

# PENGUKURAN PARAMETER KUALITAS UDARA (SO<sub>2</sub>) DI KABUPATEN SLEMAN DAN BOYOLALI BERBASIS ISPU (STUDI KASUS ERUPSI GUNUNG MERAPI TANGGAL 3 MARET 2020)

Muhammad Iqbal Aryuda Nugroho<sup>1)\*</sup>, Atira Indiani Pangastuti<sup>2)</sup>, Muhammad Fauzul Akbar<sup>3)</sup>, Daffa'  
Haidar Nasik<sup>4)</sup>, Agung Hari Saputra<sup>5)</sup>

<sup>1), 2), 3), 4), 5)</sup> Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

\*E-mail: iqbalaryuda@gmail.com

## ABSTRACT

*Mount Merapi erupted with volcanic ash reaching 6000m above the summit on 3 March 2020. The distribution of volcanic ash, especially from Mount Merapi, can cause various damages ranging from disrupting air traffic to killing vegetation and harming human health. This study aims to determine the distribution of volcanic ash (SO<sub>2</sub>), the concentration of SO<sub>2</sub> before and after the eruption, and how it relates to the value of the Standard Index of Air Pollution (ISPU). The method used in this study is the Two Bands Split Windows (TBWS) method. This is a method that uses the technique of using two channels on the infrared channel of the Himawari-8 satellite imagery, namely the IR (10.8 μm) and I2 (12.0 μm) channels, to calculate the Brightness Temperature Difference (BTD) value. This study also uses a quantitative method by measuring the Standard Index of Pollution (ISPU) by converting units to micrograms/metre<sup>3</sup>. This study also compares spatial data between Himawari-8 data and VAAC Darwin. The distribution of SO<sub>2</sub> is then validated with ISPU values. The results show that the direction of distribution of volcanic ash from the eruption of Mount Merapi is dominant towards Sleman and Boyolali Regencies, with the ISPU value reaching the highest value of 291 in Boyolali District and Sleman District reaching a value of 209. The scale is in the very unhealthy category, so it can increase the health risks in the number of exposed populations groups.*

**Keywords:** Eruption, SO<sub>2</sub>, Two Bands Split Windows, ISPU

## ABSTRAK

Pada tanggal 03 Maret 2020 telah terjadi erupsi Gunung Merapi dengan ketinggian abu vulkanik 6000 m di atas puncak gunung. Sebaran abu vulkanik gunung berapi terutama Gunung Merapi dapat menyebabkan berbagai kerugian, mulai dari terganggunya arus lalu lintas udara, tanaman mati, hingga terjadinya gangguan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran abu vulkanik (SO<sub>2</sub>), perbandingan konsentrasi SO<sub>2</sub> sebelum dan sesudah erupsi, serta hubungannya dengan nilai Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Penelitian ini menggunakan metode *Two Bands Split Windows* (TBWS). Metode ini merupakan metode yang menggunakan teknik pemanfaatan dua kanal pada saluran inframerah dari citra satelit Himawari-8 yaitu saluran IR (10,8 μm) dan I2 (12,0 μm) untuk menghitung nilai *Brightness Temperature Difference* (BTD). Penelitian ini juga menggunakan metode kuantitatif yaitu pada pengukuran Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) dengan mengkonversi satuan ke mikrogram/meter<sup>3</sup>. Tidak hanya itu juga, penelitian ini juga mengomparatif data spasial antara data Himawari-8 dengan VAAC Darwin yang selanjutnya divalidasi persebaran SO<sub>2</sub> dengan nilai ISPU. Hasil menunjukkan bahwa arah persebaran abu vulkanik erupsi Gunung Merapi dominan ke arah Kabupaten Sleman dan Boyolali dengan nilai ISPU tertinggi mencapai nilai 291 di Kabupaten Boyolali dan di Kabupaten Sleman mencapai nilai 209. Skala tersebut termasuk ke dalam kategori sangat tidak sehat sehingga dapat meningkatkan risiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.

**Kata kunci:** Erupsi, SO<sub>2</sub>, *Two Bands Split Windows*, ISPU

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan gunung api aktif terbanyak di dunia. Banyaknya gunung api ini adalah bagian dari rangkaian pegunungan api aktif yang biasa

dikenal dengan *ring of fire* (Rijanta dkk., 2014). Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik sehingga banyak gunung berapi aktif di Indonesia (Hafida, 2019). Pulau Jawa merupakan pulau dengan jumlah gunung berapi paling banyak, sekitar 35 gunung berapi.

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung yang masih aktif di Pulau Jawa (Hafida, 2019). Gunung Merapi secara geografis terletak pada koordinat 7°32'30" Lintang Selatan dan 110°26'30" Bujur Timur yang dibatasi oleh dua provinsi yaitu Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah, dikelilingi oleh wilayah Klaten, Magelang, Boyolali, Sleman, dan Yogyakarta. Gunung Merapi terletak di zona subduksi, yaitu lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Eurasia yang mengontrol vulkanisme beberapa pulau di Indonesia (Adri et al., 2020). Gunung Merapi merupakan salah satu gunung dengan tipe stratovolcano (Febriati & Muzaki, 2022). Ketinggian gunung Merapi mencapai 2980 meter dari permukaan laut (Susilo & Rudiarto, 2014).

## KAJIAN PUSTAKA

### 1. Profil Gunung Merapi

Pada Tanggal 26 Oktober 2010 Gunung Merapi mengalami erupsi dan berlanjut hingga awal November 2010. Erupsi tersebut merupakan bencana terbesar dibandingkan lima erupsi sebelumnya pada tahun 1994, 1997, 1998, 2001, dan 2006. Hasil dari BNPB tahun 2010 dilaporkan bahwa erupsi tersebut mengakibatkan 347 orang meninggal dan 258 orang luka-luka. Selain itu, erupsi Gunung Merapi juga mengakibatkan kerugian pada beberapa sektor seperti sektor permukiman, infrastruktur, telekomunikasi, listrik, energi, dan sektor air bersih (Susilo & Rudiarto, 2014).

Material yang dikeluarkan pada letusan gunung berapi biasanya berupa asap tebal dan abu vulkanik, yang biasa terkandung SO<sub>2</sub>, belerang, partikel debu atau aerosol dan sebagainya (Kurniawan, 2018). Parameter gas SO<sub>2</sub> (Sulfur dioksida) diamati pada pengukuran ini karena gas SO<sub>2</sub> sebagai salah satu parameter deposisi asam, yang menyebabkan kerusakan pada lingkungan (Kurniawan, 2018). Gas SO<sub>2</sub> sulit dideteksi karena merupakan gas tidak berwarna. Gas SO<sub>2</sub> dapat menyebabkan gangguan pernafasan, pencemaran, sakit kepala, sakit dada, dan dapat menyerang saraf

manusia. Pada kadar yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan kematian. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian persebaran dengan menggunakan penginderaan jarak jauh. Satelit Himawari-8 dapat digunakan untuk pemantauan sebaran abu vulkanik dengan menerapkan prinsip analisis penginderaan jauh (Trinah Wati, 2017).

### 2. Baku Mutu Udara dan ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara)

Kualitas udara biasanya diukur dari konsentrasi parameter pencemaran udara yang terukur sesuai dengan acuan nilai baku mutu udara ambien nasional. Ukuran batas atau kadar unsur pencemaran udara yang dapat ditenggang keberadaannya dalam udara ambien disebut baku mutu udara ambien. Pada tahun 2020, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara yang merupakan pengganti Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara. Pada peraturan pengganti ini, tercantum penambahan 2 (dua) parameter yakni HC dan PM<sub>2.5</sub> dan peningkatan frekuensi penyampaian informasi ISPU kepada publik yaitu paling sedikit 2 (dua) kali dalam 1 (satu) hari pada pukul 09.00 dan 15.00. Tabel konversi nilai konsentrasi parameter ISPU (SO<sub>2</sub>) sesuai dengan lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI Nomor Nomor P.14/ MENLHK/ SETJEN/ KUM.1/ 7/ 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

**Tabel 1.2** Tabel Konversi Nilai Konsentrasi (SO<sub>2</sub>)

ISPU	24 Jam SO <sub>2</sub> (µm/m <sup>3</sup> )
0 - 50	52
51 - 100	180
101 - 200	400
201 - 300	800
>300	1200

## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental, komparatif, dan metode kuantitatif.

### 1. *Two Bands Split Windows (TBSW)*

Metode eksperimental menggunakan data satelit Himawari-8 yang disediakan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dengan menggunakan band 13 dan band 15. Data himawari kemudian di olah menggunakan metode *Two Bands Split Windows (TBSW)*, teknik ini memanfaatkan dua kanal pada saluran inframerah dari citra satelit Himawari-8 yaitu saluran IR (10,8  $\mu\text{m}$ ) dan I2 (12,0  $\mu\text{m}$ ) untuk melakukan perhitungan nilai *Brightness Temperature Difference (BTD)* (Nugroho, 2019). Data mentah tersebut diolah menggunakan *software* ArcGis untuk menampilkan sebaran abu vulkanik letusan Gunung Merapi.

### 2. **Komparasi Data Spasial Himawari-8 dan VAAC Darwin**

Selain itu, digunakan komparasi data spasial dengan menggunakan data data advisory VAAC Darwin. Metode komparatif data spasial ini bertujuan untuk meverifikasi data spasial Himawari-8 dan advisory VAAC Darwin. VAAC Darwin adalah salah satu dari sembilan Pusat Penasihat Abu Vulkanik di seluruh dunia yang beroperasi di bawah *International Airways Volcano Watch* dan bertanggung jawab atas area yang mencakup wilayah aktif vulkanik di Indonesia, Papua Nugini, dan Filipina Selatan. Verifikasi bertujuan agar hasil dari pengolahan menunjukkan keakuratan yang tinggi serta bisa diolah lebih lanjut dengan menggunakan metode lain. Setelah data spasial menunjukkan hasil berupa sebaran abu vulkanik, selanjutnya dilakukan penentuan daerah terdampak serta perhitungan konsentrasi  $\text{SO}_2$ .

### 3. **Konversi satuan**

Pengukuran parameter kualitas udara ( $\text{SO}_2$ ) pada erupsi Gunung Merapi menggunakan metode kuantitatif. Pada metode

kuantitatif, data konsentrasi  $\text{SO}_2$  diambil dari *Google Earth Engine (GEE)* yang kemudian diolah dan disamakan satuannya sesuai Satuan Internasional ( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ).

Zat pencemar seperti  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ , dan  $\text{SO}_2$  menyebar di lapisan bawah (troposfer) kurang dari ketinggian 10 km (H), dan konsentrasinya (C) sama pada setiap ketinggian untuk perhitungan yang lebih sederhana. Sehingga satuan dalam ( $\text{mol}/\text{m}^2$ ) harus dikonversi menjadi ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) untuk dilakukan perbandingan dengan standar ambang batas nasional (Savenets, 2021). Oleh karena itu, kandungan konsentrasi nilai zat pencemar dalam ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) sebagai berikut :

$$C = \frac{C_{col}}{H} M \cdot A \text{ (Anonim, 2020)}$$

$C_{col}$  = kandungan pencemar pada kolom ( $\text{mol}/\text{m}^2$ ), M = Massa molar ( $\text{g}/\text{mol}$ ), A = Konstanta, sama dengan 1000, untuk konversi ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) ke ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), dan H = dinyatakan dalam (m).

Kemudian didapatkan nilai  $\text{SO}_2$  dalam  $\text{mg}/\text{m}^3$  yang nantinya diolah kembali agar nilai tersebut dalam satuan  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  sesuai dengan satuan ISPU. yang ditunjukkan pada Gambar 3, memperlihatkan bahwa wilayah Amurang, Minahasa Selatan merupakan wilayah dengan komposisi batuan dengan simbol Qtv yang sangat berdekatan dengan simbol Qs. Qtv merupakan batuan gunung api muda yang diduga sebagai Tufa Tondano yang berasal dari letusan pada waktu pembentukan Kaldera Tondano. Sedangkan simbol Qs pada peta dijelaskan sebagai endapan danau dan sungai.

### 4. **Perhitungan ISPU**

ISPU merupakan angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara di suatu wilayah tertentu. ISPU didasarkan pada dampak yang ditimbulkan terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Meskipun nilai ISPU lebih tepat digunakan untuk daerah urban, pada prinsipnya nilai ini dapat diterapkan ke semua tipe wilayah.

Perhitungan ISPU dilakukan berdasarkan nilai ISPU batas atas, ISPU batas bawah, ambien batas atas, ambien batas bawah, dan konsentrasi ambien hasil pengukuran. Persamaan matematika perhitungan ISPU sebagai berikut (Kurniawan, 2018) :

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

$I$  = ISPU terhitung,  $I_a$  = ISPU batas atas,  $I_b$  = ISPU batas bawah,  $X_a$  = Konsentrasi ambien batas atas ( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ),  $X_b$  = Konsentrasi ambien batas bawah ( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ),  $X_x$  = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Sebaran Abu Vulkanik Berdasarkan Data Himawari-8

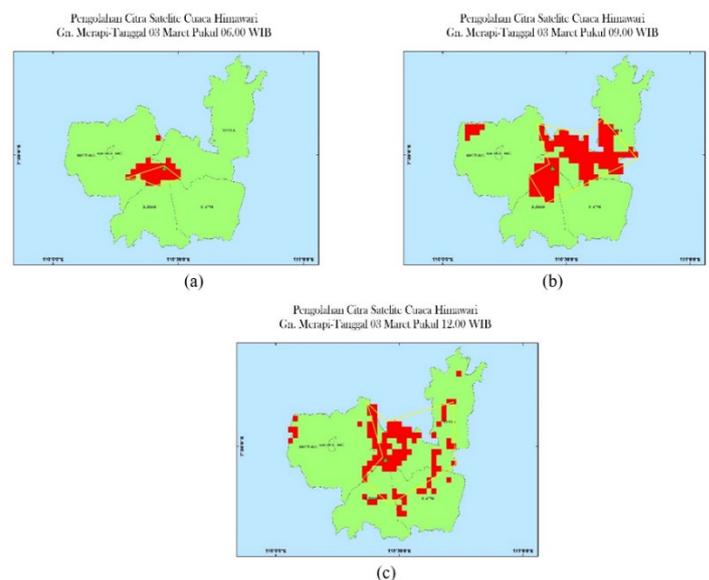
Dalam mengidentifikasi persebaran abu vulkanik ( $\text{SO}_2$ ) pada studi kasus Gunung Merapi tanggal 03 Maret 2020 menggunakan data satelit citra cuaca Himawari-8 band 13 dan juga band 15. Pengolahan citra satelit Himawari-8 dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik/metode untuk menghasilkan informasi sebaran debu vulkanik (Sugianto et al., 2018). Dalam analisis sebaran abu vulkanik gunung berapi dapat digunakan dengan berbagai macam metode ataupun teknik, salah satunya ialah Two Bands Split Windows (TBWS). Metode Two Bands Split Windows (TBSW) merupakan teknik yang memanfaatkan dua kanal pada saluran inframerah dari citra satelit Himawari-8 yaitu saluran IR (10,8 $\mu\text{m}$ ) dan I2 (12,0 $\mu\text{m}$ ) untuk melakukan perhitungan nilai *Brightness Temperature Difference* (BTD) (Nugroho, 2018).

Kemudian, dilakukan *split windows* data dari band 15 (IR2) dengan band 13 (IR) sehingga di hasilkan data spasial untuk mengidentifikasi sebaran abu vulkanik seperti gambar di bawah. Analisis spektral warna merah menandakan adanya abu vulkanik dari erupsi gunung merapi. Mengatakan analisis spektral warna merah menandakan adanya abu vulkanik keluaran dari erupsi gunung (Trinah

Wati, 2017). Kemudian dianalisis dengan melihat arah pergerakan sebaran berdasarkan waktu temporal 3 jam. Hasil yang di peroleh dari hasil pengolahan data Himawari dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Pada Gambar 3.1 ditunjukkan bahwa warna merah merupakan sebaran debu vulkanik, serta garis kuning merupakan arah dari persebaran abu vulkanik. Perlu diketahui, erupsi Gunung Merapi tanggal 3 Maret 2020 terjadi pukul 05.22 WIB, sehingga digunakan data serta pengolahan *time series* dengan split waktu 3 jam dimulai pukul 06.00 WIB, 09.00 WIB, dan 12.00 WIB.

Berdasarkan data spasial tersebut dapat dilihat pukul 06.00 WIB atau 38 menit setelah kejadian erupsi, abu vulkanik menyebar ke daerah Sleman, Magelang, Boyolali, dan Klaten dengan dominasi persebaran di daerah Sleman serta arah persebaran menuju ke selatan-barat daya. Pada tanggal 03 Maret 2020 pukul 09.00 WIB, abu vulkanik dominan menyebar di daerah Sleman dan Boyolali dengan arah persebaran selatan dan timur laut.



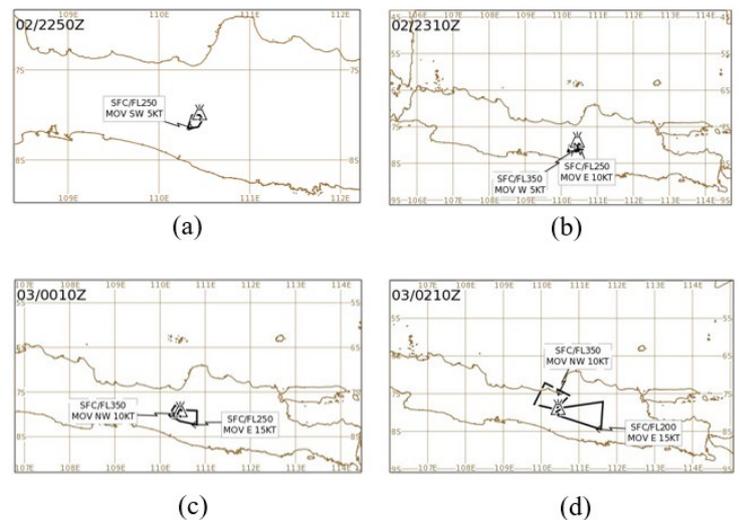
**Gambar 3.1** Hasil pengolahan citra satelit Himawari debu erupsi Gunung Merapi 03 Maret 2020: (a) 03/03/2020 06.00 WIB, (b) 03/03/2020 09.00 WIB, dan (c) 03/03/2020 12.00 WIB

Dalam pengolahan data Himawari-8 terdapat spektral warna merah yang menyebar jauh dari Gunung Merapi atau gunung berapi yang sedang aktif lainnya, hal itu bisa terjadi karena data dari band 15 (IR2) dengan band 13 (IR) bukan hanya untuk analisis SO<sub>2</sub> saja melainkan bisa untuk menganalisis awan, water vapor, serta sea surface temperature. Menurut Jonathan, dkk. (2021) pemanfaatan *channel* satelit Himawari-8 band 13 digunakan untuk *cloud imagery*, *cloud top*, sedangkan band 15 digunakan untuk *cloud imagery*, *sea surface temperature* (SST). Oleh sebab itu, dilakukan *extraction* dengan memilih daerah yang terdekat dan terdampak oleh letusan Gunung Merapi saja yang kami jadikan sebagai bahan penelitian.

Berdasarkan analisis data spasial tersebut, dilakukan analisis kuantitatif konsentrasi SO<sub>2</sub> di daerah yang dominan terdampak. Pengolahan data kuantitatif dilakukan di *Google Earth Engine* dan dihasilkan output berupa grafik serta nilai konsentrasi SO<sub>2</sub>. Nilai konsentrasi nantinya akan diolah berdasarkan perhitungan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) guna mengetahui dampak abu vulkanik terhadap kesehatan manusia ataupun makhluk hidup lainnya. ISPU menggambarkan kondisi mutu udara yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya (Kurniawan, 2018).

## 2. Sebaran Abu Vulkanik Berdasarkan Data Advisory VAAC Darwin

Dari grafik tersebut menunjukkan informasi awal yang diberikan oleh VAAC Darwin terkait arah sebaran abu vulkanik Gunung Merapi tanggal 2 Maret 2020 pukul 22.50 UTC dan 23.10 UTC dan tanggal 3 Maret 2020 pukul 00.10 UTC dan 02.10 UTC. Pada tanggal 2 Maret 2020 pukul 22.50 UTC terlihat sebaran abu vulkanik mencapai ketinggian 25000 feet yang bergerak ke arah barat daya dengan kecepatan 5 knot.



**Gambar 3.2** Prakiraan sebaran abu vulkanik Gunung Merapi yang dikeluarkan oleh VAAC Darwin (a) tanggal 2 Maret 2020 pukul 22.50 UTC (b) tanggal 2 Maret 2020 pukul 23.10 UTC, (c) tanggal 3 Maret 2020 pukul 00.10 UTC, dan (d) tanggal 3 Maret 2020 pukul 02.10 UTC.

Kemudian pada pukul 23.10 UTC terlihat sebaran abu vulkanik mencapai ketinggian 35000 feet yang bergerak menuju arah barat dengan kecepatan 5 knot dan juga bergerak ke arah timur yang mencapai ketinggian 25000 feet dengan kecepatan 10 knot. Pada 3 Maret 2020 pukul 00.10 UTC terlihat mencapai ketinggian 35000 feet bergerak ke arah barat laut dengan kecepatan 10 knot dan mencapai ketinggian 25000 feet bergerak ke arah timur dengan kecepatan 15 knot. Pada pukul 02.10 UTC terlihat sebaran abu vulkanik terluas menuju ke arah timur hingga ketinggian 20000 feet dengan kecepatan 15 knot dan sebaran abu vulkanik bergerak ke arah barat laut hingga ketinggian 35000 dengan kecepatan 10 knot.

## 3. Perbandingan SO<sub>2</sub> Sebelum, Saat, dan Setelah Erupsi

Dalam penelitian ini digunakan data satelit Sentinel-5 Precursor atau Sentinel-5P untuk memantau konsentrasi SO<sub>2</sub> di sekitar Gunung Merapi, khususnya Kabupaten Sleman dan Kabupaten Boyolali. Satelit Sentinel-5P diluncurkan oleh ESA (*European Space Agency*) pada tahun 2017 dengan misi untuk pengamatan atmosfer di bumi (Anggraini et al., 2020). Satelit ini beroperasi di orbit polar yang

sinkron terhadap matahari (*sun-synchronous orbit*) (Matondang, 2021). Data yang disediakan oleh ESA adalah gas methane ( $\text{CH}_4$ ), nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), formaldehida ( $\text{HCHO}$ ), dan ozon ( $\text{O}_3$ ). Dalam beroperasi, satelit sentinel-5P beroperasi dengan mengorbit, sehingga ada beberapa hari dalam penelitian kali ini yang memiliki hasil data yang eror. Berikut merupakan hasil pengolahan data Sentinel-5P yang disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan pembacaan konsentrasi  $\text{SO}_2$ .

Gambar 3.3 merupakan grafik  $\text{SO}_2$  Kabupaten Sleman dan Kabupaten Boyolali pada tanggal 17 Februari sampai 22 Maret 2020. Persegi berwarna merah menunjukkan adanya aktivitas erupsi Gunung Merapi. Sebelum erupsi, konsentrasi  $\text{SO}_2$  teramati diambil dalam kurun waktu dua minggu dari tanggal 17 Februari hingga 01 Maret 2022 (UTC). Kabupaten Sleman memiliki konsentrasi rata-rata  $\text{SO}_2$  sebesar  $-0,816 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ , dan mencapai konsentrasi yang paling tinggi pada tanggal 26 Februari 2020 dengan konsentrasi sebesar  $1,242 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ . Saat erupsi, Konsentrasi  $\text{SO}_2$  teramati diambil dalam kurun waktu satu minggu dari tanggal 02 Maret hingga 08 Maret 2022 (UTC). Kabupaten Sleman memiliki konsentrasi rata-rata  $\text{SO}_2$  sebesar  $1,139 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ , dan mencapai konsentrasi yang paling tinggi pada tanggal 03 Maret 2020 dengan konsentrasi sebesar  $3,624 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ . Setelah erupsi, Konsentrasi  $\text{SO}_2$  teramati diambil dalam kurun waktu satu minggu dari tanggal 09 Maret hingga 22 Maret 2022 (UTC). Kabupaten Sleman memiliki konsentrasi rata-rata  $\text{SO}_2$  sebesar  $0,223 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ , dan mencapai konsentrasi yang paling tinggi pada tanggal 12 Maret 2020 dengan konsentrasi sebesar  $3,224 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ .

Sebelum erupsi, Konsentrasi  $\text{SO}_2$  teramati diambil dalam kurun waktu dua minggu dari tanggal 17 Februari hingga 01 Maret 2022 (UTC). Sedangkan, Kabupaten Boyolali memiliki konsentrasi rata-rata  $\text{SO}_2$  sebesar  $-0,133 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ , dengan konsentrasi paling

tinggi sebesar  $0,614 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$  pada tanggal 24 Februari 2020. Saat erupsi, Konsentrasi  $\text{SO}_2$  teramati diambil dalam kurun waktu satu minggu dari tanggal 02 Maret hingga 08 Maret 2022 (UTC). Sedangkan, Kabupaten Boyolali memiliki konsentrasi rata-rata  $\text{SO}_2$  sebesar  $1,784 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ , dengan konsentrasi paling tinggi sebesar  $6,36 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$  pada tanggal 03 Maret 2020. Setelah erupsi, Konsentrasi  $\text{SO}_2$  teramati diambil dalam kurun waktu satu minggu dari tanggal 09 Maret hingga 22 Maret 2022 (UTC). Sedangkan, Kabupaten Boyolali memiliki konsentrasi rata-rata  $\text{SO}_2$  sebesar  $0,4 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ , dengan konsentrasi paling tinggi sebesar  $3,567 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$  pada tanggal 20 Maret 2020.

Berdasarkan pembahasan terkait konsentrasi  $\text{SO}_2$  di atas baik sebelum, saat, maupun setelah, semuanya menghasilkan data yang berbeda. Hal itu bisa terjadi karena erupsi Gunung Merapi yang mengeluarkan berbagai materi salah satunya ialah gas vulkanik, Menurut BPBD (2015) Gas yang dikeluarkan gunung berapi pada saat meletus antara lain Karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), HidrogenSulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), dan Nitrogen ( $\text{NO}_2$ ) yang dapat membahayakan manusia.

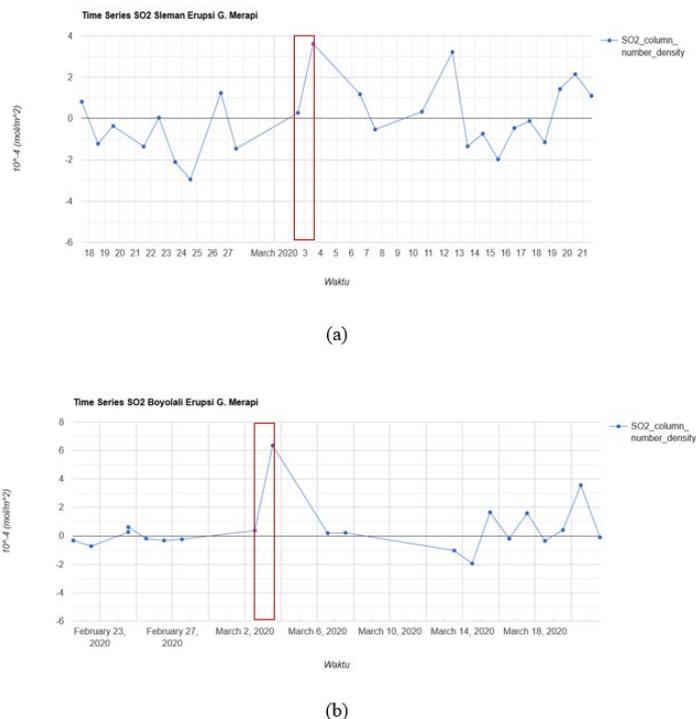
Selain itu juga akan terbentuk abu vulkanik yang ada akibat adanya gas vulkanik tersebut, Abu Vulkanik adalah material vulkanik yang terdiri dari pecahan batuan, mineral, dan gelas vulkanik, yang terbentuk selama erupsi gunung api dan berdiameter kurang dari 2 mm (0,079 inci) (Humaida, 2020). Abu vulkanik terbentuk ketika gas terlarut dalam magma mengembang dan lepas secara tiba tiba ke atmosfer.

Kekuatan gas menghancurkan magma dan mendorongnya ke atmosfer dan membeku menjadi fragmen batuan vulkanik dan gelas vulkanik. Salah satu gas terlarut yang berada di dalam abu vulkanik ialah  $\text{SO}_2$ . Sehingga dalam pengamatan konsentrasi  $\text{SO}_2$  sebelum, saat, dan setelah erupsi Gunung Merapi memiliki konsentrasi yang berbeda dan sesuai dengan

konsentrasi abu vulkanik yang dikeluarkan oleh Gunung Merapi. Berdasarkan penjelasan dapat kita ketahui bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> yang paling tinggi ada pada saat erupsi Gunung Merapi, kemudian setelah kejadian erupsi, dan sebelum kejadian erupsi.

Berdasarkan analisis grafik Gambar 3.3 dapat diketahui juga daerah yang paling terdampak oleh adanya erupsi Gunung Merapi. Pada saat erupsi, Kabupaten Boyolali merupakan daerah yang paling terdampak erupsi dengan nilai konsentrasi SO<sub>2</sub> mencapai maksimal pada angka  $6,36 \times 10^{-4}$  mol/m<sup>2</sup> pada tanggal 03 Maret 2020.

Sedangkan Kabupaten Sleman pada tanggal 03 Maret 2020 memiliki konsentrasi SO<sub>2</sub> sebesar  $3,624 \times 10^{-4}$  mol/m<sup>2</sup>. Dua minggu setelah erupsi Gunung Merapi, Konsentrasi rata-rata SO<sub>2</sub> di Kabupaten Boyolali sebesar  $0,4 \times 10^{-4}$  mol/m<sup>2</sup> dan Kabupaten Sleman dengan Konsentrasi rata-rata SO<sub>2</sub> sebesar  $0,223 \times 10^{-4}$  mol/m<sup>2</sup>.

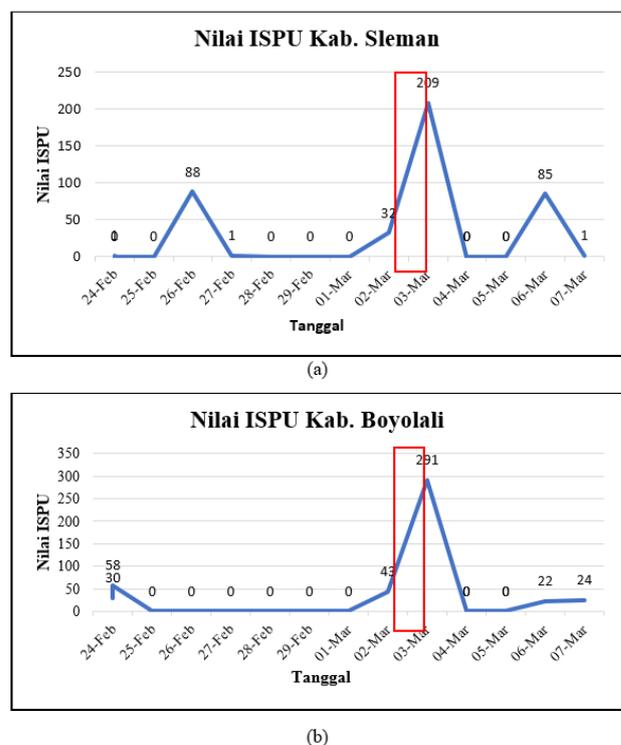


**Gambar 3.3** Grafik konsentrasi SO<sub>2</sub> pada tanggal 17 Februari hingga 22 Maret 2020 (a) Konsentrasi SO<sub>2</sub> Kabupaten Sleman (b) Konsentrasi SO<sub>2</sub> Kabupaten Boyolali

#### 4. Perhitungan ISPU

Data yang digunakan dalam perhitungan nilai ISPU menggunakan data time series konsentrasi SO<sub>2</sub> yang di dapatkan melalui pengolahan *Google Earth Engine*. Perlu dilakukan Konversi satuan ke dalam mikrogram per meter kubik (µg/m<sup>3</sup>), sehingga kita bisa mengolah data tersebut untuk dikategorikan berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara. Konsentrasi yang digunakan dalam perhitungan ISPU adalah µg/m<sup>3</sup> (Kurniawan, 2018). Penelitian mengambil wilayah Kabupaten Boyolali dan Sleman sebagai objek penelitiannya. Berikut merupakan grafik nilai ISPU di dua wilayah tersebut

Pada tabel nilai ISPU Kabupaten Sleman di atas dapat kita ketahui bahwa pola dari nilai ISPU dengan rentang waktu 24 jam berbeda bahkan terdapat data eror yang menyebabkan tidak dapat dilakukan perhitungan nilai ISPU pada waktu itu. Persegi merah menunjukkan terjadinya erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada 2-3 Maret 2020 (UTC).



**Gambar 3.4** Grafik nilai ISPU (a) Kabupaten Sleman (b) Kabupaten Boyolali

Nilai ISPU sebelum erupsi Gunung Merapi mencapai nilai tertinggi 88 skala ISPU, skala tersebut termasuk ke dalam kategori sedang. Namun, pada saat dan setelah erupsi Gunung Merapi, nilai ISPU tertinggi mencapai 209 skala ISPU. Skala tersebut termasuk ke dalam kategori sangat tidak sehat yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.

Pada tabel nilai ISPU Kabupaten Boyolali, dapat kita ketahui bahwa pola dari nilai ISPU dengan rentang waktu 24 jam memiliki nilai berbeda bahkan terdapat data eror yang menyebabkan tidak dapat dilakukan perhitungan nilai ISPU pada waktu itu. Persegi merah menunjukkan terjadinya erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada 2-3 Maret 2020 (UTC). Nilai ISPU sebelum erupsi Gunung Merapi mencapai nilai tertinggi 58 skala ISPU, skala tersebut termasuk ke dalam kategori sedang. Namun, pada saat dan setelah erupsi Gunung Merapi, nilai ISPU tertinggi mencapai 291 skala ISPU, Skala tersebut termasuk ke dalam kategori sangat tidak sehat yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.

Jika kita tinjau dan analisis berdasarkan data spasial yang telah dipaparkan sebelumnya, maka nilai perhitungan ISPU saat erupsi Gunung Merapi relevan dengan persebaran abu vulkanik Gunung Merapi. Analisis spasial menunjukkan bahwa Kabupaten Boyolali menjadi daerah yang memiliki dampak lebih luas daripada Kabupaten Sleman. Demikian juga analisis kuantitatif yang dilakukan, hasil perhitungan nilai ISPU menunjukkan Kabupaten Boyolali memiliki nilai ISPU yang lebih tinggi daripada Kabupaten Sleman pada saat erupsi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis sebaran  $\text{SO}_2$  erupsi Gunung Merapi pada tanggal 03 Maret 2020 dengan menggunakan data satelit Himawari-8, menunjukkan bahwa persebaran debu vulkanik dominan mengarah ke timur laut dan selatan pada saat awal erupsi. Oleh karena itu,

Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Sleman merupakan daerah yang paling terdampak erupsi Gunung Merapi. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai  $\text{SO}_2$  tertinggi terjadi pada saat erupsi yang kemudian diikuti kejadian setelah erupsi, dan sebelum erupsi. Nilai  $\text{SO}_2$  tertinggi pada saat erupsi disebabkan oleh aktifitas vulkanis yang meningkat signifikan, dimana letusan yang terekam di seismograf memiliki amplitudo 75 mm dengan durasi 450 detik dibersamai keluarnya debu vulkanik yang bercampur pasir dan awan panas keluar dari kawah Gunung Merapi. Hal tersebut yang menyebabkan nilai  $\text{SO}_2$  pada saat erupsi memiliki nilai yang tinggi.

Selain itu, pada saat erupsi angin dominan mengarah ke timur laut dan selatan dimana hal tersebut sesuai dengan hasil analisis kuantitatif yang menunjukkan Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Sleman merupakan daerah terdampak. Dimana Kabupaten Boyolali merupakan daerah terdampak paling tinggi daripada Kabupaten Sleman dengan nilai ISPU tertinggi sebesar 291 dengan konsentrasi  $\text{SO}_2$  sebesar  $6,36 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ . Sedangkan, Kabupaten Sleman memiliki nilai ISPU sebesar 209 dengan konsentrasi  $\text{SO}_2$  sebesar  $3,624 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2$ . Skala tersebut termasuk ke dalam kategori sangat tidak sehat yang dapat meningkatkan risiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar dan mengakibatkan peningkatan sensitivitas pasien berpenyakit asma dan bronchitis di daerah terdampak yaitu di sekitar Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Sleman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adri, W., Sabri, L. , & Wahyuddin, Y. (2020). Pembuatan Peta Jalur Evakuasi Bencana Gunung Api Dan Persebaran Lokasi Shelter Menggunakan Metode Network Analyst (Studi Kasus : Gunung Merapi, Boyolali-Magelang). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 10(1), 189–196. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/29693>

- Anggraini, T. S., Artaningh, F., Sihotang, E., Sakti, A. D., & Agustan. (2020). Variasi Emisi Gas Nitrogen Dioksida saat Pembatasan Sosial Berskala Besar di Variasi Emisi Gas Nitrogen Dioksida saat Pembatasan Sosial Berskala Besar di Provinsi Jawa Barat dari Pengolahan Data Satelit Sentinel-5P. *Penginderaan Jauh Indonesia*, 02(02), 19–24.
- Anonim. (2020). *Convert NO2 concentration in Sentinel-5P data from mol/m2 to µg/m3 on the ground level*. Earth Science. <https://earthscience.stackexchange.com/questions/19391/convert-no2-concentration-in-sentinel-5p-data-from-mol-m2-to-µg-m3-on-the-ground>
- Febriati, E., & Muzaki, N. H. (2022). Pemanfaatan Radar Cuaca Untuk Mengidentifikasi Sebaran Abu Vulkanik Gunung Merapi 3 Maret 2020. *Jurnal Widya Climago*, 2(Vol.4 No.1), 37–43.
- Hafida, S. H. N. (2019). Perubahan Kesiapan Masyarakat dalam Menghadapi Bencana Erupsi Gunung Berapi. *Jupis: Jurnal Pendidikan Ilmu-Ilmu Sosial*, 11(2), 396. <https://doi.org/10.24114/jupis.v11i2.13955>
- Humaida, H. (2020). *PERS RILIS BPPTKG: Kronologi Letusan G. Merapi tanggal 3 Maret 2020*. BPBD. <http://bpbjogjapro.go.id/berita/pers-rilis-bpptkg-kronologi-letusan-g-merapi-tanggal-3-maret-2020-1>
- Kurniawan, A. (2018). Pengukuran Parameter Kualitas Udara (Co, No2, So2, O3 Dan Pm10) Di Bukit Kototabang Berbasis Ispu. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.22146/teknosains.34658>
- Matondang, J. (2021). *Sentinel 5P untuk Pemantauan Atmosfer*. Josef Matondang. <https://josefmatd.com/2021/04/28/sentinel-5p-untuk-pemantauan-atmosfer/>
- Nugroho, A. D. (2018). *Himawari-8 Dengan Metode Two Band Split Windows (Tbsw) Dan Three Band Volcano Ash Product (Tvap)*.
- Savenets, M. (2021). Air pollution in ukraine: A view from the sentinel-5p satellite. *Idojaras*, 125(2), 271–290. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.2.6>
- Sugianto, P. A., Saragih, I. J. A., Rosyady, M. P., & Kristianto, A. (2018). Deteksi Sebaran Debu Vulkanik Menggunakan Citra Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Gunung Raung, Gunung Rinjani, and Dan Gunung Bromo). *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 8(July 2019), 711–715.
- Susilo, A., & Rudiarto, I. (2014). Analisis Tingkat Resiko Erupsi Gunung Merapi Terhadap Permukiman Di Kecamatan Kemalang, Kabupaten Klaten. *Teknik Perencanaan Wilayah Kota*, 3(1), 34–49.
- Trinah Wati, dan. (2017). Pemantauan Sebaran Abu Vulkanik Menggunakan Penginderaan Jauh Satelit Himawari-8 Dan Aura/Omi (Ozone Mapping Instrument) (Volcanic Ash Monitoring using Himawari-8 and OMI (Ozone Mapping Instrument) Remote Sensing Satellites). *Majalah Ilmiah Globè*, 19, 33–44.