

Analisis Radius Persebaran (Dispersi) Karbon Monoksida Di Jalan Raya Darmo Kota Surabaya

Ananda Iqbal Ibrahim¹, Firra Rosariawari^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

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

Diterima: 23 April 2024

Disetujui: 2 Mei 2024

Abstract

In this research, the concentration of carbon monoxide (CO) on Jalan Raya Darmo, Surabaya City, which is one of the main highways with heavy traffic, was measured and analyzed. The main aim of this research is to measure CO concentrations and create practical plans to reduce pollution levels. The process consists of collecting information about CO concentration, wind speed, temperature, and air humidity using instruments including hygrometers, anemometers, and CO analyzers. The CO distribution was modeled using the AERMOD dispersion model according to the collected data and the associated meteorological conditions. The research findings revealed that CO concentrations varied significantly depending on traffic volume and weather, with the highest figure being 13,704 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on Friday afternoon and the lowest figure being 5,224 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on Monday morning. A strong CO distribution pattern was found towards the North, Northeast, West and Southwest using AERMOD for distribution analysis. The research conclusion proves that the amount of CO on Jalan Raya Darmo is significantly influenced by weather and traffic density. It is recommended that risk management techniques be used, such as routine motor vehicle maintenance, implementation of odd-even programs, and regular air quality audits to manage and reduce air pollution.

Keywords: *Carbon Monoxide (CO), Air Pollution, Air Quality Measurement, AERMOD Model, Pollution Risk Management*

Abstrak

Dalam penelitian ini, konsentrasi karbon monoksida (CO) di Jalan Raya Darmo Kota Surabaya yang menjadi salah satu jalan raya utama dengan lalu lintas padat yang diukur dan dianalisis. Tujuan utama penelitian ini adalah mengukur konsentrasi CO dan membuat rencana praktis untuk menurunkan tingkat polusi. Prosesnya terdiri dari pengumpulan informasi tentang konsentrasi CO, kecepatan angin, suhu, dan kelembaban udara menggunakan instrumen termasuk higrometer, anemometer, dan penganalisis CO. Distribusi CO dimodelkan menggunakan model dispersi AERMOD sesuai dengan data yang dikumpulkan dan keadaan meteorologi terkait. Temuan penelitian mengungkapkan bahwa konsentrasi CO bervariasi secara signifikan tergantung pada volume lalu lintas dan cuaca, dengan angka tertinggi sebesar 13.704 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada Jumat sore dan angka terendah sebesar 5.224 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada Senin pagi. Pola distribusi CO yang kuat ditemukan ke arah Utara, Timur Laut, Barat, dan Barat Daya dengan menggunakan AERMOD untuk analisis penyebaran. Kesimpulan penelitian membuktikan bahwa jumlah CO yang ada di Jalan Raya Darmo dipengaruhi secara signifikan oleh cuaca dan kepadatan lalu lintas. Disarankan agar teknik manajemen risiko digunakan, seperti perawatan kendaraan bermotor secara rutin, penerapan program ganjil genap, dan audit kualitas udara secara rutin untuk mengelola dan menurunkan polusi udara.

Kata Kunci: *Karbon Monoksida (CO), Polusi Udara, Pengukuran Kualitas Udara, Model AERMOD, Manajemen Risiko Polusi*

1. Pendahuluan

Jumlah kendaraan di Surabaya, kota terbesar kedua di Indonesia, telah meningkat secara signifikan seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi kota tersebut [1]. Salah satu jalan raya utama kota, Jalan Raya Darmo, sering mengalami kemacetan, terutama pada jam-jam sibuk, sehingga meningkatkan emisi gas karbon monoksida (CO) [2]. Karena dapat menghambat kemampuan darah untuk membawa oksigen, karbon monoksida merupakan polusi berbahaya yang berbahaya bagi kesehatan manusia [3]. Tingkat polusi ini berpotensi mempengaruhi kualitas hidup dan kesehatan penduduk lokal serta menyumbang pada permasalahan lingkungan yang lebih luas, seperti perubahan iklim global. Penelitian ini dimaksudkan untuk menyelidiki tingkat konsentrasi CO dan pola penyebarannya di Jalan Raya Darmo serta mengembangkan strategi untuk mengurangi konsentrasi polutan ini.

Udara, campuran esensial dari berbagai gas yang menyelimuti bumi, secara alamiah mengandung nitrogen, oksigen, dan argon sebagai komponen utamanya. Aktivitas manusia dan fenomena alam menambah kontaminan yang berpotensi merugikan. Pencemaran udara didefinisikan sebagai penambahan zat berbahaya ke atmosfer, baik dari sumber alami seperti kebakaran hutan dan debu vulkanik, maupun dari kegiatan manusia seperti transportasi dan industri.

Emisi dari mobil, bisnis, dan rumah berkontribusi terhadap polusi yang disebabkan oleh manusia dengan melepaskan partikel, CO, dan NO_x. Sebaran dan konsentrasi zat pencemar di atmosfer juga dipengaruhi oleh kondisi meteorologi, antara lain curah hujan, arah angin, suhu, kelembapan, dan tekanan udara. Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, dihasilkan ketika bahan bakar fosil tidak terbakar seluruhnya, terutama di wilayah metropolitan. Karena kepadatan kendaraan bermotor lebih tinggi di wilayah metropolitan, CO sering muncul di wilayah tersebut. Kondisi cuaca yang membatasi penyebaran CO dan kecepatan emisi mempunyai dampak signifikan terhadap jumlah CO di atmosfer [4].

Sumber utama pencemaran CO adalah transportasi, yang diikuti oleh pembakaran bahan bakar lain seperti batu bara dan minyak. 60%–70% polusi udara perkotaan disebabkan oleh mobil bertenaga bensin [5]. Menurut Kurniawan (2019), untuk menjaga kesehatan manusia, peraturan nasional kualitas udara ambien menetapkan batas maksimum sejumlah polutan, seperti CO, NO₂, dan PM₁₀ [6].

CO sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena bisa mengikat hemoglobin dalam darah dengan kekuatan yang lebih besar daripada oksigen, menghambat transportasi oksigen ke jaringan tubuh. Efek kesehatan dari paparan CO dapat berkisar dari sakit kepala ringan hingga efek yang lebih serius seperti pingsan atau bahkan kematian, tergantung pada konsentrasi dan durasi paparan [7]. AERMOD, yang dikembangkan oleh AERMIC, adalah model yang digunakan untuk memahami dispersi polutan dalam lapisan batas planet, yang sangat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi dan topografi lokal [8]. Ini membantu dalam prediksi dan manajemen kualitas udara dengan simulasi numerik dan pengamatan lapangan. Penelitian ini berfokus pada analisis distribusi karbon monoksida yang dihasilkan dari transportasi di Jalan Raya Darmo, Surabaya. Penggunaan alat seperti CO analyzer, hygrometer dan anemometer akan memungkinkan pengukuran yang tepat dari berbagai parameter yang berkontribusi pada konsentrasi dan persebaran CO.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa polusi karbon monoksida (CO) di Surabaya, terutama yang berasal dari sumber transportasi, merupakan masalah serius yang memerlukan perhatian mendalam. Setyo & Handriyono (2021) menemukan tingkat CO yang sangat tinggi di Jalan Raya Kertajaya Indah [9], sementara Rangga (2014) mengamati pola dispersi CO yang dipengaruhi oleh kecepatan angin [10]. Taufik et al. (2022) menggunakan metode Gaussian Line Source untuk memprediksi emisi CO dengan akurasi yang tinggi [11], dan Octarika & Hendrasarie (2020) mendapati emisi CO yang melebihi baku mutu di Jalur Moda Raya Terpadu Surabaya [12]. Fahrissa (2017) menyoroti tantangan dalam pengumpulan data yang akurat tentang kualitas udara di Surabaya [13]. Penelitian ini memperkuat pentingnya intervensi yang efektif dan berkelanjutan untuk mengurangi dampak polusi udara pada kesehatan publik dan lingkungan, mengarahkan studi ini untuk lebih lanjut menganalisis sebaran dan konsentrasi CO di Jalan Raya Darmo, Surabaya dengan menggunakan teknologi pengukuran terkini.

Meteorologi juga memainkan peran krusial dalam persebaran dan konsentrasi polutan udara. Faktor-faktor seperti suhu, kelembapan, tekanan udara, dan arah angin dapat mempengaruhi seberapa jauh dan cepat polutan menyebar di atmosfer [14]. Pemahaman terhadap faktor-faktor ini penting untuk prediksi dan manajemen kualitas udara. Dampak kesehatan dari eksposur CO juga serius; CO memiliki afinitas yang tinggi dengan hemoglobin, membuatnya berpotensi menyebabkan hipoksia pada tingkat eksposur yang tinggi [15]. Bahkan pada konsentrasi yang lebih rendah, CO dapat menyebabkan gangguan kognitif dan kardiovaskular, menjadikan pengendalian emisinya penting untuk kesehatan publik.

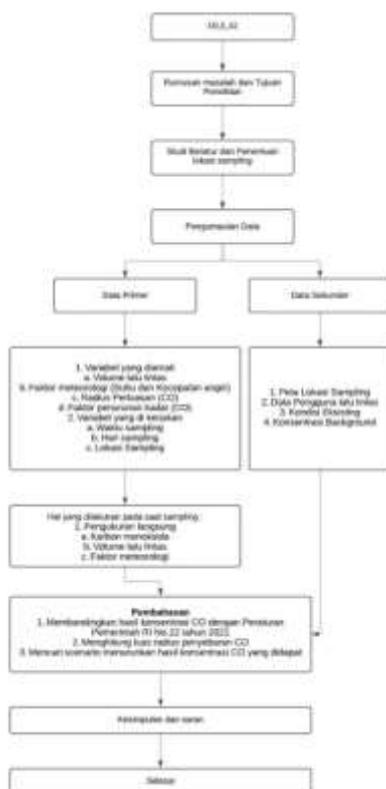
Untuk mengatasi masalah ini, aplikasi seperti AERMOD telah digunakan untuk memodelkan dispersi polutan udara dan membantu dalam pembuatan kebijakan dan intervensi yang efektif [16]. AERMOD memanfaatkan data meteorologi dan sumber emisi untuk memberikan prediksi yang akurat mengenai konsentrasi dan penyebaran polutan, yang merupakan informasi penting untuk penelitian ini dalam mengembangkan strategi mitigasi di Surabaya [17]. Pada akhirnya, dengan memahami tingkat dan distribusi CO di Jalan Raya Darmo serta faktor-faktor yang mempengaruhinya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang bermanfaat bagi pemerintah dan masyarakat untuk mengurangi eksposur polutan dan meningkatkan kualitas udara di Surabaya.

2. Metode Penelitian

Kerangka penelitian memberikan gambaran umum tentang tahapan pelaksanaan yang diperlukan untuk mencapai hasil yang diharapkan bisa dilihat dalam **Gambar 1**. Dalam penelitian ini, pengambilan data dilakukan menggunakan berbagai alat untuk mengukur komponen-komponen lingkungan yang berpengaruh terhadap konsentrasi karbon monoksida (CO). Aplikasi AERMOD digunakan untuk memodelkan sebaran CO berdasarkan volume lalu lintas, sedangkan anemometer, CO analyzer, dan hygrometer bertugas mengukur kecepatan angin, konsentrasi CO, serta kelembapan dan suhu udara secara berturut-turut. Pengambilan data volume lalu lintas dilakukan secara manual, dengan catatan diambil selama satu jam pada setiap titik sampling selama kondisi cuaca tertentu untuk memahami pengaruhnya terhadap penyebaran polutan [18]

Setelah pengumpulan data, hasilnya diinput ke dalam AERMOD View untuk analisis dispersi polutan. Proses ini meliputi pembuatan proyek baru, pengaturan parameter seperti jenis dan lokasi sumber polutan, serta pengaturan grid reseptor dan data meteorologi yang relevan. Analisis lebih lanjut dilakukan dengan menguji korelasi dan regresi linier berganda untuk mengidentifikasi hubungan antara volume lalu lintas, kondisi meteorologi, dan konsentrasi CO, menggunakan metode statistik yang mempertimbangkan variabel bebas dan terikat dalam model regresi [19].

Langkah terakhir adalah visualisasi output model sebaran CO yang telah diolah melalui AERMOD. Data ini kemudian di-overlay pada Google Earth Pro untuk representasi visual yang lebih jelas, memungkinkan peneliti untuk melihat distribusi geografis konsentrasi polutan. Analisis ini penting untuk menilai efektivitas kontrol polusi udara yang ada dan merencanakan strategi mitigasi yang lebih baik di masa depan. Ini memberikan gambaran jelas tentang dampak aktivitas antropogenik pada kualitas udara di area perkotaan yang padat, seperti Jl. Raya Darmo di Kota Surabaya.

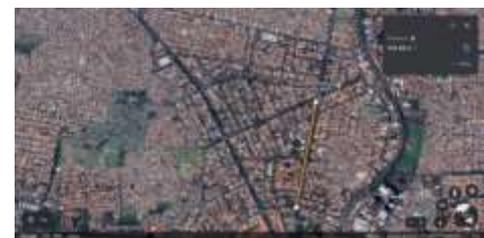


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini mengambil lokasi di Jl. Raya Darmo Kota Surabaya. Lokasi tersebut dipilih karena sebagai jalan utama nasional yang terpantau relative tinggi intensitas jumlah kendaraan, penelitian ini menggunakan 3 titik sampling. Adapun peta lokasi penelitian pada **Gambar 2-3**.

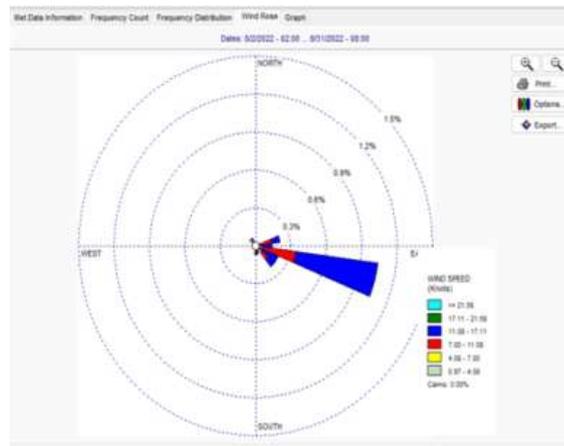


Gambar 2. Gambar Titik A dan Titik B



Gambar 3. Gambar Titik B dan Titik C

Pada titik A berada pada pertigaan kebun Binatang Surabaya, titik B berada pada perempatan KFC Jalan Darmo, titik C berada pada perempatan Jalan Polisi Istimewa Jarak titik A ke titik B adalah 600 m, titik B ke titik C adalah 1 km.



Gambar 4. Gambar windrose menggunakan aplikasi aernet

Tabel 1. Jenis dan Sumber Data Penelitian

Kategori	Jenis Data	Deskripsi	Variabel
Data Primer	Konsentrasi Karbon Monoksida (CO)	Diperoleh melalui hasil sampling menggunakan CO Analyzer.	Variabel Output
	Faktor Meteorologi	Termasuk kelembapan, suhu, dan kecepatan angin yang diukur menggunakan hygrometer dan anemometer.	Variabel Tetap
	Volume Lalu Lintas	Dicatat secara manual selama penelitian untuk menentukan hubungan dengan konsentrasi CO.	Variabel Bebas
	Titik Sampling	Terdapat tiga titik sampling yang diamati: Titik A (7.295556°, 112.739145°), Titik B (7.289722°, 112.738889°), dan Titik C (7.281839°, 112.740278°).	Variabel Bebas
	Waktu Sampling	Dibagi menjadi tiga sesi: pagi (07.00 – 08.00), siang (12.00-13.00), dan sore (17.00-18.00).	Variabel Bebas
	Hari Sampling	Pengambilan data dilakukan pada dua hari berbeda: Senin dan Jumat.	Variabel Bebas
	Data Sekunder	Peta sebagai Titik Sampling	Digunakan untuk identifikasi dan dokumentasi lokasi sampling.
Konsentrasi Background		Informasi tentang konsentrasi CO di udara ambien sebelum pengaruh apapun dari sumber lokal, diperlukan untuk analisis perbandingan.	-
Kategori	Kondisi Eksisting Jalan Raya Darmo Surabaya	Data tentang kondisi eksisting Jalan Raya Darmo di Surabaya, mencakup lalu lintas dan aktivitas sekitar yang bisa mempengaruhi kualitas udara.	-

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Eksisting Penelitian

Penelitian yang dilakukan di Jalan Raya Darmo, Surabaya, yang memiliki panjang 2,3 km dan terletak di Kecamatan Tegalsari pada ketinggian 5 mdpl, menyoroti kepadatan lalu lintas yang berkontribusi pada peningkatan pencemaran udara, khususnya karbon monoksida (CO). Selama penelitian yang berlangsung selama dua hari kerja, yaitu Senin dan Jumat, data dikumpulkan mengenai mobilitas lalu lintas, kondisi meteorologi, dan konsentrasi CO, terutama di tiga titik sampling yang karakteristiknya mencakup jalan rata dengan lebar 8 meter dan empat ruas jalan, dipenuhi bangunan di sekitar, serta dilengkapi dengan lampu merah dan persimpangan yang meningkatkan perlambatan dan penumpukan kendaraan. Kondisi ini tidak hanya menaikkan volume lalu lintas tetapi juga meningkatkan polusi CO, menggarisbawahi kebutuhan strategi mitigasi untuk menjaga kualitas udara.

Tabel 2. Kondisi Eksisting pada Jalan Raya Darmo Kota Surabaya

No	Titik Sampling	Dokumentasi	Kondisi Eksisting
1.	Titik sampling 1 (Depan Masjid Al-Falah)		<ul style="list-style-type: none"> - Kondisi jalan rata - jalan sekitar 8 meter dengan 4 ruas jalan - Banyak bangunan - Terdapat pertigaan dan lampu merah

No	Titik Sampling	Dokumentasi	Kondisi Eksisting
2.	Titik sampling 2 (Depan KFC Darmo)		<ul style="list-style-type: none"> - Kondisi jalan rata - jalan sekitar 8 meter dengan 4 ruas jalan - Banyak bangunan - Terdapat perempatan lampu merah
3.	Titik sampling 3 (Depan Tugu Nasional Kepolisian)		<ul style="list-style-type: none"> - Kondisi jalan rata - jalan sekitar 8 meter dengan 4 ruas jalan - Banyak bangunan - Terdapat perempatan dan lampu merah

Sumber : Hasil Penelitian, 2023

3.2 Hasil pengukuran Konsentrasi Karbon Monoksida (CO)

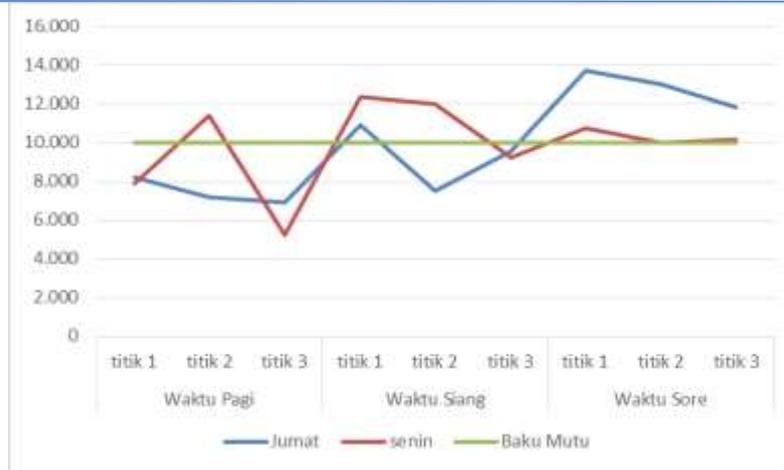
Pengambilan data konsentrasi karbon monoksida (CO) dilaksanakan pada Jalan Raya Darmo, Surabaya selama dua hari, yaitu Jumat dan Senin, dengan sesi pengukuran masing-masing satu jam di pagi, siang, dan sore hari sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2010 [20]. Pengukuran menggunakan alat *carbon monoxide meter analyzer* yang terkalibrasi menunjukkan fluktuasi konsentrasi CO di tiga titik sampling, dimana konsentrasi tertinggi tercatat pada sore hari Jumat sebesar $13.704 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Titik 1. Meskipun terjadi variasi, beberapa pengukuran di siang dan sore hari melebihi batas baku mutu $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 22 tahun 2021, mengindikasikan tingkat polusi yang signifikan terkait dengan kepadatan lalu lintas di area tersebut.

Tabel 3. Konsentrasi karbon monoksida pada Jalan Raya Darmo

Hari	Waktu	Titik	Konsentrasi Karbon Monoksida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Baku Mutu $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Jumat, 1 Desember 2023	Pagi	1	8.204	10.000
		2	7.211	
		3	6.899	
	Siang	1	10.898	
		2	7.499	
		3	9.577	
	Sore	1	13.704	
		2	13.050	
		3	11.861	
Senin, 4 Desember 2023	Pagi	1	7.883	
		2	11.419	
		3	5.224	
	Siang	1	12.379	
		2	11.984	
		3	9.264	
	Sore	1	10.478	
		2	9.990	
		3	10.186	

Sumber : Hasil Penelitian, 2023

Untuk mengetahui berapa tinggi dan rendahnya kenaikan kandungan konsentrasi di Jalan Raya Darmo pada grafik pada **Gambar 5** dibawah ini.



Gambar 5. Waktu titik sampling dan waktu sampling
Sumber : Hasil Penelitian, 2023

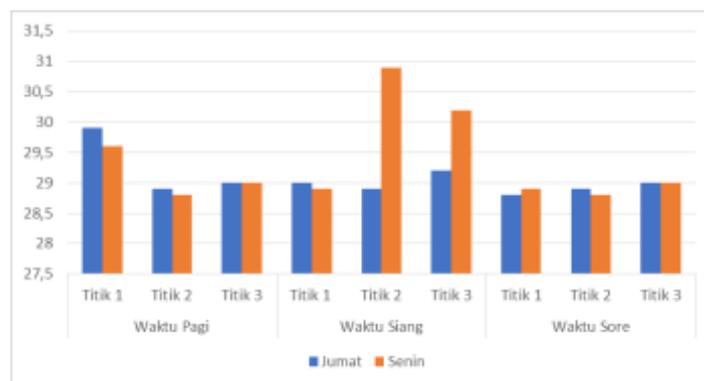
Keberadaan konsentrasi CO yang tinggi, khususnya pada akhir pekan, menunjukkan dampak signifikan dari volume lalu lintas yang padat dan durasi lama lampu lalu lintas pada peningkatan polusi. Analisis lebih lanjut melalui pemetaan dispersi CO akan dilakukan untuk mendetailkan penyebaran polutan dan mengidentifikasi area yang paling terpengaruh. Pengawasan berkala dan uji emisi untuk kendaraan bermotor disarankan untuk mengurangi tingkat polusi dan membantu pemerintah serta masyarakat dalam mengimplementasikan regulasi yang lebih ketat untuk manajemen kualitas udara, mengingat kendaraan bermotor berkontribusi hingga 60% terhadap polusi udara di area tersebut.

3.3. Hasil Pengukuran Faktor Meteorologi

Khusus pada hari Jumat dan Senin, pengumpulan data berupa parameter meteorologi (suhu, kelembaban, dan kecepatan angin) dilakukan pada pagi, siang, dan malam hari dengan durasi satu jam di jalan raya Darmo. Sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Penyelenggaraan Pengendalian Udara di Wilayah Daerah, waktu sampel juga mengalami perubahan.

3.3.1. Temperatur Udara

Hasil pengukuran temperatur udara di Jalan Raya Darmo, yang berfluktuasi antara 28.8 °C hingga 30.9 °C, menunjukkan variabilitas suhu sepanjang hari, dengan suhu tertinggi tercatat pada siang hari Senin sebesar 30.9 °C di titik 2 dan terendah pada sore hari Jumat sebesar 28.8 °C di titik 1. Perubahan suhu ini tidak hanya dipengaruhi oleh siklus harian matahari, tetapi juga oleh perubahan cuaca dan iklim yang lebih luas, termasuk pemanasan global dan polusi dari sumber kendaraan bermotor serta industri, dengan kecepatan angin juga memainkan peran penting dalam distribusi suhu di area tersebut.

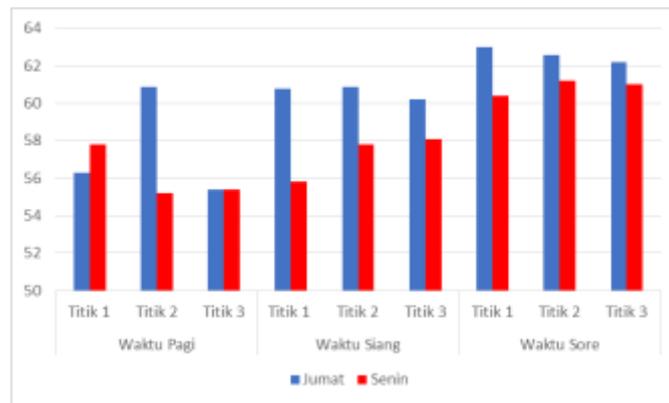


Gambar 6. Hasil sampling temperature udara pada titik sampling
Sumber : Hasil Penelitian, 2023

3.3.2. Kelembaban Udara

Kelembaban udara di Jalan Raya Darmo, yang diukur selama sampling, berkisar antara 55.4% hingga 63%, dengan kelembaban tertinggi tercatat pada sore hari Jumat di titik sampling 1 sebesar 63%, dan terendah pada pagi hari Senin di titik 2 sebesar 55.2%. Fluktuasi ini pada kondisi cuaca lokal; kelembaban meningkat pada sore hari ketika suhu menurun dan cuaca mendung, sedangkan kelembaban lebih rendah di pagi hari karena sinar matahari yang meningkatkan suhu. Kelembaban juga dipengaruhi oleh faktor-

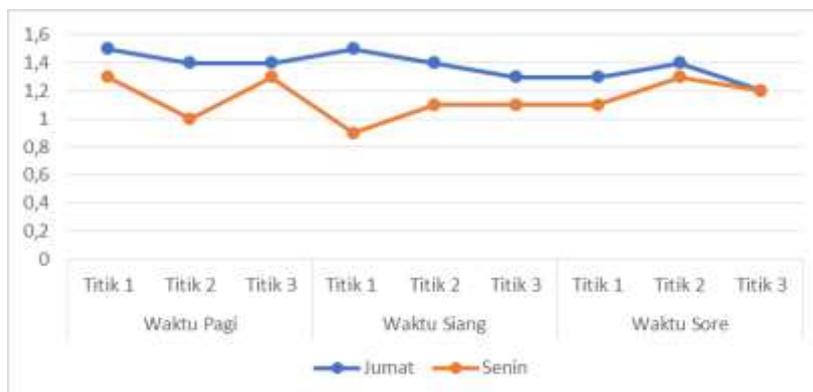
faktor lain seperti tekanan udara dan kerapatan udara, di mana tekanan udara yang tinggi dan kerapatan udara yang rapat cenderung meningkatkan kelembapan.



Gambar 7. Hasil sampling Kelembapan udara pada titik sampling
Sumber : Hasil Penelitian, 2023

3.3.3. Kecepatan Angin

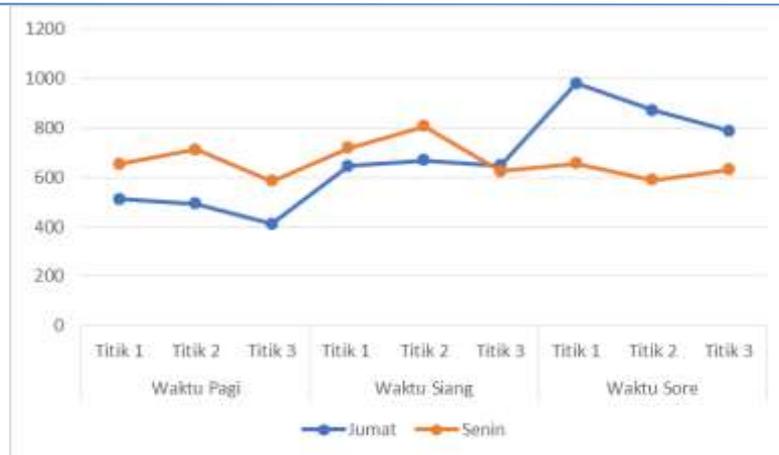
Hasil sampling menunjukkan bahwa kecepatan angin di Jalan Raya Darmo berkisar antara 0.9 m/s hingga 1.5 m/s, dengan kecepatan tertinggi tercatat pada 1.5 m/s di titik sampling 1 pada pagi dan siang hari Jumat, sedangkan kecepatan terendah adalah 0.9 m/s di titik sampling 2 pada siang hari Senin. Fluktuasi kecepatan angin ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk ketinggian lokasi yang semakin tinggi meningkatkan kecepatan angin karena pengaruh gaya gesekan yang berkurang. Selain itu, letak geografis dan ciri fisik daerah, seperti adanya bangunan dan kondisi vegetasi yang berbeda antar titik sampling, juga mempengaruhi kecepatan angin, di mana kehadiran gedung tinggi dan vegetasi yang lebih rendah cenderung mengurangi hambatan dan meningkatkan kecepatan angin.



Gambar 8. Hasil sampling Kecepatan Angin pada titik sampling
Sumber : Hasil Penelitian, 2023

3.3.4. Hasil Pengukuran Jumlah Volume Lalu Lintas

Pengambilan data volume lalu lintas di Jalan Raya Darmo, Surabaya, dilaksanakan selama dua hari, yaitu pada hari Jumat dan Senin, sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12 tahun 2010, dengan masing-masing sesi pengambilan sampel berdurasi satu jam di pagi, siang, dan sore hari. Data yang dikumpulkan di tiga titik yang berbeda menunjukkan bahwa total kendaraan yang melintasi area tersebut selama periode pengamatan adalah 12,004 unit. Volume lalu lintas terendah tercatat pada Senin pagi di titik sampling 3 (depan tugu polisi) dengan 412 unit kendaraan, sementara volume tertinggi terjadi pada Jumat sore di titik sampling 2 (depan KFC) dengan 980 unit kendaraan, dengan dominasi kendaraan roda dua.



Gambar 9. Hasil sampling Volume Lalu Lintas pada titik sampling
 Sumber : Hasil Penelitian, 2023

3.4. Analisis

3.4.1. Uji Korelasi Volume Lintas Dengan Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi CO

Hasil uji korelasi antara beberapa faktor meteorologi dan volume lalu lintas terhadap konsentrasi karbon monoksida di Jalan Raya Darmo menunjukkan hubungan yang beragam. Suhu udara menunjukkan korelasi negatif yang lemah dengan CO, dengan koefisien korelasi -0.370 dan P-value 0.759 , menandakan bahwa peningkatan suhu cenderung menurunkan konsentrasi CO, meskipun hubungan ini statistik tidak signifikan. Sebaliknya, kelembapan udara memiliki korelasi positif yang sangat kuat dengan CO, dengan koefisien 0.986 , meskipun hubungan ini juga statistik tidak signifikan dengan P-value 0.106 . Kecepatan angin memiliki hubungan yang relatif lebih kuat dengan nilai korelasi -0.636 , namun masih kurang signifikansi dengan P-value 0.561 , menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin cenderung meningkatkan konsentrasi CO.

Secara khusus, volume lalu lintas menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat dengan CO, dengan koefisien korelasi 0.973 , menegaskan bahwa peningkatan jumlah kendaraan berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi CO di area tersebut. Meskipun demikian, nilai P-value untuk hubungan ini mencerminkan kurangnya signifikansi statistik, yang bisa disebabkan oleh variabilitas kondisi pengukuran atau pengaruh variabel lain yang tidak terukur dalam analisis ini. Studi ini menggambarkan kompleksitas interaksi antara faktor meteorologi dan volume lalu lintas dalam mempengaruhi polusi udara di daerah perkotaan, menunjukkan pentingnya memperhatikan berbagai faktor dalam strategi pengelolaan kualitas udara.

3.4.2. Uji Regresi Linear Berganda

Dalam penelitian ini, analisis regresi linear berganda digunakan untuk memprediksi pengaruh volume lalu lintas dan faktor meteorologi terhadap konsentrasi karbon monoksida di Jalan Raya Darmo. Model regresi yang dihasilkan menunjukkan bahwa suhu memiliki hubungan negatif dengan CO, dengan setiap kenaikan satu derajat suhu mengakibatkan penurunan konsentrasi CO sebesar $0,009 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Penelitian oleh Istirokhatun (2012) menegaskan temuan ini, menjelaskan bahwa suhu yang lebih tinggi menyebabkan udara mengembang dan menjadi lebih renggang, yang menurunkan konsentrasi polutan [21]. Di sisi lain, kelembapan dan volume lalu lintas menunjukkan hubungan positif dengan konsentrasi CO, di mana peningkatan kelembapan sebesar satu persen akan meningkatkan CO sebesar $0,186 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan peningkatan volume lalu lintas juga meningkatkan CO, menunjukkan pengaruh signifikan dari aktivitas kendaraan pada kualitas udara.

Tabel 4. Data Keseluruhan Hasil Sampling

Hari	Waktu	Titik	Konsentrasi Karbon Monoksida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban (%)	Kecepatan Angin (m/s)	Volume lalu Lintas	
Jumat, 1 Desember 2023	Pagi	1	8.204	29.9	56.3	1.5	512	
		2	7.211	28.9	60.9	1.4	494	
		3	6.899	29	55.4	1.4	412	
	Siang	1	10.898	29	60.8	1.5	647	
		2	7.499	28.9	60.9	1.4	669	
		3	9.577	29.2	60.2	1.3	648	
		Sore	1	13.704	28.8	63	1.3	980
			2	13.050	28.9	62.6	1.4	873
			3	11.861	29	62.2	1.2	788
Senin, 4 Desember 2023	Pagi	1	7.883	29.6	57.8	1.3	655	
		2	11.419	28.8	55.2	1	713	
		3	5.224	29	55.2	1.3	585	
	Siang	1	12.379	28.9	55.8	0.9	719	
		2	11.984	30.9	57.8	1.1	807	
		3	9.264	30.2	58.1	1.1	625	
		Sore	1	10.478	28.9	60.4	1.1	657
			2	9.990	28.8	61.2	1.3	589
			3	10.186	29	61	1.2	631

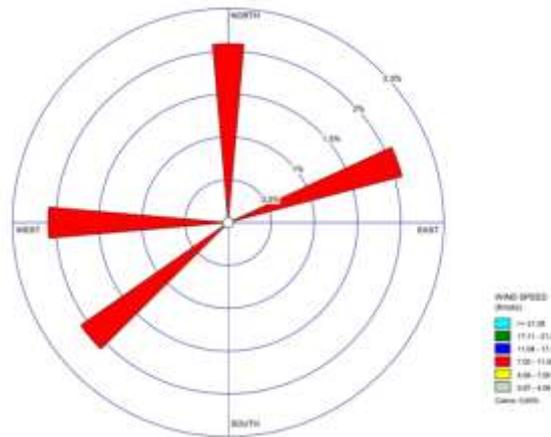
Sumber : Hasil Penelitian, 2023

Kecepatan angin mempunyai efek signifikan dalam mengurangi konsentrasi CO, dengan setiap peningkatan kecepatan angin sebesar satu m/s menurunkan konsentrasi CO sebesar $3,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini disebabkan oleh dispersi polutan yang lebih efektif akibat aliran udara yang lebih cepat. Angin yang lebih cepat memperluas distribusi polutan ke area yang lebih luas, sehingga mengurangi konsentrasi lokal. Konsistensi dalam kenaikan volume lalu lintas juga secara langsung meningkatkan konsentrasi CO, menggambarkan dampak langsung emisi kendaraan pada polusi udara. Kondisi ini menegaskan pentingnya mengatur kepadatan lalu lintas dan mengimplementasikan teknologi kendaraan yang lebih bersih untuk mengurangi pelepasan CO.

3.5. Aermod view

Hasil pengukuran faktor meteorologi seperti suhu, kecepatan angin, dan kelembaban, yang diperoleh melalui metode sampling, telah dimodelkan menggunakan software AERMOD untuk menganalisis persebaran pencemaran udara, khususnya karbon monoksida (CO). Data ini digunakan untuk menghasilkan pola sebaran angin serta data topografi area, dan dengan menggunakan konsentrasi CO sebagai indikator utama pencemaran, model ini berhasil menunjukkan arah dominan angin yang bertiup ke arah Utara, Timur Laut, Barat, dan Barat Daya, seperti yang terlihat pada windrose udara dari Jalan Raya Darmo.

Selanjutnya, hasil pendistribusian atau dispersi karbon monoksida diilustrasikan melalui visualisasi AERMOD. Pada hari pertama, konsentrasi CO yang terdispersi berkisar dari $0.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga $19.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, menyebar dalam radius sekitar 5 km dari titik emisi. Sementara itu, hasil hari kedua menunjukkan peningkatan dispersi dengan konsentrasi terkecil di $0.926 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan terbesar mencapai $92.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang tersebar hingga radius 7 km. Perbedaan dalam hasil dispersi antara hari pertama dan kedua dapat dijelaskan oleh perubahan dalam faktor-faktor meteorologi dan volume lalu lintas, yang secara signifikan mempengaruhi tingkat dan pola dispersi polutan.



Gambar 10. Windrose udara dari Jalan Raya Darmo
Sumber : Hasil Penelitian, 2023



Gambar 11. Hasil Pendistribusian Udara (Dispersi)
Hari Pertama
Sumber : Hasil Penelitian, 2023



Gambar 12. Hasil Pendistribusian Udara (Dispersi)
Hari Kedua
Sumber : Hasil Penelitian, 2023

3.6. Metode penurunan (manajemen risiko)

Dalam upaya mengendalikan konsentrasi pencemar karbon monoksida (CO) yang melebihi baku mutu $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia no. 22 tahun 2021 [22], beberapa strategi manajemen risiko direkomendasikan. Pertama, perawatan berkala kendaraan bermotor diidentifikasi sebagai kebutuhan penting, mengingat kendaraan bermotor menyumbang sekitar 60% dari pencemaran udara. Pemeliharaan rutin dan pemeriksaan kendaraan, terutama bagi kendaraan yang berumur lebih dari 10 tahun, penting untuk menghindari pembakaran yang tidak sempurna yang menghasilkan CO. Selain itu, pelaksanaan KIR untuk kendaraan yang lebih tua, angkutan umum, dan kendaraan angkutan barang juga ditekankan untuk memastikan bahwa kendaraan tersebut memenuhi standar emisi yang berlaku.

Kedua, implementasi skema ganjil genap di jalan-jalan utama seperti Jl. Raya Darmo di Surabaya diusulkan untuk mengurangi kemacetan dan polusi yang berkontribusi pada tingginya konsentrasi CO. Skema ini membatasi akses kendaraan berdasarkan nomor plat ganjil atau genap sesuai tanggal, yang diharapkan dapat mengurangi volume kendaraan dan mendorong penggunaan transportasi umum. Di sisi lain, audit kualitas udara secara berkala oleh Dinas Lingkungan Hidup juga sangat penting untuk memonitor perubahan kualitas udara dan efektivitas kebijakan yang diterapkan. Audit ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren kualitas udara dan mengambil langkah-langkah korektif secepat mungkin untuk mengatasi masalah polusi udara yang semakin meningkat seiring pertumbuhan populasi dan volume lalu lintas.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di Jalan Raya Darmo, Kota Surabaya, diketahui bahwa nilai konsentrasi karbon monoksida (CO) tertinggi mencapai $13,704 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di depan Masjid Alfalalah dan terendah sebesar $5,224 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di perempatan Jalan Polisi Istimewa (Tugu Monumen Nasional Polisi). Kedua nilai ini melampaui baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, yang menetapkan kandungan udara ambien untuk parameter konsentrasi karbon monoksida

sebesar 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk waktu pengukuran 1 jam. Selain itu, hasil pendistribusian atau dispersi karbon monoksida yang dimodelkan menggunakan software AERMOD menunjukkan dominasi arah angin ke Utara, Timur Laut, Barat, dan Barat Daya, dengan konsentrasi tertinggi pada hari kedua mencapai 92.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan terkecil 0.926 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, menyebar hingga radius 7 km.

Untuk mengatasi tingginya konsentrasi CO dan memenuhi baku mutu, disarankan beberapa skenario manajemen risiko. Ini termasuk perawatan berkala kendaraan bermotor untuk memastikan pembakaran yang efisien dan mengurangi emisi CO, penerapan skema ganjil genap di Jalan Raya Darmo untuk mengurangi volume lalu lintas dan konsekuensinya terhadap polusi udara, serta melakukan audit kualitas udara secara berkala. Audit ini penting untuk memantau perubahan konsentrasi CO dan efektivitas langkah pengendalian yang telah diimplementasikan, sehingga dapat dilakukan penyesuaian kebijakan jika diperlukan untuk menjaga kualitas udara tetap dalam batas yang aman.

5. Referensi

- [1] I. R. M. Anwari, "Sistem Transportasi Darat Perkotaan Surabaya Masa Kolonial 1900-1942," *Mozaik Hum.*, vol. 17, no. 2, pp. 214–237, 2017, [Online]. Available: <https://e-journal.unair.ac.id/MOZAIK/article/view/33853/17139>.
- [2] T. Sumarawati, "Pengaruh Kepadatan Lalu-Lintas Pada Jam Puncak Terhadap Kandungan Gas Karbon Monoksida (CO) Di Jalan Raya Kaligawe Semarang," *Dosen Fak. Tek. dan Fak. Kedokt. Universitas Islam Sultan Agung Semarang*, pp. 1–12, 2016.
- [3] V. V Raming, J. M. L. Umboh, and F. Warouw, "Literature Review: Gambaran Risiko Kesehatan pada Masyarakat akibat Paparan Gas Karbon Monoksida (CO)," *J. Kesmas*, vol. 11, no. 4, pp. 95–101, 2022.
- [4] D. Y. Damara, I. W. Wardhana, and E. Sutrisno, "Analisis Dampak Kualitas Udara Karbon Monoksida (CO) di Sekitar Jl. Pemuda Akibat Kegiatan Car Free Day Menggunakan Program Caline4 dan Surfer (Studi Kasus: Kota Semarang)," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–14, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan>.
- [5] Ismiyati, D. Marlita, and D. Saidah, "Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *J. Manaj. Transp. Logistik*, vol. 1, no. 3, pp. 241–248, 2014, [Online]. Available: <https://journal.itltrisakti.ac.id/index.php/jmtranslog/article/view/23/24>.
- [6] A. Kurniawan, *Dasar-Dasar Analisis Kualitas Lingkungan*. 2019.
- [7] O. E. Sihombing, A. J. Andaria, and K. G. Pascoal, "Kadar Karboksihemoglobin (COHb) Pada Petugas Lalu Lintas Angkutan Jalan (LLAJ) Dinas Perhubungan Kota Manado," *Indones. J. Med. Lab. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 16–22, 2022, [Online]. Available: <http://ejurnal.poltekkes-manado.ac.id>.
- [8] gatot eko Junarto, "penerapan model aermოდ untuk emisi gas buangan PLTU dan analisis risiko lingkungan (studi : PLTU Tonasa,kec.bungoro,kabupaten pangkep)," *Tesis, Sekol. Pascasarj. Univ. HASANUDDIN*, 2021.
- [9] G. A. Setyo and R. E. Handriyono, "Analisis Penyebaran Gas Karbon Monoksida (Co) Dari Sumber Transportasi Di Jalan Raya Kertajaya Indah Surabaya," *ENVITATS (Environmental Engineering Journal ITATS)*, vol. 1, no. 1, pp. 18–26, 2021, doi: 10.31284/j.envitats.2021.v1i1.2176.
- [10] B. Rangga, "Analisis Dispersi Gas Karbon Monoksida (Co) Dari Sumber Transportasi Menggunakan Model METI-LIS," *J. Mhs. Tek. Lingkung. UNTAN*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2014.
- [11] *et al.*, "Prediksi Gas Karbon Monoksida (CO) dari Sumber Kendaraan Bermotor dengan Metode Gaussian Line Source Berbasis Sistem Informasi Geografis," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 9, no. 3, pp. 91–101, 2022, doi: 10.21776/ub.jsal.2022.009.03.2.
- [12] D. H. Octarika and N. Hendrasarie, "Kajian Gas Karbon Monoksida (Co) Kendaraan Bermotor Pada Rencana Jalur Moda Raya Terpadu Surabaya," *Semin. Nas.*, no. 41, pp. 33–43, 2020.
- [13] Titing Reza Fahrissa, "Studi Kualitas Udara (Karbon Monoksida, Sulfur Dioksida dan PM10 dengan Stasiun Pemantau di Kota Surabaya," *Tugas Akhir, Dep. Tek. Lingkung. Fak. Tek. Sipil dan Perenc. Inst. Teknol. Sepuluh Nop. Surabaya*, 2017.
- [14] H. R. Millah, W. Sudiadnyana, K. Aryana, and W. Sali, "Hubungan Faktor Meteorologis Dan Kepadatan Lalu Lintas Dengan Kualitas Udara Di Kota Tabanan," *J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 12, no. 2, pp. 93–98, 2022.
- [15] M. A. Rizaldi, R. Azizah, M. T. Latif, L. Sulistyorini, and B. P. Salindra, "Literature Review: Dampak Paparan Gas Karbon Monoksida Terhadap Kesehatan Masyarakat yang Rentan dan Berisiko Tinggi," *J. Kesehat. Lingkung. Indones.*, vol. 21, no. 3, pp. 253–265, 2022, doi: 10.14710/jkli.21.3.253-265.

- [16] H. Kurniawati, “Pemodelan Pola Penyebaran Pencemar Udara PLTU PT. Kaltim Prima Coal Menggunakan Aermod,” *Tugas Akhir Dep. Tek. Lingkung. Fak. Tek. Sipil Lingkung. dan Kebumihan Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2019.
- [17] T. A. Natsir, Y. Windrianto P, R. Susetyaningsih, K. Setyanto, and R. Dewi, “Simulasi Dampak Pencemaran Udara Karbon Monoksida Di Kota Yogyakarta Akibat Emisis Kendaraan Bermotor (Simulation of Carbon Monoxide Pollution Effect in Yogyakarta City Caused by The Emission of Motor Vehicles),” *J. Mns. dan Lingkung.*, vol. 24, no. 1, pp. 11–16, 2018, doi: 10.22146/jml.23631.
- [18] I. Anjarsari, “Evaluasi Kualitas Udara Karbon Monoksida Akibat Lalu Lintas kendaraan Bermotor di Kampus UIN Sunan Ampel Surabaya,” *Skripsi, Progr. Stud. Tek. Lingkung. Fak. Sains dan Teknol. Univ. Islam Negeri Sunan Ampel Ampel Surabaya*, 2019, [Online]. Available: <http://digilib.uinsa.ac.id/30351/>.
- [19] I. M. Yuliara, “Regresi linier berganda,” *J. Artic. Jur. Fis. Fak. Mat. Dan Ilmu Pengetah. Alam Univ. Udayana*, pp. 1–6, 2016, [Online]. Available: <http://www.mendeley.com/research/regresi-linier-berganda-1/>.
- [20] M. N. L. HIDUP, “Permen LH Nomor 12 Tahun 2010 Pengendalian Pencemaran Udara,” 2010.
- [21] T. Istirokhatun, I. T. Agustini, and S. Sudarno, “Investigasi Pengaruh Kondisi Lalu Lintas Dan Aspek Meteorologi Terhadap Konsentrasi Pencemar So2 Di Kota Semarang,” *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 13, no. 1, pp. 21–27, 2016, doi: 10.14710/presipitasi.v13i1.21-27.
- [22] Pemerintah Republik Indonesia, “Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup,” *Pres. Republik Indones.*, vol. 1, no. 078487A, p. 483, 2021, [Online]. Available: <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>.