

Identifikasi Kadar Karbondioksida sebagai Indikator Pemanasan Global berdasarkan Data *Global Atmosphere Watch (GAW) Bukit Kototabang*

Menty Judika Simanjuntak^(1,a), Lizalidiawati^(2,b*), Angeli Silaban^(1,c),
Tiara Sesilia^(1,d) dan Septi Johan^(1,e)

⁽¹⁾Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu, Indonesia, 38371

Email : ^(a)mentysimanjuntak283@gmail.com, ^(b*)lizalidiawati@unib.ac.id

^(c)angelisilaban7@gmail.com, ^(d)tiarasesilia2@gmail.com, ^(e)septi_johan15@unib.ac.id

Diterima (19 Februari 2025), Direvisi (23 Mei 2025)

Abstract. *Global warming is a pressing environmental issue, mainly due to the increasing levels of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere which strengthens the greenhouse effect. Global warming is a phenomenon that is of significant concern because human activities such as the burning of fossil fuels and deforestation continue to increase CO₂ emissions. This study aims to identify CO₂ levels as an indicator of global warming in the last five years (2019–2023). The research data were obtained from the Bukit Kotatabang Global Atmosphere Watch (GAW) Station, including CO₂, SO₂, NO₂, and average monthly air temperature. The data were analyzed using descriptive and quantitative methods. The results of the study showed an increasing trend in CO₂ levels over 5 years (2019–2023) mainly due to human activities. CO₂ levels tend to be higher during the rainy season at the end to the beginning of the year with an average of 423.01 ppm compared to the summer season (May–July) which only reached 419.49 ppm. Other gases such as SO₂ and NO₂ also showed the same thing. In the rainy season (Jan–Feb) SO₂ increased to an average of 4.79 ppb and NO₂ reached 0.26 ppb. Regression analysis showed that air temperature, SO₂, and NO₂ had a relatively small effect on CO₂ levels, with determination coefficients of 2.66%, 2.27%, and 3.36%, respectively. The results of this study state that increasing CO₂ levels in the atmosphere are closely related to global warming and environmental change, so mitigation efforts are needed to reduce greenhouse gas emissions at the Bukit Tinggi GAW Station.*

Keywords: Carbon dioxide; Global warming; GAW Bukit Kotatabang Station

Abstrak. Pemanasan global adalah isu lingkungan yang mendesak, terutama akibat peningkatan kadar karbon dioksida (CO₂) di atmosfer yang memperkuat efek rumah kaca. Pemanasan global merupakan fenomena yang menjadiperhatian penting karena aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi terus meningkatkan emisi CO₂. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kadar CO₂ sebagai indikator pemanasan global dalam kurun waktu lima tahun terakhir (2019–2023). Data penelitian diperoleh dari Stasiun Global Atmosphere Watch (GAW) Bukit Kotatabang, meliputi CO₂, SO₂, NO₂, dan suhu udara rata-rata bulanan. Data tersebut dianalisis menggunakan metode deskriptif dan kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan tren peningkatan kadar CO₂ selama 5 tahun (2019–2023) terutama akibat aktivitas manusia. Kadar CO₂ cenderung lebih tinggi selama musim hujan pada akhir hingga awal tahun dengan rata-rata 423,01 ppm dibandingkan saat musim panas (Mei–Juli) hanya mencapai 419,49 ppm. Gas lain seperti SO₂ dan NO₂ juga menunjukkan hal yang sama. Pada musim hujan (Jan–Feb) SO₂ meningkat mencapai rata-rata 4,79 ppb dan NO₂ mencapai 0,26 ppb. Analisis regresi menunjukkan bahwa suhu udara, SO₂, dan NO₂ memiliki pengaruh yang relatif kecil terhadap kadar CO₂, dengan koefisien determinasi masing-masing sebesar 2,66%, 2,27%, dan 3,36%. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa peningkatan kadar CO₂ di atmosfer berkaitan erat dengan pemanasan global dan perubahan lingkungan, sehingga diperlukan upaya mitigasi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca di Stasiun GAW Bukit Tinggi.

Kata kunci: Karbondioksida; Pemanasan Global; Stasiun GAW Bukit Kotatabang

PENDAHULUAN

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang (*Global Atmospheric Watch*) terletak di Pulau Sumatera, Indonesia dengan koordinat $0^{\circ} 12' 07''$ LS – $100^{\circ} 19' 05''$ BT. Stasiun ini merupakan bagian dari sistem pemantauan dan penelitian yang dikoordinasikan oleh Organisasi Meteorologi Dunia (WMO). Perubahan pada komponen udara dapat mempengaruhi kualitas udara yang berkontribusi terhadap polusi, yang pada akhirnya menjadi salah satu isu utama saat ini yaitu pemanasan global [1]. Peningkatan suhu permukaan bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia dikenal sebagai pemanasan global memiliki dampak luas terhadap perubahan iklim global. Istilah umum yang digunakan untuk menjelaskan fenomena ini adalah efek rumah kaca (*green house effect*) [2]. Peningkatan konsentrasi gas berbahaya di atmosfer memicu efek rumah kaca, yang menyebabkan panas matahari terperangkap dan mengakibatkan kenaikan suhu permukaan bumi. Perubahan suhu ini berdampak langsung pada lingkungan dan menimbulkan ancaman serius bagi kelasungan hidup seluruh ekosistem di dalamnya [3].

Perubahan iklim menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat serta musim kemarau yang berlangsung lebih lama [4]. Gas rumah kaca merupakan pendorong dominan peningkatan frekuensi, intensitas dan durasi cuaca ekstrem panas. Diperkirakan bahwa efek rumah kaca telah menyebabkan kenaikan suhu rata-rata global sebesar 1 hingga 5°C [5]. Oleh karena itu, kualitas udara sangat penting karena berpengaruh pada aktivitas manusia, kehidupan makhluk hidup, dan ekosistem lainnya [6]. Gas rumah kaca yang semula berfungsi untuk menghangatkan bumi dengan cara mengumpulkan energi dan mencegahnya keluar dari atmosfer serta jumlahnya yang meningkat sehingga menyebabkan perubahan kondisi dari komposisi serta keadaan atmosfer [7].

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca dapat meningkatkan efek rumah kaca, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pemanasan global [8]. Pemanasan global merupakan isu lingkungan yang mendesak, terutama disebabkan oleh peningkatan kadar karbon dioksida (CO_2) di atmosfer semakin memperkuat efek rumah kaca. Peningkatan kadar CO_2 membuat atmosfer semakin efektif dalam menyerap gelombang panas yang dipantulkan dari permukaan bumi. Selain itu, karbon dioksida dan gas lainnya di atmosfer turut berperan dalam menahan pelepasan energi yang dipancarkan kembali.

Banyaknya karbon dioksida di udara menjadi faktor penyebab terjadinya pemanasan global. Namun, karbondioksida dibutuhkan oleh tanaman sebagai bahan utama dalam proses fotosintesis. Tetapi akibat menipisnya hutan dan lahan hijau, tingkat karbon dioksida di atmosfer menjadi terkendali [9]. Di Stasiun GAW Bukit Tinggi, fenomena ini menjadi fokus utama karena aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi, terus memberikan peningkatan emisi CO_2 . Jika aktivitas tersebut terus berlanjut, pemanasan global akan semakin meningkat, yang pada akhirnya menyebabkan kenaikan suhu bumi [10]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kadar CO_2 sebagai indikator pemanasan global dalam kurun waktu lima tahun terakhir (2019–2023). Penelitian ini dilakukan untuk mengisi kekosongan data, memahami tren emisi gas rumah kaca selama lima tahun terakhir, dan mengidentifikasi dampaknya terhadap suhu serta kualitas udara.

METODE PENELITIAN

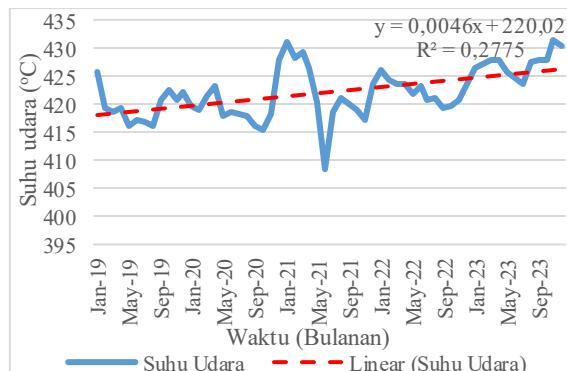
Lokasi untuk penelitian ini berada di Stasiun GAW Bukit Tinggi yang diwakili oleh Stasiun *Global Atmosphere Watch* (GAW) Bukit Kotatabang, Sumatra Barat. Dengan data yang digunakan berupa data

sekunder yang diperoleh dari Stasiun *Global Atmosphere Watch* (GAW). Data ini berupa data suhu udara, karbondioksida (CO_2), sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2) yang merupakan data bulanan dan diperoleh dari tahun 2019 hingga tahun 2023 dari Stasiun GAW Bukit Kotatabang.

Data dianalisis dengan metode kuantitatif menggunakan software *Microsoft Excel* dan menganalisis data tersebut dengan fungsi LINEST. Data tersebut divisualisasikan dalam bentuk grafik *time series* untuk melihat tren perubahan kadar Suhu Udara, CO_2 , SO_2 , dan NO_2 dari tahun 2019 sampai 2023. Untuk melihat apakah ada korelasi atau hubungan antara kadar suhu udara, CO_2 , SO_2 , dan NO_2 data tersebut dianalisis menggunakan regresi linier sederhana.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu Udara



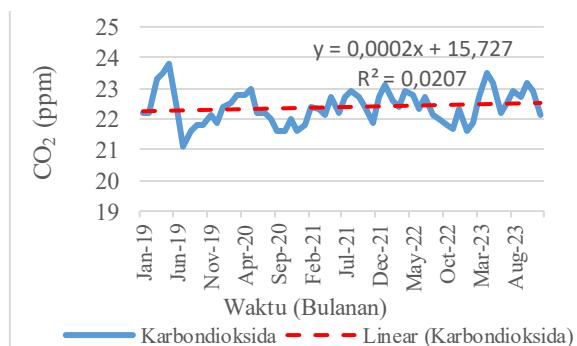
Gambar 1. Grafik Trend Suhu Udara (garis merah) 5 tahun Terakhir (2019-2023) di Stasiun GAW Kotatabang

Gambar 1 menunjukkan perubahan suhu udara dalam lima tahun terakhir (2019-2023) di Stasiun GAW Bukit Kotatabang rata-rata bulanan (Januari-Desember) yang berkisar antara 20°C hingga 23,8°C. Variasi suhu udara dari bulan ke bulan serta antar tahun mengindikasikan adanya tren peningkatan suhu udara yang dapat dijadikan sebagai indikator pemanasan global [11].

Pada bulan Mei dari 2019 hingga 2023 menunjukkan bahwa suhu udara cenderung mengalami peningkatan, dengan puncak tertinggi pada Mei 2019 sebesar 23,8°C. Sebaliknya, pada bulan Juli dari 2019 hingga 2023 di Stasiun GAW Bukit Kotatabang mengalami penurunan suhu dengan suhu terendah sebesar 21,1°C. Perubahan iklim global dapat menyebabkan pergeseran pola ini, di mana suhu minimum pun dapat meningkat akibat efek retensi panas yang disebabkan oleh gas rumah kaca.

Suhu udara yang lebih tinggi pada bulan musim kemarau ini juga dipengaruhi oleh pemanasan global yang memperpanjang dan memperkuat periode panas di Stasiun GAW Bukit Kotatabang. Banyaknya aktivitas transportasi dan industri yang melepaskan gas karbondioksidanya menjadi faktor yang mendorong peningkatan suhu udara di Stasiun GAW Bukit Kotatabang. Dengan demikian, meningkatnya aktivitas penduduk dan jumlah kendaraan akan berkontribusi pada tingginya tingkat polusi udara di wilayah tersebut [12]. Hal ini sesuai dengan penelitian [13] yang menyatakan bahwa gas karbon dioksida mampu menyerap serta memantulkan gelombang radiasi yang dipancarkan oleh bumi, sehingga menahan panas di permukaan dan menyebabkan peningkatan suhu rata-rata tahunan secara berkelanjutan. Hal ini juga bisa dilihat pada **Gambar 1** dimana dalam lima tahun kadar karbondioksida jika dilihat dari *trendline* mengalami kenaikan dari tahun ke tahun.

Karbondioksida



Gambar 2 Grafik Trend Karbodioksida (garis merah) 5 tahun Terakhir (2019-2023) di Stasiun GAW Bukit Kotatabang

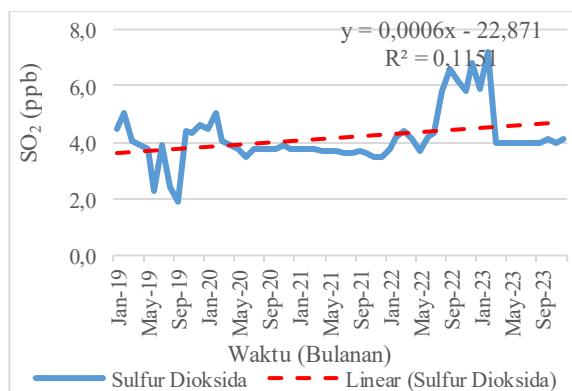
Kadar karbondioksidanya bulanan dari 2019 hingga 2023 menunjukkan pola kenaikan dari tahun ke tahun secara konsisten seperti yang terdapat pada Gambar 2, yang berkaitan dengan pemanasan global. Peningkatan kadar karbondioksida dapat disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil yang dilakukan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan energi, aktivitas industri dan deforestasi. Selain itu kendaraan merupakan salah satu sumber emisi CO₂ karena bensin dan solar di mesin kendaraan dapat menghasilkan gas karbon dioksida. Karbondioksida lebih banyak dimasukkan ke atmosfer daripada yang dapat diserap oleh penyerap alami sehingga jumlah total karbon dioksida di atmosfer meningkat setiap tahun.

Nilai CO₂ tidak sama setiap bulannya. Biasanya, kadar karbondioksida lebih rendah pada musim panas (Mei-Juli) karena meningkatnya aktivitas fotosintesis tumbuhan yang menyerap CO₂ dalam jumlah besar. Sebaliknya, pada musim dingin (Oktober-Desember), kadar CO₂ meningkat akibat menurunnya aktivitas penyerapan oleh tumbuhan [14]. Pada tahun 2019 kadar karbondioksida sekitar 425,8 ppm di bulan Januari dan sedikit turun hingga Agustus. Tetapi mulai meningkat lagi pada bulan September hingga Desember. Pada tahun

2021 bulan Januari hingga Mei kadar karbondioksida meningkat dengan konsisten, tetapi pada bulan Juni kadar karbondioksida menurun dengan pesat hingga mencapai 408,4 ppm dan meningkat lagi di bulan Juli hingga tahun 2022 dimana penghentian aktivitas manusia yang cukup besar selama pandemi COVID-19 telah memengaruhi penggunaan energi global dan emisi CO₂ [15].

Pada tahun 2023, kadar CO₂ mencapai 426,6 ppm pada Januari, lebih tinggi dibandingkan Januari 2019 yang mencapai 425,8 ppm. Tren ini menunjukkan bahwa meskipun adanya fluktuasi musiman, kadar CO₂ terus meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan ini memperkuat efek rumah kaca, dimana CO₂ menyerap dan memantulkan kembali radiasi inframerah, menyebabkan kenaikan suhu global dan perubahan pola cuaca ekstrim.

Sulfur Dioksida



Gambar 3. Grafik Trend (garis merah) Sulfur Dioksida 5 tahun Terakhir (2019-2023) di Stasiun GAW Bukit Kotatabang

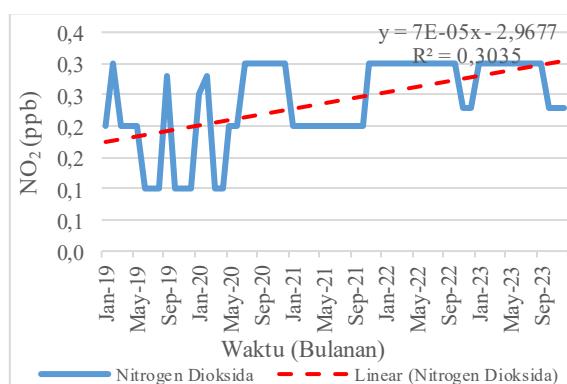
Kadar Sulfur dioksida (SO₂) cenderung bervariasi setiap tahun. Pada tahun 2019, kadar SO₂ rata-rata sekitar 3,8 hingga 5,1 ppb, dan pada tahun 2020 hingga 2022 kadar SO₂ sedikit menurun, berkisar antara 3,5 hingga 4,4 ppb. Tetapi pada tahun 2023, terjadi pergerakan yang signifikan, terutama pada bulan Februari yaitu mencapai 7,2 ppb dan pada bulan Januari sebesar 5,9 ppb, yang

menunjukkan peningkatan polusi sulfur dioksida yang signifikan jika dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya.

Peningkatan signifikan terjadi dari akhir tahun 2021 hingga akhir 2022, seiring dengan pemulihan aktivitas ekonomi pascapandemi. Pada awal tahun 2023, kadar SO₂ menunjukkan penurunan drastis, kemungkinan akibat curah hujan intens selama musim hujan di awal tahun yang membantu mengurangi konsentrasi polutan di atmosfer. Sulfur dioksida (SO₂) adalah gas transparan yang tidak berwarna dan termasuk salah satu polutan udara [16]. Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui bahwa kadar SO₂ lebih tinggi pada awal tahun dan lebih rendah pada pertengahan tahun.

Kadar SO₂ yang lebih tinggi dapat menunjukkan peningkatan polusi udara, yang biasanya diakibatkan oleh pengaruh kombinasi aktivitas manusia, kondisi cuaca, dan fenomena alam yang dapat memperburuk dampak perubahan iklim. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian emisi melalui kebijakan lingkungan yang lebih ketat, penggunaan teknologi ramah lingkungan dan transisi ke sumber energi bersih untuk mengurangi dampak polusi udara terhadap dampak polusi udara terhadap pemanasan global.

Nitrogen Dioksida

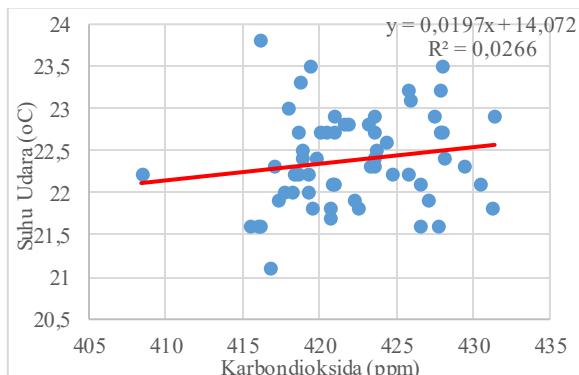


Gambar 4. Grafik Trend Nitrogen Dioksida (garis merah) 5 tahun Terakhir (2019-2023) di Stasiun GAW Bukit Kotatabang

Berdasarkan **Gambar 4**, kadar nitrogen dioksida (NO₂) mengalami fluktuasi dari tahun 2019 hingga 2023 dengan tren peningkatan yang semakin stabil sejak 2022. Pada tahun 2019, kadar NO₂ relatif lebih rendah, tetapi mulai meningkat pada awal tahun 2020, terutama di bulan Januari (0.25 ppb) dan Februari (0.28 ppb). Namun, pada Maret hingga Mei 2020, terjadi penurunan drastis hingga 0.1 ppb akibat pembatasan aktivitas manusia selama pandemi COVID-19. Seiring pemulihan ekonomi dan meningkatnya mobilitas, kadar NO₂ kembali meningkat hingga mencapai kestabilan pada angka 0.3 ppb sepanjang tahun 2022 hingga 2023.

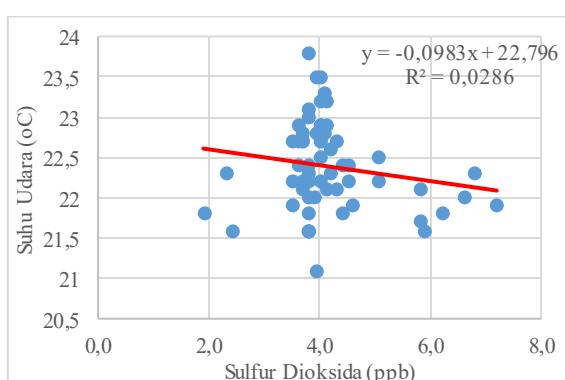
Nitrogen dioksida merupakan polutan udara yang dapat dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, terutama dari sektor transportasi dan industri. Dimana sektor transportasi merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara yang menghasilkan gas nitrogen dioksida (NO₂) [17]. Peningkatan kadar NO₂ mencerminkan meningkatnya emisi dari kendaraan bermotor dan aktivitas industri yang berkontribusi terhadap efek rumah kaca secara tidak langsung.

Selain itu, pola fluktuasi kadar NO₂, juga dapat dipengaruhi oleh faktor meteorologi, seperti intensitas sinar matahari dan curah hujan. Pada bulan-bulan tertentu, kadar NO₂ lebih stabil akibat penurunan dispersi polutan di atmosfer. Tren peningkatan NO₂ dari tahun ke tahun menunjukkan bahwa tanpa regulasi yang ketat terhadap emisi transportasi dan industri, polusi udara akan terus meningkat dan memperparah dampak perubahan iklim.



Gambar 5. Grafik Pengaruh kadar Karbodioksida (CO_2) terhadap Suhu Udara selama 5 tahun di Stasiun GAW Bukit Kotatabang

Berdasarkan grafik, diperoleh bahwa kadar karbodioksida berpengaruh terhadap suhu udara sebesar $R^2 = 0.0266$ atau 2.66% seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5**. Menurut data tersebut peningkatan CO_2 hanya sedikit berkontribusi terhadap kenaikan suhu udara. Meskipun pada grafik menunjukkan korelasi lemah, secara ilmiah CO_2 tetap menjadi faktor utama dalam perubahan iklim dan peningkatan suhu bumi.

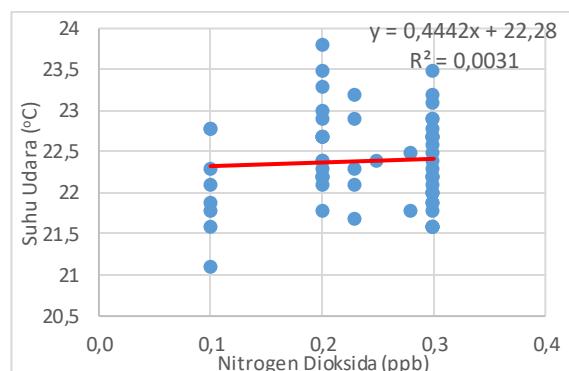


Gambar 6. Grafik Pengaruh Kadar Sulfur Dioksida (SO_2) terhadap Suhu Udara selama 5 tahun di Stasiun GAW Bukit Kotatabang

Grafik regresi pada **Gambar 6** menunjukkan hubungan negatif antara kadar sulfur dioksida (SO_2) dan suhu udara, dengan kemiringan regresi -0.0983 dan $R^2 = 0.0286$ yang menunjukkan korelasi yang sangat lemah. Peningkatan SO_2 cenderung

berhubungan dengan sedikit penurunan suhu, tetapi hubungan ini tidak signifikan.

Dalam konteks pemanasan global, SO_2 berperan sebagai aerosol pendingin yang dapat memantulkan sinar matahari dan mengurangi pemanasan. Namun, efek ini hanya bersifat sementara dan tidak dapat mengimbangi dampak pemanasan global akibat efek rumah kaca seperti CO_2 .



Gambar 7. Grafik Pengaruh Nitrogen Dioksida (NO_2) terhadap Suhu Udara selama 5 tahun di Stasiun GAW Bukit Kotatabang

Berdasarkan **Gambar 7**, diperoleh hubungan positif antara kadar nitrogen dioksida (NO_2) dengan suhu udara, dengan kemiringan regresi 0.4442 dan $R^2 = 0.0031$, yang menunjukkan korelasi yang sangat lemah. Peningkatan NO_2 memiliki sedikit kecenderungan untuk meningkatkan suhu udara, tetapi pengaruhnya tidak signifikan. NO_2 adalah gas rumah kaca yang dapat menyerap panas dan berkontribusi pada pemanasan global. Namun, dampaknya lebih kecil dibandingkan dengan CO_2 .

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dari data lima tahun terakhir (2019-2023) di Stasiun GAW Bukit Kotatabang diperoleh tren perubahan Suhu Udara, CO_2 , SO_2 , dan NO_2 . Suhu udara menunjukkan tren peningkatan dalam lima tahun terakhir dengan rata-rata berkisar antara 20°C pada Mei 2019 hingga

23,8°C pada Juli 2019 hal ini disebabkan karena meningkatnya kadar CO₂ secara signifikan pada setelah tahun 2020. Kadar CO₂ lebih rendah saat musim panas akibat peningkatan fotosintesis dan lebih tinggi pada musim dingin karena penurunan penyerapan oleh tumbuhan. Meskipun CO₂ mengalami peningkatan, pengaruhnya suhu udara dalam penelitian ini hanya sebesar 2,66%, korelasi lemah tapi tetap menjadi faktor utama dalam perubahan iklim global.

Untuk SO₂ cenderung berfluktuasi dengan kenaikan signifikan pada awal tahun 2023 mencapai 7,2 ppb. Kenaikan SO₂ terkait dengan aktivitas industri dan transportasi, tetapi penurunan drastis di awal tahun 2023 kemungkinan disebabkan oleh curah hujan tinggi yang membantu menurunkan polutan di atmosfer. Hubungan SO₂ dan suhu udara bersifat negatif karena peningkatan SO₂ sedikit menurunkan suhu.

Kadar NO₂ mengalami peningkatan sejak 2020, terutama setelah pandemi Covid-19, akibat pemulihan aktivitas industri dan transportasi. Polutan berkontribusi terhadap pemanasan global dengan menyrap panas, tetapi pengaruhnya terhadap suhu udara dalam penelitian ini sangat kecil.

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanasan global dan perubahan iklim yang terjadi di Stasiun GAW Bukit Kotatabang sejalan dengan peningkatan gas rumah kaca. Namun, dalam skala lokal, hubungan antara kenaikan suhu udara dengan konsentrasi CO₂, SO₂, dan NO₂ masih lemah.

Implementasi kebijakan mitigasi yang efektif sangat diperlukan untuk mengurangi dampak pemanasan global. Dengan upaya kolaboratif antara pemerintah, industri, dan masyarakat, dampak negatif perubahan iklim dapat diminimalkan guna menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan lingkungan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf Stasiun GAW Bukit Kotatabang atas dukungan dalam menyediakan data penelitian yang sangat berharga untuk artikel ini. Data yang diberikan telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan penelitian dan memperkaya analisis yang disajikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. A. (Parana) Santi and E. (Emilya) Nurjani, "Analisis Kualitas Udara Stasiun Global Atmosphere Watch (Gaw) Bukit Kototabang Kabupaten Agam Sumatera Barat," *J. Bumi Indones.*, vol. 1, no. 1, p. 238168, 2012, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/238168/>
- [2] M. Adib, "Pemanasan Global, Perubahan Iklim, Dampak dan Solusinya di Sektor Pertanian," *J. Biokultur*, vol. III, no. 2, pp. 420–429, 2014, [Online]. Available: www.tcpdf.org
- [3] N. Rahmadania, "Pemanasan Global Penyebab Efek Rumah Kaca dan Penanggulangannya," *Ilmuteknik.org*, vol. 2, no. 3, pp. 1–12, 2022, [Online]. Available: <http://ilmuteknik.org/index.php/ilmuteknik/article/view/87>
- [4] M. D. Syaufullah, "Analisis Suhu Permukaan Laut Perairan Indonesia...Pemanasan Global (Syaifullah)," *J. Segara*, vol. 11, no. 1, pp. 37–47, 2015, [Online]. Available: <http://rda.ucar.edu/datasets/>
- [5] Z. Liao, Y. F. Yuan, Y. Chen, and P. M. Zhai, "Extraordinary hot extreme in summer 2022 over the Yangtze

- River basin modulated by the La Niña condition under global warming,” *Adv. Clim. Chang. Res.*, vol. 15, no. 1, pp. 21–30, 2024, doi: 10.1016/j.accre.2023.12.006.
- [6] A. Kurniawan, “Pengukuran Parameter Kualitas Udara (Co, No₂, So₂, O₃ Dan Pm10) Di Bukit Kototabang Berbasis Ispu,” *J. Teknosains*, vol. 7, no. 1, p. 1, 2018, doi: 10.22146/teknosains.34658.
- [7] V. P. Febrianti, “Bagaimana Cara Mengajarkan Pemanasan Global pada Siswa Sekolah Menengah Atas?,” *Peran Teknol. Pendidik. Menuju Pembelajaran Masa Depan Tantangan Dan Peluang*, pp. 1–13, 2023.
- [8] R. Pratama and L. Parinduri, “Penaggulangan Pemanasan Global,” *Bul. Utama Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 1410–4520, 2019.
- [9] A. S. Mulyani, “Pemanasan Global, Penyebab, Dampak dan Antisipasinya,” *Artik. Pengabdi. Masy.*, pp. 1–27, 2021.
- [10] S. Ainurrohmah and S. Sudarti, “Analisis Perubahan Iklim dan Global Warming yang Terjadi sebagai Fase Kritis,” *J. Phi J. Pendidik. Fis. dan Fis. Terap.*, vol. 3, no. 3, p. 1, 2022, doi: 10.22373/p-jpft.v3i3.13359.
- [11] Q. Li *et al.*, “Comparisons of time series of annual mean surface air temperature for China since the 1900s: Observations, model simulations, and extended reanalysis,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 98, no. 4, pp. 699–711, 2017, doi: 10.1175/BAMS-D-16-0092.1.
- [12] I. A. Hardiyani and K. A. Zulistyawan, “Identifikasi Konsentrasi CO, CO₂, NO₂, SO₂, dan PM10 yang Terukur di Stasiun GAW Bukit Kototabang Selama Mudik Lebaran Tahun 2019–2023,” *Megasains*, vol. 14, no. 2, pp. 39–47, 2023.
- [13] R. Syafitri, “Bakti sosial blanded,” *J. Bakti Sos.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, 2022.
- [14] R. F. Keeling *et al.*, “Atmospheric evidence for a global secular increase in carbon isotopic discrimination of land photosynthesis,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 114, no. 39, pp. 10361–10366, 2017, doi: 10.1073/pnas.1619240114.
- [15] Z. Liu *et al.*, “Near-real-time data captured record decline in global CO₂ emissions due to COVID-19,” pp. 1–45.
- [16] S. R. Rejeki Takuloe *et al.*, “Risk Of Sulfur Dioxide (So₂) Exposure To Public Fuel Filling Station (SPBU) Officers,” *J. Kesmas Jambi*, vol. 5, no. 2, pp. 45–54, 2023, doi: 10.37905/jje.v2i2.
- [17] B. A. Dewapandhu and A. Pribadi, “Analisis Penyebaran Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) di Jalan Raya Dramaga – Ciampea Kabupaten Bogor dengan Menggunakan Model Caline-4,” *J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 8, no. 1, pp. 67–76, 2023, doi: 10.29244/jsil.8.1.67-76.