

PENGAMATAN PERSEBARAN KONSENTRASI POLUTAN UDARA TERHADAP JUMLAH KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8 DI PROVINSI JAWA TENGAH TAHUN 2019 – 2022

Jihan Fadilah Putri, Filsa Bioresita*

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jawa Tengah Indonesia
Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia 60111 Telp. 031-5994251-54/Faks: (031) 5923465
e-mail: filsa.bioresita@gmail.com*

(Diterima 25 Juli 2024, Disetujui 9 September 2024)

ABSTRAK

Kualitas udara yang mengalami penurunan disebabkan salah satunya oleh pencemaran udara yang berasal dari kendaraan bermotor. BPS (Badan Pusat Statistik) mencatat seluruh provinsi di Jawa tahun 2022 menduduki peringkat teratas sebagai daerah yang memiliki kendaraan bermotor terbanyak di Indonesia. Untuk melakukan pencegahan peningkatan polutan udara, maka diperlukan informasi mengenai sebaran konsentrasi polutan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi sebaran konsentrasi polutan udara (PM10, CO, NO₂, dan SO₂) di Provinsi Jawa Tengah secara spatio-temporal dari tahun 2019 hingga 2022 menggunakan citra Landsat 8. Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak *Google Earth Engine* (GEE) untuk mengestimasi nilai polutan udara dengan mengaplikasikan algoritma polutan udara untuk mengekstrak nilai konsentrasi dari masing-masing polutan. Estimasi polutan menghasilkan nilai rata-rata total selama 4 tahun untuk polutan PM10 senilai 39,197 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan total 36 ruas jalan berkategori baik dan 27 ruas jalan lainnya berkategori sedang. Polutan CO menghasilkan rata-rata 957,621 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan 63 ruas jalan berkategori baik. Polutan NO₂ menghasilkan rata-rata 177,507 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan 63 ruas jalan berkategori sedang. Polutan SO₂ menghasilkan rata-rata 41,220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan total 47 ruas jalan berkategori baik dan 16 ruas jalan lainnya berkategori sedang. Hubungan antara jumlah kendaraan bermotor berdasarkan ruas jalan provinsi dengan konsentrasi polutan dilakukan menggunakan metode Pearson. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa kenaikan dan penurunan jumlah kendaraan bermotor yang lalu lintas berdasarkan ruas jalan tertentu memiliki pengaruh yang kurang signifikan terhadap perubahan konsentrasi polutan udara di ruas jalan tersebut.

Kata kunci : *Google Earth Engine, Jawa Tengah, Kendaraan Bermotor, Landsat 8, Polutan Udara*

ABSTRACT

The decline in air quality is partly caused by air pollution from motor vehicles. The Central Statistics Agency (BPS) records that all provinces in Java rank highest in Indonesia for the number of motor vehicles. To prevent an increase in air pollutants, information about the distribution of pollutant concentrations is needed. Therefore, this study aims to estimate the spatio-temporal distribution of air pollutant concentrations (PM10, CO, NO₂, and SO₂) in Central Java Province from 2019 to 2022 using Landsat 8 imagery. This research utilizes Google Earth Engine (GEE) software to estimate air pollutant values by applying pollutants algorithms to extract concentration values for each pollutant. The pollutant estimates produced an average total value over four years for PM10 pollutants of 39.197 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, with 36 road segments categorized as good and 27 other segments categorized as moderate. CO pollutants resulted in an average of 957.621 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, with 63 road segments categorized as good. NO₂ pollutants resulted in an average of 177.507 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, with 63 road segments categorized as moderate. SO₂ pollutants resulted in an average of 41.220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, with 47 road segments categorized as good and 16 other segments categorized as moderate. The relationship between the number of motor vehicles by provincial road segment and pollutant concentrations was analyzed using the Pearson method. Based on the results obtained, it can be concluded that the increase and decrease in the number of motor vehicles passing through certain road segments have a less significant effect on changes in air pollutant concentrations on those road segments.

Keywords : *Air Pollutants, Central Java, Google Earth Engine, Landsat 8, Motor Vehicles*

1. PENDAHULUAN

Kehidupan manusia secara langsung atau tidak langsung menyebabkan penurunan kualitas udara hingga ke tingkat tertentu sehingga menyebabkan lingkungan tidak berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Sejalan dengan perkembangan transportasi di era modern ini, kualitas udara yang mengalami penurunan disebabkan salah satunya oleh pencemaran udara. Pencemaran udara merupakan proses masuknya zat pencemar dalam bentuk gas dan partikel kecil/aerosol ke dalam udara dalam jumlah tertentu untuk jangka waktu yang cukup lama sehingga menyebabkan terganggunya kehidupan manusia, hewan, dan tanaman (BPLHD DKI Jakarta, 2013). Penentuan polutan dan kualitas udara di Indonesia dilakukan melalui sebuah standar yang tertuang pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). ISPU merupakan angka tanpa satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di suatu lokasi tertentu.

Kendaraan bermotor merupakan sumber terbesar polusi udara. Pada tahun 2022, BPS mencatat seluruh provinsi di Jawa menduduki peringkat teratas sebagai daerah yang memiliki kendaraan bermotor terbanyak di Indonesia. Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu provinsi yang menempati posisi pertama dengan jumlah 17.637.791 unit sepeda motor. Populasi angka terbanyak berada di Semarang (1.496.539 unit), Cilacap (816.138 unit), Klaten (772.433 unit), Banyumas (748.544 unit), dan Pati (662.085 unit) (BPS, 2022). Gas polutan yang tinggi dapat menyebabkan infeksi saluran pernafasan akut (ISPA), iritasi mata, tenggorokan gatal, dan batuk (Margahayu et al., 2015). Oleh karena itu, dibutuhkan pencegahan terhadap penyebaran polutan udara yang berasal dari kendaraan bermotor agar tercipta lingkungan yang nyaman dan sehat.

Fenomena pencemaran udara saat ini tidak hanya dapat dipantau melalui data lapangan, tetapi juga melalui pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh sebagai bagian dari monitoring lingkungan (Moh. dede, 2020). Lin et al. (2019) mengatakan bahwa citra satelit penginderaan jauh tidak hanya mampu memberikan informasi terkait perubahan kualitas udara, tetapi juga menyajikan variasi spasial-temporal yang dapat dipadukan dengan data pengukuran lapangan untuk memperoleh hasil yang maksimal. Salah satu citra satelit penginderaan jauh yang lazim dimanfaatkan untuk monitoring perubahan kualitas udara yakni Landsat 8 OLI/TIRS. Selain ketersediaan datanya yang open access, data citra Landsat 8 yang telah terkoreksi

geometrik memudahkan pengguna dalam melakukan pengolahan data lebih lanjut.

Monitoring perubahan kualitas udara menggunakan citra Landsat 8 dapat dilakukan dengan mengaplikasikan algoritma polutan udara (PM10, CO, NO₂, dan SO₂) menggunakan *Google Earth Engine*. Dengan menggunakan *Google Earth Engine* (GEE) memungkinkan pengolahan citra secara time-series serta dapat dilakukan analisis spasial dari hasil pengolahan citra tersebut (Nugroho et al., 2019). Algoritma polutan udara yang digunakan pada penelitian ini, yaitu algoritma Somvanshi dkk (2019) untuk estimasi polutan CO, algoritma Hasan dkk (2014) untuk estimasi polutan SO₂, algoritma Alseroury dkk (2015) untuk estimasi polutan NO₂, dan algoritma Othman dkk (2010) untuk estimasi polutan PM10. Penggunaan algoritma ini didasarkan pada penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Dede dkk (2020) yang melakukan pemantauan kondisi kualitas udara secara bi-temporal di sekitar PLTU Cirebon dengan mengaplikasikan keempat algoritma polutan tersebut. Penelitian lainnya dilakukan oleh Viedra (2022) pada pemantauan konsentrasi polutan untuk studi kasus wilayah Provinsi Kalimantan Timur secara multitemporal dari tahun 2019 - 2023. Pada penelitian tersebut dinyatakan bahwa algoritma polutan yang digunakan dapat memberikan hasil estimasi konsentrasi polutan yang cukup baik dan cocok untuk digunakan di wilayah Indonesia.

Mengacu pada data dan informasi di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah kendaraan bermotor berdasarkan ruas jalan terhadap konsentrasi polutan udara di Provinsi Jawa Tengah dengan memanfaatkan data citra satelit Landsat 8 sebagai bahan utama untuk melakukan ekstraksi nilai konsentrasi polutan udara. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan informasi geospasial untuk melakukan pencegahan terhadap pencemaran udara, khususnya akibat kendaraan bermotor, di Provinsi Jawa Tengah.

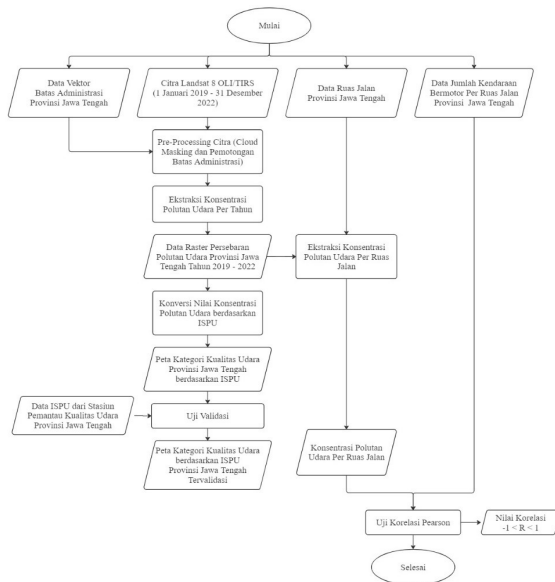
2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah ekstraksi nilai konsentrasi polutan udara menggunakan perangkat lunak *Google Earth Engine* (GEE) dengan mengaplikasikan algoritma dari masing-masing parameter polutan. Terdapat 4 algoritma yang digunakan untuk mengestimasi konsentrasi polutan, yaitu algoritma Somvanshi dkk (2019) untuk polutan CO, Hasan dkk (2014) untuk polutan SO₂, Alseroury dkk (2015) untuk polutan NO₂, dan Othman dkk (2010) untuk polutan PM10.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Lokasi penelitian terletak di Provinsi Jawa Tengah yang berada pada koordinat 8°30' - 5°40' LS dan 108° 30' - 111° 30' BT (termasuk Kepulauan Karimunjawa). Jawa Tengah merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang terletak di tengah Pulau Jawa. Luas wilayahnya mencapai 32.548 km² atau sekitar 25,04% dari total luas Pulau Jawa. Gambar 1 merupakan visualisasi peta lokasi penelitian ini. Provinsi Jawa Tengah terdiri atas 29 kabupaten dan 6 kota.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Adapun tahap pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Data yang digunakan yaitu citra Landsat 8 Level 2 Surface Reflectance dengan Cloud Cover kurang dari 10% yang didapatkan dari Google Earth Engine. Data citra tersebut adalah data level 2 dimana Band 10 (thermal band) sudah diproses menjadi data brightness temperature (dalam satuan Kelvin).
- Proses estimasi konsentrasi polutan udara diperoleh melalui hasil ekstraksi nilai

konsentrasi polutan menggunakan citra Landsat 8 Level 2. Proses ini dilakukan pada Google Earth Engine (GEE) dengan menggunakan algoritma dari masing-masing parameter polutan udara.

- Perhitungan konsentrasi polutan PM₁₀ menggunakan algoritma Othman dkk, 2010. $PM_{10} = (396 \times BR_p) + (253 \times BG_p) - (194 \times BB_p)$ Dimana PM₁₀ merupakan konsentrasi particulate matter atau partikel debu dengan satuan µg/m³, BR_p merupakan reflektansi BoA band merah atau red, BG_p merupakan reflektansi BoA band hijau atau green, dan BB_p merupakan reflektansi BoA band biru atau blue.
- Perhitungan konsentrasi polutan CO menggunakan algoritma Somvanshi dkk, 2019. $CO = 83,659 - (0,427 \times BG_p) + (0,22 \times BR_p) - (0,461 \times SWIR_p)$ Dimana CO merupakan karbon monoksida (mg/l). BG_p merupakan reflektansi BoA band hijau (green), BR_p merupakan reflektansi BoA band merah (red), dan SWIR_p merupakan reflektansi BoA short wave infrared band.
- Perhitungan Konsentrasi Polutan SO₂ menggunakan algoritma Hasan dkk, 2014. $SO_2 = 0,0117T_3 - 0,3282T_2 + 2,837T - 6,4733$ Dimana SO₂ adalah nilai kandungan sulfur dioksida di udara dengan satuan ppm dan T adalah nilai suhu pada band thermal dalam satuan Celcius.
- Perhitungan Konsentrasi Polutan NO₂ menggunakan algoritma Alseroury dkk, 2019. $NO_2 = 163,88 + 0,3908 \times T$ Dimana NO₂ merupakan konsentrasi gas nitrogen dioksida (µg/m³) dan nilai suhu pada band thermal (Celcius).
- Nilai ekstraksi konsentrasi polutan udara per ruas jalan dilakukan konversi menjadi nilai ISPU untuk diklasifikasikan berdasarkan kategori kualitas udara yang telah diatur sesuai dengan Permen LHK Nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).





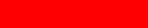
$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b$$

dimana :

- I = ISPU
- I_a = ISPU batas atas
- I_b = ISPU batas bawah
- X_a = Konsentrasi ambien batas atas
- X_b = Konsentrasi ambien batas bawah

Dalam hal ini, kategori kelas ISPU menurut Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Kategori kelas ISPU

Nilai ISPU	Indeks Warna	Kategori
0 – 50		Baik
51 – 100		Sedang
101 – 200		Tidak Sehat
201 – 300		Sangat Tidak Sehat
>300		Berbahaya

h) Uji validasi dilakukan menggunakan metode korelasi pearson antara hasil pengolahan rata-rata tahunan konsentrasi polutan udara dengan data konsentrasi polutan udara dari lokasi Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) oleh Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Provinsi Jawa Tengah.

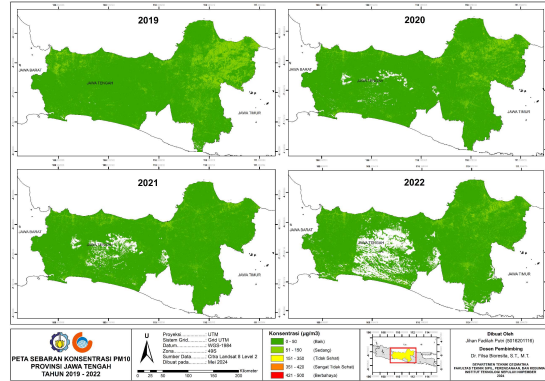
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Estimasi Sebaran Konsentrasi Polutan Udara di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Perhitungan estimasi konsentrasi polutan didapatkan dari ekstraksi nilai konsentrasi polutan dari Citra Landsat 8 Level 2. Proses ini dilakukan dengan beberapa algoritma untuk masing-masing polutan udara, yaitu algoritma Othman (2010) untuk estimasi konsentrasi PM₁₀, algoritma Somvanshi (2019) untuk estimasi konsentrasi CO, algoritma Alseroury (2015) untuk estimasi konsentrasi NO₂, dan algoritma Hasan (2014) untuk estimasi konsentrasi SO₂. Algoritma-algoritma tersebut digunakan dalam penelitian ini didasari oleh penelitian sebelumnya, yaitu penelitian yang dilakukan oleh Dede (2019) dengan studi penelitian berlokasi di PLTU Cirebon dan Viedra (2022) dengan studi penelitian di Provinsi Kalimantan Timur. Pada penelitian tersebut dinyatakan bahwa berbagai algoritma yang digunakan dalam penelitian ini memberikan hasil estimasi konsentrasi polutan yang cukup baik dan cocok untuk digunakan di wilayah Indonesia.

1) Estimasi Sebaran Konsentrasi PM₁₀

Berdasarkan hasil pengolahan konsentrasi polutan PM₁₀ menggunakan algoritma Othman dkk, 2010 didapatkan nilai konsentrasi rata-rata tahunan dari tahun 2019 - 2022 sebesar 39,197 µg/m³.



Gambar 3. Peta Konsentrasi PM₁₀ Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Secara lebih rinci, nilai konsentrasi PM₁₀ rata-rata per tahun dapat dilihat pada tabel berikut.

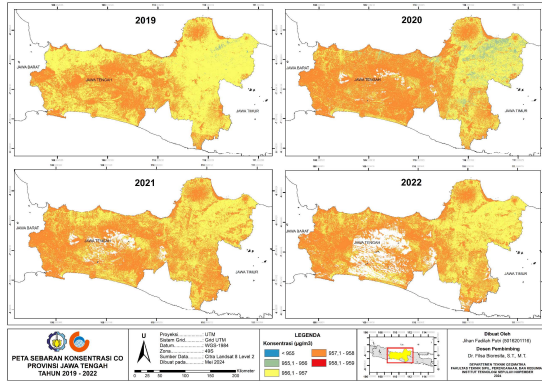
Tabel 2. Konsentrasi PM₁₀ provinsi jawa tengah tahun 2019 – 2022

Tahun	Rata-Rata Nilai Konsentrasi PM ₁₀ (µg/m ³)
2019	43,476
2020	35,557
2021	35,254
2022	42,499
Rata-Rata	39,197

Berdasarkan nilai rata-rata konsentrasi PM₁₀ yang dihasilkan pada tabel 2 menunjukkan bahwa nilai rata-rata tertinggi terdapat pada tahun 2019 dengan nilai konsentrasi sebesar 43,476 µg/m³. Kemudian terjadi penurunan signifikan pada tahun 2020 dengan kadar PM₁₀ 35,557 µg/m³. Rata-rata terendah dimiliki oleh tahun 2021 dengan kadar 35,254 µg/m³ diikuti dengan kenaikan yang signifikan pada 2022.

2) Estimasi Sebaran Konsentrasi CO

Berdasarkan hasil pengolahan konsentrasi polutan CO menggunakan algoritma Somvanshi dkk, 2019 didapatkan nilai konsentrasi rata-rata tahunan dari tahun 2019 - 2022 sebesar 957,621 µg/m³ (setelah dikonversi dari mg/l menjadi µg/m³).



Gambar 4. Peta Konsentrasi CO Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Secara lebih rinci, nilai konsentrasi CO rata-rata per tahun dapat dilihat pada tabel berikut.

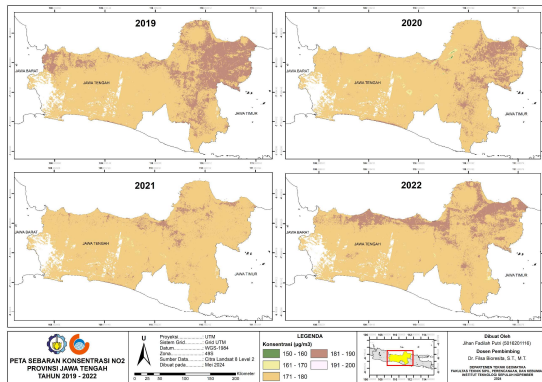
Tabel 3. Konsentrasi CO Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Tahun	Rata-Rata Nilai Konsentrasi CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2019	957,591
2020	957,650
2021	957,668
2022	957,576
Rata-Rata	957,621

Mengacu pada tabel 3, dapat diketahui bahwa konsentrasi rata-rata CO paling tinggi terdapat pada tahun 2021 dengan nilai $957,668 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan konsentrasi paling rendah terdapat pada tahun 2022 dengan nilai $957,576 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3) Estimasi Sebaran Konsentrasi NO₂

Berdasarkan hasil pengolahan konsentrasi polutan NO₂ menggunakan algoritma Alseroury dkk, 2015 didapatkan nilai konsentrasi rata-rata tahunan dari tahun 2019 - 2022 sebesar $177,507 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Gambar 5. Peta Konsentrasi NO₂ Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Secara lebih rinci, nilai konsentrasi NO₂ rata-rata per tahun dapat dilihat pada tabel berikut.

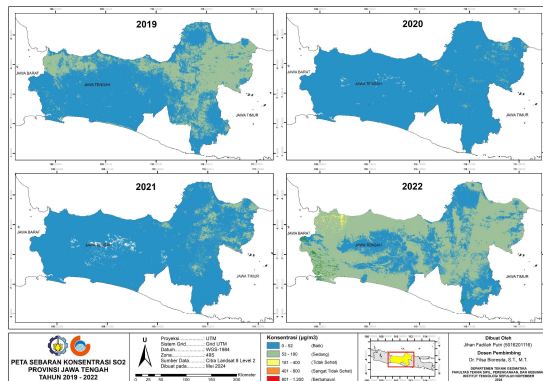
Tabel 4. Konsentrasi NO₂ Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Tahun	Rata-Rata Nilai Konsentrasi NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2019	177,995
2020	177,203
2021	177,263
2022	177,566
Rata-Rata	177,507

Berdasarkan nilai rata-rata konsentrasi NO₂ yang dihasilkan pada tabel 4 menunjukkan bahwa nilai rata-rata tertinggi terdapat pada tahun 2019 dengan nilai konsentrasi sebesar $177,995 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan untuk rata-rata terendah berada pada tahun 2020 sebesar $177,203 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dilihat dari nilai rata-rata tahunan tersebut, kadar NO₂ tidak memiliki perubahan yang signifikan pada setiap tahunnya sebab selisih yang dihasilkan hanya pada rentang $0,06$ hingga $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4) Estimasi Sebaran Konsentrasi SO₂

Berdasarkan hasil pengolahan konsentrasi polutan SO₂ menggunakan algoritma Hasan dkk, 2014 didapatkan nilai konsentrasi rata-rata tahunan dari tahun 2019 - 2022 sebesar $41,220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (setelah dikonversi dari ppm menjadi $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Gambar 6. Peta Konsentrasi SO₂ Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Secara lebih rinci, nilai konsentrasi SO₂ rata-rata per tahun dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Konsentrasi SO₂ Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Tahun	Rata-Rata Nilai Konsentrasi SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2019	43,615
2020	26,998
2021	29,829

2022	64,436
Rata-Rata	41,220

Mengacu pada tabel 5, dapat diketahui bahwa konsentrasi rata-rata SO₂ paling tinggi ada di tahun 2022 dengan nilai 64,436 µg/m³ dan konsentrasi paling rendah ada di tahun 2020 dengan nilai 26,998 µg/m³.

Hasil estimasi konsentrasi polutan udara yang diperoleh untuk parameter PM₁₀, NO₂, dan SO₂ menunjukkan adanya perubahan kualitas udara dari tahun ke tahun. Khususnya pada tahun 2019 menuju 2020 dan 2021, konsentrasi polutan pada ketiga parameter tersebut umumnya mengalami penurunan. Penurunan kadar polutan ini disebabkan oleh dampak pandemi COVID-19 yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan dan aktivitas manusia secara global. Fenomena ini menyebabkan adanya pembatasan mobilitas dan transportasi oleh pemerintah. Hal ini berpengaruh pada emisi polutan dari kendaraan bermotor, yang merupakan sumber utama NO₂ dan PM₁₀, mengalami penurunan yang signifikan. Dengan berkurangnya lalu lintas, maka debu jalanan (PM₁₀) yang beredar di udara juga semakin sedikit. Selain itu, banyak pabrik dan industri mengurangi atau menghentikan operasi mereka selama pembatasan berlangsung yang berdampak pada penurunan emisi polutan, seperti SO₂ dan NO₂. Kegiatan industri yang umumnya mengeluarkan banyak polutan udara mengalami penurunan produksi yang signifikan.

Berbeda dengan parameter lainnya, persebaran CO yang dihasilkan dari proses ekstraksi menggunakan citra Landsat 8 Level 2 ini memiliki pola yang berbanding terbalik. Konsentrasi CO justru mengalami kenaikan dari tahun 2019 hingga 2021 kemudian mengalami penurunan pada tahun 2022. Kadar CO yang dihasilkan dari tahun ke tahun tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini juga dapat disebabkan oleh ketidakcocokan algoritma yang digunakan untuk area studi penelitian.

3.2 Kategori Kualitas Udara Per Ruas Jalan Berdasarkan ISPU di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

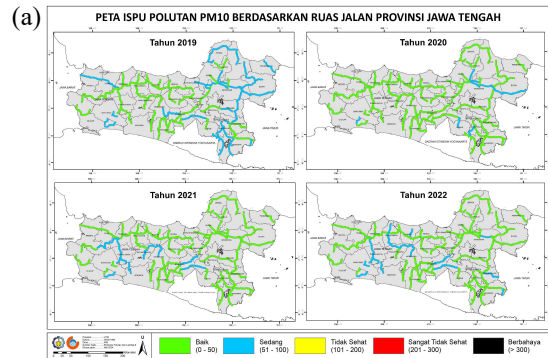
Pada penelitian ini parameter yang digunakan untuk mengestimasi konsentrasi polutan udara yaitu berdasarkan ruas jalan. Untuk mengetahui kategori kualitas udara per ruas jalan, maka nilai estimasi polutan yang diperoleh dikonversi menjadi nilai ISPU yang telah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara

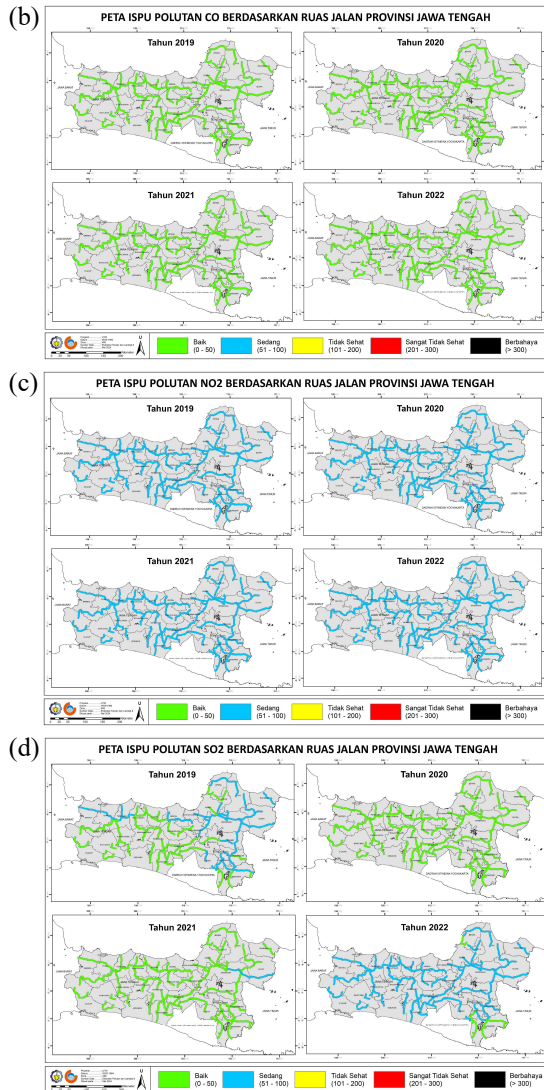
(ISPU). ISPU merupakan suatu nilai standar yang digunakan oleh pemerintah untuk mendefinisikan suatu kondisi mutu udara ambien di suatu wilayah tertentu. Dengan menggunakan nilai ISPU, maka kondisi kualitas udara per ruas jalan pada masing-masing parameter dapat diklasifikasikan sesuai dengan kategori ISPU.



Gambar 7. Peta Ruas Jalan Provinsi Jawa Tengah

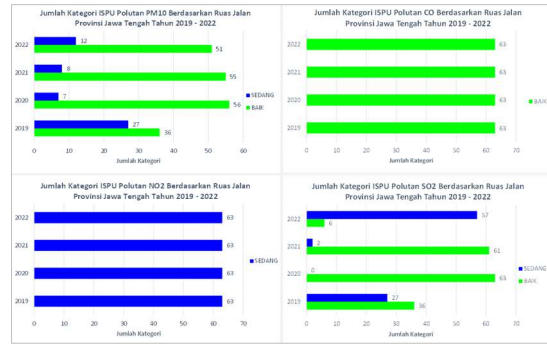
Parameter ruas jalan yang digunakan pada penelitian ini yaitu ruas jalan provinsi yang diatur dalam Surat Keputusan Gubernur Jawa Tengah No. 622/2 Tahun 2023 tentang Penetapan Ruas Jalan Menurut Statusnya sebagai Jalan Provinsi di Provinsi Jawa Tengah. Ruas jalan provinsi disajikan dalam bentuk peta pada gambar 8 dengan total ruas jalan sebanyak 63 ruas. Hasil ekstraksi nilai konsentrasi polutan per ruas jalan dikategorikan berdasarkan ISPU yang divisualisasikan dalam bentuk peta ISPU. Terdapat 5 kategori yang menggambarkan kondisi kualitas udara pada 63 ruas jalan di setiap tahunnya yang dibedakan menjadi 5 kelas dengan indeks warna seperti pada gambar di bawah ini.





Gambar 8. Peta ISPU Polutan (a) PM10, (b) CO, (c) NO2, (d) SO2 Berdasarkan Ruas Jalan Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Selain divisualisasikan dalam bentuk peta, sebaran jumlah kategori ISPU berdasarkan ruas jalan untuk keempat parameter disajikan dalam bentuk diagram batang seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 9. Diagram Jumlah Kategori ISPU Berdasarkan Ruas Jalan Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019 – 2022

Berdasarkan hasil visualisasi data ISPU yang diperoleh dapat dilihat bahwa terjadi perubahan kategori kualitas udara untuk parameter PM10 dan SO2 pada ruas jalan di Provinsi Jawa Tengah selama periode 4 tahun tersebut. Kondisi kualitas udara per ruas jalan pada keempat parameter seluruhnya berada pada kategori baik dan sedang. Seperti pada parameter PM10, terlihat bahwa terdapat beberapa ruas jalan yang mengalami perubahan kategori ISPU pada setiap tahunnya. Pada tahun 2020, terdapat 36 ruas jalan yang termasuk dalam kategori baik, diikuti dengan kenaikan pada tahun berikutnya dengan total 56 ruas jalan dengan kategori baik. Pada tahun 2021 hingga 2022 mulai terjadi penurunan jumlah kategori baik yaitu sebanyak 55 ruas jalan pada 2021 dan 51 ruas jalan pada 2022. Meskipun tidak menunjukkan selisih penurunan yang signifikan, terlihat bahwa pada tahun 2020 menjadi tahun terbanyak sebagai jumlah ruas jalan dengan kualitas udara yang tergolong baik.

Berbeda dengan tren kategori baik, ruas jalan dengan kategori sedang memiliki tren yang berkebalikan. Menuju tahun 2020, jumlah ruas jalan dengan kategori sedang mengalami penurunan yang cukup banyak, diikuti dengan kenaikan yang bertahap pada tahun 2021 dan 2022. Jumlah ruas jalan yang tergolong kategori sedang terbanyak berada pada tahun 2019 saat sebelum wabah COVID-19 menyebar luas yaitu sebanyak 27 ruas. Hal ini sejalan dengan fenomena COVID-19 yang pertama kali masuk ke Indonesia pada tahun 2020. Sumber utama polutan PM10 diantaranya termasuk emisi dari kendaraan bermotor, industri, pembakaran bahan bakar fosil, konstruksi, dan aktivitas pertanian. Dengan adanya pembatasan aktivitas oleh pemerintah akibat COVID-19, maka hal ini dapat menurunkan konsentrasi PM10 yang dihasilkan pada tahun

tersebut. Semakin rendah konsentrasi PM10 yang dihasilkan pada ruas jalan tertentu, maka semakin baik kualitas udara pada ruas jalan tersebut sehingga menunjukkan indeks kualitas udara yang baik pula.

Tren yang sama dialami oleh parameter polutan SO₂ yang ikut terdampak akibat fenomena virus yang mewabah pada tahun 2020. Akibatnya, kategori kualitas udara pada ke-63 ruas jalan pada tahun 2020 masuk dalam kategori baik, diikuti dengan penurunan jumlah pada tahun 2021 sebanyak 61 ruas jalan. Kemudian di tahun berikutnya kategori ISPU didominasi oleh kategori sedang dengan jumlah ruas jalan yang termasuk dalam kategori sedang yaitu 57 dari 63 ruas jalan yang ada. Hal ini diakibatkan oleh penurunan kasus COVID-19 sehingga menjadikan aktivitas ekonomi dan mobilitas normal kembali. Kebijakan yang dibuat oleh pemerintah juga semakin dilonggarkan seiring dengan tingginya tingkat vaksinasi yang dianggap mampu mengurangi risiko penularan dan keparahan penyakit. Perubahan kategori ISPU yang pada awalnya didominasi oleh kategori baik kemudian berubah menjadi kategori sedang, ini mengindikasikan bahwa kebijakan pemerintah selama pandemi, seperti pembatasan sosial, kerja dari rumah, dan penutupan industri, secara signifikan mengurangi konsentrasi polutan SO₂ khususnya di Provinsi Jawa Tengah. Jawa Tengah memiliki beberapa kawasan industri yang menghasilkan emisi SO₂. Selain itu, emisi dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil juga menyumbang peningkatan SO₂ terutama di daerah perkotaan yang padat lalu lintas, meskipun tidak sebesar emisi dari industri. Pada parameter CO dan NO₂, nilai konsentrasi yang dihasilkan menunjukkan indeks kualitas udara yang sama di seluruh ruas jalan pada setiap tahunnya. Parameter polutan CO memiliki kategori baik untuk ke-63 ruas jalan. Sedangkan pada parameter NO₂ seluruhnya masuk dalam kategori sedang. Hal ini dikarenakan hasil estimasi konsentrasi yang diperoleh pada kedua parameter memiliki rentang yang tidak terlalu jauh pada setiap tahunnya. Rentang yang dihasilkan dari hasil ekstraksi citra Landsat 8 menggunakan algoritma Somvanshi (2010) untuk parameter CO berada pada rentang 947,71 hingga 958,95 µg/m³. Sedangkan untuk hasil ekstraksi parameter NO₂ menggunakan algoritma Alseroury (2019) berada pada rentang 141,690 hingga 196,733 µg/m³. Melihat data tersebut, setelah dilakukan ekstraksi nilai berdasarkan ruas jalan dan dikonversi menjadi nilai ISPU, maka dihasilkan kategori yang sama pada

seluruh ruas jalan. Meskipun begitu, jika dilihat secara numerik melalui hasil nilai konsentrasi tahunan, terjadi perubahan nilai konsentrasi pada seluruh ruas jalan dengan nilai selisih yang kurang signifikan.

3.3 Uji Validasi

Uji validasi dilakukan terhadap hasil estimasi konsentrasi polutan yang diolah dengan Landsat-8 dengan konsentrasi polutan dari Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) oleh Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Provinsi Jawa Tengah. Terdapat 1 stasiun SPKU yang berada di Provinsi Jawa Tengah yaitu Stasiun Semarang Mijen sehingga uji validasi dilakukan hanya di titik SPKU Semarang Mijen. Uji validasi ini menggunakan metode uji korelasi pearson yang menghasilkan nilai seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 6. Hasil Uji Validasi Konsentrasi Polutan Udara

Parameter	R	Keterangan
PM10	0,835	Korelasi Sangat Kuat
CO	0,447	Korelasi Cukup Kuat
NO2	0,461	Korelasi Cukup Kuat
SO2	0,763	Korelasi Kuat

Berdasarkan tabel di atas, dapat dinyatakan bahwa estimasi konsentrasi polutan PM10, NO₂, dan SO₂ menghasilkan data yang valid karena memiliki korelasi yang kuat. Korelasi yang diperoleh memiliki tren positif yang artinya apabila konsentrasi polutan hasil pengolahan citra Landsat 8 naik, maka konsentrasi polutan dari hasil SPKU juga naik. Sedangkan, untuk hasil estimasi konsentrasi polutan CO hanya berada di kategori korelasi cukup kuat. Selain itu, nilai koefisien korelasi yang dihasilkan bernilai negatif yang artinya data konsentrasi hasil pengolahan dan hasil SPKU bergerak berlawanan arah. Hal ini dapat disebabkan oleh ketidakcocokan algoritma Somvanshi (2010) untuk diaplikasikan di wilayah Provinsi Jawa Tengah karena adanya perbedaan karakteristik wilayah yang digunakan saat algoritma CO diciptakan.

3.4 Uji Korelasi

Seluruh provinsi di Pulau Jawa menempati peringkat teratas dengan jumlah kendaraan bermotor terbanyak di Indonesia, salah satunya Provinsi Jawa Tengah. Melalui pembakaran yang tidak sempurna dari kendaraan bermotor, padatnya lalu lintas dapat menjadi pemicu meningkatnya konsentrasi polutan di udara. Untuk mengetahui secara spasial pengaruh jumlah kendaraan bermotor

terhadap perubahan konsentrasi polutan, maka penelitian ini melakukan korelasi antara hasil estimasi konsentrasi polutan (PM10, CO, NO2, dan SO2) dengan jumlah kendaraan bermotor di Provinsi Jawa Tengah. Korelasi dilakukan secara spatio-temporal selama 4 tahun dari periode tahun 2019 hingga 2022 menggunakan metode Pearson.

Data jumlah kendaraan yang digunakan berasal dari data Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT) yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum (DPU) Bina Marga dan Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah. LHRT adalah jumlah lalu lintas kendaraan rata-rata yang melewati satu ruas jalan tertentu selama 24 jam dan diperoleh dari data selama satu tahun penuh. Data konsentrasi polutan yang digunakan adalah data konsentrasi rata-rata tahunan yang telah diekstrak berdasarkan ruas jalan yang telah ditentukan. Hasil uji korelasi disajikan secara tahunan melalui nilai koefisien korelasi pada tabel berikut ini.

Tabel 7. Hasil Uji Korelasi Polutan Udara Terhadap Jumlah Kendaraan Bermotor

Polutan	Tahun	R	Korelasi
PM10	2019	0,413	Sedang
	2020	0,498	Sedang
	2021	0,400	Sedang
	2022	0,537	Sedang
Rata-Rata Total		0,462	Sedang
CO	2019	0,283	Lemah
	2020	0,230	Lemah
	2021	0,328	Lemah
	2022	0,502	Sedang
Rata-Rata Total		0,336	Lemah
NO2	2019	0,375	Lemah
	2020	0,479	Sedang
	2021	0,377	Lemah
	2022	0,416	Sedang
Rata-Rata Total		0,412	Sedang
SO2	2019	0,515	Sedang
	2020	0,680	Sedang
	2021	0,476	Sedang
	2022	0,432	Sedang
Rata-Rata Total		0,526	Sedang

Koefisien korelasi antara jumlah kendaraan bermotor dengan parameter polutan dilakukan secara tahunan dan menghasilkan rata-rata selama 4 tahun. Koefisien korelasi untuk parameter PM10 menghasilkan nilai 0,462 dengan korelasi sedang, parameter CO menghasilkan 0,336 dengan korelasi lemah, parameter NO2 menghasilkan 0,412 dengan korelasi sedang, dan SO2 menghasilkan 0,526 dengan korelasi sedang. Ketiga parameter polutan (PM10, NO2, dan SO2) menghasilkan tren positif yang artinya semakin banyak jumlah kendaraan

bermotor yang lalu lalang di suatu ruas jalan tertentu maka semakin tinggi nilai konsentrasi polutan yang dihasilkan. Sedangkan, pada parameter CO menghasilkan tren negatif yang berarti kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang berkebalikan.

Berdasarkan hasil uji korelasi tersebut, dapat diketahui bahwa jumlah kendaraan bermotor tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan konsentrasi polutan udara di suatu wilayah. Konsentrasi polutan di udara tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah kendaraan bermotor saja, tetapi juga dipengaruhi faktor atau parameter lain seperti industri dan kegiatan pembakaran seperti rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan lain. Berbagai faktor tersebut telah berkontribusi pada persebaran polutan udara sehingga tidak dapat diketahui secara pasti faktor mana yang paling dominan mempengaruhi perubahan konsentrasi polutan. Selain itu, arah dan kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap distribusi polutan di atmosfer. Angin dapat membawa polutan menjauh dari sumbernya sehingga mengakibatkan variasi konsentrasi polutan di berbagai lokasi yang tidak selalu sebanding dengan jumlah kendaraan bermotor di daerah tersebut. Hal ini dikarenakan dalam perhitungan konsentrasi polutan dari citra satelit yang dilakukan pada penelitian ini tidak memperhitungkan arah dan kecepatan angin yang dapat berpengaruh pada distribusi polutan udara.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil diantaranya:

1. Estimasi polutan dari hasil ekstraksi menggunakan citra Landsat 8 menghasilkan rata-rata total selama 4 tahun untuk polutan PM10 = 39,197 µg/m³, rata-rata polutan CO = 957,621 µg/m³, rata-rata polutan NO2 = 177,507 µg/m³, dan rata-rata polutan SO2 = 41,220 µg/m³. Parameter polutan PM10, NO2, dan SO2 menunjukkan penurunan pada tahun 2020 dan 2021 yang dapat disebabkan oleh dampak pandemi COVID-19. Sedangkan konsentrasi CO justru mengalami penurunan pada tahun tersebut. Hal ini disebabkan oleh ketidakcocokan algoritma yang digunakan untuk area studi penelitian.
2. Berdasarkan hasil uji korelasi antara data konsentrasi polutan dengan jumlah kendaraan bermotor dapat disimpulkan bahwa kenaikan dan penurunan jumlah kendaraan bermotor yang

lalu lalang berdasarkan ruas jalan tertentu memiliki pengaruh yang kurang signifikan terhadap perubahan konsentrasi polutan udara di ruas jalan tersebut.

Saran yang dapat dilakukan untuk menyempurnakan penelitian ini di kedepannya adalah menambahkan parameter berupa faktor-faktor yang menjadi sumber polutan, seperti jumlah industry, jumlah pembangkit listrik, jumlah penduduk, dan lain sebagainya. Selain itu, perlu mempertimbangkan variable arah dan kecepatan angin yang dapat berpengaruh pada variasi konsentrasi polutan di suatu wilayah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat-Nya, penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Provinsi Jawa Tengah yang telah memberikan data pendukung untuk kelancaran Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alseroury, F. A. (2015). The Effect Of Pollutants On Land Surface Temperature Around Power Plant. 3(11), 5.
- BPLH DKI Jakarta. (2013). Zat – Zat Pencemar Udara.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2022). "Jumlah Kendaraan Bermotor Tahun 2019 – 2022". Provinsi Jawa Tengah: Badan Pusat Statistik.
- Dede, Moh., Widiawaty, M. A., Nurhanifah, N., Ismail, A., Artati, A. R. P., Ati, A., & Ramadhan, Y. R. (2020). Estimasi Perubahan Kualitas Udara Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh Di Sekitar PLTU Cirebon. *Jambura Geoscience Review*, 2(2), 78–87.
<https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v2i2.5951>
- Hasan, G., Kubaisy, M. A. A., Nahhas, F. H., Ali, A. A., Othman, N., & Hason, M. M. (2014). Sulfur Dioxide (SO₂) Monitoring Over Kirkuk City Using Remote Sensing Data. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 4(5), 1–6.
<https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000155>
- Lin, C. A., Chen, Y. C., Liu, C. Y., Chen, W. T., Seinfeld, J. H., & Cjou, C. C. K. (2019). Satellite-derived correlation of SO₂, NO₂, and aerosol optical depth with meteorological conditions over East Asia from 2005 to 2015. *Remote Sensing*, 11, 1738.
- Nugroho, G., Rarasati, A. dan Kushardono, D. (2019). Penyediaan Informasi Geospasial Berbasis Cloud Computing Data Penginderaan Jauh. *Inderaja*. 10(12): 32-40
- Othman, N., Mat Jafri, M. Z., & San, L. H. (2010). Estimating Particulate Matter Concentration over Arid Region Using Satellite Remote Sensing: A Case Study in Makkah, Saudi Arabia. *Modern Applied Science*, 4(11), p131.
<https://doi.org/10.5539/mas.v4n11p131>
- Somvanshi, S. S., Vashisht, A., Chandra, U., & Kaushik, G. (2019). Delhi Air Pollution Modeling Using Remote Sensing Technique. Dalam C. M. Hussain (Ed.), *Handbook of Environmental Materials Management* (hlm. 1–27). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_174-1
- Viedra, G. G. Z., & Sukojo, B. M. (2022). *Analisis Pengaruh Angka Deforestasi Terhadap Konsentrasi Polutan Udara dan Suhu Permukaan Tanah Menggunakan Citra Landsat 8 Dengan Google Earth Engine (Studi Kasus: Provinsi Kalimantan Timur, Tahun 2019-2020)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.