

Model Prediksi Hubungan Polusi Udara Terhadap Kasus Covid-19 Di Kota Tangerang Tahun 2020-2022

Ira Ayu Hastiaty*, Haryoto Kusnopranto, Umar Fahmi Achmadi, Ema Hermawati

Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, Indonesia

*Corresponding author: iraayuhastiaty@gmail.com

Info Artikel: Diterima 27 Desember 2023 ; Direvisi 26 Maret 2024 ; Disetujui 27 Maret 2024

Tersedia online : 8 Mei 2024 ; Diterbitkan secara teratur : Juni 2024

Cara sitasi: Hastiaty IA, Kusnopranto H, Achmadi UF, Hermawati E. Model Prediksi Hubungan Polusi Udara Terhadap Kasus Covid-19 Di Kota Tangerang Tahun 2020-2022. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2024 Jun;23(2):170-181. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.2.170-181>.

ABSTRAK

Latar belakang: Polusi udara dapat meningkatkan kerentanan terhadap COVID-19. Pengendalian polusi udara serta pengendalian COVID-19 di Kota Tangerang belum dilaksanakan dengan maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan model prediksi hubungan polusi udara terhadap kasus COVID-19 Kota Tangerang Tahun 2020-2022.

Metode: Penelitian ini menggunakan desain studi ekologi tren waktu serta kualitatif. Penelitian ini dilaksanakan di Kota Tangerang pada bulan April- Juni 2023. Penelitian ini menggunakan data sekunder meliputi data ISPU (NO_2 , SO_2 , PM_{10} , dan $PM_{2,5}$), suhu, kelembapan udara dan kasus COVID-19 di Kota Tangerang. Analisis data menggunakan analisis univariat, uji korelasi, uji regresi linier berganda.

Hasil: Gambaran NO_2 , SO_2 , PM_{10} tahun 2020-2022 berada dalam kategori baik, sedangkan $PM_{2,5}$ adalah kategori sedang. Hasil uji korelasi spearman menunjukkan SO_2 ($p= 0,001$; $r= -0,109$) dan PM_{10} ($p= 0,000$; $r= -0,210$) berhubungan signifikan terhadap kasus konfirmasi COVID-19. Analisis multivariat menunjukkan polusi udara yang paling dominan mempengaruhi kasus COVID-19 di Kota Tangerang adalah PM_{10} , setelah dikontrol dengan $PM_{2,5}$, suhu dan kelembapan. Variabel PM_{10} , $PM_{2,5}$, suhu, dan kelembapan dapat menjelaskan variasi variabel kasus COVID-19 sebesar 17,7%.

Simpulan: Model prediksi hubungan polusi udara dengan kasus COVID-19 di Kota Tangerang Tahun 2020-2022 adalah kasus konfirmasi COVID-19 = $4384,38 + 22,47PM_{10} + 1,63PM_{2,5} - 120,39$ suhu - $13,33$ kelembapan.

Kata kunci: COVID-19; $PM_{2,5}$; PM_{10}

ABSTRACT

Title: Prediction Model of the Association between Air Pollution and Covid-19 Cases in Tangerang City in 2020-2022

Background: Air pollution can increase vulnerability to COVID-19. Air pollution control and COVID-19 control in Tangerang City have not been implemented optimally. The purpose of this study is to determine the prediction model of the relationship between air pollution and COVID-19 cases in Tangerang City in 2020-2022.

Method: This research uses a time trend ecological study design and qualitative. This research was conducted in Tangerang City in April-June 2023. This study used secondary data including ISPU data (NO_2 , SO_2 , PM_{10} , and $PM_{2,5}$), temperature, humidity and COVID-19 cases in Tangerang City. Data analysis used univariate analysis, correlation test, multiple linear regression test.

Result: The overview of NO_2 , SO_2 , PM_{10} in 2020-2022 is in the good category, while $PM_{2.5}$ is in the moderate category. The results of the spearman correlation test showed that SO_2 ($p = 0.001$; $r = -0.109$) and PM_{10} ($p = 0.000$; $r = -0.210$) were significantly associated with confirmed cases of COVID-19. Multivariate analysis shows that the most dominant air pollution affecting COVID-19 cases in Tangerang City is PM_{10} , after controlling for $PM_{2.5}$, temperature and humidity. PM_{10} , $PM_{2.5}$, temperature, and humidity variables can explain 17,7% of the variation in COVID-19 case variables.

Conclusion: The prediction model of the relationship between air pollution and COVID-19 cases in Tangerang City in 2020-2022 is confirmed COVID-19 cases = $4384,38 + 22,47PM_{10} + 1.63PM_{2.5} - 120.39$ temperature - 13.33 humidity.

Keywords: COVID-19; $PM_{2.5}$; PM_{10}

PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan ancaman untuk kesehatan populasi global dan membutuhkan respon dari berbagai multidisiplin termasuk kesehatan masyarakat.¹ Pada tahun 2019, 99% populasi dunia tinggal di tempat-tempat di mana tingkat pedoman kualitas udara WHO tidak terpenuhi.² Hasil pemantauan kualitas udara ambien di Kota Tangerang pada tahun 2021, menunjukkan dapat dikategorikan cukup baik dimana sebagian besar hasil pantauan berada dibawah baku mutu yang ditetapkan. Namun jika dilihat dari grafik pemantauan kualitas udara tahun 2015-2021 dapat dilihat bahwa untuk parameter SO_2 , CO, dan NO_2 cenderung meningkat.³

Parameter yang digunakan untuk menghitung Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah Partikulat (PM_{10} dan $PM_{2.5}$), Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Dioksida (NO_2), Ozon (O_3), dan Hidrokarbon (HC).⁴ ISPU disusun dengan tujuan agar memberikan kemudahan dari keseragaman informasi mutu udara ambien kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan untuk pemerintah pusat dan daerah dalam mengendalikan pencemaran udara.⁵

Sektor transportasi jalan raya yang menyumbang 57% NO_x . Dari sektor transportasi, kendaraan berat merupakan penyumbang polutan terbesar penyumbang terbesar dari NO_x .⁶ NO dan NO_2 dilepaskan oleh knalpot mesin pembakaran bahan bakar fosil di mobil, truk, pembangkit listrik tenaga batu bara, dan pabrik manufaktur industri.⁷ Beban SO_2 di atmosfer sebagian besar berasal dari sebagian besar berasal dari aktivitas manusia antara lain pembakaran batu bara, minyak dan gas alam untuk produksi, pembuatan baja, peleburan tembaga, dan pembakaran minyak bumi.⁸ SO_2 sebagian besar dilepaskan dari pembakaran industri yang berkontribusi hampir 67% dari total.⁶

CO merupakan hasil reaksi yang tidak sempurna dari bahan bakar yang memiliki ikatan karbon (C), seperti bahan bakar minyak.⁹ Berdasarkan penelitian di Jakarta, penyumbang 93% polutan CO berasal dari kendaraan bermotor.⁶ Ozon (O_3) permukaan terutama diproduksi oleh sinar matahari yang digerakkan oleh oksidasi fotokimia dari senyawa organik yang mudah menguap (VOC) dan CO dengan adanya NO_x . Prekursor ozon berasal dari sumber

antropogenik, termasuk emisi dari industri, pembangkit listrik, daerah pemukiman, dan transportasi.¹⁰

Particulate Matter (PM) dianggap sebagai salah satu polutan udara paling berbahaya. Partikulat dapat terdiri dari logam berat, sulfat dan nitrat (dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna), emisi amonia dari pupuk pertanian dan kotoran ternak, karbon hitam dari minyak tanah, solar atau pembakaran biomassa dan pasir debu mineral, badai debu, spora jamur, bakteri hingga virus.^{9,11,12}

Secara global, hingga 9 Februari 2023, terdapat 755.116.409 kasus COVID-19 yang terkonfirmasi. Sebaran tertinggi kasus berada di wilayah Eropa sedangkan wilayah Asia Tenggara berada di posisi keempat di dunia untuk kasus COVID-19 terkonfirmasi.¹³ Pada akhir Desember 2022, jumlah kasus tertinggi dilaporkan dari Indonesia.¹⁴ Kota Tangerang merupakan urutan kedua di provinsi Banten untuk total kumulatif kasus konfirmasi COVID-19.¹⁵

Pencemar gas yang terlarut dalam udara dapat langsung masuk kedalam tubuh sampai ke paru – paru yang pada akhirnya diserap oleh sistem peredaran darah.¹⁶ Peradangan dalam aliran darah sebagai respons terhadap polutan telah ditemukan menyebabkan disfungsi vascular sistemik (termasuk vaskular serebral), peradangan serta stress oksidatif.¹⁷

PM_{10} menems dan bersarang jauh di dalam paru-paru, merusak respon imun dan meletakkan dasar untuk kanker dan penyakit paru-paru. $PM_{2.5}$ menembus penghalang paru-paru dan memasuki aliran darah, mengurangi kapasitas pembawa oksigen. Konsentrasi $PM_{2.5}$ merupakan salah satu indikator paparan risiko kesehatan.² NO_2 dan O_3 tingkat telah secara eksperimental dikaitkan dengan perubahan tingkat sel yang terkait dengan neoplasia, perubahan panjang telomer, ekspresi gen yang terlibat dalam kerusakan dan perbaikan DNA, peradangan, respon imun dan stres oksidatif, dan efek epigenetik, seperti metilasi DNA.¹⁷ Gas CO memiliki sifat yang sangat toksik terhadap manusia. Setelah udara dihirup, karbon monoksida berikatan dengan molekul hemoglobin pada sel darah merah menggantikan oksigen.¹⁸

Menurut Achmadi (2014), polusi udara dapat menyebabkan tubuh manusia (*host*) mengalami kerentanan dalam menangkis penyakit, akibatnya penyakit infeksi bertambah.¹⁹ Polusi udara

diperkirakan dapat meningkatkan kerentanan terhadap COVID-19 karena efek negatif pada sistem kekebalan tubuh dan berhubungan dengan peningkatan risiko COVID-19.²⁰ COVID-19 dapat menular melalui udara dan PM di atmosfer dapat menciptakan lingkungan yang cocok untuk mengangkut virus sehingga memicu penyebaran virus yang lebih jauh.²¹

Korelasi positif antara penyebaran virus, PM, dan enzim pengubah angiotensin 2 (ACE-2), reseptor yang terlibat dalam masuknya virus ke dalam sel paru dan peradangan. PM di atmosfer juga akan berfungsi sebagai pembawa, atau sebagai vektor pengangkut, untuk banyak virus. Dengan demikian, PM dapat telah meningkatkan efektivitas penyebaran virus dalam aerosol karena menciptakan lingkungan mikro yang cocok untuk bertahan hidup.²¹

NO₂ yang tinggi pada ambien udara dapat memberikan serangan kedua yang menyebabkan bentuk SARS-CoV-2 yang parah pada paru-paru yang kehabisan ACE-2 yang mengakibatkan hasil yang lebih buruk pada penderita COVID-19. Paparan Kronis paru-paru untuk NO₂ mendukung kerusakan fisiologis akibat virus karena kerusakan lokal diinduksi oleh oksidatif stress dan reduksi local dari fungsi makrofag dan adaptasi kekebalan respon imun.²² Penelitian di *United States* menunjukkan bahwa setiap 10µg/m³ peningkatan konsentrasi polutan rata-rata, jumlah kasus harian yang dikonfirmasi meningkat sebesar 9,41% (CI: 8,77%-10,04%) untuk PM_{2,5} dan sebesar 2,42% (CI: 1,56%-3,28%) untuk O₃.²³ Pada penelitian di Hubei, China, hubungan antara NO₂ dengan kejadian Covid memiliki hubungan yang kuat setelah dikontrol dengan konfounding suhu dan kelembapan.²⁴

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan desain studi ekologi tren waktu serta kualitatif. Penelitian ini membandingkan kasus COVID-19 (variabel dependen) dengan polusi udara (NO₂, SO₂, PM_{2,5}, dan PM₁₀) sebagai variabel independennya, serta suhu dan kelembapan sebagai variabel perancu. Data polusi udara merupakan data harian polusi udara (NO₂, SO₂, PM_{2,5}, dan PM₁₀) yang didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Tangerang. Data polusi udara didapatkan dari pengukuran pada 3 SPKU (Stasiun Pemantauan Kualitas Udara) di Kota Tangerang (SPKU Benteng Betawi, Sudimara Barat dan Jatiuwung) selama periode Maret 2020-Desember 2022. Data PM_{2,5} menggunakan data Januari 2021 hingga Desember 2022 yaitu data selama 12 bulan.

Data kasus COVID- berupa data harian kasus COVID-19 Kota Tangerang selama bulan Maret 2020 sampai Desember 2022 yang didapatkan dari Dinas Kesehatan (Dinkes) Kota Tangerang. Data variabel suhu dan kelembapan didapatkan melalui akses secara online pada situs web <https://dataonline.bmkg.go.id/>

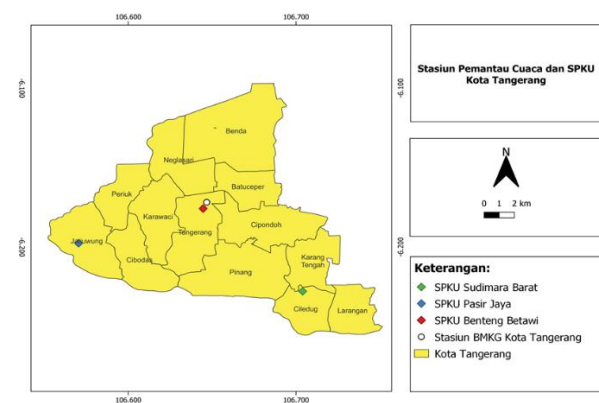
setelah membuat akun untuk mengakses data. Data suhu dan kelembapan di Kota Tangerang sejak Maret 2020 hingga Desember 2022.

Analisis univariat memberi gambaran polusi udara dan kejadian COVID-19 harian sejak bulan Maret 2020 hingga Desember 2022. Analisis bivariat menggunakan uji korelasi untuk melihat hubungan polusi udara dengan kasus COVID-di Kota Tangerang sejak Maret 2020 hingga Desember 2022. Analisis multivariat menggunakan regresi linier ganda. Analisis multivariat digunakan untuk mengetahui variabel mana yang paling dominan mempengaruhi variabel kasus COVID-19 serta untuk membuat pemodelan hubungan polusi udara dengan kasus COVID-19 di Kota Tangerang Tahun 2020-2022. Penelitian ini telah memperoleh Surat Keterangan Lolos Etik dari Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia dengan nomor surat Nomor: Ket-501/UN2.F10.D11/PPM.00.02/2023.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Lokasi Penelitian

Lokasi SPKU dan stasiun BMKG di Kota Tangerang yang digunakan sebagai sumber data penelitian dijelaskan pada Gambar 5.1. Kota Tangerang memiliki 3 SPKU yang terletak di 3 kecamatan yang berbeda. SPKU Sudimara Barat terletak di Kecamatan Ciledug, SPKU Pasir Jaya terletak di Kecamatan Jatiuwung dan SPKU Benteng Betawi terletak di Kecamatan Tangerang. Ketiga SPKU tersebut mewakili karakteristik wilayah yang berbeda-beda. SPKU Sudimara Barat mewakili wilayah pemukiman. SPKU Pasir Jaya mewakili daerah industri. SPKU Benteng Betawi mewakili wilayah transportasi. Stasiun BMKG di Kota Tangerang terletak di Kecamatan Tangerang.



Gambar 1. Lokasi SPKU dan Stasiun BMKG di Kota Tangerang

Analisis Univariat

Tabel 1. Distribusi kasus covid-19, polusi udara, dan faktor cuaca di Kota Tangerang tahun 2020-2022

	Mean	Median	Minimal-Maksimal	±SD	95% CI
Kasus COVID-19 (kasus)	207,21	76,00	0,0-2250	992,76	164,19-250,23
NO ₂ **	5,58	0,50	0,0-250,0	27,66	2,55-8,62
SO ₂ **	12,10	3,50	0,0-259,5	36,50	8,10-16,10
PM ₁₀ **	5,10	2,50	0,0-39,0	6,23	4,42-5,79
PM _{2,5} **	82,46	87,23	0-162,88	34,36	78,70-86,23
Suhu (°C)	27,78	27,90	25,6-29,7	0,89	27,68-27,87
Kelembapan (%)	81,17	81,0	69,0-94,0	4,70	80,65-81,68

Keterangan : ** = indeks

Peningkatan kasus yang terlihat sangat signifikan yaitu pada bulan Juli 2021, dengan kasus harian tertinggi pada tanggal 13 Juli 2021 sebanyak 1245 kasus²⁵. Kasus harian tertinggi di bulan Juli 2021 disebabkan oleh varian Delta. Di Indonesia, varian Delta yang menyebabkan gelombang kasus COVID-19 pada bulan Juni sampai Oktober 2021.²⁶ Puncak kasus di Kota Tangerang dengan jumlah kasus harian 2250 kasus terjadi pada Februari 2022, salah satunya disebabkan oleh varian Omicron²⁷. Varian Omicron memiliki beberapa mutasi yang mungkin berdampak pada kecepatan penyebaran atau tingkat keparahan penyakit yang ditimbulkan, dan relatif resisten terhadap imunoterapi atau vaksin yang ada.^{28,29} Subvarian Omicron BA. 1 dan BA. 2 merupakan subvarian dominan di seluruh dunia. Subvarian Omicron BA. 2 merupakan subvarian yang menyebabkan kasus rawat inap dan kematian akibat COVID-19 di Afrika Selatan.²⁸

Pada tabel 1. dapat dilihat untuk parameter NO₂, SO₂ dan PM_{2,5} pernah berada di rentang tidak sehat berdasarkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. Sektor transportasi jalan raya yang menyumbang 57% NO_x. Dari sektor transportasi, kendaraan berat merupakan penyumbang polutan terbesar penyumbang terbesar dari NO_x.⁶ NO dari asap transportasi diubah menjadi NO yang berbentuk *smog* coklat kemerahan yang disebut *photochemical smog*³⁰. Beban SO₂ di atmosfer sebagian besar berasal dari sebagian besar berasal dari aktivitas manusia antara lain pembakaran batu bara, minyak dan gas alam untuk produksi, pembuatan baja, peleburan tembaga, dan pembakaran minyak bumi⁸. Hal ini sejalan dengan keadaan di Kota Tangerang sebagai kota yang memiliki aktivitas perdagangan, jasa, pemerintahan serta industri.^{3,31}

Parameter PM_{2,5} merupakan parameter yang dapat menjadi prioritas perhatian. Hal ini salah satunya dapat dilihat 63% hari selama bulan Juni 2022, parameter PM_{2,5} berada pada kategori udara tidak sehat berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. PM_{2,5}

lebih banyak dihasilkan dari aktivitas antropogenik seperti akibat emisi transportasi lalu lintas dan aktivitas pembakaran industri. PM₁₀ banyak dihasilkan akibat sumber alami seperti tiupan angin atau debu jalanan.¹¹ Provinsi Jakarta sebagai wilayah tetangga Kota Tangerang, memiliki peningkatan nilai ISPU dengan kategori tidak sehat pada tahun 2014 sampai dengan tahun 2018, dan mengalami sedikit penurunan pada tahun 2019.³²

Analisis Bivariat dan Multivariat

Pada penelitian ini, data tidak terdistribusi secara normal sehingga analisis hubungan menggunakan uji korelasi *spearman*. Pada Tabel 2. merupakan hasil analisis uji korelasi spearman antara kasus positif terhadap polusi udara (NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}) serta suhu dan kelembapan sebagai variable perancu.

Tabel 2. Uji Korelasi Antara Polusi Udara dengan Kasus Positif COVID-19 di Kota Tangerang

	R	nilai p	Interpretasi
Kasus COVID-19 (kasus)	1		
NO ₂ **	-0,020	0,514	Hubungan lemah
SO ₂ **	-0,109	0,001*	Hubungan lemah
PM ₁₀ **	-0,210	0,000*	Hubungan lemah
PM _{2,5} **	0,043	0,434	Hubungan lemah
Suhu (°C)	-0,190	0,000*	Hubungan lemah
Kelembapan (%)	-0,088	0,006*	Hubungan lemah

Keterangan : * = nilai p signifikan
** = indeks

Proses permodelan dari analisis multivariat dapat dilihat pada tabel 3. Pada model awal (model 1) analisis multivariat hubungan polusi udara dan kasus konfirmasi COVID-19 terdapat 4 variabel independen (NO₂, SO₂, PM₁₀, dan PM_{2,5}) serta 2 variabel perancu (suhu dan kelembapan). Setelah dilakukan analisis secara multivariat, variabel dengan nilai p > 0,05 akan dikeluarkan secara bertahap dari model dimulai dari variabel dengan nilai p terbesar, Pada model 1, variabel yang dikeluarkan pertama kali yaitu variabel NO₂ (nilai p = 0,91). Pada model 2, NO₂ tidak diikutsertakan dalam analisis, sehingga pada model terdiri dari variabel SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, suhu dan kelembapan. Setelah dilakukan analisis secara multivariat, variabel SO₂ (nilai p = 0,303) dikeluarkan dari pemodelan.

Tabel 2. Model Awal Analisis Multivariat Hubungan Polusi Udara Terhadap Kasus Konfirmasi COVID-19 di Kota Tangerang

Variabel	B	Standarisasi Coef. B	R ²	R ² <i>adjusted</i>	nilai p
Kasus konfirmasi COVID-19 (kasus)	4446,65		0,190	0,174	0,00
NO ₂ **	0,13	0,01			0,91
SO ₂ **	-0,66	-0,06			0,45
PM ₁₀ **	23,01	0,37			0,00*
PM _{2,5} **	1,55	0,14			0,01*
Suhu (°C)	-122,43	-0,28			0,00*
Kelembapan (%)	-13,26	-0,16			0,05*

Keterangan : * = signifikan secara statistik
** = indeks

Tabel 3. Proses Pemodelan Analisis Multivariat Hubungan Polusi Udara Terhadap Kasus Konfirmasi COVID-19 di Kota Tangerang

Variabel	B	Standarisasi Coef. B	R ²	R ² <i>adjusted</i>	nilai p
Model 2	Kasus konfirmasi positif (kasus)	4446,05	0,190	0,177	0,003
	SO ₂ **	-0,58			0,303
	PM ₁₀ **	22,95			0,000*
	PM _{2,5} **	1,54			0,010*
	Suhu (°C)	-122,47			0,001*
	Kelembapan (%)	-13,23			0,055*
Model 3	Kasus konfirmasi positif (kasus)	4384,38	0,190	0,177	0,004
	PM ₁₀ **	22,47			0,000*
	PM _{2,5} **	1,63			0,006*
	Suhu (°C)	-120,39			0,001*
	Kelembapan (%)	-13,33			0,053*

Keterangan : * = signifikan secara statistik
** = indeks

Pada model 3, SO₂ tidak diikutsertakan dalam analisis. Model 3 terdiri dari variabel PM₁₀, PM_{2,5}, suhu, dan kelembapan. Model 3 tersebut merupakan model yang paling baik. Pada model 3 dapat dilihat bahwa variabel yang paling dominan dalam mempengaruhi kasus COVID-19 adalah PM₁₀ dilihat dari Beta yang paling besar yaitu 0,36.

Pada analisis multivariat ini model 1 (*full model*) mempunyai koefisien determinasi (R *adjusted*) sebesar 17,4%, model 2 dan 3 yaitu 17,7%. Pada model 3 artinya variabel PM₁₀, PM_{2,5}, suhu, dan kelembapan dapat menjelaskan variasi variabel kasus COVID-19 sebesar 17,7%. Parameter yang paling dominan mempengaruhi kasus COVID-19 adalah PM₁₀ dengan nilai standarisasi koefisien B terbesar yaitu 0,36 (Tabel 4.). Langkah selanjutnya untuk penentuan model adalah dengan melakukan uji asumsi, dengan hasil asumsi eksistensi terpenuhi, asumsi independensi terpenuhi, asumsi linieritas terpenuhi, asumsi *homoscedasticity* tidak terpenuhi, asumsi normalitas tidak terpenuhi serta diagnostik *multicollinearity* terpenuhi³³. Ketika linieritas tidak memenuhi asumsi maka transformasi non linier terkadang dapat memperbaikinya. Hal ini biasanya membuat masuk akal untuk mengambil logaritma hasil yang semuanya positif, selain itu dapat dilakukan alternatif dengan memasukkan model log natural (ln).^{34,35} Pada data

harian polusi, banyak terdapat nilai 0, sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan transformasi ke dalam bentuk ln.³⁶ Sehingga persamaan regresi linier yang diperoleh sebagai berikut : **Kasus Konfirmasi = 4384,38 + 22,47PM₁₀ + 1,63PM_{2,5} - 120,39suhu - 13,33kelembapan.**

Hubungan NO₂ dengan Kasus Konfirmasi COVID-19

Pada penelitian ini, hubungan antara NO₂ dengan kasus konfirmasi COVID-19 di Kota Tangerang tidak memberikan hubungan yang signifikan, baik secara bivariat (Tabel 2.) maupun multivariat (tabel 4.). Hal ini dapat disebabkan karena nilai NO₂ pada tahun 2020-2022 berada pada kategori baik (95% CI = 8,10-16,10) jika dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020. Hubungan yang signifikan antara NO₂ dengan kasus COVID-19 terjadi pada wilayah dengan konsentrasi NO₂ yang tinggi, yaitu seperti pada penelitian di daerah lain dengan nilai NO₂ maksimum di atas 100 mol/m².³⁷ Hubungan yang tidak signifikan antara NO₂ dengan kasus COVID-19 pada penelitian ini juga dapat diakibatkan dari lag yang seharusnya diperhitungkan. Penelitian di Hubei, China, menunjukkan bahwa NO₂ memiliki hubungan yang signifikan dengan penyebaran

COVID-19 setelah dikontrol dengan variabel suhu dan kelembapan, dengan lag 12 hari. Paparan NO₂ meningkatkan kerentanan individu untuk terinfeksi virus SARS-CoV-2.²⁴

Penelitian-penelitian terdahulu lebih banyak menjelaskan hubungan paparan NO₂ jangka lama dengan kasus konfirmasi COVID-19 atau dengan kasus kematian dan rawat inap akibat COVID-19.³⁷⁻³⁹ Hubungan NO₂ dengan kasus konfirmasi COVID-19 lebih banyak dihubungkan dengan paparan jangka panjang NO₂. Pada penelitian Ogen (2020), 83% kasus kematian COVID-19 terjadi pada daerah dengan konsentrasi NO₂ maksimum di atas 100 mol/m².³⁸ Pada penelitian dengan desain studi kohort di Catalonia, Spanyol, paparan jangka panjang NO₂ memiliki korelasi positif dengan rawat inap akibat COVID-19 serta kematian akibat COVID-19.³⁹ Sejalan dengan penelitian kohort di Inggris, yang menunjukkan bahwa paparan NO₂ pada dekade sebelum pandemi COVID-19 memiliki korelasi yang lemah dengan infeksi COVID-19, setelah dikontrol dengan perancu tingkat individu.⁴⁰ Pada penelitian di Korea, peningkatan konsentrasi NO₂ sebesar 0,01 ppm (lag7, lag 14, dan lag 21) secara signifikan terkait dengan peningkatan kasus terkonfirmasi COVID-19, dengan OR masing-masing (95% CI) (1,13 (1,02-1,25), 1,19 (1,09-1,30), dan 1,30 (1,19-1,41)).⁴¹ Penelitian di Wuhan yang menghubungkan antara NO₂ dengan kasus konfirmasi COVID-19 menunjukkan korelasi yang kuat ($r=0,539$). Penelitian ini menghubungkan indeks NO₂ dengan kasus konfirmasi COVID-19 pada 4 hari kemudian.⁴²

Hubungan SO₂ dengan Kasus Konfirmasi COVID-19

Pada Tabel 2. hubungan antara SO₂ dengan kasus konfirmasi COVID-19 menunjukkan hubungan yang lemah ($r = -0,020$) dengan arah negatif. Di model akhir multivariat (Tabel 4), SO₂ memiliki hubungan yang tidak signifikan dengan kasus COVID-19. Hasil ini sejalan dengan penelitian di Jakarta, bahwa SO₂ tidak memberikan hubungan yang signifikan dengan kasus konfirmasi COVID-19, namun memberikan hubungan yang signifikan dengan total kasus konfirmasi COVID-19.¹² Penelitian di Hubei, China, juga tidak menemukan hubungan yang signifikan antara SO₂ dengan transmisi COVID-19.²⁴ Namun hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian di Mumbai, India yang menunjukkan hubungan yang memiliki hubungan yang kuat antara SO₂ dengan kasus konfirmasi COVID-19.⁴³ Hal ini sejalan dengan penelitian di Jaipur, sebagai kota dengan peningkatan polusi udara yang tinggi, menunjukkan hubungan yang kuat antara SO₂ dengan kasus konfirmasi selama musim panas.⁴⁴ Pada analisis spasial di Mumbai, menunjukkan wilayah Mumbai memiliki keterpaparan SO₂ yang sedang sampai tinggi, hal ini berbeda dengan keadaan paparan SO₂ di Kota Tangerang yang masih berada dalam kategori baik dengan nilai median 3,50 (95% CI= 8,10-16,10) berdasarkan Peraturan Menteri

Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020.

Hubungan yang tidak signifikan pada penelitian ini juga dapat disebabkan karena tidak memperhitungkan efek lag. Pada penelitian di Korea (2020), ditemukan adanya hubungan positif antara per 0,001 ppm konsentrasi SO₂ (lag 0, lag 0-7, dan lag 0-14) dan kasus yang dikonfirmasi COVID-19, dengan OR masing-masing (95% CI) 1,13 (1,04-1,22), 1,20 (1,11-1,31), dan 1,15 (1,07- 1,25).⁴¹ Mekanisme hubungan yang mungkin terjadi antara paparan SO₂ dengan kasus konfirmasi COVID-19 adalah dengan melemahkan sistem pernapasan, kardiovaskular, dan kekebalan tubuh, sehingga memfasilitasi invasi virus dan hasil yang parah.²⁰ Paparan SO₂ yang berlebihan dapat berkontribusi pada struktur dan fungsi selia yang abnormal, sehingga menghasilkan penurunan pembersihan mukosiliar. Penurunan pembersihan mukosiliar ini yang mengakibatkan penurunan kekebalan tubuh.⁴⁵ SO₂ pada konsentrasi yang lebih tinggi (500 µg/m³) dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan pada individu yang rentan, dapat memicu gejala pernapasan akut seperti asma bronkial akut, edema paru, dan gangguan.⁴⁶

Hubungan PM₁₀ dengan Kasus Konfirmasi COVID-19

Hasil analisis secara bivariat (Tabel 2.), terdapat korelasi yang lemah antara PM₁₀ dengan kasus konfirmasi COVID-19 di Kota Tangerang ($r= -0,210$). Nilai negatif menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik antara PM₁₀ dengan kasus konfirmasi COVID-19. Namun, saat analisis multivariat (Tabel 4.), PM₁₀ merupakan variabel yang paling dominan ($\beta = 0,36$) setelah dikontrol dengan PM_{2,5}, suhu dan kelembapan. Hal ini sejalan dengan penelitian di Nigeria, yang menunjukkan PM₁₀ berkorelasi positif dengan kasus COVID-19. PM₁₀ memainkan lebih berperan dalam transmisi daripada PM_{2,5}. Di Nigeria, debu dari gurun serta industrialisasi merupakan bagian terpenting dari komponen PM₁₀.⁴⁷ Pada penelitian di Vienna, Austria, PM₁₀ (>20µg/m³) memiliki hubungan yang signifikan dan berkorelasi positif dengan kasus konfirmasi COVID-19, dikontrol dengan NO₂ dan kepadatan penduduk.⁴⁸ Penelitian di Jerman menunjukkan peningkatan 1 µ/m³ PM₁₀ meningkatkan 52.38 (SD =12.99) kasus per 100.000 penduduk dikontrol dengan kepadatan penduduk dan proporsi penduduk di atas 75 tahun.⁴⁹ Pada penelitian di Chile, PM₁₀ mempengaruhi jumlah kasus konfirmasi COVID-19 pada minggu berikutnya, sedangkan PM_{2,5} mempengaruhi jumlah kasus konfirmasi COVID-19 pada minggu yang sama.⁵⁰

Hubungan antara PM₁₀ dengan kasus konfirmasi COVID-19 dapat dijelaskan berdasarkan adhesi antara PM₁₀ dengan virus SARS-CoV-2. PM₁₀ membantu penyebaran virus SARS-CoV-2. Partikel dengan ukuran 10-20 µm dapat mengendap atau tetap tersuspensi di udara. Partikel yang mengendap ini yang dapat mengakibatkan transmisi melalui fomite.⁵¹ PM

dapat meningkatkan efektivitas penyebaran virus dalam aerosol karena menciptakan lingkungan mikro yang cocok untuk bertahan hidup. Selain itu, PM menginduksi peradangan pada sel-sel paru-paru serta meningkatkan kerentanan dan keparahan gejala pasien COVID-19.²¹

Pada penelitian di Jeddah, jumlah muatan mikroba lebih tinggi dapat diidentifikasi pada PM₁₀ dibandingkan pada PM_{2.5}. Bioaerosol cenderung menempel pada PM yang lebih kasar.⁵² Pola mikroorganisme yang ada pada PM adalah adhesi, yaitu PM dapat menawarkan nutrisi pada mikroorganisme serta mempertahankan sistem metabolismenya.⁵³

Hubungan PM_{2.5} dengan Kasus Konfirmasi COVID-19

Pada hasil analisis bivariat (Tabel 2.), tidak terdapat hubungan yang signifikan antara PM_{2.5} dengan kasus konfirmasi COVID-19 di Kota Tangerang, hal ini dapat disebabkan karena data yang tersedia hanya data pada tahun 2022, sehingga tidak memberikan keadaan yang mewakili di lokasi penelitian. Pada penelitian di Jakarta tahun 2020, PM_{2.5} juga tidak memiliki hubungan yang signifikan dengan kasus konfirmasi COVID-19 saat dilakukan analisis secara bivariat.¹²

Pada analisis multivariat, PM_{2.5} memiliki hubungan yang signifikan dengan kasus konfirmasi COVID-19, jika dikontrol dengan variabel PM₁₀, suhu dan kelembapan. Kekurangan pada studi ekologi yaitu banyaknya faktor perancu, sehingga pada uji bivariat dapat menghasilkan korelasi yang tidak sesungguhnya.⁵⁴ Hubungan antara PM_{2.5} dalam membantu penyebaran virus SARS-CoV-2 didukung oleh sifat dari PM_{2.5} tersebut. Ukuran PM_{2.5} yang kecil dan bobotnya yang ringan, menyebabkan partikel halus ini cenderung bertahan lebih lama di udara dibandingkan yang lebih besar sehingga dapat menembus jauh ke dalam paru-paru dan sistem peredaran darah.⁵⁵ Partikel yang berukuran <5-10 µm, dapat tetap berada di udara dan mampu melakukan transportasi jarak pendek dan transportasi jarak jauh. Tetapan yang lebih besar >20 µm mengendap di bawah pengaruh gravitasi.⁵¹

Pada penelitian Frontera tahun 2020, PM_{2.5} memiliki hubungan yang signifikan dengan kasus konfirmasi COVID-19 ($r = 0,64$). Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hubungan PM_{2.5} dengan kasus konfirmasi COVID-19 di beberapa kota di Italia yang memiliki tingkat industrialisasi dan polusi udara yang tinggi.²² Penelitian di Colorado, juga menunjukkan bahwa peningkatan paparan tahunan PM_{2.5} pada tahun sebelum pandemi dikaitkan dengan peningkatan risiko hasil COVID-19 yang parah.⁵⁶ Pada penelitian meta analisis menghasilkan bahwa infeksi dan kematian COVID-19 di Asia berkorelasi dengan PM_{2.5}, tetapi dengan pengaruh variabel lainnya.⁵⁷ Saat PM_{2.5} beradhesi dengan virus SARS-CoV-2 maka PM_{2.5} membantu dalam penyebaran virus SARS-CoV-2.⁵³

Pada variabel perancu yaitu suhu ($P = 0,000$) dan kelembapan ($P = 0,006$) memiliki hubungan yang signifikan dengan kasus konfirmasi COVID-19. Hubungan antara suhu dengan kasus konfirmasi COVID-19 menunjukkan hubungan yang lemah ($-0,190$) dengan arah negatif. Variabel kelembapan juga menunjukkan hubungan yang lemah dengan kasus konfirmasi COVID-19 ($r = -0,088$) dengan arah negatif. Artinya dengan meningkatnya suhu atau kelembapan akan menurunkan angka kasus konfirmasi COVID-19. COVID-19 dapat menular melalui udara dan PM di atmosfer. PM dapat menciptakan lingkungan yang cocok untuk mengangkut virus pada jarak yang lebih jauh. Individu yang menghirup PM_{2.5} memungkinkan virus untuk berkembang di dalam saluran pernapasan dan menyebabkan infeksi COVID-19.²¹ PM_{2.5} memiliki peranan yang lebih penting dalam transmisi virus SARS-CoV 2. PM_{2.5} bertahan selama berjam-jam di udara dibandingkan dengan tetapan yang lebih besar yang dengan cepat diendapkan ke permukaan tanah atau fomite.⁵⁸

Paparan kronis terhadap PM_{2.5} menyebabkan ekspresi berlebihan reseptor ACE-2. Hal ini dapat meningkatkan *viral load* pada pasien yang terpapar polusi dan merusak pertahanan inang.²² Menurut Li et. al., mekanisme PM_{2.5} dan Covid adalah PM_{2.5} dapat mengganggu integritas pembatas pernafasan manusia sehingga mengekspose jaringan pernafasan oleh patogen asing serta PM_{2.5} membentuk inti kondensasi untuk perlekatan virus.⁴² Pada penelitian dengan desain kohort di Swedia, menunjukkan bahwa paparan PM_{2.5} jangka panjang memiliki asosiasi yang paling dominan terhadap kasus konfirmasi COVID-19 dibandingkan polutan PM₁₀ dan NO₂.⁵⁹ Paparan jangka pendek akibat PM_{2.5} cenderung meningkatkan peradangan sementara paparan jangka panjang dapat menyebabkan disregulasi kekebalan dan kondisi medis lainnya.²³ Oleh karena itu perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya mengenai hubungan paparan polusi udara jangka panjang dengan kasus konfirmasi COVID-19.

Hubungan Suhu dan Kelembapan dengan Kasus Konfirmasi COVID-19

Pada penelitian ini suhu dan kelembapan berperan sebagai variabel perancu. Hal ini dapat dijelaskan pada analisis secara multivariat. Pada analisis secara multivariat variabel PM_{2.5} dan PM₁₀ menunjukkan korelasi yang positif setelah dikontrol dengan variabel suhu dan kelembapan. Hal ini berbeda dengan hasil analisis bivariat yang menunjukkan PM_{2.5} yang tidak bermakna secara statistik (nilai $p = 0,434$). Variabel suhu dan kelembapan sebagai variabel perancu juga dijelaskan pada penelitian Asif (2022), kondisi lingkungan sekitar memainkan peran penting dalam menyebarkan dan menyebarkan virus di lingkungan luar dan dalam ruangan, sehingga faktor suhu dan kelembapan dijadikan sebagai variabel perancu pada penelitian ini.⁵⁸

Kondisi di Kota Tangerang memiliki nilai rata-rata harian sebesar 27,78°C, jika dibandingkan dengan

penelitian di laboratorium yang menunjukkan bahwa suhu optimal coronavirus pada $22 - 25^{\circ}\text{C}$, maka korelasi negatif pada hasil penelitian ini membuktikan bahwa viabilitas virus berkurang pada suhu tinggi.⁶⁰ Suhu yang rendah berkorelasi positif meningkatkan kasus konfirmasi COVID-19 pada minggu berikutnya, hal ini berhubungan dengan masa inkubasi virus SARS-CoV-2 yaitu 5-6 hari.^{50,61} Ditemukan bahwa sebagian besar negara yang terletak di wilayah bersuhu relatif lebih rendah menunjukkan peningkatan yang cepat dalam kasus COVID-19 daripada negara-negara yang terletak di wilayah iklim yang lebih hangat.⁶² Namun pada penelitian yang membandingkan banyak negara di seluruh belahan dunia, menunjukkan bahwa suhu dan kelembapan memberikan hubungan yang tidak konsisten terhadap kasus konfirmasi COVID-19.⁶³ Atmosfer yang kaya akan polutan udara, didukung dengan kondisi iklim tertentu, maka dapat meningkatkan partikel virus di udara yang mendukung proses penyebaran SARS-CoV-2.²¹

Suhu dan kelembapan merupakan faktor perancu yang dimasukkan ke dalam model analisis multivariat. Suhu yang tinggi juga dapat meningkatkan polusi udara, hal ini dapat dilihat dari reaksi kimia yang mengarah pada pembentukan *smog* fotokimia.³⁰ Pada penelitian di Pekanbaru, PM_{10} memiliki korelasi negatif terhadap suhu, sehingga konsentrasi PM_{10} mengalami peningkatan ketika suhu udara rendah. Peningkatan suhu udara menyebabkan densitas udara di sekitar permukaan bumi menjadi lebih rendah daripada udara di atasnya sehingga terjadi pergerakan antar molekul PM_{10} menjadi lebih renggang. Selanjutnya terjadi aliran konveksi ke atas permukaan bumi yang membawa berbagai gas polutan PM_{10} yang menyebabkan konsentrasi PM_{10} menjadi rendah.⁶⁴ Pada penelitian Wallace juga menyatakan bahwa $\text{PM}_{2,5}$ akan mengalami penurunan dengan meningkatnya kelembapan.⁶⁵ Kelembapan udara dapat mempengaruhi konsentrasi polutan, pada saat kondisi kelembapan tinggi maka kadar uap air di udara dapat bereaksi dengan polutan primer, sehingga dapat bereaksi menghasilkan polutan sekunder.⁶⁶ Suhu dan kelembapan mempunyai korelasi negatif terhadap $\text{PM}_{2,5}$ dan PM_{10} , hal ini disebabkan penurunan suhu di malam hari sehingga menurunkan difusi partikel yang mengakibatkan peningkatan konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ dan PM_{10} .⁶⁷ Pada peristiwa *Industrial Smog*, SO_2 dapat berubah menjadi aerosol, yang terdiri dari droplet asam sulfat (H_2SO_4) dan partikel tersuspensi sulfat (SO_4^{2-}).³⁰

Kebijakan Pengendalian COVID-19 di Kota Tangerang

Pemerintah Daerah (Pemda) Kota Tangerang pertama kali melakukan PSBB pada 18 April 2020 berdasarkan Peraturan Walikota Tangerang No 17 Tahun 2020 tentang PSBB. Pada bulan Juli tahun 2021, Kota Tangerang harus melaksanakan PPKM level 4 berdasarkan Inmendagri No 15 Tahun 2021 Tentang PPKM Darurat COVID-19 Di Wilayah Jawa dan Bali. Peraturan yang dibuat pemerintah diharapkan dapat

merubah kebiasaan masyarakat terutama dalam hal mobilitas yang dapat menekan penyebaran kasus COVID-19.⁶⁸

Gerakan vaksinasi COVID-19 secara massal pada masyarakat merupakan upaya pencegahan virus dan memutus penyebaran penyakit COVID-19. Kegiatan ini merupakan kegiatan yang mendukung upaya kebijakan pemerintah dalam mengurangi resiko penyakit dan kontak erat dengan masyarakat dalam memberikan pelayanan dalam masyarakat.⁶⁹ Hal ini sesuai dengan kegiatan vaksinasi yang dilakukan oleh Dinas Kesehatan Kota Tangerang. Selain dilaksanakan di fasilitas pelayanan kesehatan seperti di Puskesmas, klinik dan rumah sakit, kegiatan vaksinasi juga dilaksanakan di tempat-tempat umum seperti mal, terminal dan wilayah perkantoran. Dalam mengatasi pandemi COVID-19, perencanaan logistik untuk pelaksanaan vaksinasi sangatlah penting, meliputi pengujian COVID-19, peralatan medis yang memadai, organisasi yang baik untuk mendistribusikan vaksin, serta pengobatan yang efektif untuk pasien COVID-19.⁷⁰

Per 31 Desember 2022, cakupan vaksinasi COVID-19 di Kota Tangerang untuk dosis 2 sudah diatas target vaksinasi nasional yaitu diatas 70%. Cakupan vaksinasi COVID-19 di Kota Tangerang untuk booster 1 (dosis 3), belum mencapai target pada kategori lansia, masyarakat umum, serta remaja.⁷¹ Indikator kunci keberhasilan kampanye vaksinasi di Indonesia dapat dilihat mulai Februari 2022 saat kedatangan varian Omicron. Rendahnya jumlah kematian dan rawat inap akibat kasus kasus konfirmasi COVID-19 menunjukkan keberhasilan kampanye vaksinasi COVID-19. Prevalensi kasus yang rendah berlanjut hingga awal Juni 2022. Dengan demikian, pengamatan menunjukkan bahwa Indonesia telah mencapai kekebalan kelompok sampai batas tertentu.⁷² Cakupan vaksinasi skala besar mungkin menempatkan kita mendekati akhir pandemi COVID-19.⁷⁰

Pada penelitian di Swiss, polusi udara dapat meningkatkan risiko COVID-19 pada gelombang pertama pandemi, tetapi tidak pada gelombang kedua pandemi saat sistem kesehatan nasional sudah siap.⁷³ Penilaian risiko kesehatan dan hasil model kualitas udara memberikan pandangan tentang pentingnya polutan yang muncul dengan membantu mengidentifikasi sumber, memahami transportasi di atmosfer, dan perkiraan potensi paparan melalui udara atau media lain.⁷⁴ Secara keseluruhan peranan polusi udara dengan peningkatan kasus konfirmasi COVID-19 yaitu NO_2 menurunkan ketahanan individu, SO_2 menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan pada individu yang rentan, PM berikatan adhesi dengan virus SARS-CoV-2 yang membantu dalam transmisi virus.^{45,46,51,53}

Pada penelitian ini, dihasilkan bahwa paparan PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, serta perancu suhu dan kelembapan dapat digunakan untuk memprediksi kasus COVID-19 di Kota Tangerang. Oleh karena ini dalam pengendalian COVID-19 di Kota Tangerang, harus

mengikutsertakan pengendalian polusi udara seperti PM₁₀ dan PM_{2.5}. Dalam hal ini perlu dilakukannya koordinasi lintas institusi serta berbagai disiplin ilmu, diantaranya DLH Kota Tangerang, Dinas Pariwisata Kota Tangerang, pemerintah daerah yang berbatasan dengan Kota Tangerang (Kota Tangerang Selatan, Kabupaten Tangerang, Provinsi DKI Jakarta), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, organisasi profesi kesehatan dan lain-lain. Kerjasama lintas institusi ini harus dilaksanakan secara periodik untuk membahas perkembangan dalam kerjasama. Monitoring pelaksanaan kegiatan juga perlu dilakukan untuk menilai pelaksanaan kegiatan kerja sama di lapangan.¹⁹

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain studi ekologi menghubungkan polusi udara ambien dengan hasil agregat COVID-19, sehingga tidak memperhatikan perancu tingkat individu (misalnya, ras, usia, jenis kelamin, status vaksinasi dan status merokok) serta perancu tingkat kelompok penting seperti kepadatan populasi dan tingkat pengujian.⁵⁴ Menurut Prinz dan Richter, kekurangan dari studi ekologi mengenai hubungan antara PM dengan polusi udara adalah penggunaan data PM tingkat regional yang tidak menggambarkan paparan PM tingkat individu, adanya bias informasi dari kasus COVID-19 yang tidak dilaporkan serta kontrol yang tidak memadai untuk variabel perancu.⁴⁹

Bias yang memungkinkan terjadi pada penelitian ini adalah bias informasi yang dapat terjadi pada pelaporan kasus COVID-19 serta pengukuran polusi udara di Kota Tangerang. Pelaporan kasus COVID-19 dapat terjadi keterlambatan pelaporan akibat waktu pengujian yang lama. Bias pada pengukuran polusi udara dapat disebabkan karena sensor alat yang tidak memadai pada SPKU di Kota Tangerang. Bias pengukuran polusi udara juga disebabkan dari pengukuran 3 SPKU yang tidak menjangkau seluruh wilayah Kota Tangerang. Keterbatasan pada penentuan model prediksi hubungan antara polusi udara dengan kasus COVID-19 di Kota Tangerang adalah tidak terpenuhinya asumsi *homoscedasticity* dan asumsi normalitas. Model akhir hubungan polusi udara terhadap kasus COVID-19 yang terdiri dari variabel PM₁₀, PM_{2.5}, suhu dan kelembapan hanya dapat menjelaskan variabel kasus COVID-19 sebesar 17,7%, sisanya dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diteliti.

SIMPULAN

Model prediksi hubungan polusi udara dengan kasus konfirmasi COVID-19 di Kota Tangerang Tahun 2020-2022 adalah: Kasus Konfirmasi = 4384,38 + 22,47PM₁₀ + 1,63PM_{2.5} - 120,39suhu - 13,33kelembapan. Pada analisis multivariat ini mempunyai koefisien determinasi (*R adjusted*) sebesar 17,7%, artinya variabel PM₁₀, PM_{2.5}, suhu, dan

kelembapan dapat menjelaskan variasi variabel kasus COVID-19 sebesar 17,7%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pinho-Gomes AC, Roaf E, Fuller G, Fowler D, Lewis A, ApSimon H, et al. Air Pollution and Climate Change. *Lancet Planet Heal* [Internet]. 2023;7(9):727–8. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00189-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00189-4)
2. World Health Organization. Urban Health Initiative a Model Process for Catalysing Change: Solid Waste Management , Air Pollution and Health [Internet]. WHO Fact Sheet. 2021. p. 1–4. Available from: <http://www.who.int/urbanhealthinitiative>
3. Dinas Lingkungan Hidup Kota Tangerang. Laporan Akhir Pemantauan Kualitas Udara dan Kebisingan Tahun Anggaran 2021. Kota Tangerang; 2021.
4. Kementerian Lingkungan Hidup dan kehutanan. Melalui ISPU, Masyarakat Dapat Mengetahui Kualitas Udara [Internet]. Siaran Pers Nomor: SP. 064/HUMAS/PP/HMS.3/3/2021. 2021. Available from: <http://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/5850/melalui-ispu-masyarakat-dapat-mengetahui-kualitas-udara>
5. Chaniago D, Zahara A, Ramadhani IS. Indeks Standar Pencemar Udara (Ispu) Sebagai Informasi Mutu Udara Ambien Di Indonesia [Internet]. 2020. Available from: <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>
6. Lestari P, Damayanti S, Arrohan MK. Emission Inventory of Pollutants (CO, SO₂, PM_{2.5}, and NO_x) in Jakarta Indonesia. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2020;489(1):1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/489/1/012014>.
7. Rani B, Singh U, Chuhan A, Sharma D, Maheshwari R. Photochemical Smog Pollution and Its Mitigation Measures. *J Adv Sci Res*. 2011;2(4):28–33.
8. Granieri D, Vita F, Inguaggiato S. Volcanogenic SO₂, a Natural Pollutant: Measurements, Modeling and Hazard Assessment at Vulcano Island (Aeolian Archipelago, Italy). *Environ Pollut* [Internet]. 2017;231:219–28. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.101>
9. Achmadi UF. Dasar-Dasar Penyakit Berbasis Lingkungan. 4th ed. Jakarta: Rajagrafindo Persada; 2011. 209 p.
10. Lu X, Zhang L, Chen Y, Zhou M, Zheng B, Li K, et al. Exploring 2016–2017 Surface Ozone Pollution Over China: Source Contributions and Meteorological Influences. *Atmos Chem Phys*. 2019;19(12):8339–61. <https://doi.org/10.5194/acp-19-8339-2019>.
11. Mukherjee A, Agrawal M. World Air Particulate Matter: Sources, Distribution And Health Effects. *Environ Chem Lett*. 2017;15(2):283–309. <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0611-9>.

12. Rendana M, Komariah LN. The Relationship between Air Pollutants and COVID-19 Cases and Its Implications for Air Quality in Jakarta, Indonesia. *J Nat Resour Environ Manag.* 2021;11(1):93–100. <https://doi.org/10.29244/jpsl.11.1.93-100>.
13. World Health Organization. COVID-19 Weekly Epidemiological Update [Internet]. COVID-19 Weekly Epidemiological Update. 2023. Available from: <https://www.who.int/publications/m/item/covid-19-weekly-epidemiological-update>
14. World Health Organization. COVID-19 Weekly Epidemiological Update. Vol. 25. 2022.
15. Dinas Kesehatan Provinsi Banten. Peta Sebaran Covid-19 Provinsi Banten [Internet]. 2023. Available from: <https://infocorona.bantenprov.go.id/>
16. Ratnani RD. Teknik Pengendalian Pencemaran Udara yang Diakibatkan oleh Partikel. *Momentum* [Internet]. 2017;4(2):27–32. Available from: <https://media.neliti.com/media/publications/114195-ID-none.pdf>
17. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. *Chest* [Internet]. 2019;155(2):417–26. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.041>
18. Arty IS. Pendidikan Lingkungan Hidup Tentang Bahaya Polutan Udara. *Cakrawala Pendidik.* 2005;24(3):385–404.
19. Achmadi UF. Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah. Depok: PT. RajaGrafindo Persada; 2014. 262 p.
20. Travaglio M, Yu Y, Popovic R, Selley L, Leal NS, Martins LM. Links Between Air Pollution And COVID-19 In England. *Environ Pollut* [Internet]. 2021;268:115859. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115859>
21. Comunian S, Dongo D, Milani C, Palestini P. Air Pollution and Covid-19: The Role of Particulate Matter in The Spread and Increase of Covid-19's Morbidity and Mortality. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(12):1–22. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124487>
22. Frontera A, Cianfanelli L, Vlachos K, Landoni G, Cremona G. Severe Air Pollution Links to Higher Mortality in COVID-19 Patients: The “Double-Hit” Hypothesis. *J Infect* [Internet]. 2020;81(2):255–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.05.031>
23. Xu L, Taylor JE, Kaiser J. Short-Term Air Pollution Exposure And COVID-19 Infection In The United States. *Environ Pollut.* 2022;292:118369. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118369>.
24. Yao Y, Pan J, Liu Z, Meng X, Wang W, Kan H, et al. Ambient Nitrogen Dioxide Pollution And Spreadability Of COVID-19 In Chinese Cities. *Ecotoxicol Environ Saf* [Internet]. 2021;208:111421. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111421>
25. Dinas Kesehatan Kota Tangerang. Data Grafik Covid 19 2020-2021 Kota Tangerang. Kota Tangerang; 2021.
26. Cahyani I, Putro EW, Ridwanuloh AM, Wibowo S, Hariyatun H, Syahputra G, et al. Genome Profiling of SARS-CoV-2 in Indonesia, ASEAN and the Neighbouring East Asian Countries: Features, Challenges and Achievements. *Viruses.* 2022;14(4):1–18. <https://doi.org/10.3390/v14040778>.
27. Dinas Kesehatan Kota Tangerang. Data Grafik COVID-19 Tahun 2022. Kota Tangerang; 2022.
28. Dhama K, Nainu F, Frediansyah A, Chakraborty S, Zhou H, Raibul I. Global Emerging Omicron Variant of SARS-CoV-2: Impacts, Challenges and Strategies. *J Infect Public Health.* 2023;4–14. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2022.11.024>.
29. Susilo A, Olivia C, Jasirwan M, Wafa S, Maria S, Rajabto W, et al. Review of Current Literatures Mutasi dan Varian Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Tinjauan Literatur Terkini. *J Penyakit Dalam Indones.* 2022;9(1):59–81. <https://doi.org/10.7454/jpdi.v9i1.648>.
30. Miller GT, Spoolman SE. *Living in the Environment.* 18th ed. Stamford, CT; 2015.
31. Wulandari A. Pencemaran Udara di Tangerang yang Kian Mengkhawatirkan [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 15]. Available from: <https://www.kompasiana.com/aisyahwlnr/60bb21bbd541df22052c03d2/pencemaran-udara-di-tangerang-yang-kian-mengkhawatirkan>
32. Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Menuju Udara Bersih Jakarta [Internet]. Environment Agency of DKI Jakarta, Vital Strategies. Jakarta; 2020. Available from: <https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/Menuju-Udara-Bersih-Jakarta.pdf>
33. Hastono SP. Analisis Data Pada Bidang Kesehatan. 1st ed. Depok: PT. RajaGrafindo Persada; 2020.
34. Gelman A, Hill J. *Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models.* New York: Cambridge University Press; 2007. 607 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511790942>.
35. Rothman KJ, Greenland S, Lash TL. *Modern Epidemiology.* 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2008. 733 p.
36. Benoit K. *Linear Regression Models with Logarithmic Transformations* [Internet]. 2011. Available from: <http://www.kenbenoit.net/courses/ME104/logmodels2.pdf>

37. Ogen Y. Assessing Nitrogen Dioxide (NO₂) Levels as a Contributing Factor to Coronavirus (COVID-19) Fatality. *Sci Total Environ* [Internet]. 2020;726–730:138605. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138605>
38. Dales R, Blanco-Vidal C, Romero-Meza R, Schoen S, Lukina A, Cakmak S. The Association between Air Pollution and COVID-19 Related Mortality in Santiago, Chile: A Daily Time Series Analysis. *Environ Res* [Internet]. 2021;198:111284. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111284>
39. Ranzani O, Alari A, Olmos S, Milà C, Rico A, Ballester J, et al. Long-Term Exposure to Air Pollution and Severe COVID-19 in Catalonia: A Population-Based Cohort Study. *Nat Commun*. 2023;14(1):2916–25. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38469-7>
40. Sheridan C, Klompmaker J, Cummins S, James P, Fecht D, Roscoe C. Associations of Air Pollution with COVID-19 Positivity, Hospitalisations, and Mortality: Observational Evidence from UK Biobank. *Environ Pollut* [Internet]. 2022;308(June):119686. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119686>
41. Hoang T, Tran TTA. Ambient Air Pollution, Meteorology, and COVID-19 Infection in Korea. *J Med Virol*. 2021;93(2):878–85. <https://doi.org/10.1002/jmv.26325>
42. Li H, Xu XL, Dai DW, Huang ZY, Ma Z, Guan YJ. Air pollution and Temperature are Associated with Increased COVID-19 Incidence: A Time Series Study. *Int J Infect Dis*. 2020;97:278–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.05.076>
43. Chattopadhyay A, Shaw S. Association Between Air Pollution and COVID-19 Pandemic: An Investigation in Mumbai, India. *GeoHealth*. 2021;5(7):1–16. <https://doi.org/10.1029/2021GH000383>
44. Chaitanya P, Upadhyay E, Kulkarni A, Raju PVS. Effect of Association of Temperature and Pollutant Levels on COVID-19 Spread Over Jaipur. *Vegetos* [Internet]. 2022;36(1):133–40. Available from: <https://doi.org/10.1007/s42535-022-00500-5>
45. Cao Y, Chen M, Dong D, Xie S, Liu M. Environmental Pollutants Damage Airway Epithelial Cell Cilia: Implications for The Prevention of Obstructive Lung Diseases. *Thorac Cancer*. 2020;11(3):505–10. <https://doi.org/10.1111/1759-7714.13323>
46. Christina Adebayo-Ojo T, Wichmann J, Olalekan Arowosegbe O, Probst-Hensch N, Schindler C, Künzli N. Short-Term Effects of PM₁₀, NO₂, SO₂ and O₃ on Cardio-Respiratory Mortality in Cape Town, South Africa, 2006–2015. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;20(2):8078–98. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138078>
47. Ogunjo S, Olaniyan O, Olusegun CF, Kayode F, Okoh D, Jenkins G. The Role of Meteorological Variables and Aerosols in the Transmission of COVID-19 During Harmattan Season. *GeoHealth*. 2022;6(2). <https://doi.org/10.1029/2021GH000521>
48. Hutter HP, Poteser M, Moshhammer H, Lemmerer K, Mayer M, Weitensfelder L, et al. Air pollution is Associated with COVID-19 Incidence and Mortality in Vienna, Austria. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(24):1–11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249275>
49. Prinz AL, Richter DJ. Long-Term Exposure To Fine Particulate Matter Air Pollution: An Ecological Study Of Its Effect On COVID-19 Cases And Fatality In Germany. *Environ Res*. 2022;204:111948–58. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111948>
50. Scapini V, Torres S, Rubilar-Torrealba R. Meteorological, PM_{2.5} and PM₁₀ factors on SARS-COV-2 transmission: The case of southern regions in Chile. *Environ Pollut* [Internet]. 2023;322:120961–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120961>
51. Anderson EL, Turnham P, Griffin JR, Clarke CC. Consideration of the Aerosol Transmission for COVID-19 and Public Health. *Risk Anal*. 2020;40(5):902–7. <https://doi.org/10.1111/risa.13500>
52. Alghamdi MA, Shamy M, Redal MA, Khoder M, Awad AH, Elserougy S. Microorganisms Associated Particulate Matter: A Preliminary Study. *Sci Total Environ* [Internet]. 2014;479–480(1):109–16. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.006>
53. Zhai Y, Li X, Wang T, Wang B, Li C, Zeng G. A Review on Airborne Microorganisms in Particulate Matters: Composition, Characteristics and Influence Factors. *Environ Int*. 2018;113:74–90. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.01.007>
54. Weaver AK, Head JR, Gould CF, Carlton EJ, Remais J V. Environmental Factors Influencing COVID-19 Incidence and Severity. *Annu Rev Public Health*. 2022;43:271–91. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-052120-101420>
55. Magazzino C, Mele M, Schneider N. The Relationship Between Air Pollution and COVID-19-Related Deaths: An Application to Three French cities. *Appl Energy* [Internet]. 2020;279:115835–54. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115835>
56. Hoskovec L, Martenies S, Burket TL, Magzamen S, Wilson A. Association Between Air Pollution and COVID-19 Disease Severity Via Bayesian Multinomial Logistic Regression with Partially Missing Outcomes. *Environmetrics*. 2022;33(7):1–18. <https://doi.org/10.1002/env.2751>
57. Rachmadina F, Ahmad RA, Ramadona AL. Hubungan Partikulat (PM_{2,5}) Terhadap Infeksi

- dan Kematian COVID-19 di Asia: Systematic Review dan Meta-Analysis. Universitas Gajah Mada; 2022.
58. Asif Z, Chen Z, Stranges S, Zhao X, Sadiq R, Olea-Popelka F, et al. Dynamics of SARS-CoV-2 Spreading Under The Influence of Environmental Factors and Strategies to Tackle the Pandemic: A Systematic Review. *Sustain Cities Soc* [Internet]. 2022;81(March 2022):103840–57. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103840>
 59. Yu Z, Ekström S, Bellander T, Ljungman P, Pershagen G, Eneroth K, et al. Ambient Air Pollution Exposure Linked to Long COVID Among Young Adults: a Nested Survey in a Population-Based Cohort in Sweden. *Lancet Reg Heal - Eur*. 2023;28:100608–18. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2023.100608>
 60. Haque SE, Rahman M. Association Between Temperature, Humidity, and COVID-19 Outbreaks in Bangladesh. *Environ Sci Policy* [Internet]. 2020;114:253–5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.012>
 61. Zhou B, Kojima S, Kawamoto A, Fukushima M. COVID-19 Pathogenesis, Prognostic Factors, and Treatment Strategy: Urgent Recommendations. *J Med Virol* [Internet]. 2021;93(5):2694–704. Available from: <https://doi.org/10.1002/jmv.26754>
 62. Iqbal MM, Abid I, Hussain S, Shahzad N. The Effects of Regional Climatic Condition on the Spread of COVID-19 at Global Scale. *Sci Total Environ*. 2020;739:140101–10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140101>
 63. Choi Y, Tuel A, Eltahir EAB. On the Environmental Determinants of COVID-19 Seasonality. *GeoHealth*. 2021;5(6):1–10. <https://doi.org/10.1029/2021GH000413>
 64. Muhaniroh M, Syech R. Analisis Pengaruh Suhu Udara, Curah Hujan, Kelembaban Udara Dan Kecepatan Angin Terhadap Arah Penyebaran Dan Akumulasi Particulate Matter (PM10): Studi Kasus Kota Pekanbaru. *Komun Fis Indones*. 2021;18(1):48–57. <https://doi.org/10.31258/jkfi.18.1.48-57>
 65. Wallace J, Kanaroglou P. The Effect of Temperature Inversions on Ground-Level Nitrogen Dioxide (NO₂) and Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) using Temperature Profiles from the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS). *Sci Total Environ* [Internet]. 2009;407(18):5085–95. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.050>
 66. Nuryanto, Gultom HM, Melinda S. Pengaruh Angin Permukaan dan Kelembaban Udara terhadap Suspended Particulate Matter (SPM) di Sorong Periode Januari –Juli 2019. *Bul GAW Bariri* [Internet]. 2021;2(2):71–8. Available from: <https://doi.org/10.31172/bgb.v2i2.51%0A>
 67. Sari I, Fatkhurrahman, Andriani. Pola Sebaran Polutan PM_{2,5} dan PM₁₀ Harian terhadap Faktor Suhu dan Kelembaban. 2019;82:95–100.
 68. Zahrani CI, Pramana S. Analisis Perkembangan Kasus COVID-19 Berkaitan dengan Kebijakan Pemerintah di Pulau Jawa. *Indones Heal Inf Manag J*. 2021;9(1):1–12. <https://doi.org/10.47007/inohim.v9i1.224>
 69. Ali AM, Tofiq AM, Rostam HM, Ali KM, Tawfeeq HM. Disease Severity and Efficacy of Homologous Vaccination among Patients Infected with SARS-CoV-2 Delta or Omicron VOCs, Compared to Unvaccinated Using Main Biomarkers. *J Med Virol*. 2022;94(12):5867–76. <https://doi.org/10.1002/jmv.28098>
 70. Lupu D, Tiganasu R. COVID-19 Vaccination and Governance In The Case of Low, Middle and High-Income Countries. *BMC Public Health* [Internet]. 2023;23(1):1073–95. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15975-3>
 71. Dinas Kesehatan Kota Tangerang. Cakupan Vaksinasi COVID-19 di Kota Tangerang per 31 Desember 2022. Kota Tangerang; 2022.
 72. Giwangkencana G, Pradian E, Indriasari, Handayani SD. Lunar New Year and Ied Fitri: The Circle of COVID-19. *IJID Reg* [Internet]. 2022;7(38):127–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijregi.2022.09.006>
 73. Beloconi A, Vounatsou P. Long-term Air Pollution Exposure and COVID-19 Case-severity: An Analysis of Individual-level Data from Switzerland. *Environ Res* [Internet]. 2023;216(P1):114481–91. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114481>
 74. Hunt SW, Winner DA, Wesson K, Kelly JT. Furthering a partnership: Air quality modeling and improving public health. *J Air Waste Manag Assoc*. 2021;71(6):682–8. <https://doi.org/10.1080/10962247.2021.1876180>



©2024. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.