

# Analisis Variabilitas Emisi Karbon Monoksida Selama Penyelenggaraan MotoGP di Kabupaten Lombok Tengah

Attiya Shakila Giananti<sup>1\*</sup>, Bimo Hanggadireksa<sup>1</sup>, Muhammad Faisal Rohman<sup>1</sup>, Rizki Syahputra<sup>1</sup>, Agung Hari Saputra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

\*Email Koresponden; attiya.shakila@gmail.com

Diterima: 12-11-2023

Disetujui: 25-12-2023

Publish: 30-12-2023

**Abstrak** Event MotoGP merupakan salah satu event olahraga yang populer di dunia. Namun, event ini juga dapat mengeluarkan emisi karbon monoksida (CO) yang dapat mempengaruhi kualitas udara di wilayah sekitar. Pada event MotoGP, emisi karbon monoksida merupakan salah satu jenis emisi yang dapat dihasilkan oleh mesin motor yang digunakan. Emisi karbon monoksida ini dapat mempengaruhi kualitas udara di sekitarnya dan dapat berdampak pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui tingkat emisi karbon monoksida yang disumbangkan dari event MotoGP di berbagai lokasi dan bagaimana emisi tersebut mempengaruhi kualitas udara di sekitarnya. Untuk pertama kalinya, event MotoGP diadakan di Indonesia, tepatnya di daerah Lombok Tengah. Event ini berlangsung pada tanggal 11 s.d. 20 Maret 2022 dimana hal ini memungkinkan untuk terjadinya peningkatan kadar karbon monoksida. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui variabilitas sebaran kadar karbon monoksida (CO) mulai dari sebelum hingga setelah event MotoGP dilakukan. Dalam penelitian ini data diperoleh dari data citra satelit Sentinel 5P / TROPOMI dan diolah menggunakan Google Earth Engine. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa emisi karbon monoksida tertinggi di daerah Lombok Tengah terjadi pada puncak pelaksanaan event MotoGP (20 Maret 2022). Emisi karbon cenderung mengalami peningkatan tiap perubahan periode. Berdasarkan data emisi CO tiap kecamatan di Kabupaten Lombok Tengah, kecamatan dengan emisi tertinggi adalah kecamatan Praya Timur dan Pujut dan kecamatan dengan emisi terendah adalah kecamatan Batukliang.

**Kata kunci:** MotoGP; CO; Google Earth Engine; Sentinel 5P; Transportasi

**Abstract** The MotoGP event is one of the most popular sporting events in the world. However, this event can also emit carbon monoxide (CO), which can affect air quality in the surrounding area. At MotoGP events, carbon monoxide emissions are one type of emission that can be produced by the motorbike engines used. This carbon monoxide emission can affect the quality of the surrounding air and can have an impact on human health. Therefore, it is essential to know the level of carbon monoxide emissions contributed by MotoGP events in various locations and how these emissions affect the surrounding air quality. For the first time, the MotoGP event was held in Indonesia, precisely in the Central Lombok area. This event takes place from the 11th to the 20th of March 2022 when it is possible for an increase in carbon monoxide levels to occur. This research was conducted to know the variability of the distribution of carbon monoxide (CO) levels from before to after the MotoGP event was held. In this study, data were obtained from Sentinel 5P / TROPOMI satellite imagery data and processed using the Google Earth Engine. The results of this study indicate that the highest carbon monoxide emissions in the Central Lombok area occurred at the peak of the MotoGP event (March 20, 2022). Carbon emissions tend to increase with each changing period. Based on CO emission data for each sub-district in Central Lombok Regency, the sub-district with the highest emissions is Praya Timur, and Pujut sub-districts, and the sub-district with the lowest emission is Batukliang sub-district.

**Keywords:** MotoGP; CO; Google Earth Engine; Sentinel 5P; Transportation

## 1. PENDAHULUAN

Karbon monoksida merupakan polutan utama berupa gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak beracun (Pandu, 2020). Gas ini mempunyai berat jenis yang lebih rendah dibandingkan udara dan sangat stabil dengan waktu tinggal di udara 2 sampai 4 bulan (Purnomohadi, 1995). Kelebihan karbon monoksida, bersama dengan beberapa gas lain seperti metana, merupakan gas rumah kaca dan dapat meningkatkan suhu permukaan bumi akibat terperangkapnya radiasi gelombang panjang (Soedomo, 2001). Karbon monoksida (CO) juga merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak beracun. Gas CO dapat berbentuk cair pada suhu  $-192\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kehadiran gas ini terutama dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dengan udara dalam bentuk gas buang. Selain kegiatan industri, gas buang kendaraan juga merupakan salah satu sumber CO terbesar (Wardhana, 2004). Sumber utama CO adalah kendaraan bermotor akibat pembakaran tidak sempurna, proses industri menempati urutan kedua, dan pembakaran

limbah pertanian serta kebakaran hutan menempati urutan ketiga dan keempat (Tjasjono, 1999). Setiap aktivitas yang melibatkan pembakaran bahan organik merupakan sumber karbon monoksida. CO juga diproduksi secara alami selama proses ledakan (Soedomo, 2001).

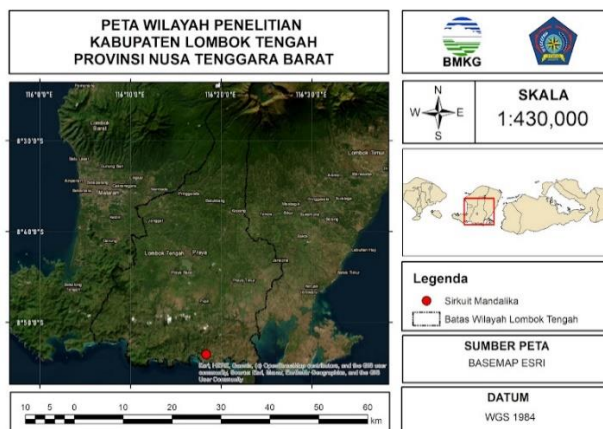
Penginderaan jauh bertujuan untuk memetakan citra dari sensor dengan berbagai spasial, temporal, dan resolusi spektral (Daldegan et al., 2019). Sentinel-5 adalah satelit yang bertujuan untuk pengukuran atmosfer terkait kualitas udara, pemantauan dan perubahan iklim dari lapisan ozon. Prekursor satelit ini dilengkapi instrumen TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) untuk mengukur sejumlah gas seperti nitrogen dioksida, karbon monoksida, aerosol, dll (Tabunschik et al., 2023). Salah satu alat komputasi pengolah citra satelit ini adalah Google Earth Engine (GEE) yang mana merupakan platform komputasi awan untuk menyimpan dan memproses kumpulan data besar (dalam kisaran petabyte) untuk analisis dan pengambilan keputusan akhir (Kumar dan Mutanga, 2018). Front end yang mudah diakses dan ramah pengguna menyediakan lingkungan akses yang nyaman untuk pengembangan data dan algoritma interaktif. Pengguna juga dapat menambah dan mengelola data dan koleksi mereka sendiri, memanfaatkan sumber daya cloud Google untuk segalanya. GEE menawarkan banyak keuntungan dalam pemrosesan data baik dari sudut pandang perangkat keras maupun perangkat lunak (Mutanga dan Lalit, 2019; Gorelick et al., 2017).

Polusi udara adalah masalah yang sangat mendesak baik secara lokal, regional, maupun global karena dampaknya pada kesehatan manusia dan lingkungan sekitar (Tabunschik et al., 2023). Karbon monoksida merupakan salah satu jenis gas polutan yang perlu diwaspadai. Untuk pertama kalinya ajang MotoGP digelar di Indonesia, tepatnya di kawasan Lombok tengah. Meski ajang ini sangat populer di kalangan atlet, namun dampak yang ditimbulkan adalah kehadiran karbon monoksida (CO) yang dikeluarkan dari kendaraan selama ajang ini (Putri, 2021). Event ini berlangsung pada tanggal 11 s.d. 20 Maret 2022 dimana hal ini memungkinkan untuk terjadinya peningkatan kadar karbon monoksida. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan citra satelit terhadap data kepadatan CO yang mempresentasikan kandungan CO di atmosfer selama penyelenggaraan event MotoGP berlangsung di daerah Lombok Tengah.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat, yang terletak antara  $82^{\circ} 7' - 8^{\circ} 30' LS$  dan  $116^{\circ} 10' - 116^{\circ} 30' BT$  (lihat Gambar 1). Secara topografis, ketinggian wilayah Lombok Tengah bervariasi antara 0 hingga 2.000 meter di atas permukaan laut, wilayah Lombok Tengah bagian utara bergunung-gunung, wilayah Lombok Tengah bagian tengah dataran rendah, dan dataran rendah bagian selatan. Daerah tersebut merupakan daerah perbukitan di tengah Kabupaten Lombok. Kabupaten Lombok Tengah terdiri atas 12 kecamatan dengan populasi sebanyak 1.059.324 jiwa dan luas wilayah 1.095,03 km<sup>2</sup> (Ahda & Apriyeni, 2017). Menurut data BPS Kabupaten Lombok Tengah 2022, wilayah Kabupaten Lombok Tengah memiliki suhu rata-rata sekitar 26.4°C, kelembaban rata-rata sekitar 84%, dan curah hujan tahunan sekitar 170 mm<sup>2</sup>



Gambar 1. Peta lokasi sampel

## 2.2. Sumber dan Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan data satelit Level 3 dari Sentinel 5P/TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) jenis produk NRTI/L3\_CO. Satelit Sentinel-5P diluncurkan oleh ESA (Badan Antariksa Eropa) pada tahun 2017 untuk mengamati atmosfer bumi. Data Sentinel 5P hadir dalam dua versi: hampir real-time (NRTI) dan offline (OFFL). Dataset NRTI mencakup area yang lebih kecil dibandingkan dataset OFFL, namun ditampilkan lebih cepat setelah pengumpulan. Data asli Sentinel 5P Level 2 (L2) dipisahkan berdasarkan waktu, bukan garis lintang/garis bujur. Untuk menyederhanakan pemrosesan data di Google Earth Engine, setiap produk Sentinel 5P L2 dikonversi ke L3 dan mempertahankan satu jaringan per revolusi. Google Earth Engine (GEE) sendiri merupakan platform/komputasi awan yang memungkinkan analisis data lingkungan dalam skala global. GEE digunakan untuk menganalisis data satelit untuk membuat distribusi konsentrasi polutan. GEE didasarkan pada bahasa pemrograman JavaScript (Indriyaningtyas et al., 2021). Pemrosesan informasi karbon monoksida (CO) dilakukan menggunakan sintaks Javascript di Editor Kode Google Earth Engine untuk mendapatkan informasi kolom konsentrasi CO yang mewakili tingkat CO di atmosfer. Periode pengamatan penelitian dilakukan pada saat event MotoGP (lihat Tabel 1). Perangkat lunak lain yang digunakan adalah perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Perangkat lunak GIS digunakan untuk pengolahan data spasial dan tata letak peta.

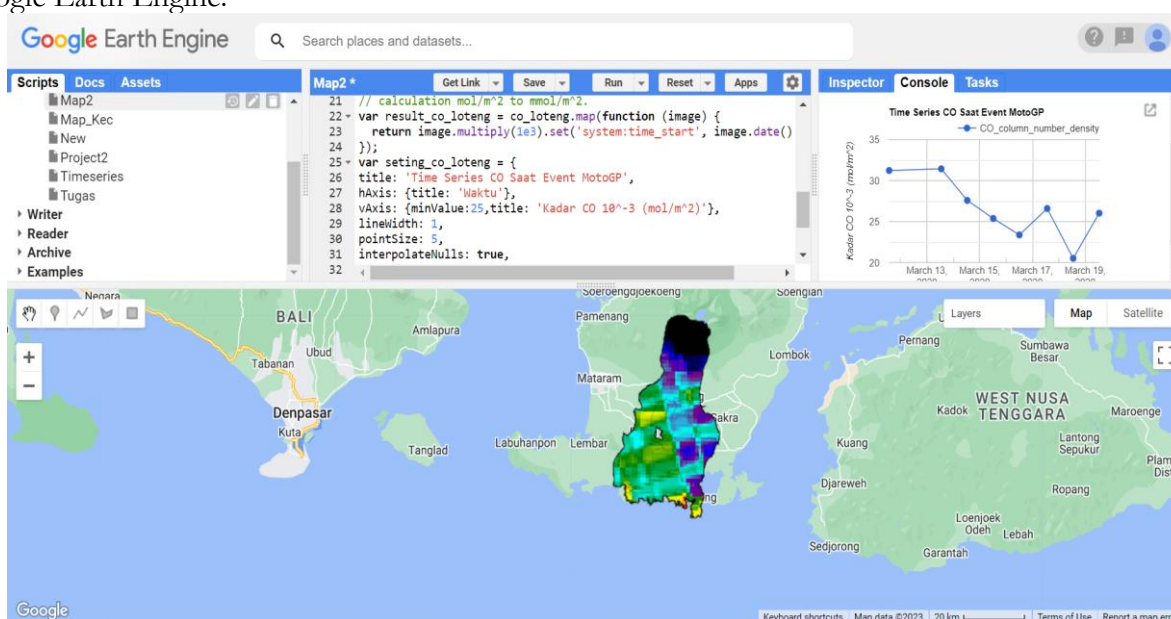
Tabel 1. Periode pengamatan sebaran emisi karbon monoksida

Tanggal	Kategori
11-20 Februari 2022	Sebelum event MotoGP
11-20 Maret 2022	Pelaksanaan event MotoGP
11-20 April 2022	Setelah event MotoGP

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Analisis Data melalui GEE

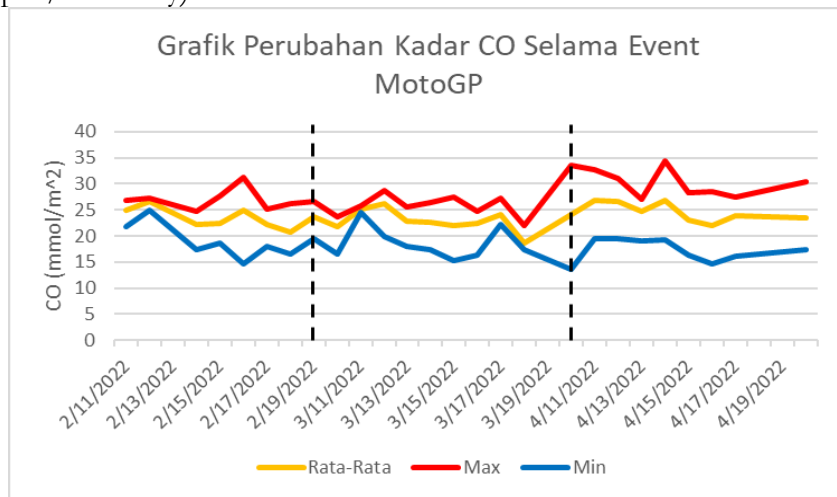
Analisis data pada GEE menggunakan bahasa pemrograman JavaScript. Analisis data dilakukan dengan melakukan import data Sentinel-5P NRTI CO: Near Real-Time Carbon-Monoxide. Selanjutnya dilakukan filter tanggal/ periode waktu yaitu 3 periode waktu (sebelum, saat, dan setelah event motoGP Mandalika) dan dilakukan masking citra berdasarkan batas penelitian sehingga didapatkan perubahan kadar CO di Kabupaten Lombok Tengah. Google Earth Engine dapat digunakan untuk menganalisis data satelit yang memiliki resolusi tinggi, mengelola data geospasial, dan membuat visualisasi serta aplikasi geospasial. GEE juga menyediakan koleksi besar data satelit yang terintegrasi dengan alat analisis guna mengekstrak informasi yang berguna dari data tersebut. Gambar 2 merupakan tampilan dashboard Google Earth Engine.



Gambar 2. Dashboard Google Earth Engine

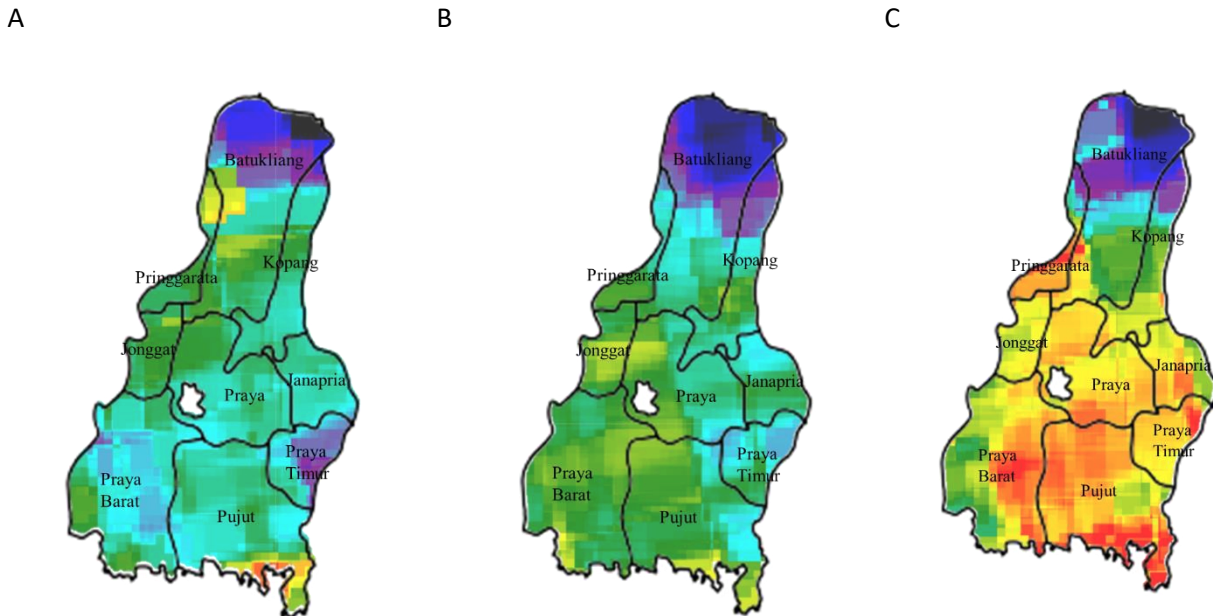
### 3.2. Perubahan Kadar Karbon Monoksida Selama Event MotoGP

Pada periode MotoGP, hasil ekstraksi data karbon monoksida di wilayah Lombok tengah menunjukkan nilai yang berbeda. Pola kadar emisi CO (maksimum, minimum, rata-rata) cenderung meningkat dari periode ke periode, dengan peningkatan yang signifikan pasca gelaran MotoGP. Meningkatnya emisi karbon pasca gelaran MotoGP membuat selama ini masih banyak wisatawan yang ingin melihat kembali indahnya sirkuit Mandalika dan meluangkan waktunya untuk berlibur atau berwisata ke Lombok. Destinasi wisata paling populer bagi wisatawan di provinsi Lombok tengah adalah Pantai Kuta yang terletak di kecamatan Pujut. Berdasarkan visualisasi karbon monoksida di wilayah Lombok terlihat bahwa lokasi Pantai Kuta menyumbang jejak karbon yang tinggi. Selama perhelatan MotoGP, pemerintah daerah akan bekerja sama dengan MGPA menyediakan angkutan umum untuk mengangkut calon penonton dari Bandara Internasional Zainuddin Abdulmadjid Lombok, sehingga mengurangi emisi karbon dari kendaraan pribadi. Tren emisi tertinggi terjadi pada 20 Maret 2022, puncak MotoGP (hari balapan/Race Day).



**Gambar 3.** Grafik Perubahan Kadar CO (Rata-rata garis kuning, minimum garis biru, dan maksimum dengan garis merah) Selama Penyelenggaraan Event MotoGP

Untuk lebih jelas mengenai gambaran lokasi perubahan kadar CO di lokasi Even Moto GP akan disajikan sebuah peta yang dapat dilihat pada gambar 4.



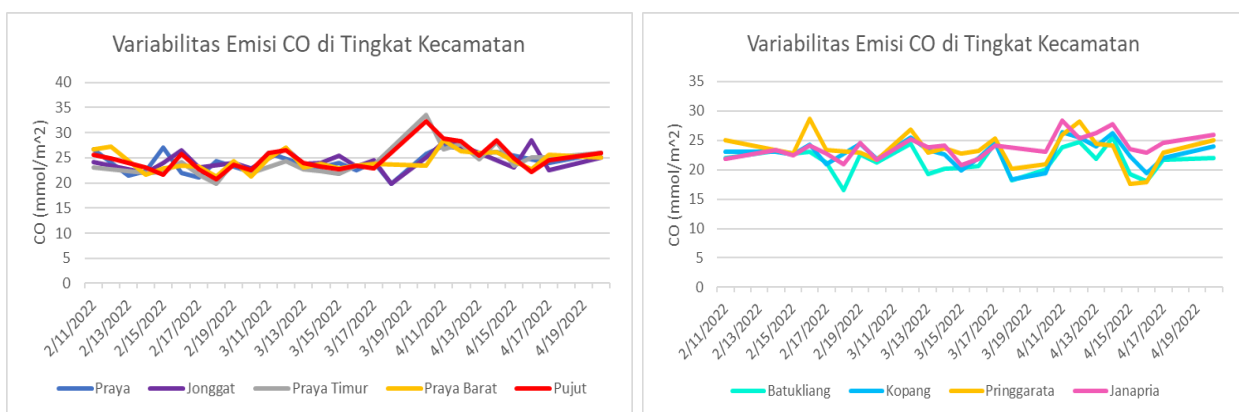
**Gambar 3.** Grafik Perubahan Kadar CO A. Sebelum Event MotoGP, B. Pelaksanaan Event MotoGP, C. Setelah Event MotoGP



Gambar 4 menunjukkan variabilitas sebaran kadar CO selama penyelenggaraan MotoGP yang terbagi menjadi 3 periode yaitu sebelum event MotoGP (11-20 Februari 2022), pelaksanaan event MotoGP (11-20 Maret 2022) dan setelah event MotoGP (11-20 April 2022). Warna pada peta menunjukkan kadar CO mulai dari hitam (rendah) - merah (tinggi). Sebelum event MotoGP pada peta menunjukkan adanya dominasi warna cyan (warna biru kehijau-hijauan). Ketika pelaksanaan event MotoGP pada peta menunjukkan adanya peningkatan kadar CO dimana warna cyan pada peta mulai menghilang dan tergantikan oleh warna hijau. Dan setelah event MotoGP pada peta menunjukkan adanya variasi warna baru yang merata yakni merah dan kuning serta semakin rendahnya warna cyan yang mengindikasikan tingginya kadar CO. Berdasarkan visualisasi sebaran karbon monoksida, kadar karbon monoksida tertinggi terletak pada Kecamatan Pujut bagian selatan. Kecamatan Pujut sendiri menyumbang emisi karbon monoksida dengan rata-rata sebesar 24.8 mmol/m<sup>2</sup> selama penyelenggaraan MotoGP.

### 3.3. Kadar Emisi CO Per-Kecamatan

Emisi karbon monoksida (CO) di kecamatan yang berada di Kabupaten Lombok Tengah cenderung berbeda-beda. Kecamatan Pujut dan Praya Timur mempunyai nilai emisi CO terbesar yang terjadi pada puncak pelaksanaan event motoGP (20 Maret 2022) yaitu sebesar 32.2 dan 33.6 mmol/m<sup>2</sup>. Sedangkan Kecamatan Batukliang mempunyai nilai emisi CO terendah, yang terjadi sebelum event MotoGP sebesar 16.6 mmol/m<sup>2</sup>. Gambar 5 menunjukkan pola emisi CO masing-masing Kecamatan di wilayah Lombok Tengah per Kecamatan tahun 2022 selama 3 periode (sebelum, saat, dan sesudah pelaksanaan event). Pola kenaikan per kecamatan relatif berbeda-beda. Beberapa kecamatan mengalami pola kenaikan per tiap periode sampel waktu, beberapa kecamatan tidak mengalami perubahan yang signifikan tiap periode waktu, beberapa juga mengalami pola naik turun yang cukup signifikan. Kondisi tersebut diduga karena aktivitas pariwisata di beberapa kecamatan serta aktivitas transportasi dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor.



**Gambar 5.** Variabilitas Emisi CO di Tingkat Kecamatan

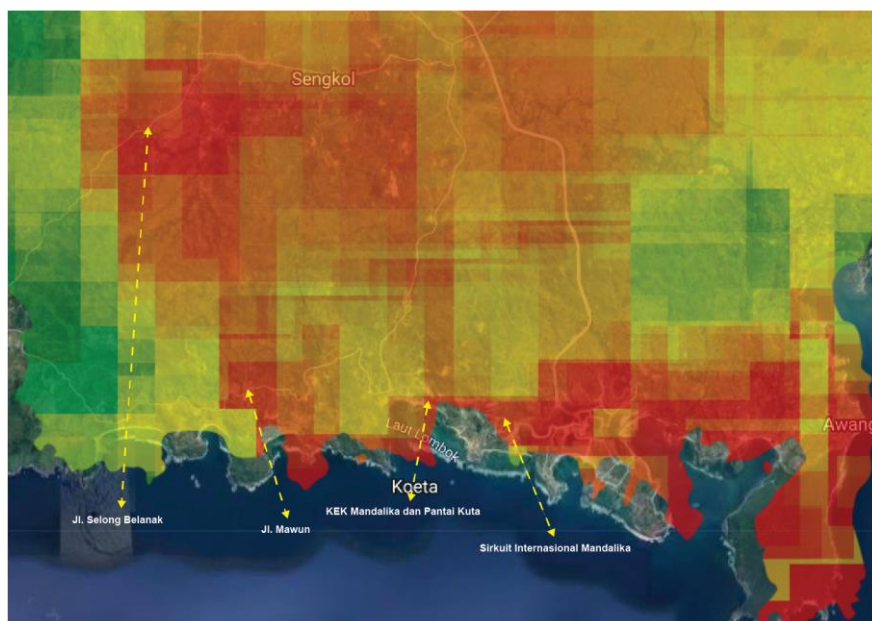
Pada periode sebelum event MotoGP, rata-rata kadar emisi CO per-kecamatan sebesar 23.06 mmol/m<sup>2</sup> dan kecamatan Pringgarata menyumbang kadar CO tertinggi sebesar 28.8 mmol/m<sup>2</sup>. Rerata kadar emisi pada saat pelaksanaan event MotoGP adalah 23.42 mmol/m<sup>2</sup>. Kecamatan Pujut dan Kecamatan Praya Timur memiliki nilai emisi CO tertinggi pada periode ini. Selanjutnya, pada periode setelah event MotoGP, rata-rata kadar emisi CO per-kecamatan sebesar 24.86 mmol/m<sup>2</sup> dan kecamatan Pujut menyumbang kadar CO tertinggi sebesar 28.8 mmol/m<sup>2</sup>. Kecamatan Batukliang menjadi kecamatan yang menyumbang kadar CO terendah setiap periodenya.

Pada puncak pelaksanaan event MotoGP, Kecamatan Pujut dan Praya Timur menyumbangkan emisi CO tertinggi selama penyelenggaraan MotoGP. Hal tersebut disebabkan oleh tingginya aktivitas transportasi dan Race Day MotoGP. Sirkuit Mandalika sebagai arena bagi para riders menyumbangkan emisi CO yang tinggi yang dihasilkan mesin motor dengan tenaga besar dan menggunakan bahan bakar fosil. Mesin motor dengan tenaga besar cenderung menghasilkan lebih banyak emisi CO karena memiliki tingkat kompresi yang tinggi. Tingkat kompresi yang tinggi akan menghasilkan lebih banyak panas dan tekanan saat pembakaran bahan bakar. Hal ini akan menyebabkan lebih banyak bahan bakar terbakar dengan baik, yang akan menghasilkan lebih banyak tenaga dan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi. Namun, tingkat kompresi yang tinggi juga akan menyebabkan lebih banyak emisi karbon monoksida (CO)

dibandingkan dengan tingkat kompresi yang lebih rendah. Ini karena bahan bakar yang tidak terbakar dengan baik akan menghasilkan CO sebagai produk sampingan.

Setelah event MotoGP terlihat bahwa destinasi wisata mulai ramai dikunjungi para wisatawan. Hal ini dibuktikan tingginya emisi CO pada lokasi wisata dan akses/jalan menuju lokasi wisata lihat (Gambar 6). Kepadatan lalu lintas merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan tingkat emisi karbon monoksida (CO) di suatu wilayah. Karbon monoksida merupakan gas yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar, terutama bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Ketika terlalu banyak kendaraan bermotor yang melintasi jalan, maka akan terjadi peningkatan emisi gas buang yang mengandung CO. Peningkatan emisi gas buang tersebut dapat menyebabkan tingkat polusi udara meningkat termasuk tingkat CO di wilayah tersebut.

Selain itu, tingginya emisi CO dapat dipengaruhi oleh curah hujan. Pada saat pelaksanaan Motor GP, terjadi hujan singkat dengan intensitas ringan. Hujan dapat berifat asam dikarenakan adanya gas-gas polutan yang terlarut dalam presipitasi tersebut (Kusuma Wardhani & Ihwan, 2015). Gas-gas tersebut dapat terabsorpsi dalam air yang dapat menyebabkan menurunkan kadar polutan di wilayah tersebut. Dikarenakan hujan yang terjadi pada saat event motoGP berlangsung tergolong ringan, tidak terlalu memberikan penurunan yang signifikan terhadap emisi CO di wilayah tersebut.



**Gambar 6.** Visualisasi Tingkat Emisi Karbon Monoksida Setelah Event MotoGP, overlay dengan Citra Google Satellite

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwasannya terdapat peningkatan kadar emisi CO pada saat pelaksanaan event MotoGP di Kabupaten Lombok Tengah, Lombok. Dapat dilihat kadar emisi CO di Lombok Tengah tetap meningkat meskipun event MotoGP telah terlaksana. Tercatat rata-rata nilai kadar emisi CO sebelum event MotoGP (11-20 Februari 2022) sebesar 23.06 mmol/m<sup>2</sup> dan meningkat hingga 24.86 mmol/m<sup>2</sup> ketika event MotoGP telah dilaksanakan (11-20 April 2022). Sedangkan, nilai tertinggi kadar emisi CO terjadi ketika puncak pelaksanaan MotoGP (20 Maret 2022) sebesar 32.2 dan 33.6 mmol/m<sup>2</sup>. Meningkatnya kadar emisi CO pada saat dan setelah pelaksanaan event MotoGP dikarenakan meningkatnya jumlah wisatawan dan kehadiran atlet beserta tim yang berlaga pada event tersebut. Penyebaran kadar emisi CO di Kabupaten Lombok Tengah sangat bervariasi pada tingkat kecamatan. Kecamatan dengan emisi tertinggi adalah kecamatan Praya Timur dan Kecamatan Pujut dengan emisi CO dengan rentang 32.2 dan 33.6 mmol/m<sup>2</sup>. Sedangkan kecamatan dengan emisi terendah adalah kecamatan Batukliang dengan emisi CO sebesar 16.6 mmol/m<sup>2</sup>

#### 5. REFERENSI

Ahda, B., & Apriyeni, R. (2017). *Tapak Ekologi Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat* (Vol. 15).

- Bagong Tjasjono. (1999). *Klimatologi Umum / Bagong Tjasjono*. Bandung : ITB.
- Daldegan, G. A., Roberts, D. A., & Ribeiro, F. De F. (2019). Spectral Mixture Analysis In Google Earth Engine To Model And Delineate Fire Scars Over A Large Extent And A Long Time-Series In A Rainforest-Savanna Transition Zone. *Remote Sensing Of Environment*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111340>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis For Everyone. *Remote Sensing Of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis For Everyone. *Remote Sensing Of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Indriyaningtyas, S., Hasandy, L. R., & Dewantoro, B. E. B. (2021). Dinamika Konsentrasi Emisi Gas Karbon Monoksida (Co) Selama Periode Psbb Menggunakan Komputasi Berbasis Cloud Pada Google Earth Engine Studi Kasus Di Provinsi Dki Jakarta, Indonesia. *Majalah Ilmiah Globe*, 23(1).
- Kumar, L. And Mutanga, O. (2018) Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends And Potential. *Remote Sensing*, 10, Article No. 1509. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>.
- Kusuma Wardhani, N., & Ihwan, A. (2015). Studi Tingkat Keasaman Air Hujan Berdasarkan Kandungan Gas Co<sub>2</sub>, So<sub>2</sub> Dan No<sub>2</sub> Di Udara (Studi Kasus Balai Pengamatan Dirgantara Pontianak). *Iii(01)*, 9–14.
- Mutanga, Onesimo & Kumar, Lalit. (2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*. 11. 591. [10.3390/rs11050591](https://doi.org/10.3390/rs11050591).
- Myw (Admin). “Pengenalan Google Earth Engine.” Geosai, 20 Sept. 2021, [Geosai.My.Id/Pengenalan-Google-Earth-Engine/](https://geosai.my.id/pengenalan-google-earth-engine/).
- Pandu. (2020). Tugas Akhir Analisis Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (Co) Jalan Malioboro Yogyakarta.
- Purnomohadi, S. (1995). Peran Ruang Terbuka Hijau Dalam Pengendalian Kualitas Udara Di Dki Jakarta. Institut Pertanian Bogor.
- Putri, I. G. A. M. R. D. (2021). Analisis Penerapan Konsep Green Construction Pada Proyek Mandalika International Street Circuit Berdasarkan Prinsip Pembangunan Berkelanjutan. *E-Journal Universitas Atma Jaya Yogyakarta*. <http://e-journal.uajy.ac.id/id/eprint/27559>
- Tabunschik, V., Gorbunov, R., & Gorbunova, T. (2023). Unveiling Air Pollution In Crimean Mountain Rivers: Analysis Of Sentinel-5 Satellite Images Using Google Earth Engine (Gee). *Remote Sensing*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/rs15133364>.
- Soedomo, Moestikahadi. 2003. *Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara*. Itb Press : Bandung.
- The European Space Agency. (2014). User Guide Sentinel 5 P. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi>.
- Wardhana, W.A. (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Cetakan Keempat. Penerbit Andi: Yogyakarta.