

Evaluasi Polusi Udara PM_{2.5} dan PM₁₀ di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut

Ismail Wellid¹, Luga Martin Simbolon^{1*}, Muhamad Anda Falahuddin¹, Nita Nurfitriani¹, Kasni Sumeru¹, Mohamad Firdaus bin Sukri², Nani Yuningsih¹.

¹ Jurusan Teknik Refrigerasi & Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559, Indonesia

² Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Melaka 76100, Malaysia

* Corresponding author: lugamartin@polban.ac.id

Info Artikel: Diterima 22 Agustus 2023 ; Direvisi 15 November 2023 ; Disetujui 15 Januari 2024

Tersedia online : 29 Januari 2024 ; Diterbitkan secara teratur : Juni 2024

Cara sitasi: Wellid I, Simbolon LM, Falahuddin MA, Nurfitriani N, Sumeru K, bin Sukri MF, Yuningsih N. Evaluasi Polusi Udara PM_{2.5} dan PM₁₀ di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2024 Jun;23(2):128-136. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.2.128-136>

ABSTRAK

Latar belakang: Polusi udara PM_{2.5} dan PM₁₀ adalah salah satu polutan utama di kota-kota besar, termasuk di Kota Bandung. Salah satu dampak negatif dari polusi PM_{2.5} dan PM₁₀ adalah meningkatnya kasus infeksi saluran pernafasan akut (ISPA) di wilayah terdampak. Untuk itu, penelitian ini bertujuan mengkaji kaitan antara konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ di kota Bandung dengan jumlah kasus ISPA yang tercatat di puskesmas yang berdekatan dengan lokasi pengujian.

Metode: Pengukuran PM_{2.5} dan PM₁₀ dilakukan di tiga lokasi, dua di pusat kota, yaitu di Monumen 0 km dan Alun-alun, serta satu di Bandung utara (Di depan Terminal Dago). Pengambilan data dilakukan selama tujuh hari dari jam 08.00 hingga 16.00.

Hasil: Hasil pengukuran menunjukkan bahwa urutan konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ dari yang tertinggi ke terendah adalah di Alun-alun, Monumen 0 km dan Terminal Dago. Secara umum konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ di tiga lokasi masih di bawah baku mutu bila mengacu PPRI Nomor 22 tahun 2021, kecuali beberapa hari di Alun-alun. Namun bila mengacu pada standar dari WHO, konsentrasi PM_{2.5} di semua lokasi telah melebihi baku mutu, sedangkan untuk PM₁₀, ada hari-hari tertentu yang di atas baku mutu. Ini artinya bila mengacu pada standard WHO, Kota Bandung darurat PM_{2.5}, karena di semua lokasi pengukuran menunjukkan konsentrasi PM_{2.5} telah di atas baku mutu dari WHO.

Simpulan: Berdasarkan data kasus ISPA dari puskesmas di wilayah pengukuran menunjukkan terjadi kebalikan, dimana jumlah kasus ISPA paling banyak terjadi di daerah Dago meskipun konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀-nya yang paling rendah. Kasus ISPA di pusat kota tidak sebanyak di puskesmas Dago. Diduga hal ini disebabkan masyarakat yang tinggal di pusat kota tidak banyak yang berobat di Puskemas, sedangkan masyarakat yang tinggal di daerah Dago lebih banyak yang berobat ke Puskesmas di wilayahnya.

Kata Kunci: polusi udara; Kota Bandung; ISPA; baku mutu udara

ABSTRACT

Title: Evaluation of PM_{2.5} and PM₁₀ Air Pollution in Bandung City and its Relation to Acute Respiratory Infection

Background: PM_{2.5} and PM₁₀ are two main pollutants in big cities like Bandung. The negative effects of the pollution caused by PM_{2.5} and PM₁₀ has been a rise in the frequency of acute respiratory infections (ARI).

Therefore, this study aims to assess the correlation between PM2.5 and PM10 concentrations in Bandung city and the number of ARI cases recorded at the Puskesmas adjacent to the test site.

Methods: PM10 measurements were made in three places: one in northern Bandung (in front of Dago Terminal), two in the city center (at the 0 km Monument and Alun-alun). Data were collected for seven days, 08.00 to 16.00.

Results: The results show that the order of PM2.5 and PM10 concentrations from highest to lowest is in Alun-alun, 0 km Monument and Dago Terminal. Referring to PPRI number 22 of 2021, PM2.5 and PM10 concentrations at all three locations remain under the standard, except for a few days in Alun-alun. However, compared to WHO guidelines, PM2.5 concentrations are always greater than the standard, but for PM10, only few days may higher than the standard. Having above average PM2.5 concentrations at each measurement, Bandung is considered in emergency state according to WHO guidelines.

Conclusion: Based on measurement data on ARI cases from Puskesmas (Public Health Center), the opposite occurred, the highest number of ARI cases occurred in the Dago area even though the PM2.5 and PM10 concentrations were the lowest. There are not as many ARI cases in the city center. It is suspected that many people who live in the city center didn't seek treatment at the Puskesmas, while more people who live in the Dago area seek treatment at the Puskesmas.

Keywords: air pollution; Bandung city; ARI; air standard

PENDAHULUAN

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Kota Bandung pada tahun 2022 sebanyak 2.527.584 jiwa. Dari sisi kepadatan penduduk, Kota Bandung menempati kedua setelah Jakarta, yaitu sebesar 15.190 jiwa/km² (1). Oleh karena itu Kota Bandung sangat berpotensi akan memiliki kualitas udara dengan status "Tidak Sehat" seperti yang sedang terjadi di Jakarta saat ini. Polusi udara dari PM2.5 dan PM10 adalah polutan yang umum terdapat di kota-kota yang padat penduduknya (2–5). Sumber utama polutan PM2.5 dan PM10 di kota-kota besar berasal emisi kendaraan bermotor, gesekan kanvas rem dan gesekan ban dengan jalan (2). Konsentrasi PM10 udara ambien harian di berbagai kecamatan di Kota Bandung telah dilakukan perhitungan dengan pemodelan menggunakan *Weather Research and Forecasting with Chemical* (WRF-CHEM) oleh Pratama & Sofyan (6). Hasil pemodelannya melaporkan bahwa untuk bulan kering, yaitu bulan Juli, seluruh kecamatan di Kota Bandung tidak ada yang melebihi baku mutu PP No. 21 Tahun 1999, yaitu 150 µg/m³ (PPRI No. 21, 1999) (7). Sedangkan pada bulan basah, yaitu bulan Maret, justru terdapat tiga kecamatan yang konsentrasinya di atas 150 µg/m³, yaitu Kecamatan Rancabolang, Mekarjaya dan Pasirluyu. Namun bila dibandingkan dengan baku mutu udara ambien harian yang baru, yaitu PPRI No. 22 Tahun 2021 (PPRI No. 22, 2021) (8), sebesar 75 µg/m³, maka pada bulan kering, terdapat dua kecamatan yang melebihi baku mutu, yaitu Kecamatan Rancabolang, Mekarjaya dan Cibaduyut (6). Sedangkan pada bulan basah, justru makin banyak kecamatan (lebih dari 10 kecamatan) yang kualitas udara ambiennya di atas baku mutu (6). Dengan kata lain, konsentrasi PM10 di Kota Bandung justru tinggi saat bulan basah. Hal ini disebabkan karena pada kondisi banyak hujan, kecepatan angin relatif kecil, sehingga konsentrasi PM10 lebih terakumulasi cekungan Bandung. Sedangkan pada

bulan kering, kecepatan angin lebih kencang, sehingga menyebabkan terjadinya pengenceran polutan PM10 di udara. Hasil penelitiannya juga melaporkan bahwa pada bulan kering polutan cenderung tersebar ke arah utara dan barat. Sedangkan pada saat bulan basah, polutan cenderung menyebar ke arah selatan dan timur. Menurut Lestari (2016) (9), bila dibandingkan dengan baku mutu tahunan WHO (*World Health Organization*), konsentrasi PM10 di wilayah Kota Bandung telah pada tahap kurang sehat.

Salah satu dampak awal dari polusi PM2.5 dan PM10 adalah iritasi saluran pernafasan akut (ISPA) pada masyarakat yang berada di wilayah terdampak (10–15). Penelitian yang dilakukan oleh Manan *et al.* (10) melaporkan bahwa naiknya konsentrasi PM2.5 dapat meningkatkan jumlah rawat inap 1,1 hingga 1,8, sedangkan naiknya konsentrasi PM10 akan meningkatkan rawat inap 1,007 hingga 1,13. Cheng *et al.* (11) menyatakan bahwa berdasarkan pengujian pada anak-anak yang terpapar oleh PM2.5 dan PM10 akan mengalami peningkatan potensi terkena ISPA. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Ibrahim *et al.* (14) melaporkan bahwa peningkatan kasus ISPA terjadi pada anak-anak yang berdomisili di negara-negara Asia yang berpenghasilan rendah dan menengah akibat konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang melebihi baku mutu. Polutan berbahaya, yaitu *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), dapat terkandung di dalam PM10 (16). Polutan dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan iritasi mata dan bersifat karsinogenik (17–19). Dampak negatif dari tingginya konsentrasi PM2.5 dan PM10 makin dirasakan efeknya pada anak-anak dan ibu-ibu yang sedang mengandung (11,14). Alasan perbedaan PM2.5 dan PM10 adalah berdasarkan persentase pengendapan partikulat di dalam paru-paru. Persentase pengendapan PM2.5 lebih tinggi dibandingkan dengan PM10 (20–22). Partikulat yang mengendap di dalam paru-paru akan diedarkan mengikuti aliran darah ke seluruh organ tubuh.

Dengan kata lain, PM2.5 di udara lebih berdampak buruk bagi kesehatan dibandingkan dengan PM10.

Menyadari akan dampak negatif PM2.5 dan PM10 bagi kesehatan yang cukup serius, maka kajian tentang evaluasi baku mutu PM2,5 dan PM10 di beberapa negara bagian Amerika Serikat terus dilakukan (19). WHO sendiri memperbarui baku mutu untuk PM2.5 dan PM10, dimana pada tahun 2005, baku mutu udara ambien harian untuk PM2.5 dan PM10 adalah 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan untuk tahun 2021, baku mutu udara harian diturunkan menjadi 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (23). Tujuan utama penurunan ambang batas ini adalah untuk menghindari dampak negatif PM2.5 dan PM10 di udara pada kesehatan masyarakat.

Penelitian ini bertujuan mengkaji kaitan antara jumlah kasus ISPA dengan konsentrasi PM2.5 dan PM10 di wilayah pengambilan data di Kota Bandung. Jumlah kejadian ISPA diambil dari data yang terdapat di Puskesmas yang berada terdekat dengan lokasi pengukuran. Berdasarkan penelusuran referensi, penulis belum menemukan atikel yang membahas kaitan antara kejadian ISPA dan kosnentrasi PM2.5 dan PM10 di Kota Bandung. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat digunakan acuan oleh pihak yang berwenang dalam upaya migitasi pencemaran udara ambien PM2.5 dan PM10 di Kota Bandung.

METODE PENELITIAN

Data yang diambil selama pengukuran pada penelitian ini adalah temperatur Tdb (*dry bulb*) dan Twb (*wet bulb*), konsentrasi PM2.5, PM10 dan volume kendaraan yang melintas. Pengambilan data dilakukan beberapa hari pada bulan-bulan basah, yaitu pada Januari hingga Mei 2023. Waktu pengukuran dilaksanakan mulai pukul 08.00 hingga pukul 16.00. Data yang ditampilkan adalah data rata-rata setiap harinya, dari hari senin hingga hari ahad. Lokasi pengambilan data di tiga tempat, dua lokasi di pusat kota, yaitu di Monumen 0 km (Lokasi 1) dan Alun-alun (Lokasi 2), serta satu di Bandung utara, yaitu di depan Terminal Dago (Lokasi 3). Titik 1 berada di wilayah Kecamatan Lengkong, sedangkan titik 2 dan titik 3 berada di Kecamatan Regol dan Coblong. Ketiga lokasi pengambilan data digambarkan pada Gambar 1. Pada gambar terlihat bahwa jarak titik pengukuran 1 dan 2 relatif dekat, yaitu sekitar 400 m, sedangkan jarak titik 2 dengan 3 sekitar 5 km. Pemilihan titik 1 dan titik 2 dikarenakan kedua lokasi tersebut diasumsikan dapat mewakili konsentrasi PM2.5 dan PM10 di pusat Kota Bandung, karena selain lokasinya berada di pusat kota, volume kendaraan yang melintasi di kedua lokasi tersebut juga cukup padat, dan merupakan representatif kepadatan kendaraan bermotor di hampir seluruh Kota Bandung. Sedangkan pemilihan daerah Dago bertujuan melihat konsentrasi PM2.5 dan PM10 di wilayah yang dianggap memiliki konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang lebih rendah di Kota Bandung, selain karena volume kendaraan yang relatif tidak sepadat di

pusat kota, di wilayah Dago juga relatif banyak pepohonan yang rimbun, seperti yang terlihat pada Gambar 1, dimana lokasi 3 relatif berwarna hijau dibandingkan dengan lokasi 1 dan 2. Secara natural, keberadaan tanaman berpotensi menyerap atau mengurangi konsentrasi polutan yang terdapat di udara (24,25).

Untuk mengukur konsentrasi *particulate matter* (PM) berdiameter kurang dari 2.5 μm (PM2.5) dan 10 μm (PM10) di udara digunakan *particle counter* HT-9600. Sedangkan untuk mengetahui kondisi udara pada saat pengukuran digunakan termometer digital, dimana temperatur Tdb (*dry bulb*) dan Twb (*wet bulb*). Dengan mengukur Tdb dan Twb maka dapat ditentukan *relatif humidity* (RH) udara di lokasi pengukuran.

Hasil pengukuran pada ketiga lokasi akan dibandingkan dengan baku mutu udara ambien yang berlaku di Indonesia, yaitu Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI) Nomor 22 Tahun 2021 (PPRI Nomor 22, 2021) (8) dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 (26). Pada PPRI Nomor 22 Tahun 2021 menyebutkan bahwa baku mutu harian untuk PM2.5 dan PM10 adalah 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan PerMenLHK No. P.14/2020 tidak menyebutkan secara kuantitatif pada satu angka tertentu, dalam aturannya berupa kuantitatif Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). ISPU tidak memiliki satuan, namun kuantitas pada ISPU menunjukkan kategori kualitas udara di suatu lokasi. Kategori ISPU berdasarkan PerMenLHK tersebut terlihat seperti pada Tabel 1. Pada tabel terlihat bahwa semakin tinggi nilai ISPU di suatu lokasi, maka semakin tercemar udaranya di wilayah tersebut. Persamaan untuk menghitung nilai ISPU pada lokasi pengukuran berdasarkan data pengukuran di satu lokasi tersebut dinyatakan oleh persamaan (1). Tabel 1 menunjukkan kategori nilai rentang ISPU. Pada tabel terlihat bahwa terdapat 5 (lima) kategori mutu udara ambien. Udara sehat dinyatakan dengan kategori "Baik", kategori di bawahnya menunjukkan kualitas udara mulai menurun. Tidak direkomendasikan bagi masyarakat untuk berada atau mengkhuni di wilayah yang memiliki kualitas udara ambien dengan kategori "Tidak Sehat" hingga "Berbahaya".

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) \quad (1)$$

dimana,

I = Nilai ISPU

I_a = Nilai ISPU batas atas

I_b = Nilai ISPU batas bawah

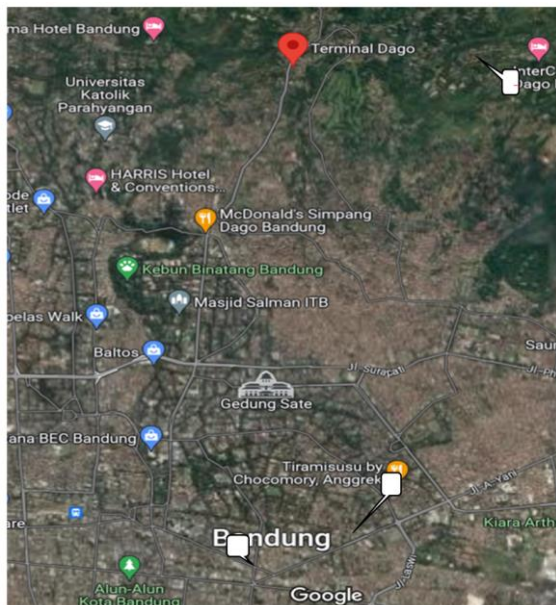
X_a = Konsentrasi ambien batas atas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

X_b = Konsentrasi ambien batas bawah ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

X_x = Konsentrasi hasil pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabel 1. Contoh Penulisan Judul Tabel

Kategori	Status Warna	Angka Rentang
Baik	Hijau	1 – 50
Sedang	Biru	51 -100
Tidak Sehat	Kuning	101 – 200
Sangat Tidak Sehat	Merah	201 – 300
Berbahaya	Hitam	≥ 301



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Data Konsentrasi PM10 di Kota Bandung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi PM10 dan ISPU di Monumen 0 km

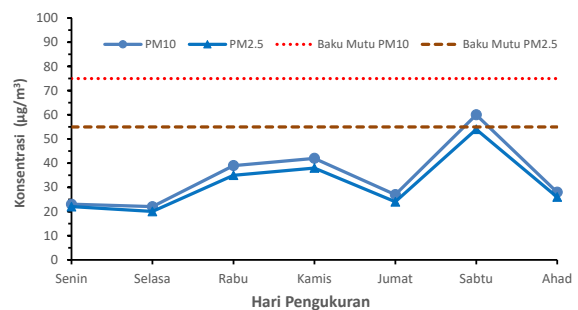
Sebagai lokasi awal pengukuran adalah Monumen 0 km, dimana lokasi ini adalah termasuk salah satu pusat Kota Bandung yang sering dikunjungi oleh pelancong lokal maupun dari luar negeri. Gambar 2 menampilkan konsentrasi PM2.5 dan PM10 di Monumen 0 km selama satu minggu, yaitu dari hari Senin hingga Ahad. Dari gambar dapat dilihat bahwa konsentrasi PM10 sedikit lebih tinggi dari PM2.5 karena selisihnya adalah partikulat berdiameter di atas 2.5 μm dan di bawah 10 μm . Konsentrasi tertinggi PM2.5 dan PM10 terjadi pada hari Sabtu, yaitu sebesar 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini disebabkan karena pada hari Sabtu di lokasi terjadi peningkatan volume kendaraan bermotor yang melintas. Konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Jumat dan Ahad di bawah 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Untuk mengetahui apakah kualitas udara di lokasi Monumen 0 km masih baik atau tidak, maka akan dibandingkan dengan baku mutu nasional yaitu PPRI Nomor 22 tahun 2021 dan baku mutu internasional, yaitu WHO. Menurut PPRI Nomor 22 Tahun 2021, baku mutu konsentrasi harian PM2.5 dan PM10 adalah 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seperti yang terlihat pada Gambar 2. Berdasarkan baku mutu ini maka konsentrasi PM2.5 dan PM10 di lokasi Bandung 0 km masih berada di bawah baku mutu, baik untuk

PM2.5 dan PM10. Perhatian harus diberikan pada hari Sabtu, yaitu konsentrasi PM2.5 mencapai 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hanya beda 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan baku mutu. Artinya, tidak disarankan berada di lokasi Monumen 0 km pada hari Sabtu.

Kondisi berbeda bila konsentrasi PM2.5 dan PM10 di Monumen 0 km dibandingkan dengan baku mutu dari badan kesehatan dunia (WHO) yang dikeluarkan pada tahun 2021. Baku mutu WHO konsentrasi harian PM2.5 dan PM10 adalah 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi PM2.5 di Monumen 0 km selama satu minggu telah di atas baku mutu dari WHO, karena konsentrasinya dari Senin hingga Ahad di atas 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ini artinya konsentrasi PM2.5 di udara di Bandung 0 km kurang aman bila mengacu pada standar dari WHO. Hal ini harus menjadi perhatian pemerintah Kota Bandung agar konsentrasi PM2.5 di lokasi Monumen 0 km berkurang menjadi di bawah baku mutu dari WHO, yaitu 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Salah satu upaya mengurangi konsentrasi PM2.5 di udara adalah menanam pepohonan di lokasi tersebut (24,25). Upaya lainnya adalah mempercepat penggunaan kendaraan listrik, mengingat kendaraan bermotor berbahan bakar bensin maupun solar salah satu penyumbang utama konsentrasi PM2.5 di udara (2,5).

Berbeda dengan PM2.5, konsentrasi PM10 hasil pengukuran di Monumen 0 km selama tujuh hari pengambilan data, sebanyak enam hari konsentrasi PM10 di bawah 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ini artinya selama enam hari dalam satu minggu, konsentrasi PM10 masih di bawah baku mutu WHO. Satu hari dimana terjadi konsentrasi PM10 melebihi baku mutu terjadi pada hari Sabtu, yaitu sebesar 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lebih tinggi 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dari baku mutu WHO. Ini artinya, polutan PM10 belum menjadi pencemar yang mengkhawatirkan di pusat Kota Bandung. Tingginya konsentrasi PM10 pada hari Sabtu dikarenakan pada hari tersebut terjadi lonjakan volume kendaraan yang melintas bila dibandingkan dengan hari-hari lainnya, yaitu sekitar 95-135 unit/menit pada hari Sabtu dan sekitar 55-75 unit/menit pada hari lainnya.



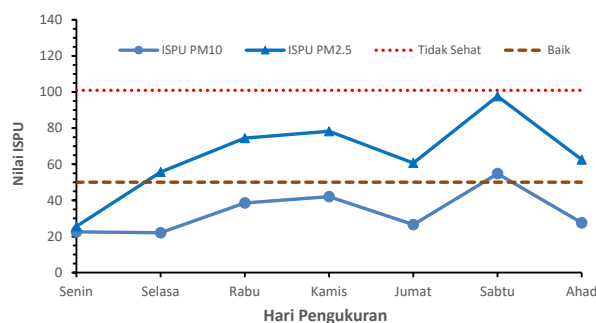
Gambar 2. Konsentrasi PM2.5 dan PM10 di Monumen 0 km

Selanjutnya hasil pengukuran PM2.5 dan PM10 bila dievaluasi menggunakan PerMenLHK No. P.14 Tahun 2020. Pada Peraturan Menteri ini baku mutu bukan berupa konsentrasi polutan tertentu, tapi

yang parameter yang digunakan adalah Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Klasifikasi atau kategori ISPU ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai ISPU untuk PM_{2.5} dan PM₁₀ dihitung dengan persamaan (1) dan berdasarkan data pada hasil pengukuran. Nilai ISPU dikategorikan "Baik" bila nilainya kurang dari 50. Bila nilai ISPU antara 51 hingga 100, maka kondisi udara dikategorikan "Sedang", dan bila ISPU di atas 101, maka kondisi udara tersebut dikategorikan "Tidak Sehat", seperti yang terlihat pada Gambar 3. Pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai ISPU untuk PM₁₀ masih dikategorikan "Baik", karena ISPU-nya masih di bawah 50, kecuali pada hari Sabtu, dikategorikan "Sedang", karena nilai ISPU-nya adalah 54,8. Arti kata "Sedang" di sini bahwa udara di sekitar Monumen 0 km relatif aman untuk dinikmati dalam waktu tertentu, namun tidak disarankan dalam waktu panjang, karena akan berdampak negatif bagi kesehatan (4,26).

Bilai kategori ISPU PM₁₀ selama satu minggu berkategori "Baik" untuk enam hari pengujian dan hanya satu hari, yaitu Sabtu, yang berkategori "Sedang", maka untuk ISPU PM_{2.5}, terjadi yang sebaliknya. Seperti yang terlihat pada Gambar 3, dalam tujuh hari pengambilan data, hanya satu hari yang ISPU PM_{2.5} berkategori "Baik", sisanya masuk ke dalam kategori "Sedang", tidak ada yang masuk ke dalam kategori "Kurang Sehat". Hanya hari Sabtu yang nilai ISPU untuk PM_{2.5} hampir masuk ke kategori "Kurang Sehat". Ini artinya konsentrasi PM_{2.5} di Monumen 0 km harus mendapatkan perhatian dari semua pihak, terutama dari pemerintah Kota Bandung, karena hampir semua hari pengujian, kategorinya telah berada pada "Sedang" dan ada yang kategorinya mendekati "Kurang Sehat".

Konsentrasi harian rata-rata PM_{2.5} dan PM₁₀ di Monumen 0 km selama tujuh hari pengambilan data adalah 31,2 µg/m³ dan 34,4 µg/m³. Dengan kata lain, kandungan partikulat PM₁₀ yang berada di udara di Monumen 0 km adalah 91,0%-nya merupakan PM_{2.5}, dan yang 9,0% adalah partikulat dengan diameter di atas 2,5 µm dan di bawah 10 µm. Hasil rata-rata selama satu minggu pengujian bila dievaluasi menggunakan PPRI Nomor 22 Tahun 2021 ternyata konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ masih di bawah baku mutu. Namun bila dievaluasi menggunakan standar WHO, konsentrasi PM_{2.5} telah di atas baku mutu, sedangkan PM₁₀ masih di bawah baku mutu.



Gambar 3. Nilai ISPU di Monumen 0 km

Konsentrasi PM₁₀ dan ISPU di Alun-alun

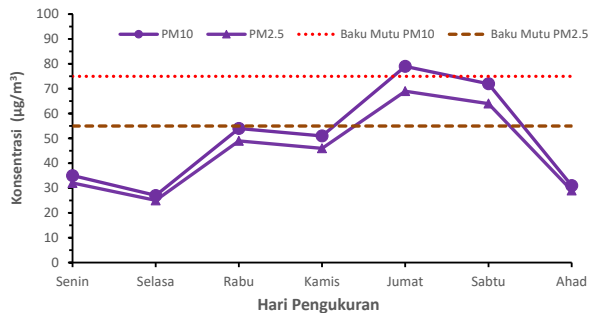
Jarak antara Alun-alun dengan Monumen 0 km sekitar 400 m. Situasi dan kondisi Alun-alun dan Monumen 0 km sedikit berbeda, meskipun terletak dalam satu jalan. Jalan di dekat Monumen 0 km relatif lancar, sedangkan kendaraan yang melintas di sekitar Alun-alun umumnya akan berjalan lambat akibat persimpangan jalan dan volume kendaraan yang cukup tinggi. Tingginya volume kendaraan dan lambatnya laju kendaraan di suatu wilayah akan berpotensi meningkatkan konsentrasi PM_{2.5} maupun PM₁₀ (2). Hal ini akan terbukti dengan hasil pengukuran di lokasi tersebut.

Gambar 4 menampilkan konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ di Alun-alun Bandung. Dapat dilihat bahwa konsentrasi tertinggi terjadi pada hari Jumat. Berbeda dengan konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ di Monumen 0 km, dimana konsentrasi tertingginya terjadi pada hari Sabtu. Hal ini disebabkan pada hari Jumat terjadi peningkatan jumlah orang yang cukup signifikan karena melaksanakan sholat Jumat di Masjid Agung yang terdapat di Alun-alun.

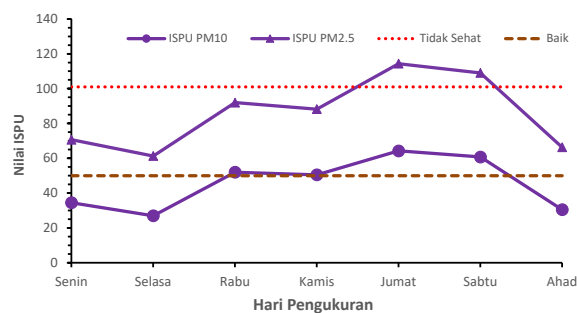
Untuk PM_{2.5}, dari tujuh hari pengambilan data, terdapat dua hari, yaitu Jumat dan Sabtu, yang konsentrasinya di atas baku mutu dari PPRI Nomor 22 Tahun 2021. Penyebabnya pada dua hari tersebut terjadi peningkatan jumlah orang dan kendaraan yang berada di Alun-alun. Bila dievaluasi menggunakan baku mutu dari WHO, konsentrasi selama 1 minggu pengambilan data, konsentrasi PM_{2.5} di udara telah berada di atas baku mutu, karena konsentrasinya semuanya di atas 25 µg/m³, sedangkan baku mutu WHO adalah 15 µg/m³. Sangat kecilnya baku mutu dari WHO untuk PM_{2.5} karena partikulat dengan ukuran sekecil ini sangat berdampak negatif bagi kesehatan dibandingkan dengan PM₁₀ bila masuk ke dalam sistem pernafasan kita (20,21). Untuk itu pemerintah Kota Bandung harus berusaha keras mengurangi konsentrasi PM_{2.5} di Alun-alun. Seperti diketahui, Alun-alun adalah salah satu tempat yang paling sering dikunjungi oleh warga Bandung. Para ahli lingkungan dapat dimintai pertimbangannya dalam upaya mengurangi konsentrasi PM_{2.5} di Alun-alun.

Untuk PM₁₀, dari tujuh hari pengambilan data, hanya satu hari, yaitu hari Jumat, yang konsentrasinya di atas baku mutu. Penyebabnya seperti yang telah dijelaskan pada kasus PM_{2.5}, yaitu pada hari Jumat, jumlah pengunjung yang berada di Alun-alun meningkat tajam akibat melaksanakan sholat Jumat. Bila dievaluasi dengan standar dari WHO, maka konsentrasi pada hari Senin, Selasa dan Ahad yang di bawah baku mutu, sedangkan hari lainnya, yaitu Rabu, Kamis, Jumat dan Sabtu berada di atas baku mutu. Dengan kata lain, dalam seminggu, terdapat tiga hari dimana konsentrasi PM₁₀ nya berada di bawah baku mutu, yaitu mulai ahad hingga selasa, dan terdapat empat hari dimana konsentrasi PM₁₀ di atas baku mutu, yaitu mulai Rabu hingga Sabtu.

Konsentrasi rata-rata PM2.5 dan PM10 di Alun-alun selama tujuh hari pengambilan data adalah 44,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 49,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ini artinya bahwa 90,5% PM10 merupakan partikulat berdiameter kurang dari 2,5 μm (PM2.5). Sedangkan 9,5% adalah partikulat berdiameter di atas 2,5 μm dan kurang dari 10 μm . Konsentrasi rata-rata PM2.5 dan PM10 selama satu minggu bila dievaluasi menggunakan PPRI Nomor 22 Tahun 2021, maka baik PM2.5 dan PM10 masih di bawah baku mutu. Namun bila dievaluasi dengan baku mutu dari WHO, maka baik PM2.5 dan PM10 keduanya telah di atas baku mutu.



Gambar 4. Konsentrasi PM2.5 dan PM10 di Alun-alun



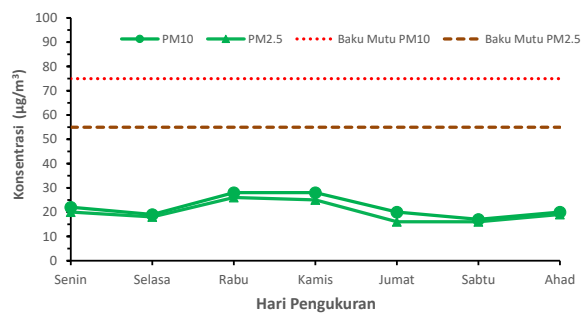
Gambar 5. Nilai ISPU di Alun-alun

Konsentrasi PM10 dan ISPU di Terminal Dago

Pada bagian sebelumnya telah dibahas konsentrasi PM2.5 dan PM10 di dua lokasi di pusat Kota Bandung, yaitu di Monumen 0 km dan di Alun-alun. Pada bagian ini akan dievaluasi konsentrasi PM2.5 dan PM10 di wilayah Bandung Utara, yaitu di depan Terminal Dago. Wilayah Bandung Utara memiliki udara yang sejuk karena terletak di ketinggian, dan banyak terdapat tempat wisata. Oleh karena kepadatan kendaraan di Bandung Utara tidak setinggi dibandingkan dengan pusat kota, sehingga diduga konsentrasi PM2.5 dan PM10-nya lebih rendah bila dibandingkan dengan di pusat kota. Pertimbangan pemilihan lokasi di wilayah Dago selain untuk mengetahui distribusi konsentrasi PM2.5 dan PM10 di lokasi yang relatif jauh dari pusat kota (namun masih dalam wilayah Kota Bandung), juga untuk melihat kualitas udara di tempat yang banyak terdapat lokasi wisata. Daerah Dago di sebelah utara Alun-alun dan berjarak sekitar 5 km dari Alun-alun, memiliki ketinggian 690-730 m di atas permukaan laut. Gambar

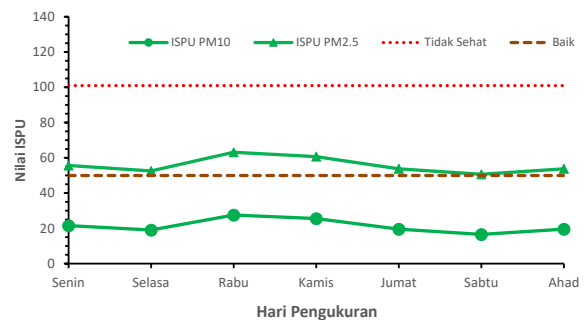
6 melukiskan konsentrasi PM2.5 dan PM10 di depan Terminal Dago. Tampak dari gambar bahwa konsentrasi PM2.5 hampir sama dengan konsentrasi PM10. Ini artinya konsentrasi partikulat di udara lebih dari 92,2% adalah berdiameter kurang dari 2,5 μm . Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 masih relatif jauh di bawah baku mutu berdasarkan PPRI Nomor 22 Tahun 2021.

Bila dibandingkan dengan konsentrasi polutan partikulat di Monumen 0 km dan Alun-alun, maka konsentrasi PM2.5 dan PM10 di depan Terminal Dago jauh lebih rendah. Bila dalam satu minggu pengukuran konsentrasi rata-rata PM2.5 di Monumen 0 km dan Alun-alun adalah 31,3 dan 44,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, konsentrasi di Terminal Dago hanya 19,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ini artinya dugaan awal bahwa daerah Dago memiliki konsentrasi PM2.5 dan PM10 lebih rendah dari pusat kota terbukti. Konsentrasi rata-rata selama satu minggu sebesar 19,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sedikit lebih tinggi dari baku mutu WHO untuk PM2.5.



Gambar 6. Konsentrasi PM2.5 dan PM10 di Terminal Dago

Konsentrasi PM10 rata-rata selama satu minggu pengukuran di Monumen 0 km dan Alun-alun adalah 34,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 49,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan di Dago adalah sebesar 21,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ini artinya polutan PM10 di wilayah Dago masih di bawah baku mutu menurut PPRI Nomor 22 Tahun 2021 dan WHO. Berdasarkan hasil pengukuran selama satu minggu, seperti terlihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa wilayah Dago, dari sisi pencemaran udara, masih aman sebagai tempat wisata keluarga.

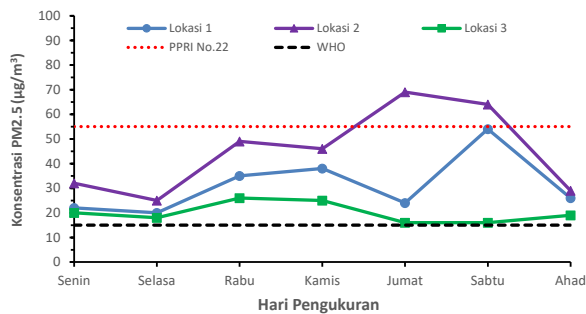


Gambar 7. Nilai ISPU di Terminal Dago

Perbandingan Konsentrasi PM25 dan PM10 di Tiga Lokasi

Untuk mempermudah gambaran tentang perbedaan tingkat konsentrasi PM2.5 dan PM10 di tiga lokasi pengukuran, maka ditampilkan Gambar 8 dan Gambar 9. Pada Gambar 8 terlihat konsentrasi PM2.5 tertinggi di lokasi 1, yaitu Alun-alun dan terendah di lokasi 2, yaitu di Terminal Dago. Baku mutu yang terlihat pada Gambar 8 tersebut mengacu pada PPRI Nomor 22 Tahun 2021 dan WHO tahun 2021, yaitu sebesar $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari gambar dapat dilihat bahwa selama 7 hari pengambilan data, hampir semuanya masih di bawah baku mutu dari PPRI No. 22, kecuali pada Lokasi 2 pada hari Jumat dan Sabtu. Penyebab tingginya konsentrasi PM2.5 pada hari Jumat dan Sabtu di Lokasi 2 (Alun-alun) telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Berdasarkan evaluasi yang telah dijelaskan tersebut, tidak disarankan bagi ibu yang sedang mengandung maupun balita untuk berada di sekitar Alun-alun pada hari Jumat dan Sabtu.

Bila dievaluasi menggunakan baku mutu nasional, polutan PM2.5 masih relatif aman, karena masih di bawah baku mutu. Namun bila mengacu pada standar dari WHO, maka konsentrasi harian PM2.5 telah di atas baku mutu. Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Lestari (9), yang mengatakan bahwa konsentrasi partikulat di wilayah Kota Bandung telah pada tahap kurang sehat. Untuk itu pemerintah Kota Bandung harus berupaya serius agar konsentrasi PM2.5 di wilayah Kota Bandung segera menurun hingga di bawah baku mutu harian WHO.

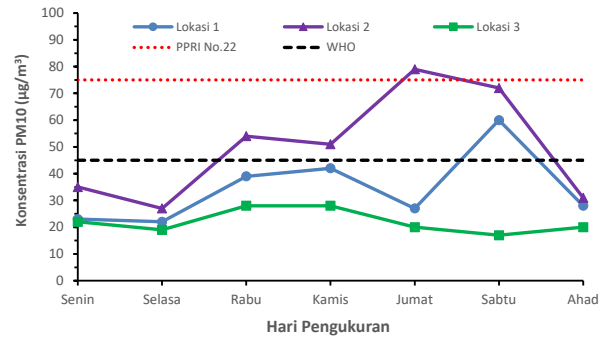


Gambar 8. Perbandingan konsentrasi PM2.5 di Tiga Lokasi Pengujian

Gambar 9 menampilkan konsentrasi PM10 di tiga lokasi dan baku mutu dari PPRI No. 22 dan WHO. Pada gambar terlihat bahwa urutan konsentrasi dari tertinggi hingga terendah adalah di Alun-alun, Monumen 0 km dan Terminal Dago. Mengacu pada baku mutu PPRI No. 22, hampir semua konsentrasi PM10 masih di bawah baku mutu, kecuali pada hari Jumat di lokasi 2 (Alun-alun).

Kondisi berbeda bila dievaluasi menggunakan standar dari WHO, dimana konsentrasi rata-rata harian PM10 dari hari Senin hingga Ahad di Terminal Dago dan di Monumen 0 km masih di bawah baku mutu, kecuali pada hari Sabtu di Monumen 0 km. Sedangkan konsentrasi PM10 di Alun-alun, berada di

atas baku mutu dari Rabu hingga Sabtu. Sedangkan pada hari Ahad, Senin dan Selasa, konsentrasi PM10 di lokasi ini masih di bawah baku mutu. Ini artinya konsentrasi PM10 di Alun-alun saja yang perlu diwaspadai, karena dalam tujuh hari pengukuran, lebih dari 50% hari dalam satu minggu dimana konsentrasinya telah di atas baku mutu.



Gambar 9. Perbandingan konsentrasi PM10 di Tiga Lokasi Pengujian

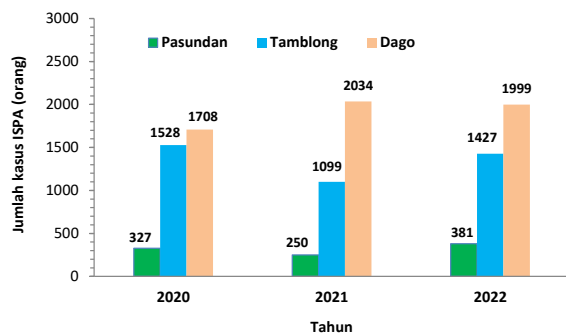
Jumlah Kasus ISPA

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kasus ISPA yang terjadi di suatu wilayah adalah salah satu merupakan indikator bahwa wilayah tersebut terdampak oleh polusi udara (10–15). Untuk itu, pada penelitian ini ditampilkan data kasus ISPA yang terdapat di wilayah yang berdekatan dengan lokasi pengujian. Data kasus ISPA didapatkan dari puskesmas yang berdekatan dengan wilayah pengujian yaitu puskesmas Pasundan, Tamblong dan Dago.

Gambar 10 menunjukkan jumlah kasus ISPA di tiga puskesmas yang berdekatan dengan lokasi pengukuran. Puskesmas Pasundan berdekatan dengan Monumen 0 km, puskesmas Tamblong tidak jauh dari Alun-alun dan puskesmas Dago adalah puskesmas terdekat dengan Terminal Dago. Data yang ditampilkan adalah data tahun 2020, 2021 dan 2022. Terlihat bahwa jumlah kasus terendah terjadi di puskesmas Pasundan dan yang tertinggi di puskesmas Dago.

Bila dikaitkan dengan konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang telah dijelaskan sebelumnya, Gambar 10 menampilkan fenomena yang berkebalikan. Seharusnya lokasi yang memiliki konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang tinggi akan didapatkan jumlah kasus ISPA yang tinggi pula, namun tidak demikian dengan yang terjadi di puskesmas Pasundan (berdekatan dengan Monumen 0 km). Di puskesmas ini justru didapatkan jumlah kasus ISPA yang relatif sangat sedikit bila dibandingkan dengan kedua puskesmas. Seharusnya jumlah kasus ISPA di puskesmas Pasundan dan Tamblong lebih banyak dari puskesmas Dago, karena konsentrasi PM2.5 dan PM10 di Dago jauh lebih rendah dibanding Monumen 0 km dan Alun-alun, namun data menunjukkan sebaliknya. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kondisi sosial dan ekonomi masyarakat di sekitar puskesmas Pasundan

berbeda dengan di Tamblong dan Dago. Puskesmas Pasundan terletak di pusat kota, sehingga sosial ekonomi penduduknya sebagian besar golongan ekonomi menengah ke atas, sehingga bila sakit mereka lebih cenderung pergi ke rumah sakit daripada ke puskesmas. Sedangkan puskesmas Dago terletak di pinggiran kota Bandung, dengan kondisi ekonomi sosial masyarakatnya banyak yang menengah ke bawah, sehingga bila mereka sakit lebih memilih pergi ke puskesmas daripada ke rumah sakit.



Gambar 10. Jumlah Kasus ISPA di Tiga Lokasi Pengujian

Pada Gambar 10 juga terlihat bahwa jumlah kasus di puskesmas Tamblong lebih sedikit dibandingkan dengan di puskesmas Dago, meskipun konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ di Alun-alun jauh lebih tinggi dibandingkan dengan di Terminal Dago. Ini artinya jumlah kasus ISPA di suatu wilayah tidak berhubungan langsung dengan tingkat konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀. Salah satu penyebab terjadinya fenomena ini kemungkinan dari sosial ekonomi di masyarakat di wilayah terdampak. Untuk itu masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan penyebab yang pasti pada fenomena yang terjadi pada Gambar 10.

SIMPULAN

Berdasarkan semua penjelasan di atas terlihat bahwa kualitas udara Kota Bandung masih relatif aman dari polusi PM₁₀, baik mengacu pada baku mutu nasional maupun WHO, kecuali di Alun-alun. Untuk PM_{2.5}, bila mengacu pada baku mutu nasional, ketiga lokasi pengujian masih relatif aman kecuali pada hari Jumat di Sabtu di Alun-alun. Namun bila mengacu pada standar WHO, ketiga lokasi di Kota Bandung telah terindikasi tercemar oleh PM_{2.5}, dari hari Senin hingga Ahad. Dari ketiga lokasi yang dilakukan pengukuran konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀, menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi di Alun-alun dan yang terendah di Terminal Dago. Upaya mitigasi pencemaran PM_{2.5} di ketiga lokasi harus segera direncanakan dan dilaksanakan oleh pemerintah Kota Bandung.

Berdasarkan jumlah kasus ISPA di tiga puskesmas yang berdekatan dengan lokasi pengujian menunjukkan fenomena yang berkebalikan dengan hipotesa. Seharusnya jumlah kasus ISPA di puskesmas

Tamblong yang terbesar karena memiliki konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ yang tertinggi dan di puskesmas Dago memiliki jumlah kasus ISPA yang terendah karena konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀-nya yang terendah. Namun data menunjukkan hal yang sebaliknya, yaitu justru jumlah kasus ISPA di puskesmas Dago adalah yang tertinggi. Hal ini diduga penyebabnya adalah kondisi sosial ekonomi masyarakat wilayah puskesmas Pasundan dan Tamblong berbeda cukup signifikan dengan masyarakat di sekitar puskesmas Dago. Penelitian lebih lanjut tentang fenomena jumlah kasus ISPA ini dengan kaitannya konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ masih perlu dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian & Pengabdian Masyarakat (P3M), Politeknik Negeri Bandung atas pendanaannya pada penelitian ini melalui skema Penelitian Terapan Nomor: B/92.46/PL1.R7/PG.00.03/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Kusnandar VB. Ini Wilayah Paling Padat Penduduk di Jawa Barat pada Juni 2022 [Internet]. 2022 [cited 2023 Jun 2]. Available from: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/10/10/ini-wilayah-paling-padat-penduduk-di-jawa-barat-pada-juni-2022>
- Sierra-Porta D, Solano-Correa YT, Tarazona-Alvarado M, de Villavicencio LAN. Linking PM₁₀ and PM_{2.5} Pollution Concentration through Tree Coverage in Urban Areas. *Clean – Soil, Air, Water* [Internet]. 2023;51(5):2200222. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/clen.202200222>
- Millán-Martínez M, Sánchez-Rodas D, Sánchez de la Campa AM, de la Rosa J. Contribution of anthropogenic and natural sources in PM₁₀ during North African dust events in Southern Europe. *Environ Pollut*. 2021 Dec 1;290:118065. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118065>
- Vicente AB, Juan P, Meseguer S, Díaz-Avalos C, Serra L. Variability of PM₁₀ in industrialized-urban areas. New coefficients to establish significant differences between sampling points. *Environ Pollut*. 2018 Mar 1;234:969–78. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.026>
- Scapini V, Torres S, Rubilar-Torrealba R. Meteorological, PM_{2.5} and PM₁₀ factors on SARS-COV-2 transmission: The case of southern regions in Chile. *Environ Pollut*. 2023 Apr 1;322:120961. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120961>
- Pratama A, Sofyan A. Analisis dispersi pencemar udara PM₁₀ di Kota Bandung menggunakan WRF-CHEM data asimilasi. *J Tek Lingkung* [Internet]. 2020;26(1):19–36. Available from:

- <https://journals.itb.ac.id/index.php/jtl/article/view/14066>
7. PP No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara [JDIH BPK RI] [Internet]. [cited 2023 Jun 2]. Available from: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/54332/p-p-no-41-tahun-1999>
 8. PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup [JDIH BPK RI] [Internet]. [cited 2023 Jun 2]. Available from: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>
 9. Puji L. Tantangan pengelolaan kualitas udara di Indonesia: Karakteristik, dampak, sumber dan pengendaliannya. Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung; 2016.
 10. Ab Manan N, Noor Aizuddin A, Hod R. Effect of Air Pollution and Hospital Admission: A Systematic Review. *Ann Glob Heal*. 2018; <https://doi.org/10.29024/aogh.2376>
 11. Cheng J, Su H, Xu Z. Intraday effects of outdoor air pollution on acute upper and lower respiratory infections in Australian children. *Environ Pollut*. 2021 Jan 1;268:115698. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115698>
 12. Horne BD, Joy EA, Hofmann MG, Gesteland PH, Cannon JB, Lefler JS, et al. Short-Term Elevation of Fine Particulate Matter Air Pollution and Acute Lower Respiratory Infection. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2018 Apr 13;198(6):759–66. Available from: <https://doi.org/10.1164/rccm.201709-1883OC>
 13. Nhung NTT, Schindler C, Dien TM, Probst-Hensch N, Künzli N. Association of ambient air pollution with lengths of hospital stay for hanoi children with acute lower-respiratory infection, 2007–2016. *Environ Pollut*. 2019 Apr 1;247:752–62. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.115>
 14. Ibrahim MF, Hod R, Nawi AM, Sahani M. Association between ambient air pollution and childhood respiratory diseases in low- and middle-income Asian countries: A systematic review. *Atmos Environ*. 2021 Jul 1;256:118422. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118422>
 15. Vu VT, Lee BK, Kim JT, Lee CH, Kim IH. Assessment of carcinogenic risk due to inhalation of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM10 from an industrial city: A Korean case-study. *J Hazard Mater*. 2011 May 15;189(1–2):349–56. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.043>
 16. WHO. Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons [Internet]. Geneva PP - Geneva: World Health Organization; 1998. (Environmental health criteria ; 202). Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41958>
 17. Zhang N, Han B, He F, Xu J, Zhao R, Zhang Y, et al. Chemical characteristic of PM2.5 emission and inhalational carcinogenic risk of domestic Chinese cooking. *Environ Pollut*. 2017 Aug 1;227:24–30. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.033>
 18. Services H. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHS). ATSDR's Toxicol Profiles. 1995;(August).
 19. Lewis SL, Russell LM, McKinsey JA, Harris WJ. Small contributions of dust to PM2.5 and PM10 concentrations measured downwind of Oceano Dunes. *Atmos Environ*. 2023 Feb 1;294:119515. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119515>
 20. Yang X, Jiang L, Zhao W, Xiong Q, Zhao W, Yan X. Comparison of Ground-Based PM2.5 and PM10 Concentrations in China, India, and the U.S. Vol. 15, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071382>
 21. Hinds WC. *Aerosol technology: Properties, behaviour and measurement of airborne particles*. John Wiley and Sons, New York; 1999. 111–170 p.
 22. Salma I, Balásházy I, Hofmann W, Záray G. Effect of physical exertion on the deposition of urban aerosols in the human respiratory system. *J Aerosol Sci*. 2002 Jul 1;33(7):983–97. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(02\)00051-4](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(02)00051-4)
 23. WHO Global Air Quality Guidelines [Internet]. 2021 [cited 2023 Jun 4]. Available from: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines>
 24. Putri AE. Reduction Effort of Pm 10 and Co With Phytoremediation Method Using Trees and Decorative Plants in Surabaya, Indonesia. In: *International Conference on Natural Science and Environment (ICNSE)* [Internet]. Sidney, Australia; 2016. p. 10–3. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/326550271>
 25. Weyens N, Thijs S, Popek R, Witters N, Przybysz A, Espenshade J, et al. The role of plant–microbe interactions and their exploitation for phytoremediation of air pollutants. *Int J Mol Sci*. 2015;16(10):25576–604. <https://doi.org/10.3390/ijms161025576>
 26. Permen LHK No. 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara [JDIH BPK RI] [Internet]. [cited 2023 Jun 4]. Available from: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/163466/permen-lhk-no-14-tahun-2020>

