

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

Analisis Karbon Monoksida (CO) Menggunakan Metode Gaussian Plume di Persimpangan Margorejo Ahmad Yani Surabaya

Muhammad Taffarel Faridzi Naufal^{1*)}, Ida Munfarida²⁾, Yusrianti³⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Surabaya 60237, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Surabaya 60237, Indonesia

³⁾ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Surabaya 60237, Indonesia

*Koresponden: mtaffarel3@gmail.com

Diterima: 1 Oktober 2022

Diperbaiki: 25 November 2022

Disetujui: 10 Desember 2022

A B S T R A C T

Carbon monoxide is a pollutant that can interfere with human life and the environment. One of the sources of carbon monoxide pollutants comes from motor vehicle emissions. Heavy traffic can result in poor air quality. The city of Surabaya is the largest metropolitan city after Jakarta. One of the heavy traffic in the city of Surabaya is the Margorejo Ahmad Yani intersection, this intersection is the link between Surabaya and Sidoarjo. The purpose of this study is to determine the results of carbon monoxide in the field, predict the Gaussian Plume model, and calculate the results of field data validation and model data. Determination of the location of the sampling point is based on SNI 19-7119.6.9, 2005 section 6, so that a total of 6 sampling points can represent the intersection. The average yield of carbon monoxide in the field on Saturday, Sunday, and Monday in a row is 14,336 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13,615 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 16,881 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The distribution distance of the Gaussian model simulation on Saturday Morning; Afternoon; The afternoon in a row is 54 m; 64; 76 m, Sunday Morning; Afternoon; The afternoon in a row is 34 m; 53 m; 54 m, Monday Morning; Afternoon; The afternoon in a row is 62 m; 65 meters; 62 m. The results of field data validation and model data with the MAPE formula are 15.17%.

Keyword: motor vehicles, carbon monoxide, gaussian

A B S T R A K

Karbon monoksida merupakan polutan yang dapat mengganggu kehidupan manusia dan lingkungan. Salah satu sumber pencemar karbon monoksida berasal dari emisi kendaraan bermotor. Lalu lintas yang padat dapat mengakibatkan kualitas udara yang buruk. Kota Surabaya merupakan kota metropolitan terbesar setelah Jakarta. Salah satu lalu lintas yang padat di Kota Surabaya adalah simpang Margorejo Ahmad Yani, simpang ini merupakan penghubung antara Surabaya dengan Sidoarjo. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil karbon monoksida di lapangan, memprediksi model Gaussian Plume, dan menghitung hasil validasi data lapangan dan data model. Penentuan lokasi titik pengambilan sampel didasarkan pada SNI 19-7119.6.9 tahun 2005 pasal 6, sehingga sebanyak 6 titik pengambilan sampel mewakili titik potong tersebut. Hasil rata-rata karbon monoksida di lapangan pada hari Sabtu, Minggu, dan Senin berturut-turut adalah 14.336 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13.615 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 16.881 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jarak distribusi simulasi model Gaussian pada Sabtu Pagi; Sore; Sore berturut-turut adalah 54 m; 64; 76 m, Minggu Pagi; Sore; Sore berturut-turut adalah 34 m; 53 m; 54 m, Senin Pagi; Sore; Sore berturut-turut adalah 62 m; 65 meter; 62 m. Hasil validasi data lapangan dan data model dengan rumus MAPE sebesar 15,17%.

Kata Kunci: kendaraan bermotor, karbon monoksida, gaussian

1. PENDAHULUAN

Udara merupakan salah satu unsur yang penting bagi kehidupan makhluk hidup, tetapi seiring berkembangnya zaman, kegiatan fisik kota dan

industri mengalami kemajuan. Pertumbuhan jumlah penduduk berbanding lurus dengan kebutuhan transportasi, hal tersebut dapat mengakibatkan dampak buruk bagi lingkungan yaitu pencemaran

udara (Gusnita, 2012). Pencemaran udara disebabkan oleh gas pembuang hasil pembakaran yang tidak sempurna pada kendaraan bermotor (Proborini, 2019).

Transportasi adalah bagian penting atau sarana yang dibutuhkan untuk mendukung berkembangnya kemajuan di kota-kota besar dunia dalam beraktifitas sehari-hari. Namun, di sisi lain memberikan dampak negatif yang cukup parah. Semakin tinggi jumlah kendaraan bermotor, maka emisi yang dihasilkan juga semakin tinggi sehingga dapat menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia, peningkatan kendaraan bermotor sering terjadi pada negara berkembang seperti Indonesia (Rumselly, 2016).

Polusi udara di luar ruangan akan meningkat akibat peningkatan emisi gas buang kendaraan bermotor, pembangkit listrik dan aktivitas manusia. daerah yang tidak memiliki perawatan atau pengendalian udara akan berdampak pada kesehatan makhluk hidup khususnya manusia. Situasi pencemaran udara ini tentunya memengaruhi kesehatan manusia dan ekosistemnya (Rumselly, 2016). Berdasarkan penelitian (Ismiyati dkk., 2014) menjelaskan bahwa kendaraan bermotor menyumbang sekitar 85% pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi gas buang dari kendaraan bermotor.

Sektor transportasi juga menunjukkan grafik peningkatan pada setiap tahunnya. Fakta tersebut tentunya memberikan dua dampak pada kehidupan, dampak positif yaitu meningkatkan perekonomian. Sedangkan, dampak negatif meningkatkan jumlah polusi udara yang disebabkan gas buang kendaraan. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik, 2021 menjelaskan bahwa terdapat 105.303.318 unit kendaraan bermotor di Indonesia pada tahun 2015. Kemudian pada tahun 2020 terdapat peningkatan hingga mencapai angka 136.137.451 unit kendaraan bermotor di Indonesia. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor tersebut tidak seimbang dengan kapasitas peningkatan jalan yang baik sehingga menyebabkan kemacetan terutama di kota-kota besar Indonesia (Masito, 2018).

Ketidakeimbangan antara pertumbuhan kendaraan dengan kapasitas jalan tersebut menyebabkan kemacetan rawan terjadi, terutama di kota-kota besar Indonesia, seperti jalan utama atau jalan provinsi. Kemacetan yang terjadi akan mengakibatkan pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor. Hal itu disebabkan adanya proses

pembakaran bahan bakar yang berasal dari campuran berbagai gas dan aerosol kemudian menghasilkan berbagai pencemaran. Hasil polutan dari emisi kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (SO₂), karbon dioksida (CO₂), timbal (Pb). Dari berbagai polutan tersebut, karbon monoksida (CO) merupakan polutan penyumbang terbesar terjadinya pencemaran udara (Sengkey dkk., 2011).

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang terdapat diudara ambien, yang disebabkan adanya proses pembakaran tidak sempurna. Karbon monoksida (CO) memiliki sifat tidak memiliki bau, tidak dapat dirasakan, dan tidak memiliki warna, sehingga lingkungan yang tercemar gas ini akan sulit diketahui. Karbon monoksida (CO) juga merupakan salah satu gas yang bersifat beracun bagi darah sehingga mudah menyerang sistem pernafasan dan saraf manusia (Maleiva dkk., 2015). Menurut (Sengkey dkk., 2011) Senyawa karbon monoksida mengikat Hemoglobin (Hb) yang memiliki fungsi menyalurkan oksigen ke seluruh tubuh, kondisi tersebut menyebabkan fungsi Hb terganggu. Sedangkan (Maleiva dkk., 2015) menjelaskan bahwa kemampuan mengikat pada hemoglobin terhadap CO sekitar 200 kali lebih besar dibandingkan daya ikat hemoglobin kepada oksigen. Kondisi tersebut yang menyebabkan CO dapat menyebabkan kematian.

Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang memiliki tingkat kepadatan penduduk yang tinggi. Sebagai kota metropolitan kedua setelah Jakarta, Kota Surabaya memiliki letak geografis di antara 07°9"-07°21" Lintang Selatan dan 112°36"-112°54" Bujur Timur. Kota Surabaya terletak di Provinsi Jawa Timur, kota ini menunjang kota-kota lain seperti Sidoarjo dan Gresik. Topografi yang dimiliki Kota Surabaya tergolong dataran rendah karena memiliki ketinggian 3-6 meter di atas permukaan laut. Kota Surabaya mengalami perkembangan yang cukup besar, dapat dilihat pada sektor industri, ekonomi, jasa, pendidikan maupun transportasi (Dispendukcapil Surabaya, 2021). Menurut Badan Pusat Statistik Surabaya, pada tahun 2020, Kota Surabaya menjadi salah satu kota yang memiliki jumlah penduduk terbesar di Indonesia dengan jumlah penduduk sekitar 2,9 juta jiwa. Kepadatan penduduk berbanding lurus dengan penggunaan transportasi sehingga Kota Surabaya memiliki tingkat kemacetan yang tinggi, salah satu lalu lintas Surabaya yang sering terjadi kemacetan

adalah di Persimpangan Margorejo Ahmad Yani, persimpangan ini mempertemukan Jalan Margorejo dan Jalan Ahmad Yani yang merupakan salah satu akses keluar masuk kendaraan antara Surabaya dan Sidoarjo. Jalan Ahmad Yani juga termasuk Jalan Nasional, sehingga sering terjadi kemacetan terutama pada jam pulang kerja (Dinas Perhubungan Kota Surabaya, 2020).

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pola sebaran konsentrasi karbon monoksida (CO) di Persimpangan Margorejo Ahmad Yani Surabaya. Penelitian ini menggunakan solusi numerik yaitu persamaan model Gaussian dengan bantuan software MATLAB. Model Gaussian adalah salah satu model matematika yang biasa diperuntukan dalam mengetahui pola dispersi polutan di udara, persamaan model tersebut juga dapat mengetahui hasil konsentrasi polutan pada lokasi yang diteliti (Assomadi dkk., 2016). Pola sebaran karbon monoksida (CO) dapat diasumsikan terjadi di udara, di mana polutan tersebut terbentuk dari emisi gas buang kendaraan bermotor yang melintas, sehingga pola sebaran karbon monoksida (CO) dapat diketahui dari hasil model Gaussian dengan bantuan software MATLAB. Hasil simulasi model tersebut akan divalidasi dengan data lapangan, sehingga dapat diketahui tingkat akurat model tersebut.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan, penulis mengambil kesimpulan diperlukan adanya analisis persebaran karbon monoksida (CO) yang tercipta dari arus lalu lintas di Persimpangan Margorejo Ahmad

Yani Surabaya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meminimalisir permasalahan dan menemukan solusi terkait permasalahan tersebut.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi, Titik, dan Waktu Penelitian

Lokasi untuk melakukan penelitian ini berada di Persimpangan Margorejo Ahmad Yani Surabaya dengan titik koordinat $7^{\circ}18'58.8''S$ $112^{\circ}44'03.0''E$. Persimpangan ini terletak di Jalan Ahmad Yani dan Jalan Margorejo. Berdasarkan data SIPANJA, Jalan Ahmad Yani merupakan Jalan Nasional karena menjadi penghubung jalan antara Surabaya dan Sidoarjo, sehingga kepadatan lalu lintas sering terjadi pada persimpangan ini terutama pada jam sibuk. Setelah dilakukan survei pendahuluan, maka waktu penelitian pengambilan sampel dilakukan selama 3 hari dengan keadaan lalu lintas yang mewakili hari libur dan hari kerja yaitu hari Sabtu, 21 Mei 2022; Minggu, 22 Mei 2022; dan Senin 23 Mei 2022.

Penentuan titik pengambilan sampel dilakukan berdasarkan SNI 19-7119-2005 bagian 9 tentang "Penentuan Lokasi Pengambilan Contoh Uji Pemantauan Kualitas Udara Roadside". Sesuai dengan peraturan tersebut, maka terdapat 6 titik pengambilan sampel (Gambar 1), pemilihan titik pengambilan sampel mewakili daerah persimpangan sehingga dapat menggambarkan kondisi kualitas udara pada Persimpangan Margorejo Ahmad Yani.



Gambar 1. Peta Lokasi Titik Sampling

2.2. Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian diawali dengan studi literatur, survei pendahuluan, pengambilan sampel lapangan, analisis data lapangan, dan validasi hasil. Berikut merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan:

1. Tahap Survei Pendahuluan
 Survei pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting lokasi penelitian, waktu penelitian, metode, biaya, dan jumlah surveyor.
2. Tahap Pengumpulan Data
 Pengumpulan data meliputi:
 - a. Karbon Monoksida (CO)
 Karbon monoksida (CO) diperoleh dengan memanfaatkan alat yang disebut CO Analyzer, dalam menggunakan alat ini terdapat prinsip kerja sistem sensor. Di mana alat tersebut sangat peka terhadap jumlah karbon monoksida, sehingga dapat mendeteksi keberadaan dan menunjukkan nilai karbon monoksida dengan satuan ppm secara otomatis.
 - b. Kecepatan Angin
 Kecepatan angin diukur menggunakan alat Anemometer. Alat ini memiliki prinsip kerja dengan memanfaatkan perputaran atau rotasi yang terjadi ketika angin menggerakkan kipas pada alat. Hasil dari kecepatan angin ini akan ditunjukkan dengan nilai kecepatan angin pada layar dengan satuan m/s.
 - c. Intensitas Sinar Matahari
 Intensitas sinar matahari digunakan untuk menentukan stabilitas atmosfer pada penelitian ini. Alat yang digunakan berupa aplikasi handphone yang kegunaannya sama dengan alat Luxmeter.
 - d. Volume Kendaraan Bermotor
 Volume kendaraan bermotor dihitung dengan metode manual yaitu dengan bantuan aplikasi handphone yang bernama Counter, alat ini mampu menghitung berbagai jenis kendaraan seperti sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV), dan kendaraan berat (HV).
 - e. Kecepatan Rata-rata
 Kecepatan rata-rata dihitung dengan 2 metode manual yaitu dengan cara menentukan jarak pantau ±50 m, lalu surveyor akan memantau waktu pergerakan kendaraan dari titik awal ke titik akhir. Metode 2 yaitu dengan bantuan aplikasi handphone yang bernama Speedgun, prinsip kerja aplikasi ini mirip dengan alat Speedgun yaitu dengan mengarahkan kamera

handphone ke kendaraan dan otomatis kecepatan kendaraan akan muncul pada layar handphone dengan satuan km/h.

3. Tahap Analisis Data

Analisis data meliputi:

a. Karbon Monoksida (CO)

Data sampel karbon monoksida yang dikonversi dari satuan ppm ke satuan µg/m³ menggunakan rumus berikut (Kamal, 2015).

$$C \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = C \text{ ppm} \times 1000 \times \frac{(P \times M)}{(R \times T)} \quad (1)$$

Keterangan:

P = tekanan udara (1 atm)

M = berat senyawa CO

R = konstanta gas universal (0,0821)

T = Temperatur (298° K)

b. Stabilitas Atmosfer

Stabilitas atmosfer dapat diketahui dari data kecepatan angin dan seberapa besar intensitas sinar matahari, selanjutnya data tersebut dapat dicocokkan dengan Tabel 1 kelas stabilitas atmosfer Pasquill Gifford berikut.

Tabel 1. Stabilitas Atmosfer Pasquill Gifford

Kec. Angin (m/s)	Sinar Matahari		
	Kuat	Sedang	Lemah
<2	A	A-B	B
2-3	A-B	B	C
3-5	B	B-C	C
5-6	C	C-D	D
>6	C	D	D

Sumber: Noel, 1995

Setelah kelas stabilitas atmosfer diketahui, selanjutnya melakukan perhitungan koefisien dispersi menggunakan persamaan McCullen area urban berikut (Hasibuan dkk., 2015).

$$\sigma = Ix(I + Jx)^K \quad (2)$$

Keterangan:

σ = koefisien dispersi (m)

x = jarak searah dengan angin (m)

Konstanta I, J, dan K dapat dilihat pada Tabel 2

c. Laju Emisi (q)

Data yang digunakan untuk menghitung laju emisi adalah kecepatan rata-rata kendaraan bermotor. Laju emisi dihitung menggunakan rumus berikut (Sengkey dkk., 2011).

Tabel 2. Konstanta Persamaan McCullen Urban

Kelas Stabilitas Atmosfer	Nilai σ_y			Nilai σ_z		
	I	J	K	I	J	K
A-B	320	0,4	-0,5	240	1	0,5
C	220	0,4	-0,5	200	0	0
D	160	0,4	-0,5	150	0,3	-0,5
E-F	110	0,4	-0,5	80	1,5	-0,5

Sumber: Hasibuan dkk., 2015

$$qCO = 867,92 V^{-0,8648} \quad (3)$$

Keterangan:

V = kecepatan rata-rata (km/h)

d. Kendaraan per detik

Perhitungan dilakukan dengan rumus berikut.

$$Kend/detik = \frac{\text{jumlah kendaraan}}{3600} \quad (4)$$

e. Satuan Mobil Penumpang

Volume kendaraan dapat dinormalisasikan dengan menggunakan faktor pengali pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Faktor Pengali Satuan Mobil Penumpang

Jenis Kendaraan	Faktor Pengali Emisi CO			
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil
MC	0,6	0,6	0,6	0,6
LV	1	0,76	0,8	0,76
HV	1,97	1,93	1,95	1,93

Sumber: IGW Samsi., dkk

Nilai satuan mobil penumpang dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$SMP = (Kend/Detik) \times \text{FaktorPengali CO} \quad (5)$$

f. Kekuatann Emisi (Q)

Perhitungan kekuatan emisi menggunakan rumus berikut (Sengkey dkk., 2011).

$$Q = n \times q \quad (6)$$

Keterangan:

n = hasil pengali emisi CO (smp)

q = laju emisi (gr/km)

g. Simulasi Model *Gaussian*

Pemodelan karbon monoksida dapat diinput dalam software MATLAB menggunakan rumus berikut (Holzbecher, 2006).

$$C = \frac{Q}{4\pi x \sqrt{\sigma_y \sigma_z}} \exp\left(-\frac{vy^2}{4x\sigma_y}\right) \left[\exp\left(-\frac{v(z-H)^2}{4x\sigma_z}\right) + \exp\left(-\frac{v(z+H)^2}{4x\sigma_z}\right) \right] \exp\left(\frac{\lambda}{v} x\right)$$

$$C = \frac{Q}{\pi \mu \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{H^2}{\sigma_z^2} \right)\right) \quad (7)$$

Keterangan:

C=Konsentrasi polutan pada titik x,y,z (g/m3)

Q= Laju emisi polutan (g/s)

μ = Kecepatan angin (m/s)

σ_y = Tetapan dispersi secara horisontal terhadap sumbu y (m)

σ_z = Tetapan dispersi secara horisontal terhadap sumbu z (m)

H= Tinggi pencemar (m)

y = Jarak sebaran (m)

exp= eksponensial

h. Uji Validasi

Uji validasi dilakukan dengan membandingkan data model dan data lapangan. Validasi model dilakukan dengan uji Mean absolute Percentage Error (MAPE) yang dapat dilakukan dengan rumus berikut (Wardhani dkk., 2022).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100\% \quad (8)$$

(8)

Keterangan:

n = Jumlah data

Ai = Data asli

Fi = Data model

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran dan perhitungan merupakan data nilai rata-rata pada setiap pengukuran dan perhitungan. Data rata-rata mewakili data 3 hari pada interval waktu pagi, siang, dan sore.

3.1. Hasil Pengukuran Karbon Monoksida

Proses mengukur karbon monoksida dilakukan di 6 titik, dengan hari dan interval waktu yang sama. Hasil pengukuran yang telah dikonversi ke satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Rata-rata Pengukuran CO

Waktu	Karbon Monoksida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Hari		
	Sabtu	Minggu	Senin
Pagi	14.331	13.281	16.319
Siang	12.390	11.802	15.905
Sore	16.287	15.762	18.419

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai CO tertinggi terjadi pada hari Senin sore sebesar 18.419 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, menurut (Sasmita dkk., 2021) konsentrasi CO tinggi dipengaruhi oleh jumlah kendaraan yang banyak dan jam sibuk pulang kerja. Nilai CO dengan nilai terendah terjadi pada hari Minggu di siang hari, dengan jumlah 11.802 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2. Hasil Pengukuran Kecepatan Angin

Proses mengukur kecepatan angin dilakukan di 6 titik dengan hari dan interval waktu yang sama. Hasil rata-rata pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rata-rata Pengukuran Kecepatan Angin

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)		
	Hari		
	Sabtu	Minggu	Senin
Pagi	2,5	2,2	2,3
Siang	3,5	3,2	3,2
Sore	3,1	2,6	2,7

Tabel 5 menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin dengan jumlah tertinggi terjadi pada hari Sabtu siang dengan nilai 3,5 m/s. Sedangkan, rata-rata kecepatan angin terendah terjadi pada hari Minggu pagi dengan nilai 2,2 m/s. Berdasarkan penelitian (Tobing & Istirokhatun, 2013) menyatakan bahwa kecepatan angin merupakan salah satu faktor penting dalam proses dispersi polutan di udara, kecepatan angin berbanding terbalik dengan karbon monoksida, semakin besar kecepatan angin maka karbon monoksida akan semakin kecil, hal tersebut karena kecepatan angin yang besar dapat mempengaruhi proses dispersi karbon monoksida.

3.3. Hasil Pengukuran Sinar Matahari

Pengukuran intensitas sinar matahari dilakukan pada 6 titik di hari dan interval waktu yang sama. dan Senin dengan interval waktu pagi, siang, dan sore. Hasil rata-rata pengukuran dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

Tabel 6. Rata-rata Pengukuran Sinar Matahari

Waktu	Sinar Matahari (Lux)		
	Hari		
	Sabtu	Minggu	Senin
Pagi	11.687 (Sedang)	11.498 (Sedang)	10.890 (Sedang)
Siang	18.416 (Kuat)	18.191 (Kuat)	17.113 (Kuat)
Sore	9.773 (Sedang)	9.581 (Sedang)	8.750 (Sedang)

Tabel 6 menunjukkan bahwa rata-rata intensitas sinar matahari tertinggi terjadi pada hari Sabtu siang sebesar 18.416 Lux. Rata-rata terendah terjadi pada hari Senin Sore sebesar 8.750 Lux. Berdasarkan penelitian (Miladina, 2019) menyatakan bahwa dengan kondisi cahaya matahari cerah maka suhu permukaan akan tinggi sehingga mengakibatkan permukaan udara atau udara menjadi renggang dan mengakibatkan konsentrasi karbon monoksida menjadi rendah. Hubungan cahaya matahari dengan karbon monoksida berbanding terbalik, hal tersebut dikarenakan cahaya matahari cenderung memecah emisi.

3.4. Stabilitas Atmosfer

Nilai stabilitas atmosfer ditentukan berdasarkan faktor meteorologi yaitu kecepatan angin dan intensitas sinar matahari. Tingkatan pada stabilitas atmosfer berdasarkan rumus Pasquill Gifford dapat dilihat pada Tabel 7. Berikut adalah hasil analisis kelas stabilitas atmosfer pada penelitian ini.

Tabel 7. Analisis Kelas Stabilitas Atmosfer

Hari	Waktu	Kecepatan Angin	Sinar Matahari	Stabilitas Atmosfer
Sabtu	Pagi	2,5	Sedang	B
	Siang	3,5	Kuat	B
	Sore	3,1	Sedang	B
Minggu	Pagi	2,2	Sedang	B
	Siang	3,2	Kuat	B
	Sore	2,6	Sedang	B
Senin	Pagi	2,3	Sedang	B
	Siang	3,2	Kuat	B
	Sore	2,7	Sedang	B

Tabel 7 menunjukkan hasil analisis kelas stabilitas atmosfer berdasarkan Tabel 1. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kelas stabilitas atmosfer pada penelitian ini yaitu kelas B (tidak stabil). Setelah kelas stabilitas atmosfer diketahui, selanjutnya menghitung koefisien dispersi σ_y dan σ_z menggunakan persamaan McCullen (rumus 2). Nilai IJK dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Penelitian (Hoesodo, 2004), Radiasi matahari pada siang hari yang tinggi akan memanaskan lapisan udara di atas permukaan bumi. Lapisan udara dengan suhu tinggi massa jenisnya akan lebih kecil dibandingkan dengan lapisan udara dengan suhu rendah. Udara bersifat tidak stabil pada siang hari, karena radiasi matahari sangat tinggi. Sehingga, tingkat penyebaran polutan pada siang hari lebih tinggi dibandingkan dengan pagi hari. Hal tersebut menyebabkan konsentrasi polutan pagi hari lebih tinggi dibandingkan siang hari.

3.5. Hasil Pengukuran Kendaraan Bermotor

Pengukuran volume kendaraan bermotor dilakukan pada 6 titik di hari dan interval waktu yang sama. Hasil rata-rata pengukuran dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

Tabel 8. Rata-rata Pengukuran Volume Kendaraan Bermotor

		Kendaraan Bermotor (Unit)		
Waktu	Jenis Kendaraan	Hari		
		Sabtu	Minggu	Senin
Pagi	MC	1703	1093	2219
	LV	621	391	750
	HV	44	24	17
Siang	MC	1974	1301	1901
	LV	980	1003	905
	HV	54	23	54
Sore	MC	2649	1567	2838
	LV	758	897	875
	HV	15	12	21

Tabel 8 menunjukkan rata-rata volume sepeda motor (MC) dengan nilai yang tinggi terjadi di hari Senin sore sebesar 2.828 unit, terendah terjadi di hari Minggu pagi sebesar 1.093 unit. Pada kendaraan ringan (LV) dengan nilai yang tinggi terjadi di h 21 Minggu siang dengan jumlah 1.003 unit, untuk terendah terjadi di hari Minggu pagi sebesar 391 unit. Sedangkan, pada kendaraan berat (HV) nilai tertinggi berada di hari Senin siang sebesar 54 unit, untuk nilai terendah terjadi pada hari Minggu sore sejumlah 12 unit. Berdasarkan penelitian (Sasmita dkk., 2021), menyatakan bahwa meningkatnya volume lalu lintas akan menyebabkan bertambahnya jumlah polutan atau emisi di udara sehingga kualitas udara di daerah tersebut akan mengalami penurunan. Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara banyaknya jumlah kendaraan berbanding lurus dengan banyaknya jumlah konsentrasi karbon monoksida.

3.6. Hasil Perhitungan Kekuatan Emisi

Perhitungan kekuatan emisi (Q) dilakukan dengan beberapa tahapan perhitungan atau data lapangan yaitu kecepatan rata-rata kendaraan bermotor, jumlah kendaraan per detik, satuan mobil penumpang, dan laju emisi. Perhitungan dilakukan pada 6 titik di hari dan interval waktu yang sama. Perhitungan dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Kecepatan Rata-rata Kendaraan Bermotor

Berikut adalah hasil pengukuran kecepatan rata-rata kendaraan bermotor pada penelitian yang dapat dilihat pada tabel 9 berikut. Tabel 9 menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata kendaraan tergolong stabil. Kecepatan sepeda motor (MC) tertinggi sebesar 38 km/h, terendah

sebesar 31 km/h. Pada kendaraan ringan (LV) tertinggi sebesar 38 km/h, terendah sebesar 36 km/h. Pada kendaraan berat (HV) tertinggi sebesar 26 km/h, terendah sebesar 23 km/h.

Tabel 9. Rata-rata Kecepatan Kendaraan Bermotor

Hari	Waktu	Kecepatan (km/h)		
		MC	LV	HV
Sabtu	Pagi	33	37	26
	Siang	38	38	24
	Sore	31	38	24
Minggu	Pagi	31	38	24
	Siang	33	37	23
	Sore	35	38	23
Senin	Pagi	36	37	26
	Siang	34	38	23
	Sore	32	36	24

b. Perhitungan Laju Emisi

Perhitungan laju emisi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus 3. Hasil rata-rata perhitungan laju emisi dapat dilihat pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Rata-rata Perhitungan Laju Emisi

Hari	Waktu	Laju Emisi		
		MC	LV	HV
Sabtu	Pagi	42,66	38,71	53,92
	Siang	37,31	38,02	56,02
	Sore	45,41	37,36	55,61
Minggu	Pagi	45,13	37,49	55,06
	Siang	43,08	38,50	58,22
	Sore	40,43	37,83	58,24
Senin	Pagi	39,58	39,32	51,40
	Siang	42,17	37,58	57,26
	Sore	43,51	38,97	56,,76

c. Kendaraan Per Detik

Perhitungan kendaraan per detik dapat dilakukan dengan menggunakan rumus 4. Hasil rata-rata perhitungan kendaraan per detik dapat dilihat pada tabel 11 berikut.

Tabel 11. Rata-rata Perhitungan Kendaraan Per Detik

Hari	Waktu	Kend/Detik		
		MC	LV	HV
Sabtu	Pagi	0,473	0,173	0,012
	Siang	0,548	0,272	0,015
	Sore	0,736	0,211	0,004
Minggu	Pagi	0,304	0,109	0,007
	Siang	0,361	0,279	0,006
	Sore	0,435	0,249	0,003
Senin	Pagi	0,616	0,208	0,005
	Siang	0,528	0,237	0,015
	Sore	0,788	0,243	0,006

d. Satuan Mobil Penumpang

Perhitungan satuan mobil penumpang dapat dilakukan dengan menggunakan rumus 5. Hasil rata-rata perhitungan satuan mobil penumpang dapat dilihat pada Tabel 12 berikut.

Tabel 12. Rata-rata Perhitungan Satuan Mobil Penumpang

Hari	Waktu	Satuan Mobil Penumpang		
		MC	LV	HV
Sabtu	Pagi	0,28	0,17	0,02
	Siang	0,33	0,27	0,03
	Sore	0,44	0,21	0,01
Minggu	Pagi	0,18	0,11	0,01
	Siang	0,22	0,28	0,01
	Sore	0,26	0,25	0,01
Senin	Pagi	0,37	0,21	0,01
	Siang	0,32	0,24	0,03
	Sore	0,47	0,24	0,01

e. Hasil Perhitungan Kekuatan Emisi (Q)

Perhitungan kekuatan emisi (Q) dapat dilakukan dengan menggunakan rumus 6. Hasil rata-rata perhitungan kekuatan emisi dapat dilihat pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. Rata-rata Perhitungan Kekuatan Emisi

Waktu	Kekuatan Emisi (Q)		
	Hari		
	Sabtu	Minggu	Senin
Pagi	20	13,60	23,49
Siang	24,46	20,83	24,22
Sore	28,28	20,42	30,89

3.7. Hasil Simulasi Model Gaussian

Perhitungan simulasi model menggunakan software MATLAB. Data yang diperlukan adalah data hasil kekuatan emisi (Q). Simulasi model dilakukan dengan menghitung terlebih dahulu volume kendaraan bermotor sehingga nilai Q dapat diketahui. Diketahui kelas stabilitas atmosfer pada penelitian ini adalah B, sehingga koefisien dispersi yang digunakan adalah $\sigma_y = 31,37$ m dan $\sigma_z = 25,17$ m.

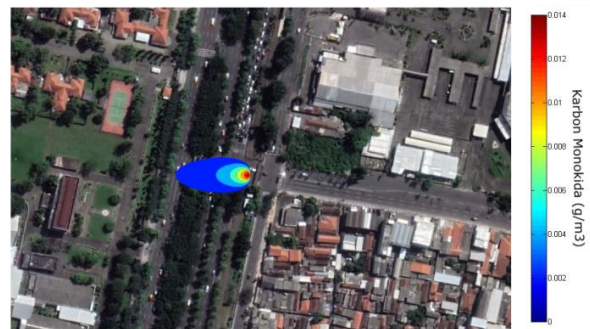
a. Hasil Simulasi Hari Sabtu, 21 Mei 2022

Hasil pola dispersi simulasi model dapat dilihat pada Gambar 2, 3 dan 4. Gambar tersebut menggambarkan pola sebaran karbon monoksida dalam bentuk 2 dimensi. Hasil konsentrasi karbon monoksida dan arah dispersi pada Hari Sabtu pagi, siang, dan sore berturut-turut adalah 16.280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Barat Daya), 14.256 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Barat), dan 18.857 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tenggara). Jarak dispersi karbon monoksida pada Hari Sabtu Pagi, Siang, dan Sore

akan hilang pada jarak 54 m, 64 m, dan 76 m dari sumber pencemar



Gambar 2. Simulasi Model Sabtu Pagi



Gambar 3. Simulasi Model Sabtu Siang



Gambar 4. Simulasi Model Sabtu Sore

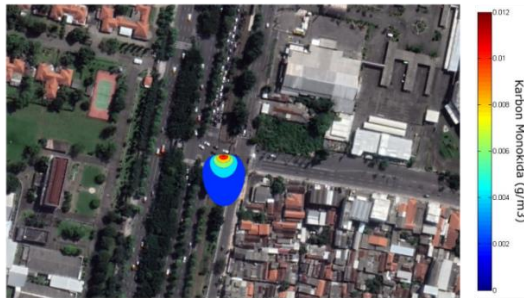
b. Hasil Simulasi Hari Minggu, 22 Mei 2022

Hasil pola dispersi simulasi model dapat dilihat pada Gambar 5, 6, dan 7. Gambar tersebut menggambarkan pola sebaran karbon monoksida dalam bentuk 2 dimensi. Hasil konsentrasi karbon monoksida dan arah dispersi pada Hari Minggu pagi, siang, dan sore secara urut adalah 12.234 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Selatan), 13.534 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tenagara), dan 16.104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Barat Daya). Jarak dispersi karbon monoksida pada Hari Minggu Pagi, Siang, dan Sore akan hilang pada jarak 34 m, 53 m, dan 54 m dari sumber pencemar.

c. Hasil Simulasi Hari Senin, 23, Mei 2022

Hasil pola dispersi simulasi model dapat dilihat pada Gambar 8, 9 dan 10. Gambar tersebut

menggambarkan pola sebaran karbon monoksida dalam bentuk 2 dimensi. Dari gambar tersebut dapat dipahami bahwa jumlah konsentrasi karbon monoksida dan arah dispersi pada hari Senin pagi, siang, dan sore secara urut adalah 20.691 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Barat), 15.759 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Timur Laut), dan 28.981 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Barat). Jarak dispersi karbon monoksida pada Hari Sabtu Pagi, Siang, dan Sore akan hilang pada jarak 62 m, 65 m, dan 33 m dari sumber pencemar.



Gambar 5. Simulasi Model Minggu Pagi



Gambar 6. Simulasi Model Minggu Siang



Gambar 7. Simulasi Model Minggu Sore



Gambar 8. Simulasi Model Senin Pagi



Gambar 9. Simulasi Model Senin Siang



Gambar 10. Simulasi Model Senin Sore

3.8. Hasil Uji Validasi Model

Uji validasi dilakukan untuk mengetahui apakah data model yang dihasilkan sesuai dengan data lapangan. Validasi model menggunakan rumus Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil uji validasi dapat dilihat pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14. Hasil Uji Validasi Model

Hari	Waktu	Data Lapangan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data Model ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MAPE (%)
Sabtu	Pagi	14.331	16.280	13,60
	Siang	12.390	14.256	15,06
	Sore	16.287	18.857	15,78
Minggu	Pagi	13.281	12.234	7,88
	Siang	11.802	13.524	14,59
	Sore	15.762	16.104	2,17
Senin	Pagi	16.319	20.691	26,79
	Siang	15.905	15.759	0,92
	Sore	18.419	28.981	57,35
Rata-rata				15,17

Tabel 14 menunjukkan bahwa hasil uji validasi MAPE pada penelitian ini sebesar 15,17%. Berdasarkan (Wardhani dkk., 2022), nilai MAPE dengan range 10-20% menunjukkan bahwa kemampuan model peramalan tergolong baik. Sehingga hasil validasi data lapangan dan model dapat dikatakan sesuai karena nilai MAPE tergolong dalam kategori baik.

4. KESIMPULAN

Karbon monoksida dengan konsentrasi terbesar terjadi pada hari Senin sore dengan jumlah mencapai 18.419 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan jumlah karbon monoksida dengan konsentrasi terendah terjadi pada hari Minggu siang

dengan jumlah $11.802 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Simulasi model pada hari Sabtu pagi, siang, dan sore berturut-turut menunjukkan jarak dispersi hilang pada jarak 54 m, 64 m, dan 76 m. Hari Minggu pagi, siang, dan sore berturut-turut 34 m, 53 m, dan 54 m. Hari Senin pagi, siang, dan sore berturut-turut 62 m, 65 m, dan 33 m. Hasil validasi model dengan rumus MAPE adalah 15,17%, sehingga model dapat dikatakan cocok karena tergolong dalam kategori baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Assomadi, A. F., Widodo, B., & Hermana, J. (2016). The kinetic approach of NO_x photoreaction related to ground measurement of solar radiation in estimates of surface ozone concentration. *International Journal of ChemTech Research*, 9(7), 182–190.
- Gusnita, D. (2012). Pencemaran logam berat timbal (Pb) di udara dan upaya penghapusan bensin bertimbal. *Berita Dirgantara*, 13(3).
- Hasibuan, F., Warsito, W., & Suciayati, S. W. (2015). Simulasi model dispersi polutan gas dan partikulat molekul pada pabrik semen dengan menggunakan software Matlab 7.12. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 3(2).
- Hoesodo, D. (2004). *Permodelan Pencemaran Udara Akibat Lalu Lintas di Jalan Arteri (Studi Kasus Ruas Jalan Soekarno-Hatta di Kota Bandung)*.
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(3), 241–248.
- Kamal, N. M. (2015). Studi tingkat kualitas udara pada kawasan mall Panakukang di makassar. *Skripsi, Program Studi Teknik Lingkungan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Unhas.*(Online) [Http://Repository, Unhas. Ac. Id/Handle/123456789/14300](http://Repository.Unhas.Ac.Id/Handle/123456789/14300).(Diakses Pada Tanggal 18 September 2018, Pukul 20.52).
- Maleiva, L. T. N., Sitorus, B., & Jati, D. R. (2015). Penurunan Konsentrasi Gas Karbon Monoksida Dari Kendaraan Bermotor Menggunakan Adsorben Zeolit Alam. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(1).
- Masito, A. (2018). Analisis Risiko Kualitas Udara Ambien (NO₂ Dan SO₂) dan Gangguan Pernapasan pada Masyarakat di Wilayah Kalianak Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(4), 394–401.
- Miladina, A. (2019). *Perbandingan Tingkat Pencemaran Karbon Monoksida (Co) Di Ruas Jalan Solo-Yogyakarta Menggunakan Pemodelan Dispersi Gauss Dan Pengukuran Langsung*.
- Proborini, D. E. (2019). *Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Bermotor Dan Kecepatan Angin Terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida Di Pintu Masuk Terminal Arjosari*.
- Rumselly, K. U. (2016). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kualitas Udara Ambien Di Kota Ambon. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(2), 158–163.
- Sasmita, A., Khaira, I., Elystia, S., & Reza, M. (2021). Dispersi Karbon Monoksida (CO) dari Emisi Transportasi Menggunakan Model Gaussian Line Source di Jalan Jendral Sudirman Pekanbaru. *Journal of Environmental Engineering and Waste Management*, 6(2), 145–159.
- Sengkey, S. L., Jansen, F., & Wallah, S. E. (2011). Tingkat pencemaran udara CO akibat lalu lintas dengan model prediksi polusi udara skala mikro. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 1(2).
- Tobing, K. R. L., & Istirokhatun, T. (2013). Pengaruh Jumlah Kendaraan dan Faktor Meteorologis (Suhu, Kecepatan Angin) Terhadap Peningkatan Konsentrasi Gas Pencemar CO, NO₂, dan SO₂ Pada Persimpangan Jalan Kota Semarang (Studi Kasus Jalan Karangrejo Raya, Sukun Raya, dan Ngesrep Timur V). *DIPOIPTEKS: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Undip*, 1(1), 25–28.
- Wardhani, A. K., Israwan, L. F., Hardiansya, A., Setiawan, J., Wahyuddin, S., Khikmah, L., Ilham, A., & Nurmuslimah, S. (2022). *Teknik Peramalan Pada Teknologi Informasi*. PT Global Eksekutif Teknologi.