

Analisis Konsentrasi Pencemar Udara Karbon Dioksida (CO₂) di Kawasan Industri Kota Cilegon

Cahyani Putri Hidayati^{*1}, Yayat Ruhiat², Yus Rama Denny M³

¹⁻³Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Corresponding Author's e-mail : 2280220004@untirta.ac.id

ARMADA
JURNAL PENELITIAN MULTIDISIPLIN

e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 4, No. 4 April 2026

Page: 223-231

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i4.1971>

Article History:

Received: March 07, 2026

Revised: March 29, 2026

Accepted: April 20, 2026

Abstract : This study aims to analyze carbon dioxide (CO₂) concentrations in the industrial area of Cilegon City, examine their spatial distribution, and identify areas with the highest concentration levels to support effective environmental management. The study employs a quantitative descriptive method with an observational approach based on secondary data obtained from PT Krakatau Sarana Infrastruktur (KSI) and the Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency (BMKG) for the period 2020–2024 in the form of time series data. Data analysis includes descriptive statistics, the Kolmogorov-Smirnov normality test, Spearman correlation analysis, and temporal (time series) analysis to identify patterns and trends in CO₂ concentration. The results indicate that the average CO₂ concentration is 415.675 ppm, with an increasing trend of approximately 2.27% from 2020 to 2024. The correlation analysis reveals that temperature has a moderate and significant positive relationship with CO₂ concentration ($\rho = 0.427$), while other meteorological variables show no significant influence. Furthermore, temporal analysis demonstrates a consistent increase in CO₂ concentrations, indicating the accumulation of emissions in the atmosphere, as well as spatial variability influenced by industrial activities. The findings imply the importance of region-based emission control and the utilization of spatial analysis as a basis for more effective and sustainable air quality management policies.

Keywords : CO₂, Temporal Analysis, Spearman Correlation, Industrial Area

Abstrak : Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di kawasan industri Kota Cilegon, mengkaji distribusi spasialnya, serta mengidentifikasi wilayah dengan tingkat konsentrasi tertinggi guna mendukung pengelolaan lingkungan. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan observasional berbasis data sekunder yang diperoleh dari PT Krakatau Sarana Infrastruktur (KSI) dan BMKG selama periode 2020–2024 dalam bentuk deret waktu (time series). Analisis data meliputi statistik deskriptif, uji normalitas Kolmogorov-Smirnov, uji korelasi Spearman, serta analisis temporal untuk mengidentifikasi pola dan tren perubahan konsentrasi CO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi CO₂ sebesar 415,675 ppm dengan tren peningkatan sebesar ±2,27% dari tahun 2020 hingga 2024. Analisis menunjukkan bahwa suhu memiliki

hubungan positif sedang dan signifikan terhadap konsentrasi CO₂ ($\rho = 0,427$), sedangkan variabel meteorologi lainnya tidak menunjukkan pengaruh signifikan. Selain itu, analisis temporal memperlihatkan adanya peningkatan konsentrasi CO₂ secara konsisten, yang mengindikasikan akumulasi emisi di atmosfer, serta menunjukkan adanya variasi distribusi yang dipengaruhi oleh aktivitas industri. Implikasi penelitian ini menegaskan pentingnya pengendalian emisi berbasis wilayah serta pemanfaatan analisis spasial sebagai dasar dalam pengambilan kebijakan yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam pengelolaan kualitas udara.

Kata Kunci : CO₂, Analisis Temporal, Korelasi Spearman, Kawasan Industri

PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan global yang semakin kompleks seiring dengan meningkatnya aktivitas industri dan urbanisasi. Salah satu gas pencemar yang berkontribusi signifikan terhadap perubahan kualitas udara adalah karbon dioksida (CO₂) (Yulianti *et al.*, 2024). Gas ini dihasilkan dari berbagai aktivitas antropogenik, seperti pembakaran bahan bakar fosil, proses industri, serta aktivitas transportasi. Meskipun secara alami CO₂ merupakan bagian dari siklus karbon, peningkatan konsentrasinya di atmosfer dapat berdampak terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan manusia (Bashir *et al.*, 2024). Oleh karena itu, pemantauan dan analisis konsentrasi CO₂ menjadi penting dalam upaya pengendalian pencemaran udara, khususnya di kawasan industri. Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer merupakan isu utama dalam perubahan iklim global. Konsentrasi CO₂ meningkat dari sekitar 280 ppm pada masa pra-industri menjadi lebih dari 415 ppm pada tahun 2023, dengan kontribusi lebih dari 70% terhadap total emisi gas rumah kaca akibat aktivitas manusia (Maulidina & Maulana, 2022). Kondisi ini berdampak pada peningkatan suhu global serta penurunan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat (Widyawati *et al.*, 2021). Di Indonesia, sektor industri dan energi berbasis bahan bakar fosil menjadi penyumbang utama emisi CO₂, dengan kontribusi sekitar 37% dari total emisi nasional.

Seiring dengan meningkatnya kontribusi sektor industri terhadap emisi karbon, kawasan industri menjadi salah satu titik kritis dalam kajian pencemaran udara, khususnya terkait konsentrasi CO₂ di udara ambien (Akbar & Wibisana, 2024). Aktivitas produksi yang intensif, penggunaan energi berbasis fosil, serta mobilitas transportasi industri yang tinggi menyebabkan peningkatan emisi yang signifikan di wilayah tersebut. Kondisi ini menuntut adanya pemantauan yang lebih terarah dan komprehensif, tidak hanya secara temporal tetapi juga secara spasial, guna mengetahui pola sebaran konsentrasi CO₂ di lingkungan sekitar industri (Azhary, 2021). Sehingga, analisis distribusi spasial konsentrasi CO₂ menjadi penting untuk mengidentifikasi area dengan tingkat pencemaran tinggi serta sebagai dasar dalam perumusan strategi pengendalian emisi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kota Cilegon dikenal sebagai salah satu kawasan industri terbesar di Indonesia yang didominasi oleh sektor industri berat, seperti baja, kimia, dan energi (Agus Mahendra & Juniastra, 2023). Intensitas aktivitas industri yang tinggi di wilayah ini berpotensi meningkatkan emisi gas pencemar, termasuk CO₂, ke udara ambien (Adriana, 2021). Kondisi tersebut diperparah dengan pertumbuhan jumlah kendaraan dan aktivitas pendukung industri lainnya yang turut menyumbang emisi karbon. Permasalahan utama yang muncul adalah belum optimalnya pemetaan distribusi konsentrasi CO₂ secara spasial di kawasan industri Kota Cilegon, sehingga sulit untuk mengidentifikasi area dengan tingkat pencemaran tinggi secara akurat (Suprihatin & Ikhtisholiyah, 2023). Analisis konsentrasi CO₂ secara spasial menjadi sangat penting untuk memahami pola distribusi pencemar udara dan menentukan strategi pengelolaan lingkungan yang

efektif (Asdar & Sri Suryani, 2025). Sehingga, dengan mengetahui sebaran konsentrasi CO₂, pemerintah dan pemangku kepentingan dapat merancang kebijakan berbasis data dalam mengendalikan emisi serta melindungi kesehatan masyarakat. Selain itu, penelitian ini akan memiliki urgensi dalam mendukung pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam pengendalian dampak lingkungan dari aktivitas industri di kawasan perkotaan.

Sejumlah penelitian terdahulu juga telah mengkaji pencemaran udara di kawasan industri menggunakan berbagai pendekatan, seperti pemodelan dispersi, analisis kualitas udara ambien, dan pemanfaatan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG). Zulfan & Zainab (2024) hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kawasan industri memiliki kontribusi signifikan terhadap peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, termasuk CO₂. Sehingga, sebagian besar penelitian masih berfokus pada skala regional atau nasional, serta belum banyak yang mengkaji secara detail distribusi spasial CO₂ pada tingkat kota industri tertentu. Evi Cici Kumala *et al.* (2025) menunjukkan bahwa pada hari kerja, konsentrasi CO₂ puncak terjadi antara pukul 16:00 dan 16:59 WIB, mencapai 424 ppm, sementara konsentrasi terendah tercatat antara pukul 18:00 dan 18:59 WIB sebesar 351 ppm. Pada akhir pekan, konsentrasi puncak adalah 441 ppm antara pukul 16:00 dan 16:59 WIB, sedangkan yang terendah adalah 113 ppm antara pukul 21:00 dan 21:59 WIB. Beberapa hari kerja mencatat konsentrasi CO₂ yang melebihi standar WHO (310–330 ppm), dengan yang tertinggi mencapai 466 ppm. Namun, konsentrasi CO₂ pada hari Kamis dan akhir pekan tetap dalam batas yang dapat diterima. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh aktivitas manusia terhadap peningkatan konsentrasi CO₂, di mana intensitas kegiatan industri dan transportasi pada waktu tertentu berkontribusi terhadap tingginya emisi.

Berdasarkan kajian penelitian sebelumnya, terdapat kesenjangan berupa masih terbatasnya studi yang mengintegrasikan analisis spasial dengan pengukuran langsung konsentrasi CO₂ di kawasan industri lokal, khususnya di Kota Cilegon. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui penggunaan pendekatan analisis spasial berbasis data lapangan untuk memetakan distribusi konsentrasi CO₂ secara lebih rinci. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis konsentrasi CO₂ di kawasan industri Kota Cilegon, mengkaji distribusi spasialnya, serta mengidentifikasi wilayah dengan tingkat konsentrasi tertinggi guna memberikan rekomendasi pengelolaan lingkungan yang dapat mendukung pengambilan kebijakan yang lebih efektif dalam pengendalian pencemaran udara.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan observasional berbasis data sekunder untuk menganalisis konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di kawasan industri Kota Cilegon (Franklin, 2022). Data yang digunakan diperoleh dari PT Krakatau Sarana Infrastruktur (KSI) dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) selama periode 2020–2024 dalam bentuk data bulanan yang tersusun sebagai deret waktu (*time series*). Variabel utama dalam penelitian ini adalah konsentrasi CO₂, sedangkan variabel pendukung meliputi parameter meteorologi, yaitu suhu udara, kelembapan udara, tekanan udara, dan kecepatan angin yang diduga memengaruhi variasi konsentrasi CO₂ di atmosfer. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi dan studi kepustakaan, dengan mengumpulkan data hasil pemantauan kualitas udara ambien serta data meteorologi dari instansi terkait (Abad-Segura *et al.*, 2022). Seluruh data yang diperoleh telah melalui proses seleksi dan validasi untuk memastikan kelengkapan, konsistensi, dan keandalan data sebelum dianalisis lebih lanjut.

Prosedur analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu analisis statistik deskriptif, uji normalitas, uji korelasi Spearman, serta analisis temporal (*time series*) (Barella *et al.*, 2024). Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik dan distribusi data konsentrasi CO₂ serta parameter meteorologi. Uji normalitas dilakukan sebagai dasar dalam menentukan metode analisis yang sesuai, sementara uji korelasi Spearman digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara konsentrasi CO₂ dengan variabel meteorologi karena sebagian data tidak berdistribusi normal. Selanjutnya, analisis temporal dilakukan untuk mengkaji tren dan pola perubahan konsentrasi CO₂ dari waktu ke waktu. Melalui tahapan ini, penelitian diharapkan

mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai dinamika konsentrasi CO₂ serta faktor-faktor yang memengaruhinya di kawasan industri Kota Cilegon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam mengkaji konsentrasi pencemar udara karbon dioksida (CO₂) di kawasan industri Kota Cilegon, penting untuk memahami karakteristik wilayah tersebut sebagai salah satu pusat industri utama di Indonesia dengan tingkat aktivitas industri yang tinggi. Kota Cilegon didominasi oleh industri berat seperti baja, kimia, dan energi yang berpotensi menghasilkan emisi gas buang dalam jumlah besar, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan pencemaran udara. Selain itu, tingginya mobilitas transportasi dan aktivitas pendukung industri turut memperparah kondisi kualitas udara di wilayah ini. Oleh karena itu, hasil penelitian ini akan menyajikan gambaran kondisi aktual konsentrasi CO₂, pola distribusinya, serta keterkaitannya dengan faktor meteorologi, sehingga dapat memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai tingkat pencemaran udara di kawasan industri Kota Cilegon. Adapun analisis statistik yang digunakan oleh peneliti untuk memberikan gambaran umum mengenai karakteristik data penelitian selama periode 2020–2024, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Data Analisis Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) Kota Cilegon (2020-2024)

Variabel	Rata-Rata	Maksimum	Minimum	Standar Deviasi
CO ₂ (ppm)	415,675	424,8	406,4	4,23799
Suhu (°C)	27,9833	29,1	27,3	0,46292
Kelembapan (%)	77,1833	90	63	5,82947
Tekanan Udara (hPa)	1008,55	1013,1	991	2,94845
Kecepatan Angin (m/s)	3,98167	7,3	1,9	1,35815

Berdasarkan Tabel 1, hasil analisis statistik deskriptif menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi CO₂ di Kota Cilegon selama periode 2020–2024 sebesar 415,675 ppm dengan nilai maksimum 424,8 ppm dan minimum 406,4 ppm, yang mengindikasikan bahwa konsentrasi CO₂ cenderung berada pada tingkat relatif tinggi dengan fluktuasi yang tidak terlalu besar (standar deviasi 4,23799). Kondisi ini mencerminkan adanya tekanan emisi yang cukup konsisten di kawasan industri. Sementara itu, parameter meteorologi seperti suhu udara memiliki variasi yang kecil (rata-rata 27,98°C dengan standar deviasi 0,46292), menunjukkan kondisi suhu yang relatif stabil. Kelembapan udara memiliki rentang yang cukup lebar (63%–90%) dengan standar deviasi 5,82947, yang menandakan adanya variasi kondisi atmosfer yang dapat memengaruhi dispersi gas. Tekanan udara juga menunjukkan variasi moderat, sedangkan kecepatan angin memiliki fluktuasi yang cukup signifikan (standar deviasi 1,35815), yang berperan penting dalam proses penyebaran dan pengenceran konsentrasi CO₂ di udara. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa meskipun kondisi meteorologi relatif stabil, variasi tertentu seperti kelembapan dan kecepatan angin dapat memengaruhi dinamika konsentrasi CO₂ di kawasan industri Kota Cilegon. Adapun hasil rata-rata CO₂ kota Cilegon per-Tahun, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Konsentrasi CO₂ per-Tahun

Tahun	Rata-rata CO ₂ (ppm)
2020	412,3

2021	412,608
2022	414,117
2023	417,7
2024	421,65

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata konsentrasi CO₂ di Kota Cilegon menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dari tahun 2020 hingga 2024. Pada tahun 2020, konsentrasi CO₂ tercatat sebesar 412,3 ppm dan relatif stabil pada tahun 2021 (412,608 ppm), kemudian mulai mengalami peningkatan pada tahun 2022 (414,117 ppm), hingga meningkat lebih signifikan pada tahun 2023 (417,7 ppm) dan mencapai nilai tertinggi pada tahun 2024 sebesar 421,65 ppm. Kenaikan bertahap ini mengindikasikan adanya peningkatan emisi karbon dioksida yang kemungkinan dipengaruhi oleh pertumbuhan aktivitas industri, konsumsi energi berbasis fosil, serta peningkatan mobilitas di kawasan tersebut. Tren ini juga menunjukkan adanya potensi penurunan kualitas udara secara bertahap, sehingga diperlukan upaya pengendalian emisi yang lebih efektif untuk mencegah dampak yang lebih luas terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Secara keseluruhan, data pada Tabel 2 menunjukkan adanya tren peningkatan konsentrasi CO₂ yang bersifat kontinu selama periode 2020-2024. Tren ini mengindikasikan bahwa emisi karbon dioksida (CO₂) di kawasan industri Kota Cilegon cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Peningkatan ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, seperti peningkatan aktivitas industri, penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil, serta kondisi meteorologi yang memengaruhi proses dispersi dan akumulasi gas di atmosfer. Adapun uji normalitas dari hasil yang didapat seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas Data

Variabel	Statistik Uji (Kolmogorov-Smirnov)	P-Value	Keterangan
Karbon Dioksida	0.133	< 0.010	Tidak Normal
Suhu	0.102	0.119	Normal
Kelembapan	0.131	0.012	Tidak Normal
Tekanan Udara	0.299	< 0.010	Tidak Normal
Kecepatan Angin	0.175	< 0.010	Tidak Normal

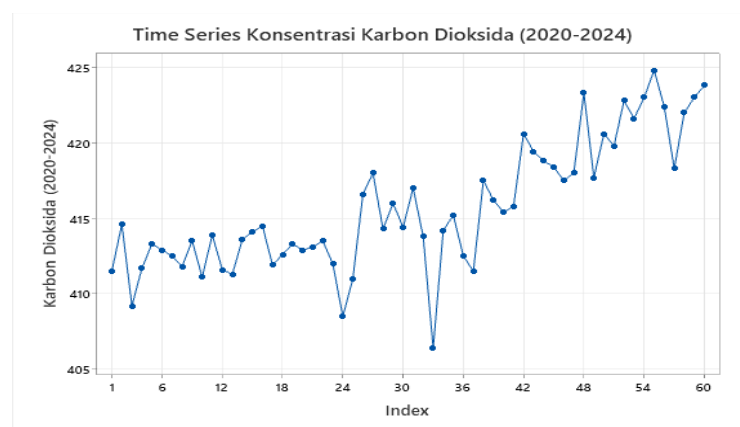
Berdasarkan Tabel 3, hasil uji normalitas menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov menunjukkan bahwa tidak semua variabel dalam penelitian ini berdistribusi normal. Variabel karbon dioksida (CO₂), kelembapan, tekanan udara, dan kecepatan angin memiliki nilai p-value < 0,05, sehingga dinyatakan tidak berdistribusi normal. Sebaliknya, hanya variabel suhu yang memiliki nilai p-value sebesar 0,119 (> 0,05), sehingga dapat dikategorikan berdistribusi normal. Hasil ini mengindikasikan bahwa sebagian besar data tidak memenuhi asumsi normalitas, sehingga analisis statistik lanjutan yang digunakan harus menyesuaikan dengan kondisi tersebut, yaitu menggunakan metode non-parametrik seperti uji korelasi Spearman. Dengan demikian, pemilihan metode analisis dalam penelitian ini telah sesuai dengan karakteristik distribusi data yang diperoleh. Adapun Hasil Uji Korelasi Spearman Antara CO₂ Dengan Faktor Meteorologi, seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Korelasi Spearman Antara CO₂ dengan Faktor Meteorologi

Variabel	Koefisien Korelasi (ρ)	P- Value	Kekuatan Hubungan	Arah Hubungan	Keterangan
----------	----------------------------------	-------------	----------------------	------------------	------------

Suhu – CO ₂	0.427	0.001	Sedang	Positif	Signifikan
Kelembapan – CO ₂	-0.064	0.626	Sangat Lemah	Negatif	Tidak Signifikan
Tekanan Udara – CO ₂	-0.067	0.613	Sangat Lemah	Negatif	Tidak Signifikan
Kecepatan Angin – CO ₂	-0.227	0.081	Lemah	Negatif	Tidak Signifikan

Berdasarkan Tabel 4, hasil uji korelasi Spearman menunjukkan bahwa suhu memiliki hubungan positif dengan konsentrasi CO₂ dengan koefisien korelasi sebesar 0,427 dan nilai p-value 0,001 (<0,05), yang berarti hubungan tersebut bersifat sedang dan signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan suhu cenderung diikuti oleh peningkatan konsentrasi CO₂ di udara. Sementara itu, kelembapan, tekanan udara, dan kecepatan angin menunjukkan hubungan negatif terhadap CO₂, namun dengan kekuatan yang sangat lemah hingga lemah serta tidak signifikan secara statistik (p-value >0,05). Artinya, ketiga variabel tersebut tidak memiliki pengaruh yang berarti terhadap variasi konsentrasi CO₂ dalam penelitian ini. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa faktor meteorologi yang paling berperan terhadap perubahan konsentrasi CO₂ di Kota Cilegon adalah suhu udara, sedangkan faktor lainnya cenderung tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Temuan ini sejalan dengan karakteristik kawasan industri yang memiliki sumber emisi intensif dan relatif konstan, sehingga pengaruh faktor lingkungan menjadi kurang dominan dalam menentukan konsentrasi gas di atmosfer, seperti hasil analisis temporal (time series) konsentrasi CO₂, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik *Time Series* Konsentrasi CO₂ Periode Tahun 2020-2024

Hasil analisis temporal berdasarkan data deret waktu (time series) periode 2020–2024 menunjukkan adanya tren peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) secara bertahap dan konsisten. Nilai konsentrasi CO₂ berada pada kisaran 406,4 ppm hingga 424,8 ppm, dengan fluktuasi yang terjadi pada setiap bulan, namun tetap menunjukkan kecenderungan meningkat dalam jangka panjang. Pada periode awal (2020–2021), konsentrasi CO₂ relatif stabil dengan nilai berkisar antara 409–414 ppm. Fluktuasi yang terjadi pada periode ini cenderung kecil, yang mengindikasikan kondisi emisi dan proses dispersi atmosfer yang masih relatif seimbang. Memasuki tahun 2022, mulai terlihat adanya peningkatan konsentrasi dengan nilai yang mencapai kisaran 416–418 ppm, meskipun masih disertai fluktuasi yang cukup signifikan, termasuk penurunan ekstrem pada satu periode hingga 406,4 ppm. Selanjutnya, pada periode 2023–2024 terjadi peningkatan yang lebih jelas dan konsisten, di mana sebagian besar nilai konsentrasi berada

di atas 418 ppm dan mencapai puncaknya sebesar 424,8 ppm. Selain itu, fluktuasi yang terjadi pada periode ini cenderung berada pada level yang lebih tinggi dibandingkan tahun-tahun sebelumnya, yang menunjukkan adanya pergeseran baseline konsentrasi CO₂ ke nilai yang lebih besar.

Secara kuantitatif, rata-rata konsentrasi CO₂ meningkat dari 412,3 ppm pada tahun 2020 menjadi 421,65 ppm pada tahun 2024. Peningkatan ini menunjukkan adanya tren jangka panjang yang bersifat kontinu dan progresif, yang mengindikasikan terjadinya akumulasi CO₂ di atmosfer. Fenomena ini menunjukkan bahwa laju emisi CO₂ di kawasan industri Kota Cilegon lebih besar dibandingkan dengan kemampuan lingkungan dalam melakukan proses penyerapan dan dispersi. Dalam perspektif teori siklus karbon, kondisi ini mencerminkan adanya ketidakseimbangan antara sumber emisi (source) dan penyerap (sink), sehingga menyebabkan peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer secara bertahap. Selain itu, pola peningkatan yang semakin tajam pada periode akhir penelitian mengindikasikan adanya kemungkinan peningkatan aktivitas antropogenik, khususnya dari sektor industri dan penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil. Aktivitas produksi industri, pembakaran energi, serta mobilitas kendaraan di kawasan industri berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO₂ secara signifikan. Sehingga, hasil analisis temporal ini menegaskan bahwa konsentrasi CO₂ di kawasan industri Kota Cilegon tidak hanya mengalami fluktuasi jangka pendek, tetapi juga menunjukkan tren peningkatan jangka panjang yang konsisten. Hal ini menunjukkan adanya tekanan lingkungan yang semakin meningkat akibat aktivitas industri serta perlunya upaya pengendalian emisi secara berkelanjutan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi CO₂ di kawasan industri Kota Cilegon berada pada tingkat relatif tinggi dengan rata-rata 415,675 ppm serta menunjukkan tren peningkatan yang konsisten selama periode 2020–2024. Siti Rochmah & Taharuddin, (2024) mengindikasikan adanya tekanan emisi yang terus meningkat akibat aktivitas industri, penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil, serta tingginya mobilitas transportasi. Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian Prasetyo & Windarta (2022) menyatakan bahwa kawasan industri memiliki kontribusi signifikan terhadap peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, khususnya CO₂. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa sektor industri dan energi menjadi penyumbang utama emisi CO₂ di Indonesia. Sehingga, tren peningkatan CO₂ di Kota Cilegon mencerminkan kondisi umum kawasan industri dengan intensitas emisi yang tinggi.

Selanjutnya, hasil uji korelasi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa faktor meteorologi yang memiliki hubungan signifikan terhadap konsentrasi CO₂ hanya suhu udara, dengan kekuatan hubungan sedang dan arah positif, sedangkan kelembapan, tekanan udara, dan kecepatan angin tidak menunjukkan hubungan yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan suhu dapat memperkuat akumulasi CO₂ di atmosfer, sementara faktor meteorologi lainnya cenderung tidak dominan dalam kondisi kawasan industri dengan emisi yang relatif konstan. Temuan ini didukung oleh penelitian Choo *et al.* (2023) menyatakan bahwa suhu memiliki pengaruh terhadap dinamika konsentrasi gas di atmosfer melalui proses pemanasan dan peningkatan aktivitas emisi. Selain itu, penelitian Škáčová (2024) menunjukkan bahwa hubungan antara variabel meteorologi dan polutan udara seringkali lemah di kawasan dengan sumber emisi yang dominan. Sedangkan hasil analisis temporal (time series) memperlihatkan adanya tren peningkatan konsentrasi CO₂ secara bertahap dan konsisten, yang menunjukkan terjadinya akumulasi gas di atmosfer akibat ketidakseimbangan antara sumber emisi (source) dan daya serap lingkungan (sink). Peningkatan dari 412,3 ppm pada tahun 2020 menjadi 421,65 ppm pada tahun 2024 mengindikasikan bahwa laju emisi lebih besar dibandingkan kemampuan lingkungan dalam melakukan dispersi dan penyerapan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya upaya pengendalian

emisi secara berkelanjutan guna menekan laju peningkatan konsentrasi CO₂ di kawasan industri Kota Cilegon.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di kawasan industri Kota Cilegon selama periode 2020–2024 menunjukkan tren peningkatan sebesar $\pm 2,27\%$, yaitu dari 412,3 ppm pada tahun 2020 menjadi 421,65 ppm pada tahun 2024. Rata-rata konsentrasi CO₂ tercatat sebesar 415,675 ppm dengan fluktuasi relatif kecil, yang mengindikasikan akumulasi emisi yang konsisten di atmosfer. Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa suhu memiliki hubungan positif sedang dan signifikan terhadap konsentrasi CO₂ ($\rho = 0,427$), yang dapat diinterpretasikan memiliki kontribusi pengaruh sekitar 18,23% ($\rho^2 \times 100\%$), sedangkan kelembapan, tekanan udara, dan kecepatan angin memiliki hubungan yang sangat lemah hingga lemah (<6%) dan tidak signifikan. Secara keseluruhan, hasil analisis temporal menegaskan adanya peningkatan jangka panjang konsentrasi CO₂ yang mencerminkan dominasi aktivitas antropogenik serta ketidakseimbangan antara sumber emisi dan daya serap lingkungan di kawasan industri Kota Cilegon.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis yang lebih komprehensif dengan menambahkan variabel lain yang berpotensi memengaruhi konsentrasi CO₂, seperti tingkat aktivitas industri, volume lalu lintas, serta penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil. Selain itu, penggunaan data dengan resolusi waktu yang lebih detail (harian atau jam-an) serta integrasi metode analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat memberikan gambaran distribusi pencemar yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMAKASI

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya sehingga penelitian berjudul “*Analisis Konsentrasi Pencemar Udara Karbon Dioksida (CO₂) di Kawasan Industri Kota Cilegon*” ini dapat diselesaikan, serta kepada dosen pembimbing, pihak kawasan industri Kota Cilegon yang telah membantu dalam proses pengumpulan data, dan keluarga serta rekan-rekan yang telah memberikan dukungan, doa, dan motivasi; penulis juga menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki kekurangan sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan, serta semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang lingkungan dan kualitas udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Abad-Segura, E., Daniela, G. Z. M., & Eloy, L. M. (2022). Analysis of research on decision making-based on quantitative methods. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.5135>
- Adriana. (2021). *Analisis kualitas udara serta keluhan pernapasan pada pemulung di sekitar TPA Tamangapa Kota Makassar* (Skripsi, Universitas Hasanuddin).
- Agus Mahendra, I. M., & Juniastra, I. M. (2023). Strategi perencanaan kawasan industri dalam tata ruang perkotaan. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*. <https://doi.org/10.47532/jiv.v6i1.793>
- Akbar, I., & Wibisana, H. (2024). Analisis polusi karbon monoksida pada jam kerja di Jalan Pahlawan–Jalan Raya Legundi Sidoarjo. *Extrapolasi*. <https://doi.org/10.30996/ep.v21i02.9135>
- Asdar, M. P. I., & Suryani, S. (2025). Analisis konsentrasi karbon monoksida (CO) di Kota Makassar periode 2019–2023. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*.

<https://doi.org/10.24252/jft.v12i1.56832>

- Azhary, M. H. (2021). *Analisis pengaruh temperatur udara, kelembaban relatif, dan kecepatan angin terhadap konsentrasi CO di udara ambien menggunakan metode regresi linier berganda* (Skripsi, Universitas Brawijaya).
- Barella, Y., Fergina, A., Mustami, M. K., Rahman, U., & Alajaili, H. M. A. (2024). Quantitative methods in scientific research. *Jurnal Pendidikan Sosiologi dan Humaniora*. <https://doi.org/10.26418/j-psh.v15i1.71528>
- Bashir, A., Ali, M., Patil, S., Aljawad, M. S., Mahmoud, M., Al-Shehri, D., Hoteit, H., & Kamal, M. S. (2024). Comprehensive review of CO₂ geological storage: Exploring principles, mechanisms, and prospects. *Earth-Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104672>
- Choo, E. L. W., Janhavi, A., Koo, J. R., Yim, S. H. L., Dickens, B. L., & Lim, J. T. (2023). Association between ambient air pollutants and upper respiratory tract infection and pneumonia disease burden in Thailand from 2000 to 2022: A high-frequency ecological analysis. *BMC Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.1186/s12879-023-08185-0>
- Evi Cici Kumala, M., Mulyanti, H., & Purwaningrum, S. I. (2025). Analisis konsentrasi CO₂ di kawasan pasar wisata Bojonegoro. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*. <https://doi.org/10.55241/spibio.v6i2.553>
- Franklin, R. (2022). Quantitative methods I: Reckoning with uncertainty. *Progress in Human Geography*. <https://doi.org/10.1177/03091325211063635>
- Maulidina, W., & Maulana, I. (2022). Pengaruh gross domestic product (GDP) terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) dan forest area di tiga negara ASEAN. *Masyrif: Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Manajemen*. <https://doi.org/10.28944/masyrif.v3i2.828>
- Maulidan Wahyu Andriansyah, M. Z., & Zainab, S. (2024). Analisis korelasi dan pemetaan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) terhadap suhu udara di Kabupaten Gresik. *Reslaj: Religion Education Social Laa Roiba Journal*. <https://doi.org/10.47467/reslaj.v6i12.4777>
- Prasetyo, A. W., & Windarta, J. (2022). Pemanfaatan teknologi carbon capture storage (CCS) dalam upaya mendukung produksi energi yang berkelanjutan. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.14509>
- Rochmah, S., & Taharuddin. (2024). Pengaruh carbon emission disclosure, green innovation, financial performance terhadap firm value dimediasi oleh sustainability report pada perusahaan sektor energi yang terdaftar di BEI periode 2019–2022. *Jurnal Bisnis dan Pembangunan*. <https://doi.org/10.20527/jbp.1313i3.48>
- Škáčová, H. (2024). Influence of meteorological factors on concentrations of selected air pollutants. *Meteorologické Zprávy*. <https://doi.org/10.59984/mz.2024.04.03>
- Suprihatin, H., & Ikhtisholiyah. (2023). Studi kualitas udara ambien di Jalan Raya Industri Surabaya Industrial Estate Rungkut (SIER). *Seminar Nasional Teknik Sipil*.
- Widyawati, R. F., Hariani, E., Ginting, A. L., & Nainggolan, E. (2021). Pengaruh pertumbuhan ekonomi, populasi penduduk kota, keterbukaan perdagangan internasional terhadap emisi gas karbon dioksida (CO₂) di negara ASEAN. *Jambura Agribusiness Journal*. <https://doi.org/10.37046/jaj.v3i1.11193>
- Yulianti, D., Simbolon, V. A., & Kurnia, R. (2024). Pencemaran udara di sekitarnya: Analysis of the presence of TPA Ganet in Tanjungpinang City against air pollution in the vicinity. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*.