

## Pemantauan Konsentrasi Gas SO<sub>2</sub> di Sekitar Gunung Sinabung Menggunakan Citra Satelit Sentinel-5 Precursor

Elstri Sihotang<sup>a</sup>, Febzi Artaningh<sup>a</sup>, Tania Septi Anggraini<sup>a</sup>, Anjar Dimara Sakti<sup>a</sup>, Agustan<sup>b</sup>.

<sup>a</sup>Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No 10, Kota Bandung, Indonesia, 40132

<sup>b</sup>PTPSW, BPPT, Jl. M.H. Thamrin No. 8 Jakarta, Indonesia, 10340

\* Korespondensi Penulis, E-mail: [Elstri@students.itb.ac.id](mailto:Elstri@students.itb.ac.id)



*Dikirim: 27 Jun 2020;*

*Diterima: 18 Agustus 2020;*

*Diterbitkan: 19 Agustus 2020*

**Abstrak.** Gunung Sinabung adalah gunung tipe A yang sampai saat ini masih aktif. Gunung Sinabung terletak di salah satu kabupaten di Provinsi Sumatra Utara, yaitu Kabupaten Karo. Erupsi Gunung Sinabung tidak hanya berdampak pada suatu wilayah saja, akan tetapi juga pada wilayah yang ada di sekitar gunung tersebut. Salah satu zat yang disemburkan oleh gunungapi pada saat erupsi adalah gas SO<sub>2</sub>. Gas SO<sub>2</sub> merupakan parameter penting untuk menentukan kualitas udara. Gas SO<sub>2</sub> yang terdapat pada atmosfer melalui proses natural dan proses antropogenik. Data gas SO<sub>2</sub> didapatkan dengan memanfaatkan hasil rekaman Sentinel-5P. Data Sentinel-5P diolah dan dianalisis untuk dapat mengetahui konsentrasi gas SO<sub>2</sub> di wilayah sekitar Gunung Sinabung dan juga perubahan konsentrasi gas SO<sub>2</sub> di beberapa daerah yang dijadikan sampel. Secara umum konsentrasi gas SO<sub>2</sub> tertinggi berada pada kawah Gunung Sinabung, akan tetapi pada tanggal 22 Juli 2019 konsentrasi gas SO<sub>2</sub> pada Kabupaten Deli Serdang lebih tinggi sekitar 75% dari konsentrasi gas SO<sub>2</sub> di daerah kawah. Penelitian ini juga dapat menunjukkan bahwa data Sentinel-5P dapat digunakan untuk memantau gas di atmosfer.

**Kata kunci:** erupsi; gas SO<sub>2</sub>; Gunung Sinabung; kualitas udara; Sentinel5-P.

---

### Monitoring of SO<sub>2</sub> Gas Concentration Around Mount Sinabung Using Sentinel-5 Precursor Satellite Imagery

**Abstract.** Mount Sinabung is a mountain type A that is still active. Mount Sinabung is located in North Sumatra Province, Karo Regency. Mount Sinabung eruption does affect not only the region but also the area around the mountain. One of the substances that were sprayed by the volcano during the outbreak was SO<sub>2</sub> gas. SO<sub>2</sub> gas is an essential parameter for determining air quality. SO<sub>2</sub> gas is in the atmosphere through a natural process and anthropogenic process. The data of SO<sub>2</sub> gas was obtained by utilizing the Sentinel-5P record results. Data Sentinel-5P was processed and analyzed to be able to determine the SO<sub>2</sub> gas concentration in the area surrounding Mount Sinabung and also changes in the SO<sub>2</sub> gas concentrations in several areas. In general, the highest SO<sub>2</sub> gas concentration was at the crater of Mount Sinabung. However, on 22 July 2019, the SO<sub>2</sub> gas concentrations in Deli Serdang Regency were higher, around 75% of SO<sub>2</sub> gas concentrations in the crater area. This research may also indicate that Sentinel-5P data can be used to monitor gas in the atmosphere.

**Keywords:** air quality; eruption; Mount Sinabung; Sentinel-5P; SO<sub>2</sub>.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang dilalui oleh dua sirkum muda, yaitu Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediterania. Indonesia dikenal sebagai negara vulkanik, dimana sebanyak 30% gunungapi di dunia ada di Indonesia. Salah satu gunung api di Indonesia adalah Gunung Sinabung. Gunung Sinabung adalah salah satu gunung di Provinsi Sumatra Utara yang sampai saat ini masih aktif. Gunung Sinabung berada di ketinggian 2460 di atas permukaan laut (dpl) dan berada pada letak geografis  $3^{\circ}10'25''$  LU dan  $98^{\circ}23'31''$  BT. Berdasarkan letak geografis tersebut, Gunung sinabung berada di Kabupaten Karo, Provinsi Sumatra Utara. Berdasarkan catatan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, gunung api aktif di Indonesia terbagi dalam tiga kelompok berdasarkan sejarah letusannya, yaitu tipe A (79 buah), adalah gunung api yang pernah meletus sejak tahun 1600, tipe B (29 buah) adalah yang diketahui pernah meletus sebelum tahun 1600 dan tipe C (21 buah) adalah lapangan solfatar dan fumarola [1]. Gunung Sinabung termasuk gunungapi tipe A. Semula gunung ini masuk dalam klasifikasi gunungapi tipe B, yang tercatat tidak pernah meletus selama 1600 tahun, akan tetapi gunungapi ini kembali meletus padaa gustus 2010, terjadinya letusan ini memberikan klasifikasi baru terhadap Gunung Sinabung menjadi gunung api tipe A [2]. Letusan terakhir gunung ini terjadi pada Februari, 2018 dan hingga kini Gunung Sinabung masih aktif.

Letusan gunung ini menyemburkan abu vulkanik yang mengandung beberapa zat, salah satu kandungannya adalah gas  $SO_2$  (*sulfur dioxide*). Gas  $SO_2$  merupakan salah satu gas yang menjadi parameter penting untuk menganalisis kualitas udara [3].  $SO_2$  masuk ke atmosfer bumi melalui proses natural dan antropogenik. Gas tersebut akan bereaksi dalam sebuah reaksi kimia secara lokal dan global dengan rentang dampaknya dari polusi jangka pendek sampai berefek pada iklim. Hanya sebesar 30% dari emisi  $SO_2$  datang dari sumber yang natural, sebagian besar adalah dari antropogenik. Sekitar sepertiga dari emisi  $SO_2$  global berasal dari sumber alam (gunung berapi dan biogenik dimetil sulfida), kontributor utama untuk total anggaran adalah dari emisi antropogenik terutama dari pembakaran bahan bakar fosil (batubara dan minyak) dan dari peleburan. Jika konsentrasi gas  $SO_2$  pada udara sudah melebihi  $100 \mu g/m^3$  dapat menyebabkan gangguan pada kesehatan makluk hidup diantaranya luka pada beberapa spesies tumbuhan, menimbulkan bau, meningkatkan kerusakan tanaman dan juga meningkatkan sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan *bronchitis*[4]. Gas  $SO_2$  memiliki efek terhadap iklim melalui kekuatan radiasi melalui formasi dari sulfat aerosol. Emisi gas  $SO_2$  dari gunung berapi dapat juga

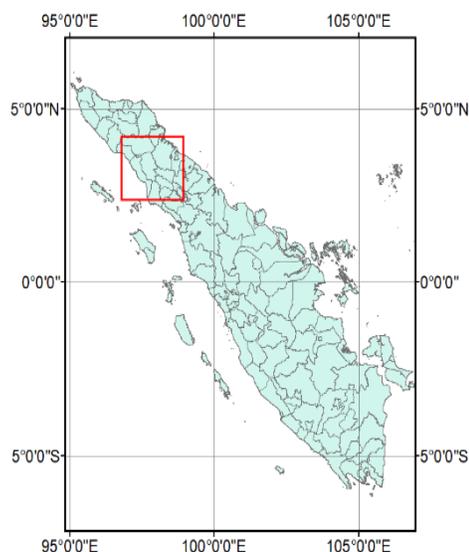
menimbulkan ancaman bagi penerbangan, yaitu dengan adanya abu vulkanik.

Dengan memanfaatkan aplikasi penginderaan jauh, yaitu dengan menggunakan data satelit Sentinel 5 Precursor dengan memanfaatkan *TROPOspheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) dapat dilakukan pemantauan konsentrasi gas  $SO_2$  pada suatu wilayah[5]. TROPOMI di atas platform Copernicus Sentinel-5 precursor (Sentinel-5P) akan mengukur sinar ultraviolet bumi yang bersinar pada spektral tinggi dan resolusi spasial yang ditingkatkan (ukuran piksel  $7 km \times 3,5 km$  di Nadir) dibandingkan dengan pendahulunya OMI dan GOME-2 [6]. Sentinel-5P adalah satelit yang diluncurkan pada tanggal 13 oktober 2017 oleh *European Space Agency* (ESA) untuk memonitoring polusi udara, meliputi pengamatan pada gas  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , HCHO, CO,  $CH_4$ . Dataset dari satelit sentinel-5P, kecuali untuk pengamatan  $CH_4$  memiliki dua versi, yaitu *Near Real -Time* (NRTI) dan *offline* (OFFL) [7].

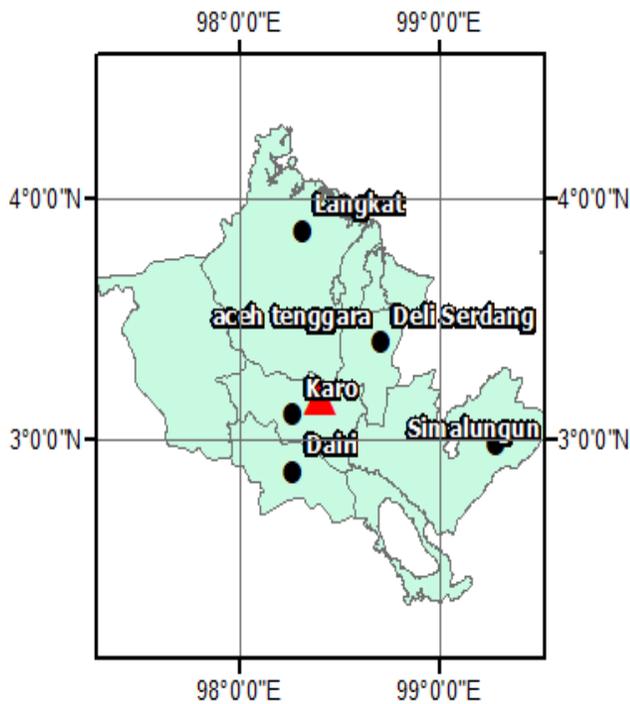
## II. METODOLOGI

### 2.1 Area Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Karo dan enam wilayah yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Karo, yaitu Kabupaten Dairi, Kabupaten Simalungun, Kabupaten Deli Serdang, Kabupaten Langkat, Kabupaten Aceh Tenggara, Kota Medan, Kota Binjai, Kota Pematang Siantar dan Danau Toba. Lokasi tersebut berada di Provinsi Sumtra Utara yang secara geografis terletak pada  $1^{\circ} - 4^{\circ}$  LU dan  $98^{\circ} - 100^{\circ}$  BT. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1.a** dan **1.b**.



Gambar 1.a Lokasi Penelitian



Gambar 1.b. Lokasi Penelitian

## 2.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit sentinel-5P level 2 dengan tipe produk L2\_SO2. Data ini didapatkan dari website ESA. Jenis data yang digunakan adalah data OFFL (*offline*), karena data yang digunakan untuk penelitian kali ini adalah data yang direkam pada Juli 2019. Data NRTI hanya tersedia selama sebulan setelah pengambilan data, dan area cakupannya lebih kecil, sedangkan data OFFL tersedia ketika data di unduh dari website ESA lebih dari sebulan dan area cakupannya lebih luas. Data ini diambil sekitar pukul 06.00 UTC atau 13.00 WIB. Data yang digunakan pada penelitian sebanyak 20 data, yaitu pada tanggal 2, 3, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, dan 31 Juli. Berdasarkan data dari [8], resolusi spasial pada Sentinel-5P L2 adalah 7x3,5 km dan keunggulan L2 dibandingkan L1B adalah kemampuan *geolocation* dan *irradiance*, artinya pembacaan data akan mencakup objek dinamik dan statik. Produk yang dihasilkan sentinel-5P L2 adalah pada Error! Reference source not found..

Tabel 1 Produk Sentinel-5P L-2, dimodifikasi dari [7]

<i>Product type</i>	<i>Parameter</i>
L2_O3	<i>Ozone (O<sub>3</sub>) total column</i>
L2_O3_TCL	<i>Ozone (O<sub>3</sub>) tropospheric column</i>
L2_O3_PR	<i>Ozone (O<sub>3</sub>) profile</i>
L2_O3_TPR	<i>Ozone (O<sub>3</sub>) tropospheric profile</i>
L2_NO2_	<i>Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), total and tropospheric columns</i>
L2_SO2_	<i>Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) total column</i>
L2_CO_	<i>Carbon Monoxide (CO) total column</i>
L2_CH4_	<i>Methane (CH<sub>4</sub>) total column</i>
L2_HCHO_	<i>Formaldehyde (HCHO) total column</i>
L2_CLOUD	<i>Cloud fraction, albedo, top pressure</i>
L2_AER_AI	<i>UV Aerosol Index</i>
L2_AER_LH	<i>Aerosol Layer Height (mid-level pressure)</i>
UV product <sup>1</sup>	<i>Surface Irradiance/erythemal dose</i>
L2_NP_BD <sub>x</sub> , x=3, 6, 7 <sup>2</sup>	<i>Suomi-NPP VIIRS Clouds</i>

## 2.3 Metode Penelitian

Proses pengambilan data SO<sub>2</sub> dari data citra satelit adalah sebagai berikut [7]

- Pengambilan data *Slant Column Density* dari level 2 *spectral radiance* dan *irradiance* dengan metode DOAS (*Differential Optical Absorption Spectroscopy*). DOAS adalah salah satu metode untuk menentukan konsentrasi suatu zat.
- Pemisahan *slant column density* pada lapisan stratosfer dan troposfer.

- c) Konversi *slant column density* pada lapisan troposfer menjadi *vertical column density*. Data perlu dikonversi karena *Slant column density* tidak mengandung konsentrasi total tepat di atas *foot point*, sedangkan pada *vertical column density* mengandung konsentrasi total tepat di atas *foot point*.

$$VCD = \frac{SCD}{AMF} \quad (1)$$

Keterangan :

VCD : *Vertical Column Density*

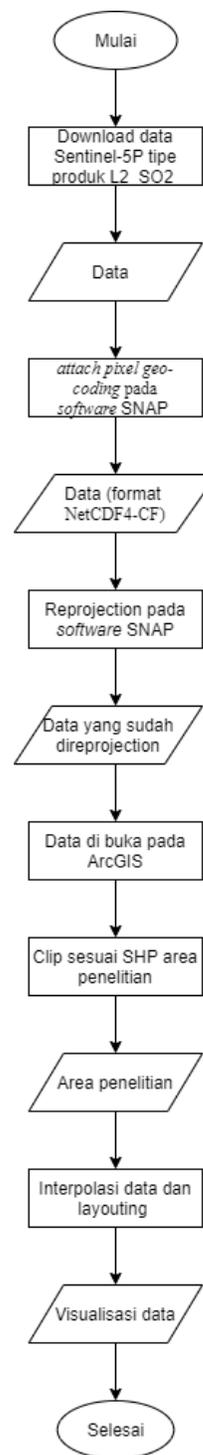
SCD : *Slant Column Density*

AMF : *Air Mass Factor*

Citra satelit yang telah diunduh pada *website* ESA dibuka melalui *software* SNAP, lalu lakukan *attach pixel geocoding* untuk mengeluarkan koordinat geodetic pada citra. Selanjutnya, citra di *export* dalam format NetCDF4-CF. Setelah itu, buka *file* NetCDF4-CF dan lakukan *reprojection*. Data yang telah di-*reprojection*, dibuka kembali dengan menggunakan *software* ArcGIS. Pada *software* ArcGIS, data di-*clip* berdasarkan area penelitian dengan menggunakan data shp Indonesia. Dalam proses visualisasi data SO<sub>2</sub>, perlu dilakukan interpolasi. Interpolasi adalah suatu metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang diketahui. Metode interpolasi yang digunakan pada penelitian ini adalah interpolasi *kriging*. Metode *Kriging* adalah suatu metode yang dapat diimplementasikan apabila dalam kasus tersebut terdapat korelasi spasial antara titik sampling yang diamati [9]. Secara umum metode *kriging* dapat digunakan untuk menganalisis suatu data yang diambil dari lokasi atau titik-titik yang tidak beraturan[10]. Pada penelitian ini dilakukan interpolasi untuk proses *smoothing* data dan untuk memperindah visualisasi.

Untuk melihat perubahan konsentrasi gas SO<sub>2</sub> pada beberapa daerah, dilakukan proses pengambilan titik sampel yang tetap dari setiap lokasi, dengan cara menginput data koordinat titik tersebut ke dalam *software* yang digunakan. Data dari titik ini nantinya akan divisualisasikan dengan grafik.

Secara singkat, metode penelitian ini dapat dilihat pada **Gamb 2** di samping.

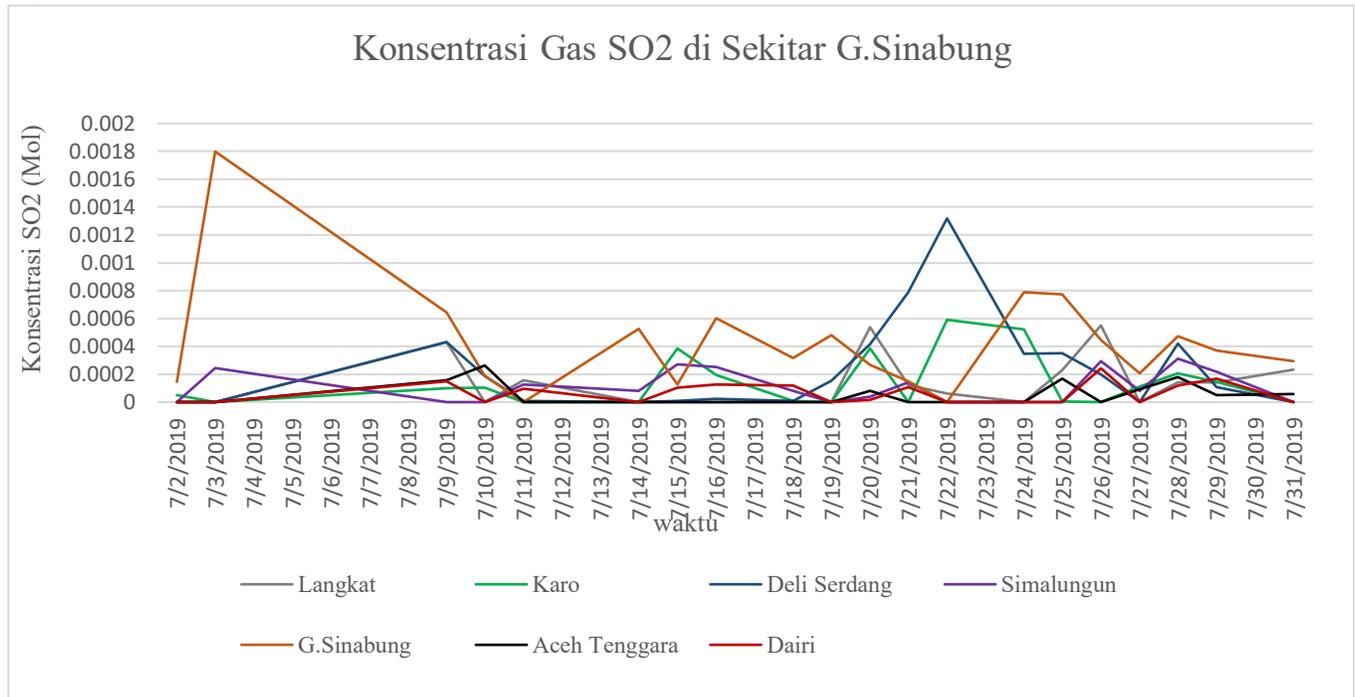


Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

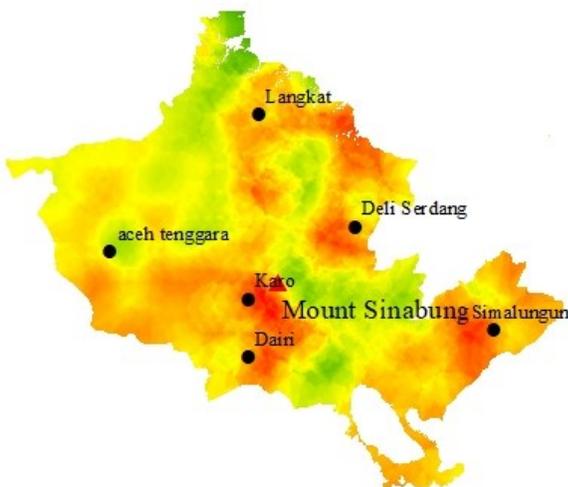
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses pengolahan data yang dilakukan, ada beberapa citra satelit Sentinel-5P yang *corrupt*, sehingga tidak dapat diolah pada *software* yang digunakan. Sehingga, pada penelitian ini hanya menggunakan data 20 hari saja. Resolusi temporal dari sentinel-P adalah satu hari.

Hasil yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah visualisasi konsentrasi gas SO<sub>2</sub> di daerah sekitar Gunung Sinabung yang meliputi lima kabupaten, tiga kotamadya dan Danau Toba. Grafik konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dapat dilihat pada **gambar 3**.



Gambar 3. Grafik Konsentrasi Gas SO<sub>2</sub>



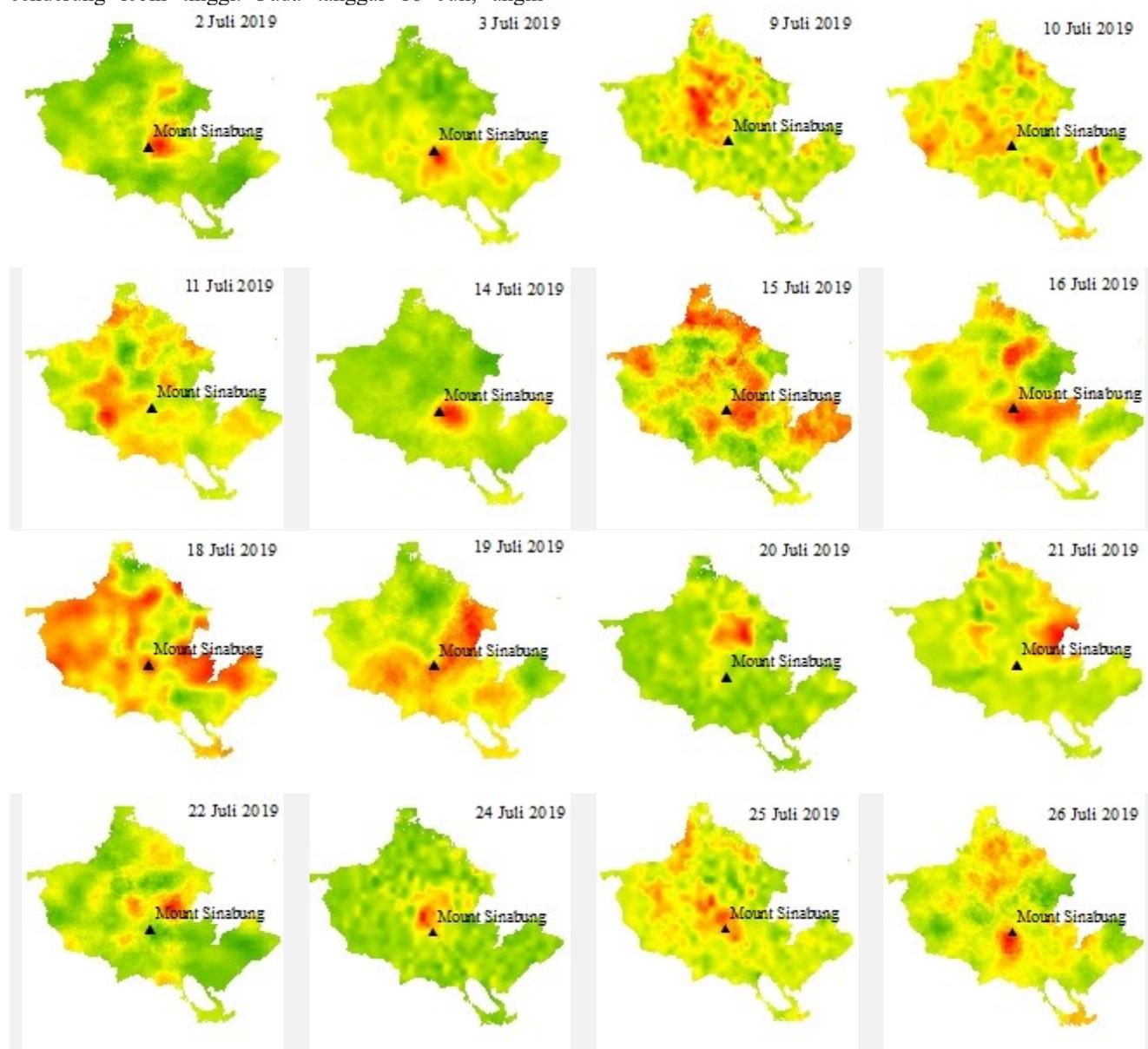
Gambar 4 Persebaran titik sampel

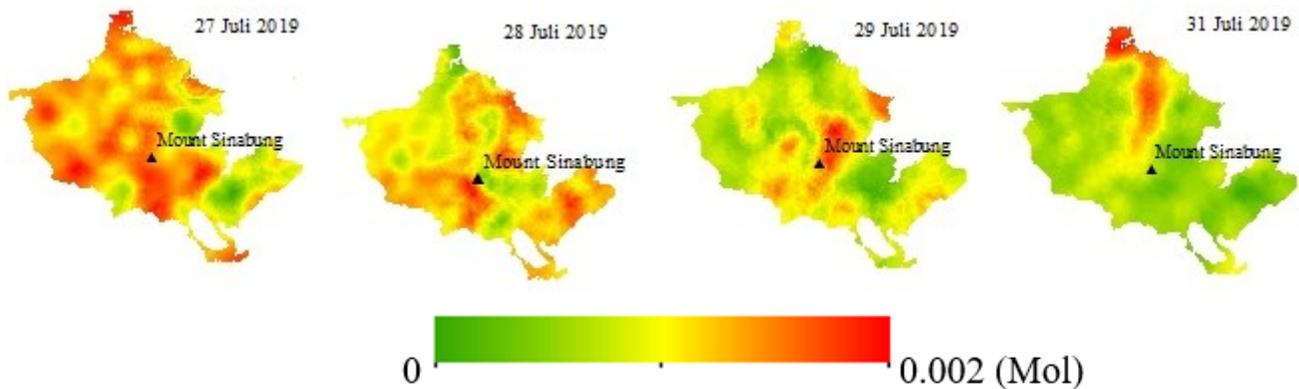
**Gambar 3** merupakan grafik konsentrasi Gas SO<sub>2</sub> selama Bulan Juli pada daerah disekitar Gunung Sinabung. **Gambar 4** merupakan persebaran titik sampel yang diamati. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi harian gas SO<sub>2</sub> paling tinggi adalah di kawasan Gunung Sinabung, titik sampel yang diambil berada pada kawah Gunung Sinabung. Pada tanggal 22 Juli 2019 di Kabupaten Deli Serdang konsentrasi gas SO<sub>2</sub> lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya bahkan di kawah gunung kadar gas SO<sub>2</sub> mendekati nol. Perbedaan konsentrasi gas SO<sub>2</sub> di Kabupaten Deli Serdang sekitar 75% dari konsentrasi gas SO<sub>2</sub> pada daerah kawah gunung. Hal ini karena proses perekaman data melalui sentinel-5P adalah pukul 13.00 WIB dan gas SO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari erupsi Gunung Sinaung pada hari itu sudah terbawa oleh hembusan angin. Berdasarkan data dari *Smithsonian volcano*, pada minggu ke empat terdeteksi adanya guguran lahar pada Gunung Sinabung dan angin berhembus dari arah barat daya [11,12]. Konsentrasi gas SO<sub>2</sub> pada

Kabupaten Dairi cenderung lebih rendah dari daerah lainnya. Jika ditinjau dari arah angin, pada Juli 2019 arah hembusan angin tidak pernah dari arah Kabupaten Karo menuju Kabupaten Dairi.

Dari **Gambar 5** dapat dilihat dari visualisasi terdapat pada tanggal tertentu perbedaan konsentrasi gas SO<sub>2</sub> suatu daerah signifikan dengan daerah yang lain. Berdasarkan data dari *website* OGIMET, pada tanggal 15 Juli angin berhembus dari arah barat daya dengan kecepatan 11.4 km/jam. Dari visualisasi dapat dilihat bahwa konsentrasi gas SO<sub>2</sub> yang berada di daerah timur dan tenggara cenderung lebih tinggi. Pada tanggal 16 Juli, angin

berhembus dari tenggara dengan kecepatan 6,9 km/jam. Dari hasil visualisasi dapat dilihat bahwa di seluruh daerah konsentrasi SO<sub>2</sub> cenderung lebih tinggi kecuali di daerah bagian tenggara. Kondisi seperti ini terulang juga pada tanggal 27 Juli 2019.





Gambar 5. Visualisasi Konsentrasi Gas SO<sub>2</sub>

#### IV. KESIMPULAN

Dengan memanfaatkan data citra satelit Sentinel-5P monitoring konsentrasi gas SO<sub>2</sub> hasil erupsi Gunung Sinabung dapat dilakukan. Dari penelitian yang dilakukan dapat dilihat perubahan konsentrasi gas SO<sub>2</sub> pada titik sampel tetap yang ada pada daerah sekitar Gunung Sinabung. Konsentrasi gas SO<sub>2</sub> yang paling tinggi berada di titik kawah Gunung Sinabung, kecuali pada tanggal 22 Juli 2019, konsentrasi gas SO<sub>2</sub> di Kabupaten Deli Serdang lebih tinggi sekitar 75% lebih tinggi dari titik pada kawah gunung. Persebaran konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya waktu pengambilan data, arah hembusan angin dan waktu gunungapi mengalami erupsi. Pada tanggal 11 Juli dan 22 Juli terlihat bahwa konsentrasi gas SO<sub>2</sub> di titik kawah gunung bernilai nol, hal ini disebabkan oleh hembusan angin, dan juga waktu pengambilan data.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa karunia Nya penulis dapat menyelesaikan jurnal ini. Selain itu, Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada ITB dan BPPT yang telah memfasilitasi kegiatan ini. Seluruh penulis dari artikel ini berkontribusi setara dan masing-masing sebagai kontributor utama.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Kurniawan, A. (2014). Pengaruh letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 terhadap pengukuran deposisi asam di SPAG Bukit Kototabang. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 5(1), 19-38.
- [3] 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).
- [4] Kurniawan, A. (2017). Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> Dan PM<sub>10</sub>) Di Bukit Kototabang Berbasis ISPU. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 1-13.
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-co-missions/sentinel-5p> diakses pada tanggal 3 Juni 2020
- [8] KNMI and SRON, Sentinel 5 precursor/TROPOMI KNMI and SRON level 2 Input Output Data Definition, 2019.
- [9] Lagueche, F. Z. B. (2006). Estimating soil contamination with Kriging interpolation method. *American Journal of Applied Sciences*, 3(6), 1894-1898.

- [10] repository.upi.edu/4122/6/S\_MTK\_0700249\_Chapter3.pdf diakses pada tanggal 16 Juni 2020
- [11] [https://volcano.si.edu/database/search\\_eruption\\_results.cfm](https://volcano.si.edu/database/search_eruption_results.cfm) diakses pada tanggal 21 Juni 2020.
- [12] <https://www.ogimet.com/gsynres.phtml> diakses pada tanggal 21 Juni 2020