

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Erupsi Gunung Api

Gunung api adalah lubang kepundan atau rekahan dalam kerak bumi tempat keluarnya cairan magma atau gas atau cairan lainnya ke permukaan bumi (ESDM, 2020). Secara singkat, gunung api adalah gunung yang masih aktif dalam mengeluarkan material di dalamnya. Letusan gunung berapi merupakan bagian dari aktivitas vulkanik yang dikenal dengan istilah erupsi. Erupsi merupakan peristiwa yang terjadi akibat endapan magma di dalam perut bumi yang didorong keluar oleh gas yang bertekanan tinggi. Dalam suatu aktivitas vulkanisme, material-material yang dikeluarkan berupa gas, benda cair, dan benda padat. Gas-gas yang keluar antara lain uap air, oksigen, karbon dioksida, karbon monoksida, sulfur dioksida, dan sebagainya. Materi cair yang dikeluarkan adalah magma yang keluar melalui pipa gunung yang disebut lava, sedangkan materi padat yang disebarkan ketika gunung berapi meletus berupa batu-batu besar, kerikil, pasir, debu, serta abu vulkanik (Munir, 1996).

Abu vulkanik adalah bahan material vulkanik jatuhnya yang disebarkan ke udara saat terjadi suatu letusan. Abu vulkanik terdiri dari batuan berukuran besar sampai berukuran halus sehingga abu vulkanik dapat terdispersi bergantung terhadap efek dari gravitasi, kecepatan dan arah angin, serta turbulensi atmosfer. Partikel abu vulkanik yang berukuran besar biasanya jatuh sekitar radius 5-7 km dari kawah, sedangkan yang berukuran halus dapat jatuh pada jarak mencapai ratusan kilometer bahkan ribuan kilometer dari kawah disebabkan oleh adanya hembusan angin (Sudaryo dan Sucipto, 2009). Abu vulkanik yang lebih kasar akan terdispersi lebih dekat dengan sumber erupsi daripada abu vulkanik yang lebih halus. Abu vulkanik dapat menimbulkan ketidaknyamanan seperti polusi udara, polusi air, dan gangguan pada pertanian dan transportasi.

Gas vulkanik seperti SO_2 merupakan komponen yang dilakukan pemantauan emisinya dalam suatu aktivitas gunung api (Humaida, 2008). Perubahan emisi dari gas SO_2 pada gunung api yang tidak mengalami erupsi dapat menandakan bahwa gunung tersebut akan terjadi erupsi. Gas SO_2 memiliki karakteristik tidak berwarna

dan bau yang menyengat. Gas ini dapat menyebabkan hujan asam dan polusi yang membahayakan lingkungan. Gas SO_2 dengan konsentrasi yang tinggi dapat menghasilkan kabut vulkanik. Saat erupsi besar, gas SO_2 dapat dikeluarkan secara masif hingga mencapai bagian atas atmosfer (stratosfer) dan mengalami oksidasi menjadi aerosol sulfat yang dapat memantulkan kembali sinar matahari sehingga memberikan dampak penurunan suhu pada iklim global. Aerosol sulfat hasil oksidasi SO_2 juga berperan dalam penipisan ozon dengan banyaknya reaksi yang terjadi pada aerosol tersebut (USGS, 2020)

II.2 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah ilmu, seni, dan teknik pengambilan data/informasi tentang objek yang ada di permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan objek yang bersangkutan. Teknik ini dikembangkan untuk memperoleh dan menganalisis data/informasi tentang bumi, data/informasi tersebut berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi dan ditangkap oleh suatu sistem sensor. Perekaman data/informasi oleh sensor dilakukan jauh di angkasa karena sensor yang digunakan untuk melakukan perekaman ditempatkan pada wahana satelit yang mengorbit mengelilingi bumi (Lillesand dan Kiefer, 1997).

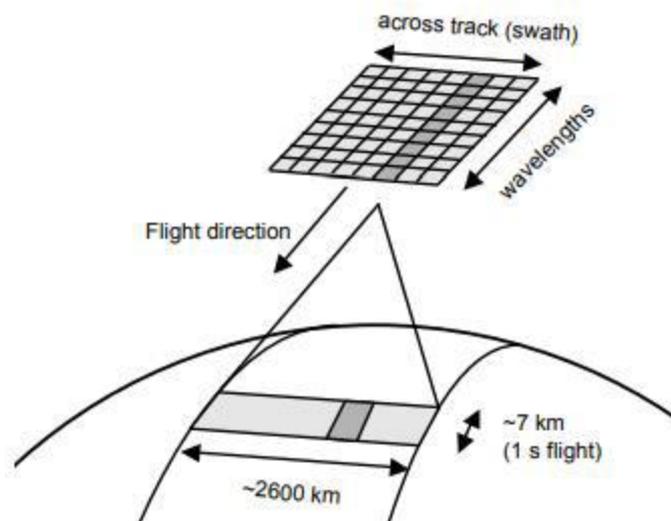
Prinsip perekaman oleh sensor dalam pengambilan data melalui metode penginderaan jauh dilakukan berdasarkan perbedaan daya reflektansi energi elektromagnetik masing-masing objek di permukaan bumi. Daya reflektansi yang berbeda-beda oleh sensor akan direkam dan didefinisikan sebagai objek yang berbeda yang dipresentasikan dalam citra. Dalam sistem pasif, energi elektromagnetik berasal dari energi radiasi matahari dengan melalui atmosfer terlebih dahulu kemudian berinteraksi dengan objek di permukaan bumi. Energi radiasi matahari tidak semua sampai di permukaan bumi karena sebagian diserap dan sebagian dihamburkan di atmosfer. Energi yang sampai di permukaan bumi sebagian dipantulkan atau dipancarkan kembali oleh objek di permukaan bumi dan direkam oleh sensor penginderaan jauh. Deteksi dan pemisahan objek rupabumi mencakup pendeteksian dan perekaman energi radiasi yang dipantulkan atau

dipancarkan oleh objek. Objek yang berbeda akan memberikan nilai dan jenis yang berbeda pada spektrum elektromagnetik (Syah, 2010).

II.3 Deteksi Abu Vulkanik dan SO₂ dengan Satelit Sentinel-5P

Sentinel-5 *Precursor* (Sentinel-5P) adalah misi pra-operasional *Low Earth Orbit* (LEO) yang disetujui dalam program *European Global Monitoring for Environment and Security* (GMES), upaya kolaborasi *Earth Space Agency* (ESA) dan *Netherlands Space Office* (NSO). Misi ini diluncurkan pada 13 Oktober 2017 dan mengorbit polar *sun-synchronous* pada ketinggian 824 km dari permukaan bumi. Satelit Sentinel-5P didedikasikan untuk memantau atmosfer, kualitas udara, dan perubahan iklim. Selain itu, satelit ini juga akan berkontribusi pada layanan seperti pemantauan abu vulkanik untuk keselamatan penerbangan.

Satelit Sentinel-5P membawa instrumen TROPOMI *ultramodern* yang merupakan instrumen optik. Sensor ini membawa detektor *ultraviolet* (UV) dan *visible* (270-500 nm), *Near-Infrared* (NIR) (675-775 nm), dan *Short Wave Infrared* (SW IR) (2305-2385 nm). Instrumen ini menggunakan teknik penginderaan jauh pasif untuk mendapatkan objeknya dengan menghitung radiasi matahari yang dipantulkan dan dipancarkan dari bumi. Satelit ini melakukan pengamatan setiap detik dengan tutupan area panjang 2600 km dan lebar 7 km (**Gambar II.1**) dalam resolusi setinggi 3,5 km × 5,5 km dan resolusi temporal satu hari.



Gambar II.1 Prinsip Pengukuran TROPOMI (Sumber: ESA, 2017)

Produk dari Sentinel-5P meliputi data Level-1B dan Level-2. Data Level-1B merupakan reflektansi panjang gelombang, sementara data Level-2 merupakan data yang dihasilkan dari *Copernicus Ground System* sehingga memiliki lokasi geografis. Produk data Level-2 dibagi menjadi 3 jenis data pemrosesan, yaitu *Near Real Time* (NRTI), *Offline* (OFFL), dan *Reprocessing* (RPRO). Produk Level-2 dari Sentinel-5P lebih jelas dapat dilihat pada **Tabel II.1**.

Tabel II.1 Produk Data Level 2 TROPOMI

Produk	Panjang Gelombang (nm)	Parameter Utama
Profil ozon	270-330	Total dan profil troposfer
SO ₂	308-325	Jumlah kolom
Ozon	325-337	Jumlah kolom
Formaldehida	337-360	Jumlah kolom
UV <i>Aerosol Index</i>	360-400	Indeks aerosol
NO ₂	405-500	Jumlah kolom
Awan	750-775	Fraksi, albedo, tekanan
Ketinggian lapisan aerosol	750-775	Tekanan lapisan menengah
Metana	1590-1675	Jumlah kolom
Karbon monoksida	2305-2385	Jumlah kolom

(Sumber: TROPOMI, 2017)

II.3.1 TROPOMI SO₂

Penggunaan instrumen satelit *UV-visible* telah digunakan untuk pemantauan gas SO₂ hasil erupsi gunung berapi semenjak tahun 1970. Algoritma perhitungan SO₂ berdasarkan teknik *Differential Optical Absorption Spectroscopy* (DOAS) untuk menentukan konsentrasi suatu zat (Theys dkk., 2017). Pada teknik ini, data *Slant Column Density* (SCD) merepresentasikan SO₂ yang terintegrasi sepanjang rata-rata jalur cahaya yang melewati atmosfer, diambil dari radiasi hamburan atmosfer dan spektrum referensi observasi. Kemudian dilakukan *fitting cross-section* absorpsi dari SO₂ untuk pengukuran reflektansi dari interval spektral yang diketahui. Selanjutnya SCD dikoreksi untuk kemungkinan biasnya. SCD dikonversi ke *Vertical Column Density* (VCD) dengan rata-rata *Air Massa Factor* (AMF) diperoleh dari perhitungan transfer radiasi, perhitungan *viewing geometry*, awan, properti permukaan, total ozon, dan bentuk profil vertikal SO₂ (Daniya, 2020).

Data SO₂ satelit Sentinel-5P memiliki satuan mol/m² (1 DU = 2,69 × 10²⁰ mol/m²). Estimasi *error* kualitas data model digambarkan dengan *qa_value* yang

berada pada rentang 0 (*error*) sampai 1 (kualitas bagus). Untuk mengurangi adanya kesalahan interpretasi data, disarankan menggunakan data yang memiliki nilai *qa_value* lebih dari 0,5. Secara keseluruhan, kualitas data Level-2 SO₂ pada TROPOMI untuk mendeteksi gas vulkanik memiliki bias maksimum 30% dan ketidakpastian sebesar 0,15 - 0,3 DU (ESA, 2020).

II.3.2 TROPOMI UV Aerosol Index

UV Aerosol Index pertama kali dihitung sebagai koreksi kehadiran aerosol dalam pengukuran kolom ozon pada instrumen *Total Ozone Mapping Spectrometer* (TOMS) (Torres dkk., 1998). *UV Aerosol Index* biasa disebut AAI dihitung berdasarkan kontras spektral dalam rentang spektral UV untuk pasangan panjang gelombang yang diketahui, dalam hal ini perbedaan reflektansi observasi dan hasil reflektansi model *clear-sky* disebut dengan *residual value*. Ketika nilai *residual value* bernilai positif, mengindikasikan adanya kehadiran aerosol yang menyerap radiasi UV seperti debu gurun pasir, asap hasil pembakaran biomassa, atau abu vulkanik. *Residual value* bernilai 0 atau negatif mengindikasikan kehadiran *aerosol* yang tidak menyerap radiasi UV seperti sulfat (de Graaf dkk., 2005). Untuk mengurangi adanya kesalahan interpretasi data, maka digunakan data yang nilai *qa_value* lebih dari 0,8. Secara keseluruhan data Level-2 *UV Aerosol Index* pada TROPOMI memiliki ketidakpastian sebesar < 0,1 AAI.

II.4 Deteksi Abu Vulkanik dan SO₂ dengan Satelit Himawari-8

Satelit Himawari-8 diluncurkan oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA) pada tanggal 7 Oktober 2014. Satelit ini menggantikan satelit Himawari-7 dan dioperasikan mulai tanggal 7 Juli 2015. Satelit Himawari-8 merupakan jenis satelit geostasioner sehingga satelit ini berada di atas permukaan bumi yang sama sepanjang waktu, membuat pemantauan dapat dilakukan secara terus menerus. Satelit Himawari-8 membawa sensor *imagery* yang diberi nama AHI. AHI merupakan pengembangan dan penambahan sensor terdahulu. Contohnya tambahan kanal 10 dan 11 yang sensitif terhadap gas SO₂, sehingga mampu mendeteksi sebaran SO₂ yang tidak dapat dideteksi menggunakan cara konvensional (kanal 13 dan *split window*). Satelit Himawari-8 memiliki jumlah

kanal sebanyak 16, dengan 3 jenis kanal *visible* yang memiliki resolusi spasial sampai dengan 0,5 km, 3 kanal NIR, dan 10 kanal IR dengan resolusi sebesar 2 km dan resolusi temporal hingga 10 menit (Shimizu, 2015).

Tabel II.2 Karakteristik kanal Himawari-8

Kanal AHI Himawari-8: Informasi dan Panjang Gelombang, Resolusi, dan Contoh Penggunaan				
Jenis	Kanal	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi Spasial (km)	Contoh Penggunaan
<i>Visible</i>	1	0,47	1	Aerosol di daratan, pemetaan garis pantai
	2	0,51	1	Laut atau air, termasuk deteksi terhadap alga
	3	0,64	0,5	Awan, kabut, insolasi, angin
NIR	4	0,86	1	Vegetasi, bekas kebakaran, aerosol sepanjang perairan, angin
	5	1,6	2	Awan atas, salju
	6	2,3	2	Awan dan lahan, vegetasi, salju
SW IR	7	3,9	2	Permukaan dan awan, kabut pada malam hari, api, angin
IR (WV)	8	6,2	2	Uap air atmosfer level tinggi, angin, curah hujan
	9	6,9	2	Uap air atmosfer level menengah, angin, dan curah hujan
	10	7,3	2	Uap air atmosfer level rendah, angin SO_2
LW IR	11	8,6	2	Air total untuk stabilitas, fase awan, debu, SO_2 , curah hujan
	12	9,6	2	Ozon, turbulensi, angin
	13	10,4	2	Permukaan dan awan
	14	11,2	2	Suhu permukaan laut, awan, curah hujan
	15	12,4	2	Uap air, abu vulkanik, suhu permukaan laut
	16	13,3	2	Suhu udara, tinggi dan jumlah awan

(Sumber: Comet MetED, 2015)

Satelit Himawari-8 dapat dimanfaatkan untuk memantau sebaran abu vulkanik. Salah satu teknik dalam memantau sebaran abu vulkanik adalah dengan komposit RGB. Citra komposit RGB merupakan sebuah teknik untuk menampilkan gambar berwarna dengan warna primer. Dalam proses pencitraan satelit, teknik RGB dipakai untuk mengkombinasikan beberapa kanal satelit untuk membuat sebuah gambar yang lebih baik (Shimizu, 2015). Terdapat beberapa metode

algoritma untuk deteksi abu vulkanik yang dimodifikasi oleh JMA untuk Himawari-8 (Bessho, 2016). Salah satu deteksi abu vulkanik adalah dengan metode *AshRGB* menggunakan kanal 11, 13, dan 15. Penggunaan kanal 11 dalam komposit digunakan untuk mendeteksi keberadaan SO₂ yang dapat muncul pada letusan gunung berapi. Penggunaan kanal 15 untuk mendeteksi sebaran abu vulkanik dan penggunaan kanal 13 untuk deteksi tutupan awan.

II.5 Analisis Korelasi

Analisis korelasi adalah sekumpulan teknik untuk mengukur hubungan antar dua variabel, gagasan dasar dari analisis korelasi adalah melaporkan hubungan antara dua variabel (Lind dkk., 2008). Pada penelitian ini digunakan korelasi *pearson* untuk mencari hubungan dari dua variabel.

Adapun penjelasan besar nilai koefisien korelasi adalah sebagai berikut.

1. 0 – 0,19 = korelasi antar variabel sangat lemah
2. 0,2 – 0,39 = korelasi antar variabel lemah
3. 0,4 – 0,59 = korelasi antar variabel cukup kuat
4. 0,6 – 0,79 = korelasi antar variabel kuat
5. 0,8 – 1,00 = korelasi antar variabel sangat kuat

Formula yang digunakan pada metode ini dapat dilihat pada **Persamaan II.1** berikut.

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x \sum y)}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}} \quad (\text{II.1})$$

Keterangan:

r = koefisien korelasi *r pearson*

n = jumlah sampel

x = variabel pertama

y = variabel kedua