

Pengaruh *Volatile Organic Compounds*(VOC) dan Radiasi Matahari terhadap Konsentrasi Ozon Permukaan di Bukit Kototabang Bukittinggi

Aliefa Zunaida Bahri¹, Nofi Yendri Sudiar², Pakhrur Razi³, Zuhendra⁴

^{1,2,3,4} Fisika, Universitas Negeri Padang

e-mail: aliefazunaidabahri@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini akan menganalisis secara mendalam bagaimana senyawa organik volatil (*Volatile Organic Compounds/VOC*) dan radiasi matahari terhadap konsentrasi ozon permukaan di Stasiun GAW Bukit Kototabang, Bukittinggi. Data VOC meliputi etanol dan propanol, serta data intensitas radiasi matahari, dianalisis sebagai variabel independen yang memengaruhi pembentukan ozon permukaan melalui reaksi fotokimia. Metode yang di implementasikan dalam analisis ini adalah regresi linier berganda untuk memahami kekuatan hubungan antarvariabel dan tingkat kontribusi masing-masing variabel terhadap konsentrasi ozon permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa VOC dan radiasi matahari berkontribusi positif terhadap peningkatan konsentrasi ozon permukaan, dengan intensitas maksimum terjadi pada siang hari. Secara statistik, analisis regresi menunjukkan nilai R-squared sebesar 79%, yang mengindikasikan bahwa kombinasi radiasi matahari dan konsentrasi VOC dapat menjelaskan sebagian besar variasi ozon permukaan di lokasi penelitian. Namun, yang tersisa senilai 21% mungkin dipengaruhi oleh variabel eksternal yang tidak dikaji dalam penelitian ini, seperti kelembapan udara, suhu, dan emisi dari sumber antropogenik lainnya.

Kata kunci: *Ozon Permukaan, Radiasi Matahari, Volatile Organic Compounds, Bukit Kototabang*

Abstract

This study will conduct an in-depth analysis of how volatile organic compounds (VOCs) and solar radiation influence surface ozone concentration at the GAW Bukit Kototabang Station, Bukittinggi. VOC data, including ethanol and propanol, as well as solar radiation intensity data, will be analyzed as independent variables affecting the formation of surface ozone through photochemical reactions. Multiple linear regression will be implemented in this analysis to understand the strength of the relationship between variables and the contribution level of each variable to surface ozone concentration. The results showed that VOCs and solar radiation contribute positively to the increase in surface ozone concentration, with the maximum intensity occurring during the day. Statistically, the regression analysis shows an R-squared value of 79%, indicating that the combination of solar radiation and VOC concentration can explain most of the variation in surface ozone at the research location. However, the remaining 21% may be influenced by external variables not examined in this study, such as air humidity, temperature, and emissions from other anthropogenic sources.

Keywords : *Surface Ozone, Solar Radiation, Volatile Organic Compounds, GAW Bukit Kototabang Station*

PENDAHULUAN

Penelitian ini berfokus pada pengaruh senyawa organik volatil (*Volatile Organic Compounds/VOC*) dan radiasi matahari terhadap konsentrasi ozon permukaan di Stasiun GAW Bukit Kototabang, Bukittinggi. Masalah pencemaran udara telah menjadi isu global yang mendesak dan kompleks, berdampak signifikan terhadap kesehatan manusia, lingkungan, dan iklim. Ozon troposferik atau ozon permukaan (O_3) Merupakan salah satu faktor utama yang menimbulkan kekhawatiran. Ozon di lapisan stratosfer menyerap radiasi berbahaya yang menuju Bumi seperti radiasi ultraviolet, sementara ozon di dekat permukaan tanah justru menjadi polutan

berbahaya yang dapat memicu berbagai masalah kesehatan, seperti Masalah pada sistem pernapasan dan penyakit yang memengaruhi sistem kardiovaskular, serta kerusakan pada tanaman dan material. Peningkatan konsentrasi ozon permukaan telah diamati secara global, terutama di wilayah perkotaan dengan kepadatan penduduk tinggi dan tingkat polusi yang signifikan. Fenomena ini disebabkan oleh peningkatan emisi polutan primer seperti nitrogen oksida (NOx) dan VOC yang berasal dari aktivitas manusia, termasuk transportasi, industri, dan penggunaan produk-produk yang mengandung VOC. Pembentukan ozon troposferik terjadi melalui serangkaian reaksi fotokimia yang kompleks, yang melibatkan sinar ultraviolet (UV) dari matahari sebagai katalis utama.

Ozon permukaan di atmosfer dikendalikan oleh berbagai faktor yang saling berhubungan dan berinteraksi, baik sumber antropogenik maupun proses alami. Peningkatan emisi prekursor ozon seperti NOx, VOCs, dan karbon monoksida (CO) menjadi penyebab utama. Kendaraan bermotor dan industri adalah sumber utama NOx yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Di sisi lain, VOCs lebih sering ditemukan dalam produk rumah tangga sehari-hari dan juga sebagai hasil emisi kendaraan. Karbon monoksida juga dapat meningkatkan konsentrasi ozon melalui reaksi fotokimia. Selain itu, faktor meteorologi seperti suhu dan intensitas radiasi matahari sangat mempengaruhi pembentukan ozon; pada hari-hari dengan suhu tinggi dan sinar matahari kuat, reaksi kimia yang menghasilkan ozon berlangsung lebih cepat. Kelembaban dan kecepatan angin juga berperan dalam menentukan distribusi dan konsentrasi ozon permukaan; kondisi kering dan tenang cenderung mendukung pembentukan ozon yang lebih tinggi. Oleh karena itu, kombinasi dari emisi prekursor yang meningkat dan kondisi meteorologi yang mendukung menciptakan situasi di mana konsentrasi ozon permukaan dapat meningkat secara signifikan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak VOC dan radiasi matahari terhadap konsentrasi ozon permukaan, dengan memanfaatkan data observasi dari Stasiun GAW Bukit Kototabang pada tahun 2023. Dengan menggunakan model regresi linier berganda, kita dapat mengestimasi koefisien regresi yang menunjukkan kekuatan dan arah hubungan antara variabel-variabel. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu mengungkap pemahaman baru tentang dinamika atmosfer di kawasan tropis serta menjadi landasan ilmiah untuk strategi mitigasi polusi udara dan pengelolaan lingkungan yang lebih efisien. Penelitian ini diharapkan dapat **memicu** perubahan perilaku masyarakat terkait dampak pencemaran udara serta pentingnya menjaga kualitas atmosfer demi kesehatan dan kelestarian lingkungan.

METODE

Menggunakan pendekatan kuantitatif, penelitian ini menganalisis data VOC berupa Etanol dan Propanol, serta data Radiasi Matahari dan Ozon Permukaan yang berasal dari Stasiun GAW Bukit Kototabang. Pada Penelitian ini akan mengkaji bagaimana pengaruh VOC dan Radiasi Matahari terhadap pembentukan Ozon Permukaan dalam data diurnal dengan periode waktu selama periode Tahun 2023. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis untuk menentukan hubungan antara variabel tersebut. Wilayah penelitian ini dilaksanakan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Data Konsentrasi Ozon Permukaan, Radiasi Matahari dan VOC secara diurnal (Jam-jam an) yang diperoleh dari Stasiun GAW Bukit Kototabang diubah menjadi rata-rata harian dengan rumus:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

Keterangan:

C= rata-rata harian konsentrasi ozon permukaan

C_n=konsentrasi ozon permukaan jam ke-i

n= Jumlah jam pengamatan

Selanjutnya, untuk menentukan sejauh mana hubungan antara VOC dan Radiasi Matahari terhadap Konsentrasi Ozon Permukaan, analisis akan dilakukan menggunakan regresi linier berganda. Analisis ini memungkinkan kita untuk **menjelaskan** bagaimana perubahan pada beberapa faktor (variabel independen) dapat mempengaruhi perubahan pada satu faktor utama (variabel dependen). Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai regresi:

$$\gamma = a + b_1X_1 + b_2Z_1 + b_3Z_2 \quad (2)$$

Keterangan:

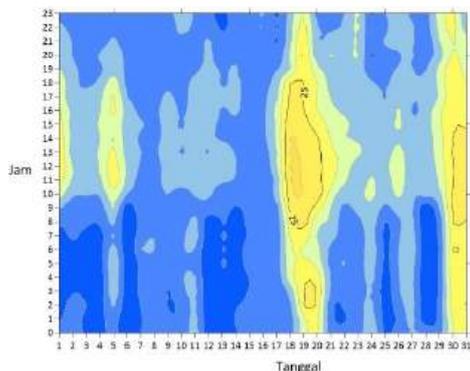
- Y = Variabel terikat (Ozon Permukaan)
- X1 = Variabel bebas (Radiasi Matahari)
- X2 = Variabel terikat (VOC)
- Z1 = Variabel bebas (Etanol)
- Z2 = Variabel bebas (Propanol)
- A = intersep (nilai Y ketika semua X adalah nol)
- b = koefisien regresi (perubahan yang diharapkan pada Y untuk setiap perubahan satu unit pada X)

Interpretasi data menggunakan analisis regresi linier menunjukkan bahwa jika koefisien bernilai positif (+), hal ini menandakan adanya hubungan langsung, yang berarti kenaikan X berbanding lurus dengan kenaikan Y. Kebalikannya, koefisien negatif (-) menunjukkan adanya hubungan terbalik, di mana peningkatan pada X akan mengakibatkan penurunan pada Y. Selain itu, terdapat ukuran statistik yang disebut R-squared (R^2), yang mengukur sejauh mana perubahan pada variabel independen akan mempengaruhi nilai variabel dependen, sebagaimana yang ditunjukkan oleh model regresi. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1, di mana $R^2 = 1$ menunjukkan model mampu menjelaskan 100% variasi dalam variabel dependen, sementara $R^2 = 0$ Model regresi ini memiliki keterbatasan dalam menangkap kompleksitas hubungan antara variabel-variabel tersebut.

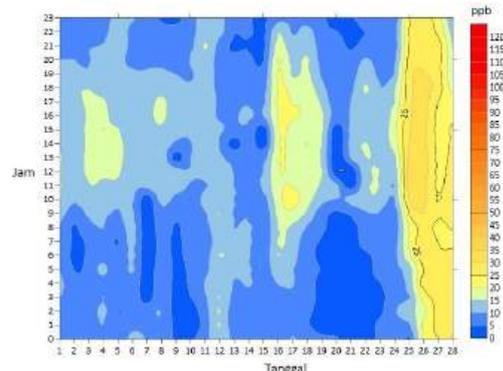
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

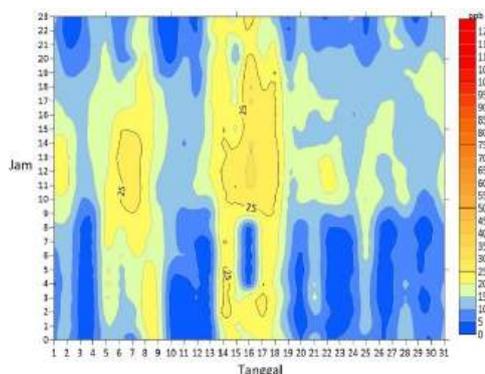
1. Ozon Permukaan



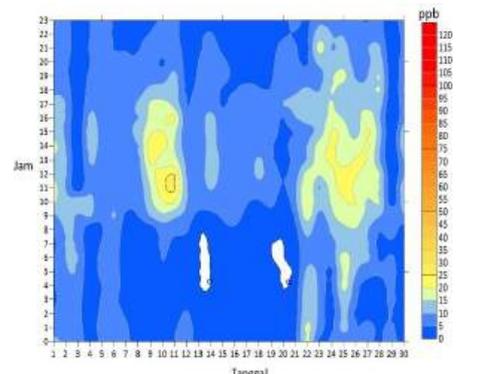
a) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Januari 2023



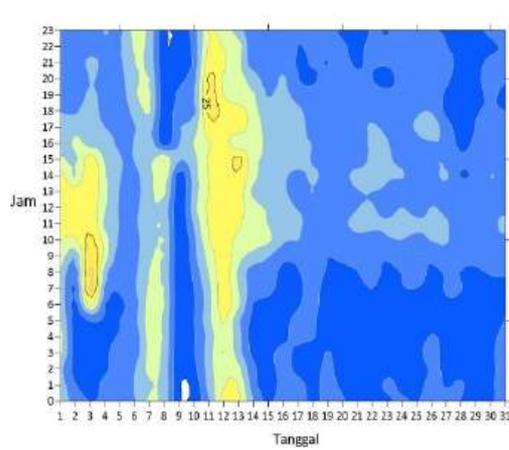
b) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Februari 2023



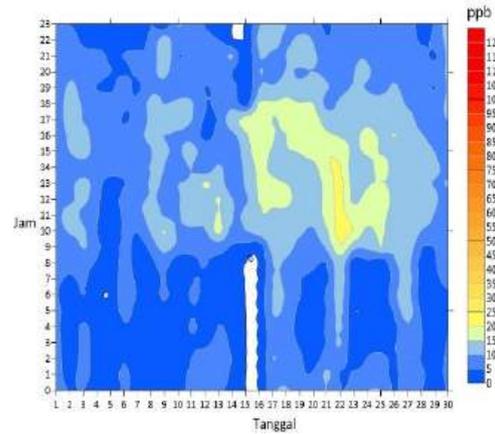
c) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Maret 2023



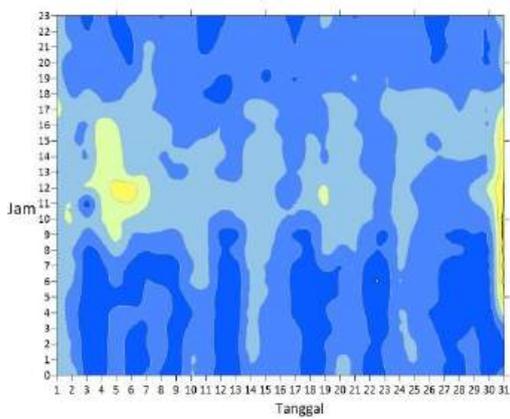
d) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan April 2023



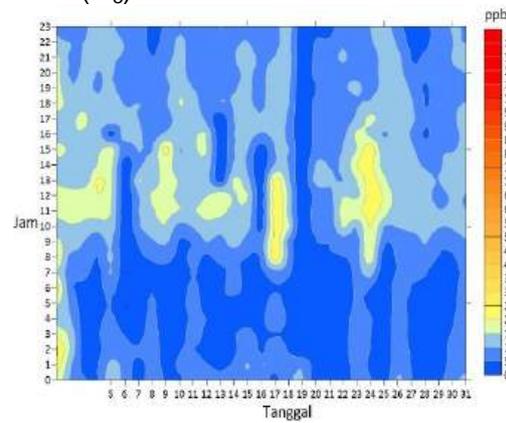
e) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Mei 2023



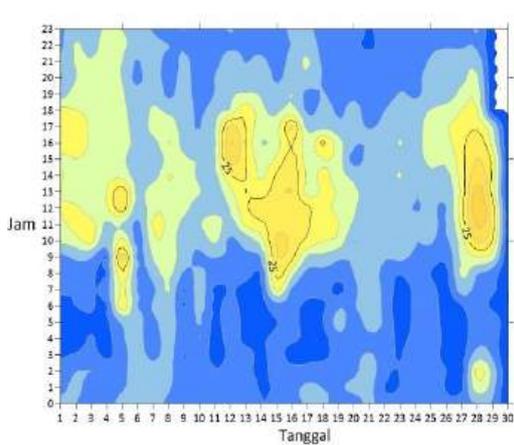
f) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Juni 2023



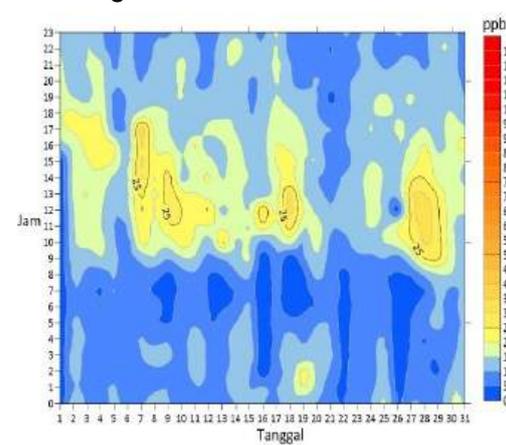
g) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Juli 2023



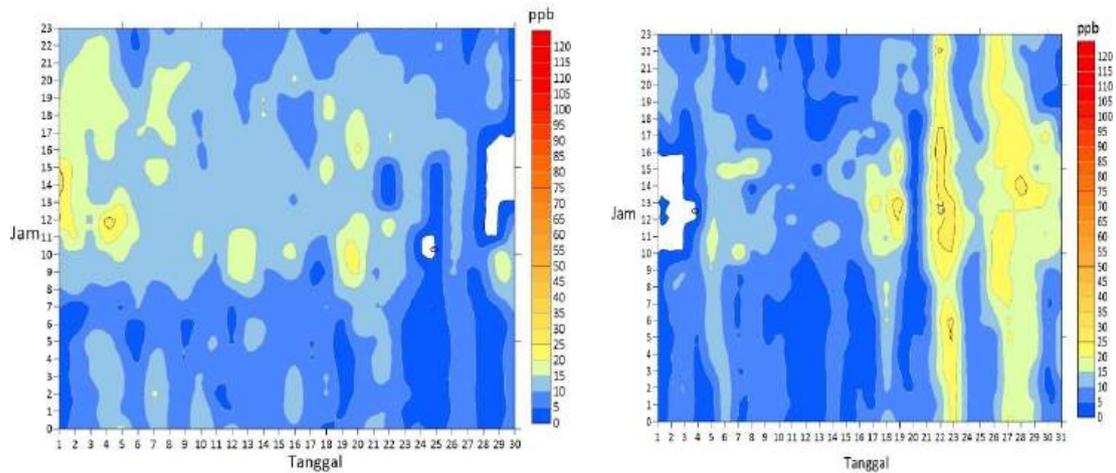
h) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Agustus 2023



i) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan September 2023



j) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Oktober 2023

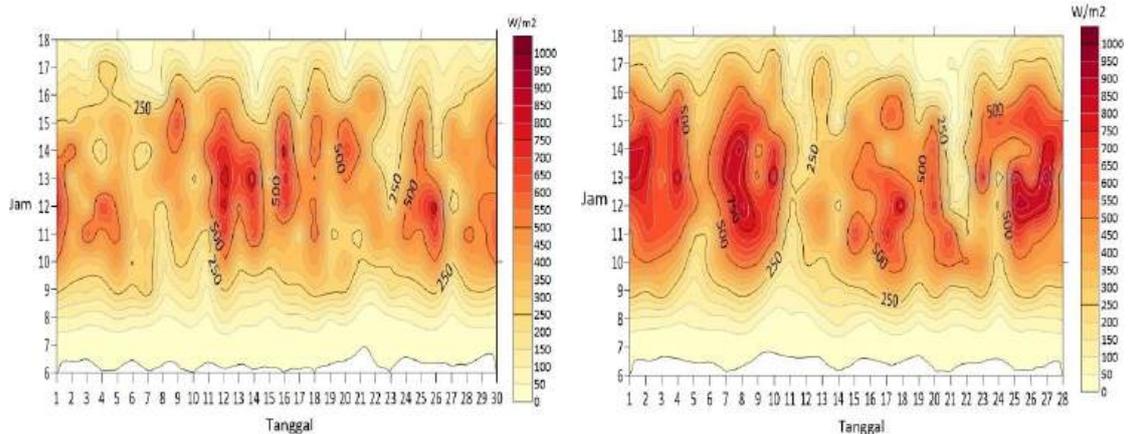


k) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan November 2023 l) Konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) Bulan Desember 2023

Gambar 1. Konsentrasi Ozon Permukaan Periode Tahun 2023

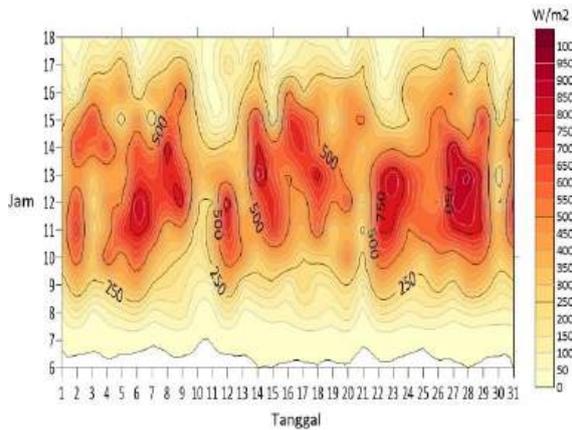
Data konsentrasi ozon yang digunakan adalah data konsentrasi ozon permukaan di stasiun Bukit Kototabang. Instrumen yang digunakan sebagai alat pengukur ozon permukaan (O_3) adalah Thermo Environmental Instrument Inc. Tinggi dan rendahnya konsentrasi Ozon Permukaan (O_3) dapat dilihat dari perbedaan warna pada beberapa titik pada peta di atas. Setiap warna yang digunakan pada peta tersebut merepresentasikan tingkat konsentrasi ozon yang berbeda, sesuai dengan pedoman yang diatur dalam Peraturan BMKG No. 8 Tahun 2022. Pola kenaikan dan penurunan ozon di Bukit Kototabang menunjukkan variasi yang jelas sepanjang tahun. Pada bulan Januari, Februari, Maret, September, Oktober, dan November, konsentrasi ozon tercatat masing-masing. Rata-rata nilai ozon selama bulan-bulan ini adalah sekitar 12,22 ppb, yang menunjukkan kecenderungan peningkatan konsentrasi ozon. Peningkatan ini mungkin dipengaruhi oleh radiasi matahari yang lebih tinggi saat matahari berada di posisi optimal di langit. Sebaliknya, Selama periode April hingga Agustus, konsentrasi ozon menurun dengan rata-rata sekitar 8,5 ppb untuk periode ini. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan peningkatan curah hujan yang sering terjadi pada bulan-bulan tersebut di wilayah ekuatorial seperti Bukit Kototabang.

2. Radiasi Matahari

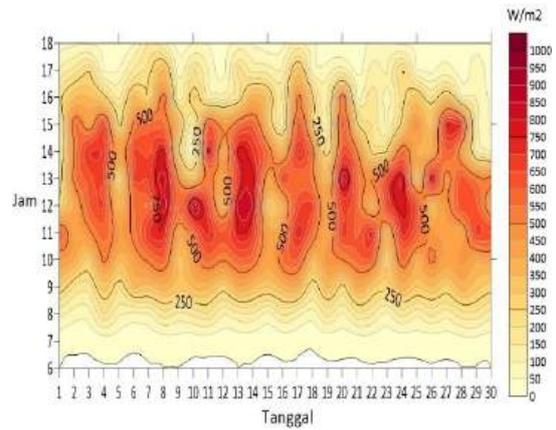


a) Intensitas Radiasi Matahari Bulan Januari 2023

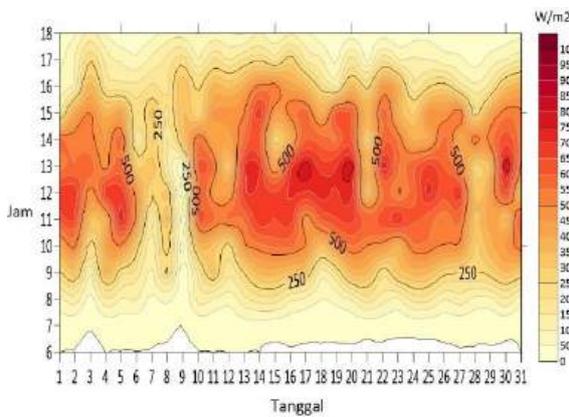
b) Intensitas Radiasi Matahari Bulan Februari 2023



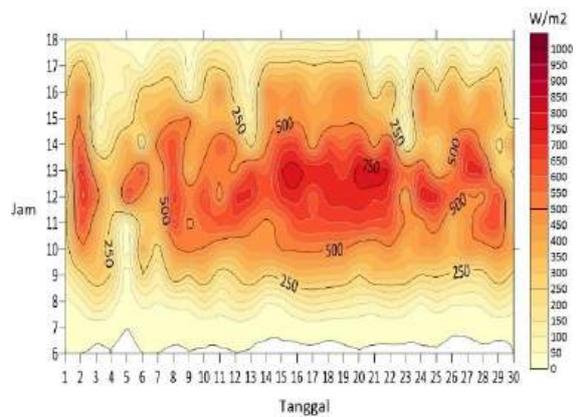
c) Intensitas Radiasi Matahari Bulan Maret 2023



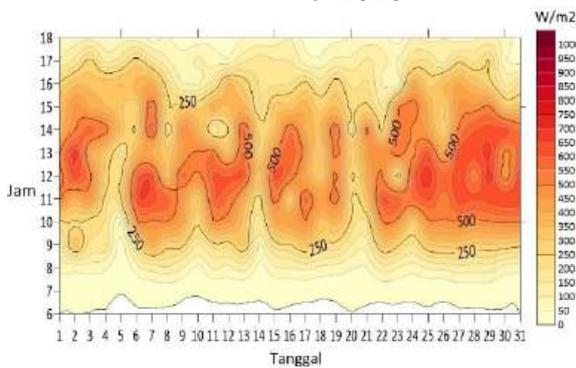
d) Intensitas Radiasi Matahari Bulan 2023



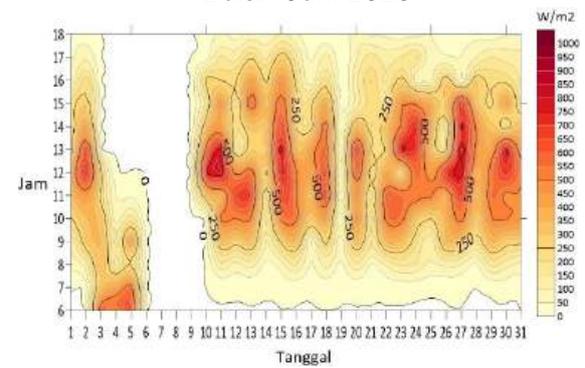
e) Intensitas Radiasi Matahari Bulan Mei 2023



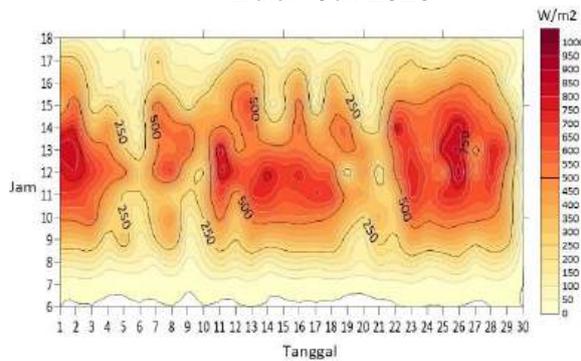
f) Intensitas Radiasi Matahari Bulan Juni 2023



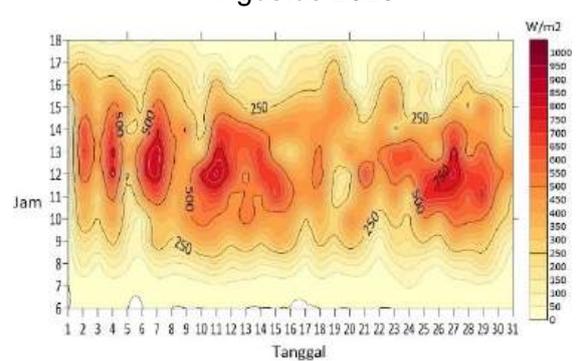
g) Intensitas Radiasi Matahari Bulan Juli 2023



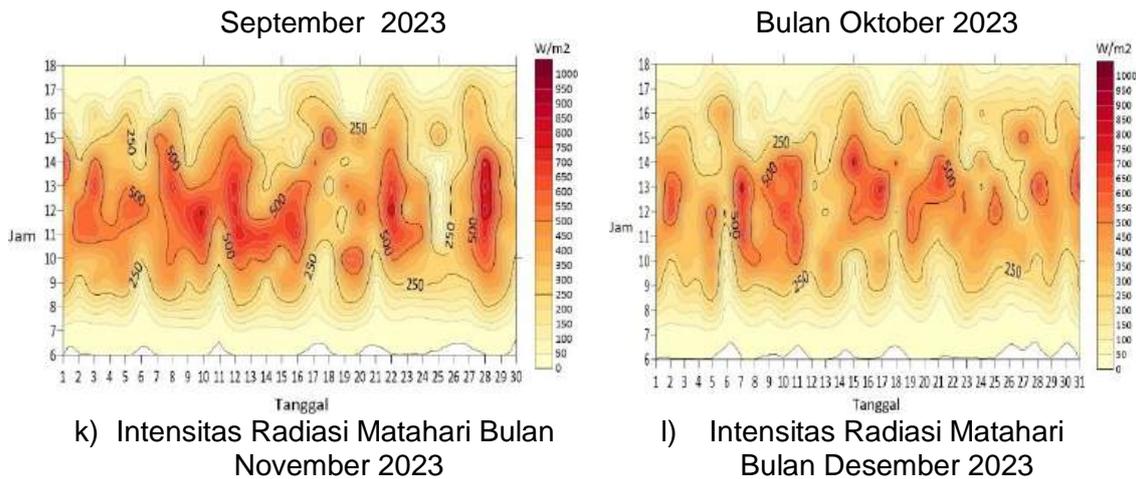
h) Intensitas Radiasi Matahari Bulan Agustus 2023



i) Intensitas Radiasi Matahari Bulan



j) Intensitas Radiasi Matahari



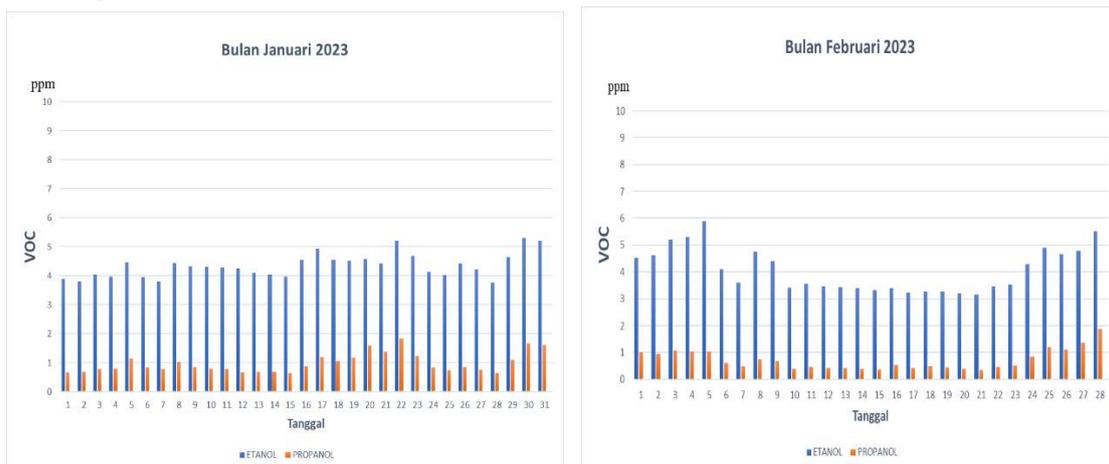
k) Intensitas Radiasi Matahari Bulan November 2023

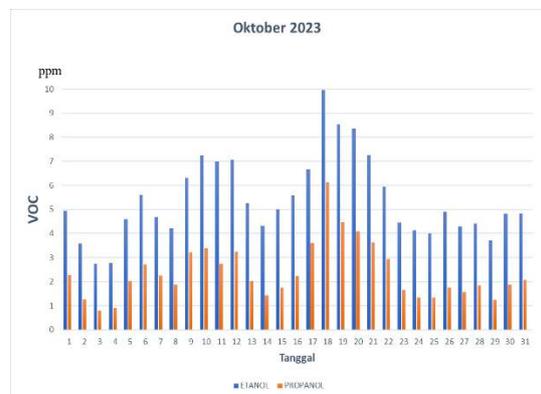
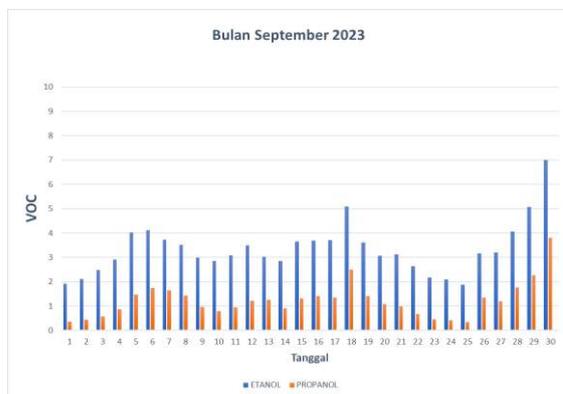
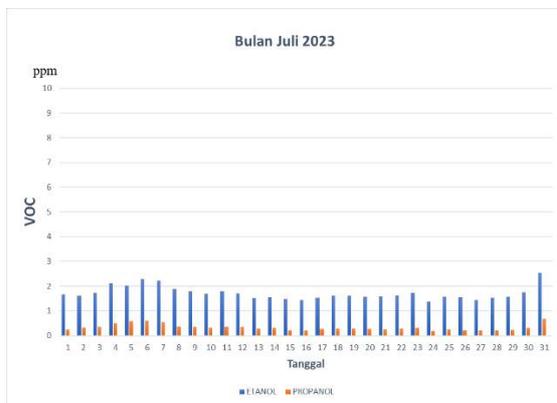
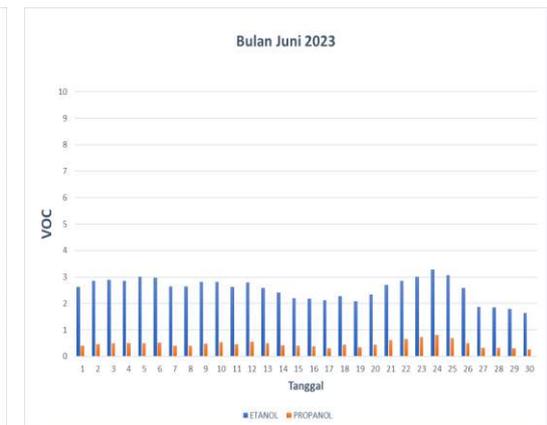
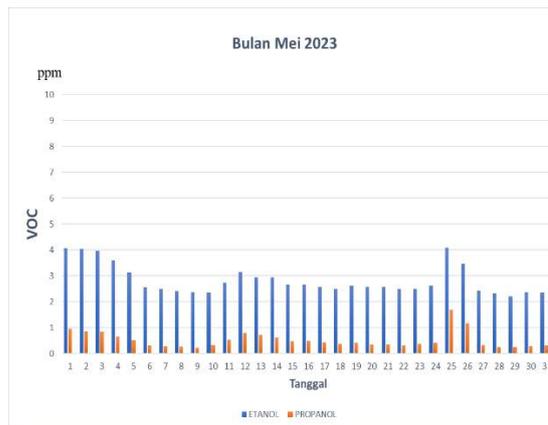
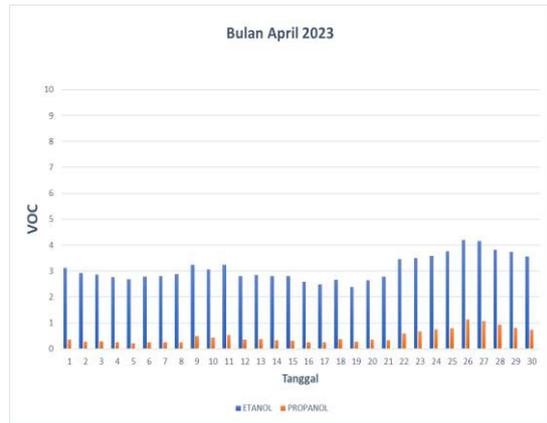
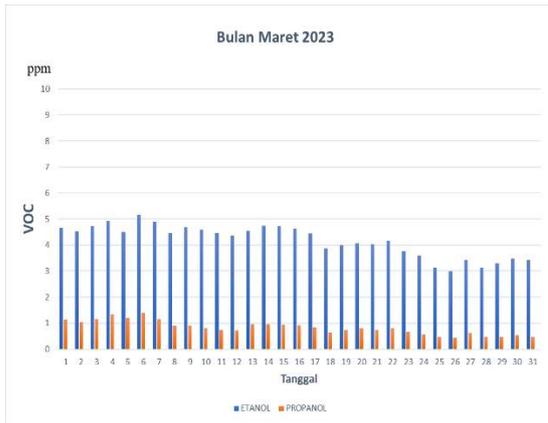
l) Intensitas Radiasi Matahari Bulan Desember 2023

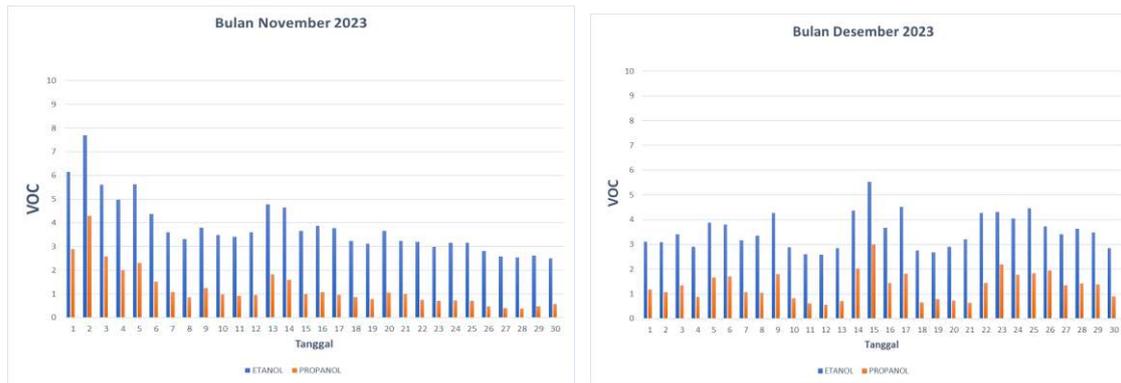
Gambar 2. Intensitas Radiasi Matahari Periode Tahun 2023

Data yang digunakan mengenai intensitas radiasi matahari merupakan data intensitas radiasi matahari global yang diperoleh dari stasiun GAW Bukit Kototabang. Instrumen pengukur komponen global radiasi matahari adalah Pyranometer. Tinggi dan rendahnya intensitas radiasi matahari global dapat dilihat dari perbedaan warna pada beberapa titik pada peta di atas. Setiap warna yang digunakan pada peta tersebut merepresentasikan tingkat radiasi matahari yang berbeda, sesuai dengan pedoman yang diatur dalam Peraturan BMKG No. 8 Tahun 2022. Pola radiasi matahari di Bukit Kototabang menunjukkan variasi yang jelas sepanjang tahun, dengan peningkatan yang signifikan pada periode Februari hingga September. Nilai radiasi matahari untuk bulan-bulan tersebut tercatat dengan rata-rata sekitar 155,4 W/m². Peningkatan radiasi matahari ini dapat dipengaruhi oleh posisi matahari yang lebih tinggi di langit selama bulan-bulan tersebut, yang menghasilkan intensitas sinar matahari yang lebih kuat dan berkontribusi pada proses fotokimia di atmosfer. Sebaliknya, pada bulan Januari, Oktober, November, dan Desember, radiasi matahari menurun dengan rata-rata sekitar 132,7 W/m² untuk periode ini. Penurunan radiasi matahari pada bulan-bulan tersebut dapat dikaitkan dengan faktor-faktor seperti peningkatan awan dan kelembaban udara yang lebih tinggi selama musim hujan di wilayah ekuatorial seperti Bukit Kototabang. Hal ini menyebabkan sinar matahari terhalang dan mengurangi intensitas radiasi yang mencapai permukaan bumi.

3. *Volatile Organic Compounds(VOC)*







Gambar 3. Grafik Volatile Organic Compounds(VOC) Periode Tahun 2023

Data VOC yang digunakan adalah data etanol dan propanol di CAMSGLOBAL yang diperoleh secara terjadwal, hanya selama satu jam setiap hari pada pukul 00.00 WIB. Ketika nilai etanol meningkat, nilai propanol juga cenderung ikut naik. Hal ini dapat dijelaskan melalui sifat kedua senyawa tersebut VOC. Etanol dan propanol termasuk dalam kategori senyawa yang mudah menguap dan sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk sebagai bahan bakar dan pelarut. Ketika konsentrasi etanol meningkat, hal ini dapat menunjukkan peningkatan aktivitas atau proses yang menghasilkan senyawa tersebut, yang juga berdampak pada propanol. Kenaikan nilai etanol dan propanol sebagai parameter VOC dapat dihubungkan dengan perubahan kondisi lingkungan atau proses kimia tertentu. Misalnya, suhu dan tekanan dapat mempengaruhi volatilitas kedua senyawa ini, sehingga ketika salah satu dari mereka meningkat, yang lainnya juga cenderung mengikuti pola yang sama. Selain itu, karena etanol dan propanol sering diproduksi dalam proses yang sama atau terkait, perubahan dalam satu senyawa dapat menyebabkan perubahan pada senyawa lainnya.

4. Regresi Linier

Analisis ini bertujuan untuk menyelidiki bagaimana perubahan pada radiasi matahari, etanol, dan propanol mempengaruhi konsentrasi ozon permukaan, hasil dari ringkasan model memberikan pemahaman yang jelas mengenai sejauh mana kekuatan hubungan antara kedua kelompok variabel ini. Berdasarkan model regresi, ditemukan nilai R-squared sebesar 0,89, yang mengindikasikan bahwa 89% variabilitas perubahan pada variabel independen menyebabkan perubahan pada variabel dependen. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara variabel-variabel tersebut. Dari tabel berikut, kita bisa lihat dengan jelas variabel independen memiliki dampak yang kuat pada variabel dependen.

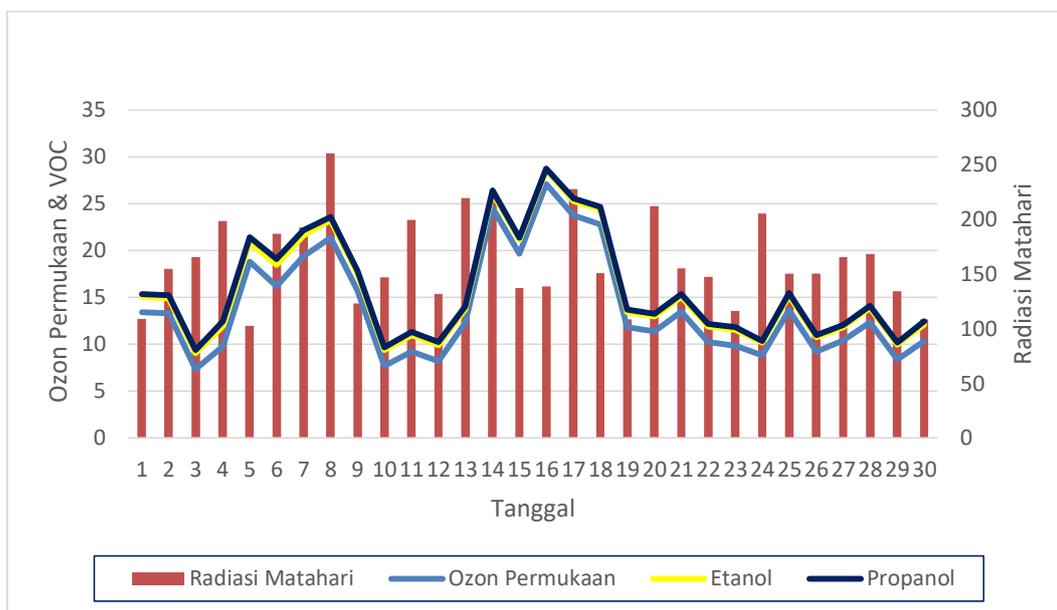
Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.890 ^a	.792	.769	21.42379

a. Predictors: (Constant), PROPANOL, RADIASI MATAHARI, ETANOL

Semakin tinggi nilai R-kuadrat, semakin kuat hubungan antara variabel independen dan dependen. Jika nilai R square mendekati 1, itu menunjukkan bahwa hubungan antara variabel-variabel tersebut semakin kuat. R square berfungsi sebagai ukuran yang menggambarkan sejauh mana variasi dalam data dapat diatribusikan pada variabel-variabel yang dimasukkan dalam model. Berdasarkan hasil pemodelan regresi linier, dapat disimpulkan bahwa variabel bebas, yaitu radiasi matahari, etanol, dan propanol, memiliki dampak yang kuat terhadap variabel terikat, yaitu ozon permukaan. Secara khusus, pengaruh ketiga variabel bebas ini terhadap ozon permukaan mencapai 79%. Ini berarti bahwa 79% dari perubahan yang terjadi dalam kadar ozon permukaan dapat dijelaskan oleh kombinasi dari radiasi matahari, etanol,

dan propanol. Namun, sisa nilai 21% dikarenakan adanya faktor-faktor eksternal yang tidak terukur dalam penelitian ini turut berkontribusi terhadap variasi data. Faktor-faktor tersebut dapat mencakup polusi udara dari sumber lain, kondisi cuaca yang berbeda, atau variabel lingkungan lain yang mungkin berkontribusi pada pembentukan ozon.

Pembahasan



Gambar 4. Grafik Analisis Pengaruh VOC & Radiasi Matahari terhadap Ozon Permukaan ((O₃))

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara empat parameter penting dalam pembentukan ozon permukaan, yaitu Ozon Permukaan, Radiasi Matahari, Etanol, dan Propanol, berdasarkan data rata-rata selama satu tahun. Dari analisis data, terlihat bahwa kadar ozon permukaan berfluktuasi secara signifikan, dengan rata-rata sekitar 13,68 ppb. Puncak tertinggi kadar ozon tercatat pada tanggal 16 (27,13 ppb), sementara nilai terendah terjadi pada tanggal 3 (7,33 ppb). Radiasi matahari, yang memiliki rata-rata 161,72 W/m², menunjukkan pola yang sejalan dengan kadar ozon, peningkatan radiasi sering kali diikuti oleh peningkatan kadar ozon, terutama pada hari-hari dengan intensitas radiasi tinggi seperti pada tanggal 8 (260,10 W/m²).

Etanol dan propanol juga menunjukkan perubahan yang signifikan dalam konsentrasi mereka sepanjang tahun, dengan etanol rata-rata 1,71 ppm dan propanol rata-rata 0,32 ppm. Puncak tertinggi etanol terjadi pada tanggal 6 (2,28 ppm), sedangkan propanol mencatat nilai tertinggi pada hari yang sama (0,59 ppm). Dalam konteks ini, radiasi matahari berfungsi sebagai pemicu utama dalam reaksi fotokimia yang menghasilkan ozon, di mana senyawa organik volatil (VOC) seperti propanol berkontribusi positif terhadap pembentukan ozon. Pada siang hari, ketika Matahari mencapai puncaknya, intensitas radiasi yang lebih tinggi menyebabkan proses pembentukan ozon cenderung meningkat. Namun, pada malam hari ketika sinar Matahari tidak ada atau sangat sedikit yang mencapai permukaan Bumi, aktivitas fotokimia mengalami penurunan signifikan sehingga fluktuasi konsentrasi ozon bisa turun.

Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa ozon dan radiasi matahari memiliki hubungan yang erat dalam sistem atmosfer. Ozon berperan sebagai "pelindung" bagi Bumi karena dapat menyerap sebagian besar radiasi ultraviolet (UV) dari Matahari. Saat intensitas radiasi matahari meningkat jumlah ozon di atmosfer bisa berfluktuasi. Konsentrasi ozon menunjukkan pola yang sejalan dengan intensitas radiasi matahari. Seiring dengan meningkatnya paparan sinar matahari, maka semakin tinggi pula konsentrasi ozon. Suhu matahari yang meningkat dapat berpengaruh pada konsentrasi ozon di atmosfer. Ketika suhu matahari meningkat, ini dapat mempengaruhi proses kimia dan fisika yang terjadi di atmosfer. Peningkatan suhu matahari bisa mengakibatkan

peningkatan tingkat aktivitas fotokimia di atmosfer. Radiasi ultraviolet (UV) yang lebih intens dapat merangsang reaksi pembentukan ozon (O_3) dari molekul oksigen (O_2).

Grafik diatas menunjukkan pola positif, di mana peningkatan konsentrasi etanol & propanol di atmosfer diikuti oleh peningkatan konsentrasi ozon. Fenomena ini terjadi karena pada siang hari, ketika radiasi UV mencapai puncaknya, energi dari sinar matahari memicu reaksi yang menghasilkan ozon. Dalam kondisi tersebut, kelembapan udara yang rendah disertai suhu yang panas juga mendukung pembentukan ozon, yang pada gilirannya meningkatkan konsentrasi ozon permukaan.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian diketahui bahwa senyawa VOC, khususnya etanol dan propanol, secara signifikan memengaruhi konsentrasi ozon permukaan. Etanol menunjukkan pengaruh negatif sedangkan propanol memberikan kontribusi positif terhadap pembentukan ozon permukaan. Secara keseluruhan, VOC memberikan kontribusi terhadap pembentukan ozon sebagai hasil interaksi fotokimia dengan sinar matahari. Hasil regresi menunjukkan bahwa radiasi matahari memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap konsentrasi ozon. Intensitas radiasi matahari yang lebih tinggi, terutama di siang hari, meningkatkan pembentukan ozon. Dimana ketika radiasi matahari meningkat maka konsentrasi ozon permukaan juga ikut meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi,S., Hartanto, Fathuroyan, Dodi,S., dan Ikhsan (2019). Studi Profil Ozon Permukaan (O_3) dan Gas Karbon Monoksida(CO) Antara Kota Bandung dan Bukit Kototabang Tahu 2008. Jurnal Ilmu Lingkungan, Volume 17 Issue2.
- Anni Safitiri,A.,(2021). Pengaruh Faktor Meteorologis Terhadap Perubahan Konsentrasi PM_{10} Periode Sebelum dan Saat PSBB di Kota Surabaya dan Sekitarnya. Buletin GAW Bariri (BGB) Volume 2 | Nomor 1 | Juni 2021 : 24 – 36.
- Ambarsari N.,Komala N.,Afif D.(2018). Pengaruh Karbon Monoksida Terhadap Ozon Permukaan. Bidang Pengkajian Ozon dan Polusi Udara di Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim LAPAN Bandung
- Agusta Kurniawan.(2017) Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO , NO_2 , SO_2 , O_3 Dan PM_{10}) Di Bukit Kototabang Berbasis Ispu). 1volume 7 No. 1, 22 Desember 2017 Halaman 1-82.
- Asrori & Yudianto (2019). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya. Jurnal Energi Baru & Terbarukan. Vol. 5, No. 1, pp 20 – 26.
- Azhari F.,Budi Sukoco N., Dan Imam Fatoni (2015) K Hidro-Oseanografi. Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut J Tinggi Teknologi Angkatan Laut Prodi Hidro-Oseanografi S Hidrografi dan Oseanografi TNI Angkatan Laut Pusat.
- Coe,G.J.R dan Evans,R.D. (2020) Solar radiation and the photochemical formation of surface ozone revisited. Nature Communications Environment.
- Dainius Jasaitis, Vaida Vasiliauskienė, Renata Chadyšienė, Milda Pečiulienė,(2016) Konsentrasi Ozon Permukaan dan Hubungannya dengan Radiasi UV, Parameter Meteorologi dan Radon di Pantai Timur Laut Baltik, 2016, 7, 2073-4433, 27, 10.3390/atmos7020027
- Delfi,W.M., Yoga S.,(2022) Keterkaitan Karbon Monoksida (CO) Terhadap Ozon Permukaan (O_3) Di Wilayah Kalimantan Barat. Jurnal Prisma Fisika Vol 10, No.3, Hal:251-258.
- Djenal,Dyah Prihartini. (2015). Sistem Monitoring Intensitas Radiasi Matahari. Sekolah Tinggi Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Fahri, M. (2023). Pengaruh Transportasi Ozon dan Prekursornya Terhadap Akumulasi Ozon dari Aktivitas Antropogenik di DKI Jakarta, 12(1), 18-26.
- Firman Ilahi, A., June, T., Sopahulewakan, A., & Andri, Y. (2017). Pemodelan Statistik dan Simple Radiative Model untuk Menduga Radiasi Matahari Global Harian. *Megasains*, 8, 28-36. ISSN 2086-5589.
- Mairisdawenti, Pujiastuti, D., & Ilahi, A. F. (2014). Analisis Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari, Temperatur dan Kelembaban Udara Terhadap Fluktuasi Konsentrasi Ozon Permukaan di Bukit Kototabang Tahun 2005-2010. Jurnal Fisika Unand, 3(3), 177–183.
- Miftahuddin, M., Sitanggang, A. P., & Setiawan, I. (2021). Analisis hubungan antara kelembaban

relatif dengan beberapa variabel iklim dengan pendekatan korelasi pearson di Samudera Hindia. *Jurnal Siger Matematika*, 25–33.

- Susmiati, Rahmi. 2013. "Reaksi fotokimia menerima energi pengaktifan dari penyerapan foton cahaya oleh molekul-molekulnya." *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 17, no. 2, hal. 239-244.
- Rangga, B., Susilo, A., & Rahman, M. (2023). Pengaruh Radiasi Matahari dan Temperatur Terhadap Daya Panel Surya. **Jurnal Fisika**, 12(1), 45-56. DOI: [insert DOI if available].
- Sianturi Y., "Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi," *Megasains*, vol. 12, no. 1, pp. 40–47, 2021, doi: 10.46824/megasains.v12i1.45
- Sitorus, T. B., Napitupulu, F. H., & Ambarita, H. (2014). Korelasi Temperatur Udara dan Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Performansi Mesin Pendingin Siklus Adsorpsi Tenaga Matahari. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder*, 1(1), 8–17.
- Spivakovsky, C. M., Logan, J. A., Montzka, S. A., Balkanski, Y.J., Foreman-Fowler., et al .2000. Three-dimensional climatological distribution of tropospheric OH: Update and evaluation. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*,105 (D7):8931–8980.
- Supranto. (2019). *Teknologi Tenaga Surya*. Yogyakarta: Global Pustaka.
- Taufiqurrachman. (2023). *Buku Ajar Memahami Sistem Lingkungan Industri*. Medan: CV. EUREKA MEDIA AKSARA.
- Wibisono, A., Fardilah, R. D., & Turyanti, A. (2023). *Pembentukan Ozon Permukaan Sebuah Tinjauan Pustaka Sistematis*. Repository IPB, 123456789/124004.