

## Analisis Hubungan Karbon Monoksida dengan Variabel Lingkungan Menggunakan *Google Earth Engine*

Santamajati<sup>1\*</sup>, Suharyadi<sup>2</sup>

Sistem Informasi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

\*e-mail *Corresponding Author*: 682020148@student.uksw.edu

### Abstract

*As the center of government of Central Java Province, Semarang City is experiencing many changes and developments, and various human activities occur in this city. This can affect air quality, namely an increase in air pollution, one of which is carbon monoxide. This pollutant can cause serious problems because it adversely affects public health and the environment. So, efforts need to be made to overcome it, such as monitoring the condition of carbon monoxide and environmental factors that have the potential to influence its increase, such as vegetation density, surface temperature, and rainfall. This research aims to monitor carbon monoxide, as well as these environmental factors using Google Earth Engine and satellite data. In addition, it aims to understand the relationship between carbon monoxide and some of these environmental factors. The results show that the northern region of Semarang City has higher carbon monoxide levels. Also, areas with low vegetation density and rainfall, as well as high surface temperatures, tend to have higher carbon monoxide levels.*

**Keywords:** *Google Earth Engine; Carbon Monoxide; NDVI; LST; Rainfall*

### Abstrak

Sebagai pusat pemerintahan Provinsi Jawa Tengah, Kota Semarang mengalami banyak perubahan dan perkembangan, serta berbagai aktivitas manusia terjadi di kota ini. Hal ini dapat berpengaruh terhadap kualitas udara, yaitu adanya peningkatan polusi udara, salah satunya karbon monoksida. Polutan ini dapat menimbulkan permasalahan serius karena berdampak buruk bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan. Sehingga, perlu dilakukan upaya untuk mengatasinya, seperti melakukan pemantauan terhadap kondisi karbon monoksida dan faktor lingkungan yang berpotensi mempengaruhi peningkatannya, seperti kerapatan vegetasi, suhu permukaan, dan curah hujan. Penelitian ini bertujuan untuk memantau karbon monoksida, serta faktor-faktor lingkungan tersebut menggunakan *Google Earth Engine* dan data satelit. Selain itu, bertujuan untuk memahami hubungan antara karbon monoksida dengan beberapa faktor lingkungan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah utara Kota Semarang memiliki kadar karbon monoksida lebih tinggi. Juga, daerah dengan kerapatan vegetasi dan curah hujan rendah, serta suhu permukaan yang tinggi, cenderung memiliki kadar karbon monoksida yang lebih tinggi.

**Kata kunci:** *Google Earth Engine; Karbon Monoksida; NDVI; LST; Curah Hujan*

### 1. Pendahuluan

Keberadaan karbon monoksida (CO) memiliki dampak buruk terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Gas ini dihasilkan melalui pembakaran gas, minyak, petrol, bahan bakar, dan asap rokok, serta memiliki karakteristik tidak berwarna, tidak berasa, tidak mengiritasi, dan tidak berbau [1]. Peningkatan emisi CO dapat menjadi permasalahan serius di banyak kota, termasuk Kota Semarang. Sebagai salah satu kota besar di Indonesia dan menjadi pusat pemerintahan Provinsi Jawa Tengah, menjadikan Kota Semarang berpotensi mengalami peningkatan konsentrasi CO. Oleh karena itu, memahami faktor-faktor yang mempengaruhi persebaran CO di Kota Semarang menjadi langkah penting untuk pengembangan strategi mitigasi.

Dalam melakukan pemantauan CO pada lingkup perkotaan, dibutuhkan metode yang dapat mengukur kadar CO secara luas dan akurat, salah satunya menggunakan Stasiun Pemantauan Kualitas Udara (SPKU). Namun, tidak semua kota di Indonesia terdapat SPKU. Berdasarkan peta sebaran SPKU yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan

Kehutanan [2], tidak terdapat SPKU di Kota Semarang. SPKU terdekat terletak di Kecamatan Ungaran Barat, Kabupaten Semarang, yang berjarak sekitar 23 km dari Kantor Wali Kota Semarang. SPKU terdekat lainnya terletak di Kecamatan Kendal, Kabupaten Kendal, sekitar 30 km dari Kantor Wali Kota Semarang. Ketidakterdediaan SPKU di kota ini menimbulkan tantangan dalam pemantauan CO secara spesifik, sehingga dibutuhkan metode lainnya yang lebih efisien dan dapat mencakup seluruh wilayah Kota Semarang.

Adapun metode yang dapat menjadi alternatif dalam pemantauan CO, yaitu penerapan sistem informasi geografis dengan memanfaatkan salah satu teknologi di dalamnya, yaitu *Google Earth Engine* (GEE). Teknologi ini memberikan kemudahan untuk mengakses data citra satelit dari berbagai sumber, serta memiliki sumber daya komputasi berkinerja tinggi untuk memproses kumpulan data geospasial dan penginderaan jauh yang diproses dan diperbarui secara berkala [3]. GEE memiliki *database* geospasial yang besar yang diperoleh dari berbagai lembaga dan satelit yang tersedia untuk semua pengguna [4].

Dengan kemampuan yang dimiliki GEE, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan GEE beserta koleksi citra satelit di dalamnya guna melakukan pemantauan terhadap tingkat konsentrasi CO di Kota Semarang pada tahun 2020 hingga 2023. Juga, pemantauan terhadap beberapa variabel lingkungan lainnya yang memiliki potensi untuk mempengaruhi konsentrasi CO, yaitu tingkat kerapatan vegetasi/*normalized difference vegetation index* (NDVI), suhu permukaan/*land surface temperature* (LST), dan curah hujan. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis hubungan antara CO dengan NDVI, LST, dan curah hujan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi masyarakat untuk mengambil langkah-langkah proaktif dalam menjaga lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi pertimbangan bagi pemerintah dalam upaya menjaga kualitas udara dan lingkungan di Kota Semarang.

## 2. Tinjauan Pustaka

Beragam penelitian telah dilakukan terkait pemantauan CO menggunakan GEE. Salah satunya adalah penelitian oleh Attiya Shakila Giananti, dkk (2023) yang bertujuan memahami variabilitas kadar CO selama penyelenggaraan *MotoGP* di Kabupaten Lombok Tengah. Menggunakan data dari *Sentinel-5P*, penelitian tersebut menunjukkan adanya peningkatan kadar CO pada saat dan setelah pelaksanaan *MotoGP* [5].

Selain untuk pemantauan CO, GEE juga dimanfaatkan untuk keperluan lainnya. Sanjoy Garai, dkk (2022) telah memanfaatkan GEE untuk menilai korelasi antara curah hujan, NDVI, dan LST di Benggala Barat, India bagian timur. Penelitian tersebut menggunakan MODIS untuk memperoleh LST dan NDVI, serta *Centre of Hydrometeorology and Remote Sensing* untuk mendapatkan nilai curah hujan. Hasilnya menunjukkan bahwa hubungan antara curah hujan berbanding lurus dengan NDVI, serta curah hujan dan NDVI berbanding terbalik dengan LST [6].

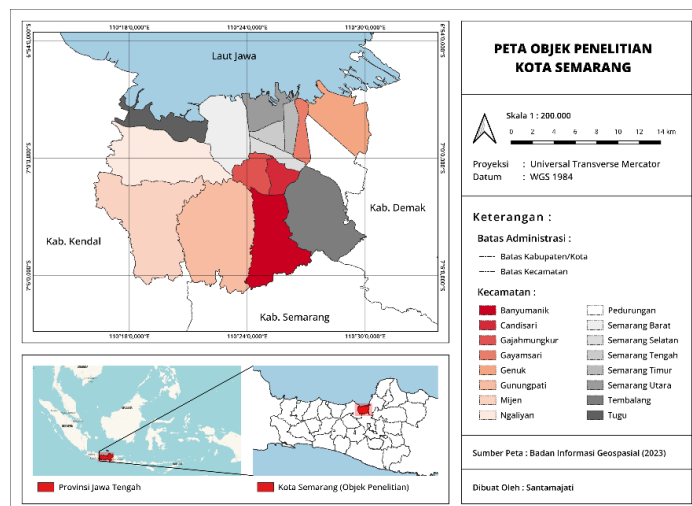
Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Donni Kurnia Saputra dan Hary Nugroho [7] juga menerapkan GEE untuk pemantauan CO di Kota Cimahi. Penelitian tersebut mengaitkan antara CO dengan NDVI dan LST. Data yang digunakan ialah *Sentinel-5P* untuk pemantauan CO, serta *Landsat-8* untuk pemantauan NDVI dan LST. Hasilnya menunjukkan bahwa penurunan NDVI dan peningkatan LST berhubungan dengan peningkatan CO.

Penelitian ini juga menerapkan GEE untuk menganalisis hubungan antara CO dengan NDVI dan LST. Namun, untuk meningkatkan pemahaman dalam pemantauan CO, penelitian ini melibatkan satu variabel lainnya, yaitu curah hujan. Selain itu, data yang digunakan pada penelitian ini, meliputi *Sentinel-5P* untuk pemantauan CO, *Sentinel-2* untuk pemantauan NDVI, *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) untuk pemantauan LST, dan *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) untuk pemantauan curah hujan.

## 3. Metodologi

### 3.1. Area Penelitian

Objek penelitian ini ialah Kota Semarang. Kota ini memiliki luas wilayah 373,78 km<sup>2</sup> yang terdiri dari 16 kecamatan dan 177 kelurahan. Kota Semarang terletak antara 6°50' - 7°10' Lintang Selatan dan 109°35' - 110°50' Bujur Timur. Berbatasan dengan Kabupaten Demak di bagian timur, Kabupaten Semarang di bagian selatan, Kabupaten Kendal di bagian barat, dan di bagian utara dibatasi oleh Laut Jawa dengan garis pantai sepanjang 13,6 km. Kota ini memiliki ketinggian yang berkisar antara 0,75 hingga 348 meter di atas garis pantai [8].



Gambar 1. Peta Administrasi Kota Semarang

### 3.2. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini mencakup peta batas administrasi Kota Semarang tahun 2022 yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial [9]. Serta, data tahunan pada tahun 2020 sampai 2023 dari beberapa citra satelit yang tersedia di GEE. Peta batas administrasi digunakan sebagai acuan geospasial untuk area penelitian, sedangkan data dari citra satelit sebagai media untuk pengukuran dan pemantauan terhadap variabel penelitian. Untuk pemantauan CO, data yang digunakan adalah citra dari *Sentinel-5P*. Dilengkapi dengan sensor *Tropospheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) yang diluncurkan pada 13 Oktober 2017, memungkinkan *Sentinel-5P* untuk melakukan pengukuran terhadap gas-gas di atmosfer, sifat-sifat awan, dan aerosol [10]. Satelit ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi gas-gas polutan, seperti O<sub>3</sub>, metana, formaldehida, aerosol, CO, NO<sub>2</sub>, dan SO<sub>2</sub> [11]. *Sentinel-5P* merupakan pendekatan yang paling efisien untuk pengukuran kadar gas polutan, termasuk CO [12]. Penelitian ini juga menggunakan produk dari *Sentinel* lainnya, yaitu *Sentinel-2* untuk mengidentifikasi tingkat kerapatan vegetasi dengan metode NDVI. Adanya sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI), memungkinkan *Sentinel-2A* dapat digunakan untuk berbagai keperluan, salah satunya terkait pemetaan vegetasi atau NDVI. Satelit ini juga memiliki resolusi 10 meter dan mampu untuk melakukan pemantauan NDVI dengan tingkat akurasi yang tinggi [13]. MODIS digunakan untuk pemantauan LST, karena satelit ini memiliki sensor atau *band* khusus untuk LST. Sedangkan, CHIRPS digunakan untuk pemantauan curah hujan. Satelit ini memiliki kemampuan yang sangat baik dalam merepresentasikan distribusi rata-rata curah hujan dalam jangka panjang [14].

Tabel 1. Data Penelitian

| No. | Data   | Sumber                     | Tahun       | Keterangan                                |
|-----|--|----------------------------|-------------|---|
| 1.  | Peta Batas Administrasi Kota Semarang  | Badan Informasi Geospasial | 2022        | Sebagai batas area penelitian             |
| 2.  | Sentinel-5P OFFL CO: Offline Carbon Monoxide   | Google Earth Engine        | 2020 - 2023 | Sebagai data untuk pemantauan CO          |
| 3.  | Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A                                    | Google Earth Engine        | 2020 - 2023 | Sebagai data untuk pemantauan NDVI        |
| 4.  | MOD11A1.061 Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km                       | Google Earth Engine        | 2020 - 2023 | Sebagai data untuk pemantauan LST         |
| 5.  | CHIRPS Daily: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data (Version 2.0 Final) | Google Earth Engine        | 2020 - 2023 | Sebagai data untuk pemantauan curah hujan |

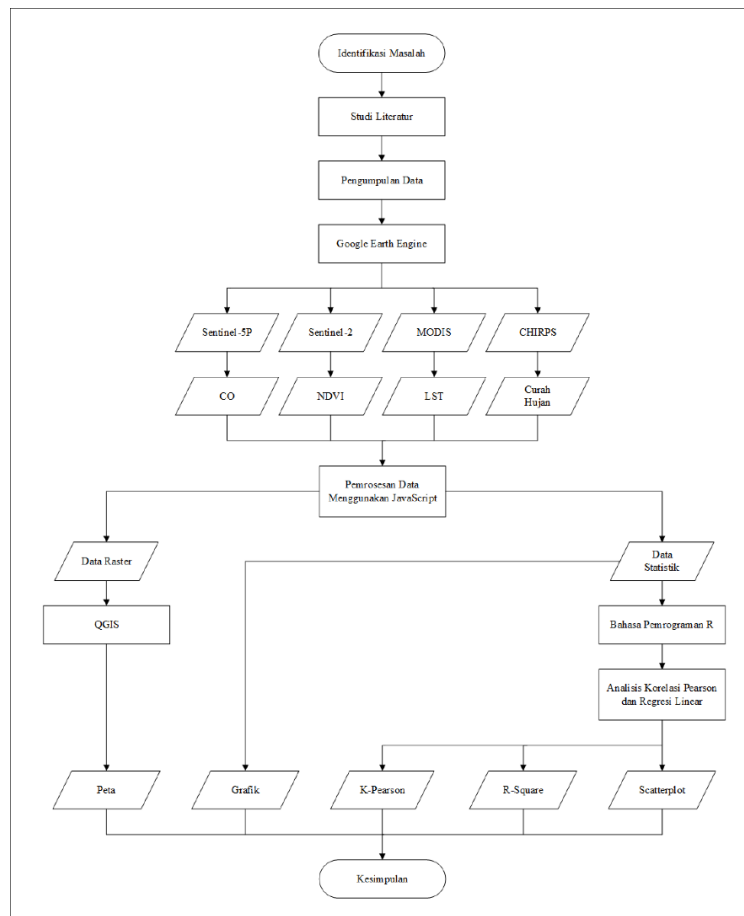
### 3.3. Alur Penelitian

Beberapa tahapan untuk memperoleh peta CO, NDVI, LST, dan curah hujan, meliputi pengumpulan data, pengkodean *JavaScript* pada GEE untuk menghasilkan peta beserta data statistiknya, dan penyajian peta. Selain itu, berdasarkan hasil yang didapat dari perhitungan GEE, kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui hubungan antara CO dengan NDVI, CO dengan LST, dan CO dengan curah hujan.

Pengambilan peta menggunakan GEE melibatkan beberapa langkah, seperti import data citra satelit dan penerapan berbagai fungsi pemrosesan data menggunakan *JavaScript*. Selanjutnya, akan diperoleh dua tipe *output*, yaitu peta dan laporan statistik.

Untuk *output* berupa peta, kemudian dilakukan penyajian peta menggunakan QGIS. Perangkat ini merupakan perangkat lunak sistem informasi geografis yang tersedia secara gratis dan *open source*. QGIS dapat digunakan untuk membuat, mengedit, visualisasi, analisis, dan publikasi data geospasial. Perangkat lunak ini dapat dioperasikan menggunakan sistem operasi *Windows*, *macOS*, *Linux*, *BSD*, dan perangkat seluler [15].

Sedangkan *output* berupa laporan statistik, kemudian dianalisis menggunakan beberapa metode untuk mengetahui hubungan antara CO dengan variabel lainnya. Pada tahapan ini, terdapat dua metode yang digunakan, yaitu analisis korelasi *Pearson* dan regresi linear. Korelasi *Pearson* digunakan untuk mengetahui kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel. Metode ini merupakan metode korelasi paling umum yang merupakan kovarian dari dua variabel yang dinormalisasi oleh standar deviasi [16]. Sedangkan, regresi linear digunakan untuk memahami hubungan antara nilai variabel penjelas kuantitatif atau prediktor dan nilai-nilai dari hasil kuantitatif atau respon [17]. Dalam bidang tertentu, prediktor disebut sebagai variabel independen dan hasilnya sebagai variabel dependen. Adapun alat yang digunakan dalam melakukan kedua analisis tersebut, yaitu bahasa pemrograman *R*. Bahasa pemrograman ini digunakan dapat untuk melakukan komputasi statistika dan visualisasi data yang telah diterapkan pada bidang *data mining*, *bioinformatics*, dan *data analysis* [18].



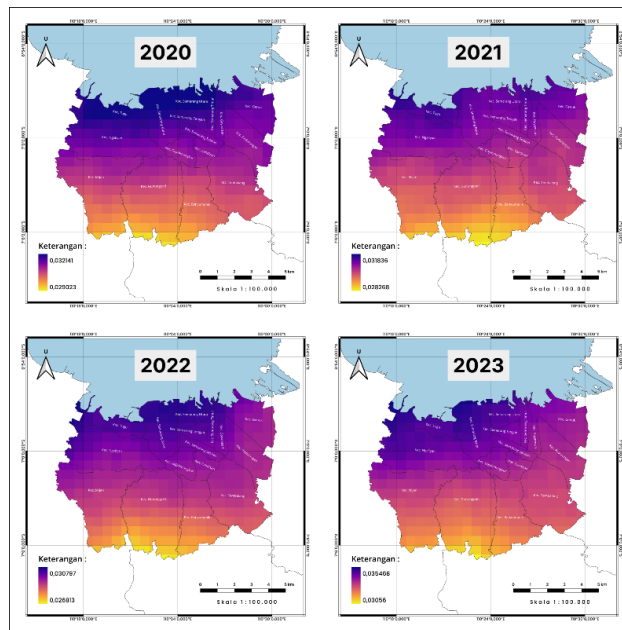
Gambar 2. Alur Penelitian

**4. Hasil dan Pembahasan**

Berikut hasil distribusi spasial-temporal dan data statistik CO, NDVI, LST, dan curah hujan di Kota Semarang pada tahun 2020 sampai 2023. Serta, hasil analisis hubungan antara CO dengan NDVI, CO dengan LST, dan CO dengan curah hujan.

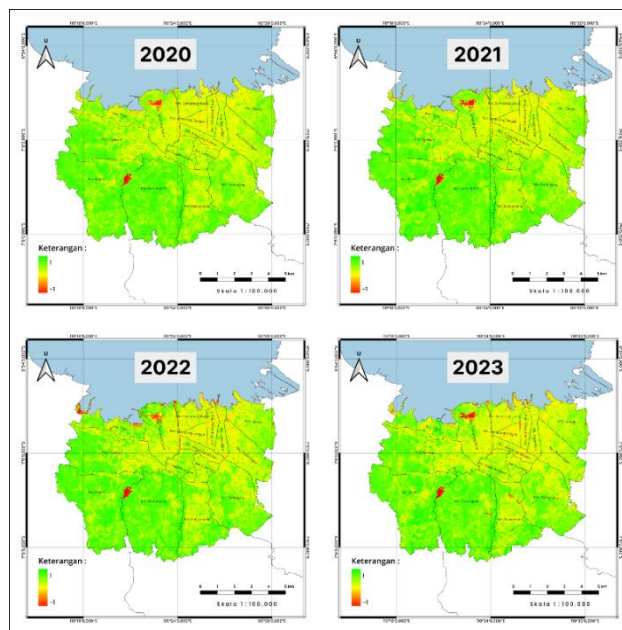
**4.1. Distribusi Spasial-Temporal**

Konsentrasi CO yang tinggi dari tahun 2020 hingga 2023 terjadi di Kota Semarang bagian utara, yaitu di Kecamatan Tugu, Ngaliyan, Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Timur, dan Gayamsari.



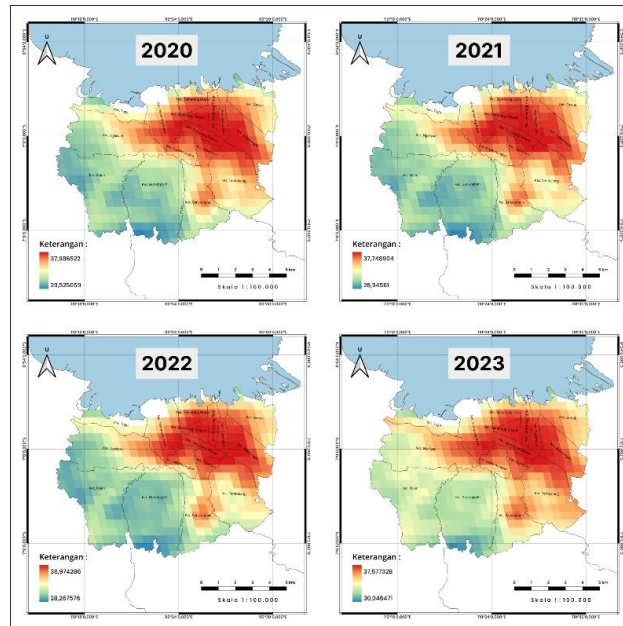
Gambar 3. Distribusi Spasial-Temporal CO

Peta NDVI yang telah dihasilkan mengindikasikan bahwa tidak terdapat perubahan spasial yang signifikan. Kecamatan Gunungpati, Mijen, dan Ngaliyan merupakan daerah yang didominasi dengan tingkat kepadatan vegetasi tinggi.



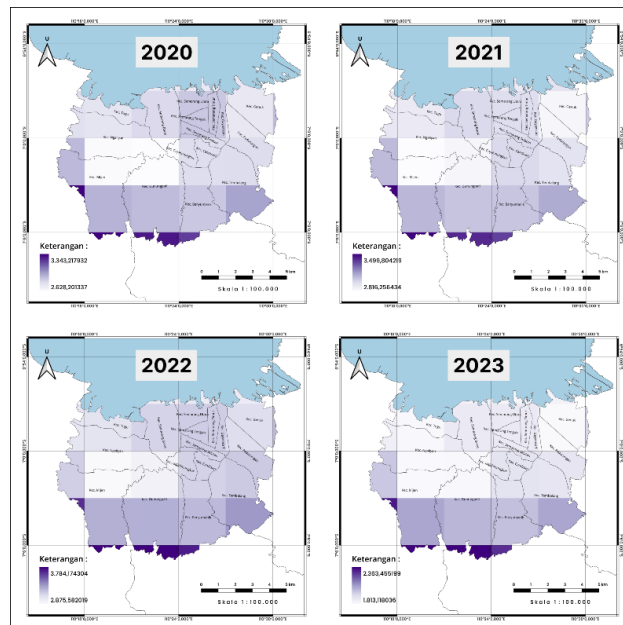
Gambar 4. Distribusi Spasial-Temporal NDVI

Secara spasial, temperatur dengan suhu tinggi mendominasi Kecamatan Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Selatan, Gajahmungkur, Candisari, Gayamsari, dan Pedurungan. Daerah-daerah ini memiliki suhu yang lebih panas dibandingkan dengan wilayah lainnya.



Gambar 5. Distribusi Spasial-Temporal LST

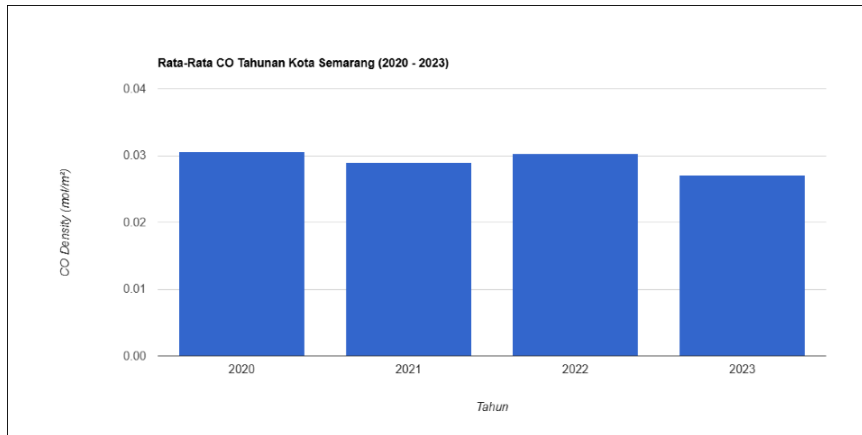
Sebagian besar wilayah di Kota Semarang memiliki jumlah curah hujan yang tergolong sedang di tiap tahunnya.



Gambar 6. Distribusi Spasial-Temporal Curah Hujan

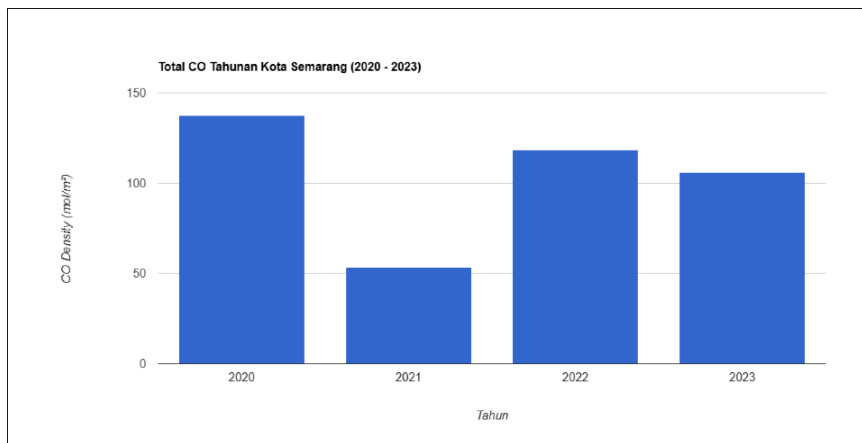
#### 4.2. Data Statistik

Rata-rata konsentrasi CO di Kota Semarang tidak mengalami perubahan yang signifikan. Rata-rata konsentrasi CO berkisar  $0.031 \text{ mol/m}^2$  pada 2020,  $0.029 \text{ mol/m}^2$  pada 2021,  $0.030 \text{ mol/m}^2$  pada 2022, dan  $0.027 \text{ mol/m}^2$  pada 2023.



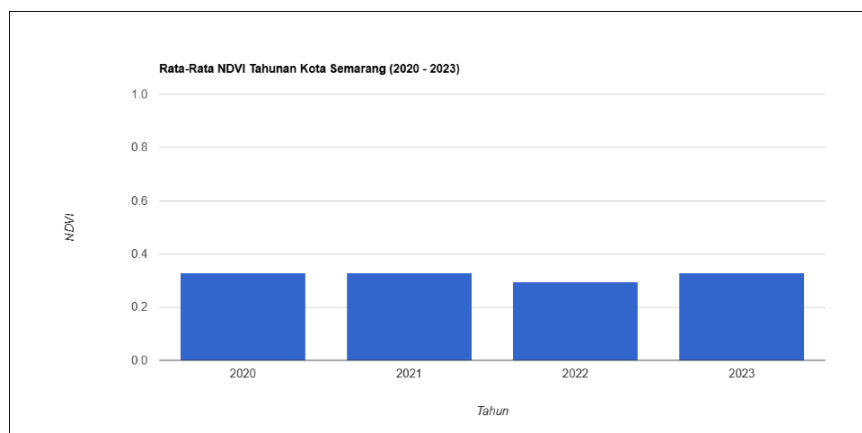
Gambar 7. Grafik Rata-Rata CO Tahunan

Sedangkan, jumlah keseluruhan konsentrasi CO tahunan mencapai 137.67 mol/m<sup>2</sup> pada 2020, 53.30 mol/m<sup>2</sup> pada 2021, 118.61 mol/m<sup>2</sup> pada 2022, dan 106.09 mol/m<sup>2</sup> pada 2023. Hal ini menunjukkan bahwa total CO tahunannya mengalami perubahan yang signifikan. Pada tahun 2021, terjadi penurunan sekitar 61% dari tahun sebelumnya. Kemudian, pada tahun berikutnya, jumlah CO mengalami peningkatan sebanyak lebih dari dua kali lipat dari tahun 2021.



Gambar 8. Grafik Jumlah CO Tahunan

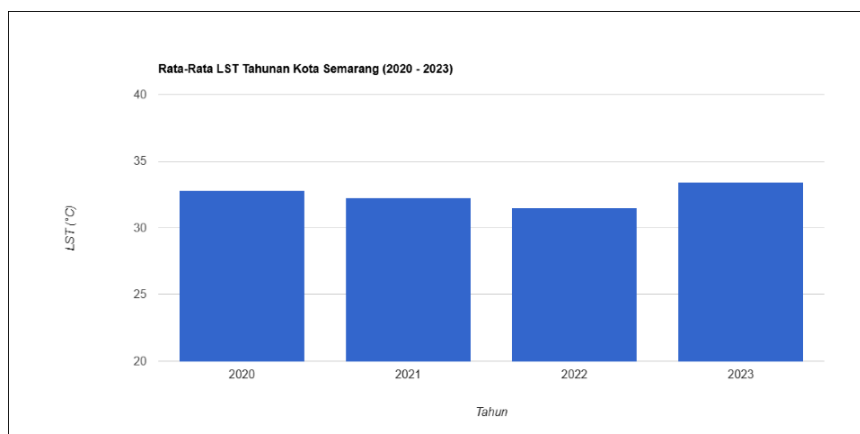
Rata-rata nilai NDVI tahunan relatif stabil. Nilai-nilainya berkisar 0.328 pada tahun 2020, 0.330 pada 2021, 0.295 pada 2022, dan 0.329 pada 2023.



Gambar 9. Grafik Rata-Rata NDVI Tahunan

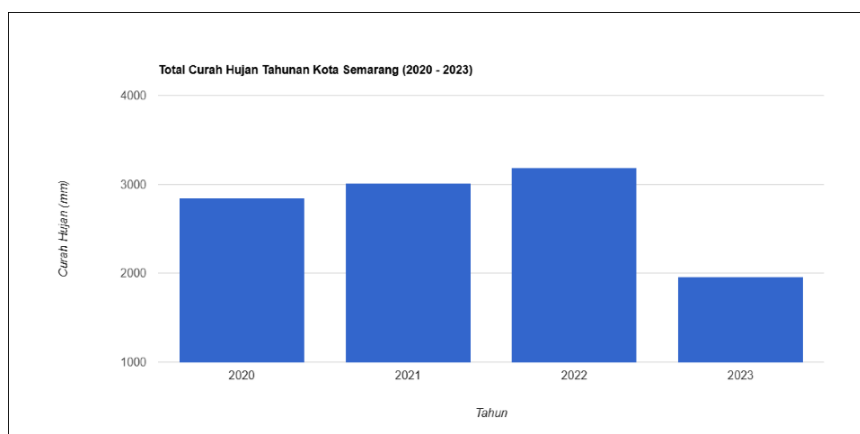


Rata-rata LST tahunan juga menunjukkan kestabilan. Temperatur rata-rata sekitar 32.80 °C pada 2020, 32.25 °C pada 2021, 31.52 °C pada 2022, dan 33.42 °C pada 2023.



Gambar 10. Grafik Rata-Rata LST Tahunan

Pada tahun 2020 hingga 2022, jumlah curah hujan tahunan mengalami peningkatan di tiap tahunnya, meskipun tidak signifikan. Total curah hujan kurang lebih 2849 mm pada 2020, 3012 mm pada 2021, dan 3188 pada 2022. Sementara pada tahun 2023, terjadi penurunan jumlah curah hujan yang signifikan menjadi 1959 mm.



Gambar 11. Grafik Jumlah Curah Hujan Tahunan

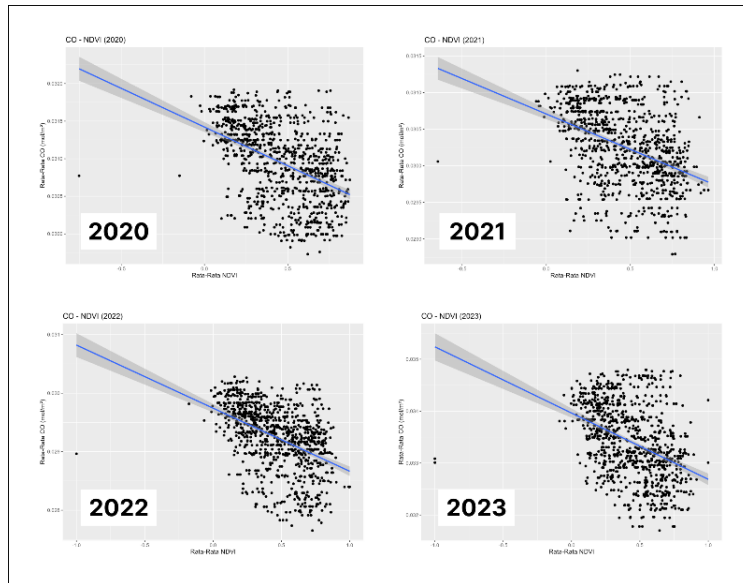
#### 4.3. Analisis Statistik

Antara CO dengan NDVI, terdapat hubungan cukup kuat dan konsisten yang ditunjukkan oleh nilai korelasi negatif. Nilai *R-Square* yang dihasilkan mengindikasikan bahwa pengaruh tingkat kerapatan vegetasi terhadap kadar CO sekitar 17% (2021 dan 2022) dan 20% (2020 dan 2023).

Tabel 2. *K-Pearson* dan *R-Square* antara CO dan NDVI

| Tahun | K-Pearson | R-Square |
|-------|-----------|----------|
| 2020  | -0.4572   | 0.2091   |
| 2021  | -0.4183   | 0.1750   |
| 2022  | -0.4553   | 0.2073   |
| 2023  | -0.4156   | 0.1727   |



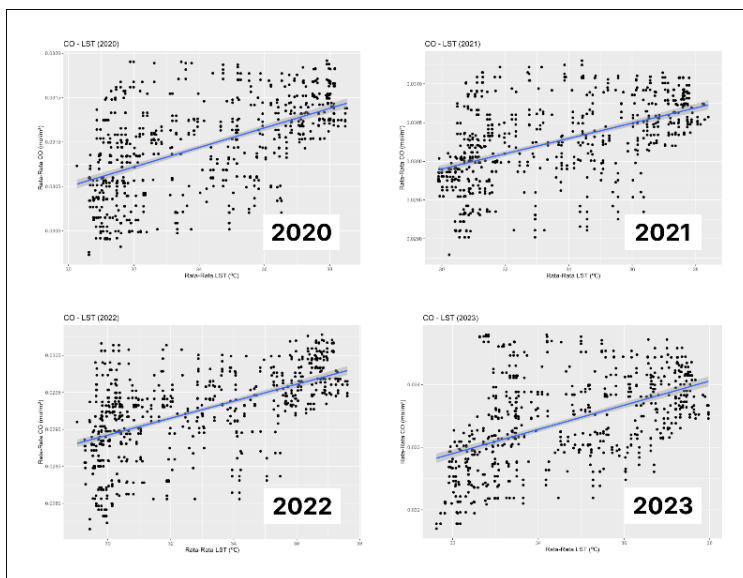


Gambar 12. Scatterplot CO - NDVI

Korelasi antara CO dengan LST cukup kuat dan konsisten, dengan nilai yang positif. Hasil regresi linear menunjukkan bahwa pengaruh LST terhadap CO sebesar 30% pada 2020, 25% pada 2021, 32% pada 2022, dan 26% pada 2023.

Tabel 3. K-Pearson dan R-Square antara CO dan LST

| Tahun | K-Pearson | R-Square |
|-------|-----------|----------|
| 2020  | 0.5540    | 0.3070   |
| 2021  | 0.5080    | 0.2581   |
| 2022  | 0.5659    | 0.3202   |
| 2023  | 0.5170    | 0.2673   |

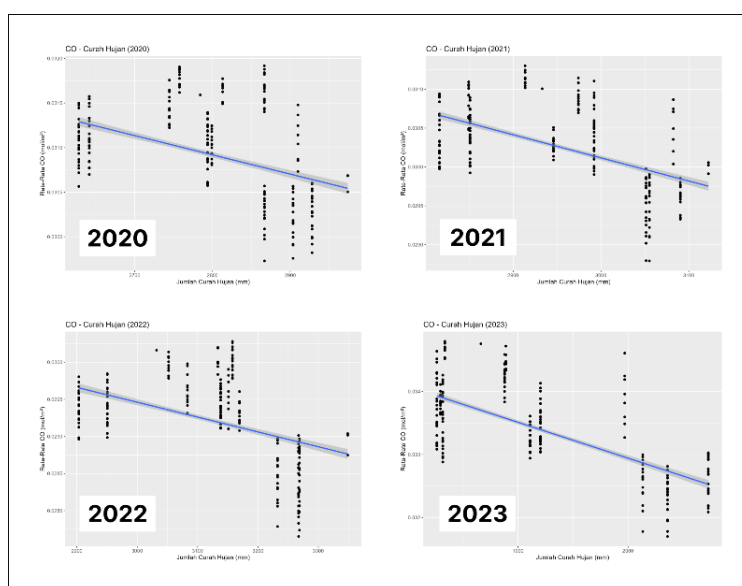


Gambar 13. Scatterplot CO - LST

Korelasi antara CO dan curah hujan bernilai negatif yang cukup kuat dan konsisten. Berdasarkan nilai *R-Square*, variasi CO dapat dipengaruhi oleh jumlah curah hujan sebesar 20% pada 2020, 30% pada 2021, 22% pada 2022, dan 48% pada 2023.

Tabel 4. *K-Pearson* dan *R-Square* antara CO dan Curah Hujan

| Tahun | K-Pearson | R-Square |
|-------|-----------|----------|
| 2020  | -0.4544   | 0.2064   |
| 2021  | -0.5497   | 0.3022   |
| 2022  | -0.4732   | 0.2239   |
| 2023  | -0.6970   | 0.4858   |



Gambar 14. *Scatterplot* CO - Curah Hujan

Berdasarkan hasil pemrosesan GEE dan analisis statistik menggunakan *R*, ditemukan adanya hubungan yang cukup signifikan antara konsentrasi CO dengan NDVI, LST, dan curah hujan. Hubungan antara CO berbanding terbalik dengan NDVI dan curah hujan, namun berbanding lurus dengan LST. Konsentrasi CO yang lebih tinggi cenderung ditemukan di daerah-daerah dengan kepadatan vegetasi rendah, curah hujan yang rendah, dan suhu permukaan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus terhadap daerah-daerah ini untuk mengendalikan kadar CO di Kota Semarang. Upaya peningkatan kepadatan vegetasi, pengelolaan curah hujan, dan pengendalian suhu permukaan menjadi langkah-langkah penting dalam menjaga kualitas udara di kota ini. Keberadaan vegetasi di perkotaan berdampak pada kualitas udara melalui pengaruhnya terhadap pengendapan dan penyebaran gas polutan [19]. Vegetasi mengurangi polusi udara dengan menangkap partikel polutan di permukaan tanamannya dan menyerap gas polutan melalui stomata pada daun [20]. Selain itu, curah hujan juga berperan dalam membersihkan polutan di atmosfer secara langsung melalui proses pembersihan di bawah awan [21]. Juga, suhu permukaan yang tinggi dapat meningkatkan emisi gas polutan, sehingga perlu dilakukan upaya pengendalian suhu permukaan, seperti peningkatan area hijau [22].

## 5. Simpulan

Hasil pemrosesan GEE menunjukkan bahwa rata-rata tahunan CO, NDVI, dan LST Kota Semarang dari tahun sampai 2023 relatif stabil. Sedangkan, jumlah CO dan curah hujan tahunan sempat mengalami perubahan yang cukup signifikan. Jumlah CO pada tahun 2021

mengalami penurunan sebesar 61% dari tahun sebelumnya, yang kemudian mengalami peningkatan di tahun berikutnya sebanyak lebih dari dua kali lipat. Peningkatan jumlah curah hujan tahunan terjadi pada tahun 2020 hingga 2022, namun pada tahun 2023 terjadi penurunan sekitar 38% dari tahun sebelumnya.

Secara spasial, daerah yang memiliki konsentrasi CO yang lebih tinggi dominan terjadi di Kota Semarang bagian utara, meliputi Kecamatan Tugu, Ngaliyan, Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Timur, dan Gayamsari. Untuk daerah yang didominasi dengan kerapatan vegetasi tinggi, meliputi Kecamatan Gunungpati, Mijen, dan Ngaliyan. Suhu permukaan yang lebih tinggi mendominasi Kecamatan Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Selatan, Gajahmungkur, Candisari, Gayamsari, dan Pedurungan. Sedangkan, jumlah curah hujan tergolong sedang di sebagian besar daerah Kota Semarang.

Berdasarkan hasil analisis statistik, hubungan antara CO dengan NDVI dan curah hujan bernilai negatif, sedangkan CO dengan LST bernilai positif. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah-daerah dengan tingkat NDVI dan curah hujan yang rendah, serta LST yang tinggi, memiliki konsentrasi CO yang lebih tinggi. Juga sebaliknya, daerah dengan NDVI dan curah hujan yang tinggi, serta LST yang rendah, memiliki konsentrasi CO yang lebih rendah.

Di sisi lain, peta LST yang dihasilkan dari GEE kurang maksimal, terdapat area yang tidak ditampilkan dalam peta tersebut. Hal ini mengakibatkan kekurangan data yang cukup signifikan, terutama dalam analisis yang membutuhkan informasi lengkap dari seluruh wilayah Kota Semarang. Beberapa hal yang mungkin menjadi penyebab permasalahan tersebut, antara lain keterbatasan data dan resolusi citra satelit MODIS atau kesalahan dalam pemrosesan data.

#### Daftar Referensi

- [1] E. Nidianti, Y. T. Lukiyono, and H. A. P. Ningrum, "Pendampingan Kesehatan dari Bahaya Paparan Gas Karbon Monoksida di Desa Simo Angin-angin, Kecamatan Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo," *J. Mandala Pengabd. Masy.*, vol. 4, no. 2, pp. 408–415, Dec. 2023, doi: 10.35311/jmpm.v4i2.282.
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Stasiun Pemantauan Kualitas Udara," Indeks Standar Pencemaran Udara. Accessed: Jun. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ispu.menlhk.go.id/>
- [3] S. Tavakkoli Piralilou *et al.*, "A Google Earth Engine Approach for Wildfire Susceptibility Prediction Fusion with Remote Sensing Data of Different Spatial Resolutions," *Remote Sens.*, vol. 14, no. 3, p. 672, Jan. 2022, doi: 10.3390/rs14030672.
- [4] A. Shelestov, M. Lavreniuk, N. Kussul, A. Novikov, and S. Skakun, "Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping," *Front. Earth Sci.*, vol. 5, Feb. 2017, doi: 10.3389/feart.2017.00017.
- [5] A. S. Giananti, B. Haggadireksa, M. F. Rohman, R. Syahputra, and A. H. Saputra, "Analisis Variabilitas Emisi Karbon Monoksida Selama Penyelenggaraan MotoGP di Kabupaten Lombok Tengah," *Geosfera J. Penelit. Geogr.*, vol. 2, no. 2, pp. 71–77, Dec. 2023, doi: 10.37905/geojpg.v2i2.23014.
- [6] S. Garai *et al.*, "Assessing Correlation Between Rainfall, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) in Eastern India," *Saf. Extrem. Environ.*, vol. 4, no. 2, pp. 119–127, Aug. 2022, doi: 10.1007/s42797-022-00056-2.
- [7] Donni Kurnia Saputra and H. Nugroho, "Monitoring Peningkatan Kadar Co Berdasarkan Indeks Vegetasi Dan Suhu Permukaan Menggunakan," *Semin. Nas. dan Disem. Tugas Akhir 2023*, pp. 1071–1077, 2023.
- [8] BPS Kota Semarang, *Kota Semarang Dalam Angka 2023*. Kota Semarang: BPS Kota Semarang, 2023.
- [9] Badan Informasi Geospasial, "Unduh RBI." Geospasial untuk Negeri. Accessed: Mar. 19, 2024. [Online]. Available: <https://tanahair.indonesia.go.id>
- [10] J. van Geffen *et al.*, "Sentinel-5P TROPOMI NO2 Retrieval: Impact of Version V2.2 Improvements and Comparisons with OMI and Ground-Based Data," *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 15, no. 7, pp. 2037–2060, Apr. 2022, doi: 10.5194/amt-15-2037-2022.
- [11] D. G. Loyola *et al.*, "The Operational Cloud Retrieval Algorithms from TROPOMI on Board Sentinel-5 Precursor," *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 11, no. 1, pp. 409–427, Jan. 2018, doi: 10.5194/amt-11-409-2018.
- [12] M. Kazemi Garajeh, G. Laneve, H. Rezaei, M. Sadeghnejad, N. Mohamadzadeh, and B.

- Salmani, "Monitoring Trends of CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> Pollutants Using Time-Series Sentinel-5 Images Based on Google Earth Engine," *Pollutants*, vol. 3, no. 2, pp. 255–279, May 2023, doi: 10.3390/pollutants3020019.
- [13] M. S. Dhillon, T. Dahms, C. Kübert-Flock, I. Steffan-Dewenter, J. Zhang, and T. Ullmann, "Spatiotemporal Fusion Modelling Using STARFM: Examples of Landsat 8 and Sentinel-2 NDVI in Bavaria," *Remote Sens.*, vol. 14, no. 3, p. 677, Jan. 2022, doi: 10.3390/rs14030677.
- [14] J. Hsu, W.-R. Huang, P.-Y. Liu, and X. Li, "Validation of CHIRPS Precipitation Estimates over Taiwan at Multiple Timescales," *Remote Sens.*, vol. 13, no. 2, p. 254, Jan. 2021, doi: 10.3390/rs13020254.
- [15] QGIS, "QGIS." Accessed: Jun. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.qgis.org/>
- [16] D. Makowski, M. Ben-Shachar, I. Patil, and D. Lüdecke, "Methods and Algorithms for Correlation Analysis in R," *J. Open Source Softw.*, vol. 5, no. 51, p. 2306, Jul. 2020, doi: 10.21105/joss.02306.
- [17] A. Kamel and M. R. Abonazel, "A Simple Introduction to Regression Modeling using R," *Comput. J. Math. Stat. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 52–79, Apr. 2023, doi: 10.21608/cjmss.2023.189834.1002.
- [18] F. M. Giorgi, C. Ceraolo, and D. Mercatelli, "The R Language: An Engine for Bioinformatics and Data Science," *Life*, vol. 12, no. 5, p. 648, Apr. 2022, doi: 10.3390/life12050648.
- [19] S. Janhäll, "Review on Urban Vegetation and Particle Air Pollution – Deposition and Dispersion," *Atmos. Environ.*, vol. 105, pp. 130–137, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.01.052.
- [20] D. J. Nowak, S. Hirabayashi, A. Bodine, and E. Greenfield, "Tree and Forest Effects on Air Quality and Human Health in The United States," *Environ. Pollut.*, vol. 193, pp. 119–129, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.envpol.2014.05.028.
- [21] B. Gao, W. Ouyang, H. Cheng, Y. Xu, C. Lin, and J. Chen, "Interactions Between Rainfall and Fine Particulate Matter Investigated by Simultaneous Chemical Composition Measurements in Downtown Beijing," *Atmos. Environ.*, vol. 218, p. 117000, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.atmosenv.2019.117000.
- [22] M. Santamouris *et al.*, "Progress in Urban Greeny Mitigation Science – Assessment Methodologies Advanced Technologies and Impact on Cities," *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 24, no. 8, pp. 638–671, Dec. 2018, doi: 10.3846/jcem.2018.6604.