

---

# ANALISIS DEFORMASI GUNUNG BROMO AKIBAT AKTIVITAS ERUPSI PADA DESEMBER 2015 – FEBRUARI 2016 MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR* (DInSAR)

Muhammad Taufik<sup>1</sup>, Imelda Vinny Aprillisa<sup>2</sup>, Ira Mutiara Anjasmara<sup>3</sup>

Departemen Teknik Geomatika, FTSLK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia  
e-mail: <sup>2</sup>imeldavinny@yahoo.com

## Abstrak

Gunung Bromo merupakan salah satu gunung berapi yang paling aktif di Jawa Timur. Pada Desember 2015 – Januari 2016 Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi mendeteksi adanya peningkatan aktivitas di Gunung Bromo. Aktivitas vulkanik menyebabkan adanya perubahan (deformasi) di wilayah permukaan Gunung Bromo. Deformasi yang ada di permukaan Gunung Bromo dapat diukur dengan berbagai teknologi, salah satunya yaitu menggunakan teknologi *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR). Dalam penelitian ini pengukuran deformasi pada permukaan Gunung Bromo dilakukan pengolahan dengan teknologi *DInSAR* menggunakan metode *two-pass* dari lima buah citra satelit Sentinel-1A bulan November 2015, Desember 2015, Januari 2016, Februari 2016, dan Maret 2016 serta *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission* 30 meter. Hasil menunjukkan bahwa metode *two-pass* teknologi *DInSAR* dapat merefleksikan peningkatan aktivitas di Gunung Bromo dimana mayoritas deformasi terjadi di kaldera Gunung Bromo. Dari metode ini, nilai *Line Of Sight displacement* yang dihasilkan menunjukkan bahwa terjadi puncak *subsidence* pada bulan Desember 2015 – Januari 2016 sebesar -20 mm s/d -60 mm hal ini mengindikasikan jika terjadi peningkatan aktivitas pada kawah Gunung Bromo pada rentang waktu tersebut. Sedangkan puncak *uplift* terjadi pada bulan Februari 2016 – Maret 2016 sebesar 0 mm s/d 40 mm hal ini mengindikasikan jika aktivitas pada kawah Gunung Bromo sudah mengalami penurunan.

Kata kunci : Deformasi, DInSAR, Gunung Bromo, Sentinel-1A

## Abstract

*Bromo mountain is one of the most active volcanoes in East Java. In December 2015 - January 2016 the Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation detected increased activities on Bromo mountain. The existence of volcanic activities cause a deformations on the surface of Bromo mountain. The existing deformations on the surface of Mount Bromo can be measured with various technologies such as using DInSAR. In this study, the analysis of deformation on the surface of Mount Bromo are done by DInSAR processing using two-pass method and using five Sentinel-1A satellite imagery in November 2015, December 2015, January 2016, February 2016, and March 2016 and DEM SRTM 30 meters. The results show that the two-pass method of DInSAR can reflect the increased activities in Bromo mountain that cause the deformation of the surface where the majority of deformations occur at the caldera of Bromo mountain. From this method, the result of LOS (Line of Sight) displacement value indicates that the maximum subsidence occurred in December 2015 - January 2016 with the value -20 mm s / d -60 mm it indicates if there were some increased activities on the crater of Bromo mountain in December 2015 to January 2016. While the maximum uplift occurred in February 2016 - March 2016 with the value 0 mm s / d 40 mm it indicates if the activities on the crater of Bromo mountain was decreasing. However, in order validate the accurate value of deformation, it is necessary to compare with other measurements or measuring directly in the field.*

Keywords : Deformation, DInSAR, Bromo Mountain, Sentinel-1A

## PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang secara tektonik terletak diantara pertemuan tiga lempeng benua yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, serta lempeng Australia. Interaksi dari ketiga lempeng tersebut menghasilkan deretan pegunungan api (*volcanic arc*) yang membujur dari selatan hingga timur Indonesia. Terhitung sebanyak 129 buah gunung api aktif berada di Indonesia. Keberadaan gunung api tersebut tentunya memiliki dampak secara langsung terhadap lingkungan, baik itu positif atau negatif. Salah satu dampak negatifnya adalah bahaya letusan gunung api. Letusan gunung api merupakan proses naiknya material magma dari dalam bumi menuju permukaan bumi baik dikeluarkan secara eksplosif maupun *efusif* (Wismaya dan Anjasmara 2016).

Gunung Bromo merupakan salah satu gunung api yang paling aktif di Jawa Timur. Data menunjukkan, sejak tahun 1804 hingga tahun 2016, Gunung Bromo telah bererupsi lebih dari 50 kali. Aktivitas Gunung Bromo saat ini sebagai aktivitas pasca-kaldera yang ditandai dengan pertumbuhan kerucut lava atau *scoria* atau *cinder cone* pada dasar kaldera. Karena posisi dapur magma pasca-kaldera relatif lebih dangkal dengan sistem yang terbuka, maka letusan-letusan pasca-kaldera tidak didahului akumulasi energi yang besar sehingga letusannya tergolong letusan kecil. Umumnya letusan yang terjadi adalah letusan eksplosif yang bersifat membangun seperti *Stromolian* atau *Maar*. Periode letusan gunung api pasca-kaldera umumnya pendek, rata-rata 10 tahun sekali (Pratomo 2006).

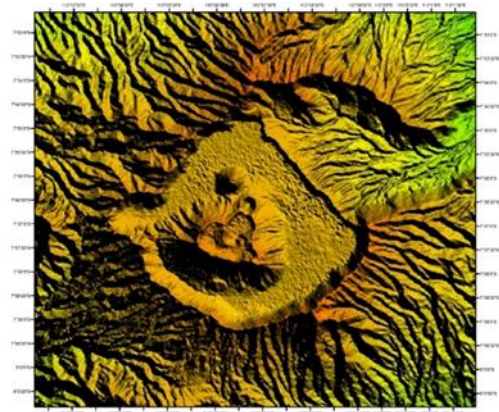
Dengan pendeknya periode letusan dari Gunung Bromo menunjukkan tingginya aktivitas yang terjadi pada dapur magma, hal ini berimplikasi terhadap perubahan bentuk badan atau permukaan berupa mengembang (*inflation*) dan menyusut (*deflation*) permukaan gunung tersebut. Perubahan yang signifikan dari gunung api dapat menjadi salah satu indikator akan terjadinya letusan, untuk itu diperlukan pengamatan deformasi dengan melihat perubahan nilai pergeseran permukaan baik dari arah vertikal maupun horizontal. Untuk pengamatan deformasi pada gunung api sendiri ada banyak metode yang dapat dilakukan seperti

penggunaan GPS (*Global Positioning System*), seismometer, dan data survei geofisika lainnya untuk membantu mendeteksi dinamika kegiatan gunung api (Chang-Wook dkk. 2008), selain itu dapat menggunakan teknologi satelit penginderaan jauh aktif yang menyediakan cakupan global untuk pemantauan gunung api (Rivera, Amelung, dan Eco 2016).

*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) merupakan teknik berbasis radar yang mengeksploitasi informasi yang ada pada fase, setidaknya dua citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang diperoleh pada daerah yang sama, pada waktu yang berbeda, untuk memperoleh pengukuran deformasi pada suatu daerah (Hanssen 2001). Penelitian deformasi pada gunung api yang telah dilakukan sebelumnya dengan teknologi *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR) pada Gunung Merapi (Yudha dkk. 2011). Oleh karena itu pada penelitian ini akan mengolah citra satelit Sentinel-1A dengan menggunakan teknologi *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) untuk mendapatkan besarnya deformasi di Gunung Bromo akibat erupsi pada bulan Desember 2015 – Februari 2016.

## METODE

### Lokasi Penelitian



Gambar 1. Lokasi Penelitian Gunung Bromo (USGS 2017)

Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus di kawasan Gunung Bromo yang berada di Provinsi Jawa Timur. Pada koordinat  $7^{\circ} 53' - 8^{\circ} 0' 30''$  LS dan  $112^{\circ} 53' 50'' - 113^{\circ} 1' 30''$  BT. Gunung bromo dikelilingi oleh empat wilayah kabupaten diantaranya :

- Kabupaten Probolinggo
- Kabupaten Pasuruan
- Kabupaten Lumajang
- Kabupaten Malang.

**Data dan Peralatan**

- Data
  - Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :
    1. Lima citra satelit Sentinel-1A menggunakan *band-C single polaritation* (VV) dengan panjang gelombang 5,6 cm.
    2. Data *Precise Orbit Ephemeride* [AUX\_PEORB].
    3. *DEM SRTM* 30 meter.

Tabel 1. Data Citra Sentinel-1A

No.	ID_Scene	Tanggal	Level	Arah
1.	S1A_IW_SLC_1SSV_20151109T104927_20151109T104957_008526_00C12B_05D0	9-November-2015	1,0 (Single Look Complex)	Ascending
2.	S1A_IW_SLC_1SSV_20151227T104920_20151227T104950_009226_00D4DA_0945	27-Desember-2015	1,0 (Single Look Complex)	Ascending
3.	S1A_IW_SLC_1SSV_20160120T104920_20160120T104949_009576_00DEE0_CBB5	20-Januari-2016	1,0 (Single Look Complex)	Ascending
4.	S1A_IW_SLC_1SSV_20160213T104919_20160213T104949_009926_00E916_A92F	13-Februari-2016	1,0 (Single Look Complex)	Ascending
5.	S1A_IW_SLC_1SSV_20160308T104919_20160308T104949_010276_00F325_F3D3	8-Maret-2016	1,0 (Single Look Complex)	Ascending

- Peralatan
  - Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Sistem Operasi *Ubuntu 16.04 LTS*, Sistem Operasi *Windows 7*, *GMT 5*, *GMT-SAR*.

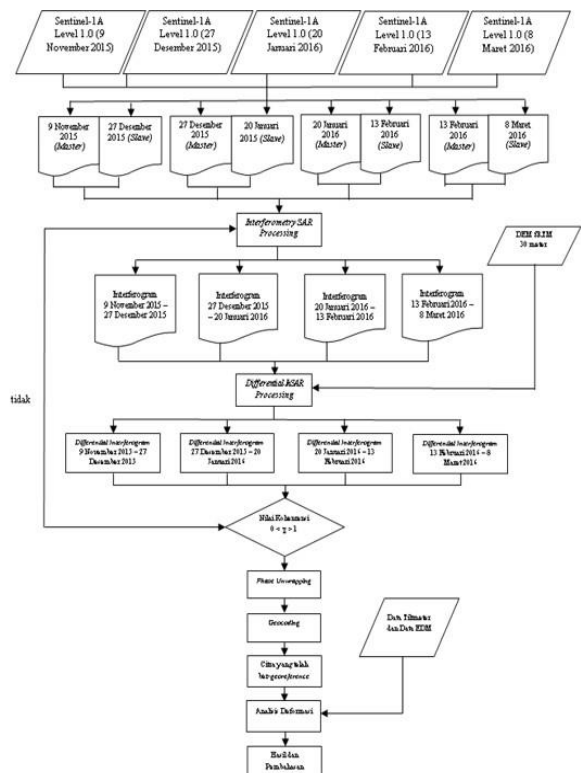
**Pengolahan Data**

Berikut adalah penjelasan tahapan-tahapan pengolahan data SAR dengan teknologi *DInSAR* pada *flowchart* gambar 2, sebagai berikut :

1. *Interferometry SAR Processing*  
 Tujuan dari proses ini yaitu pembentukan citra interferogram dari sepasang data *SLC* yang terdiri dari citra *master* dan citra *slave*. Metode *two pass* terbentuk empat pasang citra.
2. *Differential Interferometry SAR (DInSAR) Processing*  
 Pada citra interferogram yang telah terbentuk dilakukan proses *image filtering* dengan menaikkan nilai *Signal Noise Ratio* (SNR) serta

penghapusan efek topografi dengan menggunakan *DEM SRTM* 30 meter pada sistem koordinat radar.

3. Nilai Koherensi  
 Hasil dari proses *DInSAR* memiliki nilai koherensi dengan rentang nilai dari 0-1. Dimana jika nilai koherensi =1 menunjukkan bahwa citra *master* dan *slave* pada interferogram benar-benar identik, begitu pula sebaliknya dengan nilai koherensi = 0. Pada penelitian ini menggunakan nilai koherensi 0,2.



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data SAR Metode *Two-Pass Interferometry*

4. *Phase Unwrapping* dan *Geocoding*  
 Citra dari proses *DInSAR* masih dalam satuan radian (*phase*) dalam rentang  $-\pi$  sampai dengan  $\pi$ , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Pola deformasi sudah dapat terlihat tetapi informasi deformasi belum dapat terbaca dengan baik, sehingga dibutuhkan proses *phase unwrapping* untuk mendapatkan nilai *phase absolut* dan merubah satuan *phase* dari radian menjadi metrik. Sedangkan proses *geocoding* untuk melakukan transformasi koordinat kembali ke geografis.
5. Analisa Deformasi  
 Tahap analisa ini bertujuan untuk mengetahui terjadi deformasi pada hasil pengolahan SAR

dan membandingkan besar deformasi pada permukaan gunung dari pengolahan yang dilakukan dengan data Tiltmeter dan data EDM.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Panjang Baseline dan Interval Waktu**

Dari data SLC yang digunakan dalam pemrosesan SAR dengan GMT-SAR diperoleh panjang *baseline perpendicular* dan jarak temporal pada tabel 2.

Dapat dilihat pada tabel 2 bahwa dari tiga pasangan citra yang dibentuk interferogram memiliki panjang *baseline perpendicular* sebesar -137,370996 meter (pasangan citra 9 November 2015 – 27 Desember 2015), 77,881014 meter (pasangan citra 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016), 10,034544 meter (pasangan citra 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016), -54,591658 meter (pasangan citra 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016).

Tabel 2. Baseline Perpendicular dan Jarak Temporal

ID_Scene	Tanggal	Baseline Perpendicular	Baseline Temporal
S1A_IW_SLC_20151109T104927_20151227T104920	9 November 2015 – 27 Desember 2015	-137,370996 meter	47 hari
S1A_IW_SLC_20151227T104920_20160120T104920	27 Desember 2015 – 20 Januari 2016	77,881014 meter	24 hari
S1A_IW_SLC_20160120T104920_20160213T104919	20 Januari 2016 – 13 Februari 2016	10,034544 meter	24 hari
S1A_IW_SLC_20160213T104919_20160308T104919	13 Februari 2016 – 8 Maret 2016	-54,591658 meter	24 hari

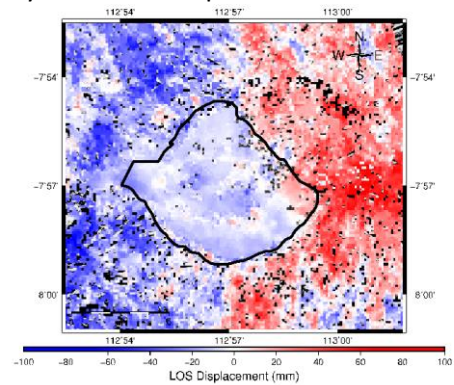
Semakin panjang nilai *baseline perpendicular* maka tingkat koherensi citra akan terus menurun dikarenakan semakin jauhnya perbedaan posisi orbit satelit ketika melakukan pengambilan citra. Begitu juga dengan besarnya nilai *baseline temporal* yang jika nilainya semakin besar akan menyebabkan *temporal decorrelation* dan berhubungan dengan besarnya nilai koherensi pada citra interferogram.

Koherensi citra yang rendah juga mengakibatkan karakteristik objek dari kedua sisi

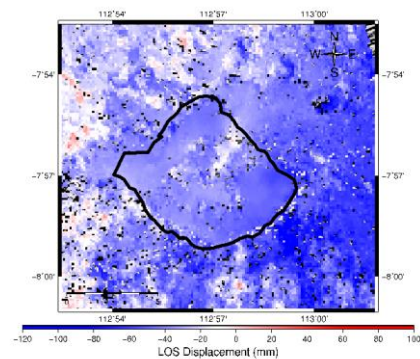
juga berbeda dan adanya perubahan pada objek yang diamati (Sari 2014).

**Analisa Besar Deformasi Area Studi**

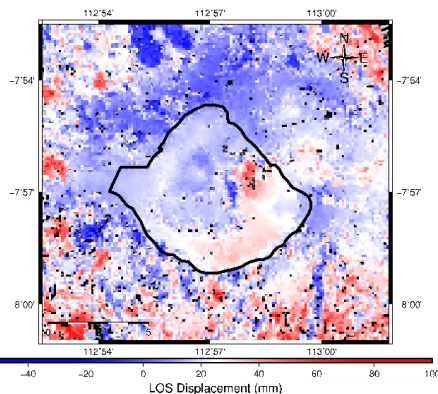
Pada scale bar yang ditunjukkan pada gambar 3, 4, 5, dan 6, warna merah pada citra menunjukkan terjadinya kenaikan permukaan tanah (inflasi) pada permukaan Gunung Bromo. Sedangkan warna biru menunjukkan terjadinya penurunan permukaan tanah (deflasi). Warna putih pada scale bar menunjukkan area pada studi kasus yang hampir atau tidak mengalami inflasi atau deflasi. Pada gambar 3, menunjukkan wilayah sekitar kaldera sebagian besar mengalami deflasi pada nilai antara 0 mm s/d -20 mm. Pada gambar 4, menunjukkan wilayah sekitar kaldera sebagian besar mengalami deflasi pada nilai antara -20 mm s/d -60 mm. Pada gambar 5, menunjukkan wilayah sekitar kaldera sebagian besar mengalami inflasi pada nilai antara 0 mm s/d 30 mm. Pada gambar 6, menunjukkan wilayah sekitar kaldera sebagian besar mengalami inflasi pada nilai antara 0 mm s/d 40 mm. Berdasarkan gambar 3, 4, 5, dan 6, terjadi perubahan pada permukaan badan gunung berupa penurunan dan kenaikan sebelum dan sesudah terjadinya aktivitas erupsi.



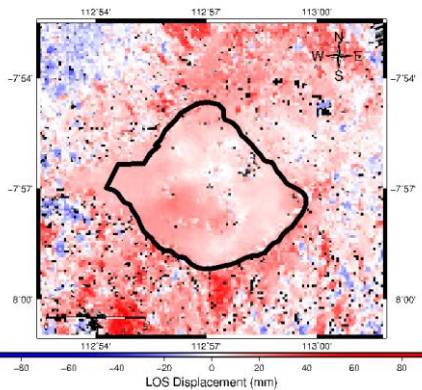
Gambar 3. Nilai LOS Displacement 9 November 2015 – 27 Desember 2015



Gambar 4. Nilai LOS Displacement 27 Desember 2015 – 20 Januari 2016



Gambar 5. Nilai *LOS* Displacement 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016



Gambar 6. Nilai *LOS* Displacement 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016

## KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang penulis dapatkan dalam penelitian ini:

1. Metode *two pass* pada teknologi *DInSAR* dapat merefleksikan peningkatan aktivitas di Gunung Bromo untuk mengetahui besar nilai deformasi di wilayah permukaan Gunung Bromo khususnya di sekitar kaldera dengan ketelitian sub-milimeter.
2. Berdasarkan hasil pengolahan *DInSAR*, besar deformasi berdasarkan *LOS displacement* pada 9 November 2015 - 27 Desember 2015 sebesar 0 mm s/d -20 mm, 27 Desember 2015 - 20 Januari 2016 sebesar -20 mm s/d - 60 mm, 20 Januari 2016 – 13 Februari 2016 sebesar 0 mm s/d 30 mm, 13 Februari 2016 – 8 Maret 2016 sebesar 0 mm s/d 40 mm.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis I.V.A. mengucapkan terima kasih kepada PVMBG yang telah menyediakan data untuk keperluan penelitian, Bapak Dr.Ir. Muhammad Taufik dan Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama penelitian dilaksanakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Y. Wismaya, I. Anjasmara. 2016. Analisis Deformasi Gunung Merapi Berdasarkan Data Pengamatan GPS Februari-Juli 2015. Surabaya: Teknik Geomatika ITS.
- I. Pratomo. 2006. Klasifikasi Gunung Api Aktif Indonesia Studi Kasus dari Beberapa Letusan Gunung Api Dalam Sejarah. *Jurnal Indonesian Journal on Geoscience*, Vol. 1 No. 4, 209-227.
- Chang-Wook, L., Zhong, L., Hyung-Sup, J., dan Oh-Ig, K. 2008. "Surface Displacements of The St. Augustine Volcano, Alaska, Measured From an *DInSAR* and GPS Data". 7th European Conference Synthetic Aperture Radar (EUSAR).
- Rivera, A., Amelung, F., dan Eco, R. 2016. "Volcano Deformation and Modeling on Active Volcanoes in The Philippines From Alos Insar Time Series". *Geochemistry Geophysics Geosystems* 17(7).
- Hanssen, R. 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis* Vol. 2. Springer.
- Yudha, E., Mulyo, B., Yuwono, dan Wiweka. 2011. "Studi Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Teknologi Interferometry Synthetic Aperture Radar (*InSAR*)". Digilib ITS.
- Sari, A. 2014. Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (*DInSAR*) untuk Analisa Deformasi Di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat). Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tamm, T., Zalite, K., Voormansik, K., dan Talgre, L. 2016. "Relating Sentinel-1 Interferometric Coherence to Mowing Events on Grasslands". *Remote Sensing*.