

IDENTIFIKASI KONSENTRASI CO, CO₂, NO₂, SO₂, DAN PM₁₀ YANG TERUKUR DI STASIUN GAW BUKIT KOTOTABANG SELAMA MUDIK LEBARAN TAHUN 2019-2023

Identification of CO, CO₂, NO₂, SO₂, and Particulate Matter (PM₁₀) Measured at GAW Bukit Kototabang Station during the Eid Al-Fitr from 2019 to 2023.

Iman Ahmadi Hardiyani^{1*} dan Kiagus Ardi Zulistyawan²

^{1,2}Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat
*E-mail: iman.hardiyani@bmkgo.id

Naskah masuk: 2 Oktober 2023

Naskah diperbaiki: 12 Oktober 2023

Naskah diterima: 22 Oktober 2023

ABSTRAK

Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang menjadi tujuan mudik lebaran para perantau di Indonesia. Selain itu, Sumatera Barat juga menjadi tujuan liburan para turis dan wisatawan saat libur lebaran. Sehingga, aktivitas penduduk dan volume kendaraan akan meningkat yang berdampak pada meningkatnya kondisi polusi udara yang ada. Terlebih lagi, dampak polusi udara sangat signifikan terhadap kondisi kesehatan pernapasan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan kondisi konsentrasi gas Karbon monoksida (CO), Karbon dioksida (CO₂), Nitrogen dioksida (NO₂), Sulfur dioksida (SO₂), dan polutan PM₁₀ di udara selama periode lebaran tahun 2019-2023 di Sumatera Barat. Waktu yang digunakan adalah H-10 setelah lebaran dan H+10. Data yang digunakan hasil dari observasi Stasiun GAW Bukit Kototabang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas lebaran berpengaruh terhadap kenaikan konsentrasi CO. Konsentrasi CO₂ selalu mengalami kenaikan namun tidak hanya dipengaruhi oleh pemudik pada periode penelitian. Sedangkan untuk konsentrasi PM₁₀ cenderung dipengaruhi oleh faktor ENSO. Namun, untuk parameter SO₂ dan NO₂ tidak mengalami perubahan sama sekali selama periode tersebut. Kondisi dari seluruh parameter selama periode 2019-2023 masih dalam kategori baik.

Kata Kunci : Mudik Lebaran, Konsentrasi polutan, Sumatera Barat

ABSTRACT

West Sumatra is a province that serves as a location for the Eid homecoming among migrants in Indonesia. In addition, West Sumatra also serves as a popular tourist destination during the Eid holidays. Therefore, the rise in population activity and vehicle volume is expected to result in air pollution escalation levels. Furthermore, the influence of air pollution on respiratory health disorders is also substantial. Hence, the primary objective of this study is to ascertain alterations in the atmospheric concentrations of Carbon monoxide, Carbon dioxide, Nitrogen dioxide, Sulphur dioxide, and PM₁₀ pollutants over the Eid period from 2019 to 2023 in the region of West Sumatra. The designated time intervals are from 10 days before until 10 days after the Eid. The data utilized in this study is derived from observations conducted at the Global Atmosphere Watch Bukit Kototabang Station. The findings of this study indicate that the observance of Eid activities has a discernible impact on the elevation of concentrations of Carbon monoxide. The concentration of CO₂ consistently increases but is not solely influenced by travelers during the research period. Meanwhile, the PM₁₀ concentrations tend to be altered by ENSO conditions. However, there was no significant change seen in the SO₂ and NO₂ parameter within the specified time frame. The parameters conditions during 2019-2023 remain within the favourable category.

Keywords: Eid Homecoming, Pollutant Concentrations, West Sumatra

1. Pendahuluan

Mudik merupakan fenomena sosial di Indonesia yang terjadi setiap tahun. Mudik pada dasarnya dimaknai sebagai pulang ke kampung halaman, khususnya pada hari-hari besar seperti hari Lebaran. Sejak tahun 70-an, kota-kota berkembang sebagai simpul sumber penghidupan sekaligus tempat singgah bagi para pendatang yang berasal dari berbagai daerah [1]. Jangka waktu kepulangan sampai kembali ketempat asal setiap orang sangat berbeda tergantung pada masa liburan yang diberikan oleh majikan atau tempat mereka bekerja di kota. Jangka waktu seminggu sebelum hingga seminggu sesudahnya itu adalah waktu terlama yang dipergunakan oleh mereka yang melakukan perjalanan mudik lebaran tersebut berdasarkan cuti bersama dari pemerintah.

Setiap mudik lebaran ditandai oleh peningkatan arus masuk kendaraan menuju suatu wilayah yang menjadi tujuan mudik lebaran. Hal ini juga terjadi pada wilayah Sumatera Barat yang ditandai dengan meningkatnya kemacetan lalu lintas selama periode mudik hingga kemudian berakhir pada saat terjadinya arus balik [2].

Secara umum kendaraan yang masuk ke wilayah Sumatera Barat berasal dari arah selatan untuk jalur dari Jambi hingga Jawa. Kemudian dari arah Riau sebelah timur dan dari Sumatera Utara di bagian utara Sumatera Barat. Dalam berita yang dirilis disebutkan bahwa pada mudik lebaran tahun 2019, peningkatan kendaraan yang masuk menuju Sumatera Barat diprediksi mencapai 20% dari hari biasa [3].

Volume kendaraan arus mudik Lebaran Idul Fitri 2023 yang masuk ke wilayah Sumbar diprediksi meningkat tiga kali lipat dibandingkan tahun lalu yang disebabkan oleh pengurangan aktivitas mudik selama dua atau tiga tahun akibat adanya pandemi Covid-19, sehingga tahun ini diprediksi akan terjadi peningkatan arus mudik yang begitu signifikan [4].

Terjadinya peningkatan jumlah kendaraan tentunya meningkatkan juga jumlah buangan polutan ke lapisan udara ambien [6]. Hal tersebut diperparah lagi karena peningkatan jumlah kendaraan bersifat eksponensial sementara daya dukung lingkungan cenderung tetap. beberapa jenis polutan yang dilepaskan oleh kendaraan bermotor yang memberi dampak pada kesehatan manusia [8]. Beberapa jenis gas yang diemisikan oleh kendaraan bermotor, diantaranya adalah Karbon

monoksida (CO), Sulfur dioksida (SO₂) dan Nitrogen dioksida (NO₂) dan partikulat (*Particulate Matter*/PM). CO dan partikulat debu merupakan hasil kendaraan tentunya meningkatkan juga jumlah buangan polutan ke lapisan udara ambien. Lebih lanjut, peningkatan jumlah kendaraan bermotor pada perkotaan dengan tingkat polusi udara. Adapun SO₂ dan NO₂ merupakan gas hasil senyawa dari gas buangan SO_x dan NO_x [7]. SO₂ juga berasal dari letusan gunung berapi, sedangkan NO₂ juga dapat berasal dari aktivitas industri [4,5]. Selain itu juga terdapat emisi gas rumah kaca berupa gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran sempurna bahan bakar fosil [8].

Adanya gangguan yang umum terjadi bagi kesehatan karena masuknya polutan ke atmosfer antara lain berupa munculnya gangguan saluran pernafasan, sakit kepala, iritasi pada mata, potensi terjadinya serangan asma, ISPA, gangguan fungsi paru serta peningkatan resiko penyakit jantung [10]. Gangguan kesehatan tersebut akan berbeda tingkatan dan jenisnya karena bergantung pada macam, ukuran dan komposisi kimiawi polutan yang ada saat itu. Semakin lama hewan percobaan terpapar asap kendaraan maka tingkat kerusakan ginjalnya juga semakin besar [11].

Ambang konsentrasi gas karbon monoksida (CO) untuk batas aman berada pada <70 ppm, untuk batas berbahaya pada 70-150 ppm, dan batas mematikan >150 ppm. Sedangkan untuk gas karbon dioksida (CO₂), untuk batas aman berada pada <5.000 ppm, untuk batas berbahaya berada pada 5.000 – 40.000 ppm, dan batas mematikan >40.000 ppm [9]. Untuk standar baku mutu berdasarkan situs bmg.go.id konsentrasi gas NO₂ dan SO₂ berturut-turut sebesar 0.08 ppm dan 0.14 ppm, dan untuk konsentrasi PM₁₀ untuk nilai aman adalah <50 µg/m³, nilai sedang sebesar 51-150 µg/m³, dan nilai tidak sehat sebesar 151-350 µg/m³.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dari perubahan konsentrasi gas CO, CO₂, NO₂, SO₂, dan polutan PM₁₀ selama periode Idul Fitri. Hal ini dilakukan untuk melihat apakah pada waktu tersebut memiliki dampak terhadap perubahan terhadap konsentrasi dari gas dan polutan tersebut.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan data harian hasil pengukuran pada parameter gas CO, CO₂,

NO₂, SO₂, dan *particulate matter* (PM₁₀) di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang selama rentang periode lebaran H-10 sampai dengan H+10. Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang merupakan stasiun khusus yang menjadi standar referensi udara bersih di Indonesia yang merupakan bagian dari program *Global Atmosphere Watch* (GAW) dari Organisasi Meteorologi Dunia. Terletak pada ketinggian 864 meter di atas permukaan laut dengan koordinat 0° 12' 07" LS – 100° 19' 05" BT memaparkan pemilihan lokasi SPAG Bukit Kototabang guna merepresentasikan pengukuran kualitas udara pada kawasan tropis dengan ciri iklim benua maritim. Lokasi stasiun juga berada pada bukit yang jauh dari jangkauan polusi antropogenik [13].

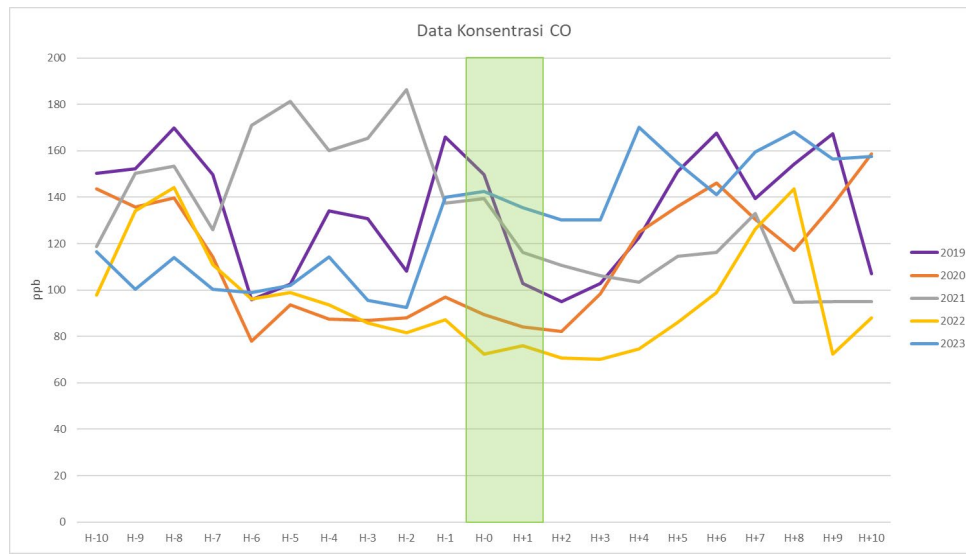
Hujan merupakan salah satu parameter cuaca yang bersifat mencuci atmosfer karena dapat menghilangkan polutan di udara hingga batas tertentu. Tetapi pada sisi lain, terjadinya hujan menyebabkan kendaraan di jalan raya akan melambat yang justru akan memberi dampak peningkatan emisi polutan ke atmosfer [14]. Selanjutnya angin juga berpengaruh pada pengenceran polutan meliputi arah dan kecepatan angin. Arah angin mempengaruhi arah transport dan migrasi polutan [15]. Adapun kecepatan angin mempengaruhi kecepatan sebaran konsentrasi polutan dari sumbernya. Kelembapan udara dan polutan juga memiliki korelasi negatif seperti juga pengaruh curah hujan terhadap konsentrasi polutan [16].

Peralatan yang digunakan dalam menghasilkan data kualitas udara seperti tersaji pada tabel 1.

Tabel 1. Daftar parameter dan peralatannya

No	Parameter	Instrumen	Ket
1	CO	Piccaro Type: G2401	Data Picarro 2019-2023
2	CO ₂	Piccaro Type: G2401	Data Picarro 2019-2023
3	NO ₂	Thermo Scientific Model 42i-TLE	Data Thermo Scientific 2019-2023
4	SO ₂	Thermo Scientific Model 43i-TLE	Data Thermo Scientific 2019-2023
5	PM ₁₀	Met One Instrument BAM 1020	Data BAM 1020 tahun 2019-2023

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 1. Grafik Konsentrasi gas CO periode Hari Raya Idul Fitri tahun 2019-2023

3.1. Gas Karbon monoksida (CO)

Berdasarkan data grafik pada gambar 1, dapat dilihat secara keseluruhan bahwa tidak terdapat tren peningkatan ataupun penurunan dari tahun ke tahun. Akan tetapi, pada setiap tahunnya memiliki pola yang berbeda yang menunjukkan perbedaan pola arus mudik ataupun arus balik dari tahun ke tahun.

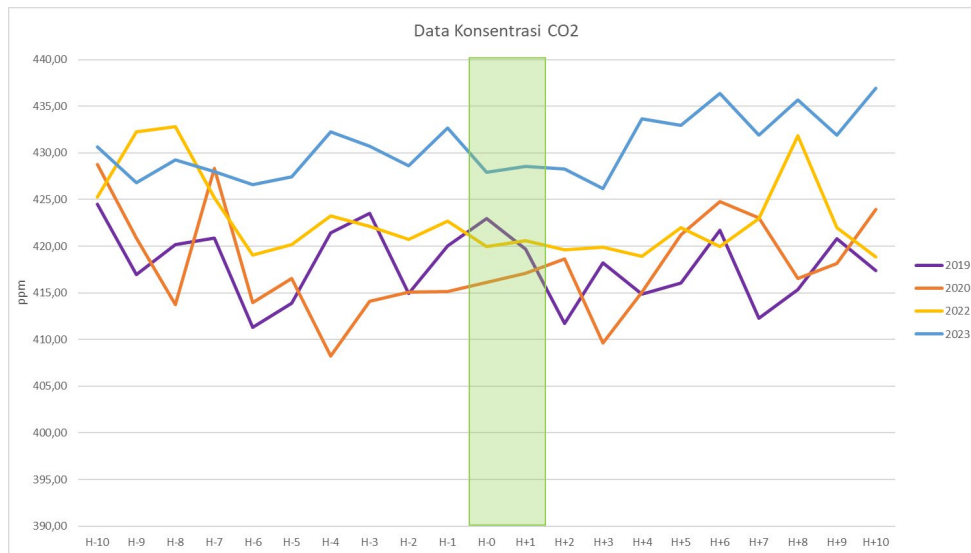
Data konsentrasi gas CO tahun 2019 menunjukkan peningkatan konsentrasi sejak H-10 hingga H-8, dimana konsentrasi CO meningkat dari 150.35 ppb menjadi 169.73 ppb atau meningkat sebesar 12.8% dalam 2 hari. Peningkatan juga terjadi pada rentang H-6 hingga H-4 dimana konsentrasi meningkat dari 95.82 ppb menjadi 134.22 ppb atau sebesar 40.0 % dalam 2 hari, serta pada rentang H-2 hingga H-1 dimana konsentrasi CO meningkat dari 108.18 ppb menjadi 165.88 ppb atau meningkat sebesar 53.3% dalam sehari.

Sementara itu konsentrasi gas CO yang terukur selama periode arus mudik tahun 2020 menunjukkan konsentrasi rata-rata pada H-10 hingga H-8 dengan rasio 57.7% lebih tinggi dibandingkan pada H-6 hingga H-1. Sedangkan selama arus balik konsentrasi gas CO mengalami peningkatan konsentrasi sejak H+2 hingga H+6, konsentrasi meningkat dari 82.09 ppb menjadi 146.19 ppb atau meningkat sebesar 78.1% dalam 4 hari, serta peningkatan yang terjadi sejak

H+8 sebesar 117.16 ppb menjadi 158.53 pada H+10 atau meningkat sebesar 35.3%.

Konsentrasi gas CO yang terukur selama arus mudik tahun 2021 cenderung mengalami peningkatan secara berkala sejak H-10 hingga H-2 dengan nilai konsentrasi 118.71 ppb menjadi 186.25 ppb atau meningkat sebesar 56.9% selama 8 hari, dimana pada rentang H-10 hingga H-8 konsentrasi meningkat sebesar 29.1%, rentang H-7 hingga H-5 sebesar 43.8%, dan rentang H-4 hingga H-2 sebesar 16.4%. Sedangkan untuk arus balik tahun 2021 peningkatan konsentrasi terjadi sejak H+4 hingga H+7, dimana konsentrasi meningkat dari 103.33 ppb menjadi 132.85 ppb atau meningkat sebesar 28.6% dalam waktu 3 hari.

Data nilai konsentrasi gas CO selama arus mudik tahun 2022 memiliki kemiripan dengan data nilai konsentrasi gas CO tahun 2020 dimana konsentrasi cenderung meningkat pada rentang H-10 hingga H-8 dan dilanjutkan penurunan konsentrasi pada rentang H-6 hingga H-1. Konsentrasi gas CO meningkat dari 97.84 ppb pada H-10 menjadi 144.01 ppb pada H-8 atau meningkat sebesar 47.2% selama 2 hari. Sedangkan selama arus balik peningkatan konsentrasi terjadi dari 70.04 ppb pada H+3 menjadi 143.53 pada H+8 atau meningkat sebesar 104.9% dalam 5 hari. Sementara itu data konsentrasi gas CO arus mudik tahun 2023 tidak menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi yang signifikan pada rentang H-9 hingga H-8 dan



Gambar 2. Grafik Konsentrasi gas CO₂ periode lebaran tahun 2019-2023

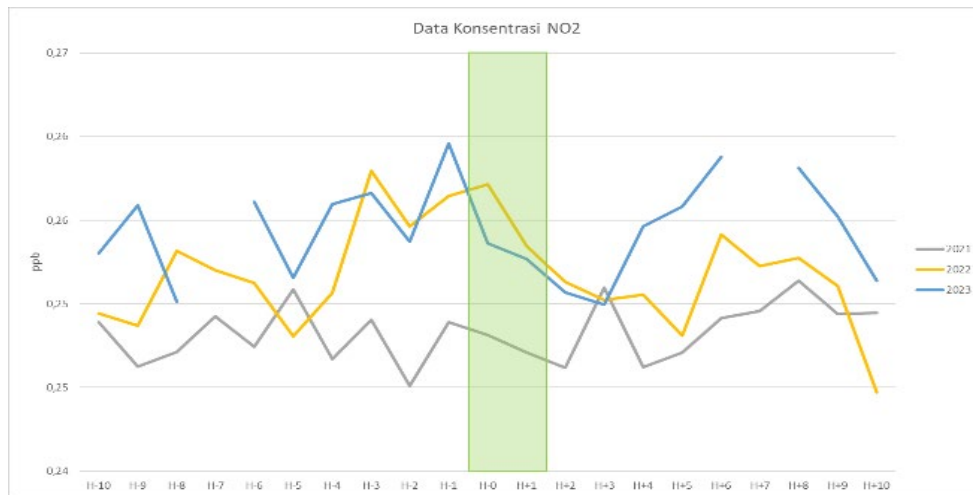
rentang H-6 hingga H-4. Peningkatan konsentrasi yang terjadi pada rentang tersebut masing-masing hanya sebesar 13.7% dalam sehari dan 15.7% dalam 2 hari. Peningkatan yang signifikan baru terjadi pada rentang H-2 hingga H-1, dimana konsentrasi meningkat dari 92.53 ppb menjadi 139.84 ppb atau sebesar 51.1% dalam sehari. Sedangkan selama arus balik tahun 2023 menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi yang terjadi pada rentang H+3 hingga H+4, dari 130.07 ppb menjadi 170.17 ppb atau sebesar 30.8% dalam sehari, serta pada rentang H+6 hingga H+8, dari 141.1 ppb menjadi 168.30 ppb atau sebesar 19.3% dalam 2 hari.

3.2. Gas Karbon dioksida (CO₂)

Data tahun 2019 dan 2020 cenderung lebih fluktuatif dibandingkan data tahun 2022 dan 2023, baik selama periode arus mudik ataupun arus balik. Data konsentrasi gas CO₂ selama arus mudik tahun 2019 berfluktuasi pada rentang 411.32 ppm hingga 424.49 ppm atau mengalami fluktuasi sebesar $\pm 3.2\%$, dan arus balik berfluktuasi sekitar 411.70 ppm hingga 421.74 ppm atau sebesar $\pm 2.4\%$. Sedangkan

data konsentrasi gas CO₂ selama arus mudik tahun 2020 menunjukkan nilai fluktuasi antara 428.79 ppm hingga 408.27 ppm atau sebesar $\pm 5.0\%$, dan data konsentrasi selama arus balik berfluktuasi sekitar 409.64 ppm hingga 424.77 ppm atau sebesar $\pm 3.7\%$.

Sementara itu, data konsentrasi gas CO₂ pada periode arus mudik tahun 2022 sempat melonjak pada rentang H-10 hingga H-8, dari 425.25 ppm menjadi 432.79 ppm atau sebesar 1.7% dalam 2 hari, lalu kembali turun dan stabil sejak H-6 hingga H-1 pada kisaran 419.08 ppm hingga 423.27 ppm atau mengalami penurunan konsentrasi sebesar 3.2% pada rentang H-8 hingga H-6. Sedangkan selama periode arus balik tahun 2022, konsentrasi berfluktuasi pada kisaran 418.92 ppm hingga 422.02 ppm atau sebesar $\pm 0.7\%$, konsentrasi gas CO₂ mengalami peningkatan pada rentang H+6 hingga H+8, dari 419.97 ppm menjadi 431.85 ppm atau sebesar 2.8%. Untuk konsentrasi gas CO₂ selama arus mudik tahun 2023 berfluktuasi pada 426.59 ppm hingga 432.68 ppm atau sebesar $\pm 1.4\%$, dan arus balik pada 426.20 ppm hingga 436.95 ppm atau sebesar $\pm 2.5\%$, dimana konsentrasi memiliki tren meningkat.



Gambar 3. Grafik Konsentrasi gas NO₂ periode lebaran tahun 2019-2023

3.3 Gas Nitrogen dioksida (NO₂)

Berdasarkan data grafik pada gambar 3, dapat dilihat secara keseluruhan bahwa terdapat tren peningkatan tahun ke tahun. Masing masing garis memiliki tren yang fluktuatif dalam skala konsentrasi yang sangat kecil pada rentang 0,245 ppb hingga 0,260 ppb.

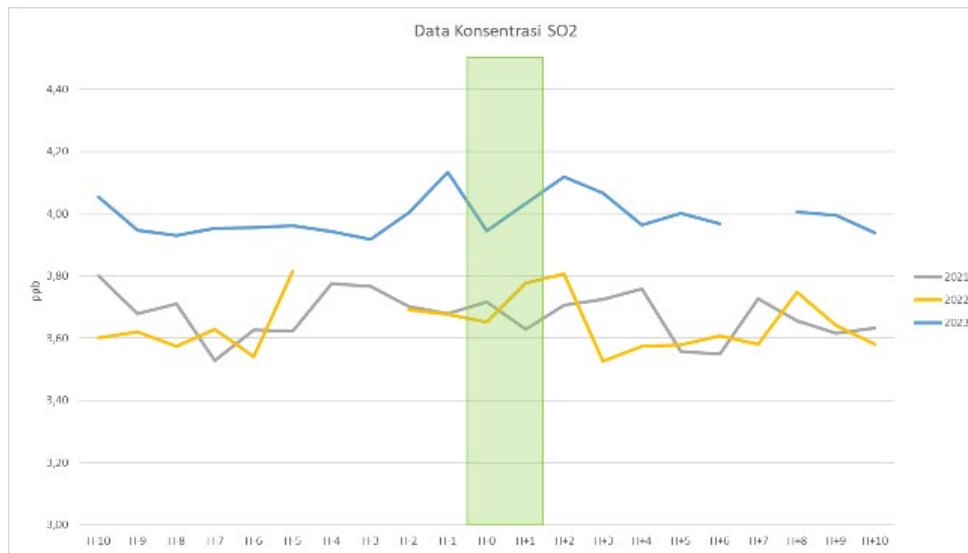
Data konsentrasi gas NO₂ selama arus mudik lebaran tahun 2021 menunjukkan adanya fluktuasi pada rentang 0.245 ppb hingga 0.251 ppb atau sebesar $\pm 2.4\%$. Sedangkan selama arus balik lebaran tahun 2021, konsentrasi gas NO₂ berfluktuasi pada rentang 0.246 ppb hingga 0.251 ppb atau sebesar $\pm 2.0\%$. Sementara itu, konsentrasi NO₂ yang terukur selama arus mudik dan arus balik tahun 2022 dan 2023 memiliki fluktuasi yang sedikit lebih lebar.

dibandingkan tahun 2021. Selama arus mudik tahun 2022 konsentrasi NO₂ berfluktuasi pada rentang 0.248 ppb hingga 0.258 ppb atau sebesar $\pm 4.0\%$, dan selama arus balik konsentrasi NO₂ berfluktuasi pada rentang 0.245 ppb hingga 0.251 ppb atau sebesar $\pm 2.4\%$. Sedangkan konsentrasi yang terukur selama arus mudik tahun 2023 berfluktuasi pada rentang 0.250 ppb hingga 0.260 ppb atau sebesar $\pm 4.0\%$, dan selama arus balik konsentrasi NO₂ berfluktuasi pada rentang 0.250 ppb hingga 0.259 ppb atau sebesar $\pm 3.6\%$.

3.4. Gas Sulfur Dioksida (SO₂)

Konsentrasi SO₂ tahun 2021 pada gambar 4 menunjukkan fluktuasi baik selama arus mudik yang berkisar pada nilai 3.527 ppb hingga 3.800 ppb atau sebesar $\pm 7.7\%$, dan arus balik yang berkisar pada nilai 3.549 ppb hingga 3.759 ppb atau sebesar $\pm 5.9\%$. Peningkatan konsentrasi gas SO₂ selama arus mudik dan arus balik lebaran tahun 2021 terjadi pada rentang H-7 dengan nilai 3.527 ppb menjadi 3.776 ppb pada H-4 atau sebesar 7% selama 3 hari, rentang H+1 dengan nilai 3.628 ppb menjadi 3.759 ppb pada H+4 atau sebesar 3.6% selama 3 hari, dan rentang H+6 dengan nilai 3.549 ppb menjadi 3.728 ppb pada H+7 atau sebesar 5% dalam sehari.

Data konsentrasi SO₂ tahun 2022 juga menunjukkan fluktuasi pada arus mudik dengan rentang 3.541 ppb hingga 3.815 ppb atau sebesar $\pm 7.7\%$, dan arus balik dengan rentang 3.525 ppb hingga 3.807 ppb atau sebesar $\pm 8.0\%$. Peningkatan konsentrasi gas SO₂ selama arus mudik dan arus balik lebaran tahun 2021 terjadi pada rentang H-6 dengan nilai 3.541 ppb menjadi 3.815 ppb pada H-5 atau sebesar 7.7% dalam sehari, rentang H+0 dengan nilai 3.651 ppb menjadi 3.807 ppb pada H+2 atau sebesar 4.3% dalam 2 hari, dan rentang H+7 dengan nilai 3.580 ppb menjadi 3.747 ppb pada H+8 atau sebesar 4.7% dalam sehari.



Gambar 4. Grafik Konsentrasi gas SO₂ periode lebaran tahun 2019-2023

Sementara itu data konsentrasi gas SO₂ tahun 2023 menunjukkan nilai yang stabil selama arus mudik H-9 sampai H-3 dengan nilai konsentrasi di kisaran 3.919 ppb hingga 3.962 ppb atau berfluktuasi sebesar $\pm 1.1\%$. Konsentrasi mengalami peningkatan pada rentang H-3 dari 3.919 ppb menjadu 4.134 ppb pada H-1 atau sebesar 5.5% dalam 2 hari. Sedangkan selama arus balik, terjadi peningkatan konsentrasi SO₂ pada rentang H-0 dengan nilai 3.944 ppb menjadi 4.119 ppb pada H+2 atau sebesar 4.4% dalam 2 hari.

3.5 Particulate Matter 10 μg (PM₁₀)

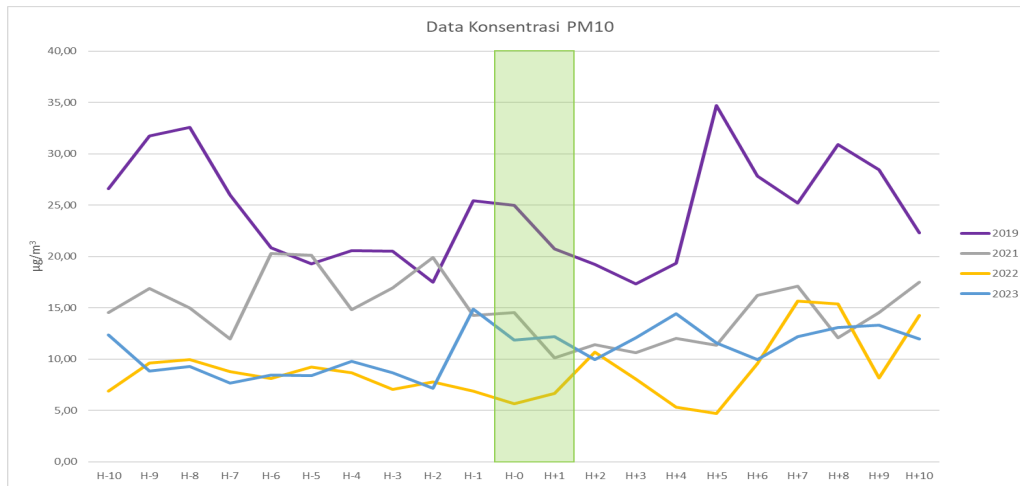
Berdasarkan data grafik pada gambar 5, dapat dilihat secara keseluruhan bahwa terdapat tren penurunan konsentrasi PM₁₀ dari tahun 2019 ke tahun 2022 dan kembali sedikit meningkat di tahun 2023. Kondisi ini disebabkan adanya perbedaan pola cuaca oleh fenomena El Nino yang menyebabkan kondisi cuaca yang terjadi pada tahun 2019 lebih kering dibandingkan dengan pada tahun lainnya.

Berdasarkan data indeks el nino pada website NOAA pada 2019 bulan Mei-Juni memiliki indeks El Nino sebesar +0.5, pada tahun 2020 bulan Mei sebesar -0.1, pada tahun 2021 bulan Mei sebesar -0.5, pada tahun 2022 bulan April-Mei sebesar -1.1, dan pada tahun 2023 bulan April sebesar +0.2. Masing masing garis memiliki tren yang fluktuatif. Secara keseluruhan tren berada pada rentang 4,691 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 20,292 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Secara keseluruhan, konsentrasi

PM₁₀ yang terukur masih berada pada kategori aman dengan konsentrasi < 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Data tahun 2019 menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi PM₁₀ selama arus mudik pada rentang H-10 yang bernilai 26.583 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 32.583 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H-8 atau sebesar 22.6% dalam 2 hari, dan rentang H-2 yang bernilai 17.500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 25.417 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H-1 atau sebesar 45.2% dalam sehari. Sedangkan selama arus balik terjadi peningkatan konsentrasi PM₁₀ yang signifikan pada rentang H+4 dengan nilai 19.333 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 34.708 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H+5 atau sebesar 79.5% dalam sehari, dan pada rentang H+7 dengan nilai 25.208 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 30.917 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H+8 atau sebesar 22.6% dalam sehari.

Data yang terukur selama arus mudik lebaran tahun 2021 menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada rentang H-10 dengan nilai 14.542 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 16.875 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H-9 atau sebesar 16.0% dalam sehari, rentang H-7 dengan nilai 11.958 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 20.292 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H-6 atau sebesar 69.7% dalam sehari, dan rentang H-4 dengan nilai 14.792 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 19.953 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H-2 atau sebesar 34.9% dalam 2 hari. Sedangkan selama arus balik terjadi peningkatan konsentrasi PM₁₀ yang signifikan pada rentang H+5 dengan nilai 11.333 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 17.125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H+7 atau sebesar 51.1% dalam 2 hari, dan pada rentang H+8 dengan nilai 12.083 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 17.500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada H+10 atau sebesar 44.8% dalam 2 hari.



Gambar 5. Grafik Konsentrasi gas PM10 periode lebaran tahun 2019-2023

Data yang terukur selama arus mudik lebaran tahun 2022 hanya menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada rentang H-10 dengan nilai 6.892 µg/m³ menjadi 9.950 µg/m³ pada H-8 atau sebesar 44.4% dalam 2 hari. Sedangkan selama arus balik lebaran 2022 konsentrasi PM₁₀ meningkat pada rentang H-0 dengan nilai 5.661 µg/m³ menjadi 10.650 µg/m³ pada H+2 atau sebesar 88.1% dalam 2 hari, rentang H+5 dengan nilai 4.691 µg/m³ menjadi 15.625 µg/m³ pada H+7 atau sebesar 233.1% dalam 2 hari, dan rentang H+9 dengan nilai 8.183 µg/m³ menjadi 14.243 µg/m³ pada H+10 atau sebesar 74.1% dalam sehari.

Sementara itu, data yang terukur selama arus mudik lebaran tahun 2023 hanya menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi PM₁₀ pada rentang H-2 dengan nilai 7.130 µg/m³ menjadi 14.875 µg/m³ pada H-1 atau sebesar 108.6% dalam sehari. Sedangkan selama arus balik lebaran 2023 konsentrasi PM₁₀ meningkat pada rentang H+2 dengan nilai 9.975 µg/m³ menjadi 14.425 µg/m³ pada H+4 atau sebesar 44.6% dalam 2 hari, dan rentang H+6 dengan nilai 9.945 µg/m³ menjadi 13.325 µg/m³ pada H+9 atau sebesar 34.0% dalam 3 hari.

Peningkatan Konsentrasi CO yang terjadi selama periode penelitian karena disebabkan oleh tingginya polusi udara dari kendaraan bermotor dan aktivitas masyarakat di luar ruangan [18]. Kemudian untuk kondisi dari SO₂ dari hasil penelitian, tidak dipengaruhi oleh aktivitas mudik sehingga nilainya cenderung tidak mengalami kenaikan, karena sumber utama dari gas tersebut lebih banyak disebabkan oleh kondisi fenomena alam seperti Gunung meletus [19]. Pada periode penelitian, tidak ada terjadi letusan gunung berapi.

Konsentrasi CO₂ selalu mengalami peningkatan dari tahun ke tahun berdasarkan data dari periode penelitian, hal tersebut disebabkan bukan karena periode mudik lebaran, melainkan karena deforestasi hutan yang terus terjadi dan pembakaran bahan bakar fosil [20,21]. Untuk parameter PM₁₀, kenaikannya pada periode penelitian lebih banyak disebabkan oleh kondisi fenomena iklim seperti ENSO (El – Nino dan La Nina, bukan karena aktivitas mudik lebaran [22]. Selain itu juga, konsentrasi PM₁₀ dan CO yang tinggi dapat dijumpai pada kondisi kebakaran hutan dan lahan [23,24]. Namun pada periode penelitian ini, tidak terdapat kebakaran hutan dan lahan.

Konsentrasi NO₂ pada periode penelitian tidak mengalami kenaikan sama sekali, walaupun terjadi peningkatan kendaraan dan aktivitas masyarakat, konsentrasinya tetap dalam kondisi normal. Hal tersebut bisa saja disebabkan oleh konsentrasi yang terakumulasi disebarkan oleh angin sehingga tidak terukur konsentrasinya dengan tepat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengukuran yang dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa aktivitas mudik yang terjadi pada tahun 2019-2023 berpengaruh terhadap meningkatnya konsentrasi gas CO yang terukur di Stasiun GAW Bukit Kototabang selama arus mudik ataupun arus balik lebaran. Sedangkan pengaruh aktivitas mudik terhadap gas CO₂ tidak terlalu signifikan. meskipun begitu, konsentrasi gas CO₂ selalu mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Lebih lanjut lagi, aktivitas mudik tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan konsentrasi gas SO₂. Sedangkan untuk parameter PM₁₀ cenderung dipengaruhi oleh perbedaan kondisi iklim

dimana pada tahun 2019 terjadi El-Nino lemah, sedangkan tahun 2020-2022 terjadi La-Nina, dan tahun 2023 berada pada kondisi netral. Untuk Konsentrasi NO₂ tidak terpengaruh pada periode penelitian. Secara keseluruhan, konsentrasi dari parameter yang diukur masih berada pada kategori aman.

Daftar Pustaka

- [1] Prasajo, A. P. S., Aini, Y. N., & Kusumaningrum, D. (2020). Potensi Pola Aliran Mudik pada Masa Pandemi COVID-19, *Jurnal Kependudukan Indonesia, Edisi Khusus Demografi dan COVID-19*, 21-26.
- [2] Soebyakto, B. B. (2011). Mudik Lebaran. *Jurnal Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi Universitas Sriwijaya*, 9(2), 61-67.
- [3] Hadis, H. (2019). *Info Mudik Sumbar: Padang-Pekanbaru Meningkat 20 Persen, Dilarang Parkir di Kelok 9*. Retrieved from <https://langgam.id/info-mudik-sumbar-padang-pekanbaru-meningkat-20-persen-dilarang-parkir-di-kelok-9/>.
- [4] Graf, H. F., Feichter, J., & Langmann, B. (1997). Volcanic sulfur emissions: Estimates of source strength and its contribution to the global sulfate distribution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D9), 10727-10738.
- [5] Bhanarkar, A. D., Goyal, S. K., Sivacoumar, R., & Rao, C. C. (2005). Assessment of contribution of SO₂ and NO₂ from different sources in Jamshedpur region, India. *Atmospheric Environment*, 39(40), 7745-7760.
- [6] Simandjuntak, A. G. (2007). Pencemaran udara. *Buletin Limbah*, 11(1). 34-40
- [7] Suharyono. (2023). *Arus Mudik Lebaran Idul Fitri 2023 ke Sumbar Diprediksi Tiga Kali Lipat dari Tahun Lalu*. Retrieved from <https://www.liputan6.com/regional/read/5263859/arus-mudik-lebaran-idul-fitri-2023-ke-sumbar-diprediksi-tiga-kali-lipat-dari-tahun-lalu>.
- [8] Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor, *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, 1(3), 241-247.
- [9] Tugawati, A. T. (2008). Emisi gas buang kendaraan bermotor dan dampaknya terhadap kesehatan. *Komisari Penghapusan Bensis Bertimbang*, 1, 1-11. Retrieved from www.kbnp.org/makalah-Ind/emisi
- [10] Rose, K. D. C., & Tualeka, A. R. (2014). Penilaian Risiko Paparan Asap Kendaraan Bermotor Pada Polantas Polrestabes Surabaya Tahun 2014. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 3(1), 46-57.
- [11] Hasnisa, Juswono, U. P., & Wardoyo, A. Y. P. (2014). Pengaruh Paparan Asap Kendaraan Bermotor Terhadap Gambaran Histologi Organ Ginjal Mencit (Mus musculus). *Brawijaya Physics Student Journal (PSJ)*. Retrieved from <https://media.neliti.com/media/publications/160211-ID-pengaruh-paparan-asap-kendaraan-bermotor.pdf>
- [12] EPA. (2023). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. Retrieved from <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>.
- [13] Kurniawan, A. (2017). Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO₂, SO₂, O₃ dan PM₁₀) Di Bukit Kototabang Berbasis ISPU. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 1-13
- [14] Kwak, H. Y., Ko, J., Lee, S., & Joh, C. H. (2016). *Identifying the correlation between rainfall, traffic flow performance and air pollution concentration in Seoul using a path analysis*. World Conference on Transport Research - WCTR 2016 (10-15). Shanghai, China
- [15] Zhang, H., Xu, T., Zong, Y., Tang, H., Liua, X., & Wanga, Y. (2015). *Influence of Meteorological Conditions on Pollutant Dispersion in Street Canyon*. Proceeding Engineering of 9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE) (899 – 905). Tianjin, China
- [16] Jayamurugan, R., Kumaravel, B., Palanivelraja, S. & Chockalingam, M. P. (2013). Influence of Temperature, Relative Humidity and Seasonal Variability on Ambient Air Quality in a Coastal Urban Area. *International Journal of Atmospheric Sciences*, 2013 , 1-7
- [17] National Weather Service. (2023). *Cold & Warm Episodes by Season*. Retrieved from https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.
- [18] Tyovenda, A. A., Ayua, T. J., & Sombo, T. (2021). Modeling of gaseous pollutants (CO and NO₂) emission from an industrial stack in Kano city, northwestern Nigeria. *Atmospheric Environment*, 253 , 118356.
- [19] Malinconico Jr, L. L. (1987). On the variation of SO₂ emission from volcanoes. *Journal of volcanology and geothermal research*, 33(1), 231-237.
- [20] Woodwell, G. M., Hobbie, J. E., Houghton, R. A., Melillo, J. M., Moore, B., Peterson, B. J., & Shaver, G. R. (1983). Global deforestation: contribution to atmospheric carbon dioxide. *Science*, 222(4628), 1081-1086.
- [21] Guild, L. S., Kauffman, J. B., Cohen, W. B., Hlavka, C. A., & Ward, D. E. (2004). Modeling biomass burning emissions for Amazon forest and pastures in Rondônia, Brazil. *Ecological Applications*, 14(4), 232-246.
- [22] Hassan, H., Latif, M. T., Juneng, L., Amil, N., Khan, M. F., Yik, D. J., & Abdullah, N. A. (2020). Interaction of PM₁₀ concentrations with local and synoptic meteorological conditions at different temporal scales. *Atmospheric Research*, 241, 104975.
- [23] Bravo, J. L., Amador-Munoz, O., Villalobos-Pietrini, R., & Muhlia, A. (2006). Influence of some meteorological parameters and forest fires on PM₁₀ concentrations in a southwest zone of Mexico Valley. *International journal of environment and pollution*, 26(1-3), 142-155.
- [24] Wotawa, G., & Trainer, M. (2000). The influence of Canadian forest fires on pollutant concentrations in the United States. *Science*, 288(5464), 324-328.