



POLA KONSENTRASI DAN TRAYEKTORI POLUTAN PM2.5 SERTA FAKTOR METEKO DI KOTA JAKARTA

Pollutant Concentration and Trajectory Patterns of PM2.5 including Meteo Factors in Jakarta City

Dessy Gusnita* dan Nani Cholianawati

Peneliti Lingkungan Atmosfer, LAPAN
Jl. Dr. Djundjuran No. 133 Bandung, Jawa Barat 40173, Indonesia

*Untuk Korespondensi, e-mail: nitagusnita@gmail.com

Received: October 17, 2019

Accepted: October 25, 2019

Online Published: December 31, 2019

DOI : 10.20961/jkpk.v4i3.35028

ABSTRAK

Monitoring partikulat PM2.5 telah dilakukan di Jakarta Selatan. Tujuan riset untuk mengkaji pengaruh meteorologi dan trajektori polutan terhadap kondisi PM2,5 berdasarkan pola harian dan musiman selama Januari 2016 hingga Desember 2017. Sumber data PM2.5 berasal dari BPLHD DKI Jakarta. Metode analisa data menggunakan excel untuk memperoleh pola PM2.5 harian dan musiman (musim hujan, musim peralihan dan musim kering). Pola trajektori polutan PM2.5 diperoleh menggunakan model HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated (HYSPLIT) *forward trajectory* yang bersumber dari NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Kemudian dilakukan korelasi antar PM2.5 dengan parameter meteorology selama tahun 2016 - tahun 2017. Hasil menunjukkan konsentrasi maksimum PM2.5 tahun 2016 terjadi pada musim kering (Juni-Agustus) sebesar 57,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan menurun untuk tahun 2017 sebesar 50,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Minimum konsentrasi PM2,5 terjadi saat musim hujan (Desember-Februari) yaitu sebesar 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tahun 2016, tahun 2017 PM2,5 menurun menjadi 15,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil *running Model* (HYSPLIT) *forward trajectory* polutan PM2.5 menunjukkan saat musim kering polutan mengarah ke wilayah Barat kota Jakarta sedangkan musim hujan polutan PM2.5 dari kota Jakarta mengarah ke wilayah Timur.

Kata Kunci: partikulat, PM2.5, mode trajektori, meteorologi

ABSTRACT

PM2.5 particulate monitoring has been carried out in South Jakarta. The research objective is to examine the effect of meteorology and pollutant trajectories on PM2.5 conditions based on daily and seasonal patterns from January 2016 to December 2017. The sources of PM2.5 data come from DKI Jakarta BPLHD. The data analysis method uses excel to obtain daily and seasonal PM2.5 patterns (rainy season, transition season and dry season). PM2.5 pollutant trajectory patterns were obtained using a single-Particle Lagrangian Integrated (HYSPLIT) *forward trajectory* derived from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Then the correlation between PM2.5 with meteorological parameters during 2016-2017 was analyzed. The results showed the maximum concentration of PM2.5 in 2016 occurred in the dry season (June-August) of 57.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and decreased for 2017 by 50.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Meanwhile, minimum PM2.5 concentration occurs during the rainy season (December-February) which is equal to 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in 2016, in 2017 PM2.5 decreases to 15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The results of running model (HYSPLIT) *forward trajectory* of PM2.5 pollutants show when dry season pollutant leads to the western part of Jakarta city while the PM2.5 pollutant in rainy season moved from Jakarta city leads to the eastern region.

Keywords: particulate, PM2.5, trajectory model, meteorology

PENDAHULUAN

Jakarta sebagai ibukota Republik Indonesia adalah pusat bisnis dan pusat pemerintahan dengan jumlah penduduk tahun 2016 mencapai 10.277,628 juta orang dan kepadatan penduduk 15.517 orang per km², dikelilingi kawasan pemukiman Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi (Bodetabek) yang semakin berkembang [1]. Dampak perkembangan kota Jakarta tersebut tentunya akan berpotensi meningkatkan polusi udara khususnya partikulat (debu) di wilayah Jakarta. Salah satu pencemar udara yang sangat berbahaya terutama bagi kesehatan manusia adalah *partikulat matter* PM2.5. *Partikulat matter* adalah senyawa campuran berasal dari aktivitas antropogenik, biogenik dan material alami yang tersuspensi sebagai aerosol di dalam atmosfer, dengan komponen utamanya terdiri dari sulfat, nitrat, amonium, organik karbon, unsur karbon, garam laut [2]. Debu *partikulat matter* adalah polutan primer dan termasuk di dalamnya semua padatan dan atau cairan yang tersuspensi di atmosfer yang bisa terlihat maupun tidak terlihat seperti partikel tanah, jelaga dan logam berat [3].

Penelitian tentang PM2.5 telah dilakukan antara lain di beberapa lokasi di DKI Jakarta tahun 2012 menunjukkan bahwa konsentrasi PM2.5 sudah melewati ambang batas yang ditetapkan pemerintah [4]. Penelitian PM2.5 di Serpong tahun 2011-2013 menunjukkan bahwa konsentrasi belum melewati nilai batas ambang harian PM2.5 di Indonesia dan menunjukkan bahwa ada trend peningkatan konsentrasi PM2.5 di Serpong [5]. Publikasi WHO memberikan nilai baku mutu konsentrasi massa rata-rata tahunan untuk PM10: sebesar 20 µg/m³ dan

untuk periode 24 jam adalah 50 µg/m³ sedangkan rata-rata tahunan PM2.5: 10 µg/m³ dan 24 jam adalah 25 µg/m³ [6]. Penelitian PM2.5 oleh Wang et al di China menunjukkan bahwa terjadi tren peningkatan konsentrasi PM2.5 di beberapa lokasi pengamatan [7].

PM2.5 merupakan salah satu jenis polutan berbahaya yang dapat masuk ke jaringan dalam paru-paru dan bisa menyebabkan gangguan kesehatan seperti ISPA, kanker paru-paru, serta dapat menyebabkan kematian. Jakarta sebagai pusat pemerintahan memiliki banyak peran dalam penyebaran polutan konsentrasi PM2.5 karena banyaknya aktivitas kendaraan bermotor yang beroperasi. Pada makalah ini akan dikaji konsentrasi PM2.5 yang telah disajikan dalam bentuk pola harian, dan musiman guna bisa memberikan informasi langkah antisipasi masuknya partikel jenis debu halus ke jaringan dalam tubuh manusia [8]. Karbon merupakan komponen utama dalam partikulat di daerah urban. Sumber utama dari polutan ini adalah dari pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa. PM2,5 merupakan rumah bagi karbon yang dihasilkan dari proses pembakaran [9]. PM2,5 merupakan partikulat yang mempunyai waktu tinggal di atmosfer dalam jangka waktu yang lama dan berpotensi berpenetrasi ke bagian dalam sistem pernafasan manusia. Oleh karena itu, analisis konsentrasi PM2,5 dan black carbon sangat berguna untuk mengkaji kualitas udara ambien. Beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang PM2.5.

Makalah ini bertujuan menganalisa pola konsentrasi harian dan bulanan PM2.5, serta melakukan kajian trayektori polutan PM2.5 di kota Jakarta Selatan selama tahun

2016 hingga tahun 2017. Model *HYSPLIT* digunakan untuk memperkirakan *forward* trayektori maupun *backward trajectory* dari suatu model massa udara. Model dispersi polutan *HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (*HYSPLIT*) bersumber dari *National Atmospheric and Oceanic Administration* (NOAA). Penggunaan model ini yang membedakan dengan penelitian sebelumnya. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberi masukan kepada pemerintah setempat dalam pengambilan kebijakan terkait mitigasi dan peningkatan kualitas udara di kota Jakarta.

METODE PENELITIAN

1. Data

Makalah ini menggunakan data konsentrasi PM_{2,5} PM_{2.5} berasal dari BPLHD kota dan data meteorologi kota Jakarta bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika terdiri dari data temperatur, kelembaban relatif (RH) dan arah angin serta curah hujan. selama bulan Januari tahun 2016 hingga Desember 2017.

2. Pengolahan Data

Pengolahan data partikulat PM_{2.5} menggunakan program *excel* untuk mendapatkan pola konsentrasi harian dan musiman (musim hujan, musim kering dan pancaroba) dan data meteorologi di korelasikan pula dengan konsentrasi PM_{2.5} agar dapat diketahui pengaruh parameter meteo terhadap kondisi PM_{2.5} di kota Jakarta. Model *trajektori* polutan PM_{2.5} di kota Jakarta menggunakan model transport *HYSPLIT* yang disediakan oleh NOAA dan *Air Resources Laboratory* (ARL). Metode

yang digunakan model *HYSPLIT transport model* adalah sistem yang lengkap yang digunakan untuk menghitung dan memperkirakan trayektori parcel udara seperti transportasi, dispersi, transformasi kimia, dan simulasi deposisi. Aplikasi *HYSPLIT* yang sekarang ini banyak digunakan adalah analisis *forward trajectory* untuk memperkirakan sumber massa udara berdasarkan hubungan antara reseptor dan kondisi meteorologi. Dengan perumusan sebagai berikut:

$$P'(t + \Delta t) = P(t) + V(P, t)\Delta t \quad (1)$$

Dengan asumsi polutan bergerak pasif mengikuti arah angin, maka posisi prediksi awal setelah *initial condition* (P') adalah posisi *initial condition* ($P(t)$) ditambah kondisi kecepatan dan arah angin sebagai fungsi terhadap posisi dan waktu ($V(P, t)$) dikalikan dengan selisih waktu. Sementara itu, posisi akhir prediksi dihitung dengan persamaan berikut.

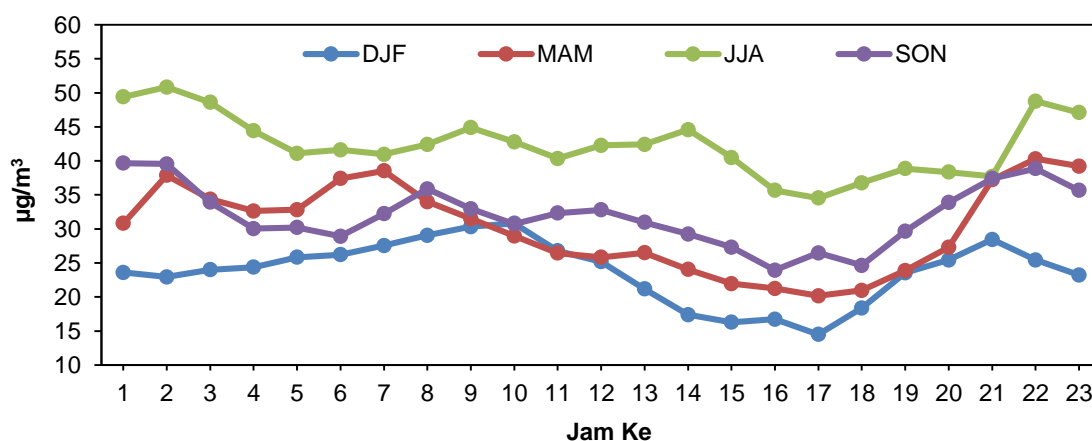
$$P(t + \Delta t) = P(t) + 0.5[V(P, t) + V(P', t + \Delta t)]\Delta \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pola Konsentrasi Partikulat PM 2.5

a. Pola Konsentrasi PM_{2.5} selama 24 jam di kota Jakarta pada tahun 2016 dan tahun 2017

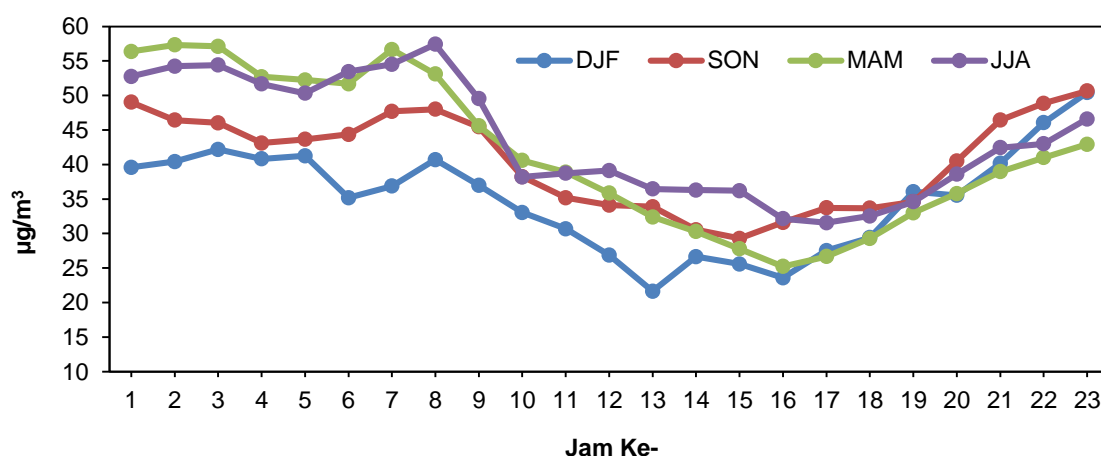
Berdasarkan hasil olahan data partikulat PM_{2.5} di kota Jakarta selama tahun 2016 hingga tahun 2017 diperoleh pola Harian dan musiman partikulat PM 2.5, yang mewakili musim hujan: Desember-Januari-Februari, musim peralihan: Maret-April-Mei, musim kering Juni-Juli-Agustus serta musim peralihan: September-Oktober-November. Hasil konsentrasi PM 2.5 selama tahun 2016-2017 disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2 .



Gambar 1. Pola Konsentrasi harian PM2.5 di kota Jakarta pada musim hujan (Desember-Februari) musim peralihan (Maret-Mei) dan musim kering (JJA) Tahun 2017

Gambar 1 menunjukkan pola konsentrasi harian PM2.5 pada beberapa musim tahun 2017. Saat musim kering merupakan bulan yang memiliki konsentrasi PM2.5 tertinggi dibanding bulan lainnya. *Peak* konsentrasi maksimal PM2.5 sebesar 50,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada pukul 02.00 WIB. Kenaikan konsentrasi PM2.5 juga terjadi pada pukul 09.00 WIB, dan terdapat *peak* kedua pada jam 14.00 WIB dengan konsentrasi sebesar 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi ini belum melewati nilai batas ambang harian PM2.5 di Indonesia yaitu

65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, akan tetapi nilai tersebut telah mencapai nilai rata-rata tahunan sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang ditetapkan pada PP no 41 tahun 1999. Konsentrasi PM2.5 terendah terjadi pada musim hujan (Desember-Februari) yaitu sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini diduga disebabkan terjadi proses pencucian partikulat PM2.5 oleh air hujan (*washing out*) di atmosfer. Pada umumnya partikel yang terdapat di dalam PM2.5 mengandung logam berat lebih tinggi dibanding dengan partikel yang terdapat pada filter kasar (PM2.5-10) [5].

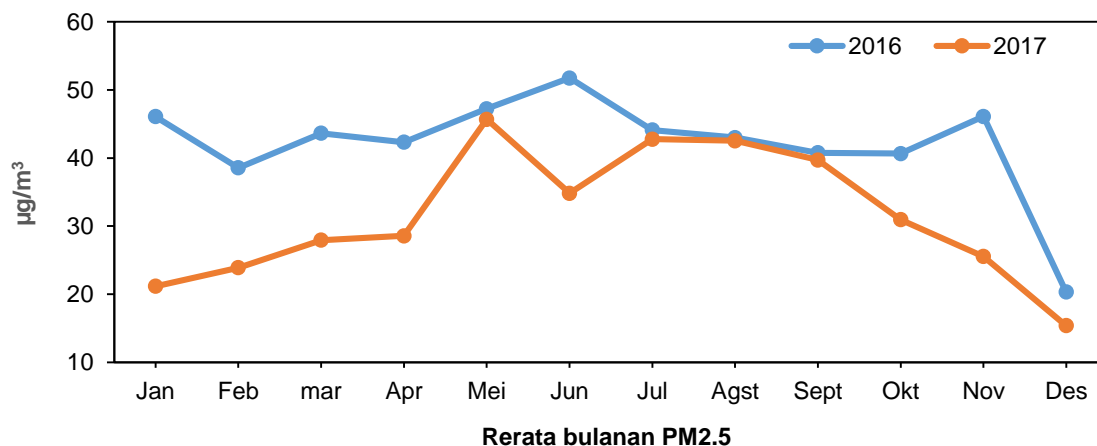


Gambar 2. Pola Konsentrasi harian PM2.5 di kota Jakarta Tahun 2016 saat musim kering musim pancaroba dan musim hujan

Gambar 2 menyajikan konsentrasi polutan saat musim hujan, kering, dan peralihan tahun 2016. Berdasarkan pola harian polutan PM2.5 di kota Jakarta diketahui bahwa peak polutan terjadi saat musim kering dan puncaknya pada pukul 08.00 WIB. Hal ini diduga karena padatnya transportasi di wilayah Jakarta Selatan. Konsentrasi PM2.5 pada jam 08.00 di musim kering sebesar $57,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan pada musim hujan (DJF) merupakan konsentrasi PM2.5 terendah di kota Jakarta, hal ini disebabkan terjadinya pencucian (*washing out*) polutan oleh air hujan. Dari gambar 2 menunjukkan konsentrasi polutan terendah di musim hujan sebesar $21,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada pukul 13.00. Selanjutnya berdasarkan Gambar 2 terlihat setelah terjadi penurunan konsentrasi sekitar pukul 13.00-17.00 WIB. Mulai terjadi kenaikan konsentrasi PM2.5 pada pukul 18.00 WIB dan terus meningkat hingga pukul 23.00 WIB.

b. Pola konsentrasi bulanan PM2.5 di Jakarta tahun 2016-tahun 2017

Gambar 3 menyajikan data konsentrasi PM2.5 bulanan selama tahun 2016-tahun 2017. Pada tahun 2016 menunjukkan *peak* konsentrasi maksimum partikulat PM2.5 terjadi pada bulan Juni mencapai $51,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan konsentrasi maksimum PM2.5 tahun 2017 pada bulan Juni dengan konsentrasi sebesar $46,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rerata Nilai PM2.5 bulanan menunjukkan bahwa tahun 2017 terjadi penurunan PM2.5 dibanding tahun 2016. Sedangkan konsentrasi minimum baik tahun 2016 maupun 2017 terjadi pada bulan Desember yaitu sebesar masing-masing $20,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $15,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini menunjukkan pengaruh musim hujan sangat berpengaruh terhadap konsentrasi PM2.5 di atmosfer karena adanya proses pencucian (*washing out*) di atmosfer [12]. Rata-rata konsentrasi PM2.5 selama tahun 2016 adalah sebesar $42,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan rerata konsentrasi PM2.5 tahun 2017 menurun sebesar $31,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



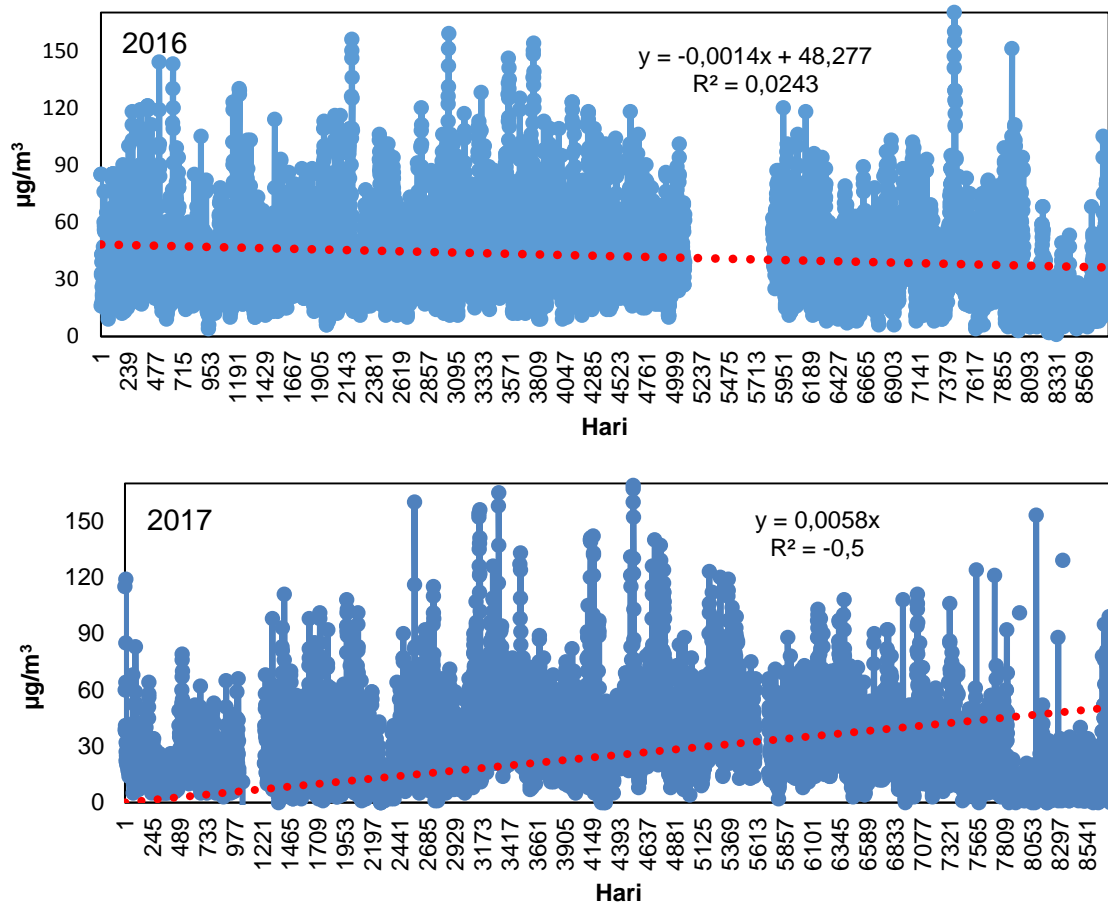
Gambar 3. Pola bulanan konsentrasi pencemar PM2.5 pada Tahun 2016 dan Tahun 2017

Gambar 3 menunjukkan pola konsentrasi PM2.5 selama bulan Januari 2016 hingga Desember tahun 2017. Konsentrasi rata-rata PM2.5 selama tahun 2016 sebesar

$42,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan konsentrasi rata-rata PM2.5 tahun 2017 sebesar $31,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Secara umum, jika dibandingkan konsentrasi PM2.5 selama tahun 2016 dan tahun 2017,

konsentrasi PM_{2.5} tahun 2017 lebih rendah dibanding tahun 2016. Berdasarkan nilai rata-rata PM_{2.5} selama 2 tahun tersebut terjadi penurunan PM_{2.5} sebesar 24,8%. Meskipun konsentrasi ini belum melewati nilai batas ambang harian PM_{2.5} di

Indonesia yaitu 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, akan tetapi nilai tersebut telah mencapai nilai rata-rata tahunan sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang tercantum di dalam Lampiran Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41/1999 tentang baku mutu udara ambien [10].

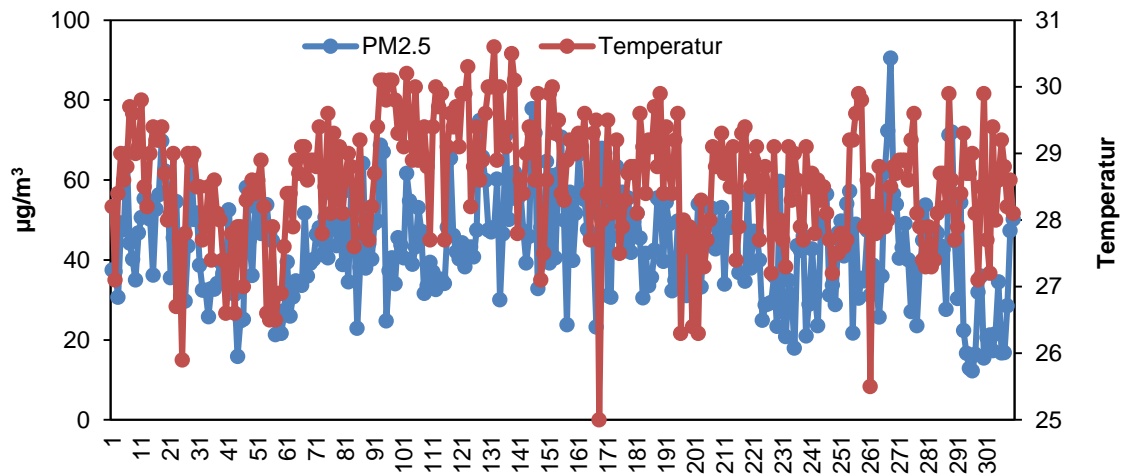


Gambar 4. *Time series trend* PM_{2.5} selama bulan Januari-Desember Tahun 2016 & Tahun 2017

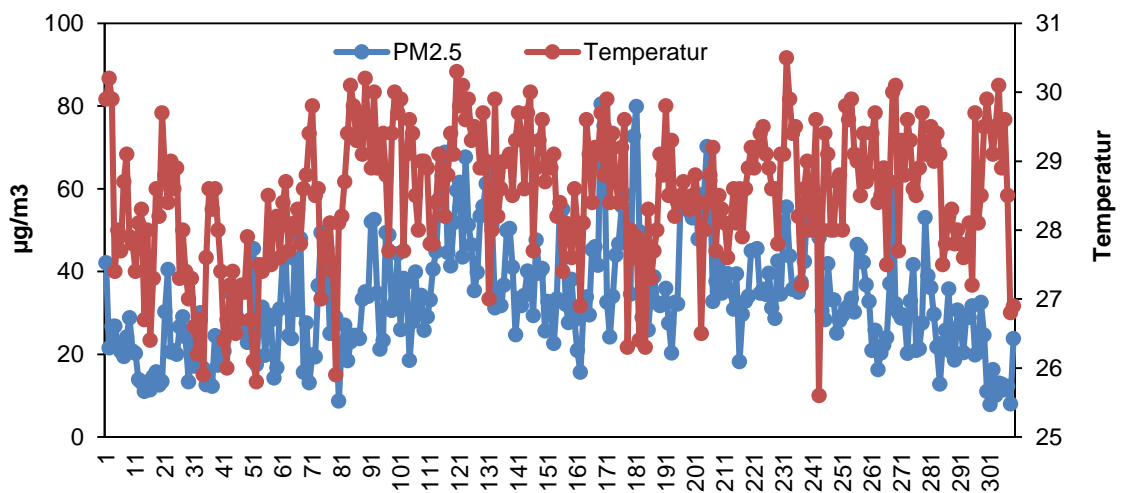
Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa selama tahun 2016 konsentrasi PM_{2.5} cenderung mengalami penurunan karena tren yang ditunjukkan oleh *time series* tersebut menunjukkan terjadi trend negatif konsentrasi PM_{2.5} selama tahun 2016. Sedangkan tahun 2017 trend konsentrasi PM_{2.5} mengalami peningkatan konsentrasi.

c. Hubungan Antara konsentrasi PM_{2.5} dan kondisi Meteo di kota Jakarta

Gambar 5 menyajikan Hubungan antara kelembaban dan temperatur umumnya linier, artinya saat temperatur turun maka PM_{2.5} begitu pula sebaliknya. Saat musim hujan konsentrasi PM_{2.5} rendah terutama saat musim hujan (DJF), begitu pula saat musim kering T udara cenderung naik, maka konsentrasi PM_{2.5} pun cenderung naik.



(a) Tahun 2016

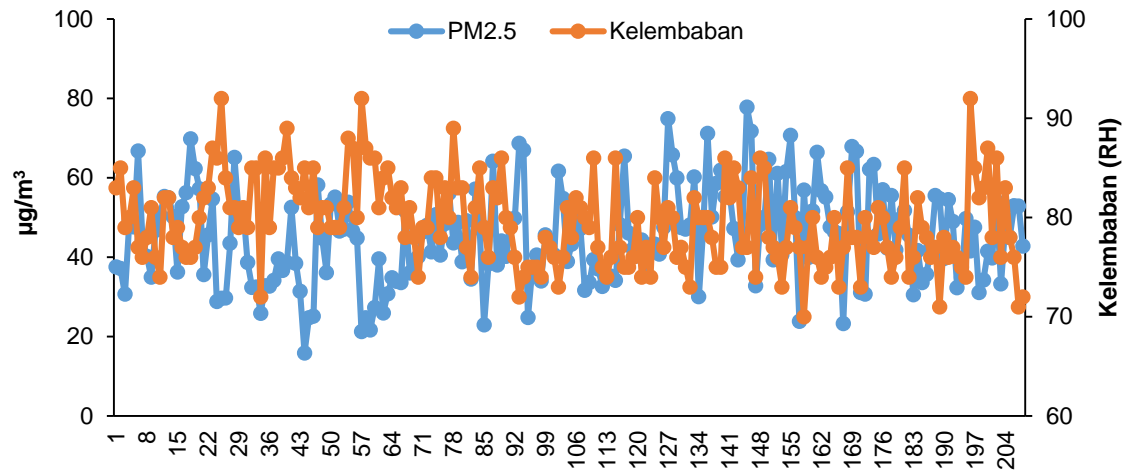


(b) Tahun 2017

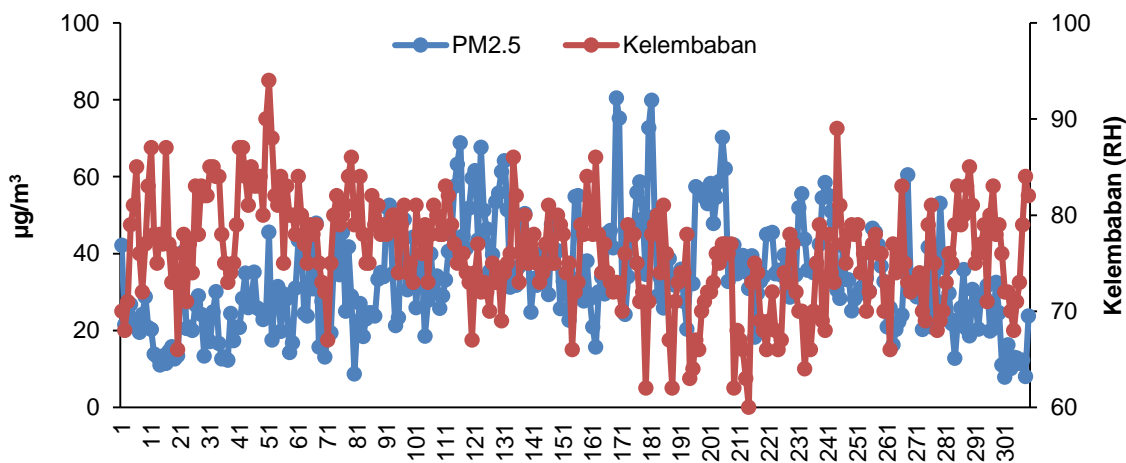
Gambar 5. Hubungan antara konsentrasi PM2.5 dan Temperatur selama (a) Tahun 2016 dan (b) Tahun 2017 di Jakarta Selatan

Gambar 6 menunjukkan korelasi antara konsentrasi PM2.5 dan kelembaban selama tahun 2016 dan tahun 2017 di Jakarta Selatan. Gambar 6 menyajikan korelasi antara konsentrasi PM2.5 dan RH umumnya berbanding terbalik, artinya saat kelembaban tinggi, maka polutan PM2.5 turun dan sebaliknya saat kelembaban turun

maka umumnya konsentrasi polutan PM2.5 meningkat. Dari Gambar 6 terlihat konsentrasi polutan PM2.5 saat musim hujan kelembaban cukup tinggi, dan konsentrasi PM2.5 rendah, hal ini juga disebabkan antara lain karena tingginya curah hujan yang menyebabkan proses *washing out* (pencucian polutan) di atmosfer [12]



(a) Tahun 2016



(b) Tahun 2017

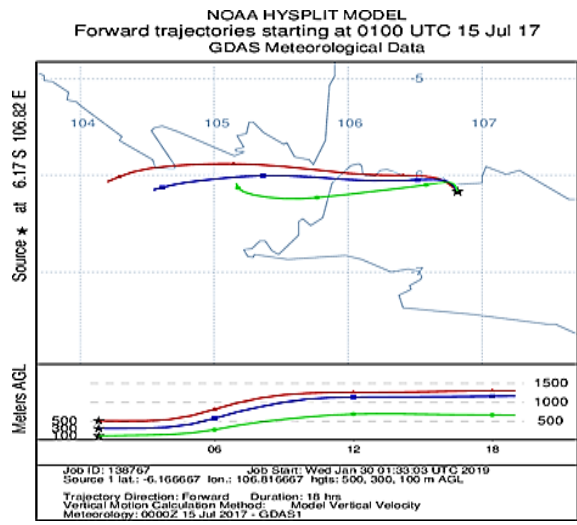
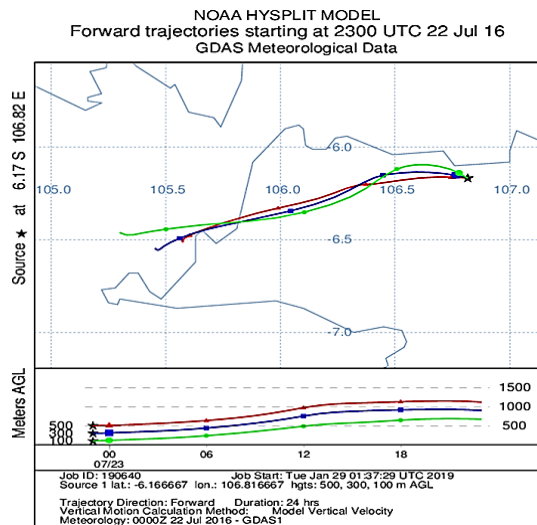
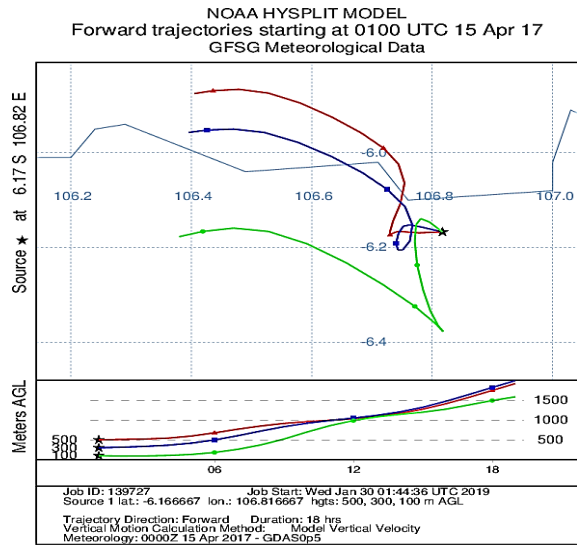
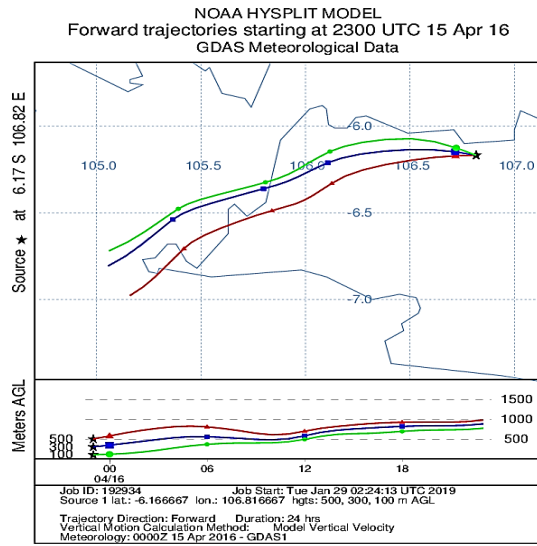
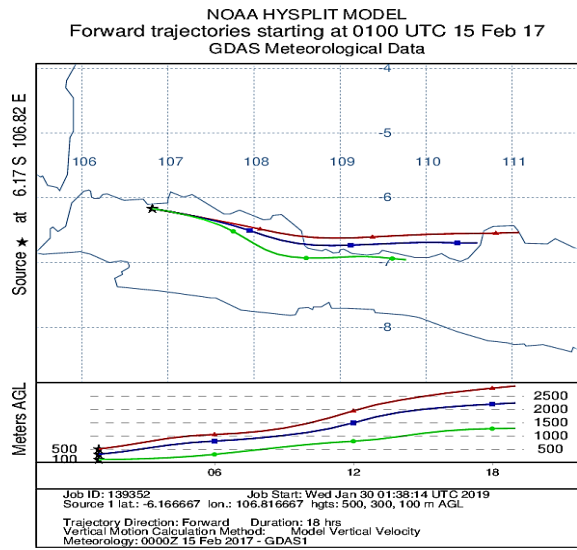
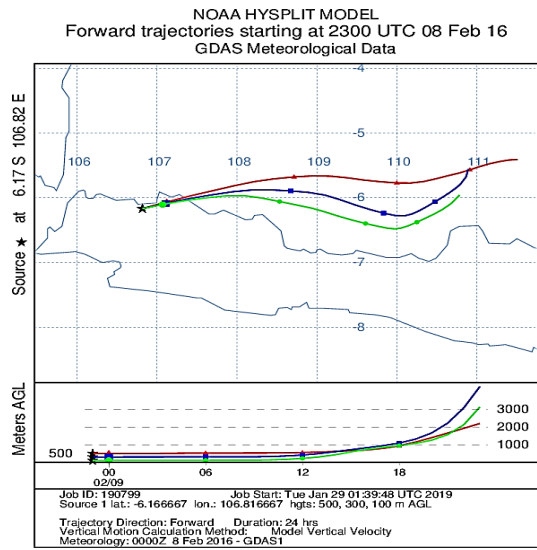
Gambar 6. Hubungan antara Konsentrasi PM_{2.5} dan kelembaban selama (a) tahun 2016 dan (b) tahun 2017 di Jakarta Selatan

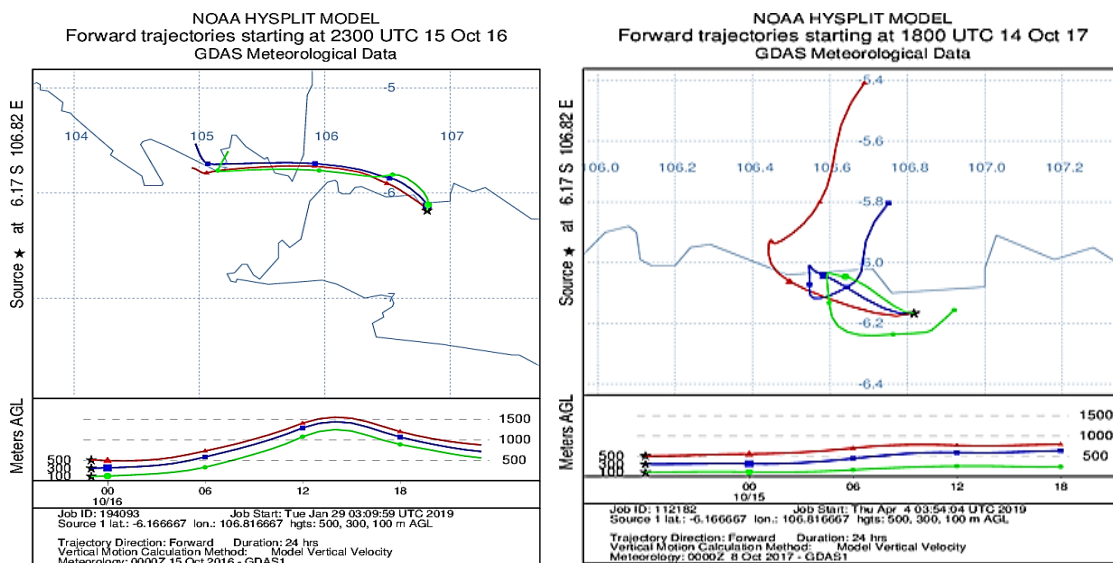
2. Trayektori polutan PM_{2.5} di kota Jakarta pada bulan Januari 2016 hingga Desember 2017

a. Model HYSPLIT *Forward Trajectory* polutan Jakarta

Gambar 7 menyajikan hasil running model HYSplit *forward trajectory* GDAS (*Global Data Assimilation system*) polutan di kota Jakarta. Running model HYSplit dimaksudkan untuk memverifikasi arah penyebaran polutan khususnya PM_{2.5} di wilayah Jakarta [11]. Dalam penelitian ini

dilakukan running model yang mewakili musim hujan (diwakili bulan Februari) musim kering (diwakili bulan Juli) dan musim peralihan (diwakili bulan April dan bulan Oktober). Pada Gambar 7 yaitu musim hujan tahun 2016 memperlihatkan arah polutan yang menuju ke wilayah Timur dan laut utara kota Jakarta, artinya polutan tersebut lebih cenderung terbang ke arah laut. Arah angin pada musim hujan yang cenderung bertiup dari Barat, menyebabkan trayektori polutan mengarah ke arah Timur Laut Jakarta.

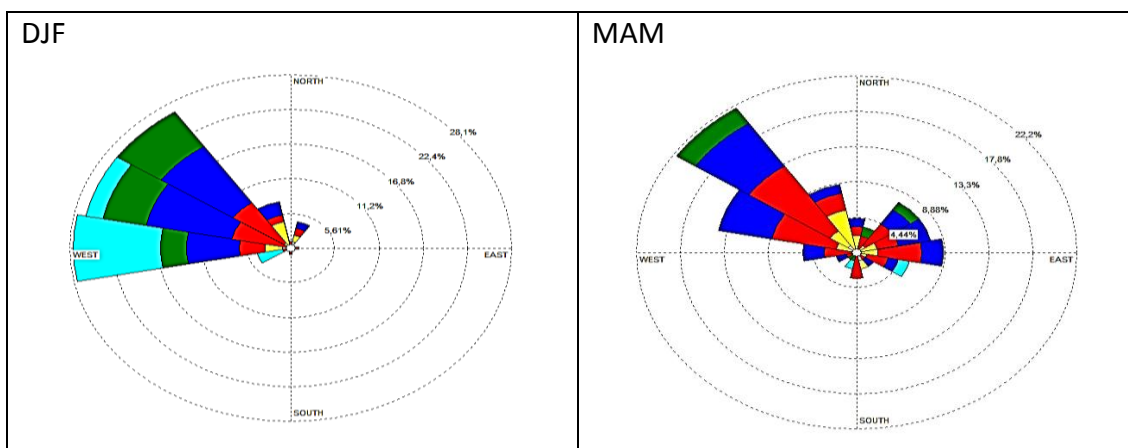


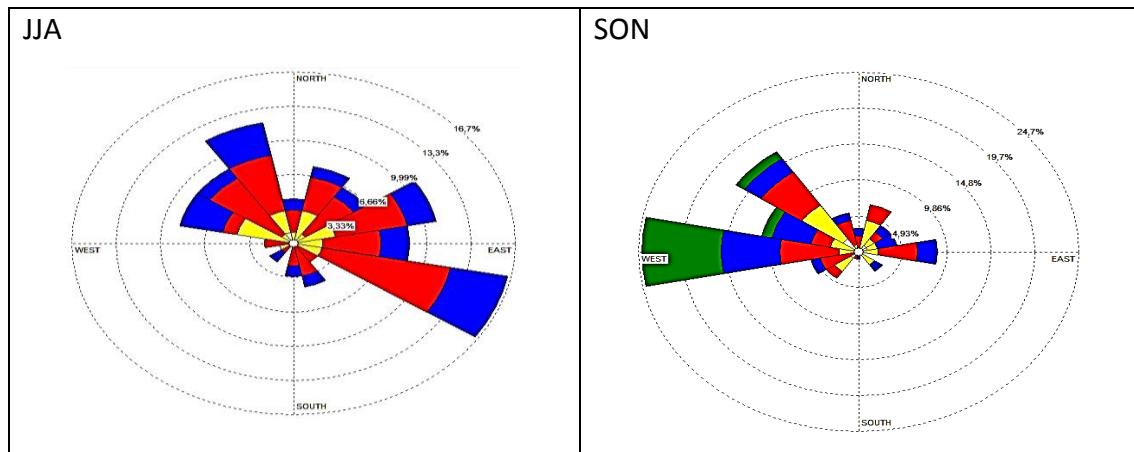


Gambar 7. Hasil luaran Model HYSplit *Forward* Trayektori polutan di kota Jakarta pada setiap musim tahun 2016 dan tahun 2017 (Sumber NOAA [12])

Pada Bulan April running 24 jam model HYSplit *forward trajectory* polutan menunjukkan arah penyebaran polutan ke wilayah Barat kota Jakarta yaitu Banten dan sekitarnya. Hal ini tentunya menjadi perhatian bagi wilayah di sekitar kita Jakarta karena adanya sebaran polutan dari wilayah Jakarta. Pada Bulan Juli 2016, running 24 jam model HYSplit *forward trajectory* polutan menunjukkan arah penyebaran polutan ke arah Barat kota Jakarta menuju wilayah Banten. Hal ini masih serupa dengan pola penyebaran polutan pada bulan April 2016. Sedangkan

pada bulan Juli 2017, terlihat bahwa penyebaran polutan cenderung mengarah ke arah Selat Sunda. Artinya dalam 24 jam polutan yang berasal dari DKI terbawa ke wilayah laut, hal ini tentunya lebih aman terkait dengan kesehatan manusia karena polutan dari kota Jakarta akan dibuang ke laut. Gambar 8 di bawah ini menyajikan arah dan kecepatan angin di kota Jakarta Selatan guna memverifikasi data konsentrasi PM2.5 jika dikorelasikan dengan kondisi meteo di wilayah tersebut.





Gambar 8. Arah dan Kecepatan angin di Jakarta Selatan saat musim hujan, musim kering dan musim peralihan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi PM_{2.5} di Jakarta Selatan disimpulkan bahwa konsentrasi PM_{2.5} di wilayah Jakarta Selatan dari tahun 2016 hingga 2017 belum melewati nilai batas ambang harian PM_{2.5} di Indonesia yaitu 65 µg/m³, akan tetapi nilai tersebut telah mencapai nilai rata-rata tahunan sebesar 15 µg/m³ yang tercantum di dalam Lampiran Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41/1999 tentang baku mutu udara ambien. Dengan demikian, pemerintah perlu terus mengontrol dan melakukan perbaikan terhadap kualitas lingkungan kota Jakarta agar menjadi kota yang bersih, sehat dan memiliki kualitas udara yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS, statistik transportasi DKI Jakarta, 2016.
- [2] J. P. Dowson, B. J. Bloomer, D. A. Winner, and C. P. Weaver, "Understanding the Meteorological Drivers of U.S. Particulate Matter Concentrations in a Changing Climate," *Journal of American Meteorological Society*, pp. 521-532, 2014.
- [3] O. Lawal & A.O. Asimiea, "Spatial Modelling of Population at Risk and PM_{2.5} Exposure index: A Case Study of Nigeria," *Ethiopian Journal of Environmental Studies & Management*, vol. 8, no. 1, pp. 69-80, 2015..
- [4] U. Muliane & P. Lestari, "Pemantauan kualitas udara ambien daerah padat lalu lintas dan komersial DKI Jakarta: analisis konsentrasi PM_{2.5} dan black carbon," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 17, no. 2, pp. 178-188, 2011.
- [5] L. Rixson, E. Riani, & M. Santoso, "Karakterisasi Paparan Long Term Particulate Matter di Puspiptek Serpong-Kota Tangerang Selatan," *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, vol. 11, no. 1, pp. 51-64, 2015.
- [6] [WHO AQG] World Health Organization Air Quality Guidelines, "Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide, Global update 2005. Summary of risk assessment, Geneva)," 2006.
- [7] Y. Q. Wang, X. Y. Zhang, J. Y. Sun, X. C. Zhang, H. Z. Che, & Y. Li, "Spatial and temporal variations of the concentrations of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in China," *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 15, no. 23, pp. 13585-13598, 2015.
- [8] R. Mukhtar, E. H. Panjaitan, H. Wahyudi, M. Santoso, S. Kurniawati, "Komponen Kimia PM_{2.5} dan PM₁₀ di

- Udara Ambien Serpong-Tangerang, Ecolab,” vol. 7, no. 1, pp. 1-7, 2013.
- [9] N. Upadhyay, A. Clements, M. Fraser, & P. Herckes, “Chemical Speciation of PM_{2,5} and PM₁₀ in South Phoenix, AZ. *Journal of Air and Waste Management Association*, vol. 61, no. 3, pp. 302-3010, 2011.
- [10] J. Wang & S. Ogawa, “Effects of Meteorological Conditions on PM_{2.5} Concentrations in Nagasaki, Japan,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 12, no. 8, pp. 9089-9101, 2015.
- [11] Peraturan Pemerintah No 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Jakarta, 1999.
- [12] J. H. Seinfeld & S. N. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, 2006.