



Pemetaan Deformasi Gunung Api Menggunakan Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*

(Studi Kasus: Gunung Marapi, Sumatera Barat)

Ulfah Umniyyah^{1*}, Dwi Arini², Fajrin³, Fajrin, Dwi Marsiska Driptufany⁴

¹⁻⁴ Institut Teknologi Padang, Indonesia

Email: ulfahumniyyah1003@gmail.com¹, dwiarini@itp.ac.id²

*Penulis Korespondensi: ulfahumniyyah1003@gmail.com

Abstract: Mount Marapi is one of the most active volcanoes in West Sumatra with frequent eruptions and significant volcanic activity in recent years. Monitoring surface deformation is essential to understand subsurface magma dynamics and support volcanic hazard mitigation. This study aims to analyze surface deformation of Mount Marapi using the Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) method based on Sentinel-1 satellite imagery. The data used in this study cover the period from January 2023 to March 2025. Processing was carried out using SNAP software to generate interferograms and deformation maps. The results indicate spatial variations of deformation in the form of uplift and subsidence around the volcanic edifice. Uplift is interpreted as magma pressure or fluid movement beneath the surface, while subsidence may indicate deflation or material compaction after eruptions. These findings demonstrate that DInSAR is effective for monitoring volcanic deformation and can support early warning systems for volcanic hazards.

Keywords: Deformation; DInSAR; Mount Marapi; Sentinel-1; Volcano Monitoring.

Abstrak: Gunung Marapi merupakan salah satu gunung api aktif di Sumatera Barat yang memiliki aktivitas vulkanik tinggi dan berpotensi menimbulkan bahaya bagi wilayah sekitarnya. Pemantauan deformasi permukaan menjadi salah satu indikator penting dalam memahami dinamika magma di bawah permukaan serta mendukung mitigasi bencana vulkanik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis deformasi permukaan Gunung Marapi menggunakan metode Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) berbasis citra Sentinel-1. Data yang digunakan mencakup periode Januari 2023 hingga Maret 2025. Pengolahan dilakukan menggunakan perangkat lunak SNAP untuk menghasilkan interferogram dan peta deformasi. Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi deformasi berupa uplift dan subsidence di sekitar tubuh gunung api. Uplift diinterpretasikan sebagai tekanan magma atau pergerakan fluida di bawah permukaan, sedangkan subsidence berkaitan dengan proses deflasi setelah aktivitas erupsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode DInSAR efektif digunakan untuk memantau deformasi gunung api dan dapat mendukung sistem mitigasi bencana.

Kata kunci: Deformasi; DInSAR; Gunung Marapi; Penginderaan Jauh; Sentinel-1.

1. LATAR BELAKANG

Secara tektonik, wilayah Indonesia memiliki posisi yang unik karena berada pada pertemuan dua sabuk gunung api utama dunia, yakni jalur Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediterania. Letak tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan jumlah gunung api terbanyak, baik yang masih aktif maupun yang sudah tidak menunjukkan aktivitas. Dalam beberapa tahun terakhir, sejumlah gunung api di Indonesia memperlihatkan peningkatan aktivitas vulkanik, bahkan sebagian di antaranya berada pada level yang cukup tinggi sehingga berpotensi menimbulkan ancaman bagi masyarakat sekitar. Gunung Merapi, misalnya, dikenal sebagai salah satu gunung api paling aktif dan berisiko tinggi di Asia. Selain itu, terdapat pula gunung api lain yang menunjukkan aktivitas signifikan, meskipun tidak seluruhnya berdampak langsung secara destruktif. Salah satu peristiwa erupsi besar yang

tercatat adalah letusan Gunung Sinabung pada tahun 2014 di Kabupaten Karo, Sumatera Utara (Andri Yanto, 2024). Gunung ini termasuk gunung api aktif di Pulau Sumatra yang memiliki frekuensi letusan sangat tinggi, dengan catatan lebih dari 500 kali erupsi sejak tahun 1770 (Pokhrel, 2024).

Fenomena aktivitas vulkanik umumnya diikuti oleh perubahan morfologi permukaan tanah yang dikenal sebagai deformasi. Perubahan ini dapat berlangsung sebelum, ketika, maupun setelah terjadinya erupsi, sebagai akibat dari dinamika pergerakan serta tekanan magma di bawah permukaan bumi. Oleh sebab itu, pemantauan deformasi menjadi indikator penting dalam menganalisis proses vulkanik sekaligus mendukung langkah mitigasi risiko bencana (Asriningrum & Noviar, 2004). Secara umum, deformasi tubuh gunung api dapat berupa pengangkatan permukaan (uplift) yang terjadi akibat desakan magma ke arah atas, ataupun penurunan permukaan (subsidence) yang lazim terjadi selama atau setelah fase erupsi.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh turut memberikan kontribusi besar dalam pemantauan deformasi permukaan bumi. Salah satu metode yang banyak diterapkan adalah Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR), yang mampu mendeteksi perubahan permukaan dengan tingkat ketelitian tinggi. Teknik ini bekerja dengan menganalisis perbedaan fase dari dua citra radar yang direkam pada waktu berbeda (Saraswati et al., 2017). Dalam penelitian ini, metode DInSAR digunakan untuk mengkaji deformasi permukaan Gunung Marapi berbasis data citra Sentinel-1A pada rentang waktu Januari 2023 hingga Maret 2025.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi dan Data Penelitian

Secara lokasi geografis, Gunung Marapi merupakan salah satu gunung api aktif yang berada di Provinsi Sumatera Barat, Indonesia. Secara astronomis, gunung ini terletak pada koordinat sekitar 0°22'–0°24' Lintang Selatan dan 100°27'–100°29' Bujur Timur, dengan elevasi kurang lebih 2.891 meter di atas permukaan laut (mdpl). Dari sisi administrasi pemerintahan, Gunung Marapi berada di wilayah perbatasan antara Kabupaten Agam dan Kabupaten Tanah Datar (Aisy et al., 2025). Gunung ini merupakan bagian dari rangkaian Pegunungan Bukit Barisan yang membentang sepanjang Pulau Sumatra dan terbentuk akibat proses subduksi Lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah Lempeng Eurasia. Kondisi geotektonik tersebut menjadikan Gunung Marapi sebagai salah satu gunung api strategis yang perlu dimonitor secara berkelanjutan karena potensi aktivitas vulkaniknya dapat berdampak pada kawasan di sekitarnya.

Secara umum, deformasi diartikan sebagai perubahan posisi, bentuk, maupun dimensi suatu material. Dalam konteks geodinamika, deformasi dapat dimaknai sebagai pergeseran atau perubahan kedudukan suatu titik pada objek tertentu, baik ditinjau secara absolut berdasarkan pergerakan titik itu sendiri maupun secara relatif terhadap titik acuan lainnya. Pada penelitian ini, pengamatan aktivitas Gunung Marapi dilakukan melalui pendekatan deformasi berbasis penginderaan jauh dengan memanfaatkan data citra satelit yang kemudian dianalisis menggunakan metode Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) (Nurtyawan & Utami, 2020).

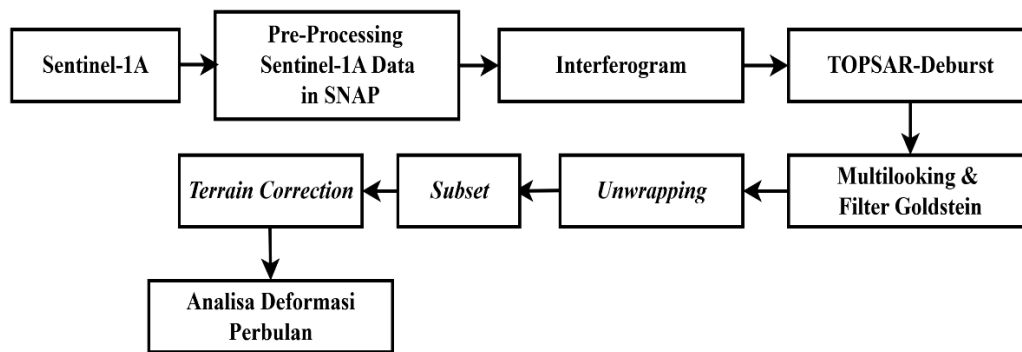
Adapun data yang digunakan berupa citra Sentinel-1A dengan mode Interferometric Wide Swath (IW) berformat Single Look Complex (SLC) pada periode tahun 2023 hingga Maret 2025. Analisis dilakukan menggunakan teknik Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) berbasis Line of Sight (LOS) (Febriyanti, 2017). Metode ini diterapkan untuk mengidentifikasi serta memantau perubahan deformasi dan variasi dimensi permukaan gunung api akibat dinamika aktivitas vulkanik, dengan tingkat ketelitian hingga skala sentimeter bahkan milimeter (Saraswati et al., 2017).

Metode Analisis Data

Deformasi merupakan perubahan pada posisi, bentuk, maupun dimensi suatu material. Berdasarkan pengertian tersebut, deformasi dapat dimaknai sebagai pergeseran atau perubahan kedudukan suatu titik pada suatu objek, baik ditinjau secara absolut berdasarkan karakteristik gerakan titik itu sendiri, maupun secara relatif dengan membandingkannya terhadap titik acuan lain. Pada sistem gunung api, deformasi umumnya termanifestasi dalam dua bentuk utama, yaitu pengangkatan permukaan tanah (uplift) dan penurunan permukaan tanah (*subsidence*) (Nugraha et al., 2021). Fenomena uplift biasanya terjadi akibat pergerakan magma menuju permukaan yang memberikan tekanan pada lapisan batuan di atasnya, sehingga menyebabkan permukaan tanah mengalami kenaikan. Peningkatan deformasi yang signifikan kerap terdeteksi menjelang terjadinya erupsi. Sebaliknya, *subsidence* lazim terjadi ketika atau setelah fase letusan berlangsung, sebagai respons terhadap pengosongan atau redistribusi material magma di bawah permukaan.

Pada penelitian ini, analisis dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan deformasi permukaan Gunung Marapi dengan memanfaatkan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR). Data yang digunakan berupa citra Sentinel-1 dalam rentang waktu Januari 2023 hingga Maret 2025 dengan interval pengamatan tertentu. Proses pengolahan citra dilakukan menggunakan perangkat lunak Sentinel Application Platform (SNAP) (Gimenez, 2012).

Tahapan pengolahan dimulai dengan menentukan pasangan citra master dan slave berdasarkan kedekatan waktu akuisisi serta kualitas data yang optimal. Setelah itu dilakukan koreksi orbit guna meningkatkan ketelitian posisi citra. Proses berikutnya adalah coregistration, yaitu penyelarasan citra master dan slave ke dalam sistem koordinat yang sama sehingga dapat dihasilkan interferogram untuk analisis deformasi (Haniah, Yudo Prasetyo, 2011).



Gambar 1. Pemrosesan Data Deformasi.

Pengolahan data Sentinel-1A dilakukan dengan menganalisis perbedaan fase antara citra master dan *slave* untuk menghasilkan interferogram. Setelah *interferogram* terbentuk, tahap selanjutnya adalah penerapan *Goldstein phase filtering* yang bertujuan untuk mereduksi noise serta meningkatkan kualitas pola interferensi.

Tahap berikutnya yaitu proses *phase unwrapping* menggunakan perangkat lunak SNAPHU, yang berfungsi mengubah nilai fase terbungkus (*wrapped phase*) menjadi fase kontinu sehingga merepresentasikan nilai deformasi sebenarnya. Setelah itu dilakukan koreksi geometrik serta transformasi data ke dalam sistem koordinat peta agar sesuai dengan referensi spasial yang digunakan.

Selanjutnya, *Terrain Correction* diterapkan dengan memanfaatkan data *Digital Elevation Model* (DEM) guna menghilangkan pengaruh topografi terhadap hasil interferometri. Nilai fase yang telah melalui proses unwrapping kemudian dikonversi menjadi nilai pergeseran permukaan (*displacement*) dengan menggunakan panjang gelombang radar Sentinel-1A sebagai parameter perhitungan.

Hasil akhir pengolahan disimpan dalam bentuk raster deformasi berformat GeoTIFF. Pada tahap akhir, dilakukan visualisasi peta deformasi yang dilengkapi dengan elemen kartografis seperti legenda, skala, dan informasi pendukung lainnya. Interpretasi kemudian dilakukan untuk mengidentifikasi pola deformasi yang terjadi, baik berupa pengangkatan permukaan (*uplift*) maupun penurunan permukaan (*subsidence*) (Djibran, 2025).

Nilai deformasi (Δd) dalam arah *Line of Sight* (LOS) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta d = \frac{\lambda \cdot \Delta \phi}{4\pi} \quad (2.1)$$

Di mana:

- Δd = deformasi permukaan (dalam meter)
- λ = panjang gelombang radar Sentinel-1 (sekitar 0,056 meter)
- $\Delta \phi$ = perubahan fase interferogram (dalam radian)
- π = konstanta pi ($\approx 3,1416$)

Panjang gelombang radar (λ) pada misi Sentinel-1 adalah sekitar 5,6 cm (0,056 m). Perubahan fase ($\Delta \phi$) diperoleh dari hasil pemrosesan interferogram dua citra SAR dengan waktu pengambilan berbeda.

Setelah proses *coregistration*, dilakukan pembentukan *interferogram* yang merepresentasikan perbedaan fase antara dua citra radar. *Interferogram* yang dihasilkan masih mengandung komponen fase topografi, atmosfer, serta noise. Oleh karena itu dilakukan penghilangan fase topografi menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) sehingga diperoleh fase deformasi.

Tahapan selanjutnya adalah filtering untuk mengurangi noise dan meningkatkan kualitas *interferogram*. Setelah itu dilakukan proses phase unwrapping untuk mengubah nilai fase yang semula dalam bentuk modulo menjadi fase kontinu sehingga dapat dikonversi menjadi nilai deformasi. Nilai deformasi kemudian dihitung dalam arah *Line of Sight* (LOS) berdasarkan hubungan antara perubahan fase radar dan panjang gelombang radar Sentinel-1A (Azhari et al., 2020).

Hasil deformasi yang diperoleh kemudian dilakukan proses terrain correction untuk mengubah sistem koordinat citra ke koordinat geografis sehingga dapat dianalisis secara spasial. Analisis deformasi dilakukan dengan mengamati pola uplift dan subsidence yang terjadi pada tubuh Gunung Marapi selama periode Januari 2023 hingga Maret 2025.

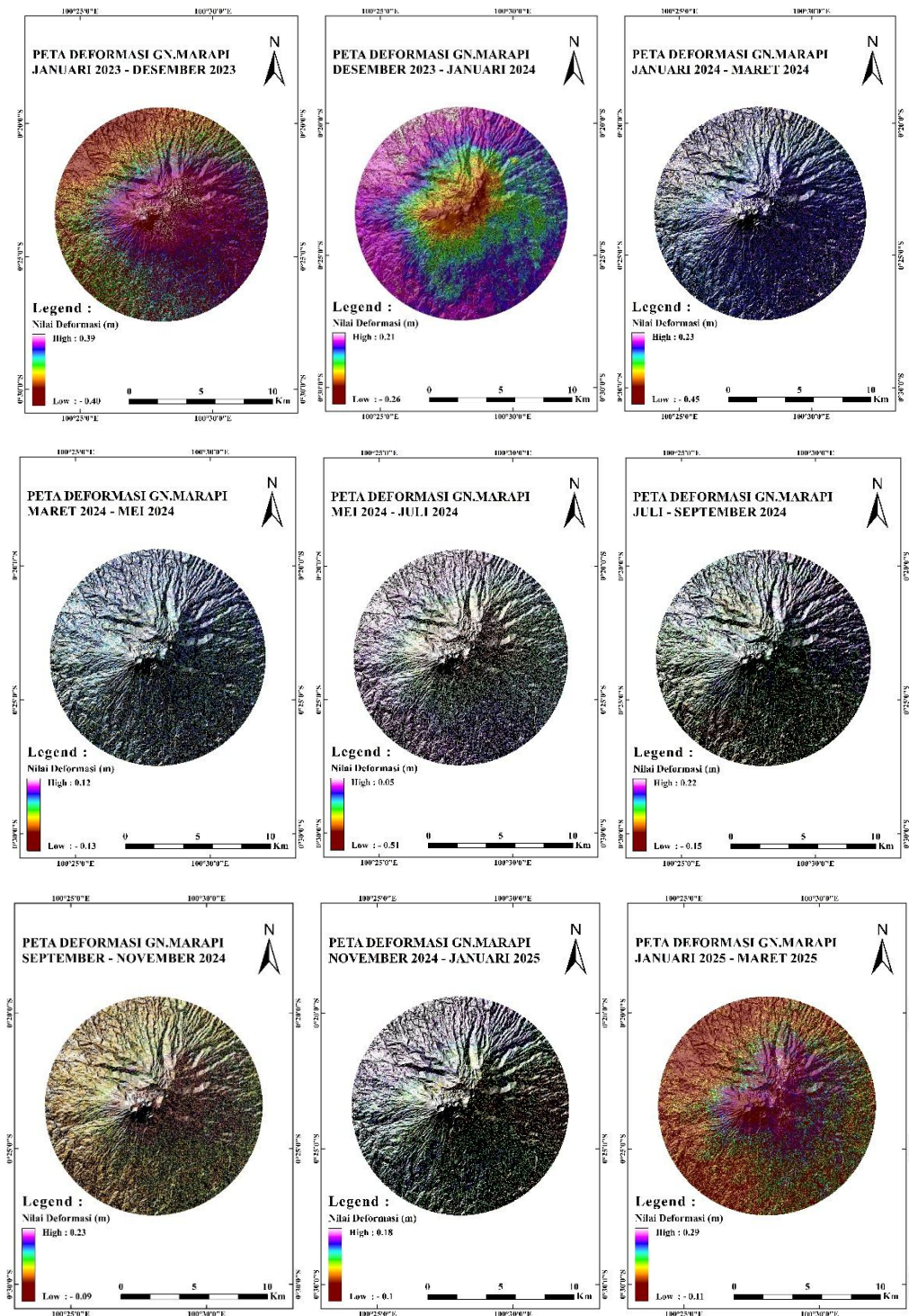
Penelitian terbaru menunjukkan bahwa teknik Differential Interferometric SAR (DInSAR) efektif untuk memetakan perubahan landscape pasca-erupsi besar Gunung Marapi dan mengidentifikasi variasi deformasi di sekitar kaldera serta lereng gunung yang mencerminkan pergerakan magma di bawah permukaan (Deshafa, 2025; Panuntun & Taftazani, 2024). Studi komparatif menggunakan data InSAR pada gunung berapi di Indonesia juga memperlihatkan bahwa pola deformasi uplift dan subsidence merupakan indikator penting bagi dinamika magma dan potensial erupsi selanjutnya (Hanif, Apichontrakul & Razi, 2024).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta deformasi yang ditampilkan pada Gambar 3 merepresentasikan kondisi perubahan permukaan Gunung Marapi, Sumatera Barat, pada periode Desember 2023 hingga Januari 2024. Peta tersebut dihasilkan melalui pengolahan citra Sentinel-1A menggunakan metode Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) untuk mengidentifikasi dinamika deformasi gunung api. Nilai deformasi yang ditampilkan menggambarkan perubahan elevasi permukaan tanah berdasarkan arah pengamatan satelit atau Line of Sight (LOS) dalam rentang waktu pengamatan tersebut.

Gradasi warna pada peta menunjukkan variasi nilai deformasi, berkisar antara sekitar +0,21 meter hingga -0,26 meter. Warna ungu, biru, dan hijau merepresentasikan nilai positif yang mengindikasikan kenaikan permukaan (uplift), sedangkan warna merah hingga kuning menunjukkan nilai negatif yang mengindikasikan penurunan permukaan (subsidence). Dengan demikian, nilai positif mencerminkan terjadinya pengangkatan permukaan tanah, sementara nilai negatif menunjukkan adanya penurunan.

Konsentrasi deformasi signifikan yang tampak di area puncak, ditunjukkan oleh warna merah dan kuning, mengarah pada indikasi perubahan tekanan di bawah permukaan. Kondisi tersebut berpotensi berkaitan dengan dinamika sistem magmatik, seperti pergerakan atau redistribusi material magma, yang memengaruhi respons permukaan tanah. Di sisi lain, area dengan dominasi warna hijau hingga ungu memperlihatkan kecenderungan uplift, yang dapat dikaitkan dengan proses pelepasan tekanan, perpindahan fluida vulkanik, atau dinamika pasca-erupsi yang memengaruhi kestabilan lapisan bawah permukaan.

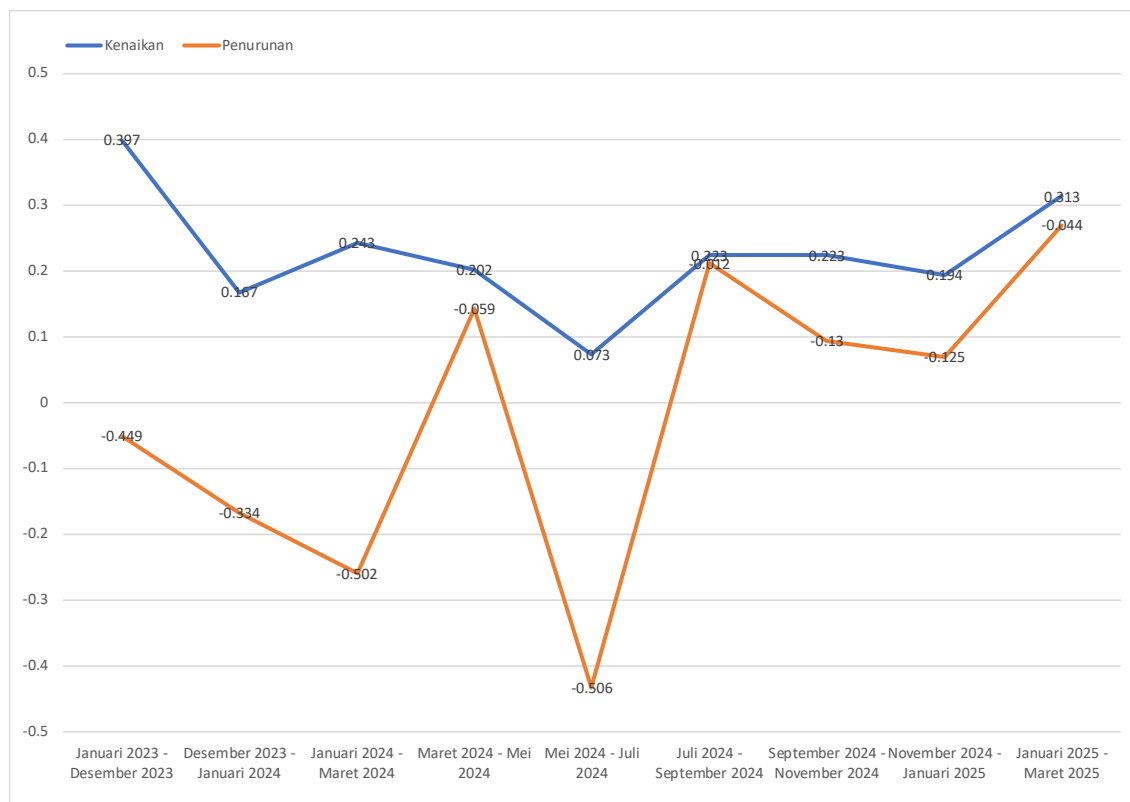


Gambar 2. Peta Deformasi Gunung Marapi, Sumatera Barat Bulan Januari 2023-Maret 2025.

Pada Gambar 2 tersebut, seluruh bagian profil didominasi oleh nilai deformasi negatif. Hal ini menunjukkan bahwa sepanjang lintasan pengamatan terjadi kecenderungan penurunan permukaan tanah. Pada beberapa titik terlihat penurunan yang lebih besar dibandingkan bagian lainnya, yang mengindikasikan adanya zona subsidence yang lebih kuat secara lokal.

Pola grafik memperlihatkan perubahan yang tidak seragam dan cenderung naik-turun (fluktuatif), namun tetap berada pada nilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun

terjadi variasi intensitas deformasi di sepanjang lintasan, secara umum area yang dilalui profil mengalami subsidence. Variasi lokal tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi material permukaan, struktur geologi, maupun pengaruh tekanan dari dalam tubuh gunung api yang tidak merata.



Gambar 3. Grafik *Uplift* dan *Subsidence* Deformasi Gunung Marapi, Sumatera Barat Bulan Januari 2023-Maret 2025.

Berdasarkan grafik deformasi pada Gambar 3 diatas menunjukkan pola perubahan *subsidence* dan *uplift* permukaan tanah pada rentang waktu Januari 2023 hingga Maret 2025. Dari grafik deformasi nilai *subsidence* mengalami variasi yang lebih signifikan yang dilihat pada gambar menunjukkan *subsidence* terbesar terjadi pada awal (Januari-Maret) dan pertengahan (Mei-Juli) 2024 dengan nilai sekitar -0,502 meter hingga -0,506 meter. *Subsidence* yang cukup dalam pada periode ini mencerminkan fase penurunan yang kuat, yang umumnya terjadi akibat keluarnya penurunan tekanan setelah aktivitas vulkanik. Pada periode Juli-September 2024, nilai deformasi menunjukkan perubahan positif kembali, meskipun dalam jumlah kecil, yang dapat menandakan adanya penyesuaian atau respon permukaan terhadap perubahan tekanan dari dalam gunung Marapi. Memasuki akhir 2024 hingga awal 2025, nilai *subsidence* mulai menurun intensitasnya dan mendekati kondisi yang lebih stabil.

Sebaliknya berdasarkan grafik deformasi pola perubahan *uplift* pada periode awal, yakni Januari-Desember 2023, *uplift* mencapai nilai tertinggi sebesar 0,397 meter, yang

mengindikasikan adanya peningkatan tekanan akibat akumulasi fluida atau material magmatik. Setelah itu, nilai *uplift* cenderung menurun dan mencapai titik terendah sebesar 0,073 meter pada periode Mei-Juli 2024. Melemahnya *uplift* ini menunjukkan berkurangnya tekanan dari dalam, yang dapat dipengaruhi oleh pelepasan redistribusi material di bawah permukaan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pada penelitian deformasi pada Gunung Marapi bulan Januari 2023 sampai Maret 2025 dengan menggunakan metode DInSAR berdasarkan *Line Of Sight* (LOS), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Deformasi yang terjadi di Gunung Marapi selama periode 2023 hingga awal 2025 menunjukkan analisis deformasi Gunung Marapi mengungkapkan siklus berulang yaitu *uplift* (hingga 0,397 m) di puncak dan *subsidence* (hingga -0,506 m) di lereng, menandakan dinamika magmatik aktif seperti akumulasi magma dan pelepasan tekanan. Pada akhir periode (Januari-Maret 2025), deformasi cenderung stabil dengan *uplift* dominan hingga 0,313 m di kawah, mengindikasikan sistem vulkanik mendekati keseimbangan pasca-aktivitas sebelumnya.

Pada gambar grafik pada masing-masing periode menunjukkan bahwa nilai koherensi paling dominan berada pada kisaran menengah, yaitu sekitar 0,30–0,32. Pola ini mengindikasikan bahwa sebagian besar area penelitian memiliki tingkat kesamaan sinyal radar yang relatif konsisten antarwaktu, meskipun pada beberapa bagian masih dijumpai nilai koherensi rendah maupun tinggi.

Saran

Perlu adanya penelitian lanjut dengan pengukuran di lapangan secara langsung yang menggunakan pengolahan data *Global Positioning System* (GPS) untuk mendapatkan nilai vertikal dari perubahan deformasi yang terjadi akibat erupsi Gunung Marapi. Penelitian ini hanya menggunakan metode DInSAR untuk mendapatkan nilai yang lebih akurat sebaiknya penelitian selanjutnya menggunakan metode SAR lainnya seperti PSInSAR dan SBAS.

DAFTAR REFERENSI

- Aisy, R., Friess, D., Putra, A., Malaya, U., Padang, U. N., & Author, C. (2025). Hazard level and risk of Mount Marapi cold lava flood disaster based on geographic information system (GIS) in Tanah Datar Regency, West Sumatra, Indonesia. 9(2), 23–27.
- Andri Yanto, D. (2024). Analisis kerusakan lahan pemukiman pada kawasan. 9(3), 427–433.
- Asriningrum, W., & Noviar, H. (2004). Pengembangan metode zonasi daerah bahaya letusan gunung api: Studi kasus Gunung Merapi. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan*

Data Citra Digital, 1(1), 66–75.

- Azhari, M. F., Rasimeng, S., & Mulyanto, B. S. (2020). Analisis deformasi permukaan menggunakan metode differential interferometry synthetic aperture radar (DInSAR) pada studi kasus gempa bumi Lombok periode Agustus 2018. 6(2), 131–144.
- Deshafa, A. F. (2025). *Analisis deformasi permukaan Gunung Marapi, Sumatera Barat pasca-erupsi 3 Desember 2023 menggunakan teknik differential interferometric SAR (InSAR)* [Skripsi, Universitas Andalas].
- Djibrin, H. M. (2025). Analisis deformasi permukaan akibat gempabumi pada 28 September 2018 di Kota Palu menggunakan metode DInSAR dan hubungannya dengan distribusi Vs30. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 26(3), 173–184. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v26i3.967>
- Febriyanti, R. F. (2017). *Analisa deformasi permukaan Gunung Raung menggunakan teknologi differential interferometry synthetic aperture radar (DInSAR) berdasarkan erupsi 28 Juni 2015* [Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Gimenez, A., et al. (2012). *SNAP manual*. University of California, Berkeley. <http://snap.cs.berkeley.edu/downloads/snap-1.0beta-manual.pdf>
- Haniah, & Prasetyo, Y. (2011). Pengenalan teknologi radar untuk pemetaan spasial di kawasan tropis. 155–161.
- Hanif, M., Apichontrakul, S., & Razi, P. (2024). Multi-temporal InSAR analysis for monitoring the ground deformation of Mount Sinabung. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 29(05), Article APST-29-05-15.
- Nugraha, W., Kuncoro, H., Kriswati, E., & Geodesi, J. T. (2021). Studi deformasi gunungapi menggunakan metode differential interferometric synthetic aperture radar (DInSAR). 648–658.
- Nurtyawan, R., & Utami, L. S. (2020). Monitoring deformasi Gunung Merapi menggunakan citra Sentinel-1A dengan metode DInSAR (Studi kasus: Gunung Merapi, Jawa Tengah). *Jurnal Rekayasa Hijau*, 4(1), 14–23. <https://doi.org/10.26760/jrh.v4i1.14-23>
- Panuntun, H., & Taftazani, M. I. (2024). InSAR imaging of surface deformation due to the volcanic activity of Mount Marapi, Indonesia. *Seminar Nasional Teknologi Terapan*.
- Pokhrel, S. (2024). Pemodelan kualitas udara HYSPLIT dan AERMOD dalam memodelkan sebaran kualitas udara pada abu vulkanik saat erupsi Gunung Marapi. 15(1), 37–48.
- Saraswati, G. F., Suprayogi, A., & Amarrohman, F. J. (2017). Analisis penurunan muka tanah (land subsidence) Kota Semarang menggunakan citra Sentinel-1 berdasarkan metode DInSAR pada perangkat lunak SNAP. 6(2), 90–98. <https://media.neliti.com/media/publications/84051-ID-analisis-perubahan-tutupan-lahan-das-blo.pdf>