



Kajian Konsentrasi Nitrogen Dioxide (NO₂) dan Sulphur Dioxide (SO₂) Di Pulau Kalimantan Menggunakan Google Earth Engine

Naufal Hartanto*, Ni'matuzzahroh, Durrotul Jahroo Mauliya, Rheza Rizqi Al fath'qi, Ira Sopiana Julpa, Trida Ridho Fariz, Amnan Haris, Abdul Jabbar

Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Negeri Semarang

*Email Korespondensi: naufalhartanto@students.unnes.ac.id

Diterima: 31 Desember 2023

Disetujui: 19 Juli 2024

Diterbitkan: 30 Juli 2024

Kata Kunci:

Google Earth Engine, SO₂, NO₂, Sentinel-5P

ABSTRAK

Pencemaran Udara yang terjadi di wilayah Kalimantan membawa partikel debu, gas NO₂ dan SO₂ yang berdampak pada permasalahan kesehatan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui dinamika konsentrasi Nitrogen Dioxide (NO₂) dan Sulphur Dioxide (SO₂) di wilayah Kalimantan tahun 2019, 2021 dan 2023 dengan menggunakan Google Earth Engine. Hasil pemantauan menunjukkan adanya kenaikan serta penurunan konsentrasi NO₂ dan SO₂ di udara pada periode tersebut. Rata-rata konsentrasi NO₂ tertinggi selalu berada di Provinsi Kalimantan Selatan dan terendah berada di Provinsi Kalimantan Utara. Untuk konsentrasi SO₂ terlihat tersebar secara merata di berbagai provinsi di wilayah Pulau Kalimantan.

Received: 31 December 2023

Accepted: 19 July 2024

Published: 30 July 2024

Keywords:

Google Earth Engine, SO₂, NO₂, Sentinel-5P

ABSTRACT

Air pollution in the Kalimantan region introduces dust particles, NO₂, and SO₂ gases, impacting health issues. The objective of this study is to examine the dynamics of Nitrogen Dioxide (NO₂) and Sulphur Dioxide (SO₂) concentrations in Kalimantan during 2019, 2021, and 2023 using Google Earth Engine. Monitoring results indicate fluctuating levels of NO₂ and SO₂ concentrations during this period. The highest average NO₂ concentrations consistently occur in South Kalimantan province, while the lowest are found in North Kalimantan Province. SO₂ concentrations appear uniformly distributed across various provinces on the island of Kalimantan.

1. PENDAHULUAN

Pulau Kalimantan merupakan Pulau terluas ketiga didunia serta salah satu wilayah dengan tutupan hutan terluas didunia. Pulau yang berada di Indonesia, Malaysia dan Brunei Darussalam ini memiliki keanekaragaman hayati yang kaya baik flora maupun fauna (Spencer et al, 2023; Aminatun et al, 2021; Sah & Grafe, 2019; Mohd-Azlan et al, 2019). Namun hal tersebut memiliki ancaman salah satunya dari bencana kebakaran hutan. Fenomena kebakaran hutan menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang menjadi perhatian nasional bahkan internasional karena berbagai alasan. Kabut tebal dan emisi karbon yang terkait dengan kebakaran hutan berkontribusi terhadap perubahan iklim serta memberikan dampak terhadap kesehatan (Ardita & Sadewo, 2022; Holm et al, 2021; Austin et al., 2019).

Pencemaran udara di Pulau Kalimantan tidak serta merta disebabkan oleh kebakaran hutan dan lahan, tetapi ada juga diakibatkan oleh aktivitas transportasi, industri dan energi (Inayah et al, 2019, Susanto & Komarawidjaja, 2018; Rini et al, 2022). Gas pencemar dari beberapa aktivitas tersebut seperti NO₂ dan SO₂ CO, serta CO₂ (Siregar et al, 2023; Murmu et al, 2022; Fathiyah et al, 2020). Diantara gas-gas tersebut, NO₂ dan SO₂ merupakan gas yang memainkan peran troposfer karena memberikan dampak terhadap kesehatan manusia, lingkungan dan perubahan iklim (Gosh et al., 2017; Guo et al., 2016; Jion et al, 2023; Shon et al., 2011). Berdasarkan aktivitas antropogenik, Gas NO₂ berasal dari industri berbahan bakar fosil, gas buang kendaraan, pembakaran biomassa, dan listrik produksi, sedangkan gas SO₂ berasal dari aktivitas seperti pembakaran bahan bakar fosil dan pemurnian bijih sulfida (Vinken et al., 2014; Krotkov

et al., 2016; Zhang et al., 2017). Hal tersebut menjadikan pemantauan kualitas udara perlu dilakukan.

Teknik penginderaan jauh merupakan salah satu teknik yang cocok dalam pemantauan kualitas udara (Martin, 2008). Kelebihan utama dari teknik penginderaan jauh adalah mampu menganalisis dan memvisualisasikan kualitas udara dalam skala regional dengan efisien. Salah satu platform pengolahan data penginderaan jauh adalah Google Earth Engine (GEE). GEE merupakan platform berbasis *cloud computing* yang menyediakan GeoBigData dan mampu menganalisis serta memvisualisasikannya tanpa membutuhkan *super computer* (Fariz & Nurhidayati, 2020; Putra et al, 2023). Berdasarkan hal tersebut studi ini akan mengkaji NO₂ dan SO₂ di Pulau Kalimantan menggunakan GEE.

2. METODE

Studi ini merupakan studi kuantitatif dengan teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah metode dokumentasi menggunakan GEE. Citra satelit yang digunakan adalah citra satelit Sentinel 5p. Adapun lokasi studi berada di Pulau Kalimantan dengan pengambilan data pada saat kemarau (bulan April – September) tahun 2019, 2021, dan 2023.

Variabel pada penelitian ini adalah konsentrasi Nitrogen Dioxide (NO₂) serta konsentrasi Sulphur Dioxide (SO₂) dengan indikator penelitian yaitu konsentrasi NO₂ dan SO₂ pada musim kemarau di tahun 2019, 2021, dan 2023. Parameter dalam penelitian ini adalah konsentrasi dari NO₂ dan SO₂ pada musim kemarau dengan rentang bulan April - September tahun 2019, 2021, dan 2023. Satuan yang digunakan dari data sentinel/ GEE ialah satuan mol/m².

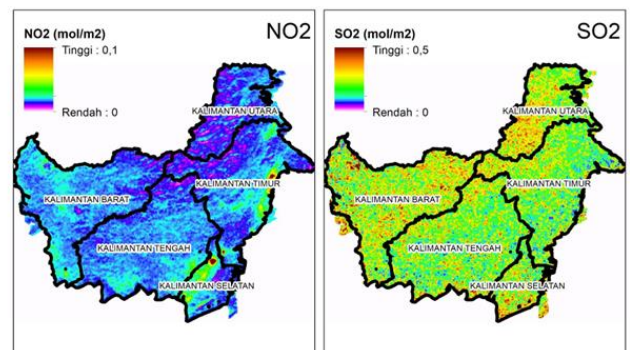
Tabel.1 Variable, Indikator, Paramater Pada Metode Penelitian

Variabel	Indikator	Parameter	Definisi Operasional	Teknik Pengumpulan Data
Konsentrasi Nitrogen dioxide (NO ₂)/Sulphur Dioxide (SO ₂)	Konsentrasi Nitrogen Dioxide (NO ₂)/ Sulphur Dioxide (SO ₂) Setiap musim kemarau	Konsentrasi Nitrogen Dioxide (NO ₂)/ Sulphur Dioxide (SO ₂) Setiap musim kemarau	Nitrogen Dioxide (NO ₂) merupakan gas berbau tajam yang berwarna coklat kemerahan. Gas tersebut berasal dari proses pembakaran bahan bakar fosil seperti bensin, Batubara dan gas alam. Sulfur Dioksida (SO ₂) merupakan gas yang memiliki karakteristik tidak berwarna dan berbau jika konsentrasinya pekat yang berasal dari pembakaran batu bara dan solar (Wantania,2019)	Dokumentasi

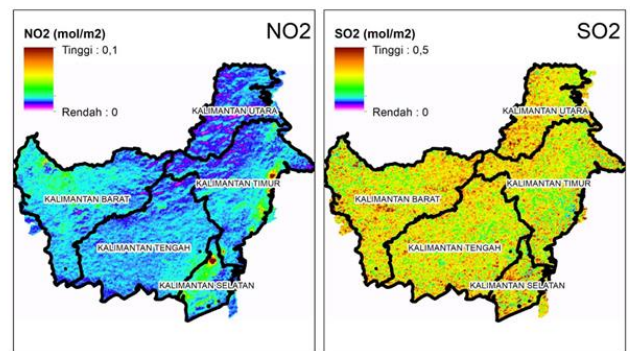
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebakaran hutan dan lahan (KARHUTLA) di Indonesia pertama kali terjadi pada masa orde baru di tahun 1932 – 1983. Hampir setiap tahun Indonesia mengalami kebakaran hutan terutama di wilayah Kalimantan. Letak astronomis Provinsi Kalimantan Barat yang berada di garis lintang 0 derajat mengakibatkan sering terjadi kebakaran hutan pada musim kemarau (Saputro et al., 2021). Sebagian besar wilayah Kalimantan Selatan merupakan kawasan hutan dan lahan gambut yang mudah terbakar (Rosalina et al., 2019). Ini menjadikan pemantauan kualitas udara di Pulau Kalimantan perlu dilakukan.

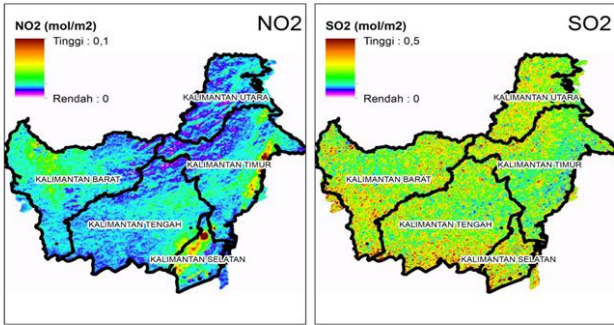
Pemantauan menggunakan citra satelit dalam fenomena kebakaran hutan dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi gas yang ada di udara serta mengetahui sebaran titik panas atau (*hotspot*). Data citra satelit menunjukkan lebih dari 6000 titik panas tersebar di Indonesia yang sebagian besar terdapat di Pulau Kalimantan yaitu sebesar 4.075 titik (Faisal Javier, 2023). Kabut asap yang disebabkan kebakaran hutan telah mencemari udara dengan gas yang terkandung seperti SO₂ dan NO₂ yang konsentrasinya dapat dilihat melalui satelit menggunakan GEE. Hasil visualisasi data tersaji menggunakan gambar berwarna dengan *range* terendah pada NO₂ bernilai 0 dan tertinggi bernilai 0,1 Sedangkan, visualisasi warna pada SO₂ *range* terendah bernilai 0 dan nilai tertinggi bernilai 0,5. Gambar 1, 2 dan 3.



Gambar.1 Persebaran NO₂ dan SO₂ di Pulau Kalimantan Tahun 2019



Gambar.2 Persebaran NO₂ dan SO₂ di Pulau Kalimantan Tahun 2021



Gambar.3 Persebaran NO₂ dan SO₂ di Pulau Kalimantan Tahun 2023

Secara visual konsentrasi NO₂ dan SO₂ tersaji di dalam gambar 1, 2, dan 3. Pada Gambar.1 menunjukkan bahwa pada tahun 2019 di Pulau Kalimantan konsentrasi NO₂ tertinggi ada pada Provinsi Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur. Sedangkan untuk konsentrasi SO₂ tersebar secara merata baik di Provinsi Kalimantan Timur dan Kalimantan Barat tetapi mayoritas berada di Kalimantan Utara. Pada Gambar.2 menunjukkan bahwa pada tahun 2021 di Pulau Kalimantan konsentrasi NO₂ tertinggi berada pada Provinsi Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Sedangkan konsentrasi SO₂ titik tertinggi berada di provinsi Kalimantan Selatan dan wilayah dengan konsentrasi SO₂ tertinggi lainnya tersebar di wilayah provinsi Kalimantan Utara dan Kalimantan Barat. Sedangkan pada Gambar.3 menunjukkan bahwa pada tahun 2023 di Pulau Kalimantan konsentrasi NO₂ tertinggi ada pada Provinsi Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Sedangkan untuk konsentrasi SO₂ terparah berada di Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat.

Tabel 2. Kandungan Konsentrasi Gas NO₂ dan SO₂ Pulau Kalimantan.

Provinsi Kalimantan	Rata Rata Konsentrasi NO ₂ (mol/m ²)			Rata Rata Konsentrasi SO ₂ (mol/m ²)		
	2019	2021	2023	2019	2021	2023
Utara	0,000004	0,000005	0,000006	0,000007	0,000015	0,000014
Timur	0,000006	0,000007	0,000008	-0,000004	0,000005	0,000002
Barat	0,000006	0,000007	0,000008	0,000005	0,000011	0,000013
Tengah	0,000006	0,000006	0,000007	-0,000004	0,000008	0,000012
Selatan	0,000008	0,000009	0,000010	0,000005	0,000015	0,000023

Pada periode tahun 2019, 2021 dan 2023 nilai rata-rata konsentrasi NO₂ tertinggi berturut turut berada di provinsi Kalimantan Selatan sebesar 0,000008 mol/m², 0,000009 mol/m², 0,000010 mol/m². Sedangkan nilai rata-rata konsentrasi NO₂ terendah berturut turut berada di provinsi Kalimantan Utara sebesar 0,000004 mol/m², 0,000005 mol/m², dan 0,000006 mol/m². Hal tersebut karena pada Tahun 2019 terjadi kebakaran hutan dan lahan sekitar 500 hektar di Kalimantan Selatan. Berdasarkan Data Pusat Pengendalian dan Operasional (Pusdalops) BPBD Kalsel, pada tahun yang sama terjadi kebakaran lahan yang sebagian besar lahan gambut di sekitar bandara Syamsudin Noor Banjarbaru. Hal tersebut menyebabkan kabut asap yang cukup tebal di kawasan tersebut (Hartono, 2019). Pada Tahun 2021 terjadi kebakaran lahan seluas 142,9 hektar di Kota Banjarbaru, Kabupaten Banjar, Tapin, Hulu Sungai Utara, Hulu Sungai

Tengah, Hulu Sungai Selatan, Balangan Tabalong, Tanah Laut hingga Kotabaru.

Pada akhir tahun 2023 nilai konsentrasi NO₂ dan SO₂ dari citra Sentinel 5-p dapat dikatakan senada dengan hasil Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Hal ini mengingat di Kalimantan Selatan nilai ISPU sebesar 217 (Irfan Fadhlurrahman, 2023). Nilai ISPU sebesar 217 tergolong yang masuk dalam kategori sangat tidak sehat berdasarkan hasil, pengukuran parameter ISPU yaitu tak hanya NO₂ dan SO₂ tetapi juga PM₁₀, PM_{2.5}, CO₂, O₃, dan HC

Penggunaan GEE dalam pemantauan dan analisis kualitas udara sangat efisien tetapi memiliki banyak limitasi. Limitasi utama adalah resolusi data yang sangat kecil sehingga hanya cocok untuk kajian skala global dan regional (Theys et al, 2019). Penggunaan data penginderaan jauh juga sangat bergantung pada faktor cuaca seperti awan, apalagi lokasi studi yaitu Pulau Kalimantan memiliki tutupan awan yang sangat tinggi (Fariz & Faniza, 2023). Selain itu, studi ini memiliki limitasi yaitu belum dilakukan perhitungan statistik untuk memvalidasi dan memodelkan kualitas udara berdasarkan satuan yang sebenarnya seperti studi Tabunshchik et al (2023) dan Halder et al (2023).

4. SIMPULAN

Hasil pemantauan konsentrasi NO₂ dan SO₂ di udara selama rentang bulan April-September tahun 2019, 2021, dan 2023 di Pulau Kalimantan menggunakan citra satelit Sentinel 5p menunjukkan bahwa adanya kenaikan serta penurunan konsentrasi NO₂ dan SO₂ di udara pada periode tersebut. Rata-Rata konsentrasi NO₂ tertinggi selalu berada di provinsi Kalimantan Selatan dan terendah berada di Provinsi Kalimantan Utara. Sedangkan untuk Konsentrasi SO₂ terlihat tersebar secara merata di berbagai provinsi di wilayah Pulau Kalimantan. Dalam studi kedepannya dapat dilakukan perhitungan statistik untuk untuk memvalidasi dan memodelkan kualitas udara berdasarkan satuan yang sebenarnya. Studi tersebut sangat cocok dilakukan dalam skala nasional mengingat keterbatasan stasiun pemantauan kualitas udara di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Adi Ahdiat. (2022, October 20). *Indonesia Punya 126 Unit PLTU, Terbanyak di Kalimantan*. Databoks. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/10/20/indonesia-punya-126-unit-pltu-terbanyak-di-kalimantan>

Aminatun, T., Suwasono, R. A., & Putri, R. A. (2021). Flora and fauna diversity in Selangkau forest: A basis for developing management plan of cement industrial complex in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(10).

Ardita, F. W., & Sadewo, F. S. (2022). Konstruksi Sosial Masyarakat Desa Pajeng dalam Menjamin Kesehatan Pernafasan Akibat Kebakaran Hutan. *JURNAL SAINS, SOSIAL DAN HUMANIORA (JSSH)*, 2(1), 119-122.

Austin, K. G., Schwantes, A., Gu, Y., & Kasibhatla, P. S. (2019). What causes deforestation in Indonesia? *Environmental Research Letters*, 14(2), 024007.

- Faisal Javier. (2023, October 5). *Ada 600 Lebih Titik Panas Karhutla di Seluruh Indonesia*. Tempo.Co. <https://data.tempo.co/data/1763/ada-6000-lebih-titik-panas-karhutla-di-seluruh-indonesia#:~:text=Kalimantan%20Tengah%20menjadi%20provinsi%20penyumbang,terbanyak%2C%20dengan%20jumlah%202.904%20titik>
- Fariz, T. R., & Nurhidayati, E. (2020). Mapping Land Coverage in the Kapuas Watershed Using Machine Learning in Google Earth Engine. *Journal of Applied Geospatial Information*, 4(2), 390-395.
- Fariz, T. R., & Faniza, V. (2023). Comparison of built-up land indices for building density mapping in urban environments. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2683, No. 1). AIP Publishing.
- Fathiyah, M., Hasanah, K., & Hidayatullah, A. F. (2020). Pemanfaatan sansevieria sp dalam menyerap polusi gas kendaraan bermotor di kampus 2 UIN Walisongo Semarang. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN: Jurnal dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 17(2), 97-100.
- Ghosh, D., Lal, S., & Sarkar, U. (2017). Variability of tropospheric columnar NO₂ and SO₂ over eastern Indo-Gangetic Plain and impact of meteorology. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10, 565-574.
- Guo, Y., Li, C., Lu, S., & Zhao, C. (2016). Understanding the deactivation of K₂CO₃/AC for low-concentration CO₂ removal in the presence of trace SO₂ and NO₂. *Chemical Engineering Journal*, 301, 325-333.
- Habibi, A. (2022). *Pencemaran Lingkungan Akibat Tambang Batu Bara di Desa Serongga Kabupaten Kotabaru*.
- Halder, B., Ahmadianfar, I., Heddad, S., Mussa, Z. H., Goliatt, L., Tan, M. L., ... & Yaseen, Z. M. (2023). Machine learning-based country-level annual air pollutants exploration using Sentinel-5P and Google Earth Engine. *Scientific reports*, 13(1), 7968.
- Hartono. (2019, August 5). *Lahan Gambut di Kalsel Mulai Terbakar*. Pontas.Id. <https://pontas.id/2019/08/05/lahan-gambut-di-kalsel-mulai-terbakar/>
- Holm, S. M., Miller, M. D., & Balmes, J. R. (2021). Health effects of wildfire smoke in children and public health tools: a narrative review. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 31(1), 1-20.
- Inayah, N., Suhel, H., & Andriani, M. (2019). penyajian peta kualitas udara kota banjarmasin (so₂ dan no₂). *Poros Teknik*, 11(1), 07-11.
- Irfan Fadhlurrahman. (2023, September 18). *Pagi Ini Polusi Udara Kalimantan Selatan Tercatat Paling Buruk di Indonesia (Senin, 18 September 2023)*. Databoks. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/09/18/pagi-ini-polusi-udara-kalimantan-selatan-tercatat-paling-buruk-di-indonesia-senin-18-september-2023>
- Jion, M. M. M. F., Jannat, J. N., Mia, M. Y., Ali, M. A., Islam, M. S., Ibrahim, S. M., ... & Islam, A. R. M. T. (2023). A critical review and prospect of NO₂ and SO₂ pollution over Asia: Hotspots, trends, and sources. *Science of The Total Environment*, 876, 162851.
- Krotkov, N. A., McLinden, C. A., Li, C., Lamsal, L. N., Celarier, E. A., Marchenko, S. V., Swartz, W. H., Bucsela, E. J., Joiner, J., & Duncan, B. N. (2016). Aura OMI observations of regional SO₂ and NO₂ pollution changes from 2005 to 2015. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(7), 4605-4629.
- Martin, R. V. (2008). Satellite remote sensing of surface air quality. *Atmospheric environment*, 42(34), 7823-7843.
- Mohd-Azlan, J., Fang, V. A. M., Kaicheen, S. S., Lok, L., & Lawes, M. J. (2019). The diversity of understorey birds in forest fragments and oil palm plantation, Sarawak, Borneo. *Journal of Oil Palm Research*, 31(3), 437-447
- Murmu, M., Roy, A., Karnatak, H. C., & Chauhan, P. (2022). Impact Of Forest Fire Emissions On Air Quality Over Western Himalaya Region. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 1153-1160.
- Putra, A. C. P., Widhaningtyas, T. U., Fariz, T. R., & Prakoso, A. (2023). Mapping Age Of Oil Palm Trees Using Google Earth Engine Cloud Computing In PT. SCP, Pulang Pisau Regency. *Jurnal Riset Perkebunan*, 4(2), 85-94.
- Rini, I. D. W. S., Maria, M., Anifah, E. M., Saputra, A. A. I., Gunawan, A., & Arobi, A. I. (2022). Analisis Dampak Lingkungan Pengolahan Limbah Fly Ash dan Bottom Ash dengan Metode Siklus Daur Hidup (Life Cycle Assessment/LCA) di Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *SPECTA Journal of Technology*, 6(3), 263-272.
- Rosalina, K., Dianita, A., & Elisabeth, E. (2019). Penyebab Kebakaran Hutan Dan Lahan Gambut Di Kabupaten Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Sosial, Lingkungan Dan Tata Ruang (Semnas Islt) Manajemen Bencana Di Era Revolusi Industri 5.0*.
- Sah, H. H. A., & Grafe, T. U. (2019). Amphibian species diversity in the proposed extension of the Bukit Teraja Protection Forest, Brunei Darussalam. *Scientia Bruneiana*, 18(1), 11-23.
- Saputro, J. G. J., Handayani, I. G. A. K. R., & Najicha, F. U. (2021). Analisis Upaya Penegakan Hukum Dan Pengawasan Mengenai Kebakaran Hutan Di Kalimantan Barat. *Jurnal Manajemen Bencana (JMB)*, 7(1).
- Shon, Z.-H., Kim, K.-H., & Song, S.-K. (2011). Long-term trend in NO₂ and NO_x levels and their emission ratio in relation to road traffic activities in East Asia. *Atmospheric Environment*, 45(18), 3120-3131.
- Siregar, Z. G. T., Putri, R. A., Fitri, R. N., Abdullatif, M., Sianipar, R. J., Fariz, T. R., & Jabbar, A. (2023). Potensi Emisi Co₂ Dari Kendaraan Bermotor Di Kawasan Universitas Negeri Semarang. *KURVATEK*, 8(1), 55-62.
- Spencer, K. L., Deere, N. J., Aini, M., Avriandy, R., Campbell-Smith, G., Cheyne, S. M., ... & Struebig, M. J. (2023). Implications of large-scale infrastructure development for biodiversity in Indonesian Borneo. *Science of the Total Environment*, 866, 161075.
- Susanto, J. P., & Komarawidjaja, W. (2018). Pembangunan Green Belt sebagai antisipasi pencemaran udara industri pupuk di Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 155-164
- 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), 3364.

Theys, N., Hedelt, P., De Smedt, I., Lerot, C., Yu, H., Vlietinck, J., ... & Van Roozendael, M. (2019). Global monitoring of volcanic SO₂ degassing with unprecedented resolution from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor. *Scientific reports*, 9(1), 2643.

Vinken, G. C. M., Boersma, K. F., Maasakkers, J. D., Adon, M., & Martin, R. V. (2014). Worldwide biogenic soil NO_x emissions inferred from OMI NO₂ observations.

Atmospheric Chemistry and Physics, 14(18), 10363–10381.

Zhang, Y., Li, C., Krotkov, N. A., Joiner, J., Fioletov, V., & McLinden, C. (2017). Continuation of long-term global SO₂ pollution monitoring from OMI to OMPS. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(4), 1495–1509.