

Analisis Deformasi Akibat Aktivitas Vulkanik Menggunakan Data Citra Sentinel-1A dan Metode *DInSAR Three-pass Interferometry* (Studi Kasus : Gunung Semeru, Jawa Timur)

Eka Diah Nur Safitri, Noorlaila Hayati, dan Filsa Bioresita
Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: noorlaila@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Gunung Semeru merupakan salah satu gunung api yang secara administratif masuk kedalam Wilayah Kabupaten Lumajang dan Malang, Jawa Timur. Dikutip dari *Press Release* Aktivitas Gunung Semeru oleh kementerian ESDM, Gunung Semeru menunjukkan aktivitas vulkanik berupa semburan awan panas hingga 2 Km dari puncak pada Jumat, 17 April 2020 pukul 06.08 WIB dan gempa guguran dengan amplitudo maksimum 7 mm dan lama gempa 300 detik. Adanya aktivitas magma gunung api berupa *uplift* sebelum aktivitas vulkanik dan *subsidence* saat aktivitas vulkanik dapat menyebabkan terjadinya deformasi permukaan gunung api. Pada penelitian ini, pengamatan fenomena deformasi dilakukan menggunakan metode *DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) three-pass interferometry* yang memanfaatkan pasangan citra SAR Sentinel 1-A yang diakuisisi pada waktu dan posisi yang berbeda, dimana data fase topografi dan penggepangan diperoleh dari pasangan citra SAR 1 dan 2 dengan selisih temporal yang saling berdekatan dan tidak memiliki unsur *subsidence*. Selanjutnya data fase tersebut digunakan dalam proses koreksi topografi dan *flattening* pasangan citra SAR 1 dan 3 untuk memperoleh nilai deformasi. Pengamatan deformasi menggunakan metode *DInSAR three-pass interferometry* menunjukkan adanya fenomena deflasi atau penurunan permukaan tanah dengan rata-rata -26,14442279 milimeter yang direpresentasikan dari 92 titik sampel di seluruh area Gunung Semeru, dimana pada area jalur aliran lava (timur, tenggara, selatan, dan barat daya) mengalami deflasi yang lebih besar dibanding dengan area yang lain (barat, barat laut, utara, dan timur laut). Hasil deformasi dari metode ini memiliki hubungan korelasi yang kuat dengan hasil deformasi data pembandingan *two-pass interferometry* dan SBAS, yaitu 0,525889 dan 0,704151.

Kata Kunci—Deformasi, *DInSAR*, Gunung Semeru, *Three-pass Interferometry*, Sentinel-1A.

I. PENDAHULUAN

GUNUNG Semeru merupakan puncak tertinggi di pulau Jawa yang terletak pada posisi geografis 8° 06' 30" LS dan 112° 55' BT dan secara administratif masuk kedalam Wilayah Kabupaten Lumajang dan Malang, Jawa Timur. Semeru memiliki puncak tertinggi Mahameru (3676 mdpl) dan Kawah Jonggring Seloko yang tak pernah berhenti meletus. Tipe aktivitas vulkanik yang umum terjadi di Semeru adalah tipe strombolian vulkanian lemah yang terjadi dengan interval antara 5 menit sampai 15 menit, yang merupakan karakteristik aktivitas gunungapi Semeru sejak 1967 [1].

Dikutip dari *Press Release* Aktivitas Gunung Semeru oleh kementerian ESDM, tercatat bahwa aktivitas Gunung Semeru

pada tanggal 1 – 16 April 2020 dinilai masih tinggi semenjak ditetapkan berada pada level II (Waspada) tanggal 02 Mei 2012. Gunung Semeru akhirnya menunjukkan aktivitas vulkanik berupa semburan awan panas hingga 2 Km dari puncak pada Jumat, 17 April 2020 pukul 06.08 WIB dan gempa guguran dengan amplitudo maksimum 7 mm dan lama gempa 300 detik. Terpantau hingga akhir tahun 2020, Gunung Semeru mengalami aktivitas vulkanik eksplosif dan efusif, menghasilkan aliran lava ke arah lereng selatan dan tenggara, serta lontaran batuan pijar di sekitar kawah puncak.

Dikarenakan adanya aktivitas magma pada gunung api berupa *uplift* sebelum aktivitas vulkanik dan *subsidence* pada saat aktivitas vulkanik dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada permukaan gunung api [2]. Pengukuran deformasi permukaan sangat penting untuk memahami proses dari gunung api dan bencana yang disebabkan, selain itu deformasi dapat menjadi salah satu acuan dalam penentuan jarak bahaya sebagai upaya mitigasi bencana.

Terdapat banyak metode yang dapat digunakan untuk mengamati fenomena deformasi akibat aktivitas vulkanik gunung api, seperti penggunaan GPS (*Global Positioning System*), seismometer, dan data survei geofisika lainnya untuk mendeteksi dinamika kegiatan gunung berapi [3], selain itu metode lain yang dapat digunakan adalah teknologi satelit penginderaan jauh aktif yang menyediakan cakupan global untuk pemantauan gunung api [4].

Penelitian ini akan dilakukan dengan teknologi *DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar)* menggunakan pasangan gambar SAR yang diakuisisi pada waktu dan posisi yang berbeda oleh satelit. Penelitian deformasi pada permukaan gunung api yang telah dilakukan sebelumnya dengan teknologi *DInSAR* hanya menggunakan metode *two-pass interferometry* saja, sedangkan pada teknologi *DInSAR* terdapat metode lainnya, yakni *three-pass interferometry* [5-7]. Metode ini membutuhkan data fase topografi dan penggepangan yang diperoleh dari pasangan citra SAR 1 dan 2 dimana selisih temporal dari dua pengamatan tersebut saling berdekatan dan tidak memiliki unsur *subsidence*. Selanjutnya data tersebut digunakan dalam proses koreksi topografi dan *flattening* pasangan citra SAR 1 dan 3 untuk memperoleh nilai deformasi.

Metode *three-pass interferometry* dapat meminimalkan kesalahan karena semua struktur data disimpan dalam geometri data SAR sedangkan metode *two-pass interferometry* dan PS-InSAR dapat menghasilkan kesalahan akibat misregistrasi antara data SAR dan kartografi DEM. Selain itu sifat topografi daerah pegunungan yang dinamis



Gambar 1. Area of interest (AOI) lokasi penelitian.

Tabel 1.
Data penelitian

No	ID Scene	Tanggal	Level	Arah
1	S1A_IW_SLC__1	07 Maret 2020	1.0 (Single Look Complex)	Descending
	SDV_20200307T2			
	20924_20200307T			
	220951_031575_0 3A34F_EAE1			
2	S1A_IW_SLC__1	19 Maret 2020	1.0 (Single Look Complex)	Descending
	SDV_20200319T2			
	20924_20200319T			
	220951_031750_0 3A970_16D3			
3	S1A_IW_SLC__1	24 April 2020	1.0 (Single Look Complex)	Descending
	SDV_20200424T2			
	20925_20200424T			
	220952_032275_0 3BBE9_DE80			

dan ketersediaan data DEM yang kurang *up to date* dapat menghasilkan fase yang kurang relevan. Oleh karena itu pada penelitian ini akan diterapkan metode *three-pass interferometry* agar mendapat nilai deformasi yang lebih akurat.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus wilayah Gunung Semeru yang secara administratif masuk kedalam Wilayah Kabupaten Lumajang dan Malang, Jawa Timur. Secara lebih detail, penelitian ini dilakukan dengan *Area Of Interest* (AOI) yang berada pada koordinat 8° 5' 32.1" – 8° 8' 47.4" LS dan 112° 53' 44.2" – 112° 57' 27.7" BT dengan luas 41,8 km² seperti yang tertampil pada Gambar 1.

B. Data dan Peralatan

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Data Utama

Tiga citra SAR Sentinel-1A (level 1.0) yang menggunakan *band* dengan *single polarisation* (VV). Secara global, citra Sentinel-1A dapat mengestimasi deformasi sampai dengan satuan milimeter. Sentinel-1A didapatkan melalui website <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/> pada tanggal akuisisi citra yang berfokus untuk mengamati deformasi akibat aktivitas

Tabel 2.
Data orbit penelitian

No	Id File	Tanggal
1	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20200328T1	07 Maret 2020
	20846_V20200307T225942_20200309T005942	
2	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20200409T1	19 Maret 2020
	20847_V20200319T225942_20200321T005942	
3	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20200515T1	24 April 2020
	20802_V20200424T225942_20200426T005942	

Tabel 3.
Kategori kekuatan koefisien korelasi

Koefisien Korelasi (R)	Kategori
0	Tidak ada korelasi antara dua variabel
> 0 – 0,25	Korelasi sangat lemah
>0,25 – 0,5	Korelasi cukup
>0,5 – 0,75	Korelasi kuat
>0,75 – 0,99	Korelasi sangat kuat
1	Korelasi sempurna

Tabel 4.
Rata-rata nilai deformasi *DInSAR three-pass interferometry*

Arah	Deformasi (mm)
Utara	-21
Selatan	-26
Timur	-30
Barat	-25
Timur Laut	-19
Barat Daya	-26
Barat Laut	-25
Tenggara	-34
Rata-rata (mm)	-26

vulkanik 17 April 2020 dengan rincian yang tertera pada Tabel 1.

Selain data citra, dibutuhkan juga Data *Precise orbit Ephemerides* [AUX_POORB] yang berisi informasi orbit setiap citra *Sentinel-1A* yang akan dilakukan *preprocess* pada tahap *import data*. Data orbit didapatkan melalui website https://qc.sentinel1.eo.esa.int/aux_poeorb/ dengan rincian pada Tabel 2.

2) Data Pembanding

Sebagai data pembanding, penulis menggunakan hasil studi deformasi yang dilakukan menggunakan metode *DInSAR two-pass interferometry* dan SBAS dengan periode 07 Maret – 24 April 2020. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Perangkat keras (hardware). Terdiri dari laptop tipe Acer Swift SF314-56G dan mouse Logitech tipe B100
- 2) Perangkat lunak (software). Terdiri dari sistem operasi Windows 10, ENVI Sarscape 5.2, Global Mapper 21.0, ArcMap 10.3, dan Microsoft 365.

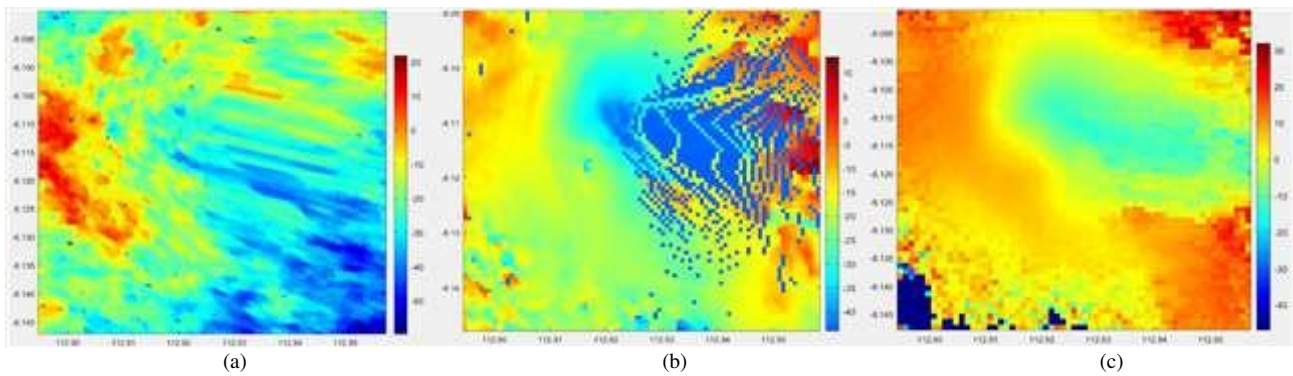
C. Tahap Pengolahan Data

1) Persiapan Alat dan Bahan

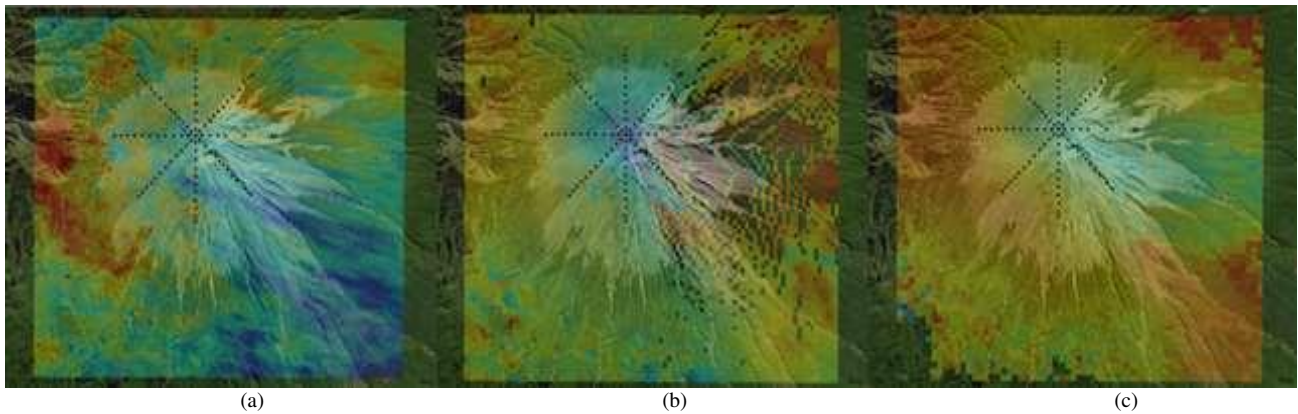
Tahap ini dilakukan untuk mempersiapkan perangkat keras dan lunak yang akan digunakan untuk mengolah citra SAR Sentinel-1A dan POE yang telah dijelaskan pada tabel 1 dan 2. Selain itu, diperlukan juga data pembanding hasil deformasi *DInSAR two-pass interferometry* dan SBAS sebagai validasi hasil penelitian terhadap data utama.

2) Import Data dan Interferogram Generation

Import Data merupakan proses untuk mengubah format data Sentinel-1A menjadi format data SARscape agar dapat dilakukan proses pengolahan lebih lanjut. Pada tahap ini juga dilakukan *preprocessing* menggunakan data *Precise Orbit*



Gambar 2. Deformasi gunung semeru dengan metode *three-pass* (a), *two-pass* (b), dan SBAS (c).



Gambar 3. Sebaran titik sampel LOS (*line of sight*) pada deformasi *three-pass* (a), *two-pass* (b), dan SBAS (c).

Ephemerides (POE). Kemudian dilanjutkan dengan proses *coregistration* yang bertujuan untuk untuk mendapatkan korespondensi dengan akurasi sub-piksel antara akuisisi *master* dan *slave* untuk memungkinkan pemrosesan interferometri lebih lanjut. Selanjutnya Fase *interferogram* dapat diekspresikan sebagai [8] :

$$Phase = ATAN[Imag(I)/Real(I)] \tag{1}$$

Imag(I) dan Real(I) secara berturut-turut adalah bagian imajiner dan bagian nyata dari *interferogram*. Tahap ini dilakukan untuk untuk menghitung beda fase dari dua data SAR menggunakan metode *three pass interferometry*, dimana hasil *interferogram* dari pasangan citra 1 dan 2 digunakan untuk koreksi fase topografi dan penggepangan pada pasangan citra 1 dan 3.

3) Adaptive Filter and Coherence

Pendekatan tahap *Adaptive filter* merupakan ekstensi dari metode Goldstein yang dapat secara signifikan meningkatkan visibilitas area tepi dan mengurangi *noise* yang diakibatkan dekorelasi temporal atau *baseline*. Pada penerapan metode ini, parameter alfa bergantung pada nilai koherensi, dimana area yang tidak koheren difilter lebih dari area yang koheren. Rumus Faktor rata-rata kemiripan dapat diwakili oleh angka digital dalam skala linier sebagai [8] :

$$(Mall - Mnew)/Mall \tag{2}$$

Batas nilai koherensi yang diperoleh dari penggabungan dua citra SAR memiliki kisaran nilai antara 0-1. Jika pasangan *interferogram* pada citra 1 dan citra 2 benar-benar identik maka nilai koheren yaitu 1, dimana nilai yang mendekati 1 adalah koherensi terbesar di antara dataset. Pada penelitian ini, nilai koherensi yang digunakan sebagai batas pengolahan

pada tahap selanjutnya adalah $0,3 \leq Y \leq 1$. Meskipun tidak ada ambang batas yang pasti, koherensi minimum 0,3 disarankan[9].

4) Phase Unwrapping

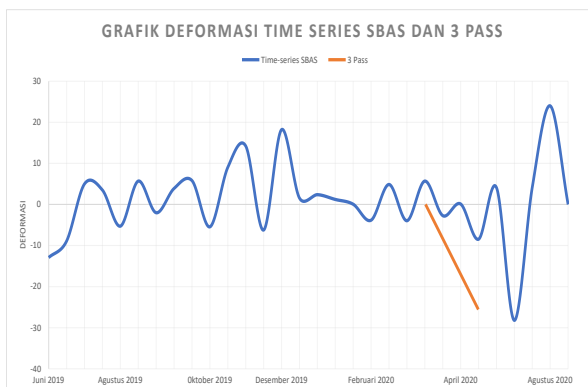
Citra yang dihasilkan dari DInSAR processing masih dalam satuan radian (satuan phase sudut) dengan modulo 2π dan akan mengulang nilai fase yang sama apabila terdapat nilai piksel lebih dari 2π , hal tersebut dapat menimbulkan masalah ambiguitas. Untuk mengubah nilai tersebut menjadi fase absolut dengan hubungan [8] :

$$\phi_{abs} = \phi + k.2\pi \tag{3}$$

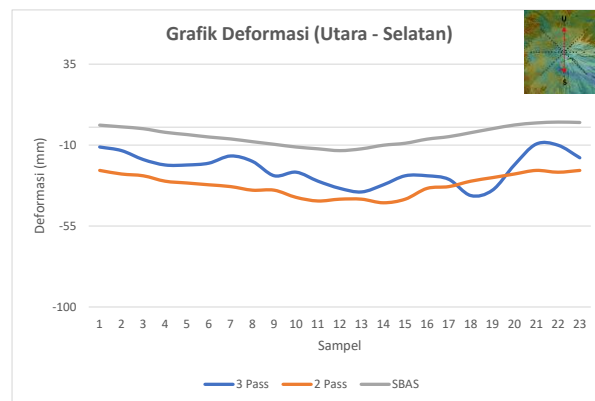
dimana, ϕ_{abs} = fase absolut dan ϕ = fase relatif. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan Phase unwrapping dengan menggunakan pengembangan dari metoda *Phase unwrapping as a minimum cost network flow problem* (Costantini 1996), yang dikembangkan oleh kelompok *Delft Institute for Earth Oriented Space Research (DEOS)*. Solusi dalam metode ini diperoleh berdasarkan algoritma aliran jaringan (teknik yang berasal dari teori grafik dan pemrograman jaringan).

5) GCP Selection

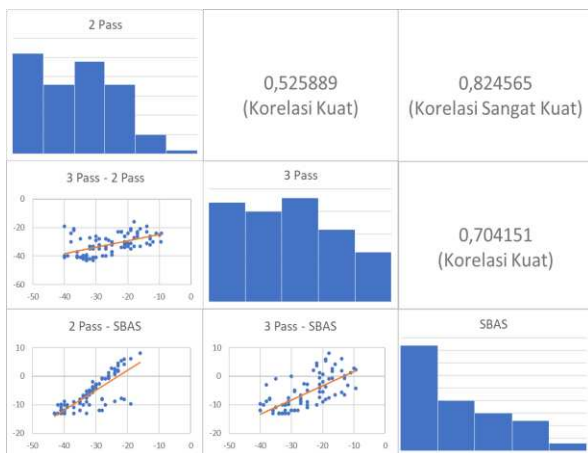
Proses pemilihan GCP dilakukan menggunakan annotation tool dan dapat dimodifikasi menggunakan arrow select tool. Program ENVI dapat memprediksi koordinat dan posisi yang relevan dengan *Reference File* untuk setiap GCP yang terletak pada *Input File*. Area dengan nilai koherensi yang baik harus lebih diprioritaskan dalam pemilihan GCP karena setiap titik control yang dipilih ditimbang berdasarkan nilai koherensinya. Hasil dari GCP selection ini dibutuhkan sebagai input untuk proses *Refinement and Reflattening* yang akan dilakukan pada proses selanjutnya.



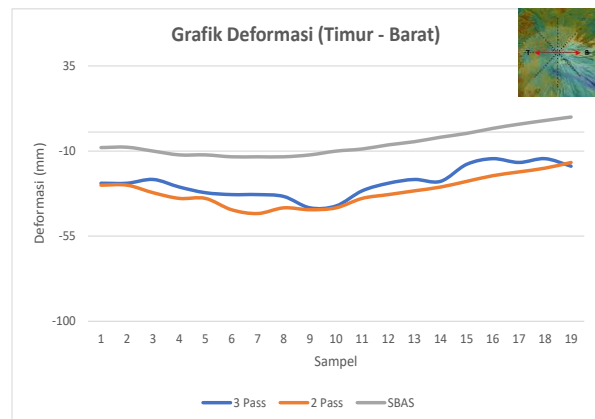
Gambar 6. Grafik deformasi time-series SBAS dan *Three-pass*.



Gambar 4. Grafik deformasi utara – selatan.



Gambar 7. Matriks *scatter* korelasi data deformasi penelitian utama dan pembandingan.



Gambar 5. Grafik deformasi timur – selatan.

6) *Refinement and Reflattening*

Langkah ini penting untuk mengkoreksi transformasi informasi *unwrapped phase* menjadi informasi nilai tinggi (atau perpindahan). Proses ini dapat memperbaiki orbit dan menghitung *phase offset*, atau menghilangkan kemungkinan *phase ramps*. Untuk menjalankan proses *Refinement and Reflattening*, file GCP harus dibuat sebelumnya. Pada tahap ini juga akan dihasilkan nilai RMSE yang merupakan perbedaan antara nilai ketinggian GCP dan nilai yang sesuai dalam fase interferometri. Nilai RMSE yang besar (dalam bilangan ratusan hingga ribuan) mengindikasikan adanya kesalahan hasil [8].

7) *Phase to Displacement*

Langkah ini bertujuan untuk mengkombinasikan ulang kalibrasi absolut dan *unwrapped phase* dengan *synthetic phase* yang selanjutnya dikonversi ke nilai ketinggian dan di *geocoding* ke proyeksi peta. Langkah ini dijalankan dengan cara yang mirip pada prosedur *geocoding*, yaitu mempertimbangkan pendekatan *Range-Doppler* yang terkait dengan transformasi geodetik dan kartografi. *Range-Doppler* diterapkan secara bersamaan ke dua antena, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan ketinggian setiap piksel dan lokasinya (*Easting, Northing*) dalam sistem referensi kartografi dan geodetik tertentu.

8) *Pemotongan Citra dan Validasi*

Tahap pemotongan citra dilakukan sesuai dengan AOI (*Area Of Interest*) Gunung Semeru yang mencakup wilayah seluas 41,8 km². Selanjutnya dilakukan validasi dengan cara membandingkan hasil nilai deformasi penelitian *DInSAR*

three-pass interferometry dengan data pembandingan *two-pass* dan SBAS. Perbandingan tersebut diwakili oleh 92 titik sampel yang tersebar pada garis LOS (*Line Of Sight*) arah utara, selatan, timur, barat, timur laut, barat daya, barat laut, dan tenggara. Dari nilai tersebut, dilakukan uji korelasi antara data penelitian utama dengan data pembandingan serta data DEM citra pendek (SAR 1 – 2) untuk koreksi topografi *three-pass* dengan data DEM SRTM untuk koreksi topografi *two-pass*. Proses ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan hubungan (korelasi) antar data yang diindikasikan dengan nilai koefisien korelasi (R). Nilai koefisien korelasi dalam tahap ini dihitung dengan menggunakan metode uji korelasi *Pearson’s Product Moment Correlation Coefficient* yang ditunjukkan oleh persamaan berikut [10] :

$$R = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \tag{4}$$

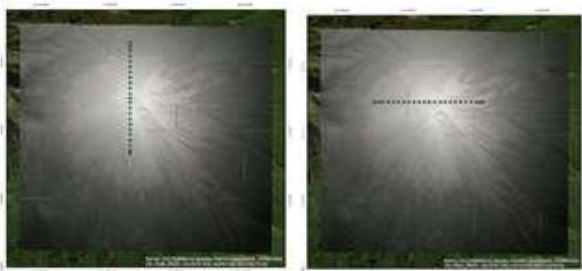
Kekuatan korelasi yang dihasilkan dari perhitungan koefisien korelasi dapat dikategorikan dengan acuan pada Tabel 3 [10].

Selain itu, hasil dari nilai titik sampel deformasi akan dibandingkan dan dihitung RMSE nya dengan rumus:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \tag{5}$$

9) *Analisa dan Pembuatan Peta Deformasi*

Tahap ini bertujuan untuk menganalisa hasil deformasi yang terjadi pasca aktivitas vulkanik Gunung Semeru pada tanggal 17 April 2020. Hasil tersebut akan divisualisasikan secara grafis dengan warna dan tekstur serta pengambilan beberapa titik sampel untuk grafik *Line Of Sight* di sekitar kawah. Selanjutnya dilakukan proses *layouting* untuk



(a) (b)

Gambar 10. Titik sampel profil DEM curam arah utara - selatan (a) dan timur - barat (b).



Gambar 11. Titik sampel profil DEM landai (melingkar).

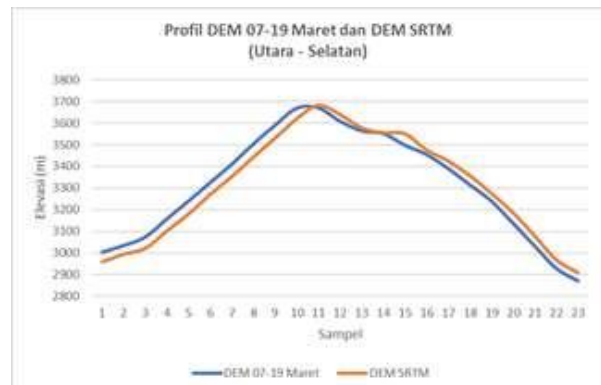
membuat peta deformasi Gunung Semeru dan penyusunan laporan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

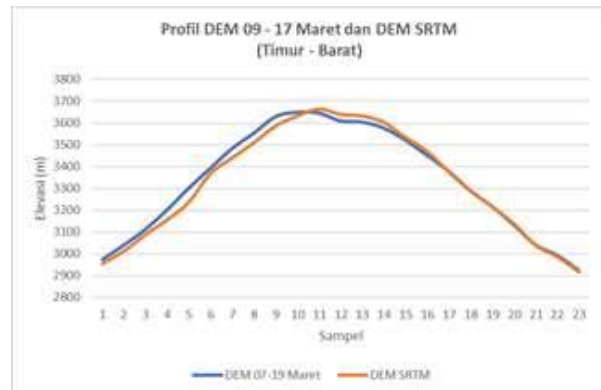
A. Perbandingan Nilai Deformasi

Sebagai proses validasi, nilai deformasi LOS yang dihasilkan dari penelitian utama (*DInSAR three-pass interferometry*) dibandingkan dengan data pembanding (*DInSAR two-pass interferometry* dan SBAS) menggunakan 92 titik sampel yang tersebar di delapan arah mata angin sekitar kawah Gunung Semeru. Seluruh nilai deformasi dihitung dari periode 07 Maret sampai 24 April 2020 dimana terjadi aktivitas vulkanik pada 17 Maret 2020 berupa semburan awan panas hingga 2 Km dan gempa guguran dengan amplitudo maksimum 7 mm dan lama gempa 300 detik. Gambar 2 menunjukkan deformasi gunung semeru.

Dari hasil perbandingan nilai deformasi LOS di 92 titik sampel yang ditunjukkan pada Gambar 3, dapat diketahui bahwa aktivitas Gunung Semeru pada 17 April 2020 mengakibatkan deformasi berupa deflasi (penurunan) permukaan gunung api. Besarnya nilai deformasi pada data penelitian utama dan pembanding memiliki selisih beberapa milimeter yang diakibatkan oleh perbedaan metode pengolahan data, terutama pada proses koreksi topografi. Pada metode *three-pass interferometry* koreksi topografi dilakukan dengan fase topografi dan penggepangan dari pasangan citra pendek sebelum terjadinya aktivitas vulkanik, sedangkan pada data pembanding *two-pass* dan SBAS menggunakan data DEM SRTM. Selain itu perbedaan perangkat lunak yang digunakan juga dapat mempengaruhi hasil nilai deformasi, dimana pengolahan *three-pass* dilakukan menggunakan Envi SARscape, pengolahan *two-pass* menggunakan GMTSAR, dan pengolahan SBAS menggunakan LiscSBAS. Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan profil deformasi yang diambil dari titik sampel arah utara - selatan dan timur - barat untuk



Gambar 8. Profil DEM arah utara – selatan.



Gambar 9. Profil DEM arah timur – selatan.

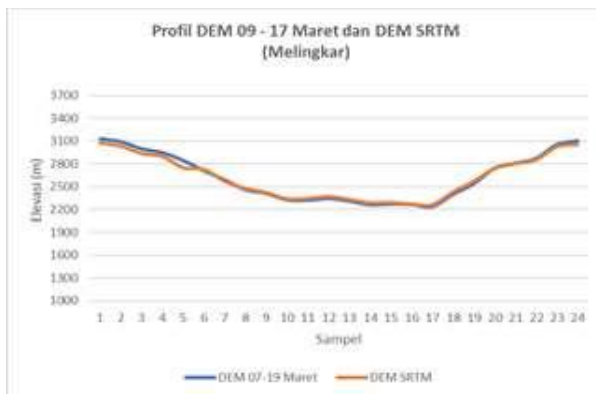
memvisualisasikan selisih nilai deformasi antara data penelitian utama dan data pembanding.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan Gambar 3 dan 4, dapat dilihat bahwa nilai deformasi data penelitian utama (*three-pass*) berada diantara dua data pembanding, dimana data *two-pass* memiliki nilai deflasi lebih besar dari pada data SBAS. Fenomena penurunan permukaan Gunung Semeru ini juga dapat dilihat dari grafik deformasi *three-pass* yang di *overlay* dengan deformasi SBAS secara time-series dari bulan Juni 2019 sampai Agustus 2020. Matriks *scatter* korelasi data deformasi penelitian utama dan pembanding tertera pada Gambar 5.

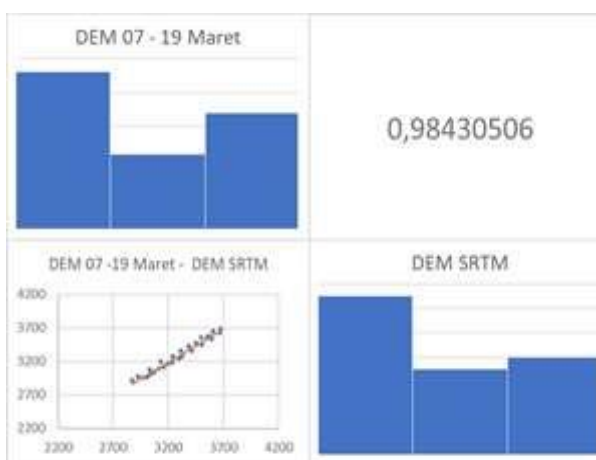
Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6 memperlihatkan baik data *three-pass* maupun SBAS mengalami deflasi pada periode awal bulan Maret sampai akhir bulan Agustus 2020. Selanjutnya, dilakukan penyusunan matriks *scatter* korelasi untuk mengukur kekuatan hubungan antara data penelitian utama dan pembanding pada gambar 7. Korelasi merupakan teknik analisis yang termasuk dalam salah satu teknik pengukuran asosiasi / hubungan (*measures of association*) menggunakan jarak (*range*) 0 sampai 1 [11].

Matriks *scatter* korelasi disusun atas data penelitian utama dan pembanding yang berada di garis diagonal utama dan selanjutnya digunakan sebagai penentu letak diagram *scatter* serta koefisien korelasi pada perpotongan baris dan kolom. Diagram *scatter* pada gambar 6 menunjukkan bahwa hubungan antara masing-masing data penelitian memiliki korelasi positif yang artinya seluruh data deformasi senilai atau berbanding lurus. Jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan tinggi dan berlaku sebaliknya. Komponen selanjutnya pada matriks yang ditunjukkan gambar 6 adalah koefisien korelasi, dimana nilai antara data 3 Pass – 2 Pass adalah 0,525889 ; 3 Pass – SBAS 0,704151 ; dan 2 Pass – SBAS 0,824565. Berdasarkan kategori lemah dan kuatnya

koefisien korelasi yang disusun pada tabel 3, dapat diketahui bahwa pasangan 3 *Pass* – 2 *Pass* dan 3 *Pass* – SBAS memiliki korelasi yang kuat, sedangkan pasangan 2 *Pass* dan SBAS



Gambar 12. Profil DEM landai (melintang).



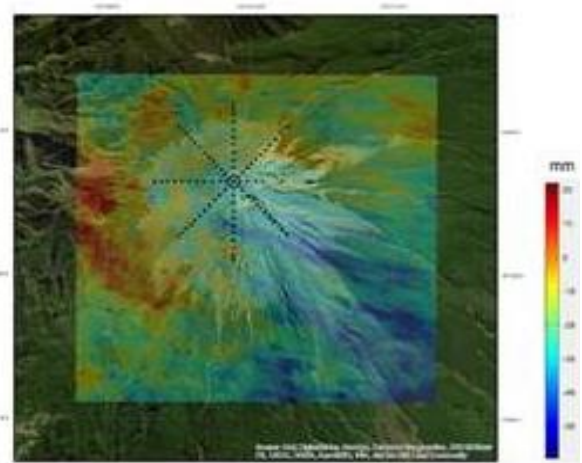
Gambar 13. Matriks *scatter* korelasi data DEM.

memiliki korelasi sangat kuat dikarenakan kedua penelitian menggunakan data DEM SRTM sebagai *default* koreksi topografi.

Selain uji korelasi, dilakukan perhitungan besarnya RMSE (*Root Mean Square Error*) antara data penelitian utama dan pembandingan pada titik sampel di setiap arah mata angin. RMSE merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil penelitian, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil penelitian akan semakin akurat. Pada penelitian ini diperoleh nilai RMSE yang bervariasi antara 4,481443331 sampai 27,98625876 milimeter dimana data penelitian *three-pass* memiliki akurasi lebih tinggi terhadap data pembandingan *two-pass* dari pada SBAS.

B. Perbandingan Data DEM Koreksi Topografi

koreksi topografi bertujuan untuk mengembalikan nilai keabuan elemen gambar (piksel) pada nilai yang sebenarnya akibat adanya pengaruh sudut elevasi[12]. Pada penelitian deformasi, tahap ini dilakukan setelah mendapat fase topografi dari proses interferogram generation. Tahap koreksi topografi pada metode *DInSAR three-pass interferometry* dilakukan dengan memanfaatkan data fase atau DEM yang dihasilkan oleh pasangan citra radar pendek (07 – 19 Maret 2020) sebelum terjadinya aktivitas vulkanik yang diteliti (17 April 2020). Sedangkan pada data pembandingan *DInSAR two-pass interferometry*, koreksi topografi dilakukan menggunakan data DEM SRTM 1 yang dapat diunduh secara gratis pada laman GMTSAR. Oleh karena itu kedua data



Gambar 14. Hasil deformasi metode *DInSAR three-pass interferometry*.

tersebut dibandingkan untuk mengetahui selisih nilai referensi DEM dengan cara membuat profil melintang pada permukaan yang memiliki kemiringan ekstrem (utara – selatan dan timur – barat) serta permukaan landai (melintang). Sebaran titik sampel profil DEM ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Selanjutnya dilakukan ekstraksi nilai koordinat dan elevasi pada masing-masing data DEM untuk kemudian dihitung selisih dan rata-ratanya. Dari ketiga profil yang ditunjukkan Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12 dapat dilihat bahwa nilai elevasi pada DEM 07-19 Maret dan DEM STRM memiliki selisih yang cukup rendah yaitu -4,1589355 meter pada sampel utara – selatan, -8,81185249 meter pada sampel timur – barat, dan 4,85557047 meter pada sampel landai (melintang).

Selain itu pola sebaran titik elevasi antara kedua data DEM memiliki keterkaitan yang tinggi dan dibuktikan dengan matriks *scatter* korelasi pada gambar 13 yang menunjukkan *trendline* positif dan nilai koefisien korelasi 0,96885645 atau korelasi sangat kuat, sehingga didapatkan hasil pengolahan deformasi *three-pass* dan *two-pass interferometry* dengan nilai yang berdekatan.

Sementara itu, koreksi topografi pada data pembandingan SBAS telah dilakukan dan disediakan dalam LiCSBAS, yaitu paket *open-source python* yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi *time-series* InSAR menggunakan produk LiCSAR (interferogram dan koherensi *unwrapping*) yang tersedia secara gratis di portal web COMET-LiCS. Deformasi SBAS yang disajikan secara *time-series* mengharuskan penerapan *spatiotemporal filtering* dan perataan model deformasi linear yang mengakibatkan nilai deformasi SBAS lebih rendah dari nilai deformasi *two-pass* dan *three-pass*.

C. Geologi dan Morfologi Gunung Semeru

Gunung Semeru merupakan gunung berapi yang terdiri dari struktur sesar, kaldera, kawah, dan maar yang berada dalam satu kelurusan arah selatan-utara dengan kompleks Gunung Jambangan dan Pegunungan Tengger serta berbentuk kerucut sempurna (*strato*) jika dilihat dari arah selatan dan tenggara. Gunung Semeru memiliki tipe letusan vulkanian-strombolian, yang artinya mengalami erupsi secara terus-menerus dalam jangka waktu panjang dan mengeluarkan material vulkanik berupa lava, magma, dan batuan sampan di sekitar kawah.

Berdasarkan Tabel 4, studi deformasi Gunung Semeru yang telah dilakukan menggunakan metode *DInSAR three-pass interferometry* menunjukkan adanya fenomena deflasi (penurunan) dengan rata-rata 26 mm yang direpresentasikan dari 92 titik sampel di seluruh area Gunung Semeru.

Hasil deformasi Gunung Semeru ditampilkan dalam data raster pada rentang warna biru sampai merah dengan besaran -50 sampai 20 milimeter. Titik sampel pada bagian barat, barat laut, utara, dan timur laut direpresentasikan dengan warna biru muda sampai kuning yang bernilai -30 sampai -10 milimeter. Pada area tersebut struktur geologi tersusun atas endapan jatuhnya batuan piroklastik, yaitu endapan yang terbentuk secara langsung (proses primer) oleh proses fragmentasi magma dan batuan oleh aktivitas vulkanik yang bersifat eksplosif. Batuan ini dipakai sebagai lapisan penunjuk dalam penentuan posisi stratigrafi satuan batuan lainnya. Litologi batuan ini terdiri dari fragmen skoria dan litik dengan ketebalan 40 – 60 cm. Hasil deformasi metode *DInSAR three-pass interferometry* tertera pada Gambar 14.

Sementara itu, titik sampel pada bagian timur, tenggara, selatan, dan barat daya didominasi oleh warna biru tua sampai biru muda dengan rentang -50 sampai -20 milimeter. Berdasarkan peta kawasan rawan bencana Gunung Semeru yang diterbitkan oleh PVMBG, dapat diketahui bahwa area ini adalah jalur utama aliran lava yang tersusun dari batuan endapan aliran batuan piroklastik yang terbentuk oleh proses aliran permukaan dengan mekanisme aliran debris piroklastik yang mengalir dengan campuran partikel padat dan gas konsentrasi tinggi yang panas. Litologi batuan ini terdiri dari fragmen basaltik hingga andesitik dengan sebaran tidak merata dan menebal di bagian lembah sekitar 0,5 – 15 meter.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai analisis deformasi akibat aktivitas vulkanik menggunakan data citra Sentinel-1A dan metode *DInSAR three-pass interferometry* dengan studi kasus Gunung Semeru, dapat diambil kesimpulan bahwa Penerapan metode *three-pass interferometry* teknologi *DInSAR* untuk pengamatan deformasi pada permukaan Gunung Semeru dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan pasangan citra periode pendek (07 – 19 Maret 2020) sebagai data koreksi topografi dari pasangan citra periode Panjang (07 Maret – 24 April 2020), dimana hasil deformasi dari metode ini memiliki koefisien korelasi yang kuat dengan hasil deformasi data pembandingan *two-pass interferometry* dan SBAS, yaitu 0,525889 dan 0,704151.

Nilai deformasi yang didapatkan dari penelitian *DInSAR three-pass interferometry* setelah terjadi aktivitas vulkanik pada Jumat, 17 April 2020 pukul 06.08 WIB menunjukkan adanya fenomena deflasi atau penurunan permukaan tanah dengan rata-rata -26 milimeter yang direpresentasikan dari 92 titik sampel di seluruh area Gunung Semeru, dimana pada area jalur aliran lava (timur, tenggara, selatan, dan barat daya) mengalami deflasi yang lebih besar

dibanding dengan area yang lain (barat, barat laut, utara, dan timur laut). Fenomena ini dipengaruhi oleh tekanan magma di dalam tubuh gunung api yang telah melemah, sehingga menyebabkan permukaan tanah cenderung kembali ke posisi semula.

B. Saran

Berdasarkan penelitian mengenai analisis deformasi akibat aktivitas vulkanik menggunakan data citra Sentinel-1A dan metode *DInSAR three-pass interferometry* dengan studi kasus Gunung Semeru, diberikan beberapa saran sebagai berikut Proses pemilihan data pasangan citra pendek dan panjang (*DInSAR Three-pass Interferometry*) sebaiknya dilakukan beberapa percobaan pasangan citra agar mendapatkan nilai koherensi yang tertinggi. Proses validasi sebaiknya menggunakan data penelitian di lapangan berupa survey terestris GNSS.

Untuk optimalisasi hasil deformasi dengan teknik *DInSAR* dapat dilakukan penambahan pengolahan data Sentinel-1A pada orbit *ascending*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam pengolahan data *DInSAR*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Wahyudin, "Aliran lava produk letusan celah Tahun 1941 serta kemungkinan terjadinya letusan samping baru di Gunung Semeru Jawa Timur," *J. Lingkung. dan Bencana Geol.*, vol. 1, no. 3, pp. 199–211, 2010.
- [2] B. Antonielli, O. Monserrat, M. Bonini, G. Righini, F. Sani, and Luzi, "Pre-eruptive ground deformation of Azerbaijan mud volcanoes detected through satellite radar interferometry (DInSAR)," *Tectonophysics*, vol. 637, pp. 163–177, 2014.
- [3] C.-W. Lee, Z. Lu, H.-S. Jung, O.-I. Kwoun, and J.-S. Won, "Surface Displacements of the St. Augustine Volcano, Alaska, measured from an DInSAR and GPS data," in *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, 2008, pp. 1–4.
- [4] A. Rivera, F. Amelung, and R. Eco, "Volcano Deformation and modeling on active volcanoes in the philippines from alos insar time series," *Geochemistry Geophysics Geosystems*, vol. 17, no. 7, 2016.
- [5] A. Kusman, "Studi Deformasi Gunung Api Batur dengan Menggunakan teknologi SAR Interferometri (InSAR)," Institut Teknologi Bandung, 2008.
- [6] M. Taufik and I. V. Aprillisa, "Analisis deformasi gunung bromo akibat aktivitas erupsi pada Desember 2015–Februari 2016 menggunakan teknologi differential interferometry synthetic aperture radar (DInSAR)," *Geoid*, vol. 14, no. 2, pp. 23–27, 2019.
- [7] R. Nurtyawan and L. S. Utami, "Monitoring deformasi gunung merapi menggunakan citra sentinel-1A dengan menggunakan metode DInSAR (studi kasus: Gunung Merapi, Jawa Tengah)," *Rekayasa Hijau J. Teknol. Ramah Lingkung.*, vol. 4, no. 1, pp. 14–23, 2020.
- [8] Sarmap, *SARscape Help Manual*. Paris: L3Harris Geospatial, 2015.
- [9] L. Braun, Andreas and Veci, *TOPS Interferometry Tutorial*. Waterloo: SkyWatch, 2020.
- [10] J. D. Chee, "Pearson's product-moment correlation: Sample analysis," *Res. Gate*, vol. 4, no. 1, pp. 4–90, 2015.
- [11] G. L. Gaile and C. Willmott, *Spatial Statistics and Models*. London: Springer, 2013.
- [12] J. Sarwono, *12 Jurus Ampuh SPSS Untuk Riset Skripsi*. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2013.