

Aplikasi Pengindraan Jauh untuk Memantau Kualitas Udara NO₂ di Kota Jakarta (2019–2020)

Garnida, Dewi Kania Sari

Institut Teknologi Nasional Bandung¹

Email : garnida@itenas.ac.id

ABSTRAK

Jakarta merupakan salah satu kota dengan tingkat pencemaran udara tertinggi di dunia, terutama dipengaruhi emisi antropogenik. Penelitian ini menganalisis konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) periode 2019–2020 menggunakan data satelit Sentinel-5P Level-3 melalui Google Earth Engine (GEE), serta divalidasi dengan data lapangan dari lima stasiun kualitas udara di Jakarta. Analisis dilakukan melalui pemetaan distribusi spasial, deret waktu musiman (Juni–September), dan uji akurasi menggunakan RMSE, NRMSE, MBE, serta koefisien korelasi Pearson. Hasil menunjukkan penurunan signifikan konsentrasi NO₂ pada 2020 dibandingkan 2019, dengan nilai tertinggi 134,7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ (Juni 2019) turun menjadi 97,2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ (Juni 2020). Validasi menghasilkan RMSE 7, NRMSE 32%, MBE 0,00, dan korelasi sedang ($r = 0,58$), yang masih dapat diterima untuk analisis spasial. Temuan ini menegaskan peran dominan aktivitas manusia terhadap emisi NO₂ di Jakarta serta menunjukkan potensi Sentinel-5P sebagai sumber data untuk pemantauan kualitas udara perkotaan secara berkelanjutan.

Kata kunci: Spasiotemporal, Kualitas Udara, NO₂, Sentinel-5P

1. PENDAHULUAN

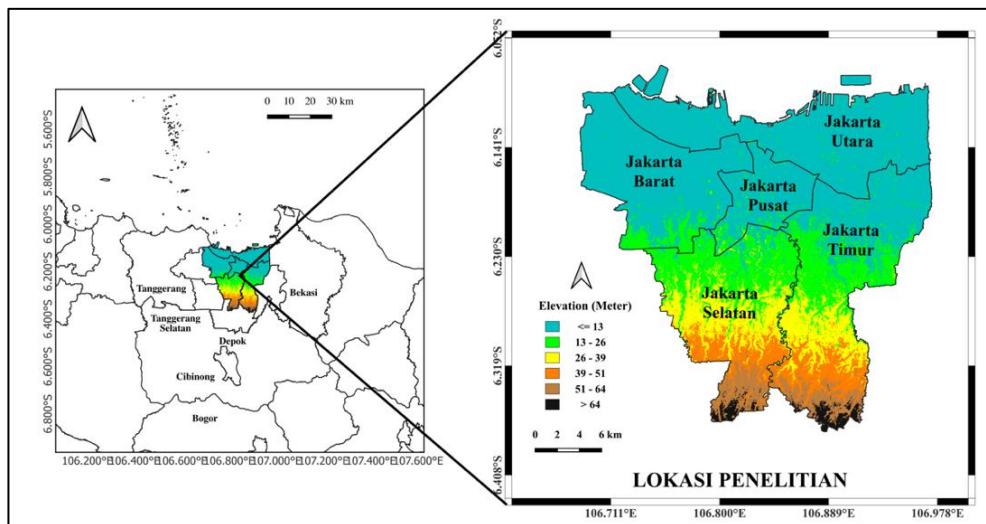
Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang paling sering terjadi di wilayah perkotaan, terutama di kota-kota besar Indonesia. Pencemaran ini terjadi ketika zat atau partikel berbahaya masuk ke atmosfer dan menurunkan kualitas udara, sehingga berdampak negatif terhadap kesehatan manusia serta keseimbangan ekosistem (WHO, 2022). Jakarta menjadi salah satu kota dengan tingkat polusi udara yang tinggi, bahkan secara konsisten masuk dalam daftar kota dengan kualitas udara terburuk di dunia (IQAir, 2023). Kondisi ini diperburuk oleh aktivitas antropogenik seperti emisi kendaraan bermotor, industri, serta faktor cuaca yang menyebabkan konsentrasi polutan bertahan lebih lama di atmosfer. Salah satu polutan utama yang berkontribusi terhadap pencemaran udara adalah gas pencemar Nitrogen Dioksida (NO₂), parameter tersebut tidak hanya memengaruhi kualitas udara, tetapi juga memiliki keterkaitan erat dalam proses pembentukan partikulat halus sekunder (Seinfeld & Pandis, 2016). Oleh karena itu, analisis terhadap parameter tersebut sangat penting dalam memahami dinamika pencemaran udara di wilayah perkotaan. Dalam pemantauan kualitas udara, teknologi pengindraan jauh semakin banyak dimanfaatkan karena mampu memberikan data spasial dan temporal yang luas serta efisien (Gupta & Christopher, 2008). Satelit Sentinel-5P mampu mendeteksi konsentrasi gas pencemar NO₂ dengan dukungan Google Earth Engine (GEE), data satelit tersebut dapat diolah secara cepat dan efektif untuk memetakan distribusi pencemar udara (Gorelick dkk., 2017). Penelitian ini menganalisis pencemaran udara di Jakarta berdasarkan data NO₂ selama periode 2019–2020, dengan fokus pada musim kemarau (Juni–September) untuk mendapatkan pengamatan yang lebih jelas (Lin dkk., 2023). Hasil penelitian

diharapkan dapat memberikan gambaran pemanfaatan data satelit untuk pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan, serta mendukung upaya mitigasi pencemaran udara di wilayah perkotaan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Data Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di wilayah lima kota administratif yang termasuk dalam Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta. Gambar 1 merupakan wilayah yang terdiri dari lima Kota Administratif yaitu Jakarta Pusat, Jakarta Utara, Jakarta Timur, Jakarta Barat, dan Jakarta Selatan. Secara geografis, wilayah Jakarta terletak pada 106°22'42" hingga 106°58'18" Bujur Timur dan 5°19'12" hingga 6°23'54" Lintang Selatan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Berdasarkan area kajian yang ditunjukkan pada Gambar 1, wilayah penelitian ini berbatasan dengan Laut Jawa di sebelah utara, Kota Bekasi dan Kabupaten Bekasi di sebelah timur, Kota Tangerang dan Kabupaten Tangerang di sebelah barat, serta Kota Depok dan Kabupaten Bogor di sebelah selatan.

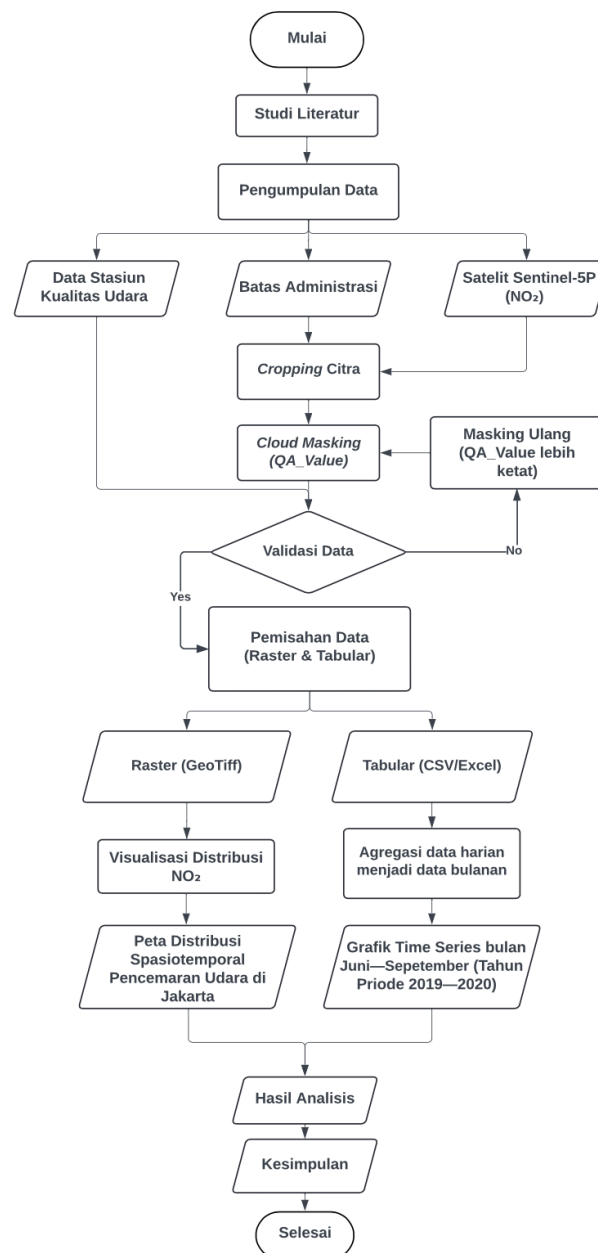
Berikut merupakan data yang digunakan penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

No	Jenis Data	Keterangan	Sumber
1	Batas Administrasi	Jakarta Pusat, Jakarta Utara, Jakarta Timur, Jakarta Barat, dan Jakarta Selatan	Badan Informasi Geospasial (Ina-Geoportal)
2	Data Nitrogen Dioksida (NO ₂)	Produk Sentinel-5 Precursor (Sentinel-5P) Level-3 NO ₂	Google Earth Engine (GEE)
3	Data Ground (NO ₂)	Stasiun Kualitas Udara Meliputi (Bundaran HI, Kelapa Gading, Jagakarsa, Lubang Buaya dan Kebon Jeruk)	BMKG (Pelayanan Terpadu Satu Pintu)

2.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 2.



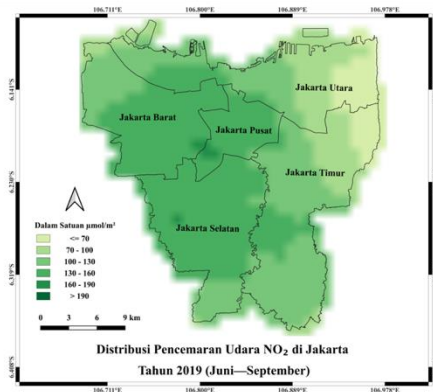
Gambar 2. Metodologi Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

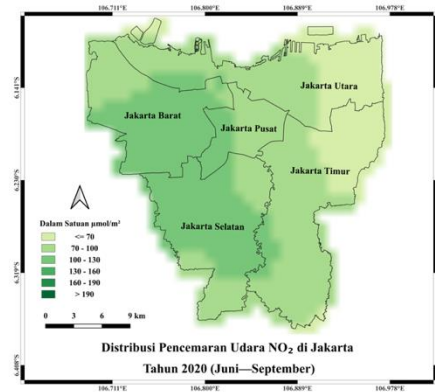
3.1 Peta Distribusi Spasiotemporal

Distribusi pencemaran udara parameter NO₂ pada Gambar 3 dan Gambar 4 merepresentasikan kondisi tahunan dengan menggunakan data bulan Juni hingga September yang telah dirata-ratakan dan peta tersebut divisualisasikan menggunakan warna dasar hijau, di mana warna paling terang merepresentasikan konsentrasi terendah dan warna paling gelap menunjukkan konsentrasi NO₂ paling tinggi. Berdasarkan peta tersebut, menunjukkan adanya penurunan konsentrasi NO₂ pada tahun 2020 dibandingkan tahun 2019.

Penurunan tersebut kemungkinan berhubungan dengan pemberlakuan kebijakan pembatasan sosial pada masa pandemi COVID-19, diduga kebijakan tersebut menjadi salah satu faktor yang memengaruhi penurunan konsentrasi NO_2 pada tahun 2020 (Putri dkk., 2023). berkaitan dengan berkurangnya aktivitas transportasi dan industri selama pandemi COVID-19, peta menunjukkan nilai yang lebih rendah pada tahun 2020 dibandingkan tahun 2019.



Gambar 3. Peta Distribusi NO_2 Tahun 2019

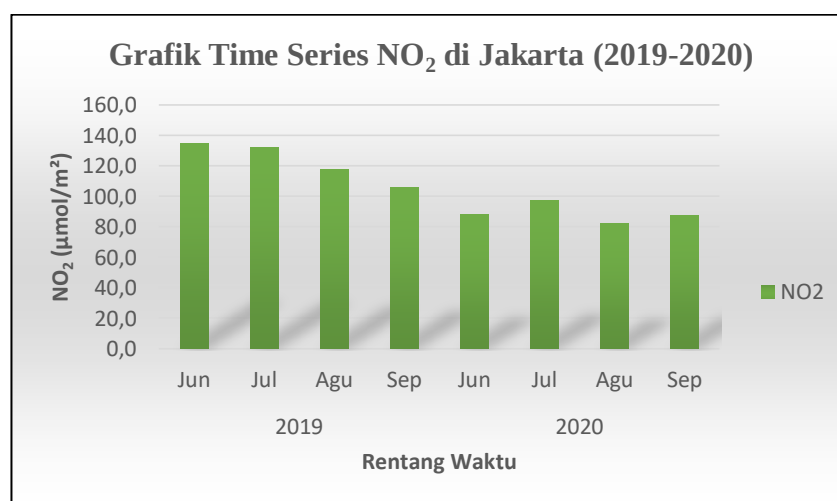


Gambar 4. Peta Distribusi NO_2 Tahun 2020

Berdasarkan peta distribusi yang menunjukkan adanya penurunan konsentrasi NO_2 pada tahun 2020, kemungkinan konsentrasi NO_2 cenderung lebih dipengaruhi oleh aktivitas manusia terutama pengaruh dari kendaraan bermotor dan aktivitas industri (Rahman dkk., 2023). Kondisi tersebut menegaskan bahwa salah satu sumber yang dominan memengaruhi emisi NO_2 , berasal dari sumber antropogenik yang bersifat gas dan relatif stabil di atmosfer (Rahman dkk., 2023). Selain itu, peta distribusi NO_2 memperlihatkan perbedaan yang mencolok antara tahun 2019 dan 2020, di mana konsentrasi pada tahun 2019 relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tahun 2020, sejalan dengan berkurangnya aktivitas transportasi dan industri di Jakarta (Putri dkk., 2023).

3.2 Grafik *Time Series* NO_2 (2019–2020)

Berikut merupakan grafik *time series* konsentrasi NO_2 di Jakarta periode tahun 2019–2020 (Juni–September), dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Batang *Time Series* NO_2 (2019–2020)

Distribusi NO_2 berdasarkan grafik batang pada Gambar 5 menggunakan data bulanan dari setiap tahun yang diperoleh dari proses konversi data harian menjadi data per bulan, data harian yang dikonversi merupakan nilai rata-rata konsentrasi NO_2 di wilayah Jakarta. Pada tahun 2019, konsentrasi NO_2 paling tinggi tercatat pada bulan Juni dengan nilai sekitar $134,7 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, kemudian mengalami penurunan bertahap hingga mencapai sekitar $105,9 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ pada bulan September. Hal ini menunjukkan tren penurunan konsentrasi NO_2 selama periode Juni–September 2019. Sementara itu, pada tahun 2020, konsentrasi NO_2 relatif lebih rendah dibandingkan tahun sebelumnya. Puncak konsentrasi terjadi pada bulan Juni dengan nilai sekitar $97,2 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, kemudian menurun hingga mencapai titik terendah pada bulan Agustus sebesar $82,4 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, sebelum sedikit meningkat kembali menjadi $87,6 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ pada bulan September. Jika dibandingkan antara kedua tahun, konsentrasi NO_2 pada 2020 secara konsisten lebih rendah dibandingkan 2019 pada seluruh bulan yang diamati. Hal ini dapat mencerminkan adanya faktor eksternal yang memengaruhi kualitas udara, salah satunya kemungkinan dampak pembatasan aktivitas selama pandemi COVID-19 yang mulai berlaku pada tahun 2020 (Putri dkk., 2023). Secara keseluruhan, distribusi konsentrasi NO_2 periode 2019–2020 menunjukkan adanya pola musiman dengan penurunan konsentrasi dari bulan Juni menuju Agustus, sebelum stabil atau sedikit meningkat kembali pada bulan September.

3.3 Validasi Data NO_2

Tabel 2 merupakan hasil uji akurasi data satelit yang divalidasi menggunakan data dari lima stasiun kualitas udara di Jakarta (Bundaran HI, Kelapa Gading, Jagakarsa, Lubang Buaya, Kebon Jeruk), validasi dilakukan dengan menggunakan data harian hasil rata-rata nilai parameter pada AOI yang dikonversi menjadi data bulanan. Data observasi yang diperoleh dari lima stasiun kualitas udara kemudian digabungkan dengan cara dirata-ratakan, lalu dikonversi menjadi data bulanan. Proses validasi mencakup perhitungan slope, intercept, RMSE, NRMSE, MBE, dan koefisien korelasi pearson (Duvall dkk., 2021).

Tabel 2. Hasil Uji Akurasi Data

Parameter	Nilai
Slope	0,23
Intercept	-8,37
RMSE	7
NRMSE	32%
MBE	0,00

Berdasarkan hasil validasi yang ditampilkan pada Tabel 2, pengujian akurasi terhadap data satelit NO_2 menunjukkan tingkat keandalan yang bervariasi namun masih dalam kategori dapat diterima. Nilai RMSE sebesar 7 dengan NRMSE 32% sedikit melebihi ambang batas yang direkomendasikan oleh US EPA ($\leq 30\%$). Meskipun demikian, nilai MBE sebesar 0,00 mengindikasikan tidak terdapat bias sistematis pada data. Selanjutnya, nilai slope (0,23) dan intersep (-8,37) menunjukkan hubungan antara data satelit dengan data observasi belum sepenuhnya linear, namun tetap menunjukkan adanya keterkaitan. Koefisien korelasi Pearson ($r = 0,58$) mengindikasikan adanya korelasi sedang antara kedua dataset. Secara keseluruhan, meskipun terdapat beberapa keterbatasan terutama pada tingkat kesalahan relatif (NRMSE), data satelit NO_2 masih dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut karena kesalahan yang ditunjukkan masih mendekati standar yang dapat diterima.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi NO_2 di Jakarta mengalami penurunan signifikan dari tahun 2019 ke 2020, terutama akibat berkurangnya aktivitas transportasi dan industri selama pandemi COVID-19. Hal ini menegaskan bahwa emisi antropogenik merupakan faktor dominan yang menentukan tingkat pencemaran udara di perkotaan. Hasil validasi terhadap data Sentinel-5P dengan lima stasiun pemantauan kualitas udara menghasilkan nilai RMSE 7, NRMSE 32%, MBE 0,00, dan korelasi sedang ($r = 0,58$), yang masih berada dalam kisaran dapat diterima untuk analisis spasial. Dengan demikian, data Sentinel-5P terbukti memiliki potensi untuk digunakan sebagai sumber informasi pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan, meskipun tetap diperlukan penyempurnaan metode validasi dan integrasi dengan faktor meteorologi agar analisis menjadi lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga, teman-teman, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan masukan selama pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada pihak-pihak terkait yang telah menyediakan data serta informasi yang diperlukan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR RUJUKAN

- Duvall, R., Clements, A., Hagler, G., Kamal, A., Kilaru, V., Goodman, L., ... & Dye, T. (2021). *Performance testing protocols, metrics, and target values for fine particulate matter air sensors: use in ambient, outdoor, fixed site, non-regulatory supplemental and informational monitoring applications*. US EPA Office of Research and Development.
- 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.
- Gupta, P., & Christopher, S. A. (2008). *Seven year particulate matter air quality assessment from surface and satellite measurements*. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(12), 3311-3324.
- IQAir. (2023). *World Air Quality Report 2023*. <https://www.iqair.com/world-air-quality>.
- Lin, C. A., Chen, Y. C., Liu, C. Y., Chen, W. T., Seinfeld, J. H., & Chou, C. C. K. (2019). Satellite-derived correlation of SO_2 , NO_2 , and aerosol optical depth with meteorological conditions over East Asia from 2005 to 2015. *Remote Sensing*, 11(15), 1738.
- Putri, F. A., Nugroho, U. C., Tjahjaningsih, A., & Brahmantara, R. P. (2023). Pemanfaatan Data Satelit Sentinel-5P untuk Pemantauan SO_2 Pasca Erupsi Gunung Anak Krakatau. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 14(1), 25-32.
- Rahman, M. M., Wang, S., Zhao, W., Arshad, A., Zhang, W., & He, C. (2023). Comprehensive evaluation of spatial distribution and Temporal trend of NO_2 , SO_2 and AOD using satellite observations over South and East Asia from 2011 to 2021. *Remote Sensing*, 15(20), 5069.
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons.
- World Health Organization. (2022). Air pollution. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).