



## **Erupsi Semeru 1 Desember 2020: Kronologi Kejadian Aliran Piroklastik, Kondisi Pre-Eruptif, dan Laju Ekstrusi Material Vulkanik** *Eruption of Semeru on December 1, 2020: Chronology of Pyroclastic Flow Events, Pre-Eruptive Conditions, and Extrusion Rate of Volcanic Material*

**Wilfridus F S Banggur<sup>1,2\*</sup>, Ratika Benita Nareswari<sup>1,2</sup>, Nazirah Saina<sup>2</sup>, Astyka Pamumpuni<sup>2</sup>, Mirzam Abdurrachman<sup>2</sup>, Estu Kriswati<sup>1</sup>, Liswanto<sup>3</sup>, Mukdas Sofian<sup>3</sup>, Yadi Yuliandi<sup>3</sup>, Kristianto<sup>3</sup>, Sofyan Primulyana<sup>3</sup>, Idham Andri Kurniawan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Badan Riset dan Inovasi Nasional Jalan Sangkuriang, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung 40135

<sup>2</sup>Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132

<sup>3</sup>Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Jalan. Diponegoro No.57, Cihaur Geulis, Kec. Cibeunying Kaler, Kota Bandung  
 email: [wilf001@brin.go.id](mailto:wilf001@brin.go.id)

Naskah diterima: 01 Juni 2023, Revisi terakhir: 27 Agustus 2024, Disetujui: 28 Agustus 2024 Online: 29 Agustus 2024  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v25i3.796>

**Abstrak.** Gunung Semeru merupakan gunungapi paling aktif di Pulau Jawa dengan tipe erupsi strombolian-vulkanian yang disertai pertumbuhan kubah lava. Erupsi eksplosif Semeru dapat menghasilkan guguran lava pijar dan runtuhnya kubah lava yang disertai aliran piroklastik dengan jarak luncur mencapai 5-12 km ke arah selatan (Besuk Kembar dan Besuk Bang) atau tenggara (Besuk Kobokan) dari pusat erupsi. Pada 1 Desember 2020, terjadi aliran piroklastik dengan jarak luncur 11.5 km, yang merupakan jarak luncur terjauh sejak erupsi 2002. Rekonstruksi terhadap kronologi kejadian dan sebaran endapan aliran piroklastik 1 Desember 2020 secara detail dilakukan menggunakan data CCTV, press release, citra satelit, foto drone, portal berita, dan kanal media sosial. Kondisi pre-eruptif jangka pendek dikaji menggunakan citra satelit SAR Sentinel-1, Sentinel-2 dari MIROVA, dan aktivitas kegempaan. Algoritma MODVOLC digunakan untuk mengkaji laju ekstrusi produk material vulkanik sebagai gambaran kondisi pre-eruptif jangka panjang. Rekonstruksi kejadian aliran piroklastik menunjukkan bahwa erupsi dimulai dengan guguran lava yang diikuti awan panas dengan beberapa perulangan dan kekuatan yang meningkat. Kondisi pre-eruptif sepanjang tahun 2020 menunjukkan perubahan morfologi bukaan kawah pusat, posisi titik runtuh guguran lava, serta posisi akumulasi material guguran di sekitar puncak yang menyebabkan arah luncuran aliran piroklastik lebih mengarah ke Besuk Kobokan. Sementara itu, peningkatan akumulasi volume dan laju ekstrusi material vulkanik mengindikasikan kemungkinan peningkatan jarak luncuran ke depannya.

kata kunci: Semeru, aliran piroklastik, kubah lava, guguran lava,

**Abstract.** *Semeru is the most active volcano on Java Island with a strombolian-volcanic eruption type accompanied by lava dome growth. Explosive eruptions of Semeru can produce incandescent lava flows and lava dome collapses accompanied by pyroclastic flows with a glide distance of up to 5-12 km to the south (Besuk Kembar and Besuk Bang) or southeast (Besuk Kobokan) of the eruption center. On December 1, 2020, a pyroclastic flow occurred with a glide distance of 11.5 km, which is the farthest glide distance since the 2002 eruption. A detailed reconstruction of the chronology of events and the distribution of pyroclastic flow deposits on December 1, 2020 was carried out using CCTV data, press releases, satellite images, drone photos, news portals, and social media channels. Short-term pre-eruptive conditions were assessed using SAR satellite images of Sentinel-1, Sentinel-2 from MIROVA, and seismic activity. The MODVOLC algorithm was used to assess the extrusion rate of volcanic material products as an illustration of long-term pre-eruptive conditions. Reconstruction of pyroclastic flow events showed that the eruption began with lava flows followed by hot clouds with several recurrences and increasing strength. Pre-eruptive conditions throughout 2020 show changes in the morphology of the central crater opening, the position of the collapse point of the lava flow, and the position of the accumulation of fallout material around the peak which causes the direction of the pyroclastic flow to be more directed towards Besuk Kobokan. Meanwhile, an increase in the volume accumulation and extrusion rate of volcanic material indicates the possibility of increasing the distance of the glide in the future.*

**Key words:** *Semeru, pyroclastic flow, lava dome, lava avalanche*

© JGSM. This is an open access article under the CC-BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**PENDAHULUAN**

Gunungapi Semeru (3.676 mdpl) merupakan salah satu gunungapi paling aktif di P. Jawa. Semeru berada di bagian selatan dari Kompleks Gunungapi Bromo-Tengger-Semeru, kompleks ini terdiri atas sekelompok kaldera dan gunungapi strato yang tumbuh di atas batuan busur vulkanik Tersier. Kerucut Semeru dibagi menjadi dua bagian, yakni endapan Semeru Tua berumur Pleistosen di utara dan Semeru Muda di selatan dengan komposisi produk erupsi basaltik hingga basalt-andesitik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kronologi kejadian erupsi Semeru 1 Desember 2020, dokumentasi penyebaran endapan aliran piroklastik dan area terdampak, kondisi dan kronologi pre-erupsi pada jangka pendek (sepanjang tahun 2020), serta kronologi pada jangka panjang (tahun 2000 – 2023).

Karakteristik erupsi eksplosif Semeru secara garis besar merupakan tipe vulkanian dan strombolian yang berasosiasi dengan pertumbuhan kubah lava yang menghasilkan guguran lava pijar dan runtuh kubah lava, sedangkan erupsi efusif menghasilkan aliran lava yang membentuk lidah lava. Kejadian erupsi eksplosif Semeru, terutama yang berkaitan dengan runtuhnya kubah lava, dapat menghasilkan aliran piroklastik tipe *block and ash flow* dan awan panas dengan jarak luncur mencapai 5-12 km. Aktivitas erupsi Semeru sekarang berpusat pada kawah Jonggring-Seloko dengan bentuk bukaan kawah yang menunjukkan adanya perpindahan jalur (*vent*) dari barat laut menuju tenggara. Bukaan kawah Jonggring-Seloko terhubung dengan 3 sungai utama, yakni Besuk Bang dan Besuk Kembar di selatan, serta Besuk Kobokan di tenggara (Gambar 1). Selama 40 tahun terakhir, aliran piroklastik dapat melanda ketiga sungai utama tersebut, kemudian pada periode 2020-2023, luncuran aliran piroklastik lebih dominan ke arah Besuk Kobokan di tenggara (Tabel 1).

Peristiwa erupsi Semeru yang terjadi pada tanggal 1 Desember 2020 menghasilkan aliran piroklastik dengan landaan terjauh sejak erupsi yang terjadi pada tahun 2002 (Tabel 1). Karakteristik erupsi Semeru juga unik pada tiga tahun terakhir (2020-2022), yaitu erupsi skala besar (yang diselingi erupsi-erupsi kecil) selalu terjadi pada Bulan Desember dan menghasilkan landaan aliran piroklastik yang semakin menjauh (Tabel 1). Kajian mengenai kejadian erupsi Semeru 1 Desember 2020 menjadi hal yang menarik karena belum terdapat deskripsi detil yang komprehensif pada kronologi kejadian serta kondisi pre-eruptifnya baik jangka pendek maupun jangka panjang. Kajian tersebut dapat membantu dalam menganalisis kecenderungan aktivitas Semeru, sehingga dapat berkontribusi untuk prediksi erupsi di masa depan.

Selanjutnya, kajian tersebut dapat digunakan untuk mengembangkan strategi mitigasi bencana, sehingga dampak yang dihasilkan dari potensi bahaya erupsi Semeru dapat diminimalisasi.



Gambar 1. Arah Bukaan Kawah Jonggring Seloko Gunung Semeru yang terhubung dengan 3 sungai utama Besuk Kobokan, Besuk Bang, dan Besuk Kembar (peta dasar Landsat-8 komposit RGB 1-2-3 (natural color), citra pada tanggal 28/09/2018

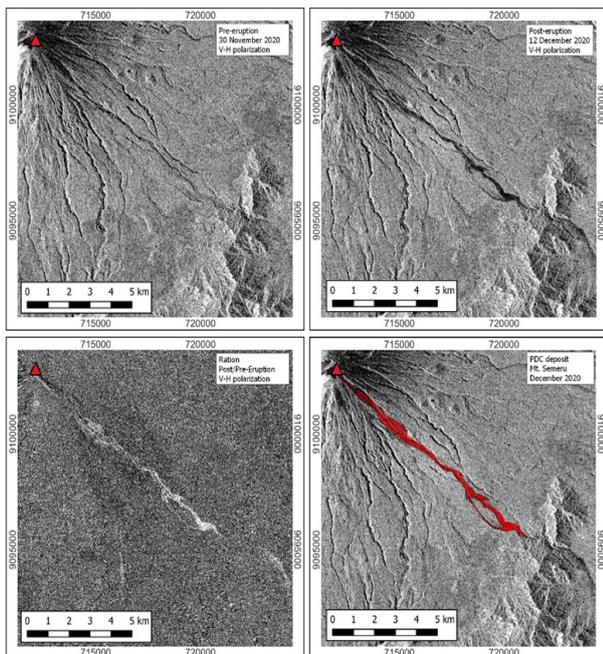
Tabel 1. Kejadian aliran piroklastik Gunung Semeru, arah dan jarak luncuran, serta estimasi volume endapan dalam 40 tahun terakhir

Waktu	VEI	Kejadian Letusan dan Aliran Piroklastik
Maret 1981	3	Luncuran sejauh 11 km ke arah tenggara (Besuk Kobokan, Besuk Kembar, dan Besuk Bang), volume 6,2 x 106 m3
Mei 1982	3	Luncuran ke arah tenggara (Besuk Kembar dan Lengkong)
Mei 1985	3	Guguran lava ke arah Tretes, volume 5x106 m3
Mei 1988	3	Luncuran ke arah tenggara (Besuk Kembar, Tretes, Besuk Koboan, Lengkong, volume 5 x 106 m3
Feb 1994	3	Luncuran sejauh 11,5 km ke arah tenggara (Besuk Kobokan, Besuk Kembar), volume 6,3 x 106 m
Juli 1995	3	Luncuran sejauh 7-11,5 km ke tenggara (Besuk Kembar dan Besuk Kobokan), volume 5,5 x 106 m3
Dec 2002	3	Luncuran sejauh 11,5 km ke arah Besuk Bang, volume 3,25 x 106 m3
Mei 2008		Kubah runtuh, meluncur ke arah tenggara sejauh maksimal 3 km
Feb 2012	3	Luncuran sejauh 2,5 km ke arah Besuk Kembar dan Besuk Kobokan
Feb 2016	3	Luncuran sejauh 4-5 km ke arah tenggara dan selatan
Dec 2020	3	Luncuran sejauh 11,5 km ke arah tenggara (Besuk Kobokan)
Dec 2021	3	Luncuran sejauh 16 km ke arah tenggara (Besuk Kobokan)
Dec 2022	3	Luncuran sejauh 19 km ke arah tenggara (Besuk Kobokan)

## Data dan Metode

Kronologi kejadian erupsi Semeru 1 Desember 2020 direkonstruksi menggunakan sumber informasi berupa rekaman CCTV yang didapatkan dari komunikasi internal dengan Pos Pengamatan Gunungapi Semeru serta *press release* kejadian erupsi yang dikeluarkan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Penyebaran endapan aliran piroklastik dibuat menggunakan metode rasio citra SAR Sentinel-1 dengan hasil pemrosesan citra yang ditampilkan pada Gambar 2, sementara dokumentasi area terdampak diperoleh melalui foto *drone* yang diambil sehari setelah kejadian erupsi serta informasi dari portal berita dan kanal media sosial berupa grup Telegram “Info Semeru”.

Kronologi pre-erupsi sepanjang tahun 2020 diperoleh melalui analisis citra SAR Sentinel-1 untuk melihat adanya kemungkinan perubahan morfologi bukaan kawah dan jalur luncuran aliran piroklastik, kenampakan citra Sentinel-2 saluran 12-11-8A yang diperoleh dari MIROVA untuk melihat kehadiran titik api di puncak dan kemungkinan perpindahan titik erupsi/titik runtuh lava pada erupsi skala kecil, serta analisis pola frekuensi kegempaan dengan data hasil pengamatan Pos Pengamatan Gunungapi G.Semeru, yang kemungkinan memiliki pengaruh terhadap perubahan morfologi kawah.



Gambar 2. Metode rasio citra SAR Sentinel-1 pada arah V-H untuk mendelineasi area endapan aliran piroklastik menggunakan citra pada tanggal 30/11/2020 (pre-erupsi) dan 12/12/2020 (post-erupsi)

Kronologi pre-erupsi jangka panjang dikaji menggunakan algoritma MODVOLC yang menggunakan data titik panas Semeru. MODVOLC merupakan algoritma untuk mendeteksi anomali panas citra satelit MODIS secara *near real time* dengan menggunakan data inframerah resolusi spasial rendah (1km/pixel). Data titik panas dapat digunakan sebagai perkiraan fluks temperatur dan volume yang terkait dengan aktivitas vulkanik. Produk akhir analisis ini adalah estimasi volume produk erupsi kumulatif dan laju ekstrusi material vulkanik Semeru selama tahun 2000 – 2023.

## HASIL

### Kronologi kejadian erupsi dan sebaran endapan aliran piroklastik 1 Desember 2020

Menurut dan juga laporan aktivitas harian Semeru pada grup Telegram “Info Semeru”, erupsi Semeru 1 Desember 2020 didahului oleh karakteristik visual berupa peningkatan aktivitas keluaran asap kawah dan erupsi menerus dengan ketinggian kolom abu maksimal 500 m sejak bulan Oktober hingga November 2020, kemudian pada tanggal 28 November 2020 terdapat peningkatan kejadian guguran batuan dan awan panas dari ujung lidah lava dengan jarak luncur maksimal 1000 m. Pada tanggal 29 November 2020, setidaknya telah terjadi guguran lava sebanyak 13 kali dengan jarak luncur maksimum 1500 m dan awan panas guguran dengan jarak luncur 1000 m. Pada tanggal 30 November 2020, guguran lava terjadi sebanyak 6 kali dari ujung lidah lava.

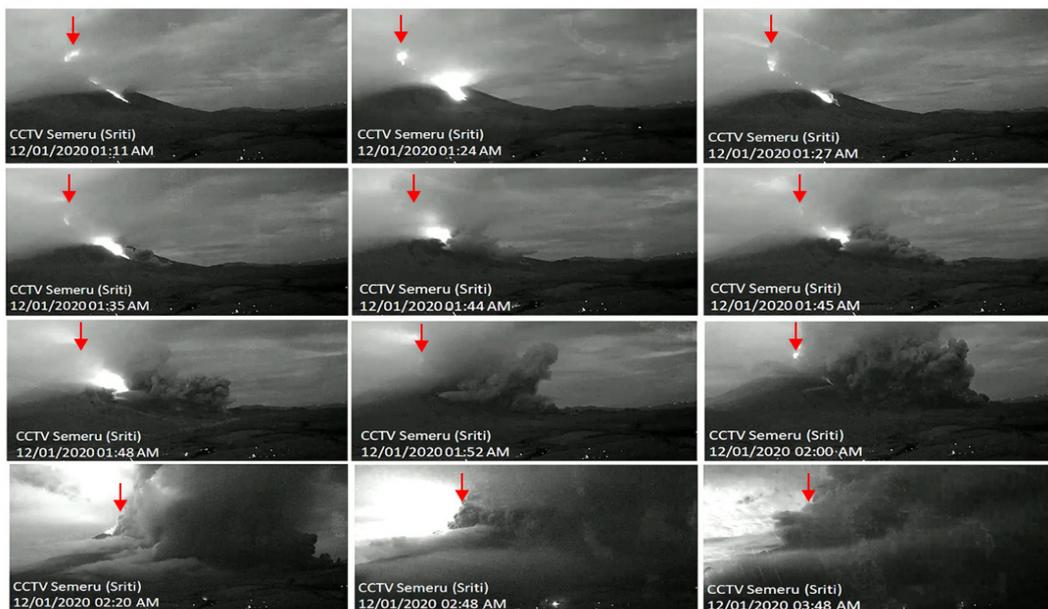
Kejadian erupsi Semeru 1 Desember 2020 berlangsung dimulai dari dini hari. Menurut, lava pijar dengan jarak luncur 1000 m sudah terlihat dari ujung lidah lava sejak 30 November 2020 pukul 23:35, kemudian setelah itu guguran lava pijar dan awan panas guguran terus terjadi dengan jarak luncur dan ukuran yang terus bertambah. Video CCTV digunakan untuk mengkaji kronologi detail kejadian erupsi, yang diambil dari lokasi Sriti di baratdaya Semeru (Gambar 3). Pada pukul 01:11 WIB, guguran lava pijar terlihat menuruni lereng tanpa pembentukan awan panas yang signifikan. Di puncak Semeru, terlihat adanya titik api vertikal yang mengindikasikan terjadinya erupsi pusat. Pada pukul 01:24 WIB, guguran lava masih berlangsung, titik api di puncak semakin terang, serta diamati adanya letupan cahaya di bagian lereng, kejadian ini diikuti oleh terbentuknya awan panas yang terlihat sekitar pukul 01:27 WIB. Pada pukul 01:35 WIB, letupan cahaya kembali teramati dan diikuti oleh kejadian awan panas yang meluncur semakin jauh hingga perbedaan jarak luncur yang terlihat pada pukul 01:48 WIB. Pada sekitar pukul 01:50 WIB, letupan

cahaya besar teramati, kemudian pada pukul 01:52 WIB terdapat fluks aliran awan panas baru dengan ukuran lebih besar dan jarak luncur yang semakin jauh, yang juga disertai kenampakan hampasan lateral yang lebih jelas. Pada pukul 02:00 WIB, jarak luncur dan ketinggian awan panas semakin bertambah, demikian juga dengan ketinggian asap dari kolom erupsi. Titik api di puncak juga teramati menyala dengan lebih terang dan konstan. Menurut keterangan pengamat pada pukul 02:00 WIB jarak luncur awan panas sudah mencapai 3000 m dan terdapat himbaun untuk waspada. Skala erupsi terus membesar, hingga sekitar pukul 02:48 WIB pergerakan awan panas sudah tidak dapat diamati dengan baik karena jarak luncurnya melebihi medan pandang kamera. Karena kolom abu yang semakin meninggi dan landaan awan panas yang semakin luas, sekitar pukul 03:00 WIB dan setelahnya diamati banyak terjadi kilatan petir yang berasosiasi dengan erupsi. Menurut komunikasi personal dengan Pengamat Gunungapi G. Semeru, pada pukul 03:00 WIB dilaporkan hujan abu sudah sampai di Pos Pengamatan Gunungapi G. Semeru di Gunung Sawur, dan pada pukul 04:33 WIB dilaporkan jarak luncur awan panas mencapai 11.000 m, serta pada pukul 05:40 WIB awan panas mencapai Besuk Kobokan.

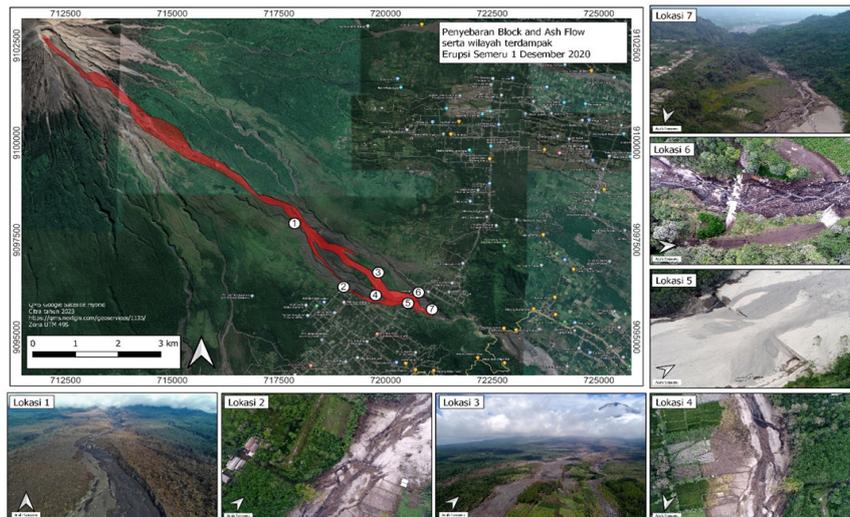
Peta penyebaran endapan aliran piroklastik yang didapatkan dari pemrosesan citra SAR Sentinel-1 memperlihatkan jarak luncur endapan  $\pm$  11.5 km ke arah tenggara (Gambar 4) atau menuju Curah Kobokan. Tubuh endapan piroklastik tersebut

terlihat mengikuti alur lembah dengan ujung aliran yang tidak memperlihatkan bentuk mengipas. Berkurangnya karakteristik kekasaran permukaan yang terlihat pada citra SAR post-erupsi (12/12/2020) sepanjang endapan aliran piroklastik (Gambar 2) mengindikasikan endapan didominasi oleh ukuran butir yang halus.

Beberapa keadaan wilayah yang terdampak oleh aliran piroklastik ditunjukkan oleh foto drone yang diambil sehari setelah kejadian erupsi, yaitu pada tanggal 2 Desember 2020 (Gambar 4). Dari keseluruhan lokasi, dapat dilihat bahwa material yang diendapkan didominasi oleh fragmen berukuran abu yang disertai oleh material blok. Pada lokasi 1 yang paling dekat dengan hulu, terlihat endapan tidak mengisi lembah secara penuh, namun terlihat area yang cukup luas dengan vegetasi mati akibat hembusan awan panas. Pada lokasi 2, di Dusun Sumpersari, masih terlihat kepulan asap (di bagian bawah gambar) serta sebagian lahan perkebunan dan bangunan tertimbun (di bagian kanan gambar). Pada lokasi 3, terlihat endapan piroklastik yang melalui lembah sungai bagian barat dan tengah namun tidak melalui lembah sempit di sebelah timur (dilihat dari keberadaan area dengan vegetasi mati dan karakteristik endapan), pada foto ini juga terlihat area luas vegetasi yang mati (berwarna kekuningan) di bagian yang lebih dekat dengan Gunung Semeru. Pada lokasi 4, area terdampak ditandai oleh vegetasi yang mati dan juga sebagian pohon yang tertutup oleh abu vulkanik. Di sekitar lokasi ini pula, ditemukan belasan hewan ternak yang mati di kandangnya.



Gambar 3. Foto tangkapan layar CCTV di Sriti yang memperlihatkan kronologi kejadian erupsi dan aliran piroklastik Gunung Semeru pada tanggal 1 Desember 2020 dini hari, lokasi puncak ditandai oleh panah merah



Gambar 4. Peta penyebaran aliran piroklastik Semeru 1 Desember 2020 (peta dasar QMS Google Satellite Hybrid, citra tahun 2023) serta dokumentasi kondisi wilayah terdampak (foto drone).

Di bagian yang lebih hilir (lokasi 5-7), lokasi 5 merupakan lokasi di sekitar tambang pasir, memperlihatkan bendungan dan jalan penyebrangan yang tertimbun total oleh material aliran piroklastik. Perbedaan warna endapan kemungkinan menunjukkan aliran yang terjadi lebih dari sekali atau akibat adanya aliran lahar setelah peristiwa terjadi. Di lokasi ini, tepatnya di sisi bagian barat dam, terdapat belasan alat berat penambang pasir yang tertimbun dan juga terdapat satu orang korban tewas yang merupakan operator alat berat. Pada lokasi 6, tidak terdapat jejak endapan material pada lembah sungai, namun beberapa pohon terlihat tertutup oleh abu akibat hembusan. Pada ujung aliran piroklastik di lokasi 7, terlihat batas lahan dan vegetasi yang tertutup material piroklastik. Atap pemukiman yang berada di bagian kiri gambar terlihat tertutup oleh abu. Meskipun di sekitar lokasi ini merupakan ujung endapan, terdapat dampak lain yang terjadi di area yang tidak dicapai oleh aliran piroklastik. Desa yang berada di balik punggung pada foto lokasi 7 (arah tenggara) dilaporkan mengalami hujan abu lebat saat menjelang pagi hari, selain itu lahar panas yang terjadi selama beberapa hari setelah erupsi dilaporkan mengalir hingga melewati jembatan Gladak Perak yang berada sekitar 1.5 km di tenggara ujung endapan.

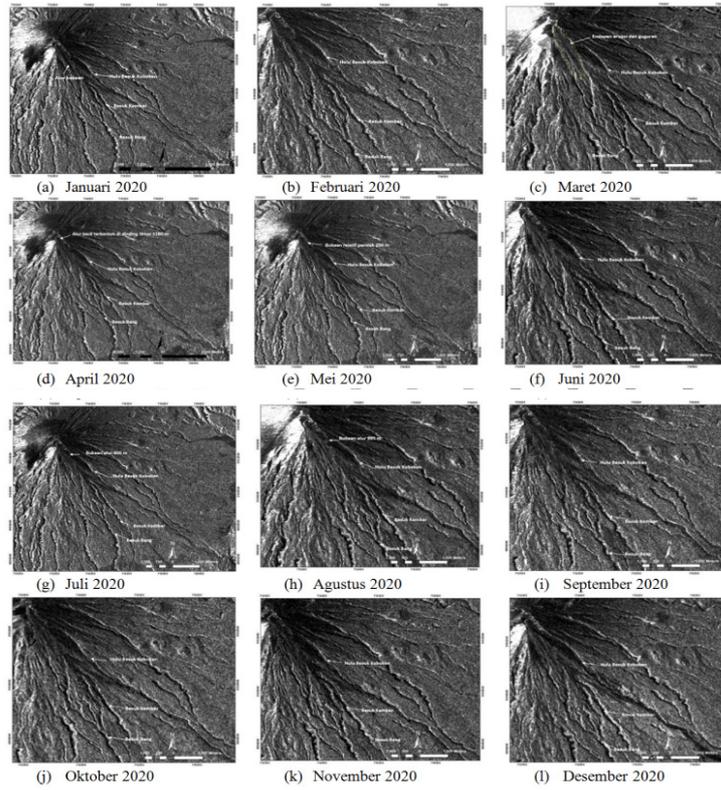
#### Kronologi pre-erupsi jangka pendek (sepanjang tahun 2020)

Analisis citra Sentinel-1 pada puncak Gunungapi Semeru selama periode 2020 (Gambar 5) memperlihatkan bahwa perubahan morfologi pada puncak dan situasi Kawah Jonggring Seloko terjadi

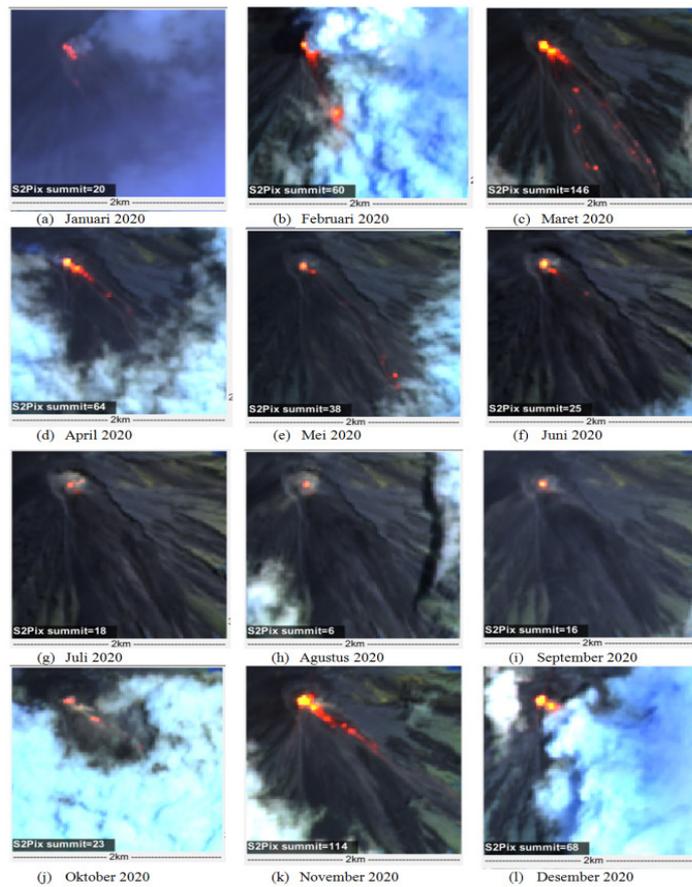
secara perlahan yang dimulai dengan penutupan jalur bukaan ke arah selatan oleh material erupsi dan guguran dalam periode Januari hingga Maret 2020. Alur bukaan ke arah tenggara yang mengarah ke Besuk Kobokan mulai terbentuk sejak April 2020 yang ditandai dengan terbentuknya alur yang berada dekat dengan dinding bagian timur dari Kawah Jonggring Seloko. Bukaan alur ini mencapai maksimal dan terhubung dengan hulu Besuk Kobokan secara permanen pada periode 19 September 2020, dengan bukaan sejauh 1500 m (Tabel 2).

Citra Sentinel-2 saluran 12-11-8A yang diperoleh dari MIROVA sepanjang tahun 2020 memperlihatkan adanya perpindahan titik erupsi dan titik runtuh dari tumpukan material yang berada pada Kawah Jonggring Seloko. Pada periode Januari-Februari, titik erupsi berada pada dinding barat Kawah Jonggring Seloko dan guguran berarah ke Selatan. Pada periode Maret-Desember, titik erupsi berpindah ke pusat Kawah Jonggring Seloko dan titik runtuh yang menghasilkan guguran berarah ke tenggara (Gambar 6).

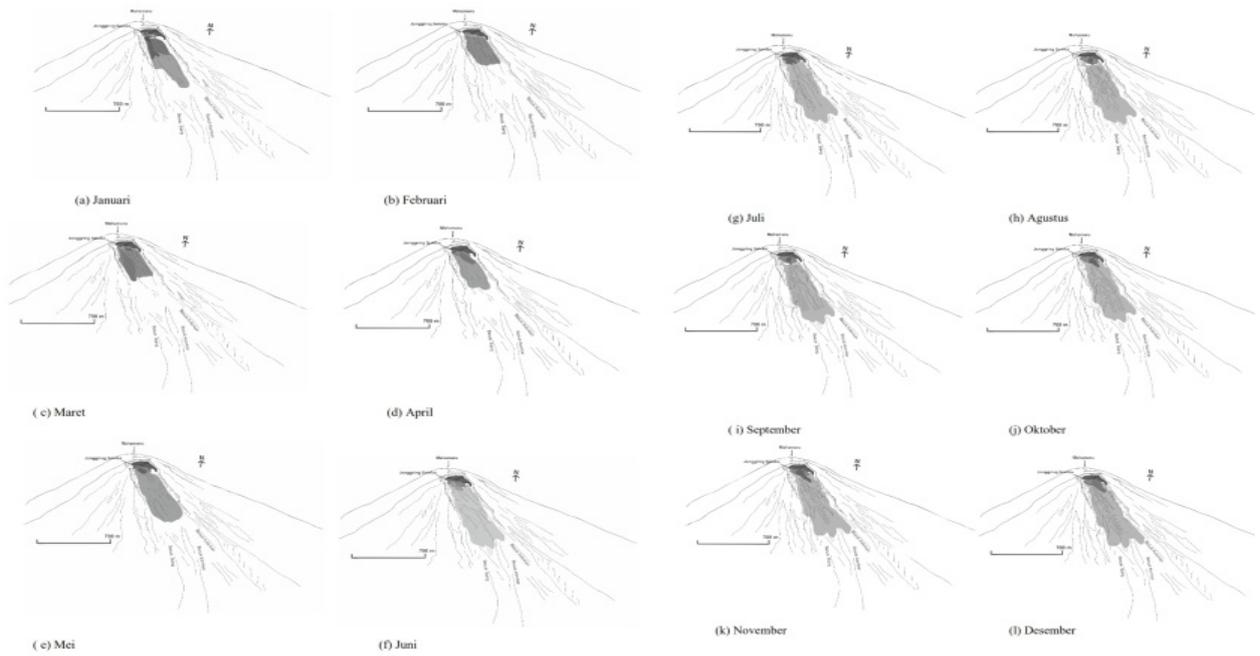
Data aktivitas kegempaan sepanjang tahun 2020 (Gambar 8) menunjukkan kurang lebih terdapat kesamaan pola antara gempa letusan dan gempa hembusan, serta antara gempa guguran dan gempa tremor. Pemunculan gempa guguran dan tremor mengalami peningkatan sejak akhir November dan banyak terjadi hingga akhir Desember, gempa hembusan mengalami peningkatan di bulan Desember, sementara frekuensi gempa letusan sepanjang akhir tahun justru lebih rendah dibandingkan bulan-bulan sebelumnya.



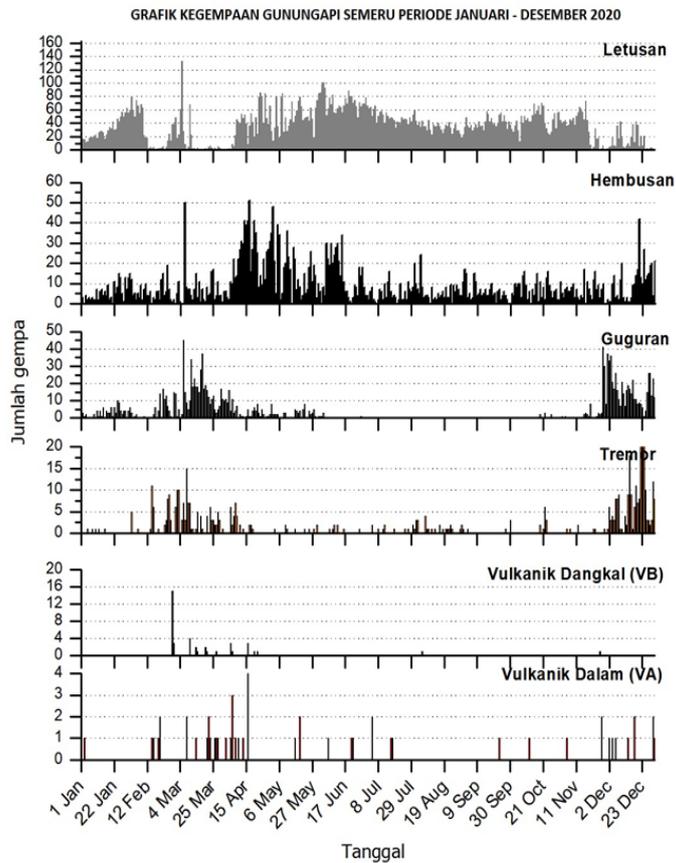
Gambar 5. Citra SAR Sentinel-1 yang memperlihatkan evolusi morfologi bukaan kawah Jonggring Seloko selama tahun 2020



Gambar 6. Perpindahan titik erupsi dan titik runtuh Gunung Semeru periode Januari-Desember 2020



Gambar 7 . Sketsa perubahan arah dan perpindahan titik runtuh kubah lava Kaha Jonggring Seloko Januari-Desember 2020.



Gambar 8. Data frekuensi gempa yang tercatat pada stasiun seismik Semeru sepanjang tahun 2020

Tabel 2. Deskripsi evolusi panjang dan arah bukaan kawah Jonggring Seloko sepanjang tahun 2020 hasil interpretasi kenampakan pada citra SAR Sentinel-1

Tanggal	Panjang (m)	Arah	Sungai	Keterangan
23-Jan	2500	Selatan	Besuk Bang dan Besuk Kembar	Bukaan alur landaan masih jelas, belum tertutupi material erupsi dan guguran
28-Feb	2500	Selatan	Besuk Bang dan Besuk Kembar	Bukaan alur landaan ke selatan mulai tertutupi material, terutama pada puncak, namun jalur bukaan masih jelas ke arah selatan.
23-Mar	-	-	-	Material erupsi dan guguran mulai menutupi jalur ke selatan
28-Apr	100	Tenggara	Besuk Kobokan	Bukaan kecil dekat dinding timur Kawah Jonggring Seloko, ke arah tenggara
10-May	200	Tenggara	Besuk Kobokan	Bukaan ke tenggara, belum mencapai hulu Besuk Kobokan
27-Jun	300	Tenggara	Besuk Kobokan	Belum mencapai hulu Besuk Kobokan
21-Jul	600	Tenggara	Besuk Kobokan	Belum mencapai hulu Besuk Kobokan
26 Agt	995	Tenggara	Besuk Kobokan	Bukaan alur mendekati hulu Besuk Kobokan
19-Sep	1500	Tenggara	Besuk Kobokan	Terhubung dengan hulu Besuk Kobokan
13-Oct	2500	Tenggara	Besuk Kobokan	Terhubung dengan hulu Besuk Kobokan
18 Nov	3500	Tenggara	Besuk Kobokan	Terhubung dengan hulu Besuk Kobokan
12-Dec	11500	Tenggara	Besuk Kobokan	Bukaan permanen ke arah Besuk Kobokan

Tipe gempa terkait perubahan morfologi Jonggring Seloko adalah gempa letusan, gempa hembusan, dan gempa guguran. Gempa-gempa ini mengindikasikan adanya material erupsi yang diendapkan pada Kawah Jonggring Seloko. Pada tanggal 12 Februari hingga 15 April 2020, jarang diamati adanya gempa letusan, kecuali pada awal Maret 2020. Sebaliknya, pada periode ini gempa guguran lebih mendominasi. Gempa hembusan terjadi secara intensif pada tanggal 15 April-17 Juni 2020. Gempa letusan terjadi secara intensif pada periode 15 April-11 November 2020. Hal ini berbanding terbalik dengan kejadian gempa guguran (Gambar 8).

#### Kronologi pre-erupsi jangka panjang (tahun 2000 - 2023)

Analisis data titik panas jangka panjang Gunungapi Semeru menunjukkan akumulasi volume material erupsi dan laju ekstrusi material erupsi berfluktuasi, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Akumulasi volume material erupsi terlihat membentuk tren yang cenderung linier, sedangkan laju ekstrusi material vulkanik mengalami peningkatan yang cenderung landai hingga tahun 2008, kemudian terjadi fluktuasi yang disertai peningkatan laju yang lebih signifikan sejak tahun 2011.

#### Diskusi (kronologi, sebaran, jangka pendek, jangka panjang)

Kronologi erupsi Semeru pada 1 Desember 2020 secara visual didahului oleh peningkatan aktivitas

keluaran asap dan erupsi kecil menerus sejak Oktober 2020. Selain itu, peningkatan aktivitas guguran lava dan awan panas guguran skala menengah terjadi 3 hari sebelum erupsi besar. Sementara itu, aktivitas kegempaan pada akhir November memperlihatkan peningkatan jumlah gempa guguran, namun gempa letusan justru mengalami penurunan dibandingkan bulan-bulan sebelumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa erupsi besar Semeru yang diikuti dengan guguran yang menghasilkan aliran piroklastik tidak selalu ditandai oleh gempa letusan, namun peningkatan frekuensi gempa guguran dapat menjadi indikasi prekursor terjadinya erupsi, yang diawali oleh perpindahan titik runtuh dan titik erupsi pada Kawah Jonggring Seloko.

Berdasarkan visual CCTV dan peta sebaran endapan, kejadian aliran piroklastik 1 Desember 2020 merupakan *block and ash flow* yang disertai dengan *pyroclastic surge* atau awan panas. Kejadian diawali oleh guguran lava menerus yang berasal dari puncak Semeru. Letupan cahaya yang terjadi sebelum terlihatnya awan panas mengindikasikan bahwa letupan tersebut memicu kejadian awan panas, yang kemungkinan merupakan campuran gas dan material magmatik pijar dari *conduit* yang berhasil lolos akibat turunnya tekanan permukaan akibat guguran lava. Kejadian letupan cahaya dan inisiasi awan panas ini terjadi berulang kali dan fluktuatif namun cenderung meningkat, dengan jarak tempuh awan panas yang saling *overlap*. Untuk erupsi 1 Desember 2020, kemungkinan, kejadian awan panas dengan jarak

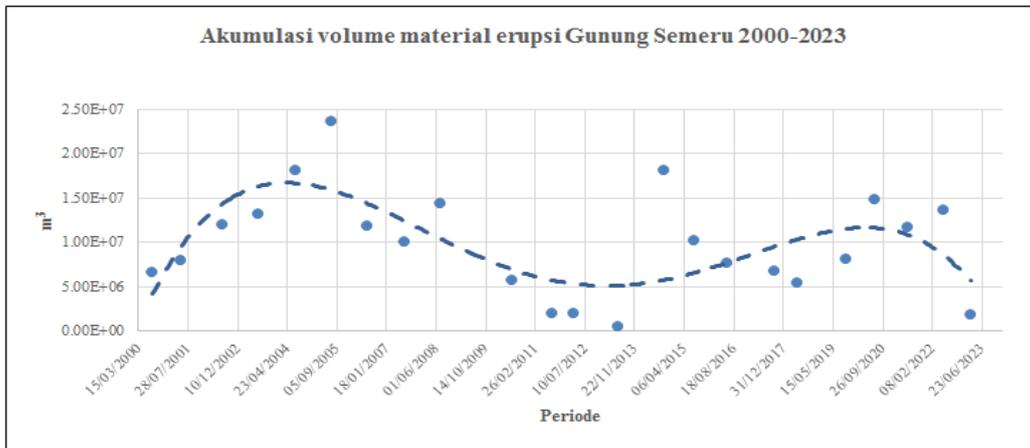
luncur yang semakin bertambah berhubungan dengan suplai material magmatik yang lebih banyak pula, disamping faktor menumpuknya material di puncak.

Peta sebaran endapan aliran piroklastik lampau dapat direkonstruksi dari pemrosesan citra SAR. Metode rasio citra yang digunakan pada penelitian ini dapat memberikan gambaran sebaran endapan yang mendekati kondisi lapangan, yang dikonfirmasi dengan foto drone wilayah terdampak maupun konfirmasi jarak luncuran dengan laporan peristiwa erupsi. Selain itu, deskripsi dampak erupsi penting untuk disajikan secara spasial.

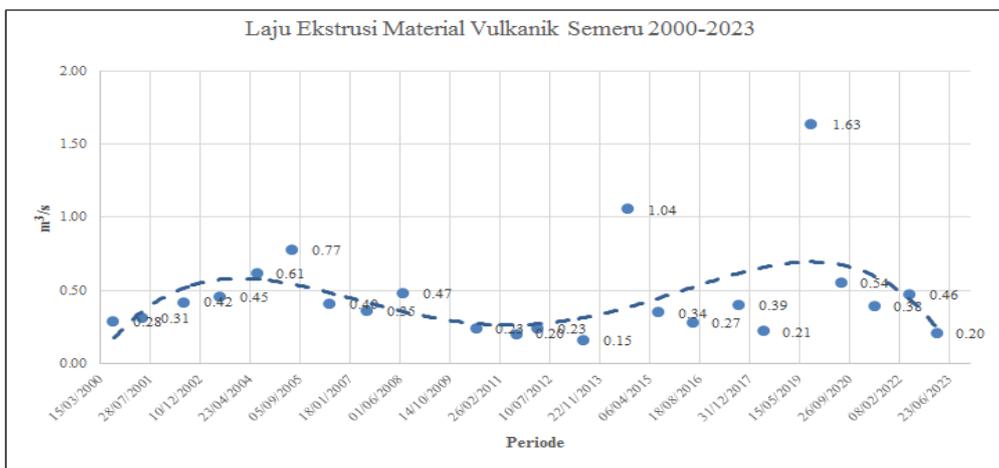
Perubahan morfologi bukaan kawah dan titik runtuh lava di Jonggring Seloko pada kondisi pre-eruptif sepanjang tahun 2020 (Maret-April 2020) memiliki pola dengan intensitas kegempaan. Pada periode 12 Februari-15 April, Gunungapi Semeru minim gempa letusan dan hembusan, akan tetapi didominasi

oleh gempa guguran. Hal ini bertepatan dengan perpindahan titik erupsi ke arah kawah yang lebih sentral. Hal ini mengakibatkan material guguran dapat menutupi bukaan ke arah selatan (Gambar 5).

Data kegempaan pada periode Januari-Desember 2020 juga berkorelasi dengan data titik panas jangka panjang, yang mana ekstrusi material erupsi dan akumulasi volume berbanding lurus dengan jumlah gempa letusan, hembusan, dan gempa guguran. Pada periode 15 April-11 November 2020, gempa guguran minim terjadi, sebaliknya gempa hembusan dan gempa letusan terjadi secara intensif, dan sejak Maret titik erupsi berpusat di tengah Kawah Jonggring Seloko, dengan arah guguran ke tenggara. Proses ini menjadikan tumpukan material pada puncak dan sekitar Kawah Jonggring Seloko semakin banyak, yang juga berkontribusi terhadap material aliran piroklastik 1 Desember 2020.



Gambar 9. Akumulasi volume material erupsi Gunung Semeru pada periode tahun 2000-2023



Gambar 10. Laju ekstrusi material erupsi Gunung Semeru periode 2000-2023

Peningkatan akumulasi volume material vulkanik dan laju ekstrusi material berdasarkan data kegempaan dan anomali thermal Gunungapi Semeru tengah terjadi hingga sekarang (tahun 2023). Pada tiga tahun terakhir (2020-2023), meskipun telah terjadi aliran piroklastik skala besar pada Desember 2020, akumulasi volume dan laju ekstrusi material erupsi terus mengalami peningkatan. Erupsi yang terjadi pada 4 Desember 2021 mengalir sejauh 16 km, kemudian mencapai 19 km pada 4 Desember 2022 keduanya lebih jauh dibandingkan jarak luncuran aliran piroklastik 1 Desember 2020. Oleh karena itu, kemungkinan, peningkatan jarak ini disebabkan oleh faktor magmatik, dan akan memiliki skala letusan atau kecenderungan jarak yang semakin bertambah ke depannya.

## KESIMPULAN

Kejadian aliran piroklastik 1 Desember 2020 didahului oleh peningkatan jumlah-gempa guguran tanpa disertai peningkatan jumlah gempa letusan yang signifikan. Kejadian aliran piroklastik didahului oleh guguran lava dari puncak Gunungapi Semeru yang jumlahnya semakin meningkat. Awan panas yang dipicu oleh guguran lava terbentuk beberapa kali

dengan jarak landaan terjauh 11.5 km. Area sebaran endapan dapat dipetakan melalui analisis citra satelit yang dipadukan dengan laporan kejadian. Penyajian data kronologi secara visual dan spasial penting untuk dilakukan untuk mempermudah mempelajari erupsi historis gunungapi.

Pemantauan kondisi pre-eruptif jangka pendek melalui citra satelit dan kegempaan memperlihatkan perubahan titik runtuh, morfologi bukaan kawah, serta akumulasi material guguran yang menyebabkan aliran piroklastik 1 Desember 2020 lebih mungkin untuk meluncur ke arah Besuk Kobokan dibandingkan Besuk Kembar atau Besuk Bang. Sementara itu, pada kasus Gunungapi Semeru, kondisi jangka panjang berupa akumulasi volume dan laju ekstrusi produk vulkanik yang meningkat dapat menjadi indikasi jarak luncur aliran piroklastik Semeru yang kemungkinan akan meningkat ke depannya. Pemantauan rutin terhadap morfologi bukaan kawah dan lereng Semeru, lokasi titik runtuh dan akumulasi material di sekitar puncak, serta tren terhadap akumulasi volume dan laju ekstrusi material penting untuk dilakukan agar arah luncuran dan kecenderungan jarak luncur aliran piroklastik dapat diprediksi dengan lebih akurat.

## REFERENSI

- Sutawidjaja, I.S., Wahyudin, D., Kusdinar, E., "Peta Geologi Gunungapi Semeru, Jawa Timur", Direktorat Vulkanologi, Volcanological Survey of Indonesia, Bandung, 1996.
- J.-C. Thouret, F. Lavigne, H. Suwa, B. Sukatja, and Surono, "Volcanic hazards at Mount Semeru, East Java (Indonesia), with emphasis on lahars," *Bull Volcanol*, vol. 70, no. 2, pp. 221–244, Nov. 2007, doi: 10.1007/s00445-007-0133-6.
- M. Shimomura, W. F. S. Banggur, A. Loeqman, "Numerical Simulation of Pyroclastic Flow at Mt. Semeru in 2002," *JDR*, vol. 14, no. 1, pp. 116–125, Feb. 2019.
- A. Saepuloh, K. Koike, M. Omura, "SAR-and gravity change-based characterization of the distribution pattern of pyroclastic flow deposits at Mt. Merapi during the past 10 years", *Bull Volcanol*, vol. 72, pp. 221-232, 2010.
- Massimetti et al., Volcanic Hot-Spot detection using SENTINEL-2: A comparison with MODIS-MIROVA thermal data series. *Remote Sensing*, 12 (5), 2020, DOI: 10.3390/rs12050820 ([www.mirovaweb.it](http://www.mirovaweb.it))
- "MODVOLC." <http://modis.higp.hawaii.edu/>
- R. Wright, L. Flynn, H. Garbeil, A. Harris, and E. Pilger, "Automated volcanic eruption detection using MODIS," *Remote Sensing of Environment*, vol. 82, no. 1, pp. 135–155, Sep. 2002, doi: 10.1016/S0034-4257(02)00030-5.
- R. Wright, L. P. Flynn, H. Garbeil, A. J. L. Harris, and E. Pilger, "MODVOLC: near-real-time thermal monitoring of global volcanism," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 135, no. 1–2, pp. 29–49, Jul. 2004, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2003.12.008.
- Badan Geologi, "Press release aktivitas vulkanik G. Semeru – Jawa Timur, 1 Desember 2020", [Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi - Badan Geologi \(esdm.go.id\)](http://pusat.vulkanologi.esdm.go.id/).
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana, "Awan panas guguran Gunung Semeru berjarak luncur 2000 meter", [Awan Panas Guguran Gunung Semeru Berjarak Luncur 2.000 Meter - BNPB](http://www.bnpb.go.id/).
- Zainuddin, "11 Hewan ternak mati dan 1 orang meninggal akibat letusan Gunung Semeru di Lumajang", berita Rabu, 2 Desember 2020, [11 Hewan Ternak Mati dan 1 Orang Meninggal Akibat Letusan Gunung Semeru di Lumajang - Suryamalang.com \(tribunnews.com\)](http://tribunnews.com).
- Mushleh Sablon, video amatir hujan abu di Desa Sumberwuluh, Kec. Candipuro, unggahan 1 Desember 2020, <https://www.facebook.com/100020578361129/videos/660587297970543/>

- 
- Beritajatim.com, video liputan kondisi Jembatan Gladak Perak di pagi hari, unggahan 2 Desember 2020, [https://fb.watch/kIYfw9\\_dTa/](https://fb.watch/kIYfw9_dTa/)
- Global Volcanism Program | Report on Semeru (Indonesia) — 1 December-7 December 2021. <https://volcano.si.edu/ShowReport.cfm?wvar=GVP.WVAR20211201-263300>
- Global Volcanism Program | Report on Semeru (Indonesia) — 30 November-6 December 2022.” <https://volcano.si.edu/ShowReport.cfm?wvar=GVP.WVAR20221130-263300>