

KAJI EKSPERIMENTAL KONSENTRASI PM10 DI KAWASAN INDUSTRI BATU GAMPING PADALARANG DAN SEKITARNYA

Ismail Wellid¹, Muhammad Reza F¹, Markus¹, Nani Yuningsih¹, Sumeru¹

¹⁻⁵ Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung 40012

Koresponden Email : ¹sumeru@polban.ac.id

(Diterima 23 Agustus 2022 | 24 Januari 2023 Disetujui | 31 Maret 2023 Diterbitkan)

EXPERIMENTAL STUDY OF PM10 CONCENTRATIONS IN PADALARANG AS THE LIMESTONE INDUSTRY AND SURROUNDINGS

Abstract

Padalarang has been known as a limestone mining. In limestone processing, in addition to produce significant air pollution at the process location, also to the the surrounding areas. The purpose of the study was to measure particulate concentration of PM10 and its effect on health of the people living in Padalarang and surroundings. Data collection of PM10 concentration was collected using a particle counter (HTI-9600) and carried out at distance of 1 to 4 km to the east of Padalarang, for 5 days and 12 hours/day, from 07.00 to 19.00 local time. The results showed that the highest concentrations of PM10 in the center of limestone processing was 212 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, much higher than standards, that is 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The results also showed that a relatively safe distance for human health due to air pollution is more than 2 km from the center of the limestone industry. The high air pollution caused by the limestone industry is highly correlated with the number of acute respiratory infection (ARI) cases in Padalarang, which is an average of more than 4000 cases/year for three years, from 2019 to 2021. It is much higher than cases of ARI in the adjacent sub-disctric, which is less than 1500 cases/year.

Keywords: PM10, Limestone Industry, Acute Respiratory Infection

PENDAHULUAN

Secara kasat mata, proses produksi batu kapur menjadi batu gamping akan menghasilkan polusi udara yang cukup tinggi. Polusi udara berasal dari asap pembakaran dan abu gamping saat dipindahkan dari pembakaran dan diangkut ke industri tujuan. Manfaat batu gamping cukup banyak, dari mulai sebagai campuran semen pada bahan adukan bangunan, juga pada industri petrokimia, farmasi, makanan dan minuman (Grontoft & Cassar, 2020; Becherini *et al.* 2016; Cabello). Namun sayangnya industri pengolahan batukapur menjadi batu gamping akan menghasilkan polusi udara yang relatif berbahaya bagi penduduk yang tinggal di sekitar industri tersebut. Konsentrasi dan jenis polutan di udara di sekitar wilayah industri batu gamping tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada proses pembakarannya.

Jenis polutan yang dihasilkan oleh pembakaran batu gamping antara lain adalah gas CO₂ dan partikulat atau debu yang berukuran kurang dari 10 μm (PM10). Konsentrasi

yang tinggi kedua partikulat ini pada tahap awal akan menyebabkan infeksi saluran pernafasan akut (ISPA) bagi penghirupnya (Akili *et al.* 2017). Hasil penelitiannya (Akili *et al.* 2017) melaporkan bahwa terdapat korelasi yang kuat antara pekerja di industri batu kapur dengan penderita ISPA. Debu batu gamping di udara dapat menimbulkan pengerasan jaringan alveoli paru-paru (Yulaekah *et al.* 2007). Menurut penelitian, abu dari batu gamping hanya bersifat iritan namun tidak bersifat karsinogenik (Bwalya *et al.* 2011; Tolinggi *et al.* 2014). Disamping itu, polusi PM10 yang tinggi juga akan berdampak pada penurunan berat badan pada janin yang akan dilahirkan (Mahest *et al.* 2014; Meier *et al.* 2015). Polusi dari batu kapur tidak hanya dilaporkan di Indonesia, di beberapa negara Eropa juga melaporkan dampak negatif dari polusi udara yang berasal dari batu kapur (EEA-3, 2019; ERA, 2018). Selain berdampak negatif bagi lingkungan, batu kapur sendiri juga dapat terkena pengikisan akibat polusi udara di sekitarnya, seperti yang telah dilaporkan oleh beberapa ahli (Grontoft & Cassar, 2020; Becherini *et al.* 2016; Cabello-Briones & Viles, 2017).

Diperkirakan jumlah pembakaran batu kapur di Padalarang tidak kurang dari 1000 ton/hari. Sehingga dapat dibayangkan betapa besar polusi udara yang ditimbulkan di Padalarang dan sekitarnya. Penelitian ini bertujuan melakukan pengukuran tingkat polusi udara PM10 di pusat lokasi pembakaran hingga 4 km dari pusat pembakaran. Untuk melihat dampak negatif polusi udara di Padalarang dan sekitarnya, penelitian akan mengambil data kasus ISPA di Puskesmas Padalarang dan Puskesmas di Kecamatan yang dekat dengan Padalarang, yaitu Kecamatan Ngamprah. Hasil penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan maupun rujukan bagi pemerintah daerah Kabupaten Bandung Barat untuk melakukan upaya mitigasi pengendalian polusi udara PM10 dari industri batu gamping di Padalarang dan sekitarnya.

METODE PENELITIAN

Pengambilan Data dan Indeks Standar Pencemar Udara

Lokasi pengambilan data dilakukan di 5 (lima) titik, yaitu: 1. Di pusat pembakaran batu kapur di Padalarang (No. 1), 2. Jarak 1 km dari pusat pembakaran (No. 2), 3. Jarak 2 km dari pusat pembakaran (No. 3), 4. Jarak 3 km dari pusat pembakaran (No. 4) dan 5. Jarak 4 km dari pusat pembakaran (No. 5). Titik-titik pengambilan data terlihat pada Gambar 1. Pada gambar terlihat bahwa kelima titik tersebut berada di sebelah timur pusat pembakaran. Tujuan dari pengambilan data dengan variasi jarak adalah untuk mengetahui tingkat penurunan konsentrasi PM10 dari jarak sumber dan mengetahui jarak yang relatif aman bagi hunian. Alat ukur yang digunakan untuk pengambilan data konsentrasi PM10 adalah *Particle Counter* (HTI HT-9600) dan sedangkan untuk mengukur kondisi udara adalah menggunakan termometer.

Hasil pengukuran pada lima lokasi akan dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah RI No. 41 Tahun 1999 (PP RI No. 41 tahun 1999) dan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.14 tahun 2020 (Permen LHK RI No. P.14 tahun 2020). Pada PP No. 41 tahun 1999 menyebutkan baku mutu untuk PM10, yaitu $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan Permen LHK RI No. P.14 tahun 2020 tidak menyebutkan baku mutu secara kuantitatif pada satu angka tertentu, tapi mengeluarkan aturan tentang Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). ISPU adalah nilai yang tidak memiliki satuan, namun menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu

(Peraturan Menteri LHK RI, No. P.14 2020). Kategori nilai rentang ISPU terlihat pada Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa terdapat 5 (lima) kategori mutu udara ambien pada suatu lokasi, mulai dari kategori “Baik” hingga “Berbahaya”. Untuk menghitung nilai ISPU berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi suatu polutan, dapat digunakan persamaan,

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

Keterangan :

I = Nilai ISPU

I_a = Nilai ISPU batas atas

I_b = Nilai ISPU batas bawah

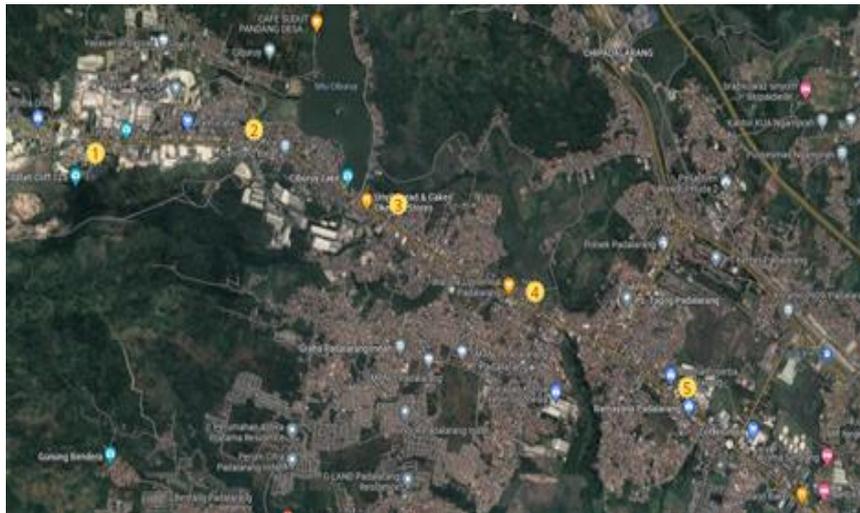
X_a = Konsentrasi ambien batas atas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

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. Kategori Nilai Rentang ISPU

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. Lima Titik Pengambilan Data Polutan PM10 Pada Lima Lokasi di Padalarang

Waktu Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan selama 5 hari dalam satu minggu, yaitu hari Senin, Selasa, Kamis, Sabtu dan Minggu. Waktu pengambilan data dilakukan setiap jam di tiap lokasi

dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 19.00 (selama 12 jam). Hasil yang ditampilkan pada tabel adalah rata-rata selama 5 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi PM10 di Pusat Pembakaran

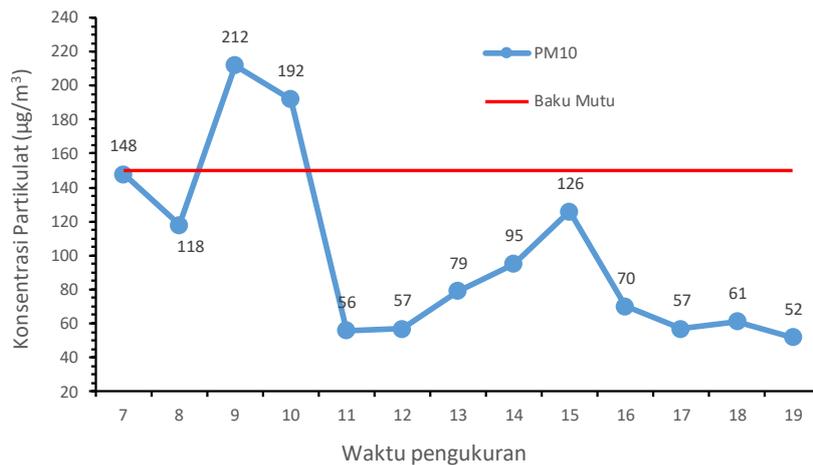
Konsentrasi PM10 di titik 1 pada Gambar 1 (pusat pembakaran gamping) terlihat pada Gambar 2. Dapat dilihat pada gambar bahwa konsentrasi PM10 di pusat pembakaran pada pagi hari sebelum jam 11.00 jauh lebih tinggi dari baku mutu PPR RI No. 41 tahun 1999. Konsentrasi puncak terjadi pada pukul 09.00, yaitu sebesar $212 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan pada jam-jam tertentu, konsentrasi PM10 sempat di bawah baku mutu, yaitu mulai pukul 11.00 sampai pukul 12.00 dan pukul 16.00 sampai jam 19.00. Tingginya konsentrasi PM10 pada pagi hari kemungkinan lebih banyak disebabkan jumlah kendaraan yang melintas di sekitar lokasi pembakaran cukup tinggi, sehingga menyebabkan debu-debu di pinggir jalan berterbangan ke udara. Konsentrasi PM10 mulai menurun menjelang pukul 10.00, karena jumlah kendaraan yang melintas di sekitar area pembakaran mulai berkurang. Hal ini disebabkan karena lokasi pabrik pembakaran batu kapur terletak di tepi jalan propinsi Bandung-Jakarta. Dari pengukuran juga menunjukkan bahwa pada saat pembakaran batu gamping, polusi yang dihasilkan tidak terlalu tinggi. Konsentrasi PM10 meningkat justru pada jam-jam dimana jumlah kendaraan yang melintas area pembakaran meningkat. Adanya kendaraan tersebut, selain kendaraan tersebut sebagai sumber polutan PM10, juga akan menyebabkan partikel PM10 yang telah mengendap di tanah akan beterbangan kembali ke udara.

Berdasarkan Permen LHK RI No. P.14 tahun 2020, dengan menggunakan persamaan (1) ditemukan bahwa nilai ISPU di pusat pembakaran batu gamping adalah 76. Nilai masuk ke dalam kategori “Sedang”, karena nilainya di atas 51 dan bawah 100. Nilai 76 lebih dekat ke 100 dibandingkan ke 51, artinya angka ini lebih dekat ke kondisi “Tidak Sehat”. Dengan kata lain, konsentrasi PM10 di pusat pembakaran tidak disarankan sebagai tempat hunian.

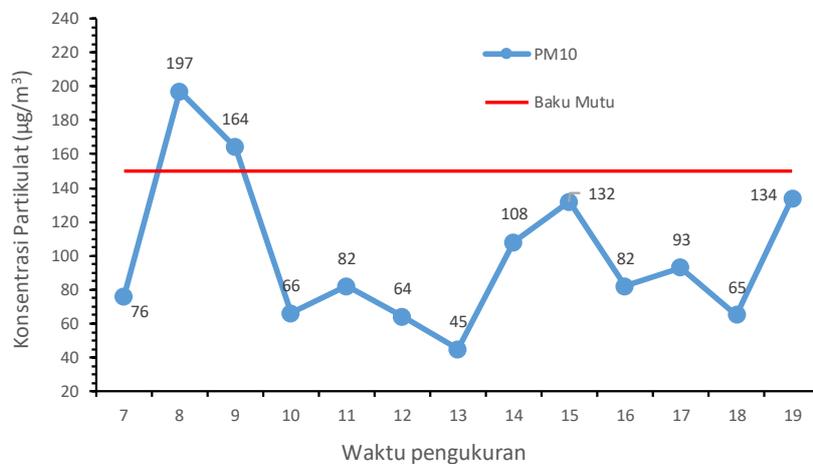
Konsentrasi PM10 di 2, 3 dan 4 km dari Pusat Pembakaran

Gambar 3 menunjukkan konsentrasi PM10 pada jarak 1 km dari pusat pembakaran batu kapur. Dari gambar terlihat bahwa pola konsentrasi PM10 relatif sama dengan konsentrasi di pusat pembakaran batu kapur (Gambar 2). Bedanya hanya kuantitasnya dan waktu terjadinya konsentrasi maksimal. Bila konsentrasi PM10 tertinggi di pusat pembakaran terjadi pada pukul 09.00, untuk jarak 1 km adalah pada pukul 08.00, dengan nilai $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fenomena konsentrasi PM10 pada jarak 1 km dari pusat pembakaran relatif serupa dengan di pusat pembakaran, yaitu konsentrasi PM10 selain disebabkan dari hasil pembakaran batu kapur juga berasal dari kendaraan bermotor yang melintas di titik pengukuran. Dengan menggunakan persamaan (1), nilai ISPU untuk lokasi berjarak 1 km sebelah timur dari pusat pembakaran adalah 75. Berdasarkan Tabel 1, nilai ini adalah masuk kategori “Sedang”. Nilai ISPU-nya hanya turun 1 (satu) angka dari pusat pembakaran. Artinya, lokasi yang berjarak 1 km dari pusat pembakaran juga tidak disarankan dijadikan sebagai tempat hunian.

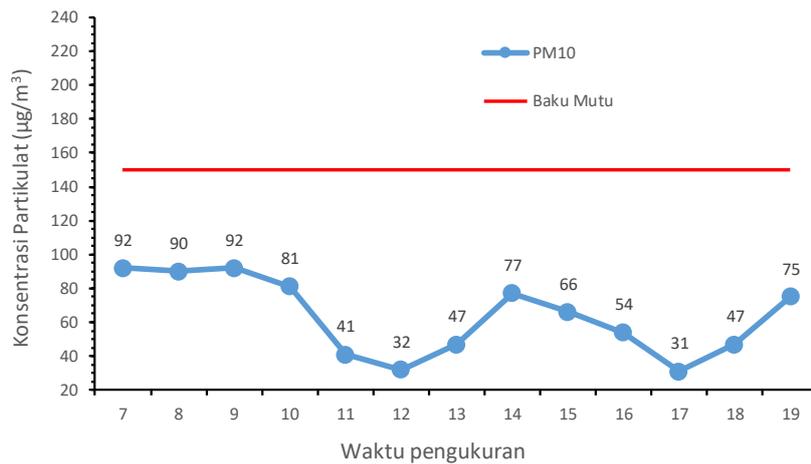
Pada jarak 2 km dari pusat pembakaran terlihat bahwa pola dan kuantitas polutan sama sekali berbeda dengan polutan pada pusat pembakaran dan jarak 1 km, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Dari gambar terlihat bahwa dari sisi kuantitas, pada jarak 2 km konsentrasi PM10 untuk semua jam pengukuran, yaitu dari jam 7.00 sampai dengan 19.00, menunjukkan nilai masih di bawah mutu. Ini artinya lokasi berjarak 2 km di sebelah pusat pembakaran mulai boleh digunakan sebagai tempat tinggal. Berdasarkan data pada Gambar 4 dan persamaan (1), maka didapat nilai nilai ISPU adalah 56. Nilai ini masuk di dalam kategori “Sedang”. Artinya dampak dari polusi baku kapur di udara sudah mulai berkurang, dan relatif aman bagi penghuninya.



Gambar 2. Konsentrasi PM10 Di Lokasi Pusat Pembakaran



Gambar 3. Konsentrasi PM10 Di Lokasi 1 km Dari Pembakaran



Gambar 4. Konsentrasi PM10 Di Lokasi 2 km Dari Pusat Pembakaran

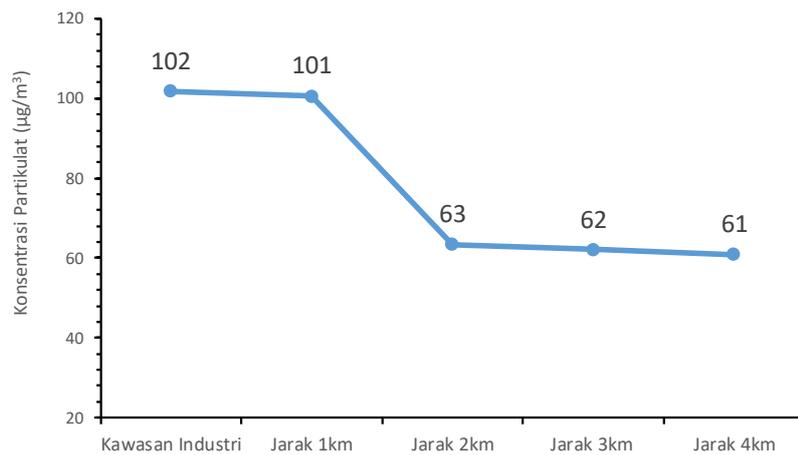
Selanjutnya, Gambar 5 menunjukkan konsentrasi PM10 pada jarak 3 km dan 4 km arah timur dari lokasi pusat pembakaran. Pada gambar terlihat bahwa konsentrasi pada kedua tempat tersebut masih di bawah baku mutu berdasarkan PP RI No. 41 tahun 1999. Sedangkan perhitungan nilai ISPU pada kedua tempat tersebut adalah 55 dan 54. Ini artinya kualitas udara di 3 km dan 4 km dari pusat pembakaran tidak jauh berbeda dengan kondisi udara pada jarak 2 km.

Konsentrasi rata-rata selama pengukuran 5 (lima) hari dan 12 jam pengukuran tiap harinya dilima lokasi terlihat pada Gambar 6. Pada gambar tampak bahwa konsentrasi rata-rata PM10 selama lima hari pengukuran di lima lokasi tidak ada yang melebihi baku mutu menurut PP RI No. 41 tahun 1999. Artinya, seharusnya dilima lokasi tersebut masih aman bagi hunian. Namun bila diamati lebih dalam, konsentrasi rata-rata PM10 menurun dratis pada jarak 2 km dari pusat pembakaran, yaitu dari $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ke $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ini artinya bila terpaksa tinggal di daerah industri batu kapur, maka jarak yang relatif aman adalah jarak lebih dari 2 km dari pusat pembakaran.

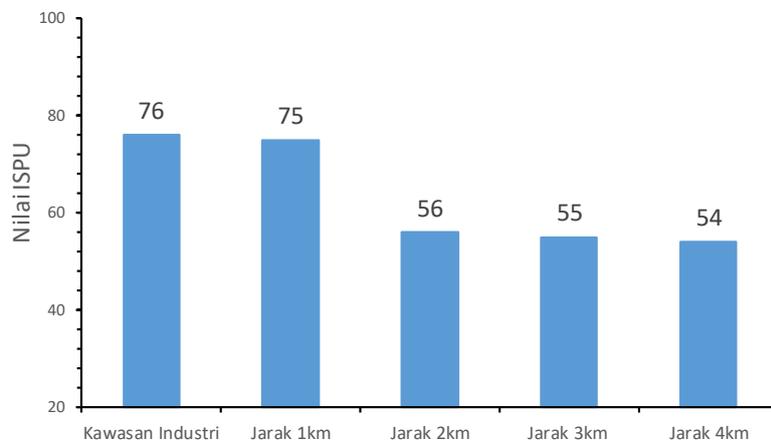


Gambar 5. Konsentrasi PM10 Di Lokasi 3 km dan 4 km Dari Pusat Pembakaran

Hasil pada Gambar 6 didukung dengan hasil perhitungan nilai ISPU dengan menggunakan persamaan (1), seperti yang terlihat pada Gambar 7. Pada gambar ini terlihat bahwa semua kategori ke lima lokasi pengukuran masih masuk dalam kategori “Sedang”, belum masuk ke kategori “Tidak Sehat”. Serupa dengan nilai konsentrasi rata-rata PM10, nilai ISPU tampak turun dratis dari jarak 1 km ke 2 km, yaitu dari 75 ke 56. Ini artinya bahwa jarak yang relatif aman bagi hunian adalah jarak lebih dari 2 km dari pusat pembakaran. Nilai ISPU untuk jarak 2 km, 3 km dan 4 km hanya berbeda sedikit. Dengan kata lain, kondisi udara pada jarak 2 km, 3 km dan 4 km boleh dibilang relatif sama.



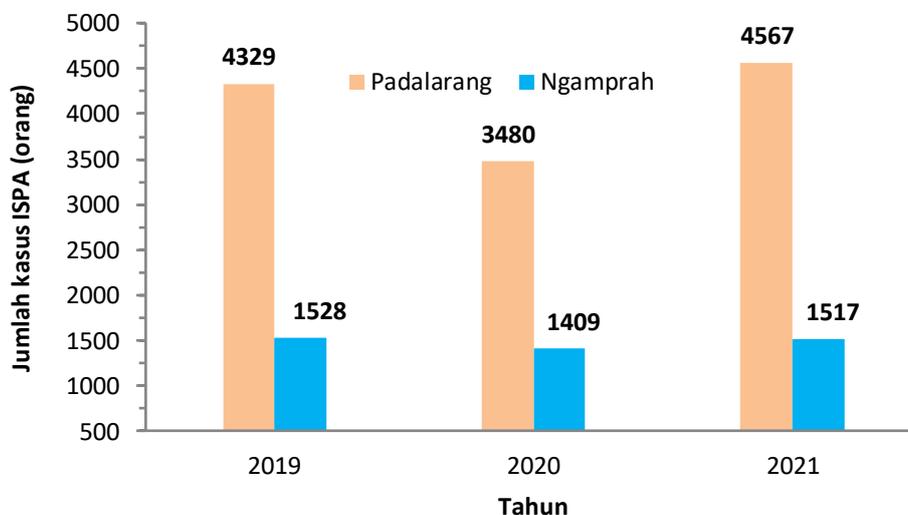
Gambar 6. Konsentrasi PM10 Rata-Rata Di Lima Lokasi Pengukuran



Gambar 7. Nilai ISPU Pada Lima Lokasi Pengukuran

Kasus ISPA di Padalarang vs Wilayah Sekitarnya

Salah satu efek pertama dari dampak negatif dari polusi udara bagi warga yang menghirup udara di wilayah berdampak adalah penyakit ISPA. Artinya, bila suatu wilayah memiliki kualitas udara yang kurang baik maka akan ditandai dengan tingginya penderita ISPA di wilayah tersebut. Gambar 8 menunjukkan bukti tingginya kasus ISPA di Kecamatan Padalarang dibandingkan dengan Kecamatan tetangganya, yaitu Kecamatan Ngamprah, selama 3 tahun, yaitu dari 2019 sampai tahun 2021. Data tersebut diambil dari Puskesmas yang terdapat di kedua wilayah tersebut. Pada gambar terlihat bahwa kasus ISPA di Kecamatan Padalarang selama tiga tahun jauh lebih tinggi daripada di Kecamatan Ngamprah. Misalnya pada tahun 2021, jumlah kasus ISPA di Padalarang selama satu tahun sebanyak 4567, sedangkan di Ngamprah hanya 1517 kasus. Jumlah kasus rata-rata selama tiga tahun di Kecamatan Padalarang dan Ngamprah adalah 4125 dan 1485. Artinya selama tiga tahun, jumlah kasus ISPA di Kecamatan Padalarang lebih dari dua kali jumlah kasus di Kecamatan Ngamprah. Tingginya kasus ISPA di daerah batu kapur ini serupa dengan yang dilaporkan oleh Akili *et al.* 2017. Mereka (Akili *et al.* 2017) melaporkan bahwa 70% pekerja di pembakaran batu kapur menderita ISPA.



Gambar 8. Kasus ISPA di Padalarang dan Kecamatan Ngamprah Selama Tiga Tahun

Data yang terdapat pada Gambar 8 dapat dijadikan pemerintah daerah untuk mengambil tindakan pencegahan agar jumlah kasus ISPA dapat diturunkan. Pemerintah daerah harus aktif melakukan penyuluhan ke masyarakat yang tinggal di kawasan industri batu kapur dalam upaya mengurangi dampak negatif dari polusi pembakaran batu kapur, antara lain dengan menjaga asupan gizi makanan bagi warganya, karena asupan makanan yang berkualitas akan meningkatkan daya tahan penghuni terhadap paparan polusi udara akibat industri batu kapur.

KESIMPULAN

Bila kita melintas Padalarang, sekilas kualitas udaranya jauh di atas baku mutu, namun berdasarkan pengukuran, konsentrasi PM10 di Padalarang secara rata-rata masih di bawah baku mutu berdasarkan PP RI No. 41 tahun 1999. Terdapat waktu-waktu tertentu konsentrasi PM10 di Padalarang lebih tinggi dari baku mutu, yaitu pada pagi hari di pusat pembakaran dan pada jarak 1 km dari pusat pembakaran. Konsentrasi PM10 tertinggi pusat pembakaran adalah $212 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada pukul 09.00. Pada jarak 2 km dan selebihnya, konsentrasi PM10 tidak ada yang melebihi baku mutu selama pengukuran, yaitu selama 5 hari dan 12 jam dalam sehari. Ini artinya tempat yang aman untuk hunian di kawasan industri Padalarang adalah minimal 2 km dari pusat pembakaran. Lokasi pengambilan data pada penelitian ini adalah di sebelah timur dari pusat pembakaran, untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif maka disarankan dilakukan pengukuran di tiga arah mata angin lainnya, yaitu ke arah selatan, barat dan utara dari pusat pembakaran. Tingginya kasus ISPA di Kecamatan Padalarang harus mendapatkan perhatian oleh pemerintah daerah agar kuantitasnya dapat diturunkan. Topik lain yang masih perlu dikaji pada artikel ini adalah hubungan antara penderita ISPA dan pola makan penduduk setempat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada manajemen Politeknik Negeri Bandung (Polban) atas dukungan pada penelitian yang menghasilkan publikasi ini. Luaran penelitian ini dibiayai oleh penelitian dengan dana PNBPN (Polban) melalui skema Penelitian Madya Utama tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Akili, R.H., Kolibu, F., & Tucuna, A.C. 2017. *Kejadian Penyakit Infeksi Saluran Pernafasan Akut pada Pekerja Tambang Kapur. Kes Mas: Jurnal Fakultas Kesehatan Masyarakat*, 11(1): 41-45.
- Becherini, F., Cassar, J., Galea, M., & Bernardi A. 2016. *Evaluation of the Shelters over the Prehistoric Megalithic Temples of Malta: Environmental Considerations. Environmental Earth Sciences*, 75(1079). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5875-z>.
- Bwala, D., Bratveit, M., & Moen, B.E. 2011. *Chronic Respiratory Symptoms among Workers at a Limestone Factory in Zambia. Archives Environmental & Occupational Health*, 66(1): 47-50.
- Cabello-Briones, C., & Viles, H.A. 2017. *Evaluating the effects of open shelters on limestone deterioration at archaeological sites in different climatic location. International Journal of Architectural Heritage*, 11(6), 816–828. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1300710>.

- EEA-3. 2019. *Air quality in Europe-2019 report*, EEA Report No10/2019, European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>. Accessed 10 August 2022.
- ERA. 2018. *Malta Environment & Resources Authority. State of the environment report 2018*, Chapter 2: Ambient Air. Environment & Resources Authority, Malta. <https://era.org.mt/en/Pages/State-of-the-Environment-Report.aspx>. Accessed 10 August 2022.
- Grontoft, T., & Cassar, J. 2020. *An Assessment of the Contribution of Air Pollution to the Weathering of Limestone Heritage in Malta*. Environmental Earth Sciences. 79(288), 1-16.
- Mahesh P.A., Jayaraj, B.S., Chaya, S.K., Lokesh K.S., McKay A.J., Prabhakar A.K., & Pape U.J. 2014. *Variation in the Prevalence of Chronic Bronchitis among Smokers: A cross-sectional study*. International Journal of Tuberculosis Lung Disease, 18: 862–869.
- Meier, R., Eeftens, M., Phuleria, H.C., Ineichen, A., Corradi, E., Davey, M., Fierz, M., Ducret-Stich, R.E., Aguilera, I., & Schindler C. 2015. *Divergences in indoor versus outdoor concentrations of ultrafine particles, PM_{2.5}, PM absorbance and NO₂ in Swiss homes*. Journal of Exposure Science Environmental Epidemiology, 2015, 25, 499–505.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.14 Tahun 2020 (Permen LHK RI No. P.14 tahun 2020).
- Tolinggi, S., Nakoe, M.R., Gobel, I.A., Sengke, J., Keman, S., & Sudiana, I.K. 2014. *Effect Inhaling of Limestone Dust Exposure on Increased Level of IL-8 Serum and Pulmonary Function Decline to Workers of Limestone Mining Industry*, International Refereed Journal of Engineering and Science, 3(8): 66-72.
- Yulaekah, S., Adi, M.S., & Nurjazuli N. 2007. *Pejanaan debu terhirup dan gangguan fungsi paru pada pekerja batu kapur (Studi di desa Mrisi Kecamatan Tanggunharjo Kabupaten Grobogan)*. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia, 6(1), 24-31.