

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Gunung Marapi di Sumatra Barat adalah gunung api strato vulkanik dengan dapur magma yang dalam serta magma yang memiliki viskositas tinggi, sehingga berpotensi menghasilkan letusan eksplosif yang sulit diprediksi (Putra dkk., 2016). Sebagai salah satu gunung berapi paling aktif di Indonesia, Gunung Marapi telah mengalami lebih dari 60 kali erupsi dalam 250 tahun terakhir dengan pola letusan singkat yang berulang (Indeks Ledakan Vulkanik 1–2). Pada awal tahun 2023, erupsi eksplosif terjadi dari 7 Januari hingga 20 Februari, diikuti oleh fase kegempaan tanpa erupsi sebelum akhirnya kembali meletus secara tiba-tiba pada 3 Desember 2023 tanpa adanya peningkatan signifikan dalam gempa vulkanik. Hingga kini, aktivitasnya masih berlangsung, dengan jumlah erupsi harian yang menurun tetapi diiringi peningkatan gempa *low frequency* dan vulkanik dalam (VA), yang mengindikasikan suplai magma dari kedalaman masih berlanjut (Santoso, 2024). Letaknya yang berdekatan dengan kawasan padat penduduk menjadikan Gunung Marapi sebagai ancaman serius, dengan potensi bahaya langsung seperti aliran piroklastik dan hujan abu, serta dampak sosial-ekonomi yang luas. Tantangan ini semakin diperparah oleh keterbatasan teknologi pemantauan di negara berkembang seperti Indonesia, sehingga penelitian mendalam terhadap Gunung Marapi menjadi sangat krusial.

Secara geologi, tubuh Gunung Marapi terbentuk dari tumpukan lava, batuan hasil letusan (breksi dan tuf), serta abu vulkanik yang sudah menumpuk sejak lama. Material ini kemudian mengalami pelapukan dan berubah menjadi tanah vulkanik yang masih muda. Dalam radius sekitar 12 km dari puncak, tanah yang paling banyak dijumpai adalah Andosol, yaitu tanah gembur, berpori banyak, dan sangat subur, lalu ada juga Regosol dari abu yang masih muda serta Latosol di bagian bawah yang lebih tua. Karena tanah di lereng Marapi relative gembur, permukaan gunung lebih mudah berubah bentuk ketika ada dorongan magma dari bawah (Daniel, 2007). Pemahaman yang lebih baik tentang proses magmatik dan mekanisme letusan tidak hanya akan meningkatkan efektivitas mitigasi bencana, tetapi juga berkontribusi dalam pengembangan metode pemantauan yang lebih

canggih dan adaptif untuk wilayah-wilayah rawan bencana di Indonesia (Venzke, 2024).

Pemantauan gunung api saat ini telah dilakukan dengan berbagai teknik dan instrumen, termasuk pemantauan seismik (Waluyo dkk., 2023), deformasi (Widiyanto dan Basyid, 2023), geokimia (Wahyuningrum dkk., 2023), dan gravitasi (Novianto dkk., 2022). Salah satu metode yang paling sering digunakan dalam memantau aktivitas vulkanik adalah pemantauan deformasi, yaitu perubahan bentuk gunung berapi atau bentang alam di sekitarnya akibat pergerakan magma di dalam tubuh gunung. Deformasi vulkanik sering kali menjadi indikasi awal letusan, sehingga pemantauan yang akurat sangat penting untuk memperkirakan volume magma, memprediksi skala erupsi di masa mendatang, serta menyusun strategi mitigasi yang lebih efektif (Abdallah dkk., 2024). Pemantauan deformasi biasanya dilakukan dengan melihat perubahan jangka pendek yang mencerminkan pergerakan magma secara *real-time*. Berbagai teknologi telah digunakan untuk mendeteksi deformasi gunung api, termasuk *Survey Terestris* (Sondang dkk., 2021), *Electronic Distance Measurement* (Mogea, 2022), *Global Positioning System* (GPS) atau *Global Navigation Satellite System* (GNSS) (Edison, 2021), dan *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) (Nurtyawan dan Utami, 2020). Di antara metode tersebut, InSAR menjadi salah satu teknik paling efektif dalam meningkatkan prediksi erupsi serta mengurangi risiko bencana vulkanik.

Teknik InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) merupakan metode penginderaan jauh berbasis radar yang mampu mendeteksi perubahan elevasi atau pergeseran permukaan bumi dengan tingkat akurasi hingga skala millimeter (Palano, 2023). Keunggulan utama teknologi InSAR terletak pada kemampuannya menghasilkan data deformasi permukaan bumi dengan cakupan wilayah yang luas dan resolusi spasial sangat tinggi mencapai akurasi hingga  $\pm 1$  mm per tahun. Selain itu, sistem ini mampu beroperasi tanpa gangguan cuaca serta menyediakan pembaruan data secara berkala setiap 6 hingga 12 hari, Hal ini menjadikan InSAR sebagai metode yang sangat baik dalam studi deformasi, terutama di daerah terpencil atau sulit diakses dengan teknik pemantauan darat (Hanssen, 2018). Selain itu, InSAR memungkinkan untuk mengidentifikasi aktivitas vulkanik sebelum tanda-tanda visual atau seismik muncul. Teknik InSAR

yang sering digunakan dalam studi deformasi meliputi *Persistent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar* (PSInSAR) untuk mendeteksi deformasi jangka panjang dengan titik reflektif tetap, *Ground-based Interferometric Synthetic Aperture Radar* (GB-InSAR) untuk pemantauan lokal dengan akurasi tinggi, *Multi-Temporal Interferometric Synthetic Aperture Radar* (MT-InSAR) untuk analisis tren deformasi dalam jangka waktu panjang, dan *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) yang efektif dalam mengukur perbedaan perubahan elevasi antara dua periode pengamatan (Jianjun dkk., 2017). Dengan keunggulan-keunggulan tersebut, InSAR menjadi metode pilihan utama dalam pemantauan deformasi vulkanik, memberikan wawasan mendalam terhadap dinamika magma dan potensi erupsi, serta mendukung mitigasi bencana secara lebih efektif.

Dalam pemantauan deformasi vulkanik, *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) menjadi salah satu teknik InSAR yang paling banyak digunakan karena keakuratannya yang tinggi dalam mendeteksi perubahan kecil pada permukaan bumi serta kemampuannya membedakan antara pergeseran topografi dan deformasi sebenarnya. DInSAR bekerja dengan membandingkan dua citra radar berpasangan untuk mengukur perubahan elevasi secara diferensial, menghasilkan data deformasi dengan presisi tinggi dalam skala milimeter (Barra dkk., 2017). Keunggulan ini menjadikan DInSAR sangat efektif dalam memantau dinamika vulkanik secara *real-time* dan mendeteksi pergerakan magma sebelum terjadi erupsi, memungkinkan mitigasi yang lebih tepat waktu dan berbasis data. Dengan memanfaatkan data dari satelit seperti Sentinel-1A, yang memiliki mode *Interferometric Wide Swath* (IW) dan resolusi spasial hingga  $5 \times 20$  meter, DInSAR mampu memberikan informasi deformasi secara luas dan detail, bahkan di wilayah terpencil yang sulit dijangkau oleh metode pemantauan darat. Metode ini telah terbukti efektif dalam menganalisis aktivitas vulkanik di berbagai gunung api aktif di Indonesia, termasuk Gunung Raung (Febriyanti dan Anjasmara, 2017), Gunung Merapi (Nurtyawan dan Utami, 2020), dan Gunung Anak Krakatau (Wahyuningrum dkk., 2023). Dengan keunggulan dalam resolusi tinggi, cakupan luas, serta ketepatan dalam mendeteksi pergerakan tanah, DInSAR menjadi metode pilihan utama dalam pemantauan deformasi vulkanik, memberikan wawasan

mendalam terhadap dinamika magma serta meningkatkan akurasi dalam memprediksi erupsi dan mitigasi bencana.

Mengingat tingginya aktivitas Gunung Marapi dua tahun terakhir ini, maka pemantauan deformasi setelah erupsi signifikan tahun 2023 menjadi sangat krusial untuk memahami dinamika vulkanik di wilayah tersebut. Deteksi aktivitas magma melalui data deformasi berbasis DInSAR dapat mengungkap pola pergerakan magma sebelum dan sesudah erupsi, serta memberikan wawasan yang lebih dalam terhadap mekanisme erupsi serta potensi aktivitas vulkanik selanjutnya (Palano, 2023). Peta deformasi yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sebagai alat prediksi erupsi lanjutan, tetapi juga menjadi dasar ilmiah yang kuat dalam menyusun strategi mitigasi bencana yang lebih adaptif dan berbasis data. Dengan mengintegrasikan teknologi penginderaan jauh dan metode analisis DInSAR, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya pengurangan risiko bencana vulkanik, meningkatkan akurasi prediksi erupsi, serta memperkuat kesiapsiagaan masyarakat di kawasan rawan bencana.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari pemantauan deformasi gunung Marapi yaitu:

1. Menganalisis pola deformasi permukaan Gunung Marapi dalam rentang waktu tertentu menggunakan teknologi *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) dan memahami mekanika aktivitas vulkanik Gunung Marapi.
2. Mendeteksi perubahan elevasi permukaan Gunung Marapi dan berkaitan dengan pergerakan magma, tekanan gas, atau proses geologi lain sebelum dan sesudah erupsi.
3. Menentukan tren deformasi jangka pendek (30-90 hari) pada Gunung Marapi sebagai indikator aktivitas vulkanik dan potensi erupsi.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini bermanfaat untuk berkontribusi membuat peta deformasi Gunung Marapi berbasis geospasial yang akurat untuk mendukung kegiatan mitigasi bencana dan perencanaan penanggulangan bencana di sekitar kawasan Gunung Merapi.

#### 1.4 Ruang lingkup dan Batasan Penelitian

Ruang lingkup dan batasan dalam penelitian adalah:

1. Lokasi studi, penelitian ini berfokus pada analisis deformasi vulkanik di wilayah Gunung Marapi, Sumatra Barat,
2. Data penginderaan jauh, data yang digunakan adalah citra Sentinel-1A dari *European Space Agency* (ESA) dengan mode interferometri (IW-SLC),
3. Periode analisis, rentang waktu analisis mencakup variasi temporal antara 30 hingga 90 hari untuk menangkap perubahan deformasi jangka pendek dan menengah,
4. Model Elevasi Digital (DEM) dengan resolusi 30 m digunakan untuk koreksi topografi dalam proses diferensial interferometri,
5. Metode analisis, *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) digunakan untuk mendeteksi perubahan deformasi permukaan,
6. Parameter deformasi, parameter yang dianalisis meliputi:
  - Perubahan elevasi permukaan akibat aktivitas vulkanik.
  - Distribusi spasial deformasi untuk mengidentifikasi pola pergerakan tanah.
  - Hubungan antara deformasi dan faktor geofisika lainnya seperti tekanan magma, perubahan stres, atau faktor eksternal lainnya.
7. *Software* SNAP (ESA) digunakan untuk pemrosesan data InSAR dan QGIS digunakan untuk visualisasi hasil dalam bentuk peta deformasi.

#### 1.5 Hipotesis Penelitian

Terdapat deformasi signifikan kenaikan atau penurunan permukaan tanah antara periode pra-erupsi dan pasca-erupsi (30-90 hari) yang berhubungan dengan intensitas aktivitas vulkanik. Selama periode pra-erupsi menunjukkan kenaikan permukaan tanah (inflasi) dan pasca-erupsi menunjukkan penurunan permukaan tanah (deflasi) yang mengidentifikasi sebagai akibat dari pergerakan magma atau pelepasan tekanan gas.