

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan analisis deformasi permukaan Gunung Marapi menggunakan metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) berbasis citra Sentinel-1A, dengan tiga periode observasi utama antara Oktober 2023 hingga Januari 2024. Berdasarkan hasil pemrosesan dan interpretasi, diperoleh sejumlah kesimpulan penting:

1. Siklus deformasi Gunung Marapi bersifat teratur dan signifikan, memperlihatkan pola deflasi–inflasi–deflasi ringan yang terekam secara konsisten selama tiga periode pengamatan. Siklus ini mengindikasikan dinamika tekanan magmatik yang aktif di bawah permukaan, mencerminkan proses akumulasi dan pelepasan tekanan dalam sistem vulkanik.
2. Periode inflasi signifikan terjadi pada 28 November–10 Desember 2023, ditandai dengan deformasi positif mencapai +0,95 meter dan vektor konvergen ke arah kawah. Pola ini sejalan secara spasial dan temporal dengan aktivitas vulkanik tinggi pada 3 Desember 2023, yang mencakup 36 gempa letusan dan visual letusan eksplosif, sebagaimana dilaporkan oleh PVMBG/Magma Indonesia. Temuan ini menegaskan bahwa perubahan deformasi permukaan dapat menjadi indikator spasial yang kuat dalam mendeteksi tekanan sebelum erupsi.
3. Arah vektor deformasi menunjukkan migrasi spasial tekanan ke barat daya, terutama pasca-erupsi, yang relevan dengan lokasi terjadinya bencana lahar dingin pada 11 Mei 2024. Perubahan arah tekanan ini menunjukkan bahwa reservoir magmatik atau jalur migrasi fluida dapat meluas ke arah yang tidak terduga, menandai pentingnya pemantauan deformasi secara spasial, bukan hanya berfokus pada kaldera utama.
4. Korelasi antara deformasi spasial, aktivitas seismik, dan kejadian visual menunjukkan bahwa tidak semua fase deformasi disertai aktivitas gempa tinggi. Periode deflasi awal (23 Okt–28 Nov) menunjukkan hanya 3 gempa vulkanik dalam (VA), yang mengarah pada interpretasi kemungkinan

pergerakan magma senyap (*silent magma migration*), serta struktur geologi lokal yang berperan meredam respons seismik.

5. Metode DInSAR terbukti efektif sebagai alat pemantauan deformasi vulkanik secara *real time* dan jarak jauh, dengan keunggulan spasial dan temporal yang memungkinkan deteksi perubahan permukaan tanpa perlu pengamatan langsung di lapangan. Hal ini sangat relevan untuk daerah rawan dan sulit dijangkau, serta mendukung peringatan dini dan mitigasi berbasis data.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan dan keterbatasan dalam penelitian ini, berikut adalah beberapa rekomendasi untuk pengembangan riset lanjutan dan peningkatan sistem pemantauan Gunung Marapi:

1. Integrasi Multidata Vulkanik
Disarankan untuk menggabungkan data DInSAR dengan parameter lain seperti seismik (VA/VB), emisi gas vulkanik (SO₂ dan CO₂), suhu fumarol, serta pengamatan visual (*drone* atau laporan PVMBG). Pendekatan multidisipliner akan memperkuat konfirmasi silang antar parameter dan meningkatkan akurasi sistem peringatan dini.
2. Implementasi *Time-Series* InSAR (SBAS atau PS-InSAR)
Riset mendatang disarankan menggunakan pendekatan *time-series* berbasis *Small Baseline Subset* atau *Persistent Scatterer* untuk memantau deformasi jangka panjang. Metode ini lebih sensitif terhadap deformasi kumulatif dan mampu menangkap tren gradual yang tidak terdeteksi pada *two-pass interferometry*.
3. Model Simulasi Erupsi dan Zona Bahaya Dinamis
Perlu dikembangkan model spasial berbasis deformasi dan vektor pergerakan tanah untuk menyusun simulasi skenario letusan dan prediksi arah sebaran dampak, termasuk bencana sekunder seperti awan panas dan lahar. Simulasi ini penting untuk penyusunan zona rawan bencana yang adaptif dan mendukung perencanaan mitigasi berbasis data.
4. Validasi Lapangan dan Kalibrasi Algoritma DInSAR

Disarankan adanya pengumpulan data validasi lapangan seperti GNSS, tilt meter, atau observasi gejala permukaan (rekahan, peningkatan suhu, hembusan gas), untuk kalibrasi hasil deformasi DInSAR dan meningkatkan reliabilitas interpretasi.

5. Peningkatan Resolusi dan Frekuensi Citra Satelit

Untuk meningkatkan sensitivitas terhadap deformasi mikro dan dinamika cepat, disarankan penggunaan citra radar resolusi tinggi (misalnya ALOS-2, TerraSAR-X) dan interval akuisisi yang lebih rapat, terutama pada fase pra-erupsi dan pasca-erupsi.

6. Pengembangan Sistem Monitoring *Real Time* dan *Early Warning System* (EWS)

Mengingat kemampuan DInSAR untuk mendeteksi deformasi harian atau mingguan, sangat penting untuk mendukung pengembangan EWS yang menggabungkan deformasi *real time*, parameter seismik, dan laporan visual, yang dapat dikirimkan otomatis ke otoritas kebencanaan dan masyarakat terdampak.

