

Identifikasi Perubahan Morfologi Kubah Lava Gunung Merapi Menggunakan DEM Dari Foto Udara Tahun 2024-2025

Jefry Ryan Yanuar Choiri^{1*}, Ir. Rochmad Muryamto, M.Eng. Sc², Andika Bayu Aji, S.T., M.Eng., Ph.D³

¹Teknologi Survei dan Pemetaan Dasar, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

²Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

³Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi, Indonesia

Research Article

DOI:

10.22146/jgst.v4i1.27905

correspondence:

jefry.ryan0402@mail.ugm.ac.id

Article history:

Received:

13-01-2026

Accepted:

06-04-2026

Published:

31-06-2026

ABSTRACT

Mount Merapi, located on the border of Central Java and the Special Region of Yogyakarta, is one of the most active volcanoes in Indonesia, characterized by repeated lava dome growth. Morphological changes in the lava domes, particularly the central and southwest domes, play an important role in triggering lava avalanches and pyroclastic density currents that threaten surrounding areas. This study aims to identify the morphological changes of Mount Merapi lava domes, calculate volume changes, and analyze extrusion rates. The data used consist of aerial photographs acquired by an Unmanned Aerial Vehicle from the Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation and processed using Agisoft Metashape to generate orthophotos, Digital Elevation Models, and three-dimensional models. The geometric accuracy shows horizontal accuracy (CE90) of 1.05–1.37 m and vertical accuracy (LE90) of 0.81–0.98 m. Volume changes were calculated using the cut and fill method, while extrusion rates were derived from volume differences between observation periods. The results indicate that the central lava dome experienced volume decreases of 62,027 m³ (March 30–July 11, 2024) and 83,235 m³ (July 11–23, 2024), followed by an increase of 80,426 m³ (July 23, 2024–April 26, 2025). The southwest dome showed more significant changes, with decreases of 86,853 m³ and 58,364 m³, and a substantial increase of 558,163 m³ in the final period. The extrusion rate of the central dome reached 290 m³/day, while the southwest dome exceeded 2,015 m³/day. The results were also visualized in a web-based three-dimensional map using ArcGIS Online, providing a clearer representation of morphological changes.

Keywords: extrusion rate, lava dome, morphology, Mount Merapi, volume change

INTISARI

Gunung Merapi yang terletak di perbatasan Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu gunung berapi paling aktif di Indonesia yang ditandai oleh pertumbuhan kubah lava secara berulang. Perubahan morfologi kubah lava, terutama pada kubah tengah dan barat daya, berperan penting dalam memicu guguran lava dan awan panas guguran yang mengancam wilayah di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan morfologi kubah lava Gunung Merapi, menghitung perubahan volume, serta menganalisis laju ekstrusi. Data yang digunakan berupa foto udara hasil akuisisi *Unmanned Aerial Vehicle* yang diperoleh dari Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi dan diolah menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape untuk menghasilkan *ortofoto*, *Digital Elevation Model*, dan model tiga dimensi. Ketelitian foto udara menunjukkan ketelitian horizontal (CE90) sebesar 1,05–1,37 m dan ketelitian vertikal (LE90) sebesar 0,81–0,98 m. Perubahan volume dihitung menggunakan metode *cut and fill*, sedangkan laju ekstrusi diperoleh dari selisih volume antar periode pengamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kubah lava tengah mengalami penurunan volume sebesar 62.027 m³ (30 Maret 2024–11 Juli 2024) dan 83.235 m³ (11–23 Juli 2024), kemudian meningkat sebesar 80.426 m³ (23 Juli 2024–26 April 2025). Kubah barat daya mengalami penurunan sebesar 86.853 m³ dan 58.364 m³, serta peningkatan sebesar 558.163 m³ pada periode akhir. Laju ekstrusi kubah tengah sebesar 290 m³/hari, sedangkan kubah barat daya mencapai lebih dari 2.015 m³/hari. Hasil pemodelan juga divisualisasikan dalam bentuk

peta tiga dimensi berbasis web menggunakan ArcGIS Online, yang membantu menampilkan perubahan morfologi secara lebih jelas.

Kata kunci: Gunung Merapi, kubah lava, laju ekstrusi, morfologi, perubahan volume

1. Pendahuluan

Indonesia berada pada zona tektonik aktif *Ring of Fire* sehingga memiliki tingkat aktivitas vulkanik yang tinggi, dengan sekitar 13% gunung api aktif dunia berada di wilayah ini (Retnowati dkk., 2018). Berdasarkan klasifikasi Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Gunung Merapi termasuk gunung api Tipe A karena memiliki riwayat erupsi magmatik setelah tahun 1600 Masehi dan hingga kini menunjukkan aktivitas vulkanik yang berkelanjutan (Shalih dkk., 2023). Sejak ditetapkan status Siaga (Level III) pada 5 November 2020, aktivitas Gunung Merapi didominasi oleh erupsi efusif bertipe Merapi yang dicirikan oleh pertumbuhan kubah lava di kawah tengah dan barat daya (ESDM, 2020; ESDM, 2021).

Pertumbuhan kubah lava yang berlangsung secara bertahap menyebabkan akumulasi material yang berpotensi tidak stabil, terutama pada bagian tepi kubah. Ketidakstabilan ini dapat memicu guguran lava dan awan panas guguran yang berbahaya bagi wilayah sekitarnya. Salah satu kejadian signifikan terjadi pada 20 Juli 2024, ketika awan panas guguran meluncur sejauh ± 1.200 m ke arah barat daya, dengan potensi bahaya mencakup beberapa alur sungai utama di sektor selatan–barat daya Gunung Merapi (ESDM, 2024).

Perubahan morfologi kubah lava dan kawah gunung merupakan respons langsung terhadap aktivitas erupsi. Ambarwati (2016) menunjukkan adanya perubahan morfologi yang signifikan pasca-erupsi besar Gunung Merapi tahun 2010, termasuk inflasi puncak hingga ± 100 m. Penelitian lain menggunakan DInSAR juga mengidentifikasi deformasi kubah lava Merapi pada erupsi tahun 2018 dengan nilai deflasi sekitar 0,194 m (Nurtyawan & Utami, 2020). Selain itu, informasi perubahan volume dan laju ekstrusi kubah lava diketahui memiliki keterkaitan dengan intensitas aktivitas erupsi dan potensi bahaya yang ditimbulkan (Harnett dkk., 2019).

Seiring berkembangnya teknologi penginderaan jauh, pemanfaatan foto udara UAV menjadi alternatif efektif dalam pemantauan gunung api karena mampu memetakan area berbahaya dan sulit dijangkau dari lokasi yang aman, serta menghasilkan data dengan resolusi lebih tinggi dibandingkan sebagian besar citra satelit (Civico dkk., 2021). Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi perubahan morfologi kubah lava Gunung Merapi pada periode Maret 2024 hingga April 2025, termasuk fase pasca-erupsi 20 Juli 2024, melalui analisis data UAV *multi-temporal*. Identifikasi dilakukan terhadap perubahan bentuk, volume, dan laju ekstrusi kubah lava tengah dan barat daya. Perhitungan perubahan volume dilakukan menggunakan metode *cut and fill* dengan membandingkan permukaan DEM antar periode, sehingga dapat menggambarkan dinamika pertumbuhan dan pengurangan kubah lava sebagai dasar penilaian potensi bahaya dan mitigasi bencana.

2. Data

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di area puncak Gunung Merapi, dengan fokus pada kubah lava aktif yang terbentuk selama fase erupsi efusif, yaitu kubah lava tengah dan kubah lava barat daya. Kubah lava tengah memiliki luas sekitar 7,5 ha, sedangkan kubah lava barat daya seluas sekitar 7 ha. Secara administratif, Gunung Merapi terletak di perbatasan Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta.

2.2. Data yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG), meliputi :

1. Foto udara area puncak Gunung Merapi hasil akuisisi UAV pada empat periode pengamatan, yaitu 30 Maret 2024, 11 Juli 2024, 23 Juli 2024, dan 26 April 2025.
2. Data *control point* sebanyak 25 titik, terdiri atas 10 *Ground Control Point* (GCP) dan 15 *Independent Check Point* (ICP), dengan sistem proyeksi UTM Zona 49S dan datum horizontal WGS 1984.
3. Data ortofoto area puncak Gunung Merapi hasil akuisisi tahun 2020 sebagai acuan georeferensi.
4. Data batas (*boundary*) kubah lava tengah dan barat daya Gunung Merapi dalam format *shapefile* dengan skala 1:25.000, menggunakan sistem proyeksi UTM Zona 49S dan datum WGS 1984.

3. Metodologi

Tahapan penelitian meliputi pengolahan foto udara, perhitungan ketelitian geometri, perhitungan dimensi kubah lava, serta penyajian hasil dalam bentuk peta 3D. Alur kerja penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir untuk memperjelas tahapan pemrosesan data.



Gambar 1. Diagram Alir

3.1. Pengolahan Foto Udara

Pengolahan foto udara dilakukan pada empat periode pengamatan menggunakan Agisoft Metashape Professional. Proses diawali dengan *align photos* untuk menentukan parameter orientasi internal dan eksternal kamera menggunakan metode *self-calibration* berbasis *bundle block adjustment*. Selanjutnya dilakukan *georeferencing* dengan memanfaatkan *Ground Control Point* (GCP) yang diikat pada acuan ortofoto tahun 2020, diikuti optimasi orientasi kamera untuk meningkatkan ketelitian geometrik. Model permukaan dibangun melalui pembentukan *dense cloud*, *mesh*, dan tekstur, kemudian diturunkan menjadi *Digital Elevation Model* (DEM) dan *orthomosaic*. Selain itu, mesh digunakan untuk membangun *tiled model* guna visualisasi 3D berbasis web. Untuk menjaga konsistensi analisis antar periode, seluruh DEM dan ortofoto diekspor dengan resolusi spasial seragam sebesar 0,3 m, sehingga hasil pemodelan mampu merepresentasikan morfologi kubah lava secara konsisten dan akurat.

3.2. Hitung Ketelitian Geometri

Ketelitian geometrik dievaluasi secara horizontal dan vertikal menggunakan *Independent Control Point* (ICP). Ketelitian horizontal dihitung dengan membandingkan koordinat *easting* dan *northing* pada ortofoto terhadap koordinat ICP, sedangkan ketelitian vertikal dinilai melalui perbandingan nilai elevasi DEM dengan elevasi ICP. Tingkat akurasi dinyatakan menggunakan *Root Mean Square*

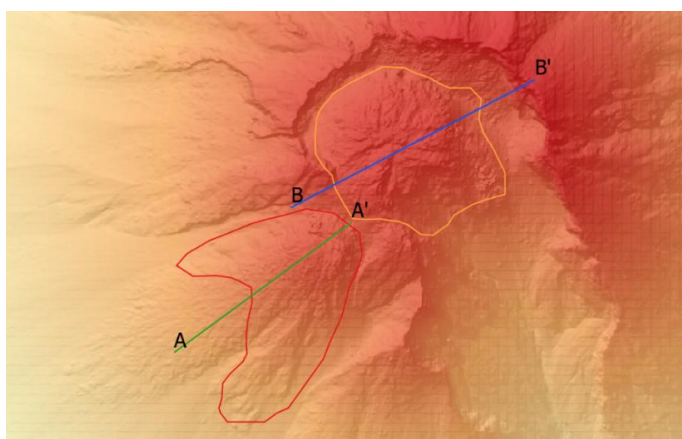
Error (RMSE) yang merepresentasikan besarnya selisih antara hasil pemodelan dan nilai referensi. Evaluasi ketelitian mengacu pada standar ketelitian Peta RBI berdasarkan Peraturan Kepala BIG Nomor 18 Tahun 2021. Koordinat ICP yang digunakan dalam proses ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat ICP

<i>Point</i>	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>
ICP1	439304,943	9166886,361	2712,212
ICP2	439350,999	9166827,479	2708,014
ICP3	439433,128	9166696,586	2683,978
ICP4	438702,362	9167130,608	2542,675
ICP5	438617,302	9167238,732	2466,873
ICP6	439506,76	9166384,058	2582,964
ICP7	439571,167	9166582,423	2628,719
ICP8	439372,392	9166555,195	2688,014
ICP9	438451,398	9167060,754	2485,873
ICP10	439196,254	9166880,437	2726,651
ICP11	439077,796	9166752,174	2808,138
ICP12	439237,065	9166847,841	2724,098
ICP13	439183,269	9166825,315	2742,868
ICP14	439116,069	9165523,022	2318,368
ICP15	438794,948	9165622,134	2471,503

3.3. Perhitungan Dimensi Kubah Lava

Perhitungan dimensi kubah lava dilakukan menggunakan empat data *Digital Elevation Model* (DEM) hasil pengolahan foto udara UAV pada periode 30 Maret 2024, 11 Juli 2024, 23 Juli 2024, dan 26 April 2025. Seluruh DEM digunakan sebagai dasar analisis perubahan volume, laju ekstrusi, dan morfologi kubah lava tengah serta barat daya. Perubahan volume dihitung dengan metode *cut and fill* menggunakan perangkat lunak Global Mapper. Volume diukur di antara dua permukaan DEM, permukaan awal mencerminkan volume kosong (kubah lava belum tumbuh) dan permukaan kedua memiliki pertumbuhan kubah lava. Data yang digunakan dalam proses ini adalah DEM dari keempat periode pengamatan dan *boundary* kedua kubah lava (tengah dan barat daya). Proses ini akan menghasilkan output data berupa *Net volume* atau nilai perubahan volume, *Cut volume* atau volume material yang hilang, serta *Fill volume* atau volume material yang tertimbun. Nilai perubahan volume antar periode selanjutnya digunakan untuk menghitung laju ekstrusi kubah lava dengan membagi perubahan volume terhadap selang waktu antar periode pengamatan. Identifikasi perubahan morfologi dilakukan melalui analisis profil memanjang menggunakan data DEM *multi-temporal*. Profil disusun dengan orientasi barat daya untuk menyesuaikan arah dominan awan panas guguran selama periode pengamatan, sehingga perubahan bentuk, ketinggian, dan kecenderungan pertumbuhan atau pengurangan kubah lava dapat dianalisis secara temporal dan spasial. Tampilan profil memanjang pada kedua kubah lava ditunjukkan pada Gambar 2, morfologi kubah tengah diidentifikasi oleh profil memanjang B-B' (garis biru), sedangkan kubah barat daya diidentifikasi oleh profil memanjang A-A' (garis hijau).



Gambar 2. Profil Memanjang Pada Kubah Lava.

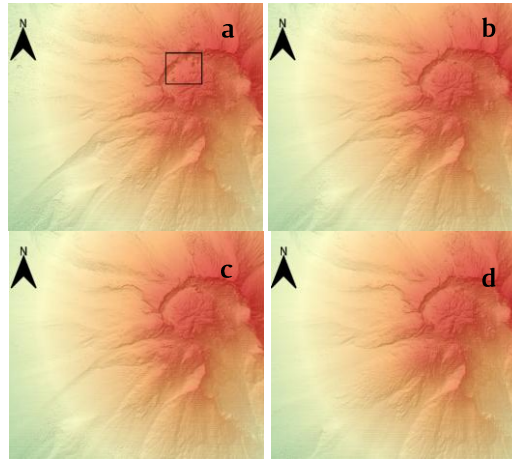
3.4. Penyajian Peta 3D

Tahap penyajian peta 3D dilakukan dengan menggunakan data hasil pemrosesan *tiled model* yang telah diekspor ke dalam format *scene layer package* (*.slpk). Format ini dipilih karena mendukung

visualisasi 3D dengan struktur *tiles* yang efisien untuk ditampilkan secara *online*. Data *.slpk tersebut kemudian diunggah ke ArcGIS Online, yang merupakan platform berbasis *cloud* untuk pengelolaan dan visualisasi data spasial. Data divisualisasikan dalam bentuk *web scene*, sehingga model 3D kubah lava dapat ditampilkan secara interaktif.

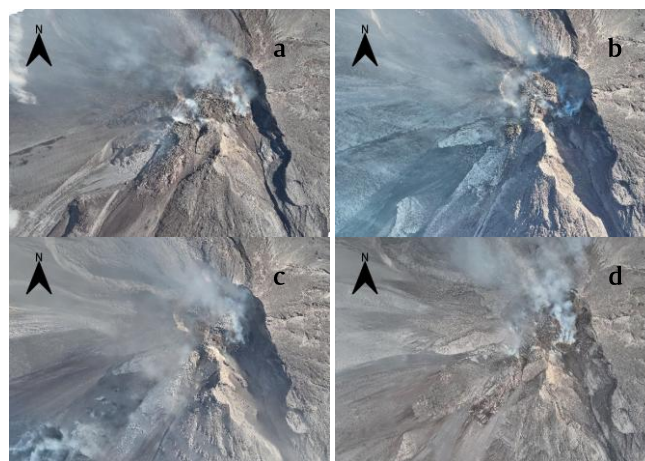
4. Hasil

4.1. Hasil Pengolahan Foto Udara



Gambar 3. Visual DEM (a) 30 Maret 2024 (b) 11 Juli 2024 (c) 23 Juli 2024 (d) 26 April 2025. Void ditandai dengan kotak warna hitam.

Hasil pemodelan DEM pada empat periode pengamatan menunjukkan bahwa kualitas rekonstruksi permukaan puncak Gunung Merapi bervariasi antar waktu. Pada periode 30 Maret 2024 masih terdapat area void di sisi barat laut yang menyebabkan sebagian permukaan tidak terekonstruksi dengan baik, sedangkan pada 11 Juli 2024 kondisi DEM sudah lebih baik dengan jumlah void yang lebih minimal. Pada periode 23 Juli 2024 dan 26 April 2025, hasil DEM tampak lebih utuh dan mampu merepresentasikan bentuk kubah lava secara jelas dengan minim area kosong. Secara umum, keempat DEM tersebut dapat menggambarkan morfologi kubah lava Gunung Merapi pada masing-masing periode, meskipun keberadaan void pada periode awal membatasi interpretasi di beberapa area, yang menunjukkan bahwa kualitas DEM dipengaruhi oleh kondisi akuisisi data seperti asap vulkanik dan keterbatasan sudut pemotretan UAV.



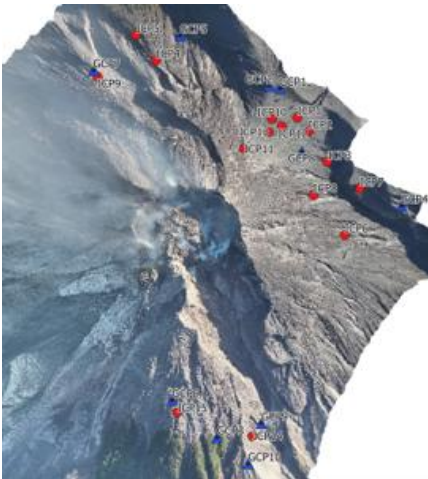
Gambar 4. Visual Ortofoto (a) 30 Maret 2024 (b) 11 Juli 2024 (c) 23 Juli 2024 (d) 26 April 2025.

Hasil pengolahan ortofoto pada empat periode pengamatan menunjukkan variasi nilai *Ground Sampling Distance* (GSD) pada kisaran 25,5–30,5 cm yang dipengaruhi oleh perbedaan ketinggian terbang UAV dan kondisi pengamatan. Untuk menjaga konsistensi analisis, seluruh data DEM dan ortofoto kemudian diseragamkan melalui proses *resampling* dengan resolusi spasial 30 cm. Secara visual, ortofoto memperlihatkan perubahan kondisi kubah lava yang cukup jelas antar periode, ditandai oleh perbedaan intensitas dan arah sebaran asap serta tutupan awan, mulai dari asap lokal

di sekitar puncak pada Maret 2024 hingga asap yang lebih pekat dan meluas ke sektor barat dan barat daya pada Juli 2024 dan April 2025, yang mencerminkan dinamika aktivitas kubah lava Gunung Merapi dari waktu ke waktu.

4.2. Hasil Ketelitian Geometri Peta

Pengujian ketelitian geometri dilakukan dengan membandingkan koordinat hasil pemetaan (x, y, dan z) terhadap posisi sebenarnya di lapangan menggunakan titik uji *Independent Control Point* (ICP), mengacu pada Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 18 Tahun 2021. Dalam pengolahan foto udara digunakan 10 *Ground Control Point* (GCP) untuk koreksi geometrik, sedangkan evaluasi ketelitian dilakukan menggunakan 15 ICP. *Control point* diperoleh melalui metode *post marking* pada ortofoto hasil akuisisi LiDAR dengan koreksi *Post-Processed Kinematic* (PPK) yang memiliki ketelitian orde sentimeter. Objek permanen berupa batu besar dipilih sebagai titik kontrol karena stabil, mudah dikenali pada citra, dan tidak berubah antar periode pengamatan.



Gambar 5. Sebaran ICP. Titik-titik ICP ditandai oleh titik berwarna merah, sedangkan GCP ditandai oleh titik berwarna biru

Ketelitian horizontal dinilai melalui perbandingan koordinat *easting* dan *northing* pada ortofoto terhadap koordinat ICP. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *Circular Error* 90% (CE90) berkisar antara 1,05 m hingga 1,37 m. Nilai CE90 terendah diperoleh pada periode 30 Maret 2024 sebesar 1,05 m, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada periode 11 Juli 2024 sebesar 1,37 m. Pada periode 23 Juli 2024 dan 26 April 2025, nilai CE90 relatif seragam, yaitu sekitar 1,36 m. Berdasarkan standar ketelitian BIG, seluruh hasil ketelitian horizontal tersebut termasuk dalam kelas 3 untuk peta skala 1:5.000, sehingga masih memenuhi kriteria ketelitian yang dipersyaratkan.

Tabel 2. Nilai RMSE dan CE90

Periode	RMSE	CE90
30 Maret 2024	0,69	1,05
11 Juli 2024	0,90	1,37
23 Juli 2024	0,89	1,36
26 April 2025	0,89	1,36

Ketelitian vertikal dievaluasi dengan membandingkan nilai elevasi DEM terhadap elevasi ICP dan dinyatakan dalam *Linear Error* 90% (LE90). Hasil pengujian menunjukkan nilai LE90 berada pada kisaran 0,81–0,98 m. Ketelitian vertikal terbaik diperoleh pada periode 30 Maret 2024 dengan nilai LE90 sebesar 0,81 m, sedangkan nilai LE90 tertinggi terjadi pada periode 26 April 2025 sebesar 0,98 m yang menunjukkan penurunan ketelitian. Meskipun demikian, secara keseluruhan nilai ketelitian vertikal pada seluruh periode pengamatan masih memenuhi standar ketelitian vertikal sesuai Peraturan Kepala BIG Nomor 18 Tahun 2021.

Tabel 3. Nilai RMSE dan LE90

Periode	RMSE	LE90
30 Maret 2024	0,49	0,81
11 Juli 2024	0,52	0,86
23 Juli 2024	0,52	0,87
26 April 2025	0,59	0,98

4.3. Analisis Dimensi Kubah Lava

4.3.1. Perubahan Volume

Perubahan volume kubah lava dihitung menggunakan metode *cut and fill* dengan membandingkan dua permukaan DEM pada periode waktu berbeda, sehingga diperoleh parameter *cut volume*, *fill volume*, dan *net volume*. *Cut volume* merepresentasikan volume material yang tersedia akibat penurunan elevasi, sedangkan *fill volume* menunjukkan volume material yang tertimbun akibat kenaikan elevasi; keseimbangan keduanya menghasilkan *net volume* sebagai indikator perubahan volume total. Pada kubah lava tengah (Tabel 4), periode 30 Maret–11 Juli 2024 dan 11 Juli–23 Juli 2024 menunjukkan *net volume* negatif masing-masing sebesar $-62.027,75 \text{ m}^3$ dan $-83.235,35 \text{ m}^3$, yang mengindikasikan dominasi pengurangan volume akibat aktivitas guguran. Kondisi ini sejalan dengan kejadian awan panas guguran (APG) yang tercatat pada kedua periode tersebut. Sebaliknya, pada periode 23 Juli 2024–26 April 2025 diperoleh *net volume* positif sebesar $80.426,04 \text{ m}^3$, yang menunjukkan fase pertumbuhan kubah lava tengah meskipun masih disertai frekuensi APG yang tinggi.

Tabel 4. Perubahan Volume Kubah Lava Tengah

Periode	<i>Net volume</i> (m^3)	<i>Cut volume</i> (m^3)	<i>Fill volume</i> (m^3)	Riwayat Aktivitas
ΔV_1 (30 Maret 2024 – 11 Juli 2024)	-62.027,75	34.101,57	96.129,32	11 kali APG
ΔV_2 (11 Juli 2024 – 23 Juli 2024)	-83.235,35	17.980,81	101.216,16	3 kali APG
ΔV_3 (23 Juli 2024 – 26 April 2025)	80.426,04	95.546,66	15.120,61	43 kali APG

Pada kubah lava barat daya (Tabel 5), dinamika perubahan volume menunjukkan pola serupa namun dengan magnitudo yang lebih besar. Periode 30 Maret–11 Juli 2024 dan 11 Juli–23 Juli 2024 menghasilkan *net volume* negatif masing-masing sebesar $-86.853,17 \text{ m}^3$ dan $-58.364,09 \text{ m}^3$, yang menandakan dominasi kehilangan material dan tingginya ketidakstabilan kubah, bahkan dalam selang waktu pengamatan yang relatif singkat. Pada periode 23 Juli 2024–26 April 2025 terjadi peningkatan volume yang sangat signifikan dengan *net volume* positif sebesar $558.163,23 \text{ m}^3$, mencerminkan fase pertumbuhan kubah lava barat daya yang kuat akibat suplai material lava yang besar selama selang waktu pengamatan yang panjang. Meskipun aktivitas APG masih sering terjadi, akumulasi material lava menyebabkan volume kubah secara keseluruhan tetap meningkat.

Tabel 5. Perubahan Volume Kubah Lava Barat Daya

Periode	<i>Net volume</i> (m^3)	<i>Cut volume</i> (m^3)	<i>Fill volume</i> (m^3)	Riwayat Aktivitas
ΔV_1 (30 Maret 2024 – 11 Juli 2024)	-86.853,17	33.226,69	120.079,87	11 kali APG
ΔV_2 (11 Juli 2024 – 23 Juli 2024)	-58.364,09	14.198,13	72.562,23	3 kali APG
ΔV_3 (23 Juli 2024 – 26 April 2025)	558.163,23	611.103,93	52.940,71	43 kali APG

4.3.2. Laju Ekstrusi

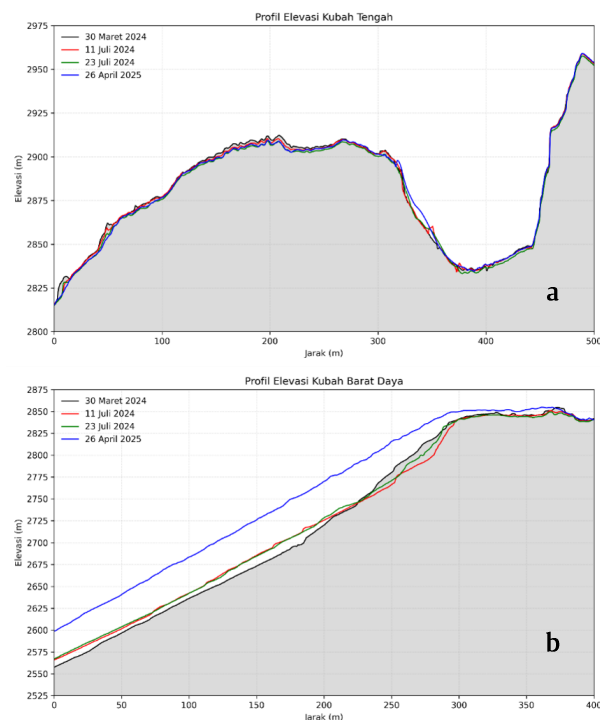
Hasil perhitungan laju ekstrusi menunjukkan perbedaan dinamika yang jelas antara kubah lava tengah dan kubah lava barat daya. Kubah tengah mengalami pengurangan volume pada periode 30 Maret–11 Juli 2024 dengan laju sekitar $-602 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan penurunan yang lebih signifikan pada periode 11–23 Juli 2024 dengan laju $-6.936 \text{ m}^3/\text{hari}$, sebelum memasuki fase pertumbuhan pada periode 23 Juli 2024–26 April 2025 dengan laju sekitar $290 \text{ m}^3/\text{hari}$. Kubah barat daya menunjukkan nilai laju ekstrusi yang lebih besar dan fluktuatif, ditandai oleh pengurangan volume sebesar $-843 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan $-4.864 \text{ m}^3/\text{hari}$ pada dua periode awal, yang mengindikasikan kehilangan material dalam jumlah besar, kemudian diikuti fase pertumbuhan yang sangat signifikan pada periode 23 Juli 2024–26 April 2025 dengan laju sekitar $2.015 \text{ m}^3/\text{hari}$. Secara umum, kedua kubah mengalami siklus pengurangan dan pertumbuhan volume, namun kubah barat daya memiliki tingkat aktivitas yang lebih tinggi dan berkontribusi lebih dominan terhadap dinamika morfologi Gunung Merapi selama periode pengamatan.

Tabel 6. Laju Ekstrusi Kubah Lava

Kubah Lava	Periode	Δv (m ³)	Δt (hari)	Laju Ekstrusi (m ³ /hari)	Riwayat Aktivitas
Tengah	Q_1 (30 Maret 2024 – 11 Juli 2024)	-62.027,75	103	-602,21	11 kali APG
	Q_2 (11 Juli 2024 – 23 Juli 2024)	-83.235,35	12	-6.936,28	3 kali APG
	Q_3 (23 Juli 2024 – 26 April 2025)	80.426,04	277	290,35	43 kali APG
Barat Daya	Q_1 (30 Maret 2024 – 11 Juli 2024)	-86.853,17	103	-843,23	11 kali APG
	Q_2 (11 Juli 2024 – 23 Juli 2024)	-58.364,09	12	-4.863,67	3 kali APG
	Q_3 (23 Juli 2024 – 26 April 2025)	558.163,23	277	2.015,03	43 kali APG

4.3.3. Profil Morfologi

Analisis morfologi kubah lava dilakukan menggunakan profil memanjang, dengan profil B–B' mewakili kubah lava tengah dan profil A–A' mewakili kubah lava barat daya. Hasil profil memanjang kubah tengah menunjukkan bahwa pada periode 30 Maret 2024 elevasi puncak masih lebih tinggi dibanding periode setelahnya, yang mengindikasikan terjadinya pengurangan material akibat guguran pasca-erupsi 20 Juli 2024. Pada periode selanjutnya hingga April 2025, terlihat adanya pertumbuhan kembali meskipun relatif terbatas, dengan perubahan elevasi yang tidak signifikan dan kecenderungan stabil pada bagian puncak serta kenaikan tipis di lereng barat daya. Pola ini mencerminkan dinamika kubah tengah yang fluktuatif dan dipengaruhi oleh proses runtuh.



Gambar 6. Profil Memanjang (a) B–B' Kubah Tengah (b) A–A' Kubah Barat Daya.

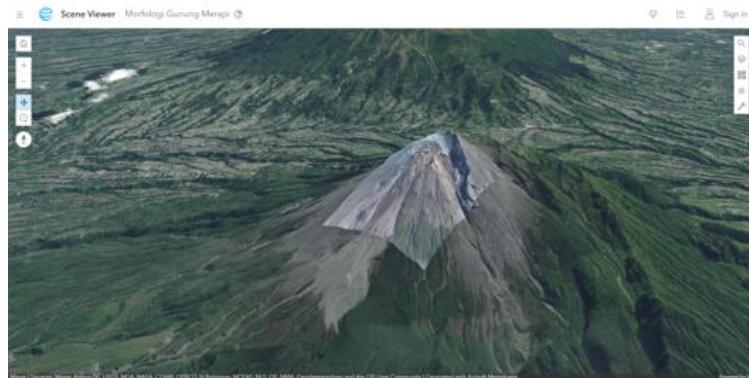
Periode 30 Maret 2024 ditandai dengan warna hitam, Periode 11 Juli 2024 ditandai dengan warna merah, Periode 23 Juli 2024 ditandai dengan warna hijau, dan Periode 26 Maret 2025 ditandai dengan warna biru.

Sebaliknya, profil memanjang kubah lava barat daya menunjukkan pola pertumbuhan yang lebih konsisten dan signifikan dari Maret 2024 hingga April 2025. Peningkatan elevasi yang jelas terutama terjadi pada bagian lereng bawah, mengindikasikan suplai magma yang lebih dominan ke arah barat daya. Secara umum, hasil analisis profil morfologi memperlihatkan pola pertumbuhan kubah lava yang tidak stabil di kubah tengah, dengan indikasi keruntuhan pasca erupsi Juli 2024, serta

pertumbuhan pesat di kubah barat daya yang lebih dominan pada periode April 2025. Kondisi ini menguatkan pernyataan bahwa kubah barat daya merupakan kubah paling aktif dan berpotensi menjadi sumber bahaya guguran maupun awan panas.

4.4. Visualisasi Peta 3D

Visualisasi peta 3D dilakukan dengan memanfaatkan data *tiled model* hasil pemrosesan fotogrametri yang diunggah ke dalam *web scene* ArcGIS Online untuk merepresentasikan kondisi morfologi kubah lava dan area puncak Gunung Merapi pada empat periode pengamatan, yaitu 30 Maret 2024, 11 Juli 2024, 23 Juli 2024, dan 26 April 2025. Penyajian dalam bentuk *web scene* memungkinkan model 3D diakses secara langsung melalui *browser* tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan, sehingga memudahkan distribusi dan pemanfaatan data oleh berbagai pihak. Melalui platform ini, pengguna dapat melakukan eksplorasi secara interaktif, seperti memutar model, memperbesar area tertentu, serta membandingkan kondisi antar periode dengan mengaktifkan atau menonaktifkan *layer* yang tersedia. Selain sebagai media visualisasi, *web scene* juga dilengkapi dengan berbagai *tools* analisis dasar, seperti pengukuran jarak dan luas, pembuatan irisan, serta profil elevasi, yang memungkinkan pengguna melakukan pengamatan kuantitatif secara langsung pada model 3D. Dengan demikian, visualisasi peta 3D tidak hanya berfungsi sebagai sarana penyajian hasil penelitian, tetapi juga sebagai media analisis interaktif dan komunikasi kebencanaan yang mampu menggambarkan dinamika perubahan morfologi kubah lava secara lebih komprehensif.



Gambar 7. Tampilan Peta 3D

5. Pembahasan

Hasil pengolahan foto udara menunjukkan bahwa kualitas DEM dan ortofoto dipengaruhi oleh kondisi akuisisi data, terutama keberadaan asap vulkanik dan tutupan awan. Keberadaan *void* pada DEM periode 30 Maret 2024 dan sebagian 11 Juli 2024 membatasi interpretasi di area tertentu, sedangkan pada periode 23 Juli 2024 dan 26 April 2025 rekonstruksi permukaan lebih utuh sehingga morfologi kubah lava dapat direpresentasikan dengan lebih baik. Penyamaan resolusi spasial menjadi 30 cm memastikan konsistensi analisis antar periode dan memungkinkan perbandingan perubahan morfologi secara andal. Uji ketelitian geometri menunjukkan bahwa DEM dan ortofoto memenuhi standar ketelitian Peta RBI skala 1:5.000 sesuai Peraturan BIG Nomor 18 Tahun 2021, sehingga layak digunakan untuk analisis lanjutan.

Analisis perubahan volume menggunakan metode *cut and fill* memperlihatkan dinamika yang berbeda antara kubah lava tengah dan kubah lava barat daya. Pada dua periode awal, kedua kubah menunjukkan *net volume* negatif yang mengindikasikan dominasi kehilangan material akibat aktivitas guguran dan awan panas guguran, khususnya pasca-erupsi 20 Juli 2024. Pada periode 23 Juli 2024–26 April 2025 terjadi peralihan menuju fase pertumbuhan dengan *net volume* positif, di mana kubah barat daya mengalami peningkatan volume yang jauh lebih besar dibandingkan kubah tengah. Pola ini menunjukkan bahwa suplai magma selama periode pengamatan lebih terfokus ke sektor barat daya.

Hasil perhitungan laju ekstrusi dan analisis profil morfologi memperkuat temuan tersebut. Kubah lava tengah menunjukkan dinamika fluktuatif dengan fase pengurangan volume yang signifikan diikuti pertumbuhan kembali yang relatif lambat, sedangkan kubah lava barat daya memperlihatkan laju ekstrusi yang lebih besar dan pertumbuhan morfologi yang lebih konsisten, terutama pada bagian lereng bawah. Kondisi ini menegaskan bahwa kubah barat daya merupakan kubah yang paling aktif selama periode pengamatan dan berkontribusi dominan terhadap dinamika morfologi Gunung Merapi, serta memiliki potensi bahaya guguran dan awan panas yang lebih tinggi.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pelaksanaan proyek akhir ini, perubahan morfologi kubah lava Gunung Merapi berhasil dipetakan secara detail dalam bentuk peta ortofoto beresolusi spasial 30 cm yang memiliki ketelitian horizontal dan vertikal termasuk dalam kelas 3 untuk skala peta 1:5.000 sesuai Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 18 Tahun 2021. Selain dalam bentuk peta 2D, hasil pemodelan juga divisualisasikan dalam peta 3D berbasis web scene yang memungkinkan pengamatan morfologi kubah lava secara interaktif dan mudah diakses melalui <https://arcg.is/1W8q9f>. Analisis dinamika kubah lava menunjukkan bahwa periode 23 Juli 2024 hingga 26 April 2025 merupakan fase pertumbuhan paling pesat pada kedua kubah, dengan laju ekstrusi sekitar 290 m³/hari pada kubah lava tengah dan sekitar 2.015 m³/hari pada kubah lava barat daya, yang menegaskan dominasi aktivitas pertumbuhan pada kubah barat daya. Perubahan volume juga memperlihatkan perbedaan karakter yang jelas, di mana kubah lava tengah mengalami fluktuasi volume yang relatif lebih kecil dibandingkan kubah lava barat daya yang menunjukkan pengurangan volume besar pada dua periode awal sebelum mengalami peningkatan volume yang sangat signifikan pada periode terakhir, sehingga mengindikasikan bahwa kubah lava barat daya merupakan kubah yang paling aktif dan berperan dominan dalam dinamika morfologi Gunung Merapi selama periode pengamatan.

7. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Rochmad Muryamto, M.Eng. Sc., selaku dosen pembimbing proyek akhir yang telah memberikan bimbingan, saran, dan dukungan selama masa penyusunan proyek akhir. Terima kasih yang mendalam juga ditujukan kepada keluarga yang selalu mendoakan, mendukung, serta memberikan semangat.

8. Daftar Pustaka

- Ambarwati, N. (2016). Identifikasi Perubahan Morfologi Kubah Lava Gunung Merapi 1962-2012 Menggunakan Sistem Informasi Geografis [Skripsi]. Universitas Gadjah Mada.
- Civico, R., Ricci, T., Scarlato, P., Andronico, D., Cantarero, M., Carr, B. B., De Beni, E., Del Bello, E., Johnson, J. B., Kueppers, U., Pizzimenti, L., Schmid, M., Strehlow, K., & Taddeucci, J. (2021). Unoccupied aircraft systems (Uass) reveal the morphological changes at stromboli volcano (italy) before, between, and after the 3 july and 28 august 2019 paroxysmal eruptions. *Remote Sensing*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/rs13152870>
- ESDM. (2020, November 5). Per 5 November, Status Gunung Merapi Naik Menjadi Siaga. Kementerian ESDM. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/per-5-november-status-gunung-merapi-naik-menjadi-siaga>. Diakses pada 2 Oktober 2025
- ESDM. (2021, Januari 28). Aktivitas Terkini Gunung Merapi, 28 Januari 2021. Kementerian ESDM. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/aktivitas-terkini-gunung-merapi-28-januari-2021>. Diakses pada 2 Oktober 2025
- ESDM. (2024, Juli 26). Laporan Aktivitas Gunung Merapi Tanggal 19 – 25 Juli 2024. Kementerian ESDM. <https://bpptkg.esdm.go.id/pub/page.php?idx=728>. Diakses pada 2 Oktober 2025
- Harnett, C. E., Thomas, M. E., Calder, E. S., Ebmeier, S. K., Telford, A., Murphy, W., & Neuberg, J. (2019). Presentation and analysis of a worldwide database for lava dome collapse events: the Global Archive of Dome Instabilities (GLADIS). *Bulletin of Volcanology*, 81(3). <https://doi.org/10.1007/s00445-019-1276-y>
- Nurtyawan, R., & Utami, L. S. (2020). Monitoring Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Citra Sentinel-1A Dengan Menggunakan Metode DInSAR (Studi Kasus: Gunung Merapi, Jawa Tengah). *Jurnal Rekayasa Hijau*, 4(1), 14–23. <https://doi.org/10.26760/jrh.v4i1.14-23>
- Retnowati, D. A., Meilano, I., Virtriana, R., & Hanifa, N. R. (2018). Volcanic eruption risk for school building in Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 1987. <https://doi.org/10.1063/1.5047382>
- Shalih, O., Adi, A. W., Wiguna, S., Shabrina, F. Z., Rizqi, A., Putra, A. S., Karimah, R., Eveline, F., Alfian, A., Syauqi, Septian, R. T., Widiastomo, Y., Bagaskoro, Y., Dewi, A. N., Rahmawati, I., Seniorwan, Hafizh, A., Suryaningrum, H. A., Purnamaswi, D. I., ... Iftidah, A. (2023). RBI Risiko Bencana Indonesia BNPB “Memahami Risiko Sistemik di Indonesia” (R. Yunus, Ed.). Pusat Data, Informasi, dan Komunikasi Kebencanaan BNPB.