

Distribusi Temporal Konsentrasi PM_{10} Menggunakan Alat *Particle Plus EM-10000*

Temporal Distribution of PM_{10} Concentration Using Particle Plus EM-10000

Yoga Wahyu Utama dan Didin A. Permadi

1Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional,
Jl. PH.H.Mustofa No. 23, Bandung, 40124
E-mail: yogawahyu.utama10@gmail.com

Diterima 9 Januari 2021, direvisi 25 Februari 2021, disetujui 1 Maret 2021

ABSTRAK

Distribusi Temporal Konsentrasi PM_{10} Menggunakan Alat *Particle Plus EM-10000*. Tingkat polusi partikulat di Kota Bandung umumnya melebihi kualitas udara ambien nasional. Sektor transportasi menjadi sumber utama dalam pencemaran konsentrasi PM_{10} di Kota Bandung, dimana kendaraan bermotor menyumbang 70% pencemar partikulat (PM_{10}). Faktor lain yang berpengaruh terhadap variabilitas temporal konsentrasi PM_{10} selain sumber emisi lokal adalah faktor meteorologi dan sumber regional yang berasal dari luar daerah Kota Bandung. Meteorologi dapat memengaruhi proses dispersi maupun difusi partikulat yang dapat menyebabkan peningkatan atau penurunan konsentrasi PM_{10} . Sumber regional juga memiliki peran terhadap variabilitas temporal konsentrasi PM_{10} karena secara substansial PM_{10} dapat terbawa dari tempat yang jauh melalui mekanisme *long range transport*. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa distribusi temporal konsentrasi PM_{10} di Iteas Bandung agar data yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk meminimalisir terjadinya paparan jangka pendek yang dapat menyebabkan risiko kesehatan. Konsentrasi PM_{10} bersumber dari pencemar lokal (transportasi) dan pencemar regional (luar daerah Kota Bandung) yang diidentifikasi dengan model HYSPLIT, serta pengaruh faktor meteorologi terhadap variabilitas temporal konsentrasi PM_{10} . Pengukuran konsentrasi PM_{10} dilakukan selama 1 bulan (Juli 2020) di musim kemarau. Distribusi temporal konsentrasi PM_{10} menunjukkan pola *bimodial* di mana terdapat dua jam puncak yaitu pukul 8 pagi dan pukul 10 malam, variabilitas temporal yang terjadi disebabkan oleh transportasi, temperatur dan kecepatan angin. Sementara, kelembaban tidak memiliki pengaruh terhadap variabilitas temporal konsentrasi PM_{10} saat musim kemarau. Daerah yang dapat berpotensi menjadi sumber pencemar konsentrasi PM_{10} di Kota Bandung berasal dari daerah Kabupaten Cilacap, Kabupaten Ciamis, Kabupaten dan Kota Tasikmalaya, Kabupaten Garut, dan Kabupaten Bandung.

Kata kunci: PM_{10} , Faktor meteorologi, Distribusi temporal, HYSPLIT.

ABSTRACT

Temporal Distribution of PM_{10} Concentration Using Particle Plus EM-10000. The level of particulate pollution in Bandung generally exceeded the national ambient air quality. The transportation sector is the primary source of PM_{10} concentration pollution in Bandung city, where vehicles contributed 70% of particulate pollutants (PM_{10}). Other factors that affected the temporal variability of PM_{10} concentrations apart from local emission sources were meteorological factors and regional sources originated from outside of Bandung city. Meteorological conditions could greatly influence particulates' temporal variability because meteorology might affect the dispersion and diffusion processes of particulates, which is induced to an increasing or decreasing of PM_{10} concentrations. Regional sources also have a role in the temporal variability of PM_{10} concentrations because PM_{10} substantially could be carried away from distant places through long-range transport mechanism. This research was conducted to analyze a temporal distribution of PM_{10} concentrations in Iteas Bandung, so the obtained data could be used

to minimize the occurrence of short-term exposures that lead to health risks. PM_{10} concentrations from local pollutants (transportation) and regional pollutants (outside the city of Bandung) were identified by the HYSPLIT model and meteorological factors on the temporal variability of PM_{10} concentrations. PM_{10} concentration measurements were carried out for one month (July 2020) in the dry season. The temporal distribution of PM_{10} concentration displayed a bimodal pattern showing two peak hours, namely 8 am and 10 pm, the temporal variability occurred due to transportation, temperature, and wind speed. Meanwhile, the humidity did not affect the temporal variability of PM_{10} concentration during the dry season. Areas that could potentially be a source of PM_{10} concentration pollutants in Bandung City originated from the Cilacap Regency, Ciamis Regency, Tasikmalaya Regency, and City, Garut, and Bandung Regency.

Keywords: PM_{10} , Meteorological factors, Temporal distribution, HYSPLIT.

1. Pendahuluan

Partikulat adalah salah satu polutan utama yang terkait di udara ambien yang dapat menyebabkan efek terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. PM_{10} merupakan salah satu zat pencemar dengan ukuran diameter kurang dari 10 mikrometer yang berbahaya bagi kesehatan manusia karena PM_{10} dapat masuk ke dalam paru-paru dan beberapa bahkan dapat masuk ke dalam aliran darah manusia (EPA, 2019). Pada konsentrasi $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} dapat menurunkan fungsi paru-paru pada anak-anak, sementara pada konsentrasi $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat memperparah kondisi penderita bronkhitis (Setiyo et al., 2009). Setiap peningkatan konsentrasi PM_{10} sebesar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dihitung dari konsentrasi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ akan meningkatkan mortalitas sebesar 0,5%, hal ini berdampak pada paparan jangka pendek terkait kesehatan manusia (WHO, 2005). Pada tahun 2010, WHO menyebutkan bahwa sekitar 3,3 juta orang di seluruh dunia meninggal hanya dikarenakan menghirup debu-debu kecil atau partikulat dan akan berlipat ganda pada tahun 2050.

Tingkat polusi partikulat di Kota Bandung umumnya melebihi kualitas udara ambien nasional Indonesia yaitu sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi PM_{10} yang diukur di Jalan Braga menunjukkan konsentrasi sebesar $301 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nilai tersebut melebihi baku mutu udara ambien, yang disebabkan

oleh kepadatan lalu lintas atau transportasi (Lestari, 2003). Sumber pencemar yang mengemisi polutan paling besar di Kota Bandung adalah sektor transportasi (Turyanti, 2011). Pada tahun 2019 jumlah kendaraan bermotor di Kota Bandung mencapai total 1.747.255 unit (BPS, 2020) yang mana kendaraan bermotor menyumbang 70% pencemar partikulat (PM_{10}) (Ismiyati et al., 2014; Turyanti, 2011).

Itenas Bandung merupakan salah satu kampus swasta di Kota Bandung, Jawa barat yang terletak di jalan PH. H. Mustofa. Jalan PH. H. Mustofa dipenuhi oleh arus atau volume lalu lintas yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan konsentrasi PM_{10} menjadi meningkat. Peningkatan volume lalu lintas sangat erat kaitannya dengan variabilitas temporal harian pada konsentrasi PM_{10} , yang mana pemahaman variasi temporal perlu dilakukan untuk menghindari risiko terkena paparan jangka pendek yang disebabkan oleh PM_{10} .

Selain sumber lokal seperti transportasi, kondisi meteorologi dapat sangat memengaruhi variabilitas temporal partikulat (Unal et al., 2011). Faktor meteorologi dapat memengaruhi dispersi maupun pengenceran partikulat, sehingga menyebabkan peningkatan atau penurunan konsentrasi PM_{10} . Sumber regional atau luar daerah juga memiliki peran yang penting terhadap konsentrasi PM_{10} yang

dapat memengaruhi variabilitas temporal, ini berkaitan dengan salah satu faktor meteorologi yaitu angin. Angin (arah dan kecepatan) berpengaruh terhadap dispersi partikulat yang mana akan memengaruhi ke arah mana dan seberapa tinggi konsentrasi partikulat di daerah tersebut. Arah angin akan menentukan arah daerah paparan, sedangkan kecepatan angin akan menentukan seberapa jauh partikulat akan terbawa sepanjang arah angin dominan. Konsentrasi PM_{10} secara substansial dipengaruhi oleh *long range transport* (LRT) yang mana hal ini disebabkan oleh angin (Karaca et al., 2009), maka terdapat kemungkinan jika konsentrasi PM_{10} yang terdapat di Kota Bandung tidak hanya bersumber dari pencemar lokal melainkan dapat juga bersumber dari pencemar regional yang berasal dari daerah luar Kota Bandung.

Penelitian ini perlu dilakukan untuk membuat distribusi temporal konsentrasi PM_{10} di Itenas Bandung agar data yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk meminimalisir terjadinya paparan jangka pendek terhadap risiko kesehatan pada masyarakat. Konsentrasi PM_{10} bersumber dari pencemar lokal (transportasi) dan pencemar regional (luar daerah Kota Bandung), serta pengaruh faktor meteorologi terhadap variabilitas temporal konsentrasi PM_{10} .

2. Metodologi

Pengukuran konsentrasi PM_{10} dan faktor meteorologi di Itenas Bandung menggunakan alat *Particle Plus* EM-10000 yang mana alat tersebut mengukur konsentrasi PM_{10} dan faktor meteorologi setiap satu menit selama 24 jam atau kontinu. Alat *Particle Plus* EM-10000 merupakan alat baru yang digunakan di Indonesia dengan menggunakan sensor. Pengukuran dilakukan selama satu bulan yang mana mewakili musim kemarau (5 Juli 2020 sampai 3 Agustus 2020). Itenas Bandung merepresentasikan pengukuran konsentrasi

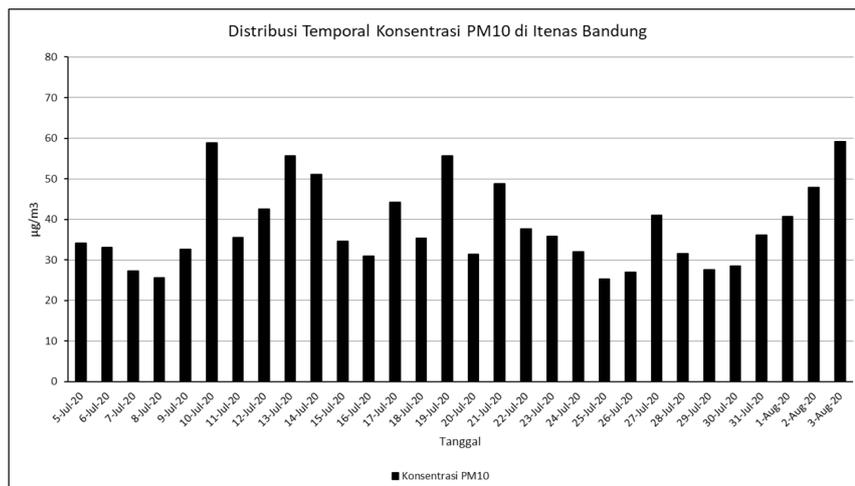
PM_{10} dari sektor lalu lintas karena Itenas Bandung terletak di Jalan PH.H.Mustofa yang berfungsi sebagai jalan arteri primer, sehingga dipenuhi oleh arus atau volume lalu lintas yang tinggi. Penempatan alat *Particle Plus* EM-10000 diletakkan di *rooftop* Gedung Geodesi Itenas, mengacu pada SNI 19-7119.6-2005 tentang penentuan lokasi pengambilan contoh uji pemantauan kualitas udara ambien.

Distribusi temporal dari konsentrasi PM_{10} akan dianalisis dalam frekuensi per jam (*diurnal variation*) untuk melihat fluktuasi konsentrasi PM_{10} yang terjadi serta kapan terjadinya waktu puncak konsentrasi. Pengolahan data dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*. Metode yang digunakan untuk menganalisis hubungan keeratan (korelasi) antara konsentrasi PM_{10} dengan faktor meteorologi adalah analisis korelasi *spearman*. Nilai korelasi yang didapat (r) akan dilihat menggunakan tabel Guilford untuk mengetahui korelasi bernilai sempurna atau tidak. Pengolahan data regresi dilakukan menggunakan *software* SPSS.

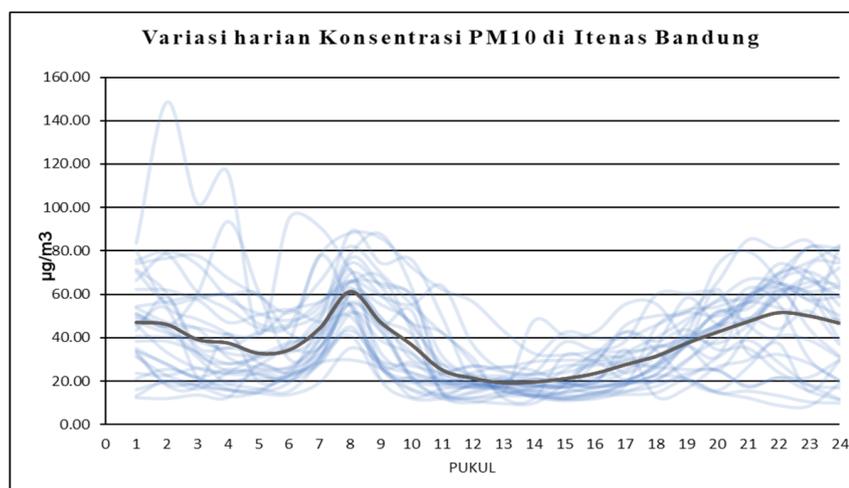
Model HYSPLIT digunakan untuk melihat lintasan partikel udara yang menuju ke lokasi penelitian (*backward trajectory*). Model ini akan membantu melihat kemungkinan daerah mana saja yang dapat berpotensi menjadi sumber pencemar partikulat terhadap Kota Bandung. Waktu yang dipilih dalam model HYSPLIT adalah waktu dimana konsentrasi PM_{10} tertinggi selama pengukuran dan arah angin terbanyak selain keadaan tenang/*calm*. Data yang dikumpulkan yaitu titik sampling, waktu pemodelan yang dipilih serta ketinggian.

3. Hasil dan Pembahasan

Menurut Peraturan Pemerintah No 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, baku mutu konsentrasi PM_{10} selama pengukuran 24 jam yaitu sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Gambar 1. menunjukkan konsentrasi rata-rata harian PM_{10} di Itenas Bandung bila dibandingkan dengan baku



Gambar 1. Distribusi Temporal Konsentrasi PM10 di Itenas Bandung



Gambar 2. Variasi harian konsentrasi PM₁₀ di Itenas Bandung

mutu yang ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia masih jauh di bawah standar yang ditetapkan sebesar 150 µg/m³. Sumber pencemar yang mengemisi polutan paling besar di Kota Bandung adalah sektor transportasi (Turyanti, 2011), yang mana kendaraan bermotor menyumbang 70% pencemar konsentrasi PM₁₀ (Ismiyati et al., 2014). Emisi dari kendaraan bermotor merupakan salah satu penyumbang utama partikulat di atmosfer perkotaan, emisi partikulat dari kendaraan bermotor berasal dari knalpot akibat terjadinya proses pembakaran yang tidak sempurna serta keausan mekanis ban dan rem (Matter,

2010).

Variasi harian konsentrasi PM₁₀ di Itenas Bandung disajikan pada Gambar 2. Pola distribusi di Itenas Bandung menunjukkan pola bimodial, di mana bimodial merupakan pola dengan konsentrasi puncak terjadi sebanyak dua kali, yaitu pada pukul 8 pagi dan pukul 10 malam. Peningkatan konsentrasi PM₁₀ dari pukul 5 pagi hingga 8 pagi ini disebabkan oleh peningkatan sumber polutan dari kegiatan antropogenik, di mana pada jam-jam tersebut merupakan waktu masyarakat melakukan mobilitas menuju tempat kerja maupun sekolah. volume lalu lintas memiliki

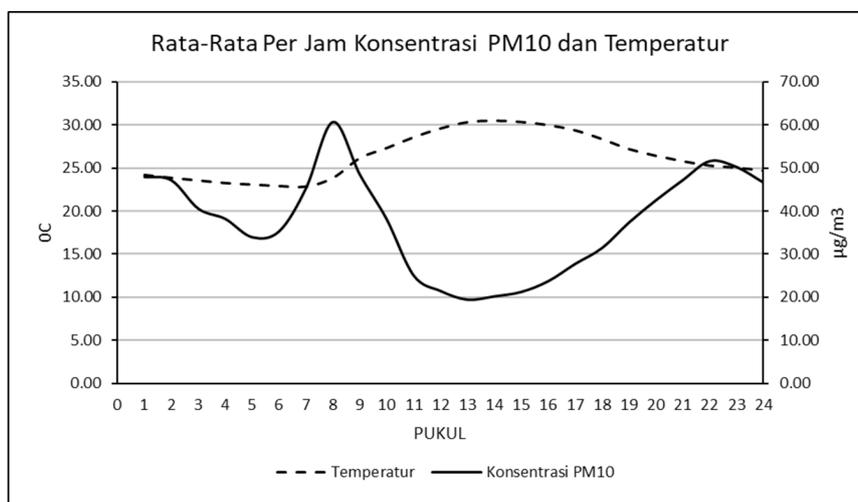
peranan yang penting dalam variasi diurnal konsentrasi PM₁₀ (Morawska et al., 2007).

Penurunan konsentrasi PM₁₀ mulai terjadi setelah morning rush hour selesai yaitu pukul 9 pagi hingga pukul 1 siang. Penurunan konsentrasi PM₁₀ disebabkan oleh perubahan ketinggian *atmospheric boundary layer* (ABL) yang menyebabkan kondisi udara menjadi tidak stabil sehingga memengaruhi proses difusi atau pengenceran konsentrasi PM₁₀ dan perubahan kecepatan angin yang memengaruhi dispersi konsentrasi PM₁₀ (Wang et al., 2015).

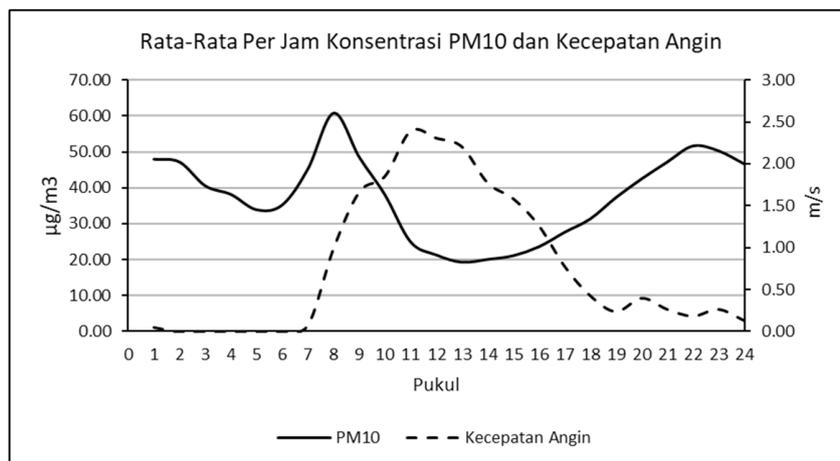
Bagian atas ABL diibaratkan sebagai kedalaman pencampuran (*mixing depth*) atau tinggi ABL yang berkisar hingga 3000 meter. Ketinggian ABL tergantung pada kestabilan udara serta temperatur. Jika massa udara panas berada di bawah massa udara dingin maka udaranya tidak stabil, sehingga terjadi difusi atau pengenceran konsentrasi PM₁₀. Fenomena ini mulai terjadi pada saat matahari terbit hingga matahari terbenam dan mengalami ketinggian maksimum pada saat siang hari (Saxena et al., 2018). Pada morning rush hour, proses difusi dan dispersi PM₁₀ yang terjadi tidak maksimum karena peningkatan volume lalu lintas yang berlebih menyebabkan peningkatan pencemaran konsentrasi PM₁₀. Proses difusi dan dispersi konsentrasi PM₁₀ mulai terjadi

setelah morning rush hour selesai, yaitu pukul 9 pagi hingga pukul 1 siang, bersamaan dengan naiknya temperatur (Gambar 3.) dan naiknya kecepatan angin (Gambar 4.). Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang negatif antara temperatur dengan konsentrasi PM₁₀ dan kecepatan angin dengan konsentrasi PM₁₀, sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan (Turyanti, 2011) di Kota Bandung.

Pada Gambar 3. konsentrasi PM₁₀ mengalami peningkatan pada pukul 2 siang hingga mencapai puncak pada pukul 10 malam yang merupakan periode puncak kedua. Peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada pukul 2 siang bersamaan dengan penurunan temperatur dan penurunan kecepatan angin, sehingga proses difusi dan dispersi konsentrasi PM₁₀ mulai berkurang. Peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada pukul 4 sore disebabkan oleh kegiatan antropogenik yang meningkat dimana masyarakat melakukan mobilitas menuju rumah setelah beraktivitas di luar. Penelitian yang dilakukan di Helsinki, Finlandia juga menunjukkan terjadi peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada sore hari yang disebabkan oleh kegiatan antropogenik (Pohjola et al., 2002). Selain kegiatan antropogenik, peningkatan konsentrasi PM₁₀ juga disebabkan oleh penurunan temperatur dan penurunan



Gambar 3. Rata-rata per jam konsentrasi PM₁₀ dan temperatur



Gambar 4. Rata-rata per jam konsentrasi PM₁₀ dan kecepatan angin

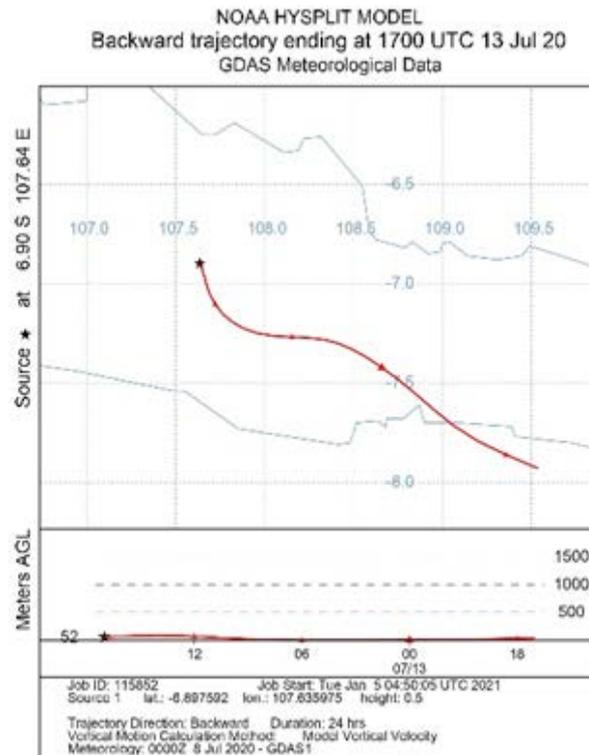
kecepatan angin sehingga menyebabkan proses difusi dan dispersi berkurang.

Konsentrasi PM₁₀ terus meningkat sampai dengan pukul 10 malam karena saat matahari terbenam kondisi udara sudah menjadi stabil sehingga tidak ada lagi proses difusi maupun dispersi yang terjadi. Kondisi udara stabil terjadi pada malam hari ketika massa udara yang lebih panas di atas massa udara yang lebih dingin sehingga membentuk nocturnal boundary layer (NBL) dengan ketinggian seringkali serendah 100 meter (Saxena et al., 2018). NBL mendukung stagnasi yang menyebabkan peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada malam maupun dini hari, meskipun emisi dari lalu lintas tidak tinggi, sehingga konsentrasi PM₁₀ di NBL tetap terperangkap hingga matahari terbit (Yadav et al., 2014). Pada satu kasus terjadi peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada waktu dini hari yang signifikan, konsentrasi PM₁₀ yang tinggi pada malam maupun dini hari dapat disebabkan oleh kecepatan angin yang rendah maupun kondisi udara yang stabil sehingga menyebabkan konsentrasi terakumulasi (Pohjola et al., 2002).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa kelembaban yang tinggi memiliki pengaruh terhadap removal konsentrasi PM₁₀ (Lou et al., 2017), sedangkan pada penelitian

ini kelembaban tidak memiliki pengaruh terhadap proses removal PM₁₀. Hal ini dikarenakan waktu penelitian dilakukan saat musim kemarau di mana saat musim kemarau curah hujan yang terjadi tidak tinggi. Proses removal yang disebabkan oleh kelembaban yang tinggi juga berhubungan dengan curah hujan yang terjadi sebab dapat menyebabkan PM₁₀ bertumbukan yang memengaruhi partikulat untuk mengumpulkan massa dan jatuh ke tanah daripada terbawa udara sehingga menyebabkan proses removal PM₁₀ (Giri et al., 2008).

Konsentrasi PM₁₀ dipengaruhi oleh *long range transport* (LRT) yang artinya dapat berpindah secara jauh dan dapat mencemari daerah lain selain sumber asalnya (Karaca et al., 2009). Angin merupakan salah satu faktor meteorologi yang berperan membawa polutan dari sumber menuju daerah tertentu, dalam hal ini meliputi kecepatan dan arah angin. Gambar 5 menunjukkan trayektori partikulat dari luar Kota Bandung berasal dari tenggara Jawa Barat, bergerak dari arah Kabupaten Cilacap lalu menuju Kabupaten Ciamis, Kabupaten dan Kota Tasikmalaya, Kabupaten Garut dan Kabupaten Bandung sebelum memasuki Kota Bandung. Wilayah-wilayah tersebut berpotensi menjadi sumber pencemar konsentrasi PM₁₀ di Kota Bandung pada tanggal 13 Juli 2020.



Gambar 5. Trayektori partikulat menuju kota Bandung

Topografi dapat berpengaruh terhadap pergerakan polutan, karena Indonesia dikelilingi oleh pegunungan di bagian terluar Sumatera dan Jawa yang dikenal sebagai *ring of fire* (Nurlatifah et al., 2019), hal ini dapat mempengaruhi pula pergerakan polutan di sekitar pulau Jawa dan Sumatera. Pergerakan partikulat menuju Kota Bandung pada Gambar 5. menunjukkan bahwa trayektori partikulat tidak bergerak lurus sesuai arah angin dari tenggara melainkan terlebih dahulu menuju arah barat melalui celah dataran yang lebih rendah sebelum akhirnya menuju Kota Bandung.

4. Simpulan

Distribusi temporal konsentrasi PM₁₀ di Iteas Bandung dengan variasi harian menunjukkan pola *bimodial* di mana terdapat dua kali jam puncak yaitu pukul 8 pagi dan pukul 10 malam. Tidak ada konsentrasi rata-rata harian PM₁₀ di Iteas Bandung yang melebihi baku mutu

PP No 41/Tahun 1999 untuk pengukuran selama 24 jam sebesar 150 µg/m³. Sumber pencemaran tersebut terutama disebabkan oleh sektor transportasi. Faktor meteorologi seperti temperatur dan kecepatan angin juga memiliki pengaruh terhadap variabilitas temporal konsentrasi PM₁₀ antara lain dapat menyebabkan difusi dan dispersi partikulat, sedangkan kelembaban tidak memiliki pengaruh terhadap removal konsentrasi PM₁₀ saat musim kemarau. Wilayah yang dapat berpotensi menjadi sumber pencemar PM₁₀ yaitu Kabupaten Cilacap, Kabupaten Ciamis, Kabupaten dan Kota Tasikmalaya, Kabupaten Garut, dan Kabupaten Bandung.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada *Particle Plus* sehubungan dengan pemberian alat pengukuran *Particle Plus* EM-10000 yang digunakan dalam penelitian sebagai alat ukur konsentrasi PM₁₀, temperatur, dan kelembaban.

6. Kepengarangan

Dalam penelitian ini, penulis pertama berperan sebagai penyusun data dan naskah, sedangkan penulis kedua menyempurnakan naskah.

Daftar Pustaka

- BPS. (2020). Kota Bandung Dalam Angka.
- EPA. (2019). Particulate Matter (PM) pollution. Retrieved from <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- Giri, D., Adhikary, P., & Murthy, V. (2008). The influence of meteorological conditions on PM₁₀ concentrations in Kathmandu Valley.
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(3), 241-248.
- Karaca, F., Anil, I., & Alagha, O. (2009). Long-range potential source contributions of episodic aerosol events to PM₁₀ profile of a megacity. *Atmospheric Environment*, 43(36), 5713-5722.
- Lestari, P. (2003). Atmospheric particulate concentration measured in an urban area Bandung. *Pure and applied geophysics*, 160(1-2), 107-116.
- Lou, C., Liu, H., Li, Y., Peng, Y., Wang, J., & Dai, L. (2017). Relationships of relative humidity with PM_{2.5} and PM₁₀ in the Yangtze River Delta, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(11), 582.
- Matter, U. A. P. (2010). Origin, chemistry, fate and health impacts. In: by F. Zereini, CLS Wiseman (Heidelberg, Springer, Berlin, 2011).
- Morawska, L., Vishvakarman, D., & Swanson, C. E. (2007). Diurnal variation of PM₁₀ concentrations and its spatial distribution in the South East Queensland airshed. *Clean Air and Environmental Quality*, 41(4), 19-25.
- Nurlatifah, A., & Driejana, R. (2019). Penelusuran trajektori aerosol di kota Bandung menggunakan HYSPLIT-4 back trajectory model studi kasus: Kejadian kabut asap tanggal 23-28 Oktober 2015. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 20(2), 91-99.
- Pohjola, M. A., Kousa, A., Kukkonen, J., Härkönen, J., Karppinen, A., Aarnio, P., & Koskentalo, T. (2002). The spatial and temporal variation of measured urban PM₁₀ and PM_{2.5} in the Helsinki metropolitan area. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 2(5-6), 189-201.
- Saxena, P., & Naik, V. (2018). *Air pollution: Sources, impacts and controls*: CABI.
- Setiyo, H., & Sutrisno, E. (2009). Analisis konsentrasi particulate matter 10 (PM₁₀) pada udara diluar ruang (Studi kasus: stasiun Tawang-Semarang). *Teknik*, 30(1), 44-48.
- Turyanti, A. (2011). Analisis pengaruh faktor meteorologi terhadap konsentrasi PM₁₀ menggunakan regresi linier berganda (Studi kasus: Daerah Dago Pakar dan Cisaranten, Bandung) analysis of the influence of meteorological factors to PM₁₀ concentration using. *Agromet*, 25(1), 29-36.
- Unal, Y. S., Toros, H., Deniz, A., & Incekik, S. (2011). Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM₁₀ concentrations in Istanbul metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 45(31), 5504-5513.
- Wang, Y., Zhang, X., Sun, J., Zhang, X., Che, H., & Li, Y. (2015). Spatial and temporal variations of the concentrations of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in China. *Atmospheric Chemistry & Physics*, 15(23).
- WHO. (2005). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment.
- Yadav, R., Sahu, L. K., Jaaffrey, S. N. A., & Beig, G. (2014). Temporal variation of Particulate Matter (PM) and potential sources at an urban site of Udaipur in Western India.