

PEMANTAUAN KONSENTRASI GAS SO₂ , NO₂ , DAN CO SAAT ERUPSI DI SEKITAR GUNUNG SEMERU MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-5 PRECURSOR

Juan Idhar Jannata
Christy Anastasya Thenu
M. Zaqi Fikanza Takdir
Naufal Kamil Fauzi
Agung Hari Saputra

Program Studi Meteorologi, STMKG
Program Studi Meteorologi, STMKG
Program Studi Meteorologi, STMKG
Program Studi Meteorologi, STMKG
Program Studi Meteorologi, STMKG

juanidhar@gmail.com

Abstrak

Gunung Semeru adalah gunung tipe A yang sampai saat ini masih aktif. Gunung Semeru secara administratif termasuk dalam wilayah dua kabupaten, yakni Kabupaten Malang dan Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Gunung ini termasuk dalam kawasan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru. Erupsi Gunung Semeru tidak hanya berdampak pada suatu wilayah saja, akan tetapi juga pada wilayah yang ada di sekitar gunung tersebut. Salah satu zat yang disebarkan oleh gunung api pada saat erupsi adalah gas SO₂. Selain gas SO₂, gas NO₂ dan gas CO merupakan parameter penting untuk menentukan kualitas udara. Data gas tersebut didapatkan dengan memanfaatkan hasil rekaman Sentinel-5P. Data Sentinel-5P diolah dan dianalisis untuk dapat mengetahui konsentrasi gas SO₂, NO₂, dan CO di wilayah sekitar Gunung Semeru saat terjadinya erupsi pada tanggal 04 Desember 2022.

Kata kunci: *Sentinel-5P, Vulkanik, Erupsi*

Abstract

Mount Semeru is a type A mountain that is still active today. Mount Semeru administratively includes the area of two regencies, namely Malang Regency and Lumajang Regency, East Java Province. This mountain is located in the Bromo Tengger Semeru National Park area. The Eruption of Mount Semeru impacted a site and the area around the mountain. One of the substances sprayed by the volcano at the time of eruption is SO₂ gas. In addition to SO₂ gas, NO₂ gas, and CO gas are essential parameters for determining air quality. The gas data was obtained by utilizing the recording results of Sentinel 5P. Sentinel 5P data was processed and analyzed to determine the concentration of SO₂, NO₂, and CO gasses around Mount Semeru during the eruption on December 04, 2022.

Keywords: *Sentinel-5P, Volcanic, Eruption*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki 127 gunung berapi aktif, yang terdiri dari 67 gunung api tipe A (gunung dengan catatan sejarah letusan sejak tahun 1600), 30 gunung api tipe B (gunung dengan catatan sejarah letusan sebelum tahun 1600), dan gunung api tipe C (gunung dengan catatan sejarah letusan yang masih ada terlihat jejak aktivitas vulkanik) sebanyak 21 gunung (Sihotang dkk., 2020).

Gunung Semeru termasuk dalam gunung Tipe A, yang berada pada -8,11 derajat LS dan 112,96 BT. Gunung Semeru dengan puncak Mahameru setinggi 3,68 mdpl merupakan gunung tertinggi di Pulau Jawa dan gunung tertinggi ketiga di Indonesia setelah Gunung Kerinci di Sumatera dan Gunung Rinjani di Nusa Tenggara Barat (Hakim, 2017). Gunung ini terbentuk akibat penunjaman Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Aktivitas vulkanik Gunung Semeru yang terekam sejak zaman prasejarah hingga saat ini menunjukkan berbagai letusan di kawah puncak dan letusan lateral. Endapan vulkanik tersebut mengeluarkan lahar dingin dan lahar panas yang keluar dari mulut Gunung Semeru. Lava dingin biasanya mengeluarkan isinya berupa pasir, tuf atau debu. Namun, lava panas yang mengandung pasir, magma, batu dan debu juga dimungkinkan (Umam dkk., 2019).

Gunung berapi melepaskan gas dan aerosol ke atmosfer melalui degassing diam (pasif), letusan efusif, dan letusan eksplosif. Emisi vulkanik dari senyawa SO₂ ke stratosfer diketahui berdampak pada iklim melalui oksidasi SO₂ di atmosfer untuk membentuk partikel aerosol sulfat yang aktif secara radiatif. Faktanya, gunung berapi melepaskan berbagai macam gas yang sangat reaktif yang dapat mempengaruhi komposisi atmosfer dan iklim. Emisi bromin dan klorin vulkanik mengalami proses kimia atmosfer yang dapat merusak lapisan troposfer dan stratosfer. Dalam urutan menurun kelimpahan khas (yang bervariasi dengan pengaturan gunung berapi, kondisi redoks magma, dan gaya erupsi) emisi gas vulkanik terdiri dari: H₂O, CO₂, SO₂, HCl, HF, H₂S, OCS, CO, dan HBr serta spesies jejak lainnya misalnya logam. Pengamatan gumpalan vulkanik mengidentifikasi beberapa spesies tambahan (misalnya, NO, NO₂, HNO₃, BrO, OClO, SO₄²⁻, HO₂NO₂, dan H₂O₂). Spesies ini terbentuk dari oksidasi reaksi kimia saat gas magmatik bercampur dengan udara, yaitu pada suhu tinggi di dekat sumber dan kemudian pada suhu rendah saat kepulan yang didinginkan menyebar lebih jauh ke atmosfer (Roberts dkk., 2019).

Dengan menggunakan data satelit Sentinel 5 Precursor dan Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI), pemantauan gas SO₂, NO₂ dan CO selama erupsi di sekitar Gunung Semeru dapat dilakukan. Sentinel-5P adalah satelit yang diluncurkan pada 13 Oktober 2017 oleh European Space Agency (ESA) yang memantau polusi udara, termasuk pengamatan gas O₃, NO₂, SO₂, HCHO, CO dan CH₄. Selain observasi CH₄, dataset satelit Sentinel-5P memiliki dua versi yaitu Near Real-Time (NRTI) dan Offline (OFFL). (Sihotang dkk., 2020).

METODE

Area Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Malang dan beberapa wilayah yang berdekatan langsung dengan Gunung Semeru, yaitu Kota Malang, Kabupaten Malang, Kota Batu, Kota Pasuruan, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Jember, Kota Probolinggo, Kabupaten Probolinggo. Lokasi tersebut berada di Provinsi Jawa Timur yang secara geografis terletak antara 111,0° BT - 114,4° BT dan Garis Lintang 7,12° - 8,48° LS dengan luas wilayah 47.157,72 km². Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Sentinel-5P Level 2 dengan jenis produk L2_SO2, L2_NO2 dan L2_CO. Informasi ini berasal dari situs web ESA. Data yang digunakan adalah data OFFL (offline) karena data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang tercatat pada bulan Desember 2022.

Tabel 1. Produk Sentinel-5P

No	Parameter
1	<i>sulfurdioxide_total_vertical_column</i>
2	<i>sulfurdioxide_total_vertical_column_precision</i>
3	<i>nitrogendioxide_tropospheric_column</i>
4	<i>nitrogendioxide_tropospheric_column_precision</i>
5	<i>nitrogendioxide_tropospheric_column_precision_kernel</i>
6	<i>air_mass_factor_troposphere</i>
7	<i>air_mass_factor_total</i>
8	<i>carbonmonoxide_total_column</i>
9	<i>carbonmonoxide_total_column_precision</i>
10	<i>carbonmonoxide_total_column_corrected</i>

Metode Penelitian

Proses pengambilan data dari data citra satelit adalah sebagai berikut (ESA, 2021):

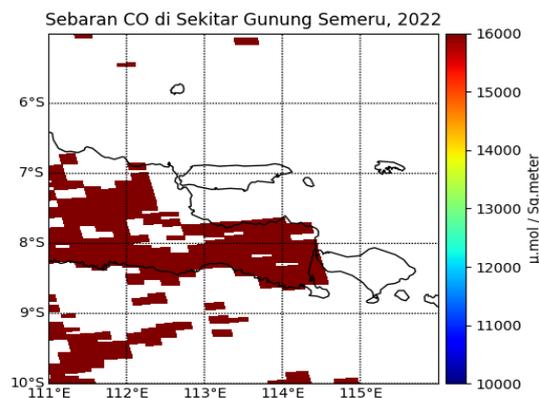
- Citra satelit yang telah diunduh pada *website* ESA diolah melalui *software* Spyder-Anaconda
- Selanjutnya, *library* NetCDF4, *numpy* dan *matplotlib.pyplot* dimasukkan ke dalam *coding* sebelum melakukan pengolahan citra Sentinel-5P.
- Dataset* NC Tropomi Sentinel-5P di-*import* ke dalam *workspace*. *Run selection* pada *dataset* untuk mengetahui parameter yang terdapat pada *dataset* yang kemudian akan diolah untuk mendapatkan visualisasi persebaran NO₂, SO₂ dan CO pada sekitar Gunung Semeru.
- Untuk mendapatkan peta visualisasi, digunakan *coding input* data koordinat terlebih dahulu. Selanjutnya mengisi data kosong dengan *fill.value* sehingga dapat diganti dengan *nan*.
- Peta dasar divisualisasikan dengan menentukan koordinat, garis koordinat, warna perbedaan konsentrasi gas dan label lokasi.
- Secara singkat, hasil penelitian ini dapat dilihat pada bab berikut ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses pengolahan data yang dilakukan, citra satelit Sentinel-5P diolah pada *software* spyder dan *earth-engine*. Hasil yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah visualisasi dan *time series* konsentrasi gas SO₂, NO₂, dan CO di daerah sekitar Gunung Semeru yaitu Kota Malang, Kabupaten Malang, Kota Batu, Kota Pasuruan, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Jember, Kota Probolinggo, Kabupaten Probolinggo. Lokasi tersebut berada di Provinsi Jawa Timur.

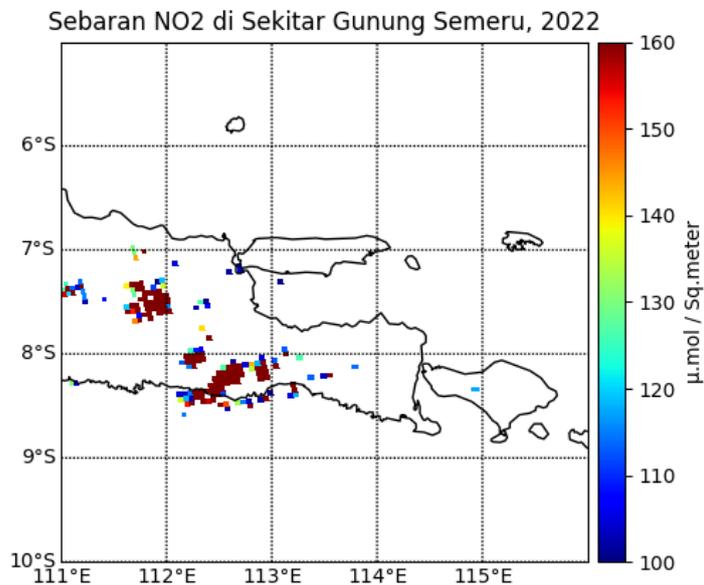
Citra Satelit Sentinel-5P

Citra konsentrasi gas CO dapat dilihat pada Gambar 2.



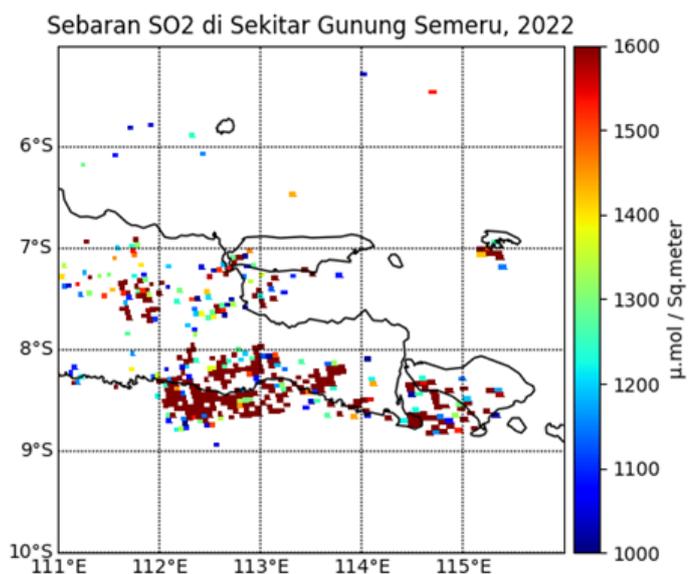
Gambar 2. Sebaran CO

Pada visualisasi yang ditampilkan pada periode pengamatan yaitu 02-07 Desember 2022, terlihat sebaran CO di Jawa Timur cukup merata dengan konsentrasi sekitar 15000-16000 u.mol/m² di semua daerah penelitian. Kemudian untuk pengolahan data selanjutnya adalah visualisasi konsentrasi gas NO₂ dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sebaran NO₂

Visualisasi sebaran NO₂ dengan periode yang sama dengan pengamatan CO, dapat dilihat bahwa NO₂ tersebar dengan konsentrasi dominan sekitar 160 u.mol/m² di sekitar letusan gunung semeru dan sekitar daerah Kabupaten malang. Gas NO₂ dengan konsentrasi yang rendah yaitu sekitar 100 u.mol/m² juga tersebar di sekitar daerah penelitian, baik di sekitar letusan Gunung Semeru maupun di wilayah lainnya, seperti di sekitaran Kabupaten Malang, Kota Batu, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Jember, dan di sekitaran Kota Pasuruan. Pengolahan data selanjutnya adalah visualisasi konsentrasi gas SO₂. Visualisasi konsentrasi gas SO₂ dapat dilihat pada Gambar 4.



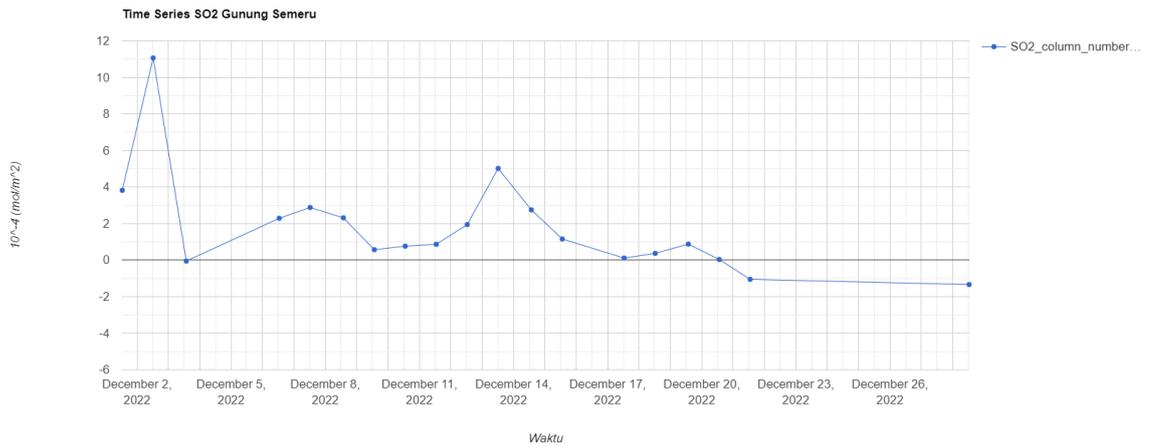
Gambar 4. Sebaran SO₂

Sebaran SO₂ yang sama seperti periode pengamatan sebelumnya yaitu 02-07 Desember 2022, dapat dilihat bahwa SO₂ tersebar dengan konsentrasi yang tinggi. Konsentrasi SO₂ berkisar 1600 u.mol/m² di daerah letusan Gunung Semeru, dan tersebar ke arah timur, yaitu di Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Jember. Gas SO₂ juga

tersebar di Kota Malang dan sekitarnya, yaitu Kota Batu, Kabupaten Malang, Kabupaten Pasuruan, Kota Pasuruan, Kabupaten Probolinggo, dan Kota Probolinggo dengan variabilitas konsentrasi yang lebih tinggi, berkisar dari 1000 hingga 1600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$

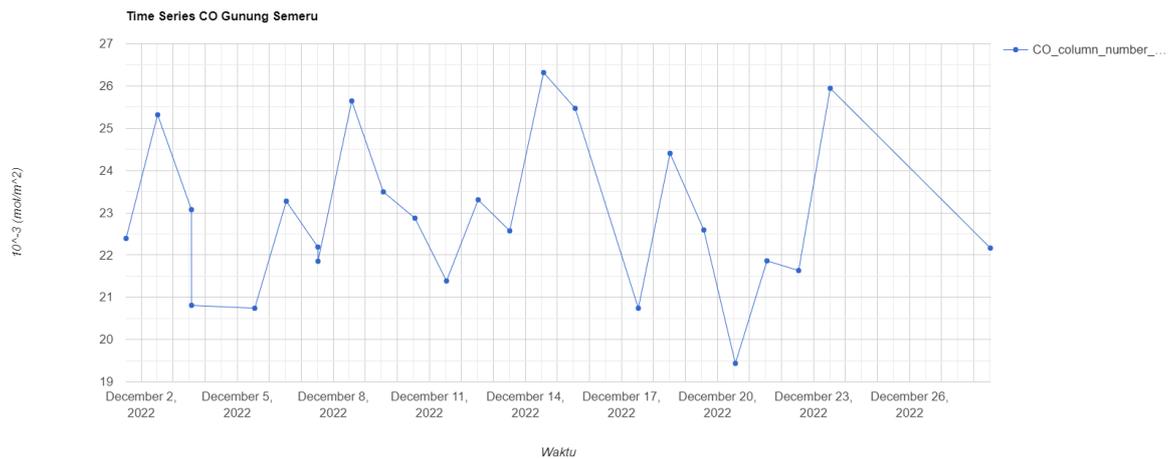
Time Series

Bagian ini memaparkan hasil penelitian sekaligus memberikan pembahasan yang komprehensif. Hasilnya dapat disajikan dalam bentuk gambar, grafik, tabel dan lain-lain yang memudahkan pembaca. Pembahasan dapat dibagi menjadi beberapa bagian:



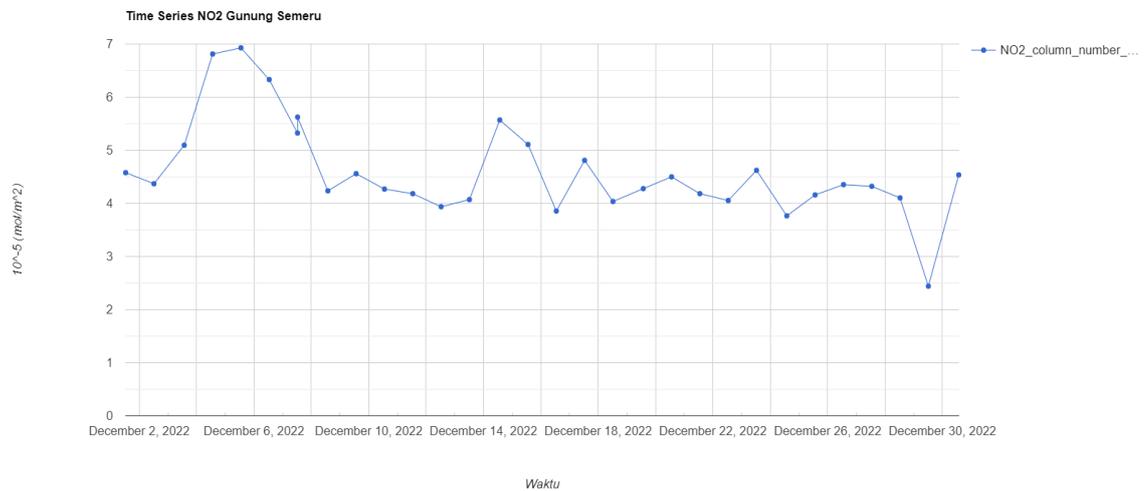
Grafik 1. Time Series SO2 Gunung Semeru

Dari grafik time series SO2 gunung Semeru yang diamati pada periode 2-7 Desember 2022, ditemukan adanya kenaikan konsentrasi SO2 ketika terjadi letusan Gunung Semeru. Tepatnya ketika terjadi letusan pada tanggal 4 Desember 2022, terjadi kenaikan konsentrasi SO2 pada rentang $2.10^{-4} \text{ mol}/\text{m}^2$ hingga $4.10^{-4} \text{ mol}/\text{m}^2$ di daerah penelitian. Namun, kenaikan konsentrasi SO2 pada waktu erupsi Gunung Semeru tidak menunjukkan nilai maksimum.



Grafik 2. Time Series CO Gunung Semeru

Terjadinya erupsi Gunung Semeru pada tanggal 4 Desember 2022 juga menyebabkan kenaikan kadar CO yang dapat dilihat melalui grafik. Ketika terjadinya erupsi, grafik meningkat dari $21.10^{-4} \text{ mol}/\text{m}^2$ hingga $23.10^{-4} \text{ mol}/\text{m}^2$. Kenaikan CO ini tidak terlalu signifikan karena adanya variabel lain di luar pengamatan yang dapat menghasilkan CO lebih besar.



Grafik 3. Time Series NO2 Gunung Semeru

Konsentrasi NO2 pada periode setelah terjadi erupsi yang terjadi di Gunung Semeru pada 4 Desember 2022 mengalami kenaikan signifikan ketika dilakukan pengamatan, yaitu dari 5.10^{-4} mol/m² hingga puncaknya sebesar 7.10^{-4} mol/m² pada tanggal 5-6 Desember 2022. Kadar NO2 selama bulan desember mencapai nilai maksimum ketika erupsi tersebut terjadi.

KESIMPULAN

Dengan memanfaatkan data citra satelit Sentinel-5P, monitoring konsentrasi beberapa gas seperti SO₂, NO₂, dan CO di sekitar Gunung Semeru dapat dilakukan. Dari hasil penelitian yang dilakukan pada Tanggal 02-07 Desember 2022, konsentrasi gas SO₂ pada visualisasi yang ditampilkan terlihat bahwa konsentrasi yang paling tinggi tersebar di wilayah selatan Gunung Semeru dengan wilayah Kabupaten Lumajang sebelah selatan lebih tinggi dari titik pada kawah gunung. Kemudian untuk konsentrasi gas NO₂ persebarannya adalah di daerah barat dari Gunung Semeru yaitu di kabupaten Malang dan Kota Malang dengan rentang 100-160 u.mol/m². Sedangkan untuk konsentrasi gas CO di sekitar Gunung Semeru cenderung tersebar merata dengan konsentrasi sekitar 15000-16000 u.mol/m².

Persebaran konsentrasi gas SO₂, NO₂, dan CO dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya waktu pengambilan data, arah hembusan angin dan waktu gunung api mengalami erupsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Hakim, A. R. (2017). Analisis Energi Gempa Letusan Gunung Semeru 09 Oktober 2009. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 7(1), 30–35.
- Hedelt, P., Efremenko, D. S., Loyola, D. G., Spurr, R., & Clarisse, L. (2019). Sulfur dioxide layer height retrieval from Sentinel-5 Precursor/TROPOMI using FP_ILM. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(10).
- <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-eo-missions/sentinel-5p> diakses pada tanggal 20 Desember 2022
- KNMI and SRON, Sentinel 5 precursor/TROPOMI KNMI and SRON level 2 Input Output Data Definition, 2019.
- <https://s5phub.copernicus.eu/dhus/#/home> diakses pada tanggal 20 Desember 2022.
- https://volcano.si.edu/database/search_eruption_results.cfm diakses pada tanggal 20 Desember 2022.
- Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia Agustus 2020, Volume 02, No 02e-ISSN 2657-0378 Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia © 2019 | ISSN: -| e-ISSN : 2657-0378 Diterbitkan oleh Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN) 39 dari 39
- Kurniawan, A. (2014). Pengaruh letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 terhadap pengukuran deposisiasam di SPAG Bukit Kototabang. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 5(1), 19-38.
- Kurniawan, A. (2017). Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO₂, SO₂, O₃ Dan PM₁₀) Di Bukit Kototabang Berbasis ISPU. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 1-13.
- Largueche, F. Z. B. (2006). Estimating soil contamination with Kriging interpolation method. *American Journal of Applied Sciences*, 3(6), 1894-1898.
- Pratomo, I. (2006). Klasifikasi gunung api aktif Indonesia, studi kasus dari beberapa letusan gunung api dalam sejarah. *Indonesian Journal on Geoscience*, 1(4), 209-227.
- Roberts, T., Dayma, G., & Oppenheimer, C. (2019). Reaction rates control high-temperature chemistry of volcanic gases in air. *Frontiers in Earth Science*, 7(July), 1–17. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00154>
- Sihotang, E., Artaningh, F., Anggraini, T. S., Sakti, A. D., & Agustan. (2020). Pemantauan konsentrasi gas SO₂ di sekitar Gunung Sinabung menggunakan citra satelit Sentinel-5 Precursor. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 02(02), 32–39.
- Theys, N., Smedt, I. D., Yu, H., Danckaert, T., Gent, J. V., Hörmann, C., ... & Pedernana, M. (2017). Sulfur dioxide retrievals from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor: algorithm theoretical basis. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(1).
- Umam, M. F., Alhidayah, Y., & Fauziyah, R. (2019). Analisis Material Endapan Vulkan Gunung Semeru Kabupaten Lumajang. *Majalah Pembelajaran Geografi*, 2(1), 92–98.