

MONITORING DEFORMASI GUNUNG BROMO TAHUN 2015 DAN 2016 MENGUNAKAN CITRA SENTINEL 1-A DAN METODE IN-SAR (Studi Kasus: Gunung Bromo, Jawa Timur)

Muhammad Rizki Pradana

Jurusan Teknik Geodesi S-1 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang,
Jalan Bendungan Sigura-gura No. 2 Lowokwaru, Kecamatan Sumber Sari, Kota Malang – mrizkypradana007@gmail.com

KATA KUNCI: Deformasi, Gunung Bromo, In-SAR, Citra, Sentinel-1

ABSTRAK:

Monitoring aktivitas gunung api aktif penting dilakukan karena akan memberikan banyak informasi penting dalam rangka mitigasi bencana berkaitan dengan vulkan. Salah satu aktivitas gunung api yang perlu dilakukan monitoring adalah deformasi gunung api. Monitoring deformasi tersebut menggunakan integrasi pengolahan data menggunakan citra Sentinel-1 dengan menggunakan metode *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (In-SAR). In-SAR merupakan teknik Penginderaan Jauh yang mampu menghitung perubahan (*displacement*) permukaan bumi dalam ukuran milimeter hingga meter. Hasil dari metode perekaman interferometri disebut interferogram yang menampilkan perbedaan nilai fase tiap piksel data interferometri radar. Interferogram dibentuk dengan dua citra radar yang direkam dengan posisi yang berbeda. Kedua citra tersebut dibagi menjadi M (*Master*) dan S (*Slave*). Pembentukan In-SAR melalui beberapa tahap yaitu *pre-processing*, *co-registration*, proses interferometri, *multilooking*, *flattening*, pemfilteran, *phase unwrapping*, analisis LOS, koreksi geometrik sampai hasil akhir berupa peta *vertical displacement*. Hasil dari penelitian ini adalah peta *vertical displacement* kedua pasangan menunjukkan adanya deflasi dan inflasi. Dengan hal ini SENTINEL-1 dengan metode In-SAR dapat digunakan untuk monitoring deformasi Gunung Bromo pada tahun 2015 dan 2016 ditunjukkan dengan nilai perubahan deformasi pada peta *vertical displacement*.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Monitoring aktivitas gunung api aktif penting dilakukan karena akan memberikan banyak informasi penting dalam rangka mitigasi bencana berkaitan dengan vulkan. Salah satu aktivitas gunung api yang perlu dilakukan monitoring adalah deformasi gunung api. Perubahan bentuk dapat berupa morfologi gunung dan perubahan dimensi berupa pergeseran suatu titik di gunung api secara absolut maupun relatif (Kriswati, 2011). Monitoring deformasi gunung api sudah dilakukan di sebagian gunung api di Pulau Jawa dan Bali. Salah satu gunung api yang sampai saat ini diamati deformasinya adalah Gunung Bromo.

Pemilihan Citra SENTINEL-1 didasari pada waktu kejadian erupsi Gunung Bromo yang terjadi pada tahun 2015 dan 2016. Pada bulan Desember 2015, Gunung Bromo kembali memperlihatkan perulangan erupsi (letusan) lima-tahunannya tepatnya pada 4 Desember 2015, status Bromo dinaikkan dari Level II (Waspada) menjadi Level III (Siaga) saat rekaman tremor vulkanik menerus dengan amplitudo semakin membesar. Awal erupsi periode ini adalah kemunculan getaran menerus yang menyerupai tremor dengan frekuensi di bawah 1 Hz, kemudian pada 5 November 2015 terekam delapan gempa vulkanik dan dua gempa terasa, yang diikuti dengan kemunculan tremor vulkanik menerus dengan frekuensi rendah (< 4 Hz). Sejak 21 Desember 2015 terpantau munculnya sinar api serta terdengar suara gemuruh dari kawah Gunung Bromo. Citra yang dipilih merupakan citra sebelum kejadian erupsi dan setelah terjadi erupsi, karena untuk mengetahui perubahan deformasi yang terjadi selama proses erupsi. Selain itu beberapa hal yang diperhatikan dari sistem satelit adalah *incidence angle*, resolusi spasial, dan *noise system* (PVMBG, 2019).

Monitoring aktivitas deformasi gunung api kebanyakan masih dilakukan dengan metode pengukuran langsung, yaitu EDM,

GPS, dan leveling. Hasil dari metode tersebut memang memiliki ketelitian tinggi namun membutuhkan sumberdaya, waktu, dan dana yang tidak sedikit. Selain itu, dimensi data yang dihasilkan oleh metode di atas juga kurang sesuai dengan dimensi data deformasi itu sendiri. Metode EDM, GPS, dan leveling menghasilkan data berupa titik sedangkan deformasi sendiri merupakan data berdimensi bidang. Sehingga dibutuhkan titik pengamatan yang banyak dan rapat untuk mendapatkan data deformasi dalam bentuk bidang. Tentunya hal ini cukup menyulitkan. Kekurangan ini dapat diatasi dengan integrasi pengolahan data Penginderaan Jauh dan pemodelan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Gunung Bromo yang sampai sekarang masih aktif penting dilakukan monitoring karena akan memberikan banyak informasi dalam mitigasi bencana alam yang ditimbulkan berkaitan dengan vulkan. Monitoring tersebut menggunakan integrasi pengolahan data Penginderaan Jauh dan pemodelan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data yang digunakan berupa citra beresolusi tinggi yaitu SENTINEL-1 dengan resolusi spasial 5-20 meter. Penggunaan citra SENTINEL-1 ini untuk mendapatkan nilai deformasi erupsi yang berupa deflasi maupun inflasi dari Gunung Bromo disaat periode erupsi tahun 2015 hingga tahun 2016 dengan metode yang digunakan adalah metode In-SAR.

1.2 Rumusan Masalah

Monitoring deformasi merupakan salah satu upaya mitigasi bencana, khususnya bencana vulkanik. Aktivitas deformasi yang sebagian besar disebabkan oleh gejala magma di dalam tubuh gunung menjadi data yang penting dalam mengetahui perubahan yang terjadi di permukaan gunung akibat erupsi. Selain itu, data deformasi yang kontinyu juga dapat diekstraksi menjadi acuan dalam memprediksi erupsi yang akan terjadi. Nilai *vertical displacement* (deflasi dan inflasi) secara tidak

langsung dapat menunjukkan adanya deformasi pada tubuh gunung sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui “Apakah pengolahan citra Sentinel-1 bisa memberikan informasi tentang nilai deformasi dari erupsi Gunung Bromo” dengan menggunakan metode In-SAR.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian: Tujuan dari penelitian yaitu 1). Mengetahui kemampuan citra SENTINEL-1A dengan metode In-SAR untuk mengetahui deformasi Gunung Bromo tahun 2015 dan 2016. 2). Mengukur besaran deformasi dari peta *vertical displacement* Gunung Bromo pada tahun 2015 dan 2016 menggunakan metode In-SAR.

1.3.2 Manfaat Penelitian: Manfaat dari penelitian sebagai berikut. 1). Memberikan kontribusi untuk perkembangan ilmu Penginderaan Jauh dan Sains Informasi Geografi khususnya dalam bidang vulkanologi dan kebencanaan di Indonesia. 2). Bagi peneliti, sebagai penambah wawasan dan pengetahuan peneliti dalam mengetahui deformasi area wilayah Gunung Bromo tahun 2015-2016. 3) Bagi pihak lain, sebagai pedoman bagi peneliti lainnya untuk mendapatkan data-data tambahan dan referensi dalam penelitian selanjutnya.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini supaya tidak keluar dari koridor yang ditentukan, maka dibuat batasan masalah yang meliputi sebagai berikut 1). Metode yang digunakan adalah metode In-SAR yang merupakan metode untuk memperoleh informasi tiga dimensi dari permukaan bumi berdasarkan perbedaan fasa dari piksel dua citra SAR. 2). Citra yang digunakan yaitu 2 citra SENTINEL-1A dengan tanggal 16 Oktober tahun 2015 dan 16 Oktober tahun 2016. 3). Analisis yang digunakan adalah teknik Interferometri yang merupakan teknik untuk mengetahui perubahan (*displacement*) yang terjadi dari dua waktu atau lokasi yang berbeda dengan menggunakan citra radar sebagai medianya dan dapat menghasilkan data DEM.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan Menjelaskan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab II Dasar Teori menjelaskan tentang landasan teori dalam melaksanakan penelitian dan metode yang digunakan dalam skripsi ini. Bab III Metodologi Penelitian menjelaskan tentang pelaksanaan penelitian yang berisi macam data dan rancangan pencarian data sesuai judul skripsi. Bab IV Hasil Dan Pembahasan memberikan hasil dari pelaksanaan kajian penelitian yang dilaksanakan dan pembahasan dari penelitian tersebut. Analisis juga masuk kedalam pembahasan penelitian. Bab V Kesimpulan Dan Saran berisi tentang kesimpulan isi dari penelitian serta saran-saran untuk memperbaiki kegiatan penelitian maupun kajian selanjutnya.

2. DASAR TEORI

2.1 Deformasi Gunung Api

Deformasi menurut USGS adalah perubahan permukaan vulkan yang disebabkan oleh pergerakan magma di bawah permukaan. Deformasi biasanya dinyatakan dalam pergeseran arah horizontal, vertikal, dan untkit (*tilting*). Deformasi dapat dibagi mejadi dua yaitu inflasi dan deflasi. Inflasi merupakan pengangkatan permukaan tanah, biasanya disebabkan oleh

proses pergerakan magma ke atas sehingga menekan permukaan di atasnya. Umumnya menjadi indikasi akan terjadinya erupsi. Deflasi merupakan penurunan permukaan tanah yang terjadi setelah letusan atau erupsi. Ada tidaknya deformasi pada tubuh Gunung api dapat diketahui secara tidak langsung dengan mengamati hasil seismograf yaitu aktivitas seismik yang berasal dari tubuh Gunung.

Deformasi vulkan dapat diketahui dan dimonitoring dengan menggunakan banyak metode, diantaranya adalah metode terestrial dan metode penginderaan jauh. Metode terestrial seperti GPS, tiltmeter, dan EDM, sedangkan metode penginderaan jauh dapat menggunakan citra radar dengan analisis Interferometri atau biasa dikenal dengan *Interferometric Synthetic Aperture Radar* atau disingkat In-SAR. In-SAR membaca adanya perubahan (*displacement*) atau deformasi pada tubuh gunung dengan membaca pola *fringe* konsentrik pada interferogram. Interferogram terdiri dari dua citra radar yang saling *overlap*, jika posisi atau tinggi pada citra 1 dan citra 2 dengan waktu perekaman yang berbeda, *range* dari SAR akan turun setengah dari panjang gelombangnya di beberapa area.

2.2 Gunung Bromo

Menurut data dasar gunung api milik PVMBG, Gunung Bromo mempunyai sebuah kawah dengan garis tengah ± 800 meter (utara-selatan) dan ± 600 meter (timur-barat) dengan ketinggian dari dasar kaldera : 200 m (ketinggian dasar kaldera ± 2.100 m dpl dan dikenal sebagai daerah lautan pasir). Tipe Gunung Bromo sendiri adalah Kerucut sinder dalam kaldera. Daerah bahayanya berupa lingkaran dengan jari-jari 4 km dari pusat kawah Bromo.

Berdasarkan data catatan sejarah menurut PVMBG, letusan atau peningkatan kegiatan vulkanik Gunungapi Bromo terakhir berupa letusan abu dengan tinggi berkisar 300 - 3000 m yang berlangsung singkat atau terkadang berlangsung beberapa hari dengan lemparan material bisa mencapai radius 300 - 600 m dari pusat kawah. Letusan Gunung Bromo ini umumnya menyebabkan terjadinya hujan abu di daerah sekitar Gunung Bromo. Peningkatan kegiatan Gunung Bromo terakhir terjadi pada bulan September 2006, dimana terekam Gempa Tremor secara terus menerus pada tanggal 25 Agustus - 7 September 2006. Amplituda maksimum Gempa Tremor telah mencapai 30 mm dan asap kawah teramat berwarna kelabu tebal dengan tinggi berkisar 60 -100 m. Peningkatan kegiatan ini tidak disertai terjadinya letusan.

2.3 Konsep Penginderaan Jauh

Pada awalnya perbedaan antara PJ sistem fotografi dan PJ sistem non fotografi dibedakan berdasarkan prosesnya, fotografik dan elektronik. Fotografik menggunakan detektor berupa film dan elektronik menggunakan selain film. Namun semakin berkembangnya jaman perbedaan ini menjadi bias. Saat iniyang dimaksud oleh PJ non fotografi adalah penginderaan jauh yang perekamannya menggunakan selain kamera. Wahana yang digunakan oleh PJ non fotografi biasanya menggunakan satelit yang dibawa oleh pesawat ulang-alik, sehingga tinggi terbangnya jauh lebih tinggi dibanding PJ sistem fotografi. Karena tinggi terbang yang mencapai antariksa maka PJ sistem non fotografi bisa merekam seluruh permukaan bumi. selain itu, PJ sistem non fotografi juga menggunakan panjang gelombang yang lebih bervariasi, dimulai dari sinar tampak, inframerah, hingga gelombang mikro (Sutanto, 1987).

2.4 RADAR (*Radio Detection and Ranging*)

Berdasarkan sistemnya, Penginderaan Jauh gelombang mikro dibagi menjadi dua yaitu; sistem pasif dan sistem aktif. Penginderaan Jauh sistem pasif sering juga disebut sistem gelombang mikro, sedangkan PJ sistem aktif disebut radar (Sutanto, 1987). Sistem gelombang mikro menerima radiasi gelombang mikro yang dipancarkan dari objek di permukaan, salah satu contohnya adalah gelombang mikro radiometer. Penginderaan Jauh gelombang mikro sistem aktif disebut juga radar. Radar merupakan akronim dari radio detection and ranging.

Radar mendapatkan gambaran permukaan bumi dengan merekam waktu jeda pulsa saat merekam dan jarak pulsa kembali ke sensor. Sensor tidak dapat merekam obyek yang tepat berada di bawah sensor, karena tidak ada jeda waktu antara sinyal datang dan sinyal balik. Waktu yang sama antara sinyal datang dan sinyal balik menyebabkan tidak ada perbedaan obyek yang direkam (Aronoff dan Petrie, 2005), oleh sebab itu perekaman radar dilakukan secara miring atau biasa dikenal dengan *side looking radar* (SLR). Mozaik citra radar dapat diturunkan menjadi DEM (*Digital Elevation Modeling*) dan dapat pula divisualisasikan secara 3 dimensi.

2.5 SENTINEL-1

SENTINEL-1 adalah salah satu satelit Penginderaan Jauh yang dikembangkan oleh European Radar Observatory untuk kerjasama Copernicus Uni Eropa dengan badan ESA (*European Space Agency*) yang diluncurkan pada tahun 2014 sebagai bentuk kelanjutan dari satelit SAR band C milik ESA sebelumnya yaitu ERS dan ENVISAT. Tujuan diluncurkannya SENTINEL-1 adalah untuk kajian monitoring pemetaan permukaan es, monitoring lingkungan marin, manajemen tanah, air, dan hutan, bencana alam, dan perubahan di permukaan bumi. Misi SENTINEL-1 sebagai satelit SAR dengan *revisit time* setiap 12 hari digunakan sebagai sumber data utama untuk monitoring permukaan laut, es Kutub Utara. SENTINEL-1 juga berguna untuk kajian agrikultur, kehutanan, dan klasifikasi penutup lahan. Selain itu, data SLC IW milik SENTINEL-1 yang dibuat khusus untuk analisis interferometrik akan menguntungkan pengguna dalam lingkup kajian analisa aktivitas bencana alam, tambang, geologi, dan perencanaan kota dengan pendekatan pengukuran risiko longsor (SENTINEL *Handbook*, 2013). Secara umum, karakteristik satelit SENTINEL-1 dapat dirangkum dalam tabel berikut;

SPESIFIKASI UMUM SENTINEL-1	
Waktu peluncuran	1A:2014, 1B:2016
Resolusi temporal	12 hari
Ketinggian wahana	693 km
Sensor	TOPSAR Band-C (frekuensi pusat: 5.405 GHz)
Tipe orbit perekaman	Sun-synchronous, near polar, circular orbital
Polarisasi	VV+VH, HH+HV, HH, VV
Sudut dating	20°- 45°
Moda, lebar scene, resolusi spasial	Strip Map Mode: 80 km, 5x5 m Interferometric Wide Swath: 250 km, 5x 20 m Extra-Wide Swath Mode: 400 km, 20x40 m Wave-Mode: 20 km, 5x5 m

Tabel 1. Spesifikasi Umum SENTINEL-1, Sentinel-1 *Handbook*, (2013)

2.6 Interferometri SAR (In-SAR)

Interferometri didasarkan pada analisis dari fase signal radar yang diterima oleh dua antena yang berbeda lokasinya (Lillesand & Kiefer, 2008). SAR In-SAR merupakan teknik Penginderaan Jauh yang mampu menghitung perubahan (*displacement*) permukaan bumi dalam ukuran milimeter hingga desimeter (Schmidt dan Burgmann, 2003). Jika terdapat dua citra SAR yang direkam dengan ada selisih jarak tertentu memungkinkan untuk memisahkan jarak permukaan dan efek ketinggian yang diakibatkan oleh perekaman miring SAR sehingga dapat dilakukan ekstraksi informasi topografi (Gens & Genderen, 1996). Hasil dari metode perekaman interferometri disebut interferogram yang menampilkan perbedaan nilai fase tiap piksel data interferometrik radar. Pembentukan In-SAR melalui beberapa tahap yaitu registrasi citra, *multilooking*, pembentukan interferogram, *flattening*, pemfilteran dan pembentukan koherensi, *phase unwrapping*, *orbital refinement*, kovansi fasa ke tinggi dan *geocoding*, serta uji akurasi untuk mengetahui kualitas DEM yang dihasilkan.

2.7 Interferogram untuk Deformasi

Proses In-SAR menghasilkan dua informasi yaitu interferogram dan DEM. Dari interferogram dapat diketahui nilai perubahan deformasi kawah Gunung Bromo secara dimensi atau geometri. Dari interferogram dapat diketahui besarnya nilai deformasi setelah erupsi ditahun 2016. Interferogram merupakan hasil gabungan dua citra radar yang direkam pada waktu yang berbeda dan atau sudut perekaman yang berbeda. Interferogram merepresentasikan intensitas dari citra radar dengan pola *fringe* hasil dari overlap dua citra radar tersebut. *Fringe* ini mengandung informasi bagaimana *range* citra *master* dengan *range* citra *slave* berubah dari tiap perubahan setengah panjang gelombang dengan perubahan warna dari merah ke biru. Dari interferogram dapat juga diperoleh diagram profil plot untuk mengetahui besaran perubahan yang terjadi pada daerah kajian yang dilihat dalam satuan piksel (Helz, 2005).

2.8 Digital Elevation Model (DEM)

Pengukuran menggunakan data radar untuk ekstraksi DEM dapat dilakukan dengan dua cara yaitu; fotogrametri dan In-SAR. Fotogrametri dapat disebut sebagai cara manual karena menggunakan sepasang foto udara atau citra radar yang ditumpang-susun kemudian dilakukan pengukuran dengan menggunakan stereoskop, sedangkan In-SAR dilakukan secara digital dengan memanfaatkan software integrasi Penginderaan Jauh dan SIG. Secara umum, hasil DEM menggunakan metode interferometri memiliki akurasi yang lebih tinggi dibanding metode fotogrametri, perhitungan deformasi permukaan, perbedaan tinggi antar dua obyek dapat dilakukan dengan akurasi tinggi mengingat resolusi spasial citra radar sudah mencapai 0,3 dan akurasi vertikal mencapai 10-30 RMSE (Aronoff, 2005). Terdapat dua jenis data ketinggian dalam DEM menurut Aronoff (2005), DSM dan DTM. DSM atau Digital Surface Model merupakan nilai-nilai elevasi yang berasal dari hamburan balik sinyal radar berupa pantulan permukaan pertama dari tiap fitur yang ada di permukaan bumi seperti bangunan dan vegetasi. Sedangkan DTM atau Digital Terrain Model adalah model topografi dari medan yang menghilangkan objek kenampakan di atasnya atau biasa disebut bare ground. Algoritma pengolahan DTM dengan melakukan pengukuran permukaan medan yang didalamnya terkandung data radar asli yang mengabaikan nilai-nilai dari keberadaan vegetasi, bangunan atau fitur lain di atasnya.

3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Gunung Bromo yang mempunyai ketinggian 2.392 meter di atas permukaan laut. Gunung Bromo tersebut masuk dalam empat wilayah, yakni Kabupaten Probolinggo, Pasuruan, Lumajang, dan Kabupaten Malang. Letak Gunung Bromo secara geografis adalah $07^{\circ} 56' 30''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ} 57' 00''$ Bujur Timur. Berikut adalah peta Gunung Bromo :



Gambar 1. Lokasi Penelitian, PVMBG (2014)

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan peralatan meliputi software dan hardware sebagai berikut :

1. Laptop dengan spesifikasi; RAM 8, processor Intel I7 2.60 GHz, graphic NVIDIA
2. Perangkat Lunak SNAP Sentinel-1 Toolbox untuk pengolahan InSAR
3. Perangkat Lunak ArcGIS untuk pengolahan pembuatan profil melintang deformasi dan layouting peta
4. *Google Earth pro* untuk visualisasi peta *vertical displacement*
5. Perangkat lunak Microsoft Office 2016 untuk penulisan
6. Printer

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

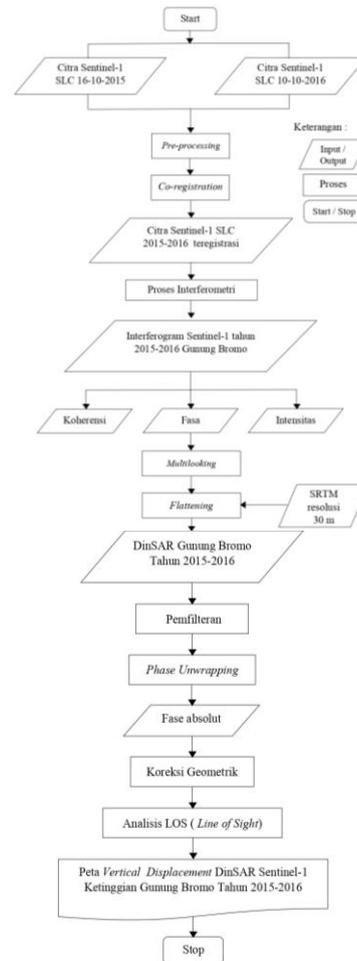
1. 2 Citra Sentinel-1 diunduh secara free melalui alamat web <https://www.asf.alaska.edu> dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tanggal perekaman	Tipe Data	Polarisasi	Arah
16 Oktober 2015	SLC	VV	Ascending
10 Oktober 2016	SLC	VV	Ascending

2. SRTM (DEM eksternal) diunduh melalui alamat web <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>.
3. Peta administrasi Kabupaten Malang dan Kabupaten Lumajang didapat dari Badan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Diperlukan suatu cara kerja (sistematis) untuk tercapainya tujuan dan manfaat penelitian dengan menggunakan diagram alir. Adapun diagram alir dalam pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram alir

3.4 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian dikerjakan sesuai diagram alir diatas, yang diuraikan dengan penjelasan sebagai berikut :

1. **Pemilihan Data Citra SENTINEL-1**
Citra yang dipilih merupakan citra sebelum kejadian erupsi dan setelah terjadi erupsi pada tahun 2015 dan tahun 2016, karena untuk mengetahui perubahan deformasi yang terjadi selama proses erupsi. Selain itu beberapa hal yang diperhatikan dari sistem satelit adalah *incidence angle*, resolusi spasial, dan *noise system*.
2. **Pre-processing**
Tahap persiapan terdiri dari beberapa tahapan untuk mempersiapkan data citra SENTINEL-1 yang akan digunakan sebelum dapat dilakukan pengolahan In-SAR. Proses tersebut adalah pemilihan citra, data SRTM, estimasi baseline, pemotongan citra (*brust*) dan *apply orbit files*. Koreksi radiometrik dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan *filtering*. Filtering yang biasa digunakan adalah median, frost, lee, gamma. Median menggunakan nilai tengah dari piksel citra, *frost* menggunakan operasi ukuran kernel.
3. **Co-registrasi**
Koregistrasi merupakan langkah dasar dalam pengolahan InSAR yang bertujuan untuk mengolah geometri *slant*

- range* dengan memastikan tiap piksel (*range*, *azimuth*) pada dua citra yang ditampilkan. Tahapan meregistrasi kedua citra dengan estimasi *baseline* data citra *master* dan data citra *slave* yang akan digabungkan menjadi satu sebelum dilakukan tahapan pengolahan In-SAR. Estimasi *baseline* dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari citra yang akan digunakan sebagai input proses In-SAR dan mengetahui korelasi antar citra yang ditampilkan.
4. **Proses Interferometri**
Interferometri menggabungkan dua citra *master* dan *slave* yang nantinya menghasilkan citra interferogram yang memuat informasi perubahan fase dari waktu awal dan waktu akhir. Interferogram merupakan fasa absolut dari dua citra yang terkoherensi, oleh sebab itu terdapat pada pembentukan interferogram proses untuk menghilangkan fasa-fasa gangguan tersebut. Software SNAP menggabungkan proses koherensi citra dan pembentukan interferogram dalam satu langkah “ *interferogram formation* ”. Hasil dari proses ini adalah citra interferogram yang mengandung band *i*, *q*, *intensity*, fase, dan koherensi. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan nilai beda fasa dan amplitudo dari dua citra SLC yang ditampilkan dan saling berkorelasi. **Multilooking**
Multilooking merupakan proses dimana citra yang dihasilkan berdasarkan ukuran piksel yang sama dengan *ground range*, proses ini diperlukan karena ukuran antara *slant range* dan *azimuth* citra radar berbeda (Sarnap, 2009). *Multilooking* dilakukan untuk menyamakan ukuran piksel antara arah *azimuth* dan *range* dalam citra SLC yang digunakan.
 5. **Flattening**
Proses ini bertujuan untuk memisahkan antara fasa *flat earth* dan fasa *noise* yang ada di dalam informasi beda fasa hasil proses pembentukan interferogram. *Flattening* interferogram membutuhkan informasi DEM luaran berupa citra SRTM dengan resolusi 30 m. Hasil dari *flattening* disebut *flattened interferogram*.
 6. **Pemfilteran**
Koreksi radiometrik dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan *filtering*. Proses *filtering* interferogram bertujuan menghilangkan fasa *noise* yang pada proses *flattening* hanya memisahkan antara fasa *flat earth* dengan fasa *noise*. *Speckel* ini nampak seperti *salt and paper* pada citra RADAR.
 7. **Phase Unwrapping**
Proses *phase unwrapping* perlu dilakukan untuk koreksi transformasi dari informasi fasa ke nilai ketinggian dalam satuan meter. Interferogram mengandung informasi beda fasa yang berhubungan dengan bentuk topografi daerah perekaman. Namun, karena informasi beda fasa terbatas hanya antara 0 sampai 2π (gelombang sinus) maka timbul suatu ambiguitas untuk mendapatkan nilai jarak miring yang benar (fasa relatif).
 8. **Koreksi Geometrik**
Penggunaan titik referensi menggunakan perhitungan persamaan Doppler, jarak, dan ellipsoid (Ismullah, 2004). Persamaan Doppler dimana suatu titik di permukaan bumi tegak lurus terhadap satelit akibat zero Doppler. Jarak yang digunakan adalah jarak antara sensor terhadap titik di permukaan bumi. Tahapan *geocoding* atau koreksi geometrik dilakukan dengan sistem referensi geodetik yang dijadikan acuan, di Indonesia datum untuk sistem geodetik standar adalah WGS 84.
 9. **Analisis LOS (Line of Sight)**
Visualisasi LOS dilakukan dengan dengan Google Earth. Google Earth membantu memvisualisasikan kedua peta sehingga memudahkan dalam proses analisis. Perolehan

nilai *displacement* secara tegak lurus terhadap bidang objek menggunakan rumus *vertical displacement* berdasarkan pada teori Z.Lu dan D.Dzurisin (2014) mengenai fase pada band *math software*.

10. **Analisis Peta Vertical Displacement DinSAR Sentinel-1**
Hasil pengolahan InSAR berupa peta *vertical displacement* dimana menunjukkan nilai deformasi atau kejadian deflasi/inflasi. Menganalisis peta LOS dengan menggunakan visualisasi dilakukan dengan Google Earth. Google Earth membantu memvisualisasikan peta sehingga memudahkan dalam proses analisis.

3.5 Langkah-langkah Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Mengunduh citra Sentinel-1

Erupsi Gunung Bromo terjadi dalam rentang waktu Desember 2015 – Februari 2016. Awal erupsi periode ini adalah kemunculan getaran menerus yang menyerupai tremor dengan frekuensi di bawah 1 Hz, kemudian pada 5 November 2015 terekam delapan gempa vulkanik dan dua gempa terasa, yang diikuti dengan kemunculan tremor vulkanik menerus dengan frekuensi rendah (< 4 Hz). Sejak 21 Desember 2015 terpantau munculnya sinar api serta terdengar suara gemuruh dari kawah Bromo. Lontaran material pijar dari kawah teramat sejak 25 Januari 2016 ketika terjadi letusan sampai Februari 2016 (PVMBG, 2016).

3.5.2 Pre-processing citra Sentinel-1

Pre-processing dilakukan dengan memasukkan data citra Sentinel-1 yang berupa *Single Look Complex* (SLC), lalu pemotongan citra (*brust*), *apply* orbit files dan estimasi *baseline*. *Brust* dalam citra SENTINEL-1 adalah pembagian citra pada beberapa bagian berdasarkan pada *subswath*. Biasanya citra SENTINEL-1 terdiri dari 3 *subswath* dan tiap *subswath* terdiri dari 10 *brust*. Tahap selanjutnya adalah penerapan orbit file untuk menambah kepresisian citra masukan.

3.5.3 Co-registration

Co-registration adalah proses untuk menggabungkan citra yang akan dijadikan interferogram menjadi satu citra dimana citra tersebut memuat informasi beda fasa dan koherensi. Beda fasa inilah yang nantinya akan diproses lebih lanjut, sedangkan citra koherensi menunjukkan nilai koheren pasangan citra. Koregistrasi dilakukan melalui dua tahap, yaitu koregistrasi *back geocoding* dan *enhanced spectral diversity*. Koregistrasi *back geocoding* menggabungkan dua produk citra SENTINEL-1 dengan persyaratan kolom (*subswath*) harus sama. Posisi dan piksel dari citra *slave* disesuaikan dengan citra *master*, sehingga kedua citra tersebut saling bertampal dengan tepat dibantu dengan DEM.

3.5.4 Proses Interferometri

Proses pembentukan interferogram bertujuan untuk mendapatkan nilai beda fasa dan amplitudo antara citra *master* dan *slave* yang saling berkorelasi. Interferogram merupakan citra yang kompleks, dimana besarnya berkaitan dengan koherensi, fasa, dan perbedaan geometri antara citra *master* dan *slave*.

3.5.5 Multilooking

Multilooking (*debrust*) pada SENTINEL-1 bertujuan untuk menghilangkan gap antar *subswath* pada citra. gap tersebut terbentuk akibat adanya *overlap* perekaman antar *subswath* sehingga menghasilkan *noise*.

3.5.6 Flattening

Proses *phase topographic removal* atau *flattening* bertujuan menajamkan fasa pada interferogram, dimana proses ini bertujuan untuk menghilangkan fasa topografi yang ada pada interferogram menggunakan DEM.

3.5.7 Pemfilteran

Proses *filtering* merupakan proses untuk mengurangi fasa *noise* pada interferogram dengan menggunakan metode *filtering Goldstein* dimana algoritma yang dikeluarkan oleh Goldstein (1988) nonlinear adaptif.

3.5.8 Phase Unwrapping

Phase unwrapping secara garis besar bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dengan mengintegrasikan perbedaan fasa antar piksel tetangga dan memungkinkan perhitungan variasi ketinggian sebenarnya di daerah kajian.

3.5.9 Koreksi Geometrik

Tahapan geocoding atau koreksi geometrik dilakukan dengan sistem referensi geodetik yang dijadikan acuan, di Indonesia datum untuk sistem geodetik standar adalah WGS 84. Penggunaan titik referensi menggunakan perhitungan persamaan Doppler, jarak, dan ellipsoid (Ismullah, 2004). Persamaan Doppler dimana suatu titik di permukaan bumi tegak lurus terhadap satelit akibat zero Doppler.

3.5.10 Analisis LOS (Line of Sight)

LOS merupakan area yang terekam oleh sensor berdasarkan dari sudut perekaman sensor, maka dari itu analisis LOS menggunakan Google Earth sangat membantu dalam memvisualisasi hasil dari pengolahan pada *software* SNAP sebelumnya.

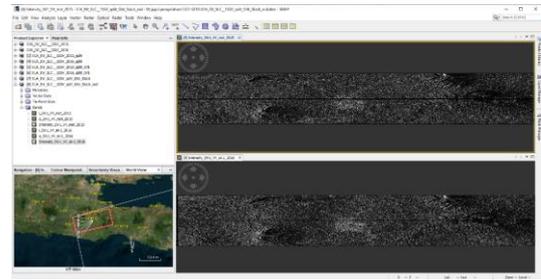
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemilihan Citra *Master* dan *Slave*

Pemilihan pasangan In-SAR dalam memilih pasangan citra yang digunakan didasari pada beberapa kriteria yang dibagi menjadi dua yaitu berdasarkan *temporal baseline* dan *perpendicular baseline*. *Temporal baseline* merupakan jarak waktu perekaman antara citra *master* dan citra *slave*, sedangkan *perpendicular baseline* merupakan jarak antar letak sensor merekam citra *master* dan *slave* (ESA, 2007). *Temporal baseline* didasari pada waktu perekaman sebelum dan sesudah kejadian erupsi Gunung Bromo.

4.2 Hasil Sentinel-1 SLC 2015-2016 Terigrasasi

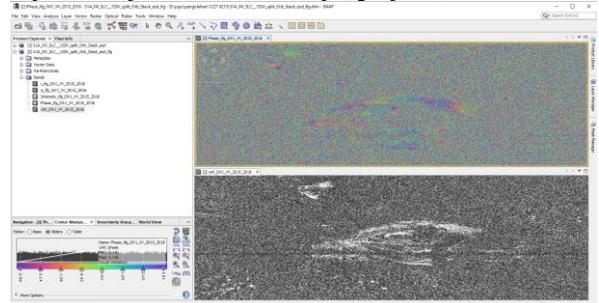
Estimasi nilai konstanta offset azimuth dilakukan dengan metode *enhanced spectral diversity* (ESD). Pendekatan ESD mengestimasi daerah dari citra yang saling tumpang susun, dimana nilai konstanta offset azimuth didapatkan dari rata-rata estimasi area yang bertumpang susun. Nilai konstanta offset range dan azimuth kemudian dijadikan dasar dalam proses koregistrasi tersebut. Hasil dari proses ini adalah citra yang sudah terkoregistrasi yang mengandung band *i*, *q*, dan *intensity*. Bisa dilihat pada Gambar 4.2 hasil citra Sentinel-1 SLC tahun 2015 dan 2016 yang sudah terigrasasi nampak *fringe* dari perekaman tiap citra. *Fringe* sendiri mengandung informasi bagaimana *range* citra *master* dengan *range* citra *slave* berubah dari tiap perubahan setengah panjang gelombang dengan perubahan pola titik-titik hitam pada setiap citra.



Gambar 2. Hasil citra Sentinel-1 SLC 2015-2016 terigrasasi

4.3 Hasil Interferogram Sentinel-1 2015-2016 Gunung Bromo

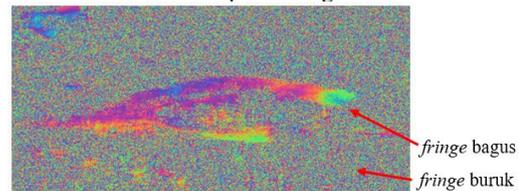
Hasil citra interferogram pada Gambar 3 (*view* atas adalah *phase* dari interferogram, bawah adalah *coherence* dalam citra interferogram), bagian wilayah daerah sekitar kawah Gunung Bromo menunjukkan nilai koherensi tinggi sehingga deformasi pada daerah tersebut dapat terbaca dengan baik. Nampak terdapat daerah dengan *fringes* dan rona warna yang tampak serta kebalikannya. Pada lokasi Gunung Bromo menunjukkan koherensi yang baik, diwujudkan dengan band koheren yang berwarna dan band fasa dengan *fringes* yang jelas. Sedangkan daerah yang lainnya menunjukkan koheren yang buruk, hal ini menunjukkan pada daerah tersebut ada banyak gangguan yang menyebabkan daerah tersebut tidak bertampalan dengan baik. Salah satu hal penyebabnya adalah karena daerah Gunung Bromo merupakan padang pasir yang tiap bulannya ada perubahan deformasi yang tidak menentu dikarenakan angin ataupun air hujan di bulan musim penghujan.



Gambar 3. Hasil Interferogram Sentinel-1 tahun 2015-2016 Gunung bromo

4.4 Hasil Differential In-SAR Gunung Bromo 2015-2016

Pada Gambar 4 menunjukkan koherensi yang baik, diwujudkan dengan band koheren yang berwarna dan band fasa dengan *fringes* yang jelas. Sedangkan daerah yang lainnya menunjukkan koheren yang buruk. Ini menunjukkan pada daerah tersebut ada banyak gangguan yang menyebabkan daerah tersebut tidak bertampalan dengan baik.

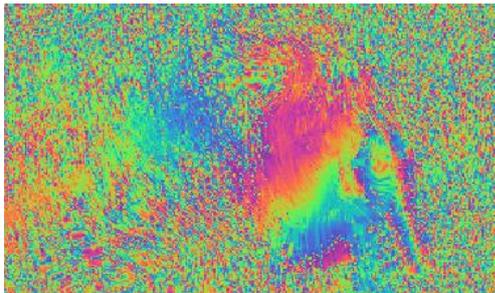


Gambar 4. Hasil DinSAR Gunung Bromo Tahun 2015-2016

4.5 Hasil Fase *Absolut*

Hasil dari Fase *absolut* yaitu degradasi rona warna mempresentasikan adanya perubahan deformasi permukaan

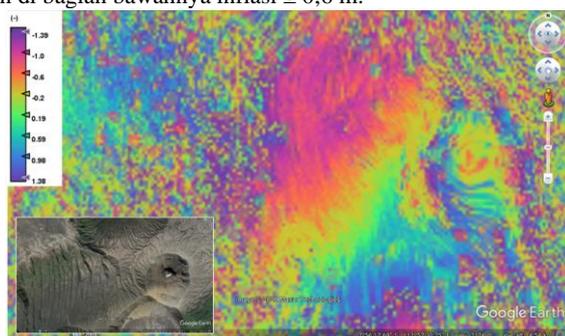
tanah yang diakibatkan erupsi Gunung Bromo di bulan Desember 2015 hingga Februari 2016. Warna tersebut dapat diatur pada pengolahan akhir pada proses penyesuaian visualisasi. Ada beberapa warna pada hasil dari fase *absolut* tergantung dari banyaknya deformasi di suatu titik area. Pada proses ini, hasil nilai deformasi belum bisa disimpulkan hanya menunjukkan adanya rona warna yang jelas menandakan adanya deformasi dan area yang tidak jelas rona warnanya dikarenakan gangguan dari kedua citra yang saling ditampilkan pada proses pembuatan interferogram.



Gambar 5. Hasil Fase *absolut*

4.6 Analisis Peta *Vertical Displacement* DinSAR Sentinel-1 Ketinggian Gunung Bromo

Hasil pengolahan In-SAR yang berupa peta *vertical displacement* dimana menunjukkan nilai deformasi atau kejadian deflasi maupun inflasi. Adanya aktivitas kegempaan kawah Gunung Bromo pada periode tertentu secara tidak langsung menunjukkan kejadian deformasi disekitarnya. Dari hasil perhitungan band math menunjukkan *vertical displacement* pada citra interferogram Sentinel-1 In-SAR terjadi deformasi yang berupa deflasi maupun inflasi pada bagian kawah Gunung Bromo dan sekitarnya dapat dilihat pada Gambar 7. Pada kawah Gunung Bromo, deflasi terjadi pada area bagian dalam kawah dengan rentang nilai deflasi 0,2 m s.d 0,3 m, namun sebaliknya pada sisi bagian Barat hingga ke Selatan luar kawah terjadi inflasi dengan nilai rentang 0,59 m s.d 1,3 m. Pada bagian Timur luar kawah terjadi deflasi dengan besaran $\pm 0,59$ m. Bagian utara luar kawah gunung terjadi deflasi $\pm 0,2$ m dan di bagian bawahnya inflasi $\pm 0,6$ m.



Gambar 6 Peta *Vertical Displacement* DinSAR Sentinel-1 Ketinggian Gunung Bromo Tahun 2015-2016

Aktivitas kegempaan yang cukup masif memungkinkan adanya deformasi terjadi pada kurun waktu tersebut. Hasil dari pengolahan In-SAR yang berupa interferogram menunjukkan *fringe* yang mengindikasikan adanya deformasi yang disebabkan oleh aktivitas magma di dalam Gunung Bromo pada kurun waktu dari bulan Desember 2015 hingga Februari 2016 yang menyebabkan adanya perubahan posisi suatu titik di kawah Gunung Bromo dan sekitarnya..

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Citra Penginderaan Jauh sistem aktif SENTINEL-1 dengan metode In-SAR dapat digunakan untuk monitoring deformasi Gunung Bromo pada tahun 2015 dan 2016 ditunjukkan dengan nilai perubahan deformasi pada peta *vertical displacement*.
2. Deformasi Gunung Bromo yang diamati pada peta *vertical displacement* metode InSAR periode 16 Oktober 2015 hingga 10 Oktober 2016 menunjukkan adanya deflasi maupun inflasi. Pada kawah Gunung Bromo, deflasi terjadi pada area bagian dalam kawah dengan rentang nilai deflasi 0.2 m sampai dengan 0.3 m, sebaliknya pada sisi bagian Barat hingga ke Selatan luar kawah terjadi inflasi dengan nilai rentang 0.59 m sampai dengan 1.3 m. Pada bagian Timur luar kawah terjadi deflasi dengan besaran ± 0.59 m. Bagian utara luar kawah gunung terjadi deflasi ± 0.2 m dan di bagian bawahnya inflasi ± 0.6 m.
3. Berdasarkan hasil pengolahan citra Sentinel-1 menggunakan metode In-SAR hampir semua area kawah Gunung Bromo dan sekitarnya mengalami deflasi dan inflasi dikarenakan efek dari erupsi pasca meletusnya Gunung Bromo. Perubahan permukaan tanah dari hasil pengolahan terlihat pada daerah kawah Gunung Bromo dan sekitarnya. Di luar dari kawah Gunung Bromo terdapat area yang tidak jelas perubahan deformasinya dikarenakan jarak waktu perekaman dan perpendikular antar citra master dan citra slave terlalu jauh dan gangguan di atmosfer membuat menurunnya koherensi antar kedua citra.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar, I., dan Abdullah, C.I. (2009). *Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4, hal 275-284.
- Ana, Rizka Sari, Hapsari, Hepi, Agustan. (2014). *Penerapan Metode DINSAR untuk Analisa Deformasi Akibat Gempa Bumi dengan Validasi Data GPS SUGAR, Studi Kasus: Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat*. Jurnal GEOID vol 10.
- Aronoff, S. (2005). *Remote Sensing for GIS Managers*. California: Esri Press.
- Dzurisin, D. (2007). *Volcano Deformation; Geodetic Monitoring Technique*. Berlin: Springer-Praxis.
- Helz, R. L. (2005). *Monitoring Ground Deformation from Space*. pubs.er.usgs.gov.
- Ismullah, I. H. (2004). Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Digital (DEM) pada Radar Apertur Sintetik Interferometri (InSAR) Data Satelit. *ITB Sains & Teknologi Volume 36*, 11-32.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: Wiley.
- Rees, W. G. (2013). *Physical Principles of Remote Sensing 3rd edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tjahjadi, M. E., Pantimena, L., Anto, G. H., Astrini, R., dan Mulyati, S., (2009a.) *Pemantauan Deformasi Jalan Layang dan Kereta Api dengan Kamera Digital di Kota Malang*.
- European Space Agency (ESA).(2007). *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*. Netherlands: ESA. https://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19_ptA.pdf, diakses pada 6 September 2019