg sebesar 1,4, berat bada 50 kg sebesar 1,9, berat badan 51 sebesar 1,5, berat badan 54 kg sebesar 1,5, berat badan 56 sebesar 1,6, berat badan 58 sebesar 1,5, berat badan 60 kg sebesar 2,3, berat badan 65 kg sebesar 1,9 dan berat badan 68 kg sebesar 1,5.

### Manajemen Risiko

Berdasarkan hasil Karakterisari Risiko didapatkan nilai RQ>1 maka perlu dilakukan manajemen risiko untuk meminimalkan RQ dengan mengubah nilai faktor-faktor pemajanan

yang tercakup. Berikut cara untuk manajemen resiko:

1. Konsentrasi Aman PM 10  

$$C_{nk}(\text{aman}) = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{\frac{R \times tE \times fE \times Dt}{0,015 \times 55 \times 10950}}$$

$$= \frac{0,83 \times 8 \times 350 \times 30}{9033,75} = 0,12 \text{ mg/m}^3$$
2. Waktu Paparan Aman  

$$t_e(\text{aman}) = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{C \times R \times fE \times Dt}$$

$$= \frac{0,075 \times 0,83 \times 350 \times 30}{9033,75} = 13,8 \text{ jam/hari}$$
3. Durasi Paparan Aman  

$$D_t(\text{aman}) = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{C \times R \times fE \times tE}$$

$$= \frac{0,075 \times 0,83 \times 8 \times 350}{9033,75} = 174,5$$
4. Frekuensi Paparan Aman  

$$F_e(\text{aman}) = \frac{RfC \times Wb \times tavg}{C \times R \times tE \times Dt}$$

$$= \frac{0,075 \times 0,83 \times 8 \times 30}{9033,75} = 6,04$$

### Pembahasan

Hasil pengukuran sampel udara dengan indikator *Particulate Matter* (PM<sub>10</sub>) menunjukkan hasil terdapat 2 titik pengambilan sampel yang berada di lingkungan masyarakat dan dilajjan raya Dusun Kapuran memiliki konsentrasi tinggi yakni 91 µg/m<sup>3</sup> dan 86 µg/m<sup>3</sup>. Sedangkan terdapat 2 titik lain yakni dua titik jalan raya Dusun Kapuran memiliki hasil 73 µg/m<sup>3</sup>. Dua titik terakhir di permukiman masyarakat menunjukkan hasil 67 µg/m<sup>3</sup> dan 60 µg/m<sup>3</sup>. Pengambilan sampel udara dilakukan di 6 titik yang tersebar Dusun Kapuran. Titik pengambilan sampel terbagi menjadi 2 bagian yakni di 3 titik daerah permukiman masyarakat dan di 3 titik sepanjang Dusun Kapuran yang dilintasi oleh kendaraan dari pertambangan. Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 09.00 yang mana dijam tersebut aktivitas masyarakat dan juga kendaraan dari pabrik sedang tinggi [13]. Baku mutu yang digunakan sebagai acuan pengambilan sampel udara *Particulate Matter* (PM<sub>10</sub>) adalah Peraturan Pemerintah Republik

Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VII tentang Baku Mutu Udara Ambien yakni sebesar 75 µg/m<sup>3</sup> dengan pengukuran selama 24 jam.

Hasil penelitian Mursinto & Kusumawardani (2016) Dari berbagai jenis zat pencemar udara, benda partikulat atau particulate matter berdiameter 10 mikron (PM<sub>10</sub>) mendapatkan perhatian khusus karena dinilai memiliki pengaruh lebih besar terhadap gangguan kesehatan manusia dibandingkan dengan zat-zat pencemar lainnya PM<sub>10</sub> dapat dijadikan sebagai wakil dari zat-zat pencemar lain [14]. Paparan PM<sub>10</sub> telah diidentifikasi sebagai penyebab berbagai efek kesehatan termasuk penyakit kardiovaskular dan pernapasan. Selain itu, PM<sub>10</sub> baru-baru ini diklasifikasikan sebagai karsinogenik bagi manusia karena peningkatan risiko kanker paru-paru dikaitkan dengan peningkatan tingkat paparan PM<sub>10</sub> [6].

Penentuan analisis paparan dilakukan dengan menghitung jumlah asupan agen risiko yang masuk tubuh melalui inhalasi. Intake dinyatakan sebagai jumlah paparan yang diterima oleh individu per kilogram berat badan per hari. Intake paparan dihitung secara *lifetime*. Berdasarkan hasil observasi rata-rata umur responden 43-54 tahun, rata-rata berat badan (W<sub>b</sub>) 51-65 kg, waktu paparan (tE) 10 tahun, lama paparan dalam harian (fE) adalah 8 jam/hari. Berdasarkan rumus asupan (*intake*) berat badan berbanding terbalik dengan besarnya asupan. Berdasarkan penelitian Gusti, et al (2018) Apabila faktor lain dianggap konstan dapat disimpulkan, semakin besar berat badan seseorang maka akan semakin kecil nilai asupan yang diterimanya begitupun sebaliknya semakin kecil berat badan maka semakin besar nilai asupan yang diterima [15]. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus asupan (*intake*) didapatkan hasil analisis paparan sebagai berikut hasil Hasil perhitungan *intake* yang dilakukan kepada 63 responden diperoleh nilai *intake* minimal tertinggi pada berat badan 35 kg sebesar 0,0114, *intake* maksimal terbesar adalah pada berat badan 35 kg sebesar 0,0173 dan *intake* rata-rata terbesar adalah pada berat badan 35 kg sebesar 0,0142. Semakin lama durasi paparan harian, frekuensi paparan tahunan, dan waktu responden yang terpajan agen risiko, maka semakin besar nilai asupan (*intake*) yang diterima orang tersebut dan semakin berisiko terhadap gangguan kesehatan akibat paparan risk agent tersebut.

Nilai besarnya risiko responden berdasarkan *intake* yang diterima (RQ) dalam penelitian ini dengan nilai RfC PM<sub>10</sub> yaitu sebesar

0,015 mg/kg/hari. Hasil perhitungan Karakterisasi Risiko (RQ) maksimal terdapat berat badan yang melebihi nilai batas RQ>1 pada berat badan 35 kg sebesar 1,2, sedangkan untuk Karakterisasi Risiko (RQ) rata-rata terbesar terdapat 9 kategori berat badan yang melebihi RQ>1. Hal ini sangat berbahaya bagi manusia sebab partikel padat yang lebih kecil yakni 1-3 mikron dapat selaput lendir atau permukaan paru-paru Partikel kecil dapat mencapai alveoli yang dimana di alveoli akan terjadi proses pengendapan, Pengendapan pada alat pernapasan menyebabkan organ pernapasan tersebut tidak dapat bekerja normal, yang mengganggu saluran udara [9].

Pengelolaan Risiko merupakan sebuah langkah yang harus dilakukan ketika hasil dari Karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko tidak aman [12]. Penerapan pengelolaan risiko di lingkungan dalam pengendalian pencemaran udara dapat berupa penambahan ruang terbuka hijau, evaluasi kebijakan di pemerintah setempat untuk mengurangi pencemaran yang ada. Pengendalian pencemaran udara perlu diterapkan dan ditegakkan secara ketat bagi industri untuk konsentrasi pencemaran udara di daerah pemukiman sekitarnya [11]. Dalam penelitian Pangestika (2021) 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 dan Saran

Hasil pengukuran kualitas udara yang dilakukan di Dusun Kapuran Desa Grenden Kecamatan Puger selama 1 jam terdapat 2 titik lokasi yang menunjukkan hasil pengukuran tertinggi, yaitu titik B 91 µg/m<sup>3</sup> dan titik C 86 µg/m<sup>3</sup>. Sedangkan hasil analisis paparan pada 63 responden diperoleh nilai *intake* minimal sebesar 0,0114 dan maksimal 0,0173 dan *intake* rata-rata 0,0142. Dan terdapat 11 responden memiliki nilai karakterisasi risiko (RQ) >1 yang artinya memiliki risiko tidak aman.

Pengelolaan risiko dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan yaitu pendekatan teknologi, sosial ekonomi, dan institusional. Pendekatan Teknologi berupa filter sederhana pada cerobong tungku pembakaran gamping, melakukan penghijauan agar dapat menyerap polusi yang timbul, penyiraman roda kendaraan yang keluar dari pabrik. Pendekatan sosial-ekonomi dapat berupa pemberian kompensasi

terhadap masyarakat sekitar pertambangan, pemberdayaan masyarakat yang berisiko. Pendekatan institusional dapat berupa kerja sama dengan pihak pemerintah setempat agar dapat mengatur volume kendaraan yang melintasi di jalan Dusun Kapuran, melakukan pelaporan kepada instansi terkait pencemaran yang terjadi. 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

### Daftar Pustaka

- [1] Herlina MFKO. Air Pollution CISDI Report 2021. Laporan Dan Analisa Pencemaran Udara Di Indonesia, 2021.
- [2] Sembiring, ETJ Risiko Kesehatan Paparan Pm<sub>2,5</sub> Di Udara Ambien Pada Pedagang Kaki Lima Di Bawah Flyover Pasar Pagi Asemka Jakarta. Jurnal Teknik Lingkungan, 2020;26(1): 101–120. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2020.26.1.7>
- [3] Budhyanti W, Lisnaini, Chandra M. Penanganan Infeksi Saluran Pernafasan Atas (ISPA) Pada Anak. 2021. Universitas Kristen Indonesia.
- [4] Soemirat J. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan. 2013. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [5] Sugiyono D. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D. 2013. Penerbit Alfabeta. Bandung.
- [6] De Donno A, De Giorgi M, Bagordo F, Grassi T, Idolo A, Serio F, et al., Health risk associated with exposure to PM<sub>10</sub> and benzene in three Italian towns. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018: 15(8): 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081672>.
- [7] WHO, WHO global air quality guidelines. 2021.
- [8] Notoatmodjo S. Metodologi Penelitian Kesehatan. 2018. RINEKA CIPTA. Jakarta.
- [9] Sooktawee S, Kanabkaew T, Boonyapitak S, Patpai A, Piemyai N. Characterising particulate matter source contributions in the pollution control zone of mining and related industries using bivariate statistical techniques. Scientific Reports, 2020;10(1): 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78445-5>
- [10] Wahyuni EDYH, Setiani O. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Gas Karbon Monoksida Pada Pedagang Kaki Lima (Studi Kasus Jalan Setiabudi Semarang). Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal), 2018; 6(6):87–93.
- [11] Rykowski R, Brochu A. Diesel Particulate Emissions: The United States, Europe and Japan. 2018;11(1): 1–62. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/94003XYX.PDF?Dockey=94003XYX.PDF>.
- [12] Kementerian Kesehatan Direktorat Jenderal PP dan PL: Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). 2012.
- [13] Hidayat A, Inaku R, Novianus C. Pengaruh Pencemaran Udara PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub> Terhadap Keluhan Pernapasan Anak di Ruang Terbuka Anak di DKI Jakarta The Effect of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> Air pollution on Complaints of Children's Respiration in Children's Open Space in DKI Jakarta. 2020;5: 9–16.
- [14] Pamungkas ER, Sulistiyani, Raharjo M. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Arkl) Akibat Paparan Karbon Monoksida (Co) Melalui Inhalasi Pada Pedagang Di Sepanjang Jalan Depan Pasar Projo Ambarawa Kabupaten Semarang. Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal), 2017;5(5): 824–831.
- [15] Budiyo A. Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. Dirgantara, 2010;2(1): 21–27.