



Variasi Musiman dan Harian PM_{2.5} di Jakarta Periode 2016 – 2019

Rheinart Christian Hamonangan Hutaeruk^{1*}, Edi Rahmanto², Meliana Candra Pancawati³

¹Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri, Jl. Abdul Rahman Saleh, Kota Palu, Sulawesi Tengah, 94231

²Stasiun Klimatologi Kampar, Desa Kuapan, Kabupaten Kampar, Riau, 28462

³Stasiun Klimatologi Maros, Jl. DR. Ratulangi No.75-A, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan, 90512

*Email: rheinhart.christian@gmail.com

Naskah Masuk: 05 Februari 2020 | Naskah Diterima: 22 April 2020 | Naskah Terbit: 01 Juni 2020

Abstrak. Peningkatan populasi yang diikuti dengan meningkatnya sektor industri dan transportasi di Jakarta telah menambah konsentrasi PM_{2.5}, peningkatan konsentrasi partikulat ini bisa berdampak pada kesehatan penduduk setempat. Pada penelitian ini menggunakan konsentrasi PM_{2.5} selama periode 2016 – 2019 serta parameter cuaca (angin dan suhu rata – rata). Data PM_{2.5} dan parameter cuaca diolah menggunakan package dari RStudio untuk memudahkan melihat pola distribusi harian dan musiman. Nilai konsentrasi rata-rata tahunan PM_{2.5} adalah 36.1 µg/m³. Konsentrasi partikulat meningkat pada bulan Mei-Agustus (musim kemarau), dan menurun pada bulan September-Februari (musim hujan). Pada pola harian PM_{2.5} meningkat pada pukul 01.00 – 14.00 WIB dan menurun pada pukul 14.00 – 00.00 WIB, sehingga melakukan aktivitas fisik di luar ruang pada pagi hari akan lebih berbahaya dibanding sore hari. Angin dan suhu mempengaruhi pola harian maupun musiman, pada sub musim MAM – JJA kecepatan angin calm lebih banyak dibanding SON – DJF. Konsentrasi akan meningkat pada kecepatan angin minimum dan suhu minimum kemudian meningkat pada kecepatan angin maksimum dan suhu maksimum. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pola harian dan seasonal PM_{2.5} serta hubungan antara PM_{2.5} terhadap parameter cuaca yaitu suhu rata – rata dan arah/kecepatan angin.

Kata kunci : PM_{2.5}, variasi musiman, variasi harian

Abstract. An increase in population followed by an increase in the industrial and transportation sectors in Jakarta has increased the concentration of PM_{2.5}, this increase in particulate concentrations could have an impact on the health of the local population. In this study using PM_{2.5} concentrations during the 2016 – 2019 period and weather parameters (wind and average temperature). PM_{2.5} data and weather parameters are processed using a package from RStudio to simplify see the diurnal and seasonal distribution patterns. The mean annual PM_{2.5} concentration value is 36.1 µg / m³. Particulate concentrations increase in May-August (dry season), and decrease in September-February (rainy season). In the diurnal pattern PM_{2.5} increases at 01.00 – 14.00 WIB and decreases at 14.00 – 00.00 WIB, doing physical activities outdoors in the morning will be more dangerous than in the afternoon. Wind and temperature affect daily and seasonal patterns, in the MAM – JJA calm wind speed is more than SON – DJF. Concentration will increase at minimum wind speed and minimum temperature then increase at maximum wind speed and maximum temperature. The study aims to determine the daily and seasonal patterns of PM_{2.5} and the relationship between PM_{2.5} to weather parameters that is average temperature and wind direction.

Keywords : PM_{2.5}, seasonal variation, diurnal variation

Pendahuluan

Pada akhir 2019 populasi di Jakarta mencapai 10.5 juta jiwa [1]. Peningkatan populasi di Jakarta diikuti dengan meningkatnya sektor industri dan transportasi akan berdampak meningkatnya konsentrasi aerosol di atmosfer. Peningkatan aerosol di daerah perkotaan menunjukkan bahwa emisi kendaraan bermotor paling berpengaruh signifikan terhadap jumlah partikel halus di udara *Particulate Matter* (PM) [2]. PM merupakan salah satu dari 12 parameter pencemar udara yang terdapat di dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 [3], PM ini memiliki dampak paling berbahaya bagi kesehatan manusia karena kemampuannya yang dapat masuk sampai ke sistem pernapasan yang paling dalam. Partikel berukuran 2.5 µm sampai dengan 10 µm dapat menembus ke dalam paru-paru tanpa tersaring oleh rambut di dalam hidung. Partikel berukuran di bawah 2.5 µm atau disebut juga PM_{2.5} apabila terhirup tidak dapat disaring dalam sistem pernapasan bagian atas dan akan menembus bagian terdalam paru – paru. Saat ini perlu adanya perhatian khusus pada dan PM_{2.5} karena akan berdampak pada jarak pandang dan kesehatan manusia [4]. Menurut Chu *et al* [5] PM_{2.5} dapat mengganggu fungsi paru – paru, memperburuk penyakit asma, jantung serta dapat meningkatkan risiko kanker mulut. Paparan PM jangka panjang akan lebih berpengaruh signifikan terhadap kesehatan dibandingkan dengan jangka pendek [4]. Maka dari itu diperlukan informasi tentang *trend* dan variabilitas untuk mengetahui pengaruh jangka panjang PM_{2.5} dalam udara, sehingga dapat diketahui pola harian dan musiman PM_{2.5} di Jakarta.

Kondisi meteorologi seperti faktor angin dan suhu udara juga mempengaruhi konsentrasi dan distribusi polutan di udara [6]. Kondisi meteorologi juga menentukan perilaku partikulat di atmosfer [7]. Faktor meteorologi dapat mempengaruhi variasi temporal dan spasial suatu polutan di suatu wilayah [8]. Menurut penelitian Gusnita, D dan Cholinawati, N [9] mengenai pola konsentrasi dan trayektori polutan PM_{2.5} di Jakarta menunjukkan hasil konsentrasi maksimum PM_{2.5} tahun 2016 terjadi pada musim kering (Juni – Agustus) dan menurun untuk tahun 2017. WHO telah memberikan nilai baku konsentrasi massa rata-rata tahunan PM_{2.5} sebesar 10 µg/m³ dan 24 jam sebesar 25 µg/m³ [10]. Penelitian ini akan menyajikan hasil analisis PM_{2.5} pada periode 2016 – 2019 di daerah urban Jakarta. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola harian dan seasonal PM_{2.5} serta hubungan antara PM_{2.5} terhadap parameter cuaca yaitu suhu rata – rata dan arah/kecepatan angin. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan informasi kepada masyarakat tentang kualitas udara di Jakarta dan memberikan masukan kepada pengambil kebijakan terkait mitigasi dan peningkatan kualitas udara di Jakarta.

Metode Penelitian

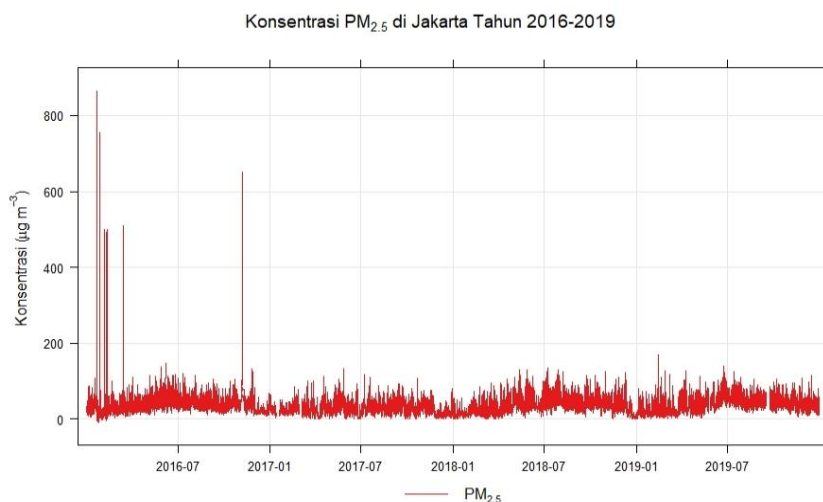
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengamatan PM_{2.5} dan data unsur – unsur cuaca (suhu dan arah/kecepatan angin) permukaan periode tahun 2016 sampai dengan tahun 2019. Data PM_{2.5} di ambil dari PM_{2.5} Analyzer di tempatkan Kedutaan Besar Amerika Serikat di Jakarta yang diunggah pada situs <https://airnow.gov> dan data unsur – unsur cuaca yang diambil dari Stasiun Meteorologi Kemayoran, Jakarta. Metode yang di gunakan pada penelitian ini adalah analisis titik atau analisis ruang dengan cara sampling, maka pada titik tersebut dianggap mewakili daerah tersebut dan temporal adalah analisis yang meliputi ruang lingkup waktu kejadian melihat pada lokasi dan waktu pengamatan PM_{2.5}. Penelitian ini juga menggunakan bantuan *package openair* untuk menampilkan analisis data kualitas udara [11], serta menggunakan aplikasi pengolah angka untuk melihat sebaran data konsentrasi PM_{2.5}, serta data unsur-unsur cuaca.

Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 merupakan *timeplot* konsentrasi harian PM_{2.5} selama 4 tahun periode Januari 2016 sampai Desember 2019 di Jakarta Pusat. Dapat dilihat pada Gambar 1, bahwa nilai konsentrasi PM_{2.5} tertinggi mencapai lebih dari 800 µg/m³ di tahun 2016. Nilai konsentrasi PM_{2.5} yang tinggi bisa disebabkan karena faktor global yaitu adanya fenomena El Nino pada tahun tersebut (lihat Tabel 2). Dari *timeplot*



ini terlihat fluktuasi konsentrasi massa PM_{2.5}, nilai konsentrasi ini sebagian besar terkait dengan perubahan kondisi cuaca dimana faktor cuaca tersebut dapat menentukan perilaku partikulat di atmosfer [7]. Selain itu, tinggi kontribusi konsentrasi PM_{2.5} disebabkan oleh peningkatan jumlah kendaraan bermotor, maupun konsumsi bahan bakar fosil untuk kegiatan perindustrian [12].



Gambar 1. Timeplot konsentrasi harian PM_{2.5}

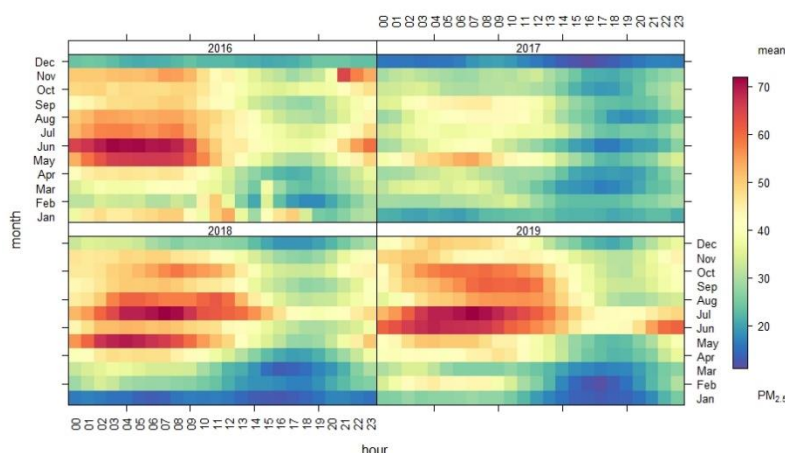
Konsentrasi tahunan PM_{2.5} serta kelengkapan data tahunan yang disajikan dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai rata – rata tahunan PM_{2.5} selama 4 tahun adalah $36.1 \pm 16.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai rata – rata konsentrasi PM_{2.5} pada setiap tahun selalu lebih besar dari $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, WHO telah menetapkan batas rata – rata tahunan untuk konsentrasi PM_{2.5} adalah $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ karena telah diteliti oleh *American Cancer Society's* (ACS) mewakili batas bawah terhadap efek yang dapat ditimbulkan oleh PM_{2.5} [13]. Nilai standar deviasi yang tinggi menunjukkan simpangan konsentrasi harian PM_{2.5} yang jauh dari rata – ratanya, semakin besar nilai standar deviasi maka untuk melakukan prediksi PM_{2.5} akan semakin sulit. Konsentrasi harian tertinggi ada pada tahun 2016 dengan nilai $156.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan nilai minimum terdapat pada tahun 2017 dengan konsentrasi harian $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabel 1. Ringkasan statistik PM_{2.5}

Tahun	Jumlah hari (%)	Rata – rata tahunan $\pm$ SD (min – max)
		PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2016	357 (97.5)	40.9 ± 17.9 (4.6 – 156.1)
2017	345 (94.5)	27.5 ± 12.6 (1.2 – 66.6)
2018	354 (96.9)	37.2 ± 16.9 (2.9 – 82.9)
2019	351 (96.1)	38.9 ± 16.1 (5.5 – 89)
Total	1407 (96.3)	36.1 ± 16.8 (1.2 – 156.1)

Variasi musiman PM_{2.5}

Untuk menentukan perbedaan musiman PM_{2.5} selama tahun 2016 hingga tahun 2019 periode musim dibagi menjadi 4 yaitu periode musim hujan Desember – Januari – Februari (DJF), periode peralihan musim kemarau Maret – April – Mei (MAM), periode musim kemarau Juni – Juli – Agustus (JJA), periode peralihan musim hujan September – Oktober – November (SON). Dapat dilihat pada Gambar 2, konsentrasi tiap jam PM_{2.5} tertinggi pada umumnya terdapat pada bulan Mei hingga Agustus, konsentrasi tinggi umumnya terdapat pada periode peralihan kemarau hingga kemarau. Pada tahun 2017 nilai konsentrasi PM_{2.5} berbeda dengan yang lainnya yaitu nilai PM_{2.5} pada tahun 2017 lebih rendah dari pada tahun lainnya.



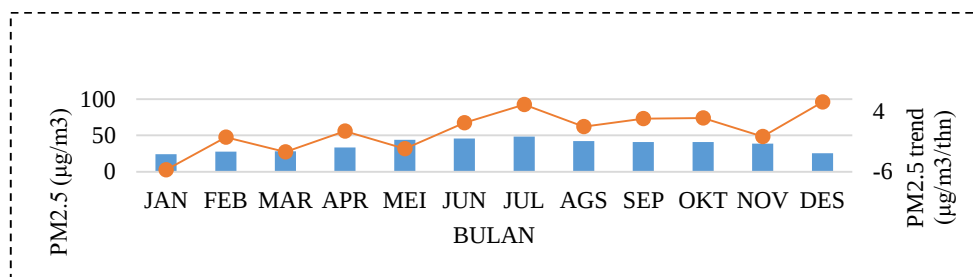
Gambar 2. Distribusi PM_{2.5} terhadap bulan dan waktu (WIB) tiap tahun

Banyak faktor yang menyebabkan melemahnya konsentrasi PM_{2.5} di suatu wilayah, melemahnya konsentrasi PM_{2.5} di tahun 2017 bisa disebabkan oleh faktor global yaitu adanya fenomena La Nina (lihat Tabel 2) pada tahun tersebut. Pada saat fenomena La Nina terjadi beberapa wilayah di Indonesia mengalami peningkatan curah hujan, dimana meningkatnya curah hujan akan berdampak pada pencucian udara yang menyebabkan turunnya konsentrasi PM_{2.5}. Periode musim hujan (DJF) terlihat memiliki konsentrasi PM_{2.5} lebih rendah dari periode yang lainnya, ini disebabkan oleh curah hujan yang tinggi pada periode tersebut. Pada sub musim MAM dan JJA konsentrasi PM_{2.5} mencapai puncaknya dimana pada saat musim peralihan sampai kemarau curah hujan sedikit dan banyaknya jumlah angin *calm* (<1 m/s) (lihat gambar 5) sehingga menyebabkan polutan terperangkap di bawah, kecepatan angin yang rendah serta suhu yang rendah akan mengakibatkan penumpukan partikulat [14]. Variasi musiman PM_{2.5} yang dilakukan oleh Gusnita, D dan Cholinawati, N [9] juga menunjukkan konsentrasi meningkat pada musim kemarau. Konsentrasi PM_{2.5} tiap bulan pada umumnya tinggi pada pagi hari dan rendah pada sore hari.

Tabel 2. Indeks El Nino

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8
2019	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	

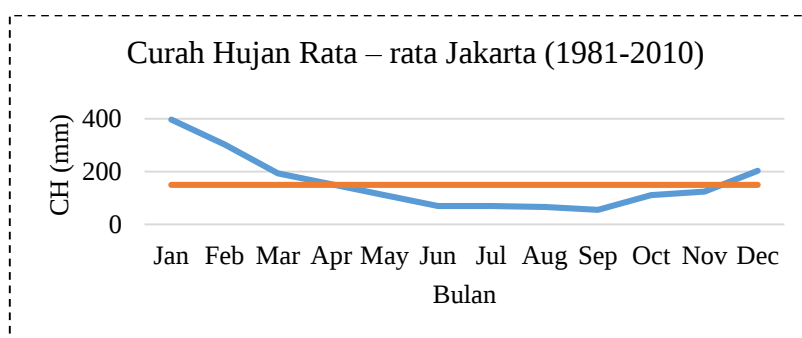
Sumber: origin.cpc.ncep.noaa.gov



Gambar 3. Grafik Konsentrasi dan *trend* PM_{2.5} bulanan periode 2016 – 2019

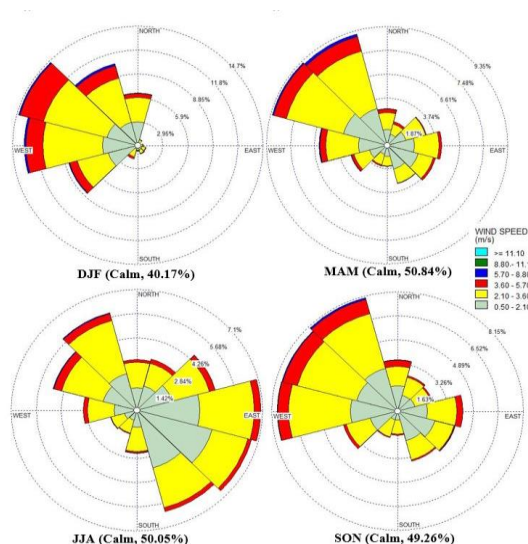
Gambar 3 merupakan grafik rata – rata konsentrasi PM_{2.5} dari tahun 2016 sampai dengan 2019 dalam bentuk perbulan, terlihat *trend* signifikan meningkat pada saat memasuki musim kemarau yaitu pada

bulan Mei ke Juni. Jika rata – rata konsentrasi saat periode musim kemarau (JJA) lebih tinggi dibandingkan dengan periode musim hujan (DJF), konsentrasi tertingginya yaitu saat musim kemarau (Juli) dengan nilai 48.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan konsentrasi terendahnya pada Januari (Puncak Musim Hujan) dengan nilai 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Terdapat pola yang konstan pada grafik rata – rata konsentrasi diatas, yaitu konsentrasi berada di titik tertingginya saat musim kemarau dan berangsur – angur turun menjelang musim hujan atau saat adanya proses pencucian udara (*rain wash*), atau dalam kata lain konsentrasi PM_{2.5} berada di titik terendahnya saat musim hujan dan konsentrasi PM_{2.5} berada di titik tertingginya saat musim kemarau, hal ini dikarenakan hujan sebagai pencuci udara. Mukhtar et al [15] mengatakan bahwa hujan sebagai pencuci udara dikarenakan saat terjadinya hujan seluruh partikulat yang melayang – layang di udara ikut terbawa meluruh kedalam hujan.



Gambar 4. Grafik Rata-rata curah hujan bulanan Jakarta 1981 – 2010

Dapat dilihat pada Gambar 3 yang merupakan grafik analisis trend konsentrasi PM_{2.5}, diketahui bahwa bentuk grafik tidak stasioner atau fluktuatif karena memiliki kecenderungan turun saat musim hujan dan naik saat musim kemarau atau dalam kata lain di sebut sebagai kurva terbuka kebawah mengikuti pola hujan di DKI Jakarta yaitu tipe hujan monsunial yang dapat dilihat pada Gambar 4.

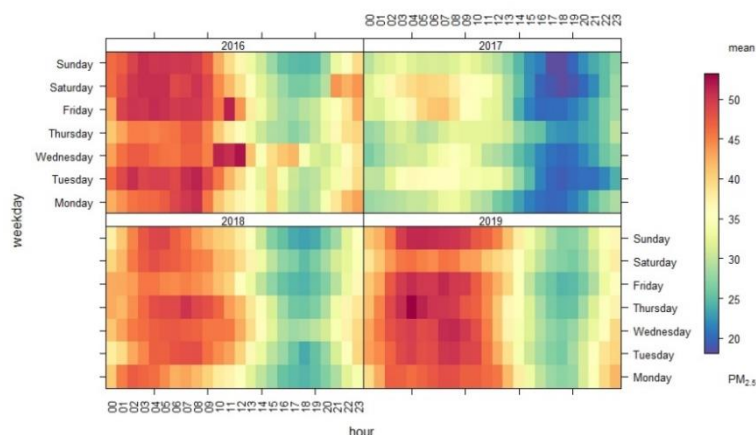


Gambar 5. Plot windrose tiap sub musim periode 2016-2019

Pada Gambar 5 sub musim DJF angin dominan berasal dari arah barat daya – utara dengan jumlah angin *calm* sebanyak 40.17%. Pada sub musim MAM angin dominan berasal dari arah barat – barat laut dengan jumlah angin *calm* sebanyak 50.84%. Pada sub musim JJA angin dominan berasal dari arah timur – tenggara dengan jumlah angin *calm* sebanyak 50.05%. Pada sub musim SON angin dominan dari barat – barat laut dengan jumlah angin *calm* sebanyak 49.26%. Angin *calm* terbanyak terdapat pada sub musim MAM dan JJA, banyaknya jumlah angin *calm* ini akan berdampak pada penumpukan partikulat pada suatu wilayah.

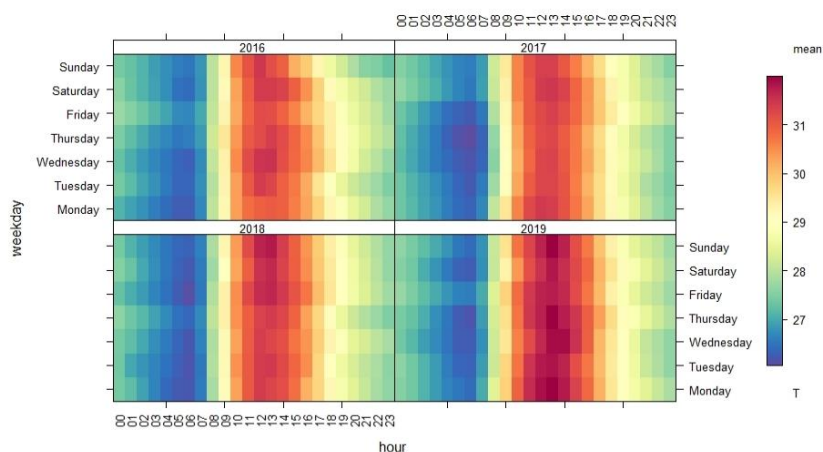
Variasi harian PM_{2.5}

Gambar 6 merupakan pola harian konsentrasi PM_{2.5} tiap tahun. Pada tahun 2017 konsentrasi PM_{2.5} paling kecil, hal ini berkaitan dengan pola musiman dimana konsentrasi PM_{2.5} pada tahun 2017 paling kecil. Pada umumnya pola harian dari senin sampai minggu di Jakarta memiliki konsentrasi yang tinggi pada pagi hari yaitu diatas 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan menurun di sore hari. Sehingga disarankan untuk melakukan aktivitas olahraga di luar ruangan lebih baik dilakukan sore hari.



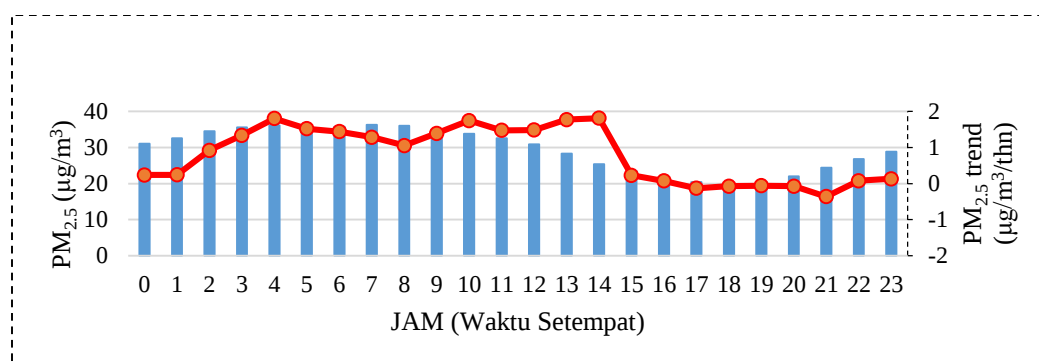
Gambar 6. Distribusi PM_{2.5} terhadap hari dan waktu (WIB) tiap tahun

Dapat dilihat pada Gambar 7, konsentrasi PM_{2.5} menurun pada sore hingga malam hari 16.00 – 23.00 WIB dan meningkat pada pagi hingga menjelang siang 00.00 – 13.00 WIB. Pada setiap musim pola harian konsentrasi cenderung sama, ini disebabkan oleh parameter cuaca yang terjadi di Jakarta. Pada pagi hari suhu rata-rata harian di Jakarta mencapai titik minimumnya sehingga massa udara atau aerosol yang terdapat di lapisan bawah lebih padat sehingga tidak dapat naik ke atmosfer, lalu pada siang hari suhu udara mencapai puncak maksimumnya yang menyebabkan massa udara yang padat tadi dipanaskan sehingga menjadi ringan dan terangkat ke atas.



Gambar 7. Distribusi suhu terhadap hari dan waktu tiap tahun

Faktor cuaca angin juga sangat berpengaruh pada konsentrasi PM_{2.5}. Dapat dilihat pada Gambar 7 yang merupakan pola harian angin di Jakarta, angin kategori *calm* (<1 m/s) mayoritas ada pada pagi hari pukul 00.00 – 07.00 dan mencapai maksimum pada siang hingga sore hari 12.00 – 16.00. Banyaknya angin *calm* pada pagi hari ini menyebabkan banyaknya polutan yang terperangkap di dekat tanah sehingga konsentrasi meningkat pada pagi hari. Pada siang hari jumlah angin *calm* lebih sedikit sehingga polutan yang di dasar dapat diterbangkan ke atas.



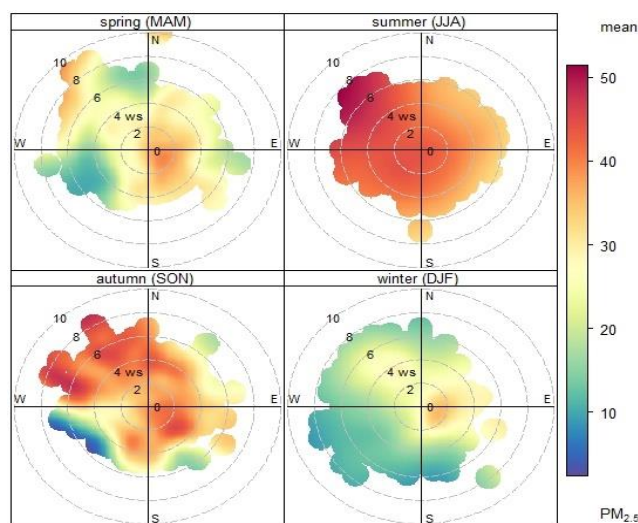
Gambar 8. Grafik rata – rata konsentrasi dan *trend* PM_{2.5} per – jam periode 2016 – 2019

Gambar 8 merupakan grafik rata – rata konsentrasi PM_{2.5} dari tahun 2016 sampai dengan 2019 dalam bentuk perjam, terlihat jika rata – rata konsentrasi saat pagi hari lebih tinggi dibandingkan dengan siang hari, konsentrasi tertingginya yaitu saat pukul 07.00 WIB dengan nilai 36.28 µg/m³ dan konsentrasi terendahnya pada pukul 18.00 WIB dengan nilai 19.78 µg/m³. *Trend* menurun signifikan pada pukul 14.00 WIB dan signifikan meningkat pada pukul 01.00 WIB. Terdapat pola yang konstan pada grafik rata – rata konsentrasi diatas, yaitu konsentrasi berada di titik tertingginya saat pagi hari dan berangsur – angsur menjelang siang hari atau saat matahari mulai terbit, atau dalam kata lain konsentrasi PM_{2.5} berada di titik terendahnya saat suhu maksimum dan konsentrasi PM_{2.5} berada di titik tertingginya saat minimum, hal ini dikarenakan semakin suhu panas artinya golakan antar partikel di udara makin aktif sehingga berperan dalam pengenceran/penyebaran polutan sehingga konsentrasi semakin rendah [16]. Pada grafik trend konsentrasi PM_{2.5} di atas diketahui jika bentuk grafik stasioner atau fluktuatif, namun memiliki kecenderungan turun dari jam 00 hingga jam 23 WIB. Pukul 08.00 sampai dengan pukul 14.00 memiliki kecenderungan meningkat dari tahun 2016 sampai dengan 2019.

Tabel 3. Korelasi PM_{2.5} dengan Suhu dan Kecepatan angin

Sub Musim	T	<i>p-value</i>	Kec. Angin	<i>p – value</i>
DJF	0.18	0.001	-0.11	0.004
MAM	0.38	0	-0.17	0.001
JJA	0.07	0,16	-0.02	0.763
SON	0.18	0.001	0.007	0.89

Dapat dilihat pada Tabel, korelasi antara PM_{2.5} bernilai negatif yang artinya apabila kecepatan angin tinggi maka konsentrasi partikulat akan menurun [17]. Terdapat korelasi rendah signifikan pada sub musim DJF dan MAM. Pada suhu terdapat korelasi positif yang artinya apabila suhu rata – rata tinggi pada sub musim tersebut maka konsentrasi partikulat akan meningkat juga. Sub musim MAM memiliki korelasi yang signifikan tertinggi antara suhu dan PM_{2.5}.



Gambar 9. Sebaran konsentrasi PM_{2.5} tiap sub musim periode 2016 – 2019

Dapat dilihat pada Gambar 9, sebaran konsentrasi musiman PM_{2.5} di Jakarta pada musim hujan (DJF), terlihat bahwa arah angin dari barat daya diidentifikasi membawa polutan PM_{2.5} rendah dengan rentang nilai konsentrasi antara 10 – 20 µg/m³ dan arah angin dari barat laut hingga timur diidentifikasi membawa polutan PM_{2.5} dengan rentang nilai konsentrasi antara 20 – 30 µg/m³. Selanjutnya, pada musim peralihan kemarau (MAM) terlihat bahwa arah angin dari barat daya diidentifikasi membawa polutan PM_{2.5} dengan rentang nilai konsentrasi antara 10 – 20 µg/m³ dan arah angin dari barat laut hingga selatan diidentifikasi membawa polutan PM_{2.5} dengan rentang nilai konsentrasi antara 20 – 40 µg/m³. Sementara itu, pada musim kemarau (JJA) terlihat bahwa arah angin dari barat laut diidentifikasi membawa polutan PM_{2.5} cukup tinggi dengan rentang nilai konsentrasi antara 40 – 50 µg/m³. Pada musim peralihan hujan (SON) terlihat bahwa arah angin barat daya diidentifikasi membawa polutan PM_{2.5} rendah dengan rentang nilai konsentrasi antara 10– 20 µg/m³ dan arah angin dari barat laut hingga timur diidentifikasi membawa polutan PM_{2.5} dengan rentang nilai konsentrasi antara 30 – 50 µg/m³. Jenis arah angin PM_{2.5} ini menunjukkan pola yang serupa di antara empat musim. Selama musim hujan, konsentrasi PM_{2.5} cenderung rendah dengan kecepatan angin terkuat (>10 m/s). Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang lebih tinggi kemungkinan besar akan menentukan seberapa jauh pencemar akan terbawa sepanjang arah angin dominan (Turyanti, 2011)[18].

Kesimpulan

Data yang dihasilkan dalam penelitian merupakan hasil dari pengukuran PM_{2.5} selama periode 4 tahun di daerah *urban* Jakarta. Hasilnya mengungkapkan kompleksitas dan kesulitan karakteristik aerosol. Nilai rata-rata tahunan konsentrasi PM_{2.5} berkisar antara 1.2 – 156.1 µg/m³. Pola musiman PM_{2.5} konsentrasi tertinggi pada bulan peralihan kemarau dan musim kemarau (MAM – JJA). Pada pola harian konsentrasi PM_{2.5} meningkat pada malam hingga pagi (01.00 WIB), lalu menurun pada siang hingga sore (14.00 WIB). Selain itu faktor angin dan suhu juga mempengaruhi variasi partikulat, dimana saat kecepatan angin *calm* konsentrasi meningkat. Angin dari barat daya diidentifikasi membawa polutan banyak PM_{2.5}. Suhu udara juga mempengaruhi konsentrasi PM_{2.5} dimana saat suhu rata – rata minimum konsentrasi partikulat meningkat (pagi hari) dan saat maksimum konsentrasi partikulat menurun (sore hari).

Daftar Pustaka

- [1] BPS, “Proyeksi Jumlah Penduduk DKI Jakarta Berdasarkan Gender dan Usia,” 2018. .
- [2] Y. Zhu, W. C. Hinds, S. Kim, S. Shen, dan C. Sioutas, “Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic,” *Atmos. Environ.*, vol. 36, no. 27, pp. 4323–

- 4335, 2002.
- [3] P. R. Indonesia, “Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 Tentang: Pengendalian Pencemaran Udara,” *Lembaran Negara RI Tahun*, no. 86, 1999.
 - [4] D. W. Dockery *et al.*, “An association between air pollution and mortality in six US cities,” *N. Engl. J. Med.*, vol. 329, no. 24, pp. 1753–1759, 1993.
 - [5] Y.-H. Chu, S.-W. Kao, D. M. Tantoh, P.-C. Ko, S.-J. Lan, dan Y.-P. Liaw, “Association between fine particulate matter and oral cancer among Taiwanese men,” *J. Investig. Med.*, vol. 67, no. 1, pp. 34–38, 2019.
 - [6] K. Wark dan C. F. Warner, *Air pollution: its origin and control*. Addison-Wesley, 1998.
 - [7] M. Chaâbane, M. Masmoudi, and K. Medhioub, “Determination of Linke turbidity factor from solar radiation measurement in northern Tunisia,” *Renew. Energy*, vol. 29, no. 13, pp. 2065–2076, 2004.
 - [8] A. Colette *et al.*, “Future air quality in Europe: a multi-model assessment of projected exposure to ozone,” *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 12, pp. 10613–10630, 2012.
 - [9] D. Gusnita dan N. Cholianawati, “Pollutant Concentration and Trajectory Patterns of PM_{2.5} including Meteorological Factors in Jakarta City,” *JKPK (Jurnal Kim. dan Pendidik. Kim.)*, vol. 4, no. 3, pp. 152–163.
 - [10] W. H. Organization, *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization, 2006.
 - [11] D. C. Carslaw dan K. Ropkins, “Openair—an R package for air quality data analysis,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 27, pp. 52–61, 2012.
 - [12] E. F. Ahmad dan M. Santoso, “Analisis Karakterisasi Konsentrasi dan Komposisi Partikulat Udara (Studi Kasus: Surabaya),” *J. Kim. Val.*, vol. 2, no. 2, pp. 97–103, 2016.
 - [13] C. A. Pope III, R. T. Burnett, dan G. D. Thurston, “Pollution-Related Mortality and Educational Level—Reply,” *JAMA*, vol. 288, no. 7, p. 830, 2002.
 - [14] M. Yu, Y. Liu, Y. Dai, dan A. Yang, “Impact of urbanization on boundary layer structure in Beijing,” *Clim. Change*, vol. 120, no. 1–2, pp. 123–136, 2013.
 - [15] R. Mukhtar, E. Hamonangan Panjaitan, H. Wahyudi, M. Santoso, and S. Kurniawati, “Komponen Kimia Pm_{2.5} Dan Pm₁₀ Di Udara Ambien Di Serpong – Tangerang,” *J. Ecolab*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2013, doi: 10.20886/jklh.2013.7.1.1-7.
 - [16] N. W. S. P. Dewi, T. June, M. Yani, dan M. Mujito, “Estimasi Pola Dispersi Debu, So₂ dan Nox dari Industri Semen Menggunakan Model Gauss yang Diintegrasikan dengan Screen3,” *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkung. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.)*, vol. 8, no. 1, pp. 109–119, 2018.
 - [17] S. Alfiandy, R. H. Virgianto, dan A. S. Putri, “Modeling of daily PM_{2.5} concentration based on the principal components regression in South and Central Jakarta,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1434, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1434/1/012012.
 - [18] A. Turyanti, “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,” *J. Agromet Indones.*, vol. 25, no. 1, 2011.

