



Pengaruh Faktor Meteorologis Terhadap Perubahan Konsentrasi PM₁₀ Periode Sebelum dan Saat PSBB di Kota Surabaya dan Sekitarnya

The Influence of Meteorological Factors on Changes in PM₁₀ Concentrations Before and During PSBB in Surabaya City and its Surroundings

Anisafitri Amalia^{1*}, Femmy Marshita B²

¹Stasiun Klimatologi Manokwari Selatan, Jl. Brigjen Marinir Abraham O, Atururi, Manokwari, Papua Barat, 98315

²Mahasiswa Magister Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No.10, Kota Bandung, Jawa Barat, 40132

*Email: anisafitriamalia@gmail.com

Naskah Masuk: 15 Januari 2020 | Naskah Diterima: 16 April 2021 | Naskah Terbit: 07 Juni 2021

Abstrak. Implementasi Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) di Kota Surabaya dan sekitarnya saat pandemi COVID-19 menyebabkan pembatasan berbagai aktivitas masyarakat dan moda transportasi yang berdampak pada kualitas udara khususnya emisi polutan PM₁₀ ke atmosfer. Penelitian ini bertujuan untuk menguji secara statistik perubahan konsentrasi PM₁₀ pada periode sebelum dan saat PSBB diterapkan, yaitu 27 Maret – 27 April 2020 dan 28 April – 28 Mei 2020 berturut-turut. Penelitian ini menggunakan data per jam untuk data konsentrasi PM₁₀, arah dan kecepatan angin serta curah hujan harian pada periode. Analisa statistik deskriptif, distribusi frekuensi, variasi waktu (diurnal, harian dan mingguan) dilakukan untuk mengetahui ukuran sebaran data dan kondisi konsentrasi PM₁₀ pada periode waktu tersebut. Gambaran kondisi harian disajikan dalam bentuk kalender konsentrasi PM₁₀ berdasarkan kategori dalam Peraturan BMKG Nomor 2 Tahun 2020. Perubahan konsentrasi PM₁₀ diuji dengan statistik *U Mann Withney* sebelum dan saat PSBB. Penelitian ini juga menganalisa dispersi dan dilusi polutan oleh variabel meteorologi (angin dan hujan) dengan plot *windrose*, PM₁₀ polar plot, serta statistik korelasi dan regresi linier berganda. Hasil uji menunjukkan bahwa terdapat perbedaan konsentrasi PM₁₀ yang signifikan pada sebelum ($\sim 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan saat PSBB ($\sim 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yang berarti konsentrasi PM₁₀ menjadi berkurang atau kualitas udara membaik saat periode PSBB yang dipengaruhi secara signifikan oleh faktor kecepatan angin ($r=0.3$).

Kata Kunci: Kualitas Udara, PM₁₀, PSBB, *U Mann Withney*

Abstract. The implementation of Large-Scale Social Restrictions (PSBB) in Surabaya City and surroundings during the COVID-19 pandemic caused restrictions on various community activities and modes of transportation that affect air quality, especially the emission of PM₁₀ pollutants into the atmosphere. This study aimed to statistically test the changes in PM₁₀ concentration in the period before and when the PSBB was implemented, on 27 March – 27 April 2020 and 28 April – 28 May 2020, respectively. This study uses hourly data for data on PM₁₀ concentration, wind direction and speed, and daily rainfall for the period. Descriptive statistical analysis, frequency distribution, time variation (diurnal, daily and weekly) were carried out to determine the data distribution and the condition of PM₁₀ concentration at these

times. The daily conditions was presented in the form of a PM_{10} concentration calendar based on categories in BMKG Regulation No.2 of 2020. The change in PM_{10} concentration was tested by using U Mann Withney statistic before and during PSBB. This study also analyzed the dispersion and dilution of pollutants by meteorological variables (wind and rain) with windrose plots, PM_{10} polar plots, as well as correlation statistics and Multiple Linear Regression. The test results showed a significant difference before ($\sim 70 \mu g/m^3$) and during PSBB ($\sim 40 \mu g/m^3$) which means that the PM_{10} concentration decreases or the air quality improves during the PSBB period which is significantly influenced by the wind velocity factor ($r=0.3$).

Keywords: Air Quality, PM_{10} , PSBB, U Mann Withney

Pendahuluan

Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) merupakan peraturan yang diterbitkan Kementerian Kesehatan (Kemenkes) dalam rangka Percepatan Penanganan COVID-19 agar bisa segera dilaksanakan di berbagai daerah di Indonesia. Aturan PSBB tercatat dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 9 tahun 2020. PSBB dibuat untuk mencegah penyebaran virus corona di Indonesia. PSBB melingkupi pembatasan sejumlah kegiatan penduduk tertentu dalam suatu wilayah yang diduga terinfeksi COVID-19. Pembatasan tersebut meliputi peliburan sekolah dan tempat kerja, pembatasan kegiatan keagamaan, pembatasan kegiatan di tempat atau fasilitas umum, pembatasan kegiatan sosial budaya, pembatasan moda transportasi, dan pembatasan kegiatan lainnya khusus terkait aspek pertahanan dan [14].

Provinsi Jawa Timur menduduki peringkat ke-2 kasus positif COVID-19, dengan kasus kumulatif per 21 Agustus 2020 mencapai 29.715 jiwa [7]. Terdapat lima Kota/Kabupaten dengan status berisiko Tinggi di Provinsi Jawa Timur antara lain Kota Surabaya, Pasuruan, Kabupaten Sidoarjo, Pasuruan, Tuban [12]. Dikarenakan provinsi Jawa Timur menjadi peringkat ke-2 tingkat nasional, maka Gubernur Jawa Timur memberlakukan PSBB untuk provinsi Jawa Timur yang dimulai dari tanggal 28 April – 28 Mei 2020. Pemberlakuan PSBB tersebut tertuang pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 18 Tahun 2020 tentang Pedoman Pembatasan Sosial Berskala Besar Dalam Penanganan COVID-19 di Provinsi Jawa Timur. Pada kesempatan tersebut, juga diserahkan petikan dari Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 188/202/KPTS/013/2020 tentang Pemberlakuan PSBB dan Penanganan COVID-19. PSBB menyebabkan pengurangan jumlah kendaraan di jalan raya dan aktivitas industri, yang diketahui bahwa kendaraan dan industri merupakan sumber utama polutan di Kota Surabaya dan sekitarnya.

Perkembangan industri di Jawa Timur sudah berkembang semakin pesat. Kegiatan industri di Kota Surabaya dan sekitarnya berpotensi menghasilkan berbagai bahan pencemar udara, dimana diketahui bahwa bahan pencemaran udara dengan tingkat toksisitas paling tinggi yaitu partikulat (debu). Debu PM_{10} adalah debu dengan partikulat padat dan cair yang melayang di udara dengan nilai media ukuran diameter aerodinamik 10 mikron [8]. Debu PM_{10} terdiri dari ion organik, senyawa logam, elemen karbon, senyawa organik, dan senyawa lainnya. Beberapa partikulat tersebut bersifat higroskopis dan berisi partikulat yang terikat air. Partikulat organik yang berbentuk kompleks, berisi ratusan hingga ribuan senyawa organik. Partikel primer secara langsung diemisikan dari sumber, lalu untuk partikulat sekunder terbentuk dari gas melalui reaksi kimia dalam atmosfer. Reaksi kimia tersebut meliputi oksigen (O_2) di atmosfer dan uap air (H_2O), zat reaktif seperti ozon (O_3), nitrat radikal (CNO_3), zat polutan (SO_2 , NOX , dan gas organik dari alam ataupun hasil kegiatan manusia), dan senyawa radikal seperti hidroksi radikal (COH) [20]. Debu PM_{10} tidak terdeteksi oleh bulu hidung sehingga dapat masuk ke paru-paru. Jika debu PM_{10} terdeposit ke paru-paru akan menimbulkan peradangan saluran pernapasan, gangguan penglihatan, dan iritasi kulit [11].



Apabila bahan polutan udara terpapar di udara secara terus menerus akan menyebabkan gangguan pada mata khususnya pengeringan kornea. Polusi udara sangat berpengaruh terhadap kesehatan mata terutama pada bagian permukaan mata. Gejala mata akibat terpapar polusi udara adalah iritasi mata ringan hingga berat, ketidaknyamanan penglihatan, dan meningkatkan kepekaan terhadap cahaya [4]. Menurut National Pollution Inventory, Australian Government (2013), debu PM_{10} dapat berasal dari sumber-sumber sebagai berikut:

- a. Sumber industri, debu PM_{10} yang dihasilkan dari berbagai proses industri seperti brickworks, kilang, karya semen, penggalian, pembangkit listrik berbahan bakar fosil, besi, dan pembuatan baja.
- b. Sumber difus dan sumber industri yang termasuk dalam data emisi difus seperti memotong rumput, kompor kayu, kebakaran, dan angin yang menghasilkan debu.
- c. Sumber alami, yaitu kebakaran hutan, badai debu, serbuk sari, dan semprot laut.
- d. Sumber transportasi, kendaraan bermotor menghasilkan partikel baik dari emisi langsung dari pembakaran bahan bakar (terutama yang berbahan bakar solar) atau dari keausan ban.
- e. Produk konsumen, umumnya tidak sengaja termasuk dalam produk apapun tetapi mungkin hadir sebagai bagian dari produk, misalnya produk bedak atau lainnya.

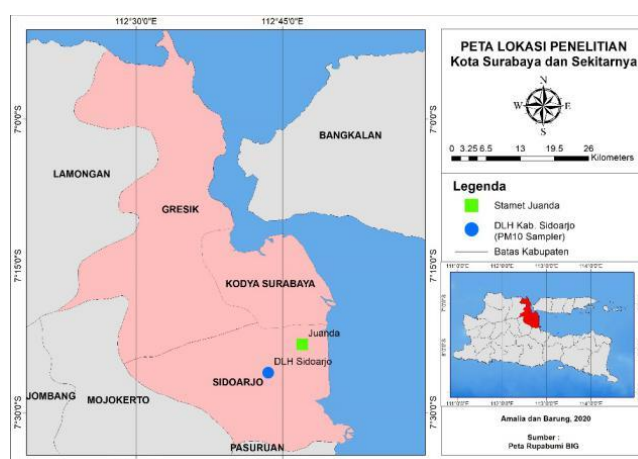
Banyak negara di dunia termasuk Indonesia melakukan penelitian mengenai kualitas udara, antara lain: Analisis kualitas $PM_{2.5}$ selama penyelenggaraan Asian Games ke-18 di Jakarta [21]. Data yang digunakan yaitu data pengamatan diambil dari dua titik, di Jakarta Pusat dan Jakarta Selatan. Penelitian tersebut belum menganalisa pengaruh faktor meteorologis terhadap penyebaran dan pengurangan polutan. Polutan dapat tersebar dari satu tempat ke tempat lainnya, diakibatkan oleh faktor angin dan pengurangan polutan dapat disebabkan oleh curah hujan. Adapun lainnya [5] telah mengkaji pengaruh meteorologi dan trajektori polutan berdasarkan pola harian dan musiman. Hasil penelitian menunjukkan saat musim kering polutan mengarah ke wilayah Barat kota Jakarta sedangkan musim hujan polutan $PM_{2.5}$ dari kota Jakarta mengarah ke wilayah Timur.

Negara lain yang melakukan penelitian tentang konsentrasi PM_{10} yang dikaitkan dengan faktor meteorologi juga dilakukan di Italia [24]. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi PM_{10} berkorelasi positif signifikan dengan variabel kelembapan relatif rata-rata harian, sedangkan berkorelasi negatif signifikan dengan variabel suhu, kecepatan angin, dan ketinggian *Planetary Boundary Layer* (PBL) rata-rata harian. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan keadaan kualitas udara di Kota Surabaya dan sekitarnya pada periode sebelum dan saat PSBB (Pembatasan Sosial Berskala Besar) dengan menganalisis konsentrasi PM_{10} terhadap faktor meteorologis seperti angin dan curah hujan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan oleh pemerintah daerah setempat terkait dengan kualitas udara di Kota Surabaya dan sekitarnya.

Metode Penelitian

Data konsentrasi PM_{10} dalam skala waktu jam yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Pusat Layanan Informasi Iklim Terapan, BMKG. Periode waktu data PM_{10} mengikuti periode waktu sebelum dan saat PSBB, yaitu 27 Maret – 27 April 2020 (1 bulan) dan 28 April – 28 Mei 2020 (1 bulan) secara berturut-turut. Titik pengamatan data PM_{10} berlokasi di Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Sidoarjo yang mewakili kondisi polutan (PM_{10}) di wilayah Kota Surabaya dan sekitarnya (Gambar 1). Untuk menganalisa dispersi dan dilusi PM_{10} digunakan variabel meteorologis sebagai faktor yang mempengaruhi penyebaran dan pengenceran PM_{10} di Kota Surabaya dan sekitarnya. Variabel meteorologis yang digunakan adalah arah dan kecepatan angin dalam skala waktu jam serta curah hujan harian. Data angin dan curah hujan pada periode waktu yang sama dengan data PM_{10} diperoleh dari titik pengamatan Stasiun Meteorologi Juanda yang jaraknya sekitar ± 6 km dari DLH Sidoarjo seperti yang tersaji pada Gambar 1.





Gambar 1. Lokasi penelitian

Statistik Deskriptif dan Variasi Waktu Konsentrasi PM_{10}

Analisa statistik secara deskriptif diterapkan pada data konsentrasi PM_{10} sebagai langkah awal untuk mengetahui ukuran sebaran data PM_{10} di wilayah Kota Surabaya dan sekitarnya. Statistik deskriptif yang dimasukkan dalam analisis adalah nilai rata-rata, maksimum, minimum, median dan standar deviasi sebelum dan saat diberlakukan PSBB. Selain itu, perhitungan distribusi frekuensi secara kategorik juga dilakukan untuk mengetahui banyaknya frekuensi konsentrasi PM_{10} yang terdistribusi pada kategori 0–20, 20–40, 40–60, 60–80 dan 80–100 $\mu g/m^3$ yang disajikan dalam grafik batang sebelum dan saat PSBB. Selanjutnya, analisa variasi konsentrasi PM_{10} dalam skala diurnal (siang dan malam), harian, dan mingguan dilakukan dalam penelitian ini untuk melihat perbandingan kondisi PM_{10} pada waktu-waktu tertentu. Gambaran kondisi kualitas udara harian saat dan sebelum PSBB di Kota Surabaya dan sekitarnya di sajikan melalui kalender level konsentrasi PM_{10} berdasarkan Peraturan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2020 tentang penyediaan dan penyebaran informasi kualitas udara [2] sebagai berikut.

Tabel 1. Kategori Konsentrasi Partikulat PM_{10}

Kategori	Rentang ($\mu g/m^3$)	Warna
Baik	0 – 50	Hijau
Sedang	51 – 100	Biru
Tidak Sehat	101 – 199	Kuning
Sangat Tidak Sehat	200 – 299	Merah
Berbahaya	≥ 300	Hitam

Perubahan Konsentrasi PM_{10} Berdasarkan Uji U Man Whitney

Pada dasarnya, metode statistik non-parametrik digunakan untuk melakukan uji hipotesis apabila tidak ada asumsi distribusi parameter atau populasi [22]. Sedangkan metode parametrik, seperti uji t dan uji F diterapkan apabila data yang digunakan berasal dari populasi yang terdistribusi normal dan mempunyai varians yang sama dan setidaknya diukur pada tingkat interval. Pengujian non-parametrik bermanfaat digunakan apabila sampelnya kecil dan lebih mudah dihitung dari pada metode parametrik [17–18]. Salah satu alternatif untuk menguji dan membandingkan apakah dua sampel bebas berasal dari populasi yang sama serta tidak mempertimbangkan distribusi adalah Uji *U Mann Withney*. Uji ini mengasumsikan sampel bersifat saling independen dan berasal dari populasi yang acak sehingga dapat digunakan untuk uji signifikansi dalam membandingkan dua kelompok data yang tidak saling berkaitan [21]. Dalam penelitian ini, Uji *U Mann Withney* diterapkan untuk melihat signifikansi adanya perbedaan konsentrasi PM_{10} sebelum dan saat PSBB. Dengan menggunakan taraf nyata $\alpha=0.05$ (95%), rumusan hipotesis untuk menarik kesimpulan yang digunakan adalah:

H_0 : data PM_{10} saat dan sebelum PSBB berasal dari populasi yang sama.

H_1 : data PM_{10} saat dan sebelum PSBB berasal dari populasi yang tidak sama atau berbeda.

Prosedur berikutnya adalah menyusun peringkat data tanpa memperhatikan kategori sampel. Kemudian, dilakukan penjumlahan peringkat menurut tiap kategori sampel dan menghitung statistik U (Persamaan 2.1 dan 2.2). Selanjutnya, menentukan nilai U yang terkecil antara nilai U_1 atau U_2 [18]. Jika jumlah sampel berukuran besar (>20) dapat didekati dengan sebaran normal (Z) berdasarkan nilai U yang terkecil menggunakan Persamaan 3.

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} \quad (1)$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} \quad (2)$$

$$Z = \frac{U - \frac{n_1 \times n_2}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 \times n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \quad (3)$$

Dimana,

- U_1 = nilai U pada periode sebelum PSBB,
- U_2 = nilai U pada periode PSBB diterapkan,
- n_1 = jumlah sampel periode sebelum PSBB,
- n_2 = jumlah sampel periode PSBB diterapkan,
- R_1 = jumlah peringkat sampel untuk periode sebelum PSBB,
- R_2 = jumlah peringkat sampel untuk periode PSBB diterapkan.

Setelah mendapatkan nilai Z hitung, dengan $\alpha=0.05$ dapat ditentukan nilai Z tabel, yaitu 1.96. Penarikan kesimpulan dengan membandingkan Z hitung dan Z tabel, jika nilai Z hitung $>$ Z tabel maka H_0 ditolak dan H_1 diterima dan begitu pula sebaliknya. Selain itu, penarikan kesimpulan juga dapat dilakukan dengan membandingkan p-value hasil uji, dimana apabila $p\text{-value} < 0.05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima [3].

Pengaruh Variabel Meteorologis Terhadap Konsentrasi PM_{10}

Variabel meteorologis seperti suhu udara, kelembaban, serta arah dan kecepatan angin berdampak pada formasi dan dispersi polutan di udara ambien [23] sedangkan curah hujan berperan dalam pencucian polutan di udara [16]. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan untuk menganalisa sebaran polutan adalah arah dan kecepatan angin sedangkan menggunakan plot *windrose* dan polar plot. *Windrose* menunjukkan distribusi frekuensi arah dan kecepatan angin harian sedangkan polar plot menggambarkan sebaran PM_{10} rata-rata harian berdasarkan *windrose*. Pengaruh variabel meteorologis juga diinvestigasi menggunakan metode statistik, yaitu dengan koefisien korelasi Pearson dan model regresi liner berganda secara terpisah untuk menganalisis besarnya pengaruh masing-masing variabel meteorologis (variabel X) terhadap variabel PM_{10} (variabel Y). Variabel meteorologis yang dimasukkan sebagai prediktor adalah kecepatan angin dan curah hujan sedangkan arah angin tidak dimasukkan dalam analisis ini karena pengaruhnya tidak signifikan. Selain itu, dilakukan uji statistik terhadap hasil tersebut dengan menggunakan taraf nyata / tingkat kesalahan 5 % ($\alpha=0.05$) atau tingkat kepercayaan 95%. Uji *two tailed* terhadap koefisien korelasi *Pearson* dengan hipotesis berikut.

$H_0: \rho = 0$ (Tidak ada hubungan antara variabel kecepatan angin/curah hujan dengan variabel PM_{10}).

$H_1: \rho \neq 0$ (Ada hubungan antara variabel kecepatan angin / curah hujan dengan variabel PM_{10}).

Nilai korelasi diatas 0.5 menunjukkan korelasi yang cukup kuat, sedangkan dibawah 0.5 menunjukkan korelasi yang lemah. Tanda negatif (-) pada output menunjukkan adanya arah hubungan yang berlawanan, sedangkan tanda positif (+) menunjukkan arah hubungan yang sama. Penarikan kesimpulan dilakukan dengan membandingkan nilai p -value dengan $\alpha=0.05$. Apabila nilai p -value < 0.05, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Selanjutnya, untuk mengetahui signifikansi regresi berganda dilakukan uji signifikansi dengan Uji-F yaitu uji signifikansi pengaruh variabel-variabel meteorologis terhadap PM_{10} secara bersama-sama dan dengan Uji t yaitu uji signifikansi pengaruh masing-masing variabel meteorologis terhadap PM_{10} . Dengan tingkat kepercayaan 95 %, uji hipotesis regresi linier berganda adalah sebagai berikut.

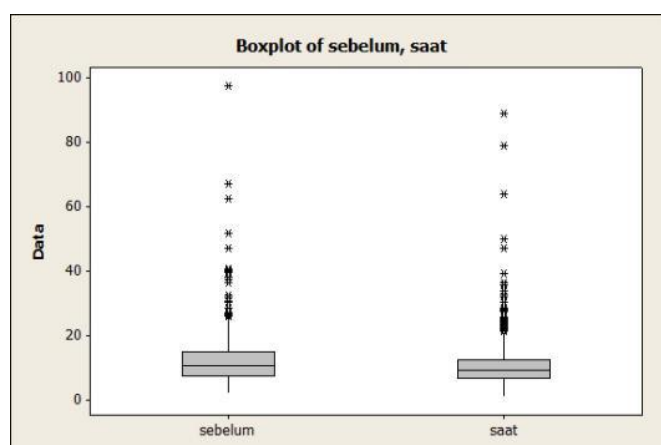
$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$ (Tidak ada hubungan antara variabel-variabel meteorologis dengan variabel PM_{10})

$H_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4 \neq \beta_5 \neq 0$ (Ada hubungan antara sedikitnya satu variabel meteorologis dengan variabel PM_{10})

Penarikan kesimpulan pada Uji F adalah dengan membandingkan nilai F hitung dengan F tabel, sedangkan pada Uji t dengan membandingkan nilai t hitung dengan t tabel. Apabila nilai F atau t hitung > F atau t tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Selain itu, kesimpulan juga bisa didapatkan dengan membandingkan nilai p -value hasil uji dengan $\alpha=0.05$, dimana H_0 akan ditolak jika p -value > 0.05 [19].

Hasil dan Pembahasan

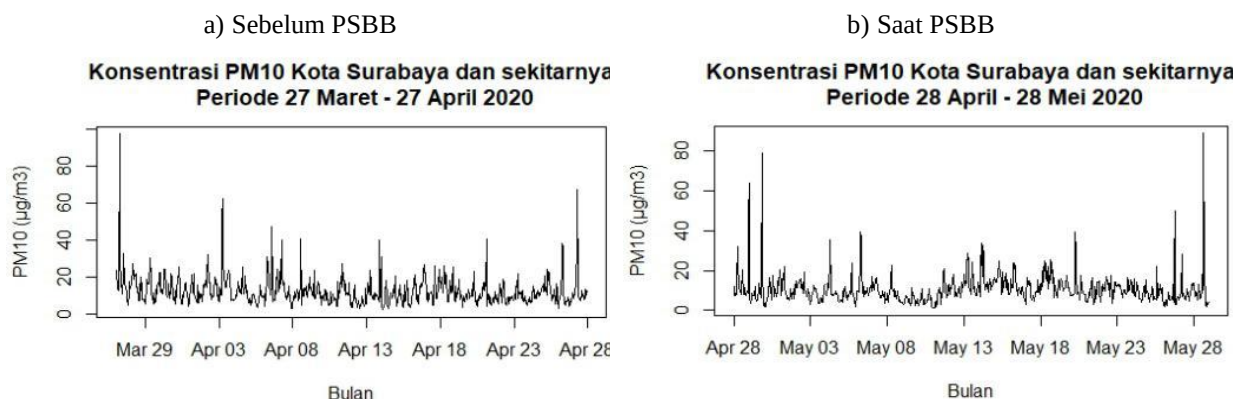
Statistik Deskriptif, Profil dan Distribusi Frekuensi Konsentrasi PM_{10}



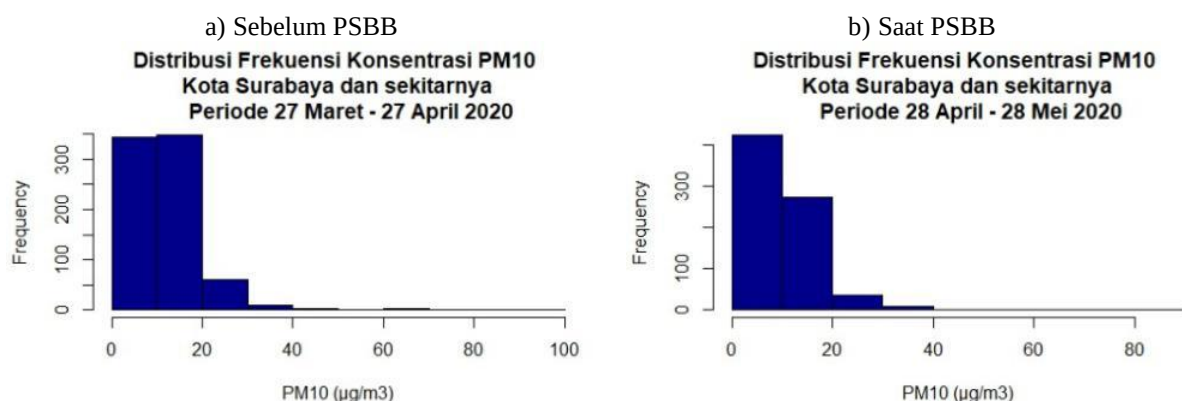
Gambar 2. Boxplot Perbandingan Konsentrasi PM_{10} Periode Sebelum dan Saat PSBB.

Berdasarkan boxplot pada (Gambar 2) persebaran konsentrasi PM_{10} di Kota Surabaya dan sekitarnya untuk periode sebelum PSBB lebih menyebar atau bervariasi daripada saat PSBB. Rata-rata konsentrasi untuk periode sebelum PSBB ($12.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan saat PSBB ($10.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) masih di bawah ambang batas yang ditentukan yaitu $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maksimum konsentrasi PM_{10} untuk periode sebelum PSBB ($97.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lebih tinggi daripada periode saat PSBB ($88.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Minimum konsentrasi PM_{10} untuk periode sebelum ($2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan periode saat PSBB ($88.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dimana pada saat PSBB nilai minimumnya lebih rendah daripada sebelum PSBB. Selanjutnya median untuk periode sebelum ($10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lebih tinggi daripada periode saat PSBB ($9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Standar deviasi untuk periode sebelum ($7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lebih besar daripada saat PSBB ($7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) di Kota Surabaya dan sekitarnya.

Konsentrasi PM_{10} per jam (Gambar 3) di Kota Surabaya dan sekitarnya secara umum untuk periode sebelum PSBB lebih tinggi daripada saat PSBB, dimana sebelum PSBB memiliki nilai median lebih tinggi daripada saat PSBB (gambar boxplot). Maksimum konsentrasi PM_{10} untuk periode sebelum PSBB ($97.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) terjadi pada tanggal 27 Maret 2020 pukul 06.00 WIB, sedangkan untuk periode saat PSBB ($88.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) terjadi pada tanggal 28 Mei 2020 pukul 15.00 WIB. Selanjutnya minimum konsentrasi PM_{10} untuk periode sebelum PSBB ($2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) terjadi pada tanggal 14 April 2020 pukul 02.00 WIB, sedangkan untuk periode saat PSBB ($1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) terjadi pada tanggal 11 Mei 2020 pukul 01.00 WIB.

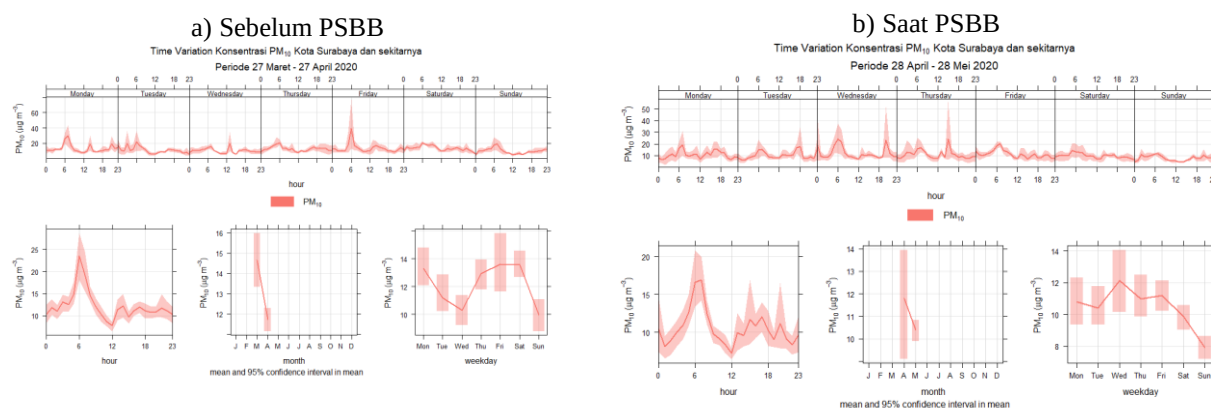


Gambar 3. Profil konsentrasi PM_{10} per jam Periode a) Sebelum PSBB dan b) Saat PSBB.



Gambar 4. Distribusi Frekuensi Konsentrasi PM_{10} Periode a) Sebelum dan b) Saat PSBB.

Berdasarkan grafik distribusi frekuensi konsentrasi PM_{10} (Gambar 4) di Kota Surabaya dan sekitarnya dapat diketahui bahwa distribusi frekuensi tertinggi yaitu pada rentang $0-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada periode sebelum maupun saat PSBB. Pada periode sebelum PSBB memiliki distribusi frekuensi dari $0-70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan saat PSBB memiliki distribusi frekuensi dari $0-40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Semakin besar konsentrasinya maka semakin kecil frekuensi distribusinya, begitupun sebaliknya. Distribusi frekuensi konsentrasi PM_{10} untuk periode saat PSBB mengalami penurunan dari periode sebelumnya pada rentang $10-30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada periode sebelum PSBB distribusi frekuensinya lebih bervariasi daripada periode saat PSBB.



Gambar 5. Variasi Waktu Diurnal, Harian dan Mingguan Konsentrasi PM_{10} Periode a) Sebelum dan b) Saat PSBB.

Berdasarkan variasi waktu diurnal, harian dan mingguan konsentrasi PM_{10} (Gambar 5) dapat diketahui bahwa pada waktu diurnal konsentrasi tertinggi untuk periode sebelum maupun saat PSBB yaitu pada pukul 06.00 – 07.00 WIB. Hal tersebut dikarenakan *traffic jam* yang tinggi, dimana aktivitas kendaraan juga tinggi yang disebabkan oleh aktivitas manusia yang berpergian ke luar rumah seperti berangkat kerja, ke pasar, sekolah, dll. Berdasarkan variasi waktu harian konsentrasi tertinggi untuk periode sebelum PSBB yaitu pada hari Jumat, sedangkan saat PSBB yaitu pada hari Kamis. Hal tersebut dikarenakan mobilitas yang tinggi pada saat memasuki weekend. Selanjutnya, variasi waktu mingguan konsentrasi terbanyak untuk periode sebelum PSBB yaitu pada hari Kamis – Sabtu, sedangkan saat PSBB yaitu pada hari Rabu – Jumat.

Kalender Level Konsentrasi PM_{10} Kota Surabaya dan sekitarnya



Gambar 6. Kalender Level Konsentrasi PM_{10} Dari Sebelum PSBB Sampai Saat PSBB.

Berdasarkan kalender konsentrasi PM_{10} (Gambar 6) dapat diketahui bahwa untuk periode sebelum maupun saat PSBB konsentrasi PM_{10} di Kota Surabaya dan sekitarnya masih tergolong katagori Baik sesuai dengan katagori konsentrasi partikulat PM_{10} [2]. Hal tersebut berarti tingkat kualitas udara tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan atau nilai estetika. Walaupun terdapat beberapa konsentrasi PM_{10} yang masuk kedalam katagori sedang pada variasi waktu perjam, tetapi hal tersebut tidak membuat indeks konsentrasi PM_{10} masuk kedalam katagori Sedang dalam perhariannya.

Pengujian U Mann Withney Konsentrasi PM_{10} Periode Sebelum dan Saat PSBB.

Berdasarkan gambar boxplot pada Gambar 2, dapat diketahui bahwa konsentrasi PM_{10} di Kota Surabaya dan sekitarnya pada periode sebelum maupun saat PSBB tidak memenuhi kriteria distribusi normal [21], sehingga uji *U Mann Withney* dapat dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya perubahan konstentrasi PM_{10} pada kedua periode tersebut di Kota Surabaya dan sekitarnya. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa niali U untuk periode sebelum lebih kecil daripada periode saat PSBB. Hasil uji signifikansi perubahan konsentrasi PM_{10} di Kota Surabaya dan sekitarnya pada periode sebelum maupun saat PSBB tersaji pada Tabel 4. Dengan pengujian 2 arah dan taraf nyata 5% diperoleh nilai Z

hitung (66.20) lebih besar daripada Z tabel (1.96). Hal ini berarti tidak cukup bukti untuk menerima H_0 sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hasil ini juga sesuai dengan membandingkan nilai p-value dengan $\alpha=0,05$, dimana diperoleh nilai p-value (0.000) yang lebih kecil daripada $\alpha=0,05$. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan konsentrasi PM_{10} yang signifikan pada periode sebelum dan saat PSBB.

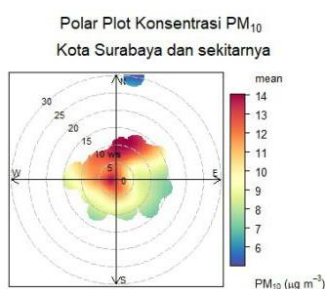
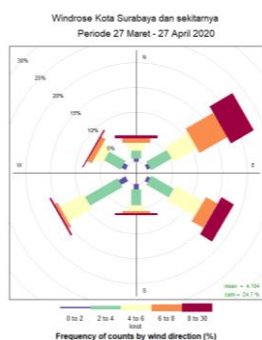
Tabel 2. Uji *U Mann Withney* Pada Periode Sebelum dan Saat PSBB.

Statistik	Sebelum	Saat
n	768	743
Rank Sum	384.50	372.00
U	846.648,0	865.535,5

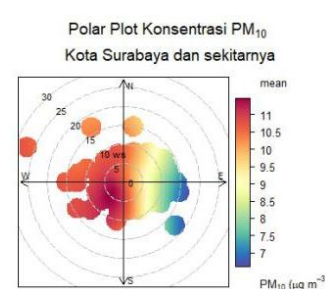
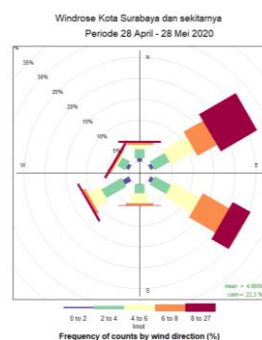
Tabel 3. Hasil Uji *U Mann Withney*

Statistik	Nilai
Alpha	< 0.05
p-value	0.0000
U terkecil	846.648
Z hitung	66.20
Z tabel	1.96
tails	2
Kesimpulan	H_0 ditolak, H_1 diterima

c) Sebelum PSBB



d) Saat PSBB



Gambar 7. Sebaran Konsentrasi PM_{10} Berdasarkan Distribusi Arah dan Kecepatan Angin.

Berdasarkan *windrose* dan polar plot (Gambar 7) dapat diketahui bahwa pada periode sebelum PSBB kecepatan angin terbanyak dan terkuat (8 – 30 knot) yaitu dari arah Timur Laut (18 – 23 %) dan Tenggara (15 – 18 %). Polar plot menunjukkan persebaran konsentrasi PM_{10} tertinggi (rata-rata $>10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yaitu pada arah Utara dan terendah (rata-rata $<7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yaitu pada arah Tenggara. Selanjutnya, pada periode saat PSBB kecepatan angin terbanyak dan terkuat (8–27 knot) sama seperti periode sebelumnya yaitu dari arah Timur Laut (17 – 27 %) dan Tenggara (21 – 26 %). Polar plot menunjukkan persebaran konsentrasi PM_{10} tertinggi (rata-rata $>10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yaitu pada arah Barat dan terendah (rata-rata $<7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yaitu pada arah Timur. Pada periode sebelum PSBB angin dari arah Timur Laut dan Tenggara dengan kecepatan angin yang kuat menyebabkan persebaran polutan ke arah Barat Laut hingga Utara. Sedangkan pada saat PSBB angin dari arah Timur Laut dan Tenggara dengan kecepatan angin yang lebih kuat sehingga persebaran polutan lebih menyebar ke arah Barat Daya hingga Barat Laut Kota Surabaya dan sekitarnya.

Selain melihat pengaruh variabel angin terhadap persebaran polutan, penelitian ini juga mengkaji pengaruh variabel meteorologis terhadap konsentrasi PM_{10} dengan metode statistik korelasi dan regresi. Tabel 4 menunjukkan koefisien korelasi Pearson kecepatan angin terhadap PM_{10} dan curah

hujan terhadap PM_{10} memiliki nilai dibawah 0.5 yang berarti hubungan antara variabel–variabel tersebut terhadap variabel PM_{10} menunjukkan hubungan yang lemah. Nilai koefisien korelasi Pearson tersebut memiliki tanda negatif (–) mengartikan bahwa pada saat curah hujan tinggi dan kecepatan angin yang kuat maka akan menyebabkan konsentrasi PM_{10} akan rendah. Sebaliknya apabila curah hujan rendah dan kecepatan angin lemah maka akan menyebabkan konsentrasi PM_{10} tinggi. Hasil uji koefisien korelasi menggunakan 2 arah dan taraf nyata $\alpha=0.05$ menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kecepatan angin dengan PM_{10} dengan p–value (0.017) kurang dari $\alpha=0.05$, yang berarti kecepatan angin signifikan mempengaruhi konsentrasi PM_{10} . Sedangkan hubungan antara curah hujan dengan PM_{10} menunjukkan hubungan yang tidak signifikan dengan p–value (0.371) kurang dari $\alpha=0.05$, yang berarti curah hujan tidak signifikan mempengaruhi konsentrasi PM_{10} .

Tabel 4. Koefisien *Correlation Pearson*

Statistik		Kecepatan Angin	Curah Hujan
<i>Pearson Correlation</i>	PM_{10}	–0.300	–0.115
<i>Sig. (2–tailed)</i>		0.017	0.371
<i>n</i>		62	62

Tabel 5. Analisis Uji F / Simultan Regresi Linier Berganda

Source	DF	SS	MS	F	P
<i>Regression</i>	2	56.655	28.327	3.64	0.032
<i>Residual Error</i>	60	467.381	7.790		
<i>Total</i>	62	524.036			

Selain dengan korelasi, pengaruh variabel meteorologis dapat diketahui dengan regresi linear berganda untuk mendapatkan pengaruh masing–masing variabel maupun pengaruhnya secara bersama–sama terhadap konsentrasi PM_{10} . Persamaan regresi yang diperoleh adalah $Y=14.134 - 0.5882X_1 - 0.0360X_2$, dimana X_1 merupakan variabel kecepatan angin dan X_2 adalah variabel curah hujan. Tabel 5 menunjukkan nilai F tabel dengan menggunakan 2 arah dan derajat kebebasan penyebut 60, nilai F hitung (3.64) lebih besar dari F tabel (3.15) sehingga variabel meteorologis (variabel X) secara simultan berpengaruh terhadap variabel PM_{10} (variabel Y). Sedangkan, uji signifikansi menunjukkan nilai p–value sebesar 0.032 atau lebih kecil dari $\alpha=0.05$ yang berarti secara bersama–sama variabel meteorologis (variabel X) mempengaruhi variabel PM_{10} (variabel Y) secara signifikan. Dapat diartikan ketika kecepatan angin dan curah hujan yang rendah maka konsentrasi PM_{10} tinggi.

Tabel 6. Analisis Uji t Regresi Linier Berganda

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
<i>Constant</i>	14.134	1.120	12.62	0.000
Kecepatan Angin	–0.5882	0.2327	–2.53	0.014
Curah Hujan	–0.0360	0.0324	–1.11	0.270

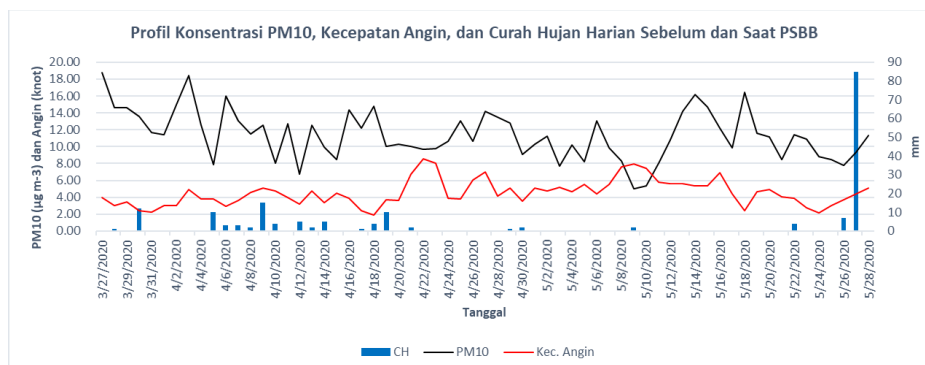
Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan uji t dapat dilakukan dengan membandingkan nilai t hitung dan t tabel. Dengan menggunakan derajat kebebasan 2 dan $\alpha=0.05$, t tabel menunjukkan nilai 4.30265. Prediktor kecepatan angin dan curah hujan memiliki t hitung yang lebih kecil dari t tabel sehingga secara parsial tidak berpengaruh pada konsentrasi PM_{10} di Kota Surabaya dan sekitarnya. Selanjutnya, uji signifikansi dengan menggunakan nilai p–value menunjukkan semua prediktor kurang dari 0.05 kecuali curah hujan. Sehingga, dapat disimpulkan hanya kecepatan angin dari variabel bebas yang mempengaruhi konsentrasi PM_{10} secara signifikan.

Pengaruh Variabel Meteorologis Terhadap Konsentrasi PM_{10}

Hasil korelasi dan regresi tersebut sedikit sesuai dengan kondisi yang ditunjukkan oleh Gambar 8. Pada saat kecepatan angin melemah, konsentrasi PM_{10} mengalami peningkatan seperti pada tanggal–tanggal awal sebelum PSBB serta sebaliknya konsentrasi PM_{10} berkurang apabila kecepatan angin meningkat yang jelas terlihat pada tanggal 19 April – 24 April 2020. Variabel curah hujan juga berperan dalam pencucian atmosfer (*washing out*) [5] dimana pada saat curah hujan tinggi konsentrasi



PM₁₀ akan berkurang seperti pada tanggal 30 Maret, 5 April, 19 April, 26 Mei 2020 serta sebaliknya curah hujan rendah menyebabkan PM₁₀ tidak berkurang seperti yang terlihat jelas pada akhir periode sebelum PSBB hingga pertengahan periode saat PSBB.



Gambar 8. Profil Konsentrasi PM₁₀, Kecepatan Angin dan Curah Hujan Harian. Garis putus-putus hijau batas periode antara sebelum dan saat PSBB

Namun, hasil Uji t (secara parsial) menunjukkan pengaruh curah hujan tidak signifikan dan korelasinya sangat kecil sehingga masih terdapat hubungan yang tidak selalu sejalan (seperti pada tanggal 27 Mei 2020). Sedangkan, hasil Uji F (secara bersama-sama) menunjukkan signifikansi jika terjadi kecepatan angin yang lemah dan curah hujan yang rendah atau bahkan 0 mm. Kondisi ini jelas terlihat terjadi pada tanggal-tanggal saat PSBB dimana kecepatan angin lemah dan beberapa hari berturut-turut tidak terjadi hujan. Namun, perlu dilihat kembali nilai korelasi kedua variabel tersebut sangatlah lemah, sehingga ada faktor-faktor lain yang berkontribusi dalam penurunan dan penambahan konsentrasi PM₁₀.

Penambahan konsentrasi PM₁₀ disuatu wilayah disebabkan oleh penambahan sumber pencemar itu sendiri sedangkan pengurangannya dapat disebabkan oleh kombinasi faktor-faktor meteorologi dan topografi serta ekonomi di wilayah tersebut [1]. Selain faktor-faktor tersebut, proses-proses pada atmosfer lapisan batas (PBL) dan transport regional jangka panjang memegang peranan penting dalam menentukan fungsi konsentrasi partikulat pada topografi titik pengamatan. Ketinggian PBL rata-rata yang lebih tinggi dan aktivitas konvektif yang tinggi memungkinkan pengenceran / dilusi polutan, yang diikuti dengan penurunan konsentrasi di permukaan, sedangkan pada hari-hari dengan ketinggian PBL yang lebih rendah, polutan terperangkap di permukaan [24, 23]. Tingkat keterpaparan PM baik jangka pendek maupun jangka panjang sangat bergantung pada lokasi geografis, musim dan dinamika massa udara regional dan local [6, 23]. Kondisi cuaca seperti inversi atmosfer, haze dan asap juga intensitas angin yang kuat bertanggung jawab terhadap konsentrasi polutan yang *transborder* [23].

Kesimpulan

Konsentrasi PM₁₀ di Kota Surabaya dan sekitarnya secara umum untuk periode sebelum PSBB lebih tinggi daripada saat PSBB. Konsentrasi PM₁₀ tertinggi terjadi pada periode sebelum PSBB (97.4 µg/m³) pada tanggal 27 Maret 2020 pukul 06.00 WIB, sedangkan terendahnya terjadi pada saat PSBB (1.1 µg/m³) tanggal 11 Mei 2020 pukul 01.00 WIB. Distribusi frekuensi konsentrasi PM₁₀ sebelum PSBB lebih bervariasi (0–70 µg/m³) daripada saat PSBB (0–40 µg/m³) dan secara umum distribusi frekuensi berada pada rentang 0–10 µg/m³ pada kedua periode PSBB. Berdasarkan kalender konsentrasi PM₁₀ di Kota Surabaya dan sekitarnya masih tergolong kategori Baik sesuai dengan kategori konsentrasi PM₁₀ untuk periode sebelum maupun saat PSBB.

Hasil uji signifikansi perubahan konsentrasi PM₁₀ pada uji *U Mann Withney* pada periode sebelum maupun saat PSBB menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan. Pada periode sebelum PSBB

angin dari arah Timur Laut dan Tenggara dengan kecepatan angin yang kuat menyebabkan persebaran polutan ke arah Barat Laut hingga Utara. Sedangkan pada saat PSBB angin dari arah Timur Laut dan Tenggara dengan kecepatan angin yang lebih kuat sehingga persebaran polutan lebih menyebar ke arah Barat Daya hingga Barat Laut Kota Surabaya dan sekitarnya.

Hasil korelasi kecepatan angin terhadap PM_{10} dan curah hujan terhadap PM_{10} menunjukkan hubungan yang lemah antara variabel–variabel tersebut terhadap variabel PM_{10} . Sehingga pada saat curah hujan tinggi (30 Maret, 5 April, 19 April, 26 Mei 2020) dan kecepatan angin yang kuat (19 April – 24 April 2020) maka akan menyebabkan konsentrasi PM_{10} akan rendah, begitupun sebaliknya. Hasil uji F menunjukkan secara bersama–sama variabel meteorologis mempengaruhi variabel PM_{10} , sehingga ketika kecepatan angin dan curah hujan yang rendah maka konsentrasi PM_{10} tinggi. Sedangkan hasil uji t menunjukkan kecepatan angin dan curah hujan tidak berpengaruh pada konsentrasi PM_{10} , akan tetapi hanya curah hujan memiliki nilai p -value yang tidak signifikan, sehingga hanya kecepatan angin yang mempengaruhi konsentrasi PM_{10} secara signifikan ($r = 0,3$).

Daftar Pustaka

- [1] Artaxo, P., Oyola, P., dan Martinez, R. 1999. Aerosol Composition and Source Apportionment in Santiago de Chile; *Nucl. Instrum. Methods B*, 150, 409–416.
- [2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2020). Peraturan Kepala Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Nomor 2 Tentang Penyediaan dan Penyebaran Informasi Kualitas Udara.
- [3] Djarwanto. 1987. Kumpulan Soal dan Penyelesaiannya: Statistik Nonparametrik. Yogyakarta: BPFE.
- [4] Gupta, S. K., Gupta, S. C., Agarwal, R., Sushma, S., Agrawal, S. S., & Saxena, R. S. K. 2007. A Multicentric Case–Control Study on The Impact of Air Pollution on Eyes in a Metropolitan City of India. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*. Volume 11, Nomor 1:37–40.
- [5] Gusnita, D., & Cholianawati, N. 2019. Pola Konsentrasi dan Trayektori Polutan $PM_{2.5}$ Serta Faktor Meteo di Kota Jakarta. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 4(3), 152–163.
- [6] Janssen, N. A. H., Hoek, G., Simic–Lawson, M., Fisher, P., van Bree, L., & ten Brink, H. 2011. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM_{10} and $PM_{2.5}$. *Environ Health Perspect.* 119 (12), 691–1699.
- [7] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2020. *Situasi Terkini Perkembangan Coronavirus Disease (COVID–19) 22 Agustus 2020*, (<http://www.covid19.kemkes.go.id>, diakses tanggal 24 Agustus 2020).
- [8] Koren. (2003b). Handbook of Environmental Health Volume 2: Pollutant Interactions In Air, Water, and Soil. USA: Lewis Publishers.
- [9] Kurniawan, A. 2017. Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO₂, SO₂, O₃ dan PM_{10}) di Bukit Kototabang Berbasis ISPU. Yogyakarta: *Jurnal Tekno Sains*.
- [10] National Pollutant Inventory, Australian Government. 2013. *Particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$)*, (<http://www.npi.gov.au/resource/particulate-matter-pm10-and-pm25>, diakses tanggal 27 Agustus 2020).
- [11] Nurhayati, U. 2000. Pemrograman Dispersi Pencemaran Partikulat (PM_{10}) Dari Sumber Titik Tunggal Kontinu Berdasarkan Persamaan Gauss. Skripsi. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, ITS.
- [12] Pemerintah Provinsi Jawa Timur. 2020. *Dashboard COVID–19 Jawa Timur*, (<http://www.infocovid19.jatimprov.go.id>, diakses tanggal 25 Agustus 2020).
- [13] Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, (<http://ditjenpp.kemenkumham.go.id/arsip/ln/1999/pp41-1999.pdf>, diakses tanggal 28 Agustus 2020).



- [14] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2020 tentang Pedoman Pembatasan Sosial Berskala Besar Dalam Rangka Percepatan Penanganan Corona Virus Diseases 2019 (COVID-19), (http://hukor.kemkes.go.id/uploads/produk_hukum/PMK_No_9_Th_2020_ttg_Pedoman_Pembatasan_Sosial_Berskala_Besar_Dalam_Penanganan_COVID-19.pdf, diakses tanggal 28 Agustus 2020).
- [15] Pitaloka, A. P., & Adriyani, R. 2016. Paparan PM₁₀ dan keluhan kesehatan mata pekerja bagian produksi PT. Varia Usaha Beton, Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah Keperawatan (Scientific Journal of Nursing)*, 2(2), 62–71.
- [16] Qi, H., Xiao, S., Shi, R., Ward, M., Chen, Y., Tu, W., Su, Q., Wang, W., Wang, X., Zhang, Z. 2020. COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis. *Science of The Total Environment*, 728, 138778.
- [17] Sriwidadi. 2011. Penggunaan Uji Mann-Whitney Pada Analisis Pengaruh Pelatihan Wiraniaga Dalam Penjualan Produk Baru. *Binus Business Review* Vol. 2 No. 2 November 2011: 751–762.
- [18] Supranto, J. 2002. *Statistik teori dan aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- [19] Tanudjaja, H.K. 2006. Analisis Hubungan dan Pengaruh Variabel Makroekonomi terhadap Kredit Bermasalah. Depok. Thesis of FE UI., 10–50.
- [20] United States Environment Protection Agency. 2004. *Air Quality Criteria for Particulate Matter– Vol I dan II*. National Center for Environmental Assestment–RTP Office of Research and Development, U.S. EPA Research Triangel Park, NC, (<http://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm>, diakses tanggal 25 Agustus 2020).
- [21] Virgianto, R. H., & Akbar, D. 2019. Analisis Konsentrasi PM_{2.5} Selama Penyelenggaraan Asian Games Ke-18 Di Jakarta. *Jurnal Statistika dan Matematika*, 1(1), 10–24.
- [22] Wilks, D. S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Vol. 100. Academic press: Oxford.
- [23] Zoran, M. A., Savastru, R. S., Savastru, D. M., & Tautan, M. N. 2020. Assessing the relationship between surface levels of PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter impact on COVID-19 in Milan, Italy. *Science of the Total Environment*, 738:139825.
- [24] Zoran, M. A., Dida, M. R., Savastru, R., Savastru, D., Dida, A., & Lonescu, O. 2014. Ground level ozone (O₃) associated with radon (222Rn) and particulate matter (PM) concentrations and adverse health effects. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 300:729–746.

