

Analisis Dampak Meteorologi dan Volume Lalu Lintas Terkait Kadar CO dan Pm₁₀ Terhadap Kesehatan Masyarakat Sekitar Jalan Raya Menganti Surabaya

Muhammad Dani Dhaifullah, Yayok Suryo Purnomo*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Negeri Veteran Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: yayoksp.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 20 Oktober 2024

Disetujui: 31 Oktober 2024

Abstract

It is well documented that elevated concentrations of carbon monoxide (CO) and particulate matter (PM₁₀) can have a considerable impact on public health. The objective of this study is to analyse the impact of meteorological and traffic volume-related CO and PM₁₀ levels on public health on the Menganti-Surabaya Highway. The study was conducted at three sample points for four days, and the resulting data will be subjected to a correlation test, a multiple linear regression test, an exposure analysis, and a risk characterisation. The analysis of the data yielded the highest concentration values for CO and PM₁₀, which were 9720.6 µg/m³ and 144.7 µg/m³, respectively. In contrast, the lowest concentration values for CO and PM₁₀ were 5826 µg/m³ and 110.8 µg/m³, respectively. The concentration values of CO and PM₁₀ gases are below the national quality standards. Furthermore, humidity and volume of traffic have a direct proportional effect on CO and PM₁₀ concentrations, while air temperature and wind speed have an inverse effect on CO and PM₁₀ gas concentrations. Additionally, the results of the RQ<1 calculation indicate that exposure to CO and PM₁₀ concentrations does not yet pose a risk of causing carcinogenic health effects to people on the Menganti-Surabaya Highway.

Keywords: carbon monoxide, pm₁₀, impact analysis, meteorological factors, traffic volume

Abstrak

Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan PM₁₀ dalam jumlah berlebihan akan sangat berdampak bagi kesehatan masyarakat. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis dampak meteorologi dan volume dari lalu lintas terkait kadar CO dan PM₁₀ terhadap kesehatan masyarakat di Jalan Raya Menganti-Surabaya. Penelitian dilaksanakan di 3 titik sampel selama 4 hari dan hasil data akan dianalisis dengan uji korelasi, uji regresi liner berganda, analisis pemajanan, dan karakteristik resiko. Berdasarkan hasil data yang telah dianalisis yang di dapatkan bahwa hasil pengukuran nilai CO dan PM₁₀ yang paling tinggi secara berurutan sebesar 9720,6 µg/m³ dan 144,7 µg/m³, dan nilai konsentrasi CO dan PM₁₀ yang paling rendah secara berurutan adalah sebesar 5826 µg/m³ dan 110,8 µg/m³. Nilai konsentrasi gas CO dan PM₁₀ dibawah dari baku mutu nasional yang telah ditetapkan. Selain itu, kelembaban dan volume dari lalu lintas juga berpengaruh berbanding lurus terhadap konsentrasi CO dan PM₁₀, sedangkan suhu udara dan kecepatan angin berbanding terbalik pengaruhnya terhadap konsentrasi gas CO dan PM₁₀. Didapatkan juga bahwa hasil perhitungan RQ<1, dimana dapat disimpulkan bahwa paparan konsentrasi CO dan PM₁₀ belum beresiko menimbulkan efek kesehatan karsinogenik terhadap masyarakat di Jalan Raya Menganti-Surabaya.

Kata Kunci: karbon monoksida, pm₁₀, analisis dampak, faktor meteorologi, volume lalu lintas

1. Pendahuluan

Transportasi kendaraan bermotor terus meningkat setiap saat yang mengakibatkan emisi karbon monoksida (CO) dan polusi udara PM₁₀ dan berdampak pada tingkat kualitas udara. Hal ini berdampak buruk pada kualitas hidup penduduk perkotaan seperti penyakit jantung, gangguan pernapasan, dan penurunan fungsi paru-paru [1]. Perbedaan variasi jalan dan kondisi lalu lintas menjadi salah satu penyebab peningkatan emisi kendaraan bermotor yang tidak sama pada wilayah satu dan wilayah lainnya[2]. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi dispersi polutan, dimana salah satu dari faktor tersebut adalah faktor meteorologi[3]. Gas CO akibat peningkatan volume dari kendaraan bisa sebesar 80,22%-92% [4] . Hal ini diakibatkan oleh mesin kendaraan bermotor yang menghasilkan pembakaran tidak sempurna dimana konsentrasi gas CO merupakan pencemar udara yang sulit diketahui langsung dengan menggunakan Indera manusia dikarenakan sifatnya tidak berwarna; berbau; dan berasa sehingga pajanan dari gas CO sangat

besar. Salah satu dampak berbahaya dari gas CO dapat mengancam kesehatan manusia dikarenakan lebih mudah membentuk ikatan dengan Hb dibandingkan dengan O₂ sehingga O₂ tidak bekerja dengan maksimal dalam tubuh yang dapat berakibat pada tidak efektifnya organ-organ vital di dalam tubuh seperti jaringan syaraf, jantung, dan otak [5].

Selain gas CO, ada PM₁₀ yang juga dapat membahayakan kelangsungan hidup masyarakat di kota. PM₁₀ merupakan debu partikulat dengan diameter 10µm dengan efisiensi 50% oleh alat pengambil sampel PM₁₀ dan juga termasuk jenis polutan karena dapat memasuki saluran pernapasan manusia lebih dalam. PM₁₀ memiliki fraksi utama yang sebagian besar bersumber dari industri dengan sumber kontaminasi debu partikulat berasal dari luar ruangan yang pada umumnya berasal dari emisi/knalpot kendaraan bermotor.

2. Landasan Teori dan Metode Penelitian

Landasan Teori

Pada penelitian ini akan dicari pengaruh kelembaban, suhu, dan kecepatan angin (faktor meteorologi) dan volume dari kendaraan terhadap kenaikan konsentrasi gas CO dan PM₁₀ di Jalan Raya Menganti-Surabaya yang akan digunakan sebagai lokasi penelitian. Gas CO merupakan gas yang terjadi karena proses pembakaran tidak sempurna pada kendaraan bermotor, sedangkan PM₁₀ dapat dihasilkan dan berasal dari asap knalpot dari kendaraan bermotor dimana kedua hal tersebut dapat mempengaruhi kesehatan manusia apabila terkena paparannya.. Oleh karena itu, perlu adanya prediksi pengaruh seberapa besar kadar gas CO dan PM₁₀ yang ada di Jalan Raya Menganti-Surabaya dalam Upaya untuk memudahkan pengontrolan kualitas udara ambien pada tempat tersebut.

Baku Mutu Udara

Baku mutu udara ambien nasional telah ditentukan ketetapannya oleh pemerintah guna sebagai pelindung kesehatan juga memberikan rasa nyaman pada kehidupan masyarakat[6]. Baku mutu ini telah dibuat dengan tujuan mengetahui batas maksimal kualitas udara agar bisa meminimalisir adanya pencemaran yang terjadi di udara seperti dalam PPRI Nomor .22 Tahun 2021 pada **Tabel 1**:

Tabel 1. Baku Mutu di Udara Ambien

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu Nasional (µg/m ³)	Sistem Pengukuran
1.	Gas CO	Satu Jam	10.000	Aktif Terus-Menerus
2.	PM ₁₀	Satu Jam	150	Aktif Terus-Menerus

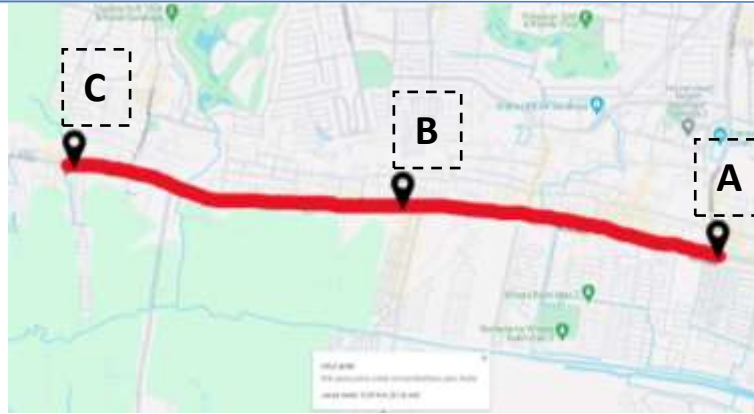
Sumber: [7]

Metode Pengambilan Sampel

1. Volume lalu lintas akan dicatat manual dengan aplikasi *counter meter* dimana dapat diinstal pada telepon genggam. Pencatatan akan dilakukan secara manual selama satu jam dan dicatat dalam aplikasi penghitung di setiap titik pengukuran.
2. Kecepatan angin akan diuji menggunakan alat *Anemometer* yang telah umum digunakan oleh penelitian lainnya maupun BMKG dalam mencari kecepatan angin selama satu jam di setiap titik pengukuran.
3. Kelembaban dan suhu udara akan diukur dengan bantuan alat bernama *hygrometer* dan dapat dibaca secara langsung selama satu jam di setiap titik pengukuran.
4. Gas CO akan diukur dengan menggunakan *Carbon monoxide Analyser Monitor* yang otomatis untuk mengetahui keberadaan gas CO dengan sensor penangkap yang kemudian menunjukkan nilai dalam satuan ppm pada lapisan dimana diletakkan ± 1,5 m sesuai ketinggian rata-rata untuk bernapas dari permukaan tanah selama 1 jam di setiap titik pengukuran.
5. PM₁₀ dapat diketahui konsentrasi polusi udara partikulat PM₁₀ dengan dilakukan menggunakan alat *Air Quality Detector*. PM₁₀ dapat dibaca secara langsung selama 1 jam di setiap titik pengukuran.

Waktu dan Tempat Penelitian

Sampel penelitian akan diambil selama empat hari (4 hari) dengan pembagian waktu dua (2) hari kerja dan dua (2) hari libur, yang terbagi menjadi hari Senin, Selasa, Sabtu, dan Minggu. Waktu pengambilan sampel dilaksanakan satu (1) jam pada tiap titik sampel yang telah ditentukan dengan variasi waktu pagi, siang, dan sore. Dasar penentuan waktu yaitu dari Permen LH no. 12 Tahun 2010 tentang pelaksanaan pengendalian pencemaran udara di daerah. Lokasi tersebut dipilih karena terpantau relative tinggi intensitas jumlah kendaraan. Penelitian ini menggunakan 3 titik sampling. Adapun gambar peta lokasi penelitian dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Metode Analisis Data

a. Analisis Konsentrasi Gas CO dan PM₁₀

Hasil pengukuran yang telah didapat akan diolah menggunakan metode analisis data kuantitatif dengan menggunakan tabel atau grafik yang nantinya akan dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah secara nasional.

b. Analisis Pengaruh Volume dari Kendaraan dan Faktor Meteorologi Terhadap Karbon Monoksida (CO) dan PM₁₀.

1) Uji Korelasi untuk mengetahui hubungan antar variabel dengan rumus di bawah ini:

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

2) Uji Regresi Linear Berganda

Uji regresi linear berganda bertujuan menjabarkan hubungan satu variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independent yang kemudian memprediksi pengaruh antara kedua variabel tersebut [8]. Penelitian ini menggunakan empat (4) variabel independen volume dari kendaraan, suhu, kecepatan angin, dan kelembaban akan digunakan untuk mempengaruhi variabel dependen yaitu konsentrasi gas CO, dimana persamaan regresi linier berganda secara umum dapat dijelaskan dalam persamaan berikut:

$$\hat{Y} = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \dots + \alpha_n X_n + e$$

3) Analisis Dampak Konsentrasi Karbon Monoksida

a. *Exposure Assessment* (Analisis Pemajanan)

Analisis Pemajanan akan dihitung menggunakan rumus:

$$I = \frac{C \times R \times tE \times fE \times Dt}{Wb \times tavg}$$

b. *Risk Characterization* (Karakteristik Resiko)

Karakteristik resiko dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$RQ = \frac{Ink}{RfD \text{ atau } RfC}$$

4) Analisis Dampak PM₁₀

a. *Exposure Assessment* (Analisis Pemajanan)

Analisis Pemajanan akan dihitung menggunakan rumus:

$$I = \frac{C \times R}{Wb}$$

b. *Risk Characterization* (Karakteristik Resiko)

Karakteristik resiko dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$RQ = \frac{Ink}{RfD \text{ atau } RfC}$$

3. Hasil dan Diskusi

Kondisi Lokasi Penelitian

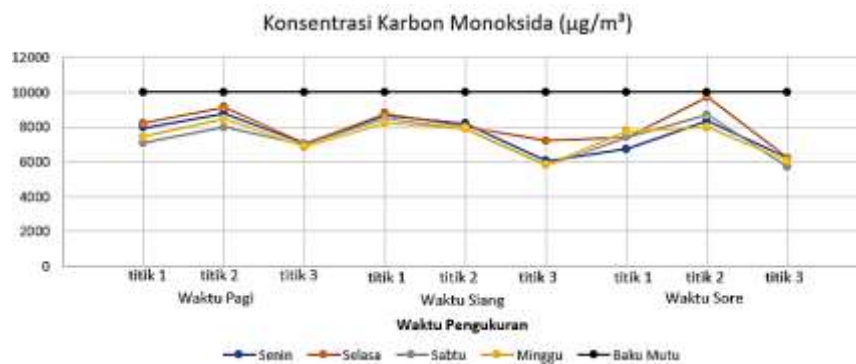
Penelitian dilakukan pada ruas Jalan Raya Menganti-Surabaya pada tanggal 10, 11, 12 dan 13 Agustus 2024 dimana menurut survei yang dilakukan oleh Pemkot Surabaya pada tahun 2024 menyatakan jalan ini termasuk salah satu dari 25 titik yang seringkali mengalami kemacetan di Kota Surabaya. Hasil penelitian adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Kondisi Eksisting di Jalan Raya menganti-Surabaya

No.	Titik Sampling	Dokumentasi	Kondisi Eksisting
1.	Titik Sampling 1 (Sebelah barat Planet Ban Menganti Lidah Wetan)		<ul style="list-style-type: none"> - Kondisi jalan bagus - Lebar jalan sekitar 6 meter dan memiliki 2 ruas - Ada beberapa bangunan seperti rumah warga, toko dan warung makan - Terdapat Lampu - Lalu lintas dan pertigaan
2.	Titik Sampling 2 (Depan Puskesmas Lidah Kulon)		<ul style="list-style-type: none"> - Kondisi jalan bagus - Lebar jalan sekitar 6 meter dan memiliki 2 ruas - Ada beberapa bangunan seperti rumah warga, toko dan warung makan - Terdapat pertigaan dan mengalami kemacetan
3.	Titik Sampling 3 (Depan Musholla Hidayaturrohman)		<ul style="list-style-type: none"> - Kondisi jalan bagus - Lebar jalan sekitar 6 meter dan memiliki 2 ruas - Ada beberapa bangunan seperti rumah warga, toko dan warung makan - Kondisi ramai lancar

Hasil Pengukuran Konsentrasi CO

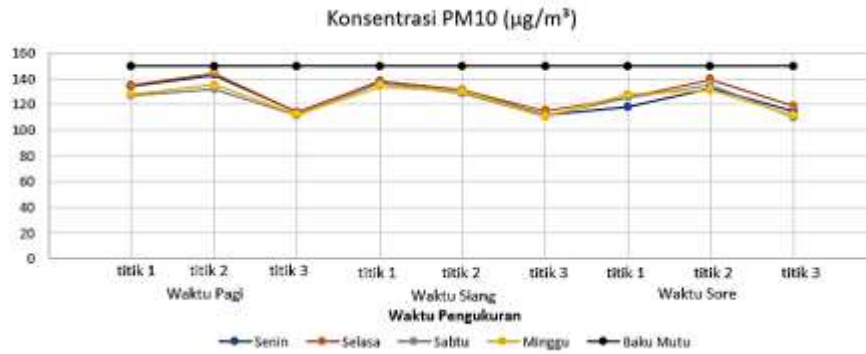
Dari data pengukuran didapatkan hasil seperti **Gambar 2**, dimana dapat disimpulkan kandungan konsentrasi gas CO di Jalan Raya Menganti-Surabaya masih tergolong baik karena tidak lebih dari ambang batas baku mutu yang ditetapkan.



Gambar 2. Hasil Pengukuran gas CO

Hasil Pengukuran Particular Matter berukuran 10 mikrometer (PM₁₀)

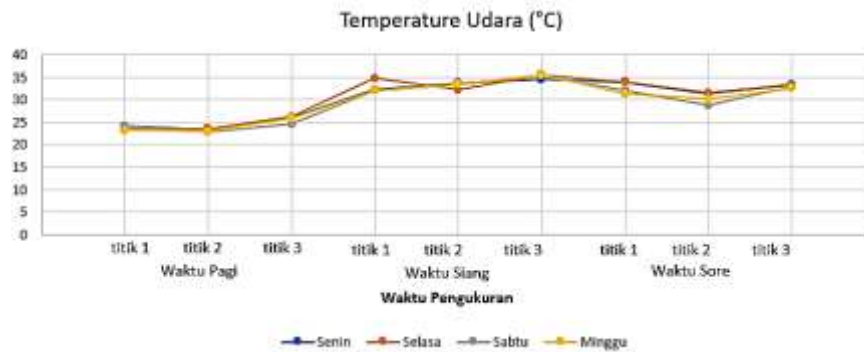
Dari data pengukuran didapatkan hasil seperti gambar 3, dimana dapat disimpulkan kandungan konsentrasi gas CO di Jalan Raya Menganti-Surabaya masih tergolong baik karena tidak lebih dari ambang batas baku mutu yang ditetapkan.



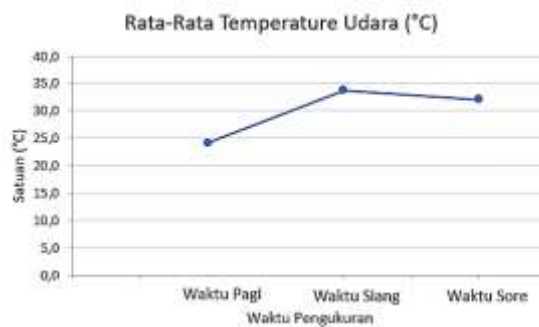
Gambar 3. Hasil Pengukuran PM₁₀

Hasil Pengukuran Faktor Meteorologi Suhu Udara Terhadap Waktu

Berdasarkan **Gambar 4** temperature udara pada Jalan Raya Menganti-Surabaya terendah pada penelitian terjadi pada titik 2 di hari sabtu pagi dengan suhu 22,8°C sedangkan suhu tertinggi pada penelitian terjadi pada titik 3 di hari selasa siang dengan angka 35,5°C.



Gambar 4. Hubungan antara Titik *Sampling* dan Waktu *Sampling* dengan Suhu Udara di Jalan Raya Menganti Surabaya

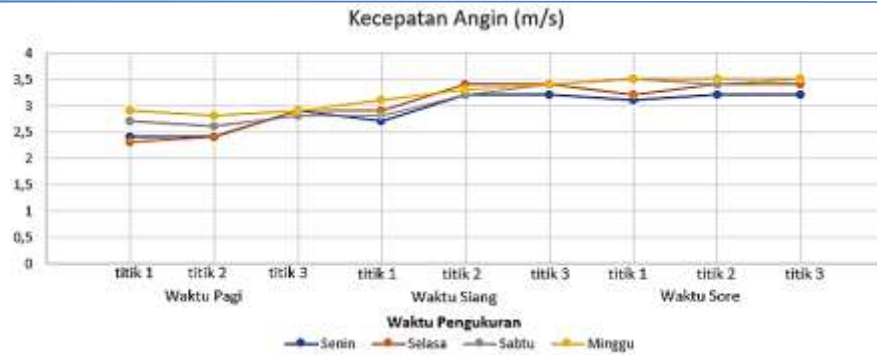


Gambar 5. Rata-Rata Suhu Udara Berdasarkan Waktu

Berdasarkan **Gambar 5**, suhu udara rata-rata tidak stabil (berfluktuasi). Dari hasil tersebut dapat ditunjukkan di permukaan bumi, suhu pagi hari lebih rendah disbanding suhu siang yang didukung oleh penelitian Lukitan dimana ia menyatakan bahwa fluktuasi suhu dapat terganggu jika *turbulence* udara sangat aktif. Contohnya kondisi kecepatan angin yang tinggi akibat fluktuasi suhu udara dan pertukaran energi yang prosesnya terjadi di atmosfer[9].

Hasil Pengukuran Faktor Meteorologi Kecepatan Angin Terhadap Waktu

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan di Jalan Raya Menganti-Surabaya menunjukkan hasil sampling seperti pada **Gambar 6**. Pada saat sampling kualitas udara ambien di Jalan Raya Menganti-Surabaya, kecepatan angin berkisar dari 2,3 m/s – 3,5 m/s.



Gambar 6. Hubungan antara Titik *Sampling* dan Waktu *Sampling* dengan Kecepatan Angin di Jalan Raya Menganti Surabaya

Berdasarkan **Gambar 6** kecepatan angin pada Jalan Raya Menganti-Surabaya terendah pada penelitian terjadi di titik 1 pada hari Selasa pagi dengan angka 2,3 m/s, sedangkan suhu udara paling tinggi pada penelitian terjadi pada di beberapa titik dengan angka 3,5 m/s yaitu pada Sabtu di sore hari pada titik 1 dan titik 2, serta di Minggu sore pada titik 1, 2, dan 3.

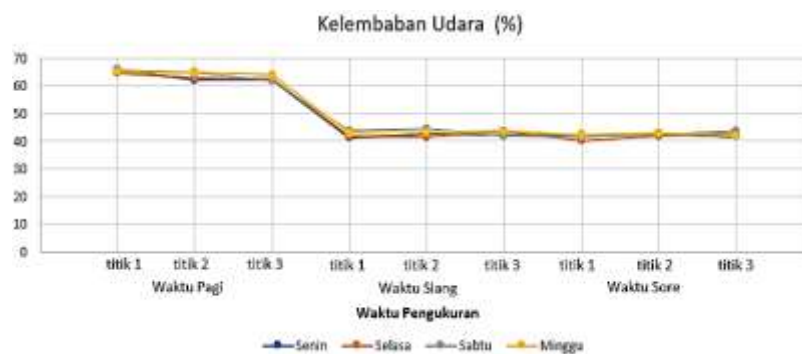


Gambar 7. Rata-Rata Kecepatan Udara Berdasarkan Waktu

Berdasarkan **Gambar 7** rata-rata kecepatan angin juga mengalami ketidakstabilan (fluktuatif). Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi permukaan bumi atau semakin tinggi lokasi pengambilan data, maka semakin kencang pula angin yang bertiup. Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya fluktuasi kecepatan angin antara lain adalah semakin tinggi lokasi dan pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Selain itu, lokasi penelitian tempat pengambilan sampel juga berpengaruh terhadap kecepatan angin karena tiap titik sampling memberikan gaya gesekan yang berbeda-beda.

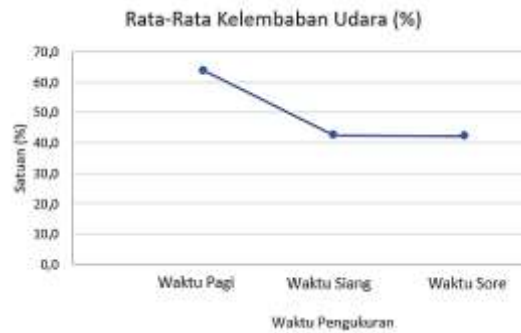
Hasil Pengukuran Faktor Meteorologi Kelembaban Udara Terhadap Waktu

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan di Jalan Raya Menganti-Surabaya menunjukkan hasil sampling seperti pada **Gambar 8**. Pada saat dilaksanakannya sampling kualitas udara ambien di Jalan Raya Menganti-Surabaya, kelembaban udara berkisar dari 40,1% - 65,8%.



Gambar 8. Hubungan antara Titik *Sampling* dan Waktu *Sampling* dengan Kelembaban Udara di Jalan Raya Menganti Surabaya

Berdasarkan **Gambar 8** kelembapan udara pada Jalan Raya Menganti-Surabaya terendah pada penelitian terjadi di titik 1 pada hari selasa sore dengan angka 40,1%, sedangkan suhu tertinggi pada penelitian terjadi di titik 1 pada hari senin pagi dan sabtu pagi dengan angka 65,8%.

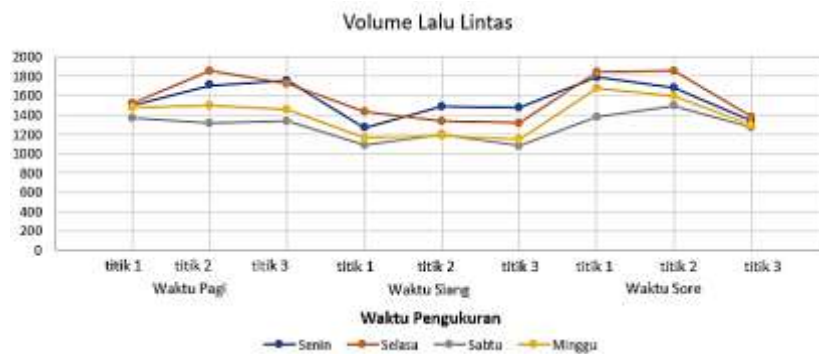


Gambar 9. Rata-Rata Kelembapan Udara Berdasarkan Waktu

Berdasarkan **Gambar 9**, diketahui bahwa rata-rata kelembapan udara juga mengalami ketidakstabilan (fluktuatif). Kondisi ini menunjukkan bahwa rendah atau tingginya kelembapan udara pada penelitian ini bergantung pada faktor-faktor yang pertama kelembapan udara akan semakin rendah jika suhu suatu tempat semakin tinggi, dan begitu juga sebaliknya dimana kelembapan udara akan semakin tinggi apabila suhu di suatu tempat semakin rendah.

Hasil Pengukuran Jumlah Volume dari Lalu Lintas

Berdasarkan Permen LH No. 12 Th. 2010 tentang Penyelenggaraan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah, pengambilan sampel akan dilakukan tiga kali sehari pada pagi, siang, dan sore hari dalam waktu satu jam.



Gambar 10. Hubungan Titik *Sampling* dan Waktu *Sampling* dengan Volume dari Lalu Lintas di Jalan Raya Menganti-Surabaya



Gambar 11. Rata-Rata Volume dari Lalu Lintas di Jl. Raya Menganti-Surabaya Berdasarkan Waktu Pengambilan

Berdasarkan **Gambar 11** dapat diketahui bahwa volume dari kendaraan atau lalu lintas terbesar di Jl. Raya Menganti-Surabaya yaitu pada Selasa pagi di titik 2 sebanyak 1853 kendaraan, dan terkecil terjadi pada Sabtu pagi di titik 2 sebanyak 1314 kendaraan. Selanjutnya, volume dari kendaraan atau lalu lintas

terbesar di Jl. Raya Menganti-Surabaya yaitu pada Senin sore di titik 2 sebanyak 1487 kendaraan, dan terkecil terjadi pada Sabtu sore di titik 3 sebanyak 1079 kendaraan. Dan yang terakhir volume dari kendaraan atau lalu lintas terbesar di Jl. Raya Menganti-Surabaya terjadi pada Selasa sore di titik 2 sebanyak 1853 kendaraan, dan terkecil terjadi pada Sabtu sore di titik 3 sebanyak 1273 kendaraan.

Hasil Uji Korelasi Faktor Meteorologi dan Volume Lalu Lintas Terhadap CO

Hasil analisis uji korelasi antara faktor meteorologi dan volume lalu-lintas terhadap CO dapat dilihat pada **Gambar 12** dibawah ini:

Pairwise Person Correlations					
Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for p	P-Value
Konsentrasi CO (ug/m3)	Jumlah Volume Lalu Lintas	36	0,340	(0,013; 0,601)	0,042
Konsentrasi CO (ug/m3)	Suhu Udara (°C)	36	-0,298	(-0,570; 0,034)	0,078
Konsentrasi CO (ug/m3)	Kelembaban Udara (%)	36	0,105	(-0,231; 0,419)	0,541
Konsentrasi CO (ug/m3)	Kecepatan Angin (m/s)	36	-0,365	(-0,619; -0,042)	0,028

Gambar 12. Hasil uji Korelasi faktor meteorologi dan volume lalu-lintas terhadap CO

Gambar 12 menunjukkan korelasi antara jumlah volume kendaraan atau lalu lintas dengan gas CO adalah sebesar 0,340 dengan tingkat hubungan positif sedang maka semakin tinggi volume lalu lintas, konsentrasi gas CO semakin tinggi. Korelasi antara jumlah suhu udara dengan gas CO adalah sebesar -0,298 dengan tingkat hubungan negatif lemah maka semakin tinggi suhu udara, konsentrasi gas CO cenderung menurun, namun hubungan tersebut dikatakan tidak cukup kuat untuk dapat dikatakan signifikan. Korelasi antara jumlah kelembaban udara dengan gas CO adalah sebesar 0,105 dengan tingkat hubungan positif lemah maka semakin tinggi kelembaban udara, konsentrasi gas CO akan semakin besar, namun karena hasil korelasinya rendah maka tidak terdapat hubungan yang signifikan antara kelembaban udara dengan konsentrasi gas CO. Korelasi antara kecepatan angin dengan gas CO adalah sebesar -0,365 dengan tingkat hubungan negatif lemah maka semakin tinggi kecepatan angin, konsentrasi gas CO akan semakin rendah, namun hubungannya tidak cukup kuat untuk dapat dikatakan signifikan.

Hasil Uji Korelasi Faktor Meteorologi dan Volume Lalu Lintas Terhadap CO

Hasil analisis uji korelasi antara faktor meteorologi dan volume lalu lintas terhadap PM₁₀ dapat dilihat pada gambar 13.

Pairwise Pearson Correlations					
Sample 1	Sample 2	N	Correlation	95% CI for p	P-Value
Konsentrasi PM ₁₀ (ug/m3)	Jumlah Volume Lalu Lintas	36	0,251	(-0,085; 0,535)	0,140
Konsentrasi PM ₁₀ (ug/m3)	Suhu Udara (°C)	36	-0,314	(-0,582; 0,016)	0,062
Konsentrasi PM ₁₀ (ug/m3)	Kelembaban Udara (%)	36	0,120	(-0,217; 0,431)	0,487
Konsentrasi PM ₁₀ (ug/m3)	Kecepatan Angin (m/s)	36	-0,442	(-0,673; -0,133)	0,007

Gambar 13. Hasil uji Korelasi Pearson faktor meteorologi dan volume lalu-lintas terhadap gas PM₁₀

Gambar 13 merupakan hasil uji korelasi Pearson terhadap volume lalu lintas, suhu, kelembaban, kecepatan angin yang menunjukkan bahwa hasil korelasi antara besarnya volume lalu lintas dengan PM₁₀ adalah sebesar 0,251 dengan tingkat hubungan positif yang lemah, sehingga walaupun dapat dikatakan bahwa terdapat kecenderungan bahwa peningkatan volume lalu lintas dapat berhubungan dengan peningkatan konsentrasi PM₁₀, namun hubungan tersebut tidak cukup signifikan untuk dikatakan kuat. Selanjutnya korelasi antara suhu udara dengan PM₁₀ adalah sebesar -0,314 dengan tingkat hubungan positif yang lemah sehingga terdapat kecenderungan bahwa meskipun peningkatan suhu udara dapat berhubungan dengan penurunan konsentrasi PM₁₀, namun hubungan tersebut tidak cukup signifikan untuk dikatakan kuat. Selanjutnya PM₁₀ dan kelembaban mempunyai nilai korelasi sebesar 0,120 dengan tingkat hubungan positif yang lemah sehingga terdapat kecenderungan bahwa meskipun peningkatan kelembaban udara dapat berhubungan dengan peningkatan konsentrasi PM₁₀, namun hubungan tersebut tidak cukup signifikan untuk dikatakan kuat. Selanjutnya, dari gambar tersebut, korelasi kecepatan angin terhadap PM₁₀ adalah -0,442 dengan tingkat hubungan negatif sedang. Data ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin cenderung berhubungan dengan penurunan konsentrasi PM₁₀ di udara sekitar.

Hasil Uji Regresi Linier Berganda Pengaruh Faktor Meteorologi dan Volume dari Lalu Terhadap CO

Pada **Gambar 14** menunjukkan model hubungan antara gas CO dengan volume lalu lintas dan faktor meteorologi di Jalan Raya Menganti-Surabaya dengan persamaan: Konsentrasi CO (ug/m³) = 30305 + 0,736 Jumlah Volume Lalu Lintas - 315,5 Suhu Udara (°C) - 172,81 Kelembaban Udara (%) - 1870 Kecepatan Angin (m/s).

Regression Equation

$$\text{Konsentrasi CO (ug/m}^3\text{)} = 30305 + 0,736 \text{ Jumlah Volume Lalu Lintas} - 315,5 \text{ Suhu Udara (}^\circ\text{C)} - 172,8 \text{ Kelembaban Udara (\%)} - 1870 \text{ Kecepatan Angin (m/s)}$$

Gambar 14 Model Hubungan Antara Gas CO dengan Volume Lalu Lintas dan Faktor Meteorologi di Jalan Raya Menganti-Surabaya

Gambar 14. Model hubungan antara gas CO dengan volume lalu-lintas dan faktor meteorologi di Jalan Raya Menganti - Surabaya

Dari persamaan didapatkan parameter konstanta (*intercept*) sebesar 30305 (ug/m³). Selanjutnya jumlah volume lalu lintas dengan parameter koefisien regresi sebesar 0,736 yang menandakan adanya hubungan positif atau berbanding lurus dan menunjukkan semakin tinggi jumlah volume dari kendaraan atau lalu lintas, konsentrasi gas CO juga naik, dimana volume lalu lintas tinggi dapat menyebabkan terjadinya kemacetan lalu lintas yang semakin meningkatkan emisi gas CO [10]. Berikutnya untuk nilai parameter koefisien regresi untuk suhu udara adalah - 315,5 menunjukkan hubungan negatif yang kuat antara suhu udara dan konsentrasi gas CO. Nilai koefisien -315,5 berarti bahwa setiap kenaikan suhu udara sebesar satu (1) satuan, variabel dependen juga akan menurun 315,5 satuan.

Dari hasil tersebut semakin tinggi atau naik suhu udara, semakin rendah gas CO dimana suhu udara tinggi dapat meningkatkan kecepatan reaksi pembakaran [11]. Nilai parameter koefisien regresi untuk kelembaban udara adalah sebesar -172,8 dan mempunyai hubungan negatif atau hubungan antar variabel berbanding terbalik. Nilai koefisien -172,8 berarti bahwa setiap kenaikan kelembaban udara sebesar satu (1) satuan, variabel dependen akan menurun 172,8 satuan [12]. Nilai parameter koefisien regresi untuk kecepatan angin adalah sebesar -1870 m/s dan mempunyai hubungan negatif yang berarti mempunyai hubungan pengaruh antar variabel berbanding terbalik. Nilai koefisien -1870 berarti bahwa setiap kenaikan kelembaban udara sebesar satu (1) satuan, variabel dependen menurun sebesar 1870 satuan [12].

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
731,980	53,09%	47,04%	38,57%

Gambar 15. R-Square Volume Lalu Lintas dan Faktor Meteorologi terhadap Konsentrasi gas CO di Jalan Raya Menganti-Surabaya

Berdasarkan **Gambar 15** dapat diketahui bahwa faktor meteorologi dan volume dari kendaraan atau lalu lintas dengan konsentrasi CO di Jl. Raya Menganti-Surabaya memiliki R² sebesar 53.09% dengan nilai *r* 0,729 menunjukkan adanya hubungan positif kuat antara faktor meteorologi dan volume dari kendaraan atau lalu lintas dengan konsentrasi gas CO di Jl. Raya Menganti-Surabaya. Nilai *r* mendekati 1 menunjukkan hubungan positif yang cukup kuat dari kedua variabel tersebut terhadap konsentrasi gas CO, artinya perubahan volume lalu lintas dan faktor meteorologi dapat secara signifikan mempengaruhi tingkat konsentrasi gas karbon monoksida di Jalan Raya Menganti-Surabaya.

Hasil Uji Regresi Linier Berganda Pengaruh PM₁₀

Pada **Gambar 16** menunjukkan model hubungan antara PM₁₀ dengan volume lalu lintas dan faktor meteorologi di Jalan Raya Menganti-Surabaya dengan persamaan: Konsentrasi PM₁₀ (ug/m³) = 405,5 + 0,00236 Jumlah Volume Lalu Lintas - 3,574 Suhu Udara (°C) - 2,017 Kelembaban Udara (%) - 24,67 Kecepatan Angin (m/s). Dari persamaan didapatkan parameter konstanta (*intercept*) sebesar 405,5 (ug/m³). Selanjutnya jumlah volume lalu lintas mempunyai parameter koefisien regresi sebesar ,00236 yang menandakan adanya hubungan positif atau berbanding lurus antar variabelnya.

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi PM}_{10} \text{ (ug/m}^3\text{)} &= 405,5 + 0,00236 \text{ Jumlah Volume Lalu Lintas} \\ &\quad - 3,574 \text{ Suhu Udara (}^\circ\text{C)} - 2,017 \text{ Kelembaban Udara (\%)} \\ &\quad - 24,67 \text{ Kecepatan Angin (m/s)} \end{aligned}$$

Gambar 16 Model Hubungan Antara PM₁₀ dengan Volume Lalu Lintas dan Faktor Meteorologi di Jalan Raya Menganti-Surabaya

Nilai parameter koefisien regresi sebesar 0,00236 untuk volume lalu lintas dalam analisis regresi menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit pada volume lalu lintas akan berkaitan dengan peningkatan konsentrasi PM₁₀ sebesar 0,00236 unit. Hal ini menunjukkan besarnya jumlah volume dari kendaraan lalu lintas akan mempengaruhi besarnya PM₁₀ di udara [13].

Berikutnya untuk nilai parameter koefisien regresi untuk suhu udara adalah - 3,574 menunjukkan hubungan negatif antara suhu udara dan konsentrasi PM₁₀. Nilai koefisien -3,574 berarti bahwa setiap kenaikan suhu udara sebesar 1 satuan, variabel dependen akan menurun 3,574 satuan. Dari hasil tersebut menandakan bahwa pada suhu yang lebih tinggi, maka konsentrasi PM₁₀ akan cenderung menurun yang bisa disebabkan oleh beberapa faktor luar yang mempengaruhi [14]. Nilai parameter koefisien regresi untuk kelembaban udara adalah sebesar -2,017 dan mempunyai hubungan negatif yang berarti mempunyai hubungan pengaruh antar variabel berbanding terbalik yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor [15].

Selain itu, kelembaban yang tinggi dapat membantu dalam proses pengenceran partikel sehingga dapat mengurangi konsentrasi PM₁₀ di udara [16]. Nilai koefisien -2,017 berarti bahwa setiap kenaikan kelembaban udara sebesar 1 satuan, variabel dependen akan menurun -2,017 satuan dimana kelembaban yang tinggi dapat membantu dalam proses pengenceran partikel di udara sehingga mengurangi konsentrasi PM₁₀[17]. Nilai parameter koefisien regresi untuk kecepatan angin adalah sebesar - 24,67 m/s dan mempunyai hubungan negatif yang berarti mempunyai hubungan pengaruh antar variabel berbanding terbalik [16]. Nilai koefisien -24,67 berarti bahwa setiap kenaikan kelembaban udara sebesar 1 satuan, variabel dependen akan menurun 24,67 satuan. Dari hasil tersebut menandakan semakin tinggi kecepatan angin, semakin rendah konsentrasi PM₁₀.

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
6,92113	62,27%	57,40%	50,91%

Gambar 17. R-Square Volume Lalu Lintas dan Faktor Meteorologi terhadap Konsentrasi PM₁₀ di Jalan Raya Menganti-Surabaya

Berdasarkan **Gambar 17**, diketahui pengaruh volume kendaraan atau lalu lintas dan faktor meteorologi terhadap konsentrasi CO di Jl. Raya Menganti-Surabaya memiliki R² sebesar 62,27% dengan nilai *r* 0,7887 menunjukkan adanya hubungan positif cukup kuat terhadap PM₁₀ dengan volume lalu lintas dan faktor meteorologi di Jalan Raya Menganti-Surabaya. Nilai *r* mendekati 1 menunjukkan hubungan positif yang cukup kuat antara kedua variabel tersebut terhadap konsentrasi PM₁₀, artinya perubahan volume lalu lintas dan faktor meteorologi dapat secara signifikan mempengaruhi tingkat konsentrasi PM₁₀ di Jalan Raya Menganti-Surabaya.

Analisis Risiko Karbon Monoksida

- a. Berdasarkan Waktu Terlama

$$\begin{aligned} I &= \frac{9,721 \frac{\text{mg}}{\text{m}} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 24 \text{ jam} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 15 \text{ tahun}}{94 \text{ kg} \times 30 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari}} \\ I &= 1,03 \frac{\text{mg. hari}}{\text{kg}} \\ RQ &= \frac{1,03 \frac{\text{mg. hari}}{\text{kg}}}{40 \frac{\text{mg. hari}}{\text{kg}}} \\ RQ &= 0,03 \end{aligned}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa pajanan *real time* terhadap waktu terlama menunjukkan nilai sebesar 0,03 yang mana dikarenakan nilai $RQ < 1$, maka tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik sehingga tidak perlu adanya tindakan khusus.

b. Berdasarkan Waktu Tercepat

$$I = \frac{9,721 \frac{mg}{m} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 4 jam \times 160 \frac{hari}{tahun} \times 15 tahun}{94 kg \times 30 tahun \times 160 hari}$$

$$I = 0,172 \frac{mg \cdot hari}{kg}$$

$$RQ = \frac{0,172 \frac{mg \cdot hari}{kg}}{40 \frac{mg \cdot hari}{kg}}$$

$$RQ = 0,004$$

Hasil ini menunjukkan bahwa pajanan *real time* terhadap waktu tercepat menunjukkan nilai sebesar 0,004 yang mana dikarenakan nilai $RQ < 1$, maka tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik sehingga tidak perlu adanya tindakan khusus.

c. Berdasarkan Waktu Rata-Rata

$$I = \frac{9,721 \frac{mg}{m} \times 0,83 \frac{m^3}{jam} \times 15,43 jam \times 335 \frac{hari}{tahun} \times 15 tahun}{94 kg \times 30 tahun \times 335 hari}$$

$$I = 0,662 \frac{mg \cdot hari}{kg}$$

$$RQ = \frac{1,03 \frac{mg \cdot hari}{kg}}{40 \frac{mg \cdot hari}{kg}}$$

$$RQ = 0,02$$

Hasil ini menunjukkan bahwa pajanan *real time* terhadap waktu rata-rata menunjukkan nilai sebesar 0,02 yang mana dikarenakan nilai $RQ < 1$, maka tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik sehingga tidak perlu adanya tindakan khusus.

Analisis Risiko PM_{10}

a. Berdasarkan Waktu Terlama

$$I = \frac{144,7 \frac{\mu g}{m^3} \times 20 \frac{m^3}{jam}}{94 kg}$$

$$I = 30,787 \frac{\mu g \cdot hari}{kg}$$

$$RQ = \frac{30,787 \frac{\mu g \cdot hari}{kg}}{75 \frac{mg \cdot hari}{kg}}$$

$$RQ = 0,41$$

Hasil ini menunjukkan bahwa pajanan *real time* terhadap waktu terlama menunjukkan nilai sebesar 0,41 yang mana dikarenakan nilai $RQ < 1$, maka tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik sehingga tidak perlu adanya tindakan khusus.

b. Berdasarkan Waktu Tercepat

$$I = \frac{109,9 \frac{\mu g}{m^3} \times 20 \frac{m^3}{jam}}{94 kg}$$

$$I = 23,383 \frac{\mu g \cdot hari}{kg}$$

$$RQ = \frac{26,809 \frac{\mu\text{g} \cdot \text{hari}}{\text{kg}}}{75 \frac{\text{mg} \cdot \text{hari}}{\text{kg}}}$$

$$RQ = 0,35$$

Hasil ini menunjukkan bahwa pajanan *real time* terhadap waktu tercepat menunjukkan nilai sebesar 0,35 yang mana dikarenakan nilai $RQ < 1$, maka tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik sehingga tidak perlu adanya tindakan khusus.

c. Berdasarkan Waktu Rata-Rata

$$I = \frac{126,0 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \times 20 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{94 \text{ kg}}$$

$$I = 26,809 \frac{\mu\text{g} \cdot \text{hari}}{\text{kg}}$$

$$RQ = \frac{23,383 \frac{\mu\text{g} \cdot \text{hari}}{\text{kg}}}{75 \frac{\text{mg} \cdot \text{hari}}{\text{kg}}}$$

$$RQ = 0,31$$

Hasil ini menunjukkan bahwa pajanan *real time* terhadap waktu rata-rata menunjukkan nilai sebesar 0,31 yang mana dikarenakan nilai $RQ < 1$, maka tidak berisiko terkena efek kesehatan non-karsinogenik sehingga tidak perlu adanya tindakan khusus.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan nilai konsentrasi gas CO dan PM₁₀ paling tinggi secara berurutan adalah sebesar 9720,6 μg/m³ dan 144,7 μg/m³, dan nilai konsentrasi gas CO dan PM₁₀ paling rendah secara berurutan sebesar 5826 μg/m³ dan 110,8 μg/m³. Nilai konsentrasi gas CO dan PM₁₀ secara keseluruhan dibawah dari baku mutu yang telah diatur oleh PP Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021.

Volume lalu lintas berbanding lurus pengaruhnya terhadap meningkatnya konsentrasi gas CO dan PM₁₀, semakin tinggi jumlah volume lalu lintas maka konsentrasi gas CO dan PM₁₀ semakin tinggi. Suhu udara berbanding terbalik pengaruhnya terhadap meningkatnya konsentrasi gas CO dan PM₁₀, semakin naik suhu maka konsentrasi gas CO dan PM₁₀ semakin kecil. Kelembaban udara berbanding lurus pengaruhnya terhadap meningkatnya konsentrasi gas CO dan PM₁₀, semakin tinggi kelembaban udara, konsentrasi gas CO dan PM₁₀ semakin tinggi. Kecepatan angin berbanding terbalik terhadap meningkatnya konsentrasi gas CO dan PM₁₀, makin besar kecepatan angin, konsentrasi gas CO dan PM₁₀ makin rendah.

Analisis resiko terhadap masyarakat di Jalan Raya Menganti terkait paparan konsentrasi Karbon Monoksida dan PM₁₀ memiliki hasil analisis perhitungan yaitu $RQ < 1$, maka dapat disimpulkan bahwa paparan konsentrasi Karbon Monoksida dan PM₁₀ belum berisiko menimbulkan efek kesehatan karsinogenik terhadap masyarakat di sekitar jalan Raya Menganti-Surabaya.

5. Referensi

- [1] Thoriq Maulana, M., Hilmi Habibullah, M., Sunandar, Sholihah, N., Ainul Rifqi L. P., M., & Fahrudin, F. (2015). Laporan Akhir Laporan Akhir. *Laporan Akhir*, 1(201310200311137), 78–79.
- [2] Aprianti, Dewi. 2011. “Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di Pintu Tol Terhadap Tingkat Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal di Udara Ambien (Studi Kasus: Pintu Tol Cililitan 2, Bulan Januari-Februari 2011)” (Skripsi). Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Depok.
- [3] Khair, H. (2016). Analisis Isophlet Konsentrasi Dan Estimasi Potensi Penurunan Karbon Monoksida Di Kota Medan. *Dampak*, 13(2), 51-59.
- [4] Sengkey, S. L. 2010. “Tingkat Pencemaran Udara CO dan Akibat Lalu Lintas Dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro”. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol. 1 No. 2. Universitas Sam Ratulangi: Manado.
- [5] Hazsya, M. (2018). Hubungan Konsentrasi Karbon Monoksida (Co) Dan Faktor Faktor Resiko Dengan Konsentrasi CoHb Dalam Darah Pada Masyarakat Berisiko Di Sepanjang Jalan Setiabudi Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6), 241–250.

- [6] Kurniawan, A. (2018). Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO₂, SO₂, O₃ DAN PM₁₀) Di Bukit Kototabang Berbasis ISPU. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 1–82. <https://doi.org/10.22146/teknosains.34658>
- [7] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22. (2021). Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- [8] Yuliara, I. M. (2016). Modul Regresi Linear Berganda. Universitas Udayana.
- [9] Lakitan, B. (2002). Dasar-Dasar Klimatologi. Cetakan Ke-2. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- [10] Sasmita, A., Reza, M., Elystia, S., & Syarah Adriana. (2022). Analisis Pengaruh Kecepatan Dan Volume Kendaraan Terhadap Emisi Dan Konsentrasi Karbon Monoksida Di Jalan Jenderal Sudirman, Kota Pekanbaru. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(4), 269–279. <https://doi.org/10.24002/jts.v16i4.5452>
- [11] Yulianti, S. (2014). Analisis Konsentrasi Gas Karbon Monoksida (Co) Pada Ruas Jalan Gajah Mada Pontianak. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v2i1.5554>
- [12] Sukmawati, P. D., & Dhevi Warisaura, A. (2023). Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi Gas Monoksida dan Particulate Matter di Jalan Gejayan, Yogyakarta. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 6561–6566. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.5749>
- [13] Utama, Y. W. (2021). Distribusi Temporal Konsentrasi PM₁₀ Menggunakan Alat Particle Plus EM-10000. *Ecolab*, 15(1), 45-52.
- [14] Amalia, A., & Marshita B, F. (2021). Pengaruh Faktor Meteorologis Terhadap Perubahan Konsentrasi PM₁₀ Periode Sebelum dan Saat PSBB di Kota Surabaya dan Sekitarnya. *Buletin GAW Bariri*, 2(1), 24–36. <https://doi.org/10.31172/bgb.v2i1.42>
- [15] Syech, R., Malik, U., & Fitriani, R. (2017). Analisis Pengaruh Partikulat Matter PM₁₀ Terhadap Suhu, Kelembapan Udara dan Kecepatan Angin di Daerah Kulim Kota Pekanbaru. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*, 14(2), 1032–1036.
- [16] Munir, M., Akbar, A. R. M., Badaruddin, B., & Wahdah, R. (2018). Hubungan Cuaca Dan Konsentrasi PM₁₀ (Studi Kasus Di Kota Banjarbaru). *EnviroScienteeae*, 14(1), 46. <https://doi.org/10.20527/es.v14i1.4894>
- [17] Gunawan, H., Ruslinda, Y., Bachtiar, V. S., & ... (2018). Model Hubungan Konsentrasi Particulate Matter 10 (PM₁₀) di Udara Ambien Dengan Karakteristik Lalu Lintas di Jaringan Jalan Primer Kota Padang. *Jurnal UMJ Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018*, 1–11.