



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RM184831**

**ANALISIS DEFORMASI AKIBAT AKTIVITAS VULKANIK  
MENGUNAKAN DATA CITRA SENTINEL-1A DAN  
METODE *DINSAR THREE-PASS INTERFEROMETRY*  
(STUDI KASUS : GUNUNG SEMERU, JAWA TIMUR)**

**EKA DIAH NUR SAFITRI  
0331174000006**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**TUGAS AKHIR - RM184831**

**ANALISIS DEFORMASI AKIBAT AKTIVITAS VULKANIK  
MENGUNAKAN DATA CITRA SENTINEL-1A DAN  
METODE *DINSAR THREE-PASS INTERFEROMETRY*  
(STUDI KASUS: GUNUNG SEMERU, JAWA TIMUR)**

**EKA DIAH NUR SAFITRI  
0331174000006**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**UNDERGRADUATE THESIS- RM184831**

**ANALYSIS OF VOLCANIC ACTIVITIES DEFORMATION  
USING SENTINEL-1A IMAGE DATA AND *DINSAR*  
*THREE-PASS INTERFEROMETRY* METHOD (CASE  
STUDY: MOUNT SEMERU, EAST JAVA)**

**EKA DIAH NUR SAFITRI  
0331174000006**

**GEOMATIC ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**ANALISIS DEFORMASI AKIBAT AKTIVITAS  
VULKANIK MENGGUNAKAN DATA CITRA  
SENTINEL-1A DAN METODE *DINSAR THREE-  
PASS INTERFEROMETRY***  
(STUDI KASUS: GUNUNG SEMERU, JAWA TIMUR)

Nama Mahasiswa : Eka Diah Nur Safitri  
NRP : 0331174000006  
Departemen : Teknik Geomatika – FTSPK ITS  
Dosen Pembimbing : Dr-Ing. Noorlaila Hayati, S.T., M.T.  
Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Gunung Semeru merupakan salah satu gunung api yang secara administratif masuk ke dalam 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 inflasi sebelum aktivitas vulkanik dan deflasi 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-1A yang diakuisisi pada waktu dan posisi yang berbeda, dimana data fase topografi dan penggepengan diperoleh dari pasangan citra SAR 1 dan 2 dengan selisih temporal yang saling berdekatan dan tidak memiliki unsur deformasi. 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 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 koefisien korelasi yang kuat dengan hasil deformasi data pembandingan *two-pass interferometry* dan SBAS (*Small Baseline Subset*), yaitu 0,525889 dan 0,704151.

Kata kunci : Deformasi, DInSAR, *Three-pass Interferometry*, Sentinel-1A, Gunung Semeru

**ANALYSIS OF VOLCANIC ACTIVITIES  
DEFORMATION USING SENTINEL-1A IMAGE  
DATA AND DINSAR THREE-PASS  
INTERFEROMETRY METHOD  
(CASE STUDY: MOUNT SEMERU, EAST JAVA)**

**Name** : Eka Diah Nur Safitri  
**NRP** : 0331174000006  
**Departement** : Teknik Geomatika – FTSPK ITS  
**Supervisor** : Dr-Ing. Noorlaila Hayati, S.T., M.T.  
Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T.

**ABSTRACT**

*Mount Semeru is one of the volcanoes which is administratively included in the Lumajang and Malang Regencies, East Java. According to the Press Release on Mount Semeru's activities by the Ministry of Energy and Mineral Resources, Mount Semeru showed volcanic activity in the form of hot cloud bursts up to 2 km from the summit on Friday, April 17, 2020 at 06.08 WIB (Western Indonesian Time) and an avalanche earthquake with a maximum amplitude of 7 mm with 300 seconds duration. The existence of volcano magma activity in the form of uplift before volcanic activity and subsidence during volcanic activity can cause deformation on the volcanic surface. In this study, the observation of deformation phenomenon was carried out using DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) Three-pass interferometry method that utilizes Sentinel I-A SAR image pairs that were acquired at different time and position, which topographic and flattening phase data were obtained from SAR 1 and 2 image pairs with temporal differences that are close to each other and do not have an element of deformation. Furthermore, the phase data*

*is used in the process of topographic and flattening correction of SAR 1 and 3 image pairs to obtain the deformation value.*

*The observations of deformation using DInSAR three-pass interferometry method showed the phenomenon of land subsidence with an average of 26 millimeters that is represented by 92 sample points throughout the Mount Semeru area, where in the area of the lava flow path (east, southeast, south, and southwest) have greater subsidence than other areas (west, northwest, north, and northeast). The deformation results from this method have a strong correlation coefficient with the deformation results of the comparison data of two-pass interferometry and SBAS (Small Baseline Subset), that is 0.525889 and 0.704151.*

*Keywords: Deformation, DInSAR, Three-pass Interferometry, Sentinel-1A, Mount Semeru*

**ANALISIS DEFORMASI AKIBAT AKTIVITAS  
VULKANIK MENGGUNAKAN DATA CITRA  
SENTINEL-1A DAN METODE *DINSAR THREE-  
PASS INTERFEROMETRY*  
(STUDI KASUS: GUNUNG SEMERU, JAWA TIMUR)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**EKA DIAH NUR SAFITRI**  
NRP. 0331174000006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr-Ing. Noorlaila Hayati, S.T., M.T. .....(Pembimbing I)  
NIP. 19900603 201404 2 001

Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T. .....(Pembimbing II)  
NIP. 19910719 201504 2 000



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Deformasi Akibat Aktivitas Vulkanik Menggunakan Data Citra Sentinel-1A dan Metode *DInSAR Three-pass Interferometry***” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dengan baik dan lancar serta sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik dan lancar berkat bantuan, dukungan dan kerja sama dari berbagai pihak yang telah terlibat. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah, Mama, dan Adik penulis atas curahan kasih sayang, doa, dan dukungan yang telah diberikan,
2. Bapak Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika FTSPK ITS,
3. Ibu Dr-Ing. Noorlaila Hayati, S.T. M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini,
4. Ibu Dr. Filsa Bioresita, S.T. M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini,
5. Bapak Ir. Atriyon Julzarika, S.T., M.Eng. dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam pengolahan data *DInSAR*,
6. Teman seperjuangan, Akhmad Barizil Hak, Arizal Bawasir, Astrid Calista, Ayuli Serlia, dan Chyntia Ayu Handayani yang telah menemani, menyemangati, dan

mendengarkan keluh kesah penulis baik suka dan duka selama proses penyelesaian Tugas Akhir berlangsung,

7. Teman seperjuangan angkatan 2017, terima kasih atas waktunya selama 4 tahun untuk belajar dan berkembang bersama,
8. Seluruh staff pengajar yang telah membimbing dan memberikan materi perkuliahan kepada penulis,
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyadari masih terdapat kekurangan baik yang disengaja maupun tidak disengaja. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk perbaikan dalam penyusunan laporan berikutnya.

Demikian laporan Tugas Akhir ini disusun, semoga dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 05 Agustus 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxiii
<b>BAB I</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB II</b> .....	5
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Deformasi</b> .....	5
2.1.1 Inflasi .....	6
2.1.2 Deflasi .....	6
<b>2.2 SAR (Synthetic Aperture Radar)</b> .....	7

2.3	<i>DInSAR Three-pass Interferometry</i> .....	9
2.4	<i>Interferogram</i> .....	12
2.5	<b>Koherensi</b> .....	13
2.6	<i>Phase unwrapping</i> untuk Aplikasi <i>DInSAR</i> .....	14
2.7	<b>Sentinel-1A</b> .....	15
2.8	<b>Validasi Data</b> .....	17
2.9	<b>Penelitian Terdahulu</b> .....	19
<b>BAB III</b> .....		23
<b>METODOLOGI</b> .....		23
3.1	<b>Lokasi Penelitian</b> .....	23
3.2	<b>Data Penelitian</b> .....	24
3.2.1	Data Utama .....	24
3.2.2	Data Pembanding .....	26
3.3	<b>Peralatan Penelitian</b> .....	28
3.3.1	Perangkat Keras .....	28
3.3.2	Perangkat Lunak .....	28
3.4	<b>Metodologi Penelitian</b> .....	29
3.4.1	Tahapan Penelitian.....	29
3.4.2	Tahapan Pengolahan Data SAR.....	32
<b>BAB IV</b> .....		41
<b>HASIL DAN ANALISA</b> .....		41

<b>4.1 Hasil Pengolahan <i>DInSAR Three-pass Interferometry</i></b> .....	41
4.1.1 Panjang <i>Baseline</i> dan Interval Waktu .....	41
4.1.2 Fase <i>Interferogram</i> .....	42
4.1.3 Koherensi Citra SAR .....	44
4.1.4 <i>Unwrapping Phase</i> .....	45
4.1.5 Deformasi Gunung Semeru.....	46
<b>4.2 Analisa Hasil Pengolahan <i>DInSAR Three-pass Interferometry</i></b> .....	47
4.2.1 Perbandingan Nilai Deformasi.....	47
4.2.2 Perbandingan Data DEM Koreksi Topografi	55
4.2.3 Analisa Deformasi Terkait Geologi dan Morfologi Gunung Semeru .....	61
<b>BAB V</b> .....	65
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	65
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	65
<b>5.2 Saran</b> .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	67
<b>LAMPIRAN 1</b> .....	73
<b>LAMPIRAN 2</b> .....	87
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	95

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fenomena Inflasi dan Deflasi Gunung Api.....	6
Gambar 2. 2 Geometri Pencitraan Radar .....	8
Gambar 2. 3 Sketsa Geometri <i>DInSAR Three-pass Interferometry</i> .....	9
Gambar 2. 4 <i>Interferogram</i> Pasangan Citra .....	13
Gambar 2. 5 Mode Akuisisi Sentinel-1A.....	16
Gambar 2. 6 Sub-swath Sentinel-1A.....	17
Gambar 3. 1 Studi Lokasi Penelitian : Gunung Semeru .....	23
Gambar 3. 2 AOI Penelitian Deformasi Gunung Semeru.....	24
Gambar 3. 3 Product Preview Data Sentinel-1A .....	25
Gambar 3. 4 Grafik Deformasi <i>Time-series</i> Data Pembanding SBAS .....	27
Gambar 3. 5 Diagram Alir Tahap Penelitian .....	29
Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengolahan Data .....	33
Gambar 3. 7 Persebaran GCP .....	36
Gambar 3. 8 <i>Refinement Result</i> .....	37
Gambar 4. 1 <i>Baseline Estimation</i> Pasangan Citra 1-2 (a) dan Pasangan Citra 1-3 (b) .....	42
Gambar 4. 2 <i>Interferogram</i> Pasangan Citra 1-2 (Fase Topografi dan Penggepengan) .....	43
Gambar 4. 3 <i>Interferogram</i> Pasangan Citra 1-3 (Fase Topografi, Penggepengan, dan Deformasi) .....	43

Gambar 4. 4 <i>Interferogram</i> Akhir (Fase Deformasi).....	44
Gambar 4. 5 Nilai Koherensi Data Pasangan Citra.....	45
Gambar 4. 6 <i>Phase unwrapping</i> Data Pasangan Citra .....	46
Gambar 4. 7 Hasil Deformasi <i>DInSAR Three-pass</i> <i>Interferometry</i> .....	47
Gambar 4. 8 Deformasi Gunung Semeru ( <i>DInSAR Three-Pass</i> ).....	48
Gambar 4. 9 Deformasi Gunung Semeru ( <i>DInSAR Two-pass</i> ) .....	48
Gambar 4. 10 Deformasi Gunung Semeru (SBAS) .....	49
Gambar 4. 11 Titik Sampel pada Hasil Deformasi ( <i>DInSAR Three-pass</i> ) .....	49
Gambar 4. 12 Titik Sampel pada Hasil Deformasi ( <i>DInSAR Two-pass</i> ).....	50
Gambar 4. 13 Titik Sampel pada Hasil Deformasi (SBAS)..	50
Gambar 4. 14 Grafik Deformasi (Utara - Selatan).....	51
Gambar 4. 15 Grafik Deformasi (Timur - Barat).....	52
Gambar 4. 16 Grafik Rata-rata Deformasi 92 Titik Sampel <i>Time Series</i> SBAS dan <i>DInSAR Three-pass</i> .....	52
Gambar 4. 17 Matriks <i>Scatter</i> Korelasi Data Penelitian Utama dan Pemandang.....	53
Gambar 4. 18 Titik Sampel Profil DEM Curam Arah Utara - Selatan (a) dan Timur - Barat (b).....	57
Gambar 4. 19 Titik Sampel Profil Landai (Melingkar).....	57

Gambar 4. 20 Profil DEM Arah Utara – Selatan .....	58
Gambar 4. 21 Profil DEM Arah Timur – Barat .....	58
Gambar 4. 22 Profil DEM Landai (Melingkar) .....	59
Gambar 4. 23 Matriks <i>Scatter</i> Korelasi Data DEM .....	60
Gambar 4. 24 Hasil Deformasi Metode <i>DInSAR Three-pass Interferometry</i> .....	62
Gambar 4. 25 Peta Geologi Gunung Semeru (Sumber : PVMBG 1996) .....	63

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Kekuatan Koefisien Korelasi (Sarwono 2006) .....	18
Tabel 3. 1 Data Penelitian .....	25
Tabel 3. 2 Data <i>Precise orbit Ephemerides</i> .....	26
Tabel 3. 3 Spesifikasi Laptop ACER Swift SF314-56G .....	28
Tabel 4. 1 Perhitungan RMSE Sampel Deformasi.....	55
Tabel 4. 2 Rata-rata Nilai Deformasi <i>DInSAR Three-pass Interferometry</i> .....	61

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Tabel Koordinat Titik Sampel Perbandingan Nilai Deformasi.....	74
Lampiran 1. 2 Tabel Perbandingan Nilai Deformasi .....	78
Lampiran 1. 3 Tabel Perhitungan RMSE Nilai Deformasi ...	82
Lampiran 2. 1 Tabel Koordinat Titik Sampel Profil DEM Curam (Utara - Selatan).....	88
Lampiran 2. 2 Tabel Koordinat Titik Sampel Profil DEM Curam (Timur Barat) .....	89
Lampiran 2. 3 Tabel Koordinat Titik Sampel Profil DEM Landai (Melingkar) .....	90
Lampiran 2. 4 Tabel Perbandingan Elevasi Titik Sampel Profil DEM Curam (Utara - Selatan) .....	91
Lampiran 2. 5 Tabel Perbandingan Elevasi Titik Sampel Profil DEM Curam (Timur - Barat) .....	92
Lampiran 2. 6 Tabel Perbandingan Elevasi Titik Sampel Profil DEM Landai (Melingkar) .....	93

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gunung Semeru merupakan puncak tertinggi di pulau Jawa yang terletak pada posisi geografis  $8^{\circ} 04' 48''$  -  $8^{\circ} 20' 00''$  LS dan  $112^{\circ} 50' 38''$  -  $113^{\circ} 10' 08''$  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 (Wahyudin, 2010).

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 inflasi sebelum aktivitas vulkanik dan deflasi pada saat aktivitas vulkanik dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada permukaan gunung api (Antonielli dkk, 2014). Pengukuran deformasi permukaan sangat penting untuk memahami proses dari gunung api dan bencana yang disebabkannya, 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 (Chang-Wook dkk, 2008). Selain itu metode lain yang dapat digunakan adalah teknologi satelit penginderaan jauh aktif yang menyediakan cakupan global untuk pemantauan gunung api (Rivera dkk, 2016).

Penelitian Tugas Akhir 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* (Kusman, 2008; Apriyasa, 2019; Nurtyawan, 2020) hanya menggunakan metode *two-pass interferometry* saja, sedangkan pada teknologi *DInSAR* terdapat metode lainnya, yakni *Three-pass Interferometry*. Metode ini membutuhkan data fase topografi dan penggepengan yang diperoleh dari pasangan citra SAR 1 dan 2 dimana selisih temporal dari dua pengamatan tersebut saling berdekatan dan tidak memiliki unsur deformasi. 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 dan ketersediaan data DEM yang kurang *up to date* dapat

menghasilkan fase yang kurang relevan. Oleh karena itu pada penelitian Tugas Akhir ini akan diterapkan metode *Three-pass Interferometry* agar mendapat nilai deformasi yang lebih akurat.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang muncul dari latar belakang Tugas Akhir yang telah disebutkan sebelumnya adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana menerapkan metode *Three-pass Interferometry* teknologi *DInSAR* untuk pengamatan deformasi pada permukaan Gunung Semeru?
- b. Bagaimana nilai deformasi pada permukaan Gunung Semeru setelah mengalami aktivitas vulkanik pada 17 April 2020?

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun ruang lingkup Tugas Akhir ini terbatas, dengan garis besar kajian sebagai berikut:

- a. Lingkup Tugas Akhir terbatas hanya di daerah wilayah Gunung Semeru.
- b. Mengetahui besar nilai deformasi pada permukaan Gunung Semeru setelah aktivitas vulkanik tanggal 17 April 2020.
- c. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data Sentinel-1A dan *Precise orbit Ephemerides* bulan Maret dan April tahun 2020.
- d. Teknik yang digunakan yaitu *DInSAR* dengan metode *Three-pass Interferometry* sebagai analisis deformasi pada permukaan Gunung Semeru.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui penerapan metode *Three-pass Interferometry* teknologi *DInSAR* untuk pengamatan deformasi pada permukaan Gunung Semeru.
- b. Mengetahui nilai deformasi pada permukaan Gunung Semeru setelah mengalami aktivitas vulkanik pada 17 April 2020.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Sebagai informasi mengenai gambaran kinerja metode *Three-pass Interferometry* teknologi *DInSAR* dalam studi deformasi Gunung Semeru.
- b. Sebagai informasi mengenai sebaran nilai deformasi permukaan Gunung Semeru setelah mengalami aktivitas vulkanik pada 17 April 2020.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

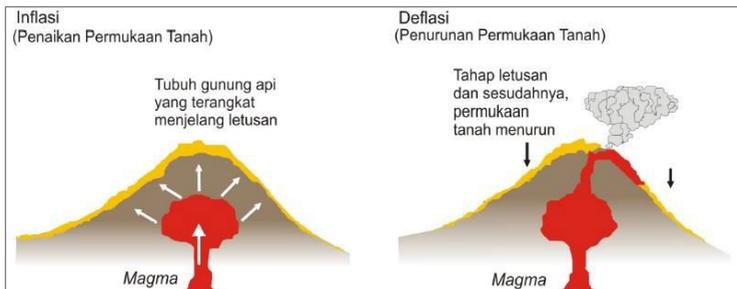
#### **2.1 Deformasi**

Deformasi adalah perubahan bentuk, dan/atau ukuran suatu tubuh sebagai respon terhadap gaya (*force*) yang diterapkan. Selain itu deformasi juga berarti perubahan posisi (*translation*) dan orientasi (*rotation*). Gaya (*forces*) yang dimaksud, di dalamnya termasuk *body forces*, misalkan gravitasi, dan *surfaces forces*, misal hidrostatic (Anjasmara, 2013).

Objek dari deformasi terdiri dari rotasi bumi, abrasi, proses geologi lokal, *ocean loading*, pelapukan, erosi, deflasi, longsor, tsunami, tektonik lempeng, pasang surut, atmosferik, proses hidrologi. Jenis dari deformasi dapat dibagi menjadi dua yakni deformasi statik yang bersifat permanen, dan deformasi sesaat yang bersifat sementara / dinamis. Suatu titik atau objek dikatakan bergerak secara absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan relatif apabila gerakan titik atau objek tersebut dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem referensi (absolut atau relatif) (Andreas, 2007).

Deformasi pada suatu tempat atau objek dapat diketahui dengan melakukan suatu survei atau pengamatan, yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika adalah survei geodetik yang digunakan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika. Fenomena tersebut terbagi menjadi 2, yaitu fenomena deformasi dan geodinamika yang disebabkan oleh alam seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung berapi, gempa bumi dan lainlain. Fenomena yang lain adalah fenomena deformasi dan geodinamika yang disebabkan oleh manusia seperti bangunan, jembatan, bendungan, dan lain sebagainya.

Deformasi pada permukaan gunung api adalah perubahan pada bentuk yang dapat terjadi sebelum saat dan sesudah terjadinya aktivitas vulkanik. Pergerakan permukaan dapat terjadi sebagai respon dari arus bahan (magma) dan cairan hidrotermal atau magmatik pada gunung api. Peningkatan deformasi permukaan pada gunung api merupakan tanda dimulainya aktivitas vulkanik baru.



**Gambar 2. 1 Fenomena Inflasi dan Deflasi Gunung Api**  
(Sumber : Abidin, 2001)

### 2.1.1 Inflasi

Fenomena inflasi adalah proses dimana terjadinya pengangkatan permukaan tanah, umumnya terjadi karena proses pergerakan magma ke permukaan yang menekan permukaan tanah di atasnya. Inflasi disebabkan oleh adanya magma yang bergerak naik ke permukaan gunung api. Inflasi sering dijadikan sebagai tanda-tanda akan erupsi pada gunung api.

### 2.1.2 Deflasi

Fenomena deflasi adalah proses dimana terjadinya penurunan permukaan tanah, umumnya terjadi sesudah masa letusan, saat tekanan magma di dalam tubuh gunung api telah melemah tetapi pada beberapa kasus deflasi juga terjadi selama letusan.

## 2.2 SAR (Synthetic Aperture Radar)

SAR merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari, hal ini dikarenakan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) dalam pengamatan permukaan bumi. Menurut Haniah (2011) dan ESA (2000) bahwa resolusi SAR dibagi menjadi dua hal, yaitu sebagai berikut:

### a. *Range Resolution* (Resolusi Melintang Lintasan)

Resolusi dari pulsa radar secara mendatar dibatasi oleh *bandwith* (B) dari pancaran pulsa gelombang (c), dengan semakin lebar *bandwidth* maka resolusi *range* semakin baik, lebar *bandwidth* tersebut akan dicapai dengan pulsa durasi pendek.

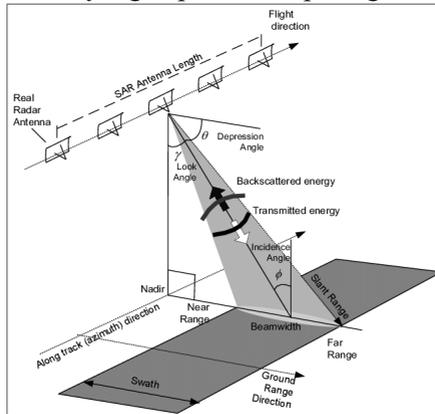
### b. *Azimuth Resolution* (Resolusi Searah Lintasan)

Resolusi pada arah azimuth ( $\alpha$ ) merupakan resolusi yang sejajar dengan arah terbang wahana. Dengan kata lain yaitu kemampuan dari radar untuk membedakan objek yang berlainan yang searah lintasan wahana. Resolusi searah azimuth tergantung pada lebar sorot ( $\beta$ ) dari gelombang mikro yang dipancarkan dan jarak dari wahana ke objek.

Dalam akuisisi data SAR, pencitraan radar umumnya mentransmisikan polarisasi secara horizontal dan menerima gema polarisasi secara horizontal juga dari permukaan bumi sehingga menghasilkan polarisasi HH atau dapat disebut juga *like-polarized image*. Namun ada juga beberapa radar yang didesain untuk mentransmisikan sinyal polarisasi secara horizontal tetapi secara terpisah menerima polarisasi secara vertikal dari permukaan bumi atau dapat disebut juga polarisasi HV atau *cross-polarized image* (Campbell dan Wynne, 2011). Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem radar memiliki empat polarisasi, yaitu : HH (horizontal-

horizontal), VV (vertikal-vertikal), HV (horizontal-vertikal), VH (vertikal-horizontal).

Ketika wahana memancarkan radar, memiliki bentuk geometri tersendiri yang dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2. 2 Geometri Pencitraan Radar**  
(Sumber : Sambodo dan Musyarofah, 2011)

Berikut ini adalah faktor-faktor geometri pada pencitraan radar (Haniah, 2011) :

a. *Incidence Angle*

*Incidence angle* merupakan sudut yang dibentuk antara pancaran gelombang radar dengan garis yang tegak lurus terhadap permukaan objek.

b. *Depression Angle*

*Depression angle* adalah sudut yang dibentuk dari arah horizontal ke arah garis pancaran gelombang radar.

c. *Look Angle*

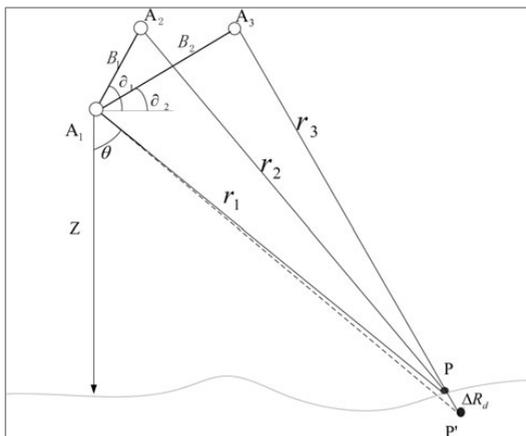
*Look angle* merupakan sudut antara utara geografis dan arah pancaran gelombang radar atau dengan garis yang tegak lurus arah terbang wahana.

d. *Look Direction*

*Look direction* merupakan arah antenna saat melakukan pencitraan.

### 2.3 *DInSAR Three-pass Interferometry*

Salah satu teknologi radar yang digunakan dalam pemantauan deformasi permukaan tanah adalah *DInSAR*. *DInSAR* (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) menggunakan pasangan gambar SAR yang diakuisisi pada waktu yang berbeda dan posisi yang berbeda oleh satelit. Dengan mengetahui posisi satelit dan permukaan topografi memungkinkan untuk substraksi komponen fase topografi dan mengukur deformasi (Mura dkk, 2014).



Gambar 2. 3 Sketsa Geometri *DInSAR Three-pass Interferometry*  
(Sumber : Wang G dkk, 2013)

Pada penelitian Tugas Akhir ini, Metode *DInSAR* yang digunakan adalah *three pass interferometry*. Prinsip metode ini dapat dilihat pada sketsa geometri gambar 2.3 dimana  $Z$  adalah tinggi satelit, titik  $P$  dan  $P'$  secara berurutan adalah posisi pengamatan sebelum dan sesudah deformasi terjadi, dan  $\Delta R_d$  adalah perpindahan sepanjang *Line Of Sight (LOS)* data SAR. Titik  $A_1$  dan  $A_2$  secara berturut-turut adalah posisi dari SLC1 dan SLC2 yang diambil dari satelit, sedangkan  $A_3$  adalah posisi dari SLC3.  $r_1$ ,  $r_2$ , dan  $r_3$  adalah secara berturut-turut adalah slant ranges antara  $(A_1, P)$ ,  $(A_2, P)$  dan  $(A_3, P)$ ;  $B_1$  dan  $B_2$  adalah rentang *baseline* dari  $A_1A_2$  dan  $A_1A_3$ .

Berdasarkan sketsa geometri *DInSAR Three-pass Interferometry* pada gambar 2.3, dapat diketahui bahwa nilai  $B_1 \ll r_1 + r_2$ , sehingga persamaan dapat diturunkan sebagai :

$$\begin{aligned} r_2^2 &= r_1^2 + B_1^2 - 2r_1B_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta + \partial_1\right) \rightarrow r_1 - r_2 \\ &\cong B_1 \sin(\theta - \partial_1) \end{aligned} \quad (1)$$

Metode *Three-pass Interferometry* membutuhkan data beda fase topografi dan penggepengan yang diperoleh dari pasangan citra SAR 1 dan 2 dimana selisih temporal dari dua pengamatan tersebut saling berdekatan dan dianggap tidak memiliki unsur deformasi. Nilai beda fase didapatkan dari hasil *fringes Interferogram* SAR sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{12} &= \phi_1 - \phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} \rho (r_2 - r_1) \\ &= -\frac{4\pi}{\lambda} B_1 \sin(\theta - \partial_1) \end{aligned} \quad (2)$$

Dimana nilai  $\rho$  adalah 2, berdasarkan *repeated pass* yang digunakan. Sedangkan  $\lambda$  merupakan Panjang gelombang mikro yang digunakan pada sensor satelit.

Selanjutnya nilai  $\Delta\phi_{13}$  yang didapatkan dari *fringes interferogram* SAR pasangan citra 1 dan 3 berisi informasi beda fase topografi, penggepengan, dan deformasi dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{13} &= \phi_1 - \phi_3 = \frac{2\pi}{\lambda} \rho (r_3 - r_1) \\ &= -\frac{4\pi}{\lambda} B_2 \sin(\theta - \partial_2) \end{aligned} \quad (3)$$

Hubungan antara nilai beda fase deformasi  $\Delta\phi_d$  dan  $\Delta R_d$  adalah sebagai berikut :

$$\Delta\phi_d = -\frac{4\pi}{\lambda} \Delta R_d \quad (4)$$

Dari persamaan 2, 3, dan 4, dapat diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} \Delta\phi_d &\approx \Delta\phi_{13} - \Delta\phi_{12} \\ &= -\frac{4\pi}{\lambda} (B_2 \sin(\theta - \partial_2) - B_1 \sin(\theta - \partial_1)) \\ &= -\frac{4\pi}{\lambda} \Delta R_d \end{aligned} \quad (5)$$

Komponen  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $\theta$ ,  $\partial_1$ , dan  $\partial_2$  didapatkan dari citra fase *fringes interferogram* dan parameter orbit satelit sehingga nilai  $\Delta R_d$  dapat diuraikan menjadi perpindahan horizontal dan perpindahan vertikal yang diproyeksikan sepanjang LOS (*Line Of Sight*) untuk dilakukan analisis lebih lanjut. Penerapan metode *DInSAR Three-pass Interferometry* sapat digunakan pada semua jenis tipe topografi selama data citra memiliki nilai koherensi yang baik.

Menurut (Ismullah, 2004), citra SAR yang akan diolah secara interferometri, khususnya dari satelit sering disebut dengan citra kompleks atau SLC (*Single Look Complex*), yang mana dalam tiap *pixel*-nya tersusun atas informasi amplitudo (a) dan *phase* ( $\phi$ ):

#### a. Amplitudo

Tampilan gambar pada citra radar dapat terbentuk karena hasil pengukuran amplitudo dari adanya sistem radar. Amplitudo menunjukkan seberapa kuat hamburan dari objek radar yang dapat diterima oleh *transmitter*. Semakin kuat hamburan, maka semakin terang area pada citra radar, hal tersebut menunjukkan objek dengan permukaan yang kasar. Sedangkan semakin lemah hamburan maka semakin gelap area pada radar yang berarti menunjukkan objek dengan permukaan rata atau halus. Saat gelombang

elektromagnetik berinteraksi dengan permukaan, maka pulsa gelombang akan dipancarkan ke segala arah dan sebagian pantulannya tersebut akan diterima kembali oleh sensor. Intensitas dari gelombang pantul ini sangat lemah bila dibandingkan dengan gelombang yang dipancarkan. Faktor kekerasan permukaan juga mempengaruhi terhadap gelombang pantul yang dipancarkan.

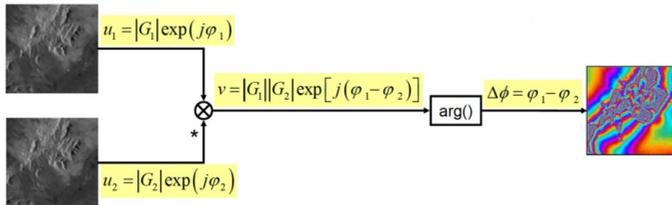
b. *Phase*

*Phase* merupakan kondisi oksilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang sejauh  $2\pi$  (Ismullah, 2004). Ketika titik di tanah bergerak, maka jarak antara sensor dan titik akan berubah, dan berpengaruh pada nilai *phase* yang direkam oleh sensor SAR. *Phase* berhubungan dengan dua jalur sinyal dari radar dan *resolution cell*. *Resolution cell* berisi ribuan pantulan obyek radar yang memiliki nilai berbeda-beda sesuai dengan karakteristik tiap obyek seperti perbedaan panjang *range*, tingkat konduktivitas obyek yang menghasilkan perbedaan acak dari suatu *phase*. Hal tersebut mengakibatkan *pixel* pada citra radar akan menampilkan *noise*. Untuk mendapatkan informasi bentuk geometri obyek yang baik, perlu diminimalisir efek *noise* dengan mengkombinasikan beberapa citra radar (Massonet dan Feigl, 1998).

## 2.4 *Interferogram*

Dalam melakukan proses *DInSAR* diperlukan dua data citra SAR untuk menghitung beda fase dari dua data tersebut, dimana hasil dari proses *DInSAR* divisualisasikan dalam bentuk *interferogram* yang dapat dilihat pada gambar 2.2. Pada *interferogram* terlihat garis-garis tepi yang disebut *fringes*. *Fringes* menunjukkan rentang fase antara  $0 - 2\pi$  dalam bentuk warna. Gambar 2.4 menunjukkan rentang melingkar antara warna yang pertama dengan warna yang

sama berikutnya perbedaan yang terjadi adalah sebesar  $2\pi$  (Ismullah, 2004).



**Gambar 2. 4 Interferogram Pasangan Citra**  
(Sumber : ESA, 2016)

Pada tahap *Interferogram Generation*, *range spectrum filtering* dan *azimuth spectrum filtering* dua citra SAR diaplikasikan untuk menghasilkan *spectral shift* antara citra *master* dan *slave* dalam *range* dan *azimuth direction*. Hasil *shift* pada *range direction* didapatkan dari perbedaan sudut akuisisi satelit antara citra *master* dan *slave*, sedangkan *shift* pada *azimuth direction* dihasilkan dari perbedaan Doppler antara citra *master* dan *slave*. Sebuah *interferogram* kompleks dihasilkan dari perkalian kompleks dari piksel yang sesuai dalam gambar *master* dan *slave*, seperti diberikan dalam persamaan :

$$\begin{aligned} v &= |G_1| \exp(j\varphi_1) |G_2| \exp(-j\varphi_2) \\ &= |G_1||G_2| \exp[j(\varphi_1 - \varphi_2)] \end{aligned} \quad (6)$$

Dimana  $G_1$  dan  $G_2$  adalah nilai piksel data citra SAR *master* dan *slave* secara berturut-turut, sedangkan  $j\varphi$  adalah nilai fase.

## 2.5 Koherensi

Koherensi pada citra merupakan hal yang sangat penting karena hanya citra dengan nilai koherensi tinggi saja yang dapat menghasilkan fase *interferogram* andal. Perhitungan perbandingan antara dua buah citra pada setiap piksel dinyatakan dalam :

$$\gamma = \frac{E [u_1 u_2^*]}{\sqrt{E [u_1 u_1^*] E [u_2 u_2^*]}} \quad (7)$$

Dimana  $\gamma$  adalah koherensi, E menunjukkan ekspektasi statistik, sedangkan  $u_1$  dan  $u_2$  mewakili dua citra. Nilai yang dihasilkan dari persamaan nomor 7 menunjukkan rentang dari 0 (koherensi rendah) sampai 1 (koherensi tinggi). Koherensi berguna untuk menunjukkan ukuran keandalan suatu hasil, dimana semakin tinggi koherensi maka menunjukkan semakin rendah kontribusi *noise* interferometrik yang didapat.

Koherensi citra memiliki fungsi diagnostik yang penting pada pemrosesan *interferogram*. Selain *random noise*, hilangnya koherensi umumnya disebabkan oleh adanya dekorelasi geometri dan temporal. Hal tersebut bergantung pada akuisisi geometri dan dapat dikontrol dengan memilih *baseline* yang tepat. Selain itu nilai koherensi juga bergantung pada sifat hamburan target. Contohnya, badan air yang memiliki koherensi sangat rendah karena permuakaannya terus bergerak, sehingga menunjukkan warna hitam pada koherensi citra. Vegetasi tumbuhan biasanya menunjukkan koherensi rendah karena beberapa hal, seperti volume hamburan, kadar air, pergerakan daun, pertumbuhan vegetasi, dll. Namun hal tersebut bergantung pada panjang gelombang. jika ini berlaku untuk sistem SAR X-band (atau C-band), di mana radiasi hanya dapat mencapai puncak kanopi, untuk L-band (atau P-band), radiasi umumnya dapat menembus kanopi dan dapat dihamburkan kembali oleh medan di bawahnya atau oleh batang pohon dan cabang-cabang pohon. Sebaliknya, batu, bangunan, jalan raya, dan konstruksi buatan umumnya memiliki koherensi yang tinggi.

## 2.6 *Phase unwrapping* untuk Aplikasi *DInSAR*

Salah satu aspek yang paling menantang dalam keberhasilan penerapan teknik *DInSAR* adalah *phase unwrapping*. Kesulitan muncul dalam upaya menemukan

prosedur optimasi global dengan kriteria terbaik untuk data yang mengandung *noise* dan tidak lengkap. Fase interferometrik *unwrapped* absolut berbanding lurus dengan perbedaan panjang jalur untuk pasangan gambar SAR.

Aplikasi interferometri menghubungkan fase *unwrapped* dengan parameter geofisika, seperti elevasi dan deformasi, misalnya karena gerakan es, penurunan permukaan, gempa bumi, inflasi/deflasi vulkanik, dan gerakan tektonik. *Interferogram* bernilai kompleks dengan ambiguitas yang sesuai kelipatan  $2\pi$  dan harus di *unwrap* untuk mendapatkan interpretasi kuantitatif. *Phase unwrapping* adalah proses mengembalikan kelipatan  $2\pi$  yang benar untuk setiap titik dari citra fase interferometrik. Untuk medan fase halus, semua perbedaan fase *unwrapped* antara sampel *interferogram* yang berdekatan terletak antara  $-\pi$  dan  $+\pi$ . Jika hal ini benar, *phase unwrapping* dapat dilakukan dengan sangat mudah karena fase tersebut dapat dievaluasi dengan sederhana (jalur-independen), mulai dari lokasi referensi dan menggunakan asumsi bahwa semua perbedaan fase berada dalam interval  $(-\pi, +\pi)$ . Namun, dalam *interferogram* yang sebenarnya, proses *phase unwrapping* lebih rumit karena perbedaan fase *unwrapped*, antara sampel *interferogram* yang berdekatan, terletak di luar interval  $(-\pi, +\pi)$ . Untuk mengubah nilai tersebut menjadi fase absolut dengan hubungan :

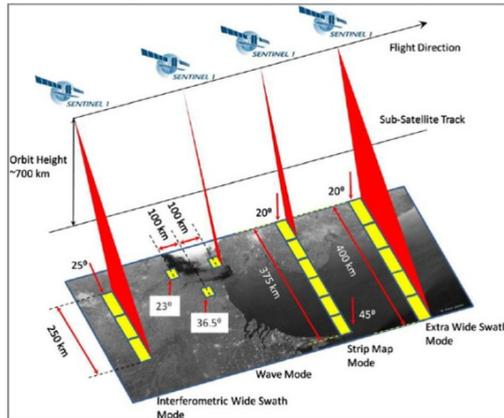
$$\phi_{\text{abs}} = \hat{\phi} + k \cdot 2\pi \quad (8)$$

dimana,  $\phi_{\text{abs}}$  = fase absolut,  $k$  = ambiguitas fase, dan  $\hat{\phi}$  = fase relatif.

## 2.7 Sentinel-1A

Sentinel-1A merupakan produk pertama dari ESA Sentinels. ESA mengembangkan Sentinel-1A *European Radar Observatory*, yang memiliki sistem orbit pada kutub untuk aplikasi SAR. Kumpulan dari dua satelit radar band-C akan menyediakan secara kontinyu citra pada siang atau malam hari untuk layanan pengguna, terutama yang

diidentifikasi dalam layanan GMES ESA pada proyek yang didanai oleh *European Union (EU) Framework Programmes*.

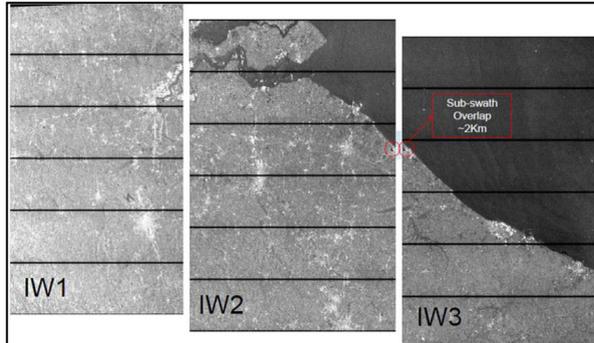


**Gambar 2. 5 Mode Akuisisi Sentinel-1A**  
(Sumber : ESA, 2016)

Satelit Sentinel-1A dibangun oleh *industrial consortium* yang diketuai oleh *Thales Alenia Space Italy* sebagai kontraktor utama, dengan *Astrium Germany* yang bertanggung jawab untuk *payload* band-C. Satelit didasarkan pada PRIMA (*Piattaforma Italiana Multi Applicativa*) dengan misi khusus modul *payload*. Sentinel-1A memiliki 4 mode standar operasional yang didesain untuk interoperabilitas dengan sistem lainnya :

- Mode *Strip Map*, swath 80 km dan resolusi spasial 5x5 m;
- *Interferometric Wide Swath Mode*, 250 km swath, 5 x 20 m *spatial resolution* dan sinkronisasi *interferometri*.
- Extra-wide Swath Mode, 400 km swath and 25 x 100 m *spatial resolution* (3-looks);
- *Wave Mode*, low data rate dan 5 x 20 m *spatial resolution*. Contoh gambar pada 20 x 20 km pada interval 100 km sepanjang orbit. Untuk *wave mode*, Sentinel-1A memiliki *single polarisation* (VV / HH) dan untuk mode lainnya memiliki *dual polarisation* (VV+VH atau HH+HV).

Sentinel-1A didesain untuk aplikasi pada resolusi medium pada mode utama : *wide swath* (250km) dan medium resolusi (5x20 m).



**Gambar 2. 6 Sub-swath Sentinel-1A**  
(Sumber : ESA, 2016)

## 2.8 Validasi Data

Validasi data merupakan tahap yang dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara nilai hasil penelitian utama dengan beberapa nilai dari data pembanding untuk menguji kebenarannya. Pada penelitian ini, validasi data dilakukan dengan cara uji korelasi. 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 :

$$R = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \quad (9)$$

Dimana

- R : Koefisien korelasi Pearson
- n : Jumlah titik sampel
- X : Nilai deformasi variabel 1

Y : Nilai deformasi variabel 2

Kekuatan korelasi yang dihasilkan dari perhitungan koefisien korelasi dapat dikelompokkan dengan acuan kategori sebagai berikut :

**Tabel 2. 1 Kategori Kekuatan Koefisien Korelasi (Sarwono, 2006)**

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

Korelasi merupakan teknik analisis yang termasuk dalam salah satu teknik pengukuran asosiasi / hubungan (*measures of association*) menggunakan jarak (*range*) 0 sampai 1. Korelasi mempunyai kemungkinan pengujian hipotesis dua arah (*two tailed*). Korelasi searah jika nilai koefisien korelasi diketemukan positif; dan tidak searah jika korelasi bernilai negatif. Jika koefisien korelasi diketemukan tidak sama dengan nol (0), maka terdapat hubungan antara dua variabel tersebut (Suwarno, 2013). Selain itu, hasil dari nilai titik sampel deformasi data utama dan pembanding akan dibandingkan dan dihitung RMSE nya dengan rumus :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (10)$$

Dimana

$A_t$  : Nilai deformasi data utama  
 $F_t$  : Nilai deformasi data pembanding  
 n : Jumlah titik sampel

*Root Mean Square Error (RMSE)* adalah metode pengukuran dengan mengukur perbedaan nilai dari prediksi (data pembanding) sebuah model sebagai estimasi atas nilai

yang diobservasi. *Root Mean Square Error* adalah hasil dari akar kuadrat *Mean Square Error*. Keakuratan metode estimasi kesalahan pengukuran ditandai dengan adanya nilai RMSE yang kecil. Metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih kecil dikatakan lebih akurat daripada metode estimasi yang mempunyai RMSE lebih besar.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian deformasi menggunakan metode DInSAR untuk studi kasus gunung berapi telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Kusman (2008) yang meneliti deformasi Gunung Batur, Apriliasa (2019) yang meneliti deformasi Gunung Bromo, serta Nurtyawan (2020) yang meneliti deformasi Gunung Merapi. Namun ketiga penelitian tersebut menggunakan pendekatan *Two-pass Interferometry* yang memanfaatkan data DEM SRTM untuk proses koreksi topografi, sehingga pada Tugas Akhir ini penelitian deformasi dilakukan menggunakan pendekatan yang lain, yaitu *Three-pass Interferometry*.

Penelitian yang dilaksanakan oleh Kusman (2008) mengambil studi kasus gunung Batur. Metode pengolahan yang dilakukan untuk mendapatkan deformasi yaitu dengan *differential intereferometry*, dengan metode *two-pass* yang menggunakan data eksternal DEM sebagai salah satu interferogramnya untuk penghapusan unsur topografi. Data yang digunakan dalam pengolahan ini adalah citra SAR *ERS-1* dan *ERS-2* sebanyak 15 data, dengan perekaman dari tahun 1996 sampai 2001. Hasilnya diperoleh model deformasi tahun 1996-2000 dari hasil pengolahan pasangan citra 19960423-19960424 dengan menginformasikan kenaikan (inflasi) muka gunung api sebesar 0,04-0,1 meter, juga diperoleh model deformasi tahun 1998-2000 dari hasil pengolahan pasangan citra 19980114-20000119 dengan menginformasikan penurunan (deflasi) muka gunung api sebesar 0,01-0,02 meter.

Selanjutnya, dalam penelitian oleh Apriliasa (2019) 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 deflasi 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 inflasi 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.

Sedangkan, pemantauan aktivitas deformasi Gunung Merapi oleh Nurtyawan (2020) dilakukan dengan metode deformasi menggunakan citra Sentinel-1A yang diolah dengan teknologi *Differential Interferometry SAR (DInSAR)*. Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan dengan teknologi *DInSAR* metode *two-pass* dari empat buah citra satelit sentinel-1A 10 Januari 2018, 27 Februari 2018, 10 Mei 2018 dan 22 Januari 2019 serta data *Digital Elevation Model (DEM)* SRTM dengan ketelitian 30 meter. Hasil dari penelitian ini yaitu peta deformasi pra 1 erupsi yang diolah dari pasangan citra 10 Januari 2018 dengan citra 27 Februari 2018 yang menghasilkan deflasi sebesar 0,12 meter, dan peta deformasi pra 2 erupsi yang diolah dari pasangan citra 27 Februari 2018 dan 10 Mei 2018 menghasilkan deflasi sebesar 0,27 meter serta peta pasca erupsi yang diolah dari pasangan

citra 10 Mei 2018 dan 22 Januari 2019 menghasilkan deflasi sebesar 0,194 meter.

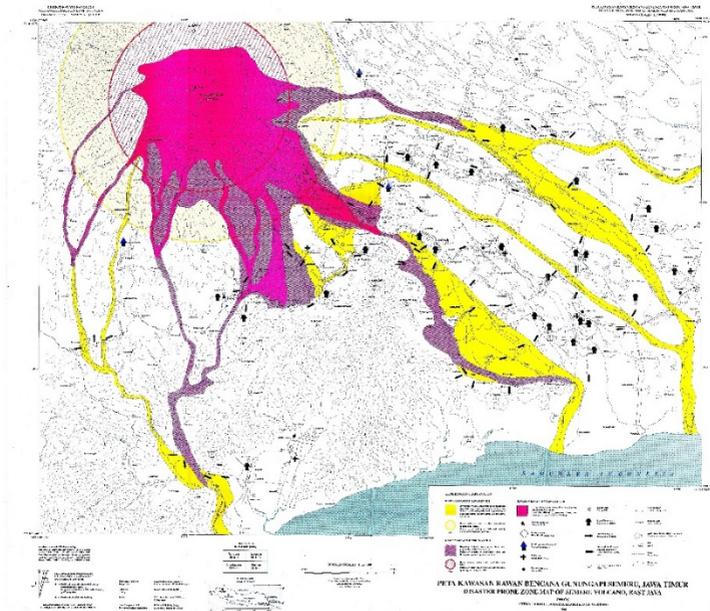
Sementara itu, untuk penelitian deformasi terdahulu yang telah dilakukan pada studi kasus Tugas Akhir, Gunung Semeru, dilaksanakan oleh Abidin (2003 dan 2005) menggunakan pengukuran survey terestris secara episodik dengan GPS.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus wilayah Gunung Semeru yang 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.



**Gambar 3. 1 Studi Lokasi Penelitian : Gunung Semeru  
(Sumber : Direktorat Vulkanologi, 1996)**

Secara lebih detail, penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dengan *Area Of Interest (AOI)* yang berada pada koordinat  $08^{\circ} 05' 32.1'' - 08^{\circ} 08' 47.4''$  LS dan  $112^{\circ} 53' 44.2'' - 112^{\circ} 57' 27.7''$  BT dengan luas  $41,8 \text{ km}^2$  seperti yang tertampal pada gambar berikut :



**Gambar 3. 2** AOI Penelitian Deformasi Gunung Semeru  
(Sumber : Penulis)

### **3.2** Data Penelitian

Adapun data penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini dibedakan menjadi dua, yaitu data utama dan data pembandingan :

#### **3.2.1** **Data Utama**

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah 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 vulkanik 17 April 2020 dengan rincian yang tertampil pada tabel 3.1 sebagai berikut :

**Tabel 3. 1 Data Penelitian**

No	ID Scene	Tanggal	Level	Arah
1	S1A_IW_SLC__1S DV_20200307T220 924_20200307T220 951_031575_03A34 F_EAE1	07 Maret 2020 (Sebelum aktivitas vulkanik)	1.0 ( <i>Single Look Complex</i> )	<i>Descending</i>
2	S1A_IW_SLC__1S DV_20200319T220 924_20200319T220 951_031750_03A97 0_16D3	19 Maret 2020 (Sebelum aktivitas vulkanik)	1.0 ( <i>Single Look Complex</i> )	<i>Descending</i>
3	S1A_IW_SLC__1S DV_20200424T220 925_20200424T220 952_032275_03BB E9_DE80	24 April 2020 (Setelah aktivitas vulkanik)	1.0 ( <i>Single Look Complex</i> )	<i>Descending</i>

Ketiga data citra satelit Sentinel-1A diatas memiliki resolusi horizontal 5 m x 20 m dengan arah terbang *descending*. Pemilihan arah terbang data citra didasarkan pada orientasi studi lokasi yang berada di Provinsi Jawa Timur agar didapatkan cakupan wilayah yang sesuai, yaitu pada *path 3 frame 617*.

**Gambar 3. 3 Product Preview Data Sentinel-1A**

Selain data citra, dibutuhkan juga data *Precise Orbit Ephemerides* [AUX\_PEORB] 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/](https://qc.sentinel1.eo.esa.int/aux_poeorb/) dengan rincian yang tertampil pada tabel 3.2 sebagai berikut :

**Tabel 3. 2 Data *Precise orbit Ephemerides***

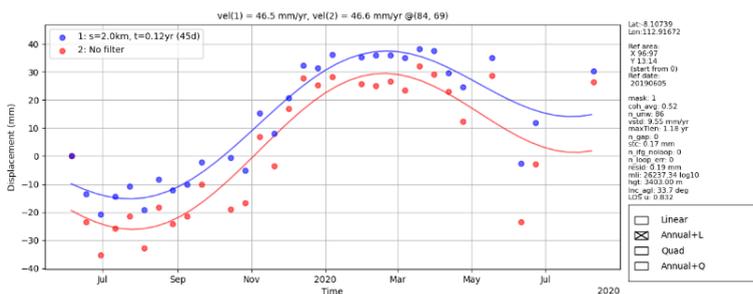
No	Id File	Tanggal
1	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20200328T120846_V20200307T225942_20200309T005942	07 Maret 2020
2	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20200409T120847_V20200319T225942_20200321T005942	19 Maret 2020
3	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20200515T120802_V20200424T225942_20200426T005942	24 April 2020

### 3.2.2 Data Pembanding

Sebagai data pembanding, penulis menggunakan hasil studi deformasi yang dilakukan dengan metode *DInSAR Two-pass Interferometry* dan SBAS pada periode 07 Maret – 24 April 2020. Penggunaan metode *two-pass* cocok untuk pengamatan yang berfokus pada satu periode tertentu akibat adanya fenomena yang memicu terjadinya deformasi, sedangkan metode SBAS cocok digunakan untuk mengetahui deformasi secara *time-series* sehingga dihasilkan model dan kecepatan deformasi per tahun. Data pembanding *two-pass* diolah menggunakan perangkat lunak GMTSAR dan memanfaatkan data Sentinel-1A serta DEM SRTM 1 untuk mendapatkan nilai deformasi menggunakan prosedur pengolahan yang mirip dengan penelitian utama *DInSAR Three-pass Interferometry*. Sedangkan, data pembanding SBAS diolah menggunakan LicSBAS, paket *open-source python* yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi *time-series* InSAR menggunakan produk LiCSAR yang tersedia secara gratis di portal web COMET-LiCS.

Secara lebih detail, data pembanding SBAS (*Small Baseline Subset*) didapatkan dari pengolahan data fase *unwrapping* dan koherensi COMET-LiCS yang kemudian diproses pada tahap *quality check* dan *loop closure* untuk menyeleksi dan mendapatkan data yang bagus. Kemudian dilanjutkan dengan tahap *small baseline inversion* yang digunakan untuk mendapatkan deformasi secara *time-series* serta kecepatan deformasi per tahun. Setelah itu, dilakukan perhitungan standard deviasi kecepatan deformasi menggunakan metode *bootstrap*.

Selanjutnya, dilakukan tahap pembuatan *mask* berdasarkan beberapa *noise index*, yaitu : koherensi rata-rata, jumlah data *unwrapping* yang digunakan, standard deviasi kecepatan deformasi (mm / tahun), Panjang waktu maksimum jaringan yang terhubung (tahun), jumlah celah dalam jaringan, konsistensi *spatio-temporal* (mm), jumlah *interferogram* tanpa *loops*, jumlah loop yang tidak tertutup, dan residual RMS (*Root Mean Square*) pada *small baseline inversion* (mm). Setelah dilakukan *masking* terhadap *noise index*, dilanjutkan dengan tahap terakhir yaitu *spatio-temporal filtering* dan perataan deformasi linear terhadap hasil nilai perpindahan (deformasi) yang disajikan dalam *time-series*. Untuk semua tahapan SBAS tersebut, otomatisasi *processing* dilakukan oleh Lab Geospasial - Teknik Geomatika, ITS.



**Gambar 3. 4 Grafik Deformasi *Time-series* Data Pembanding SBAS**

Pada penelitian ini, data pembanding SBAS diambil dari 30 buah citra yang diakuisisi dari tanggal 05 Juni 2019 sampai 10 Agustus 2020 sehingga didapatkan nilai deformasi *time-series* selama 432 hari dan kecepatan deformasi per tahun seperti yang ditampilkan pada gambar 3.4. Namun untuk keperluan perhitungan statistik perbandingan nilai deformasi pada tahap validasi, nilai deformasi SBAS yang digunakan hanya pada deformasi akibat aktivitas vulkanik Gunung Semeru periode 07 Maret sampai 24 April 2020.

### 3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu perangkat keras dan lunak sebagai berikut :

#### 3.3.1 Perangkat Keras

Laptop yang digunakan untuk proses pengolahan data dengan spesifikasi yang tertampil pada tabel 3.3:

**Tabel 3. 3 Spesifikasi Laptop ACER Swift SF314-56G**

<b>Device Specifications</b>	
<i>Processor</i>	Intel® Core™ i5-8265U
<i>CPU</i>	@ 1.60GHz 1.80 GHz
<i>Installed RAM</i>	8.00 GB (7,85 GB usable)
<i>Device ID</i>	D9B5EE04-712C-4CD4-9A53-61A8274365F9
<i>Product ID</i>	00327-35122-71050-AAOEM
<i>System Type</i>	64-bit operating system, x-64 based processor
<i>Pen and Touch</i>	No pen or touch input is available for this display
<b>Windows Specifications</b>	
<i>Edition</i>	Windows 10 Home Single Language
<i>Version</i>	1909
<i>Installed on</i>	08/07/2020
<i>OS Build</i>	18363.959

#### 3.3.2 Perangkat Lunak

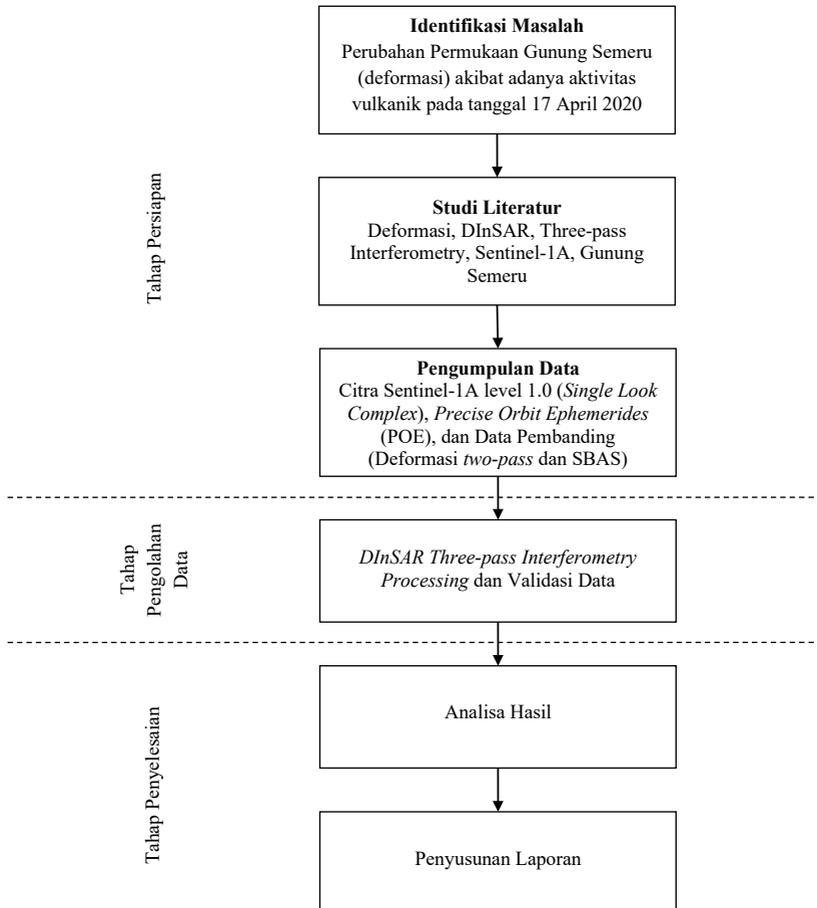
Terdapat beberapa perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan dan visualisasi data, yaitu :

- ENVI SARscape 5.2
- Global Mapper 21.0

➤ ArcGIS 10.3

### 3.4 Metodologi Penelitian

#### 3.4.1 Tahapan Penelitian



**Gambar 3. 5 Diagram Alir Tahap Penelitian**

Secara umum, metodologi penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir gambar 3.5 yang dijelaskan sebagai berikut :

a. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap paling awal dalam pelaksanaan Tugas Akhir, yang terdiri dari tahap-tahap berikut :

- Identifikasi Masalah : merupakan tahap perumusan masalah yang diangkat dalam penelitian Tugas Akhir, yaitu pengamatan deformasi Gunung Semeru akibat adanya 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 menggunakan data citra Sentinel-1A dan metode *DInSAR Three-pass Interferometry*.
- Studi Literatur : merupakan tahap pemahaman konsep dan materi yang berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir, yaitu pembahasan tentang deformasi, *DInSAR*, *Three-pass Interferometry*, Sentinel-1A, dan Gunung Semeru.
- Pengumpulan Data : merupakan tahap pengunduhan data citra satelit Sentinel-1A dan *Precise Orbit Ephemerides (POE)* yang diakuisisi pada tiga tanggal berbeda (07 Maret 2020, 19 Maret 2020, dan 24 April 2020) serta data pembandingan yang akan digunakan pada tahap validasi (Deformasi *two-pass* dan SBAS).

b. Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data merupakan tahap dimana data yang sebelumnya telah dikumpulkan, diolah sesuai dengan maksud dan tujuan Tugas Akhir.

- Pengolahan data citra Sentinel-1A dan data orbit POE sesuai dengan prosedur *DInSAR Three-pass Interferometry* yang terdiri dari :

1. *Import Data*
2. *Interferogram Generation*
3. *Adaptive Filter and Coherence*
4. *Phase unwrapping*
5. *Refinement and Re-flattening*
6. *Phase to Displacement Conversion*

- Validasi data hasil pengolahan deformasi metode *DInSAR Three-pass Interferometry* yang dilakukan dengan cara membandingkan 92 titik sampel pada data data penelitian utama (*three-pass*) dengan data pembanding (*two-pass* dan SBAS).

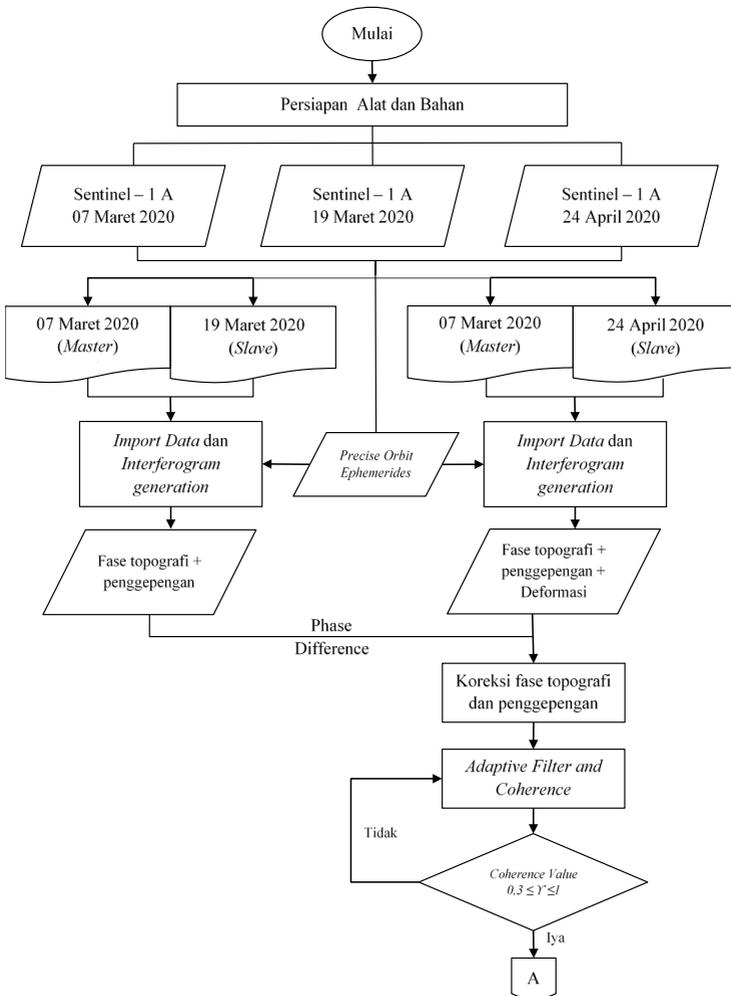
c. Tahap Penyelesaian

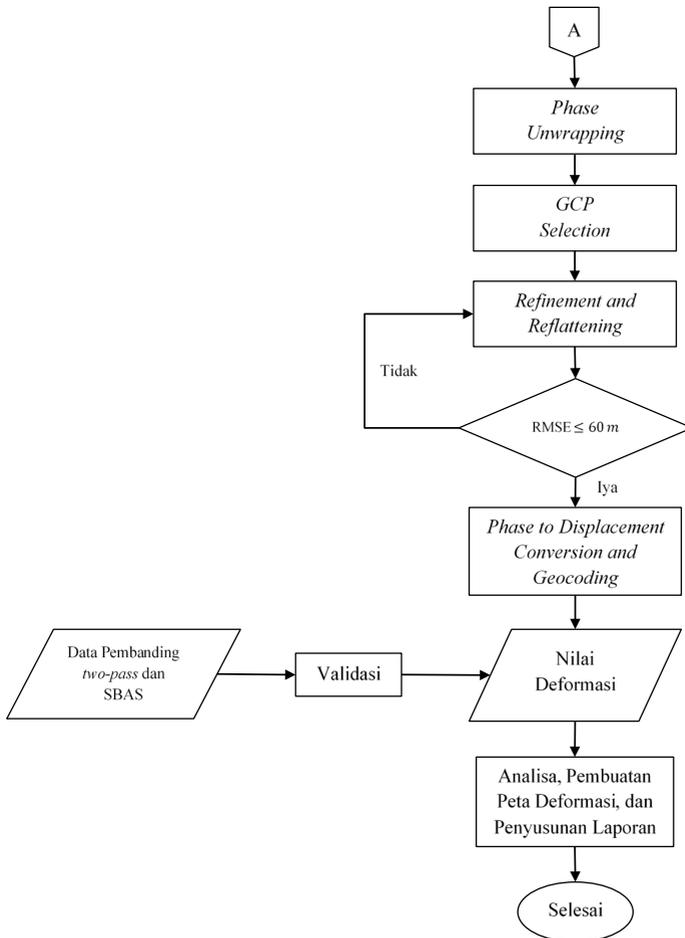
Tahap penyelesaian merupakan tahap terakhir dalam penelitian Tugas Akhir yang meliputi :

- Analisa Hasil : merupakan tahap analisa hasil nilai deformasi penelitian utama (*three-pass*) yang telah divalidasi dengan data pembanding (deformasi *two-pass* dan SBAS). Tahap ini berisi pembahasan tentang perbandingan nilai deformasi, perbandingan data DEM koreksi topografi, serta analisa deformasi terhadap geologi dan morfologi Gunung Semeru.
- Penyusunan Laporan : merupakan tahap penyusunan laporan Tugas Akhir sesuai dengan format susunan laporan yang telah ditentukan oleh Departemen Teknik Geomatika ITS. Selain itu dilakukan juga *layouting* peta deformasi Gunung Semeru sebagai lampiran penelitian Tugas Akhir.

### 3.4.2 Tahapan Pengolahan Data SAR

Adapun tahap pengolahan Data SAR menggunakan metode *DInSAR Three-pass Interferometry* ditunjukkan pada diagram alir gambar 3.6 sebagai berikut :





**Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengolahan Data**

Secara lebih detail, tahap pengolahan data citra Sentinel-1A metode *DInSAR Three-pass Interferometry* dapat dijelaskan berdasarkan diagram alir pada gambar 3.6 dengan keterangan sebagai berikut :

a. Persiapan Alat dan Bahan

Terdapat beberapa alat dan bahan yang perlu disiapkan pada Tugas Akhir ini, diantaranya adalah laptop, instalasi perangkat lunak, dan pengumpulan data. Perangkat lunak yang digunakan untuk menunjang proses pengolahan data adalah ENVI SARscape 5.2, Global Mapper 21.0, dan ArcGIS 10.3. Sedangkan data yang perlu disiapkan adalah 3 data citra satelit Sentinel-1A tanggal 07 Maret 2020, 19 Maret 2020, dan 24 April 2020 (*Link* : [search.asf.alaska.edu/#/](http://search.asf.alaska.edu/#/)), data *precise orbit Ephemerides* [AUX\_PEORB] tanggal 07 Maret 2020, 19 Maret 2020, dan 24 April 2020 (*Link* : [https://qc.sentinel1.eo.esa.int/aux\\_poeorb/](https://qc.sentinel1.eo.esa.int/aux_poeorb/)).

b. *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 Ephemerides (POE)*. Data tambahan orbit berisi informasi tentang posisi satelit selama perolehan data SAR. File POE mencakup informasi selama 28 jam dan berisi vektor keadaan orbit dengan interval 10 detik yang akan meningkatkan akurasi pengolahan data. 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 :

$$Phase = \text{ATAN}[\text{Imag}(I)/\text{Real}(I)] \quad (11)$$

$\text{Imag}(I)$  dan  $\text{Real}(I)$  secara berturut-turut adalah bagian imajiner dan bagian nyata dari *interferogram*.

c. *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. Nilai koherensi digunakan untuk mengatur ukuran jendela filter yang akan diterapkan. Perbedaan intensitas rata-rata antara piksel yang berdekatan digunakan untuk mengidentifikasi area stasioner, yang mendefinisikan dimensi maksimum dan bentuk jendela filter. Pemilihan piksel untuk disertakan dalam setiap "area stasioner", didasarkan pada nilai perbedaan antara rata-rata piksel di area itu ( $M_{all}$ ) dan nilai piksel baru ( $M_{new}$ ). Rumus Faktor rata-rata kemiripan dapat diwakili oleh angka digital dalam skala linier sebagai berikut :

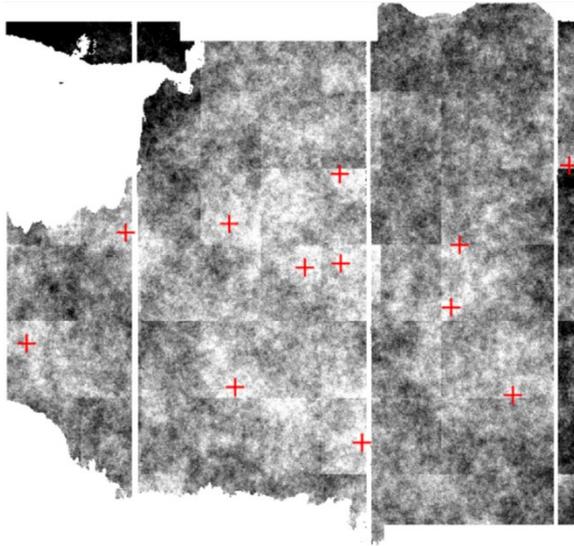
$$(M_{all} - M_{new})/M_{all} \quad (12)$$

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  $0,3 \leq Y \leq 1$ . Angka tersebut dipilih karena kualitas dan keandalan hasil *phase unwrapping* sangat bergantung pada nilai koherensi. Hasil yang dapat diandalkan hanya dapat diharapkan di area dengan koherensi tinggi. Meskipun tidak ada ambang batas yang pasti, koherensi minimum 0,3 disarankan (Braun dkk, 2020).

d. *Phase unwrapping*

Citra yang dihasilkan dari *DInSAR processing* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dengan modulo  $2\pi$  dan akan mengulang nilai fase yang sama apabila terdapat nilai piksel lebih dari  $2\pi$ , hal tersebut dapat menimbulkan masalah ambiguitas. 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).

e. *GCP Selection*



Gambar 3. 7 Persebaran GCP

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 kontrol 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.

f. *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. Menurut draft ASPRS (2014), nilai maksimal RMSE untuk pengolahan data SAR adalah tiga kali resolusi spasial, yaitu  $3 \times 20 \text{ m}$  (Sentinel-1A) = 60 m.



**Gambar 3. 8 Refinement Result**

g. *Phase to Displacement and Geocoding*

Langkah ini bertujuan untuk mengkombinasikan ulang kalibrasi absolut dan *unwrapped phase* dengan *synthetic phase* yang selanjutnya dikonversi ke nilai ketinggian (deformasi) 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. Persamaan *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. Perhitungan konversi nilai fase (radian) yang diubah menjadi satuan metrik (meter) dapat dilakukan kalkulasi dari rumus *displacement of the earth's surface* sepanjang sensor *Line Of Sight (LOS)* (Ng dkk, 2008), yaitu :

$$\Delta\phi_{defo} = \frac{4\pi\Delta R}{\lambda} \quad (13)$$

Nilai  $\lambda$  merupakan panjang gelombang citra Sentinel-1A,  $\Delta\phi_{defo}$  adalah nilai deformasi, dan R merupakan jarak panjang gelombang.

i. Validasi

Proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil nilai deformasi penelitian *DInSAR Three-pass Interferometry* dengan data pembanding *two-pass* dan SBAS. Perbandingan tersebut diwakili oleh 92 titik sampel yang tersebar pada garis *Line Of Sight (LOS)* arah utara, selatan, timur, barat, timur laut, barat daya, barat laut, dan tenggara. Dari nilai tersebut, dilakukan uji korelasi dan perhitungan RMSE antara data penelitian utama dengan data pembanding serta data DEM citra pendek ( SAR 1 – 2) untuk koreksi topografi *three-pass* dengan data DEM SRTM untuk koreksi topografi *two-pass*.

- j. **Analisa dan Pembuatan Peta Deformasi**  
Langkah 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 membuat peta deformasi Gunung Semeru dan penyusunan laporan Tugas Akhir.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Hasil Pengolahan *DInSAR Three-pass Interferometry*

#### 4.1.1 Panjang *Baseline* dan Interval Waktu

Dalam pengolahan data SAR untuk pengamatan deformasi, diperlukan pemilihan data dengan nilai *baseline perpendicular* pendek ( $< 150$  meter) agar didapatkan hasil yang baik (Ferreti dkk, 2017). Hal tersebut penting untuk mendapatkan nilai koherensi tinggi agar pada tahap *interferogram generation* dihasilkan fase dengan pola *fringes* yang baik. Selanjutnya dilakukan estimasi *baseline* pada masing-masing pasangan citra 1-2 dan 1-3 untuk mengetahui kualitas pasangan citra. Dari perhitungan tersebut, didapatkan nilai *baseline* -4,985 m dan 12,327 m yang mengindikasikan bahwa pasangan citra sesuai untuk pengolahan interferometri. Pada penelitian ini, nilai *perpendicular baseline* ditunjukkan dengan istilah *normal baseline* yang artinya jarak tegak lurus antara *master* dan *slave*.



(a)



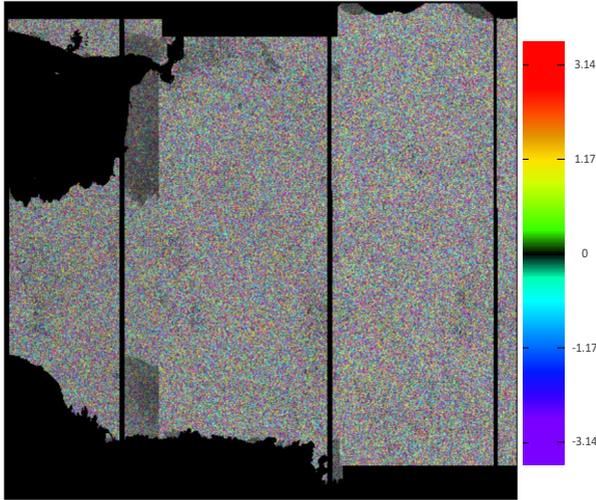
(b)

**Gambar 4.1** *Baseline Estimation* Pasangan Citra 1-2 (a) dan Pasangan Citra 1-3 (b)

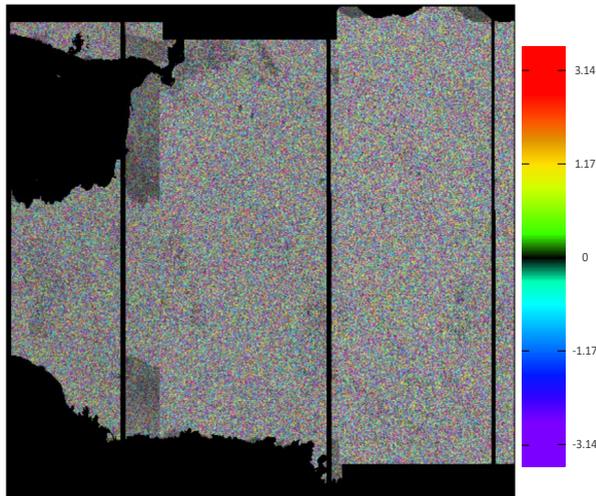
Sementara itu, dari *baseline estimation* yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dapat diketahui bahwa beda waktu pengamatan (*temporal baseline*) antara citra 1-2 dan 1-3 secara berturut-turut adalah 12 hari dan 48 hari.

#### 4.1.2 Fase *Interferogram*

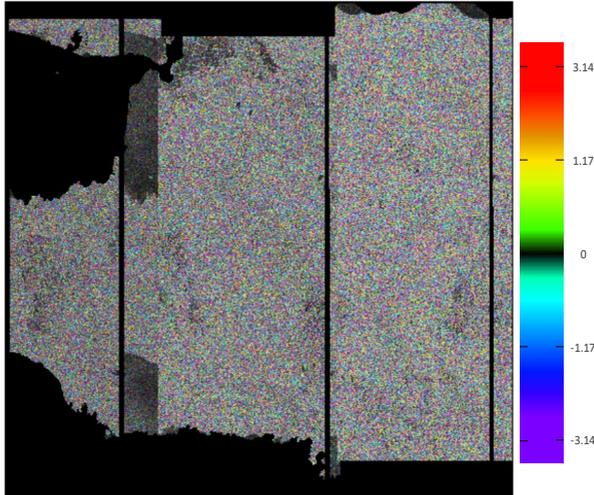
Tahap *interferogram generation* dilakukan untuk untuk menghitung beda fase dari dua data SAR menggunakan metode *three pass interferometry*, dimana hasil *interferogram* dari pasangan citra 1 dan 2 (gambar 4.2) digunakan untuk koreksi fase topografi dan penggepengan pada pasangan citra 1 dan 3 (gambar 4.3) sehingga menghasilkan fase deformasi (gambar 4.4). Keuntungan metode *Three-pass Interferometry* adalah semua struktur data disimpan dalam geometri data SAR sedangkan metode DEM (*two-pass* dan PS-InSAR) dapat menghasilkan kesalahan dengan misregistration antara data SAR dan kartografi DEM. Selain itu sifat topografi daerah pegunungan yang dinamis dan ketersediaan data DEM yang kurang *up to date* dapat menghasilkan fase yang kurang relevan.



**Gambar 4. 2 Interferogram Pasangan Citra 1-2 (Fase Topografi dan Penggepengan)**



**Gambar 4. 3 Interferogram Pasangan Citra 1-3 (Fase Topografi, Penggepengan, dan Deformasi)**

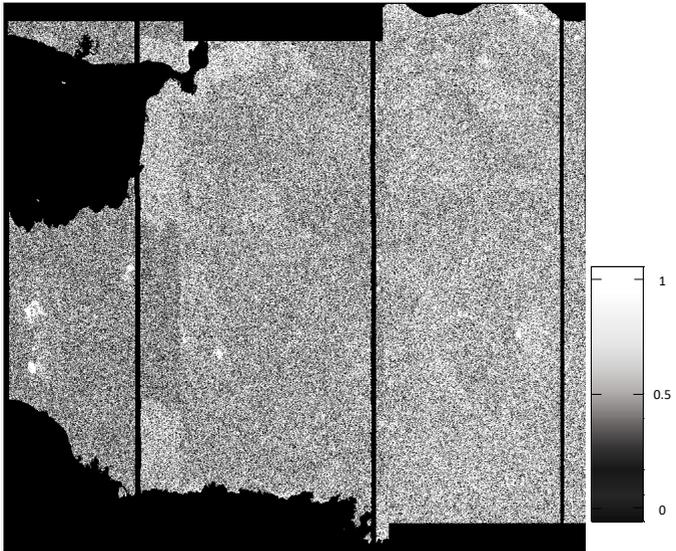


Gambar 4. 4 *Interferogram* Akhir (Fase Deformasi)

#### 4.1.3 Koherensi Citra SAR

Koherensi pada setiap data *interferogram* memiliki nilai yang berbeda, hal ini sangat bergantung pada pergerakan yang terjadi pada objek dalam citra serta besaran *baseline* antar citra *master* dan *slave*. Koherensi merupakan nilai yang digunakan untuk mengestimasi *phase noise* dari citra *interferogram*. Pada penelitian ini, koherensi citra ditunjukkan pada gambar 4.5. Tingkat koherensi pada citra *interferogram* memiliki kisaran nilai antara 0-1. Dimana jika 1 merupakan tingkat koherensi yang paling tinggi sehingga pasangan citra benar-benar identik.

Legenda nilai koherensi yang ditampilkan pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa *interferogram* akhir (fase deformasi) pasangan citra memiliki nilai koherensi yang bervariasi dan telah memenuhi batas koherensi pengolahan tahap selanjutnya, yaitu  $0,3 \leq Y \leq 1$ . Tingginya nilai koherensi yang didapat, sebanding dengan nilai *perpendicular baseline* yang rendah dan jarak waktu akuisisi yang cukup berdekatan.

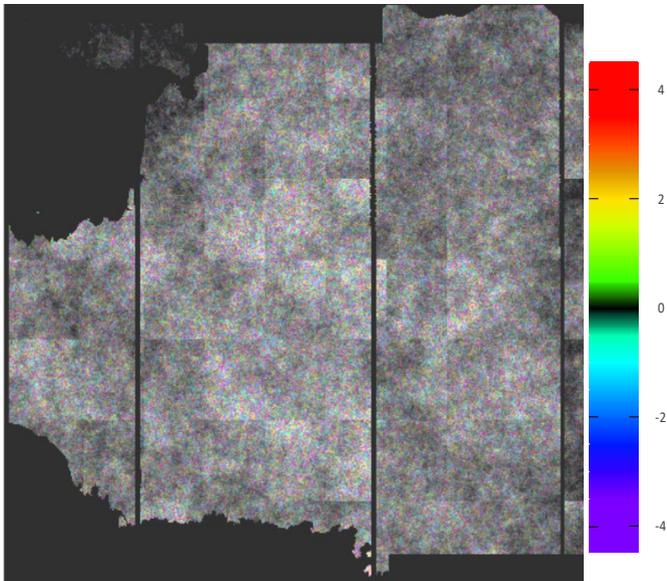


**Gambar 4.5 Nilai Koherensi Data Pasangan Citra**

Dapat dilihat pada gambar 4.5, area dengan koherensi tinggi ditampilkan dengan warna yang lebih terang sedangkan area dengan koherensi rendah ditampilkan dengan warna yang lebih gelap (hitam). Adanya area berkoherensi rendah disebabkan oleh pantulan sinyal satelit yang merekam laut atau *water bodies* yang bergerak terus menerus secara konstan.

#### **4.1.4 *Unwrapping Phase***

Hasil dari tahap *unwrapping phase* adalah fase absolut dari nilai perpindahan atau deformasi yang terjadi pada area studi kasus. Citra yang sudah di *unwrap* dapat dilihat pada gambar 4.6. Nilai *unwrapping phase* ditampilkan dalam satuan fase ( $\pi$  rad), sehingga perlu diubah ke satuan metrik pada tahap *phase to displacement and geocoding* untuk keperluan analisis lebih lanjut.

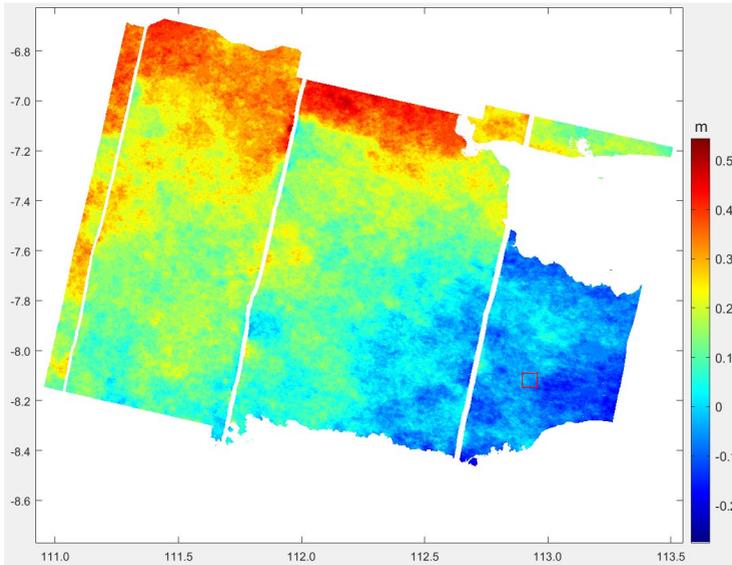


Gambar 4. 6 *Phase unwrapping* Data Pasangan Citra

#### 4.1.5 Deformasi Gunung Semeru

Nilai deformasi *Line Of Sight (LOS)* didapatkan dari kombinasi ulang kalibrasi absolut dan *unwrapped phase* dengan *synthetic phase* yang kemudian dikonversi menjadi satuan metrik (meter) dan di *geocoding* ke proyeksi peta seperti yang tertampil pada gambar 4.7.

Dapat dilihat pada gambar 4.7 nilai deformasi LOS masih ditampilkan pada seluruh wilayah cakupan citra SAR. Hal ini terjadi karena sistem pengolahan perangkat lunak ENVI SARscape otomatis melakukan *multilook* dan *mozaik* pada seluruh IW citra di tahap *import data* sehingga pemrosesan *DINSAR* harus dilakukan secara menyeluruh. Pemotongan citra sesuai dengan batas *Area Of Interest (AOI)* yang berada pada IW 1 dapat dilakukan setelah seluruh pemrosesan *DInSAR Three-pass Interferometry* telah selesai.

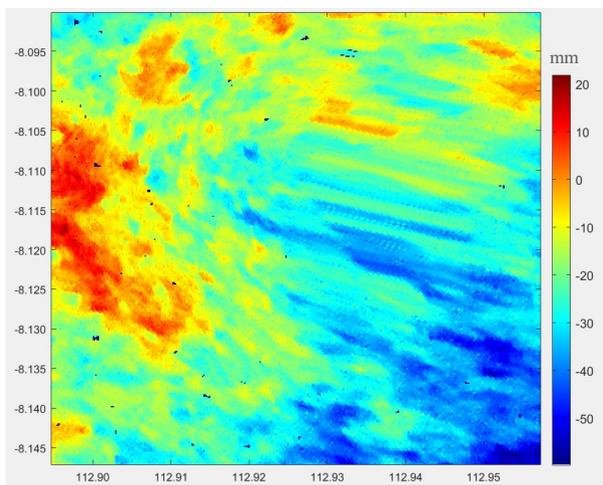


**Gambar 4. 7 Hasil Deformasi *DInSAR Three-pass Interferometry***

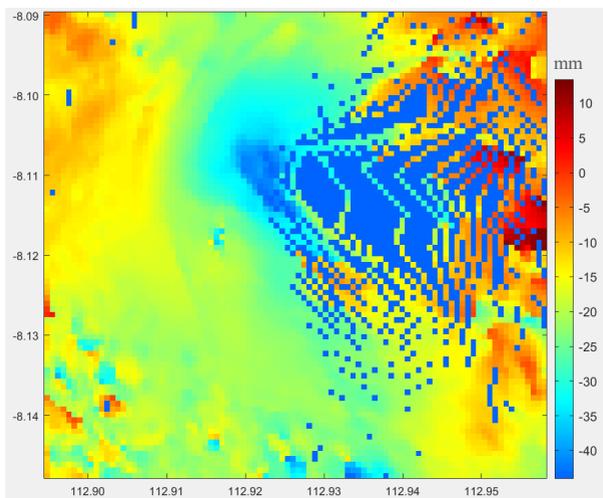
## **4.2 Analisa Hasil Pengolahan *DInSAR Three-pass Interferometry***

### **4.2.1 Perbandingan Nilai Deformasi**

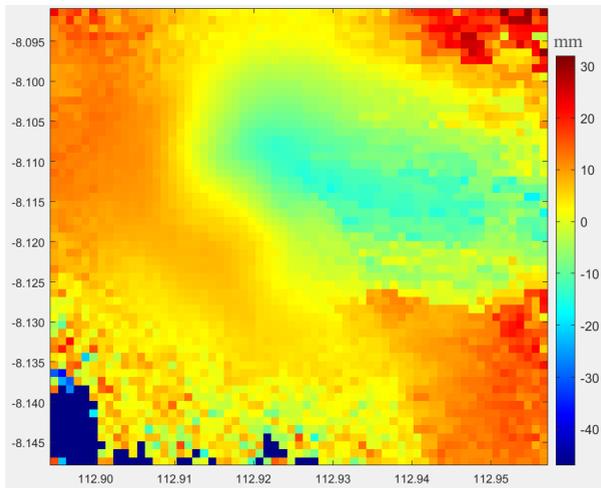
Pengolahan deformasi LOS yang telah dihasilkan dipotong sesuai dengan AOI studi kasus penelitian (Gunung Semeru) yang berada pada IW 1 dan dikonversi ke satuan milimeter. Sebagai proses validasi, nilai deformasi yang dihasilkan dari penelitian utama (*DInSAR Three-pass Interferometry*) dibandingkan dengan data pembanding (*DInSAR two-pass interferometry* dan SBAS) seperti yang tertampil pada gambar 4.8 sampai 4.10. Seluruh nilai deformasi LOS dihitung dari periode 07 Maret sampai 24 April 2020 dimana terjadi aktivitas vulkanik pada 17 Maret 2020.



**Gambar 4. 8** Deformasi Gunung Semeru (*DInSAR Three-Pass*)

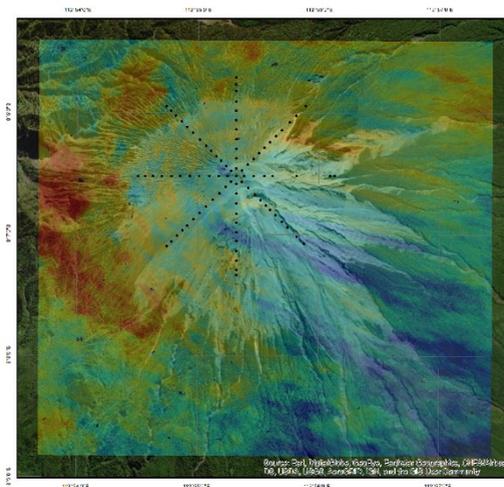


**Gambar 4. 9** Deformasi Gunung Semeru (*DInSAR Two-pass*)

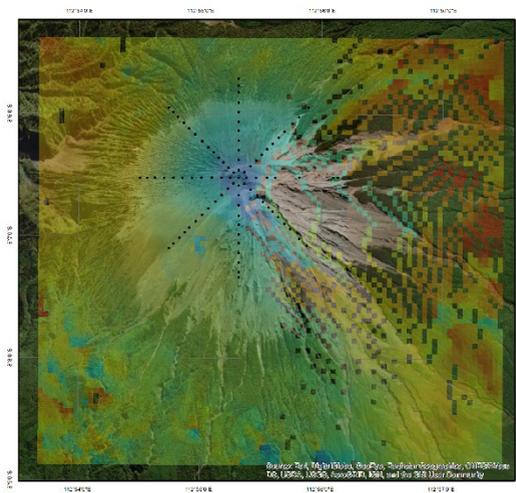


**Gambar 4. 10 Deformasi Gunung Semeru (SBAS)**

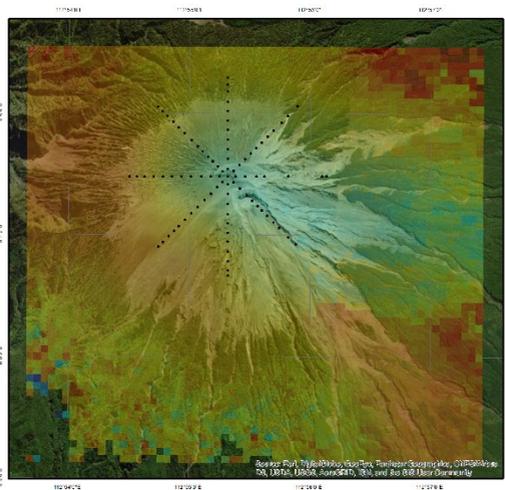
Validasi dilakukan menggunakan 92 titik sampel yang tersebar di delapan arah mata angin (memutar 360 derajat) sekitar kawah Gunung Semeru. Persebaran titik sampel dapat dilihat pada gambar 4.11 sampai 4.13.



**Gambar 4. 11 Titik Sampel pada Hasil Deformasi (*DInSAR Three-pass*)**



**Gambar 4. 12** Titik Sampel pada Hasil Deformasi (*DInSAR Two-pass*)



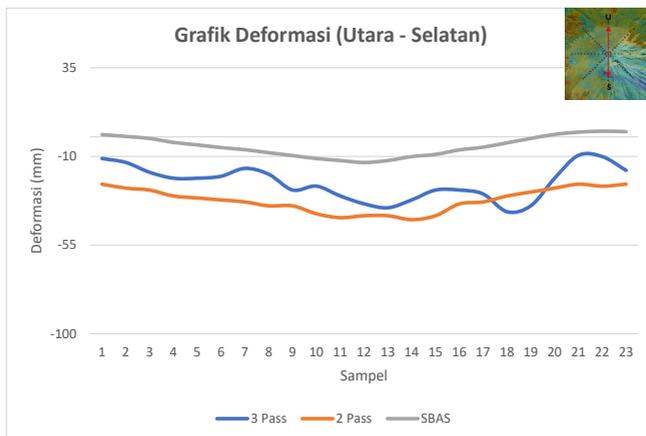
**Gambar 4. 13** Titik Sampel pada Hasil Deformasi (SBAS)

Dari hasil perbandingan nilai deformasi di 92 titik sampel yang ditunjukkan pada tabel lampiran 1 dapat diketahui bahwa aktivitas Gunung Semeru pada 17 April 2020

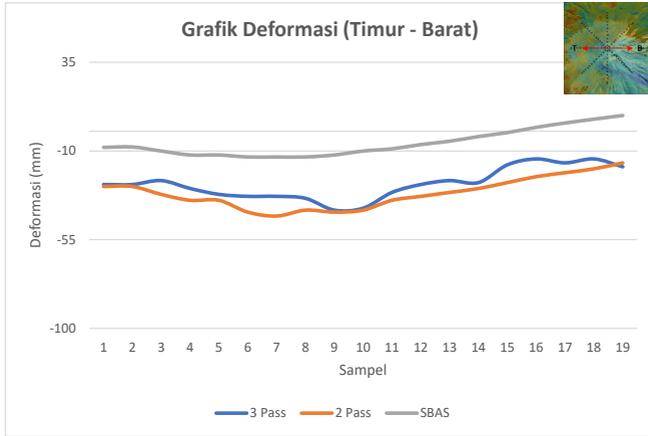
mengakibatkan deformasi sepanjang *Line Of Sight (LOS)* berupa deflasi atau penurunan permukaan gunung api. Besarnya nilai deformasi LOS pada data penelitian utama dan pembandingan memiliki selisih beberapa milimeter yang diakibatkan oleh perbedaan metode pengolahan data, terutama pada proses koreksi topografi.

Pada metode *Three-pass Interferometry* koreksi topografi dilakukan dengan fase topografi dan penggepengan dari pasangan citra periode pendek (07 – 19 Maret 2020) sebelum terjadinya aktivitas vulkanik, sedangkan pada data pembandingan *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 LicSBAS.

Gambar 4.14 dan 4.15 merupakan profil deformasi LOS yang diambil dari titik sampel arah utara - selatan dan timur - barat untuk memvisualisasikan selisih nilai deformasi antara data penelitian utama dan data pembandingan.

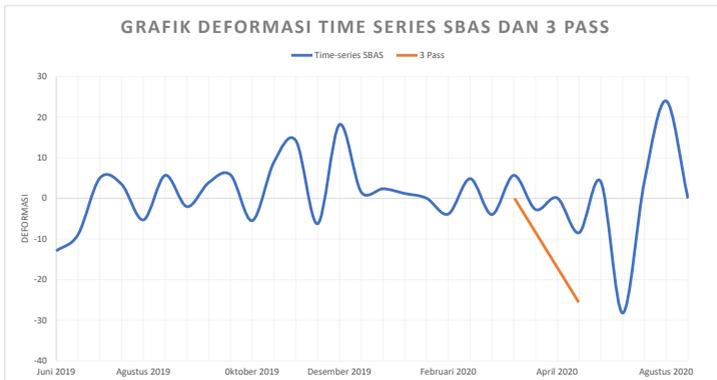


**Gambar 4. 14 Grafik Deformasi (Utara - Selatan)**



**Gambar 4. 15 Grafik Deformasi (Timur - Barat)**

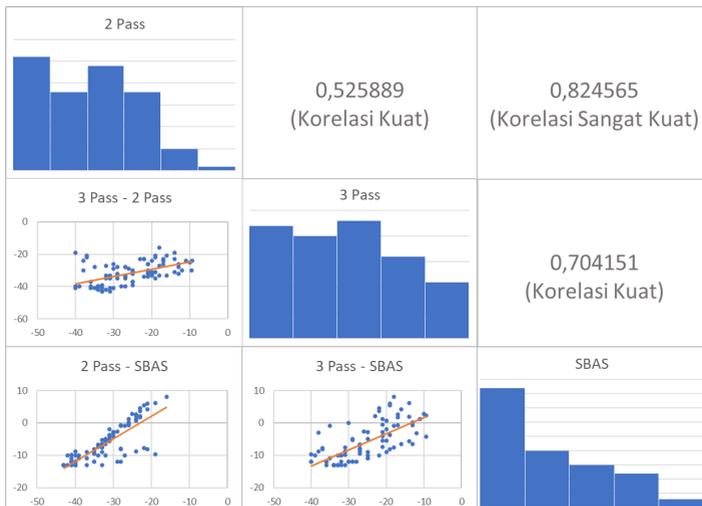
Berdasarkan grafik yang ditunjukkan gambar 4.14 dan 4.15, dapat dilihat bahwa nilai deformasi data penelitian utama (*three-pass*) berada diantara dua data perbandingan, dimana data *two-pass* memiliki nilai deflasi lebih besar dari pada data SBAS. Fenomena penurunan permukaan Gunung Semeru ini juga dapat dilihat dari grafik deformasi *three-pass* yang di *overlay* dengan deformasi SBAS secara *time-series* dari bulan Juni 2019 sampai Juni 2020.



**Gambar 4. 16 Grafik Rata-rata Deformasi 92 Titik Sampel Time Series SBAS dan DInSAR Three-pass**

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.16 memperlihatkan baik data *three-pass* maupun SBAS mengalami deflasi pada periode awal bulan Maret sampai akhir bulan Agustus 2020. Lalu apabila diperhatikan lebih detail, dapat diketahui bahwa data SBAS untuk periode 07 – 19 Maret 2020 yang bertampalan dengan data penelitian pasangan periode pendek *three-pass interferometry* mengalami penurunan dengan rata-rata 0,2 mm. Kondisi pergerakan yang tidak statis pasangan periode pendek dapat menyebabkan perbedaan nilai elevasi pada tahap koreksi topografi *three-pass* sehingga menghasilkan selisih hasil deformasi antara data penelitian utama dan pembandingan.

Selanjutnya, dilakukan penyusunan matriks *scatter* korelasi untuk mengukur kekuatan hubungan antara data penelitian utama dan pembandingan pada gambar 4.17. Korelasi merupakan teknik analisis yang termasuk dalam salah satu teknik pengukuran asosiasi / hubungan (*measures of association*) menggunakan jarak (*range*) 0 sampai 1.



**Gambar 4. 17 Matriks Scatter Korelasi Data Penelitian Utama dan Pembandingan**

Korelasi mempunyai kemungkinan pengujian hipotesis dua arah (*two tailed*). Korelasi searah jika nilai koefisien korelasi diketemukan positif; dan tidak searah jika korelasi bernilai negatif. Jika koefisien korelasi diketemukan tidak sama dengan nol (0), maka terdapat hubungan antara dua variabel tersebut (Sarwono, 2013).

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 4.17 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 4.17 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 2.1, dapat diketahui bahwa pasangan 3 *Pass* – 2 *Pass* dan 3 *Pass* – SBAS memiliki korelasi yang kuat, sedangkan pasangan 2 *Pass* dan SBAS memiliki korelasi sangat kuat dikarenakan kedua penelitian menggunakan data DEM SRTM sebagai *default* koreksi topografi. Besaran koefisien korelasi yang cukup tinggi dan signifikan dapat menjadi indikasi bahwa penelitian deformasi yang dilakukan menghasilkan nilai yang valid.

Selain uji korelasi, dilakukan perhitungan besarnya RMSE (*Root Mean Square Error*) antara data penelitian utama dan pembanding 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.

Tabel 4. 1 Perhitungan RMSE Sampel Deformasi

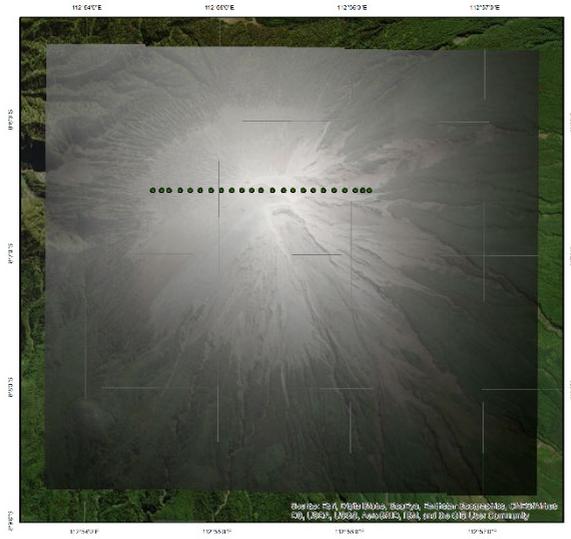
Arah	RMSE (milimeter)		
	3 Pass - 2 Pass	3 Pass - SBAS	2 Pass - SBAS
Utara	11	15	26
Selatan	9	23	27
Timur	4	15	19
Barat	5	22	26
Timur Laut	14	12	26
Barat Daya	4	24	27
Barat Laut	8	19	27
Tenggara	10	23	20

Hasil perhitungan nilai RMSE ditunjukkan pada tabel 4.1 dimana diperoleh nilai RMSE yang bervariasi antara 4 sampai 27 milimeter. Besar deformasi pada data penelitian *three-pass* memiliki nilai yang lebih dekat kepada deformasi data pembanding *two-pass* dari pada data pembanding SBAS, hal tersebut menyebabkan nilai akurasi data *three-pass* terhadap *two-pass* lebih tinggi dibanding akurasi *three-pass* terhadap SBAS.

#### 4.2.2 Perbandingan Data DEM Koreksi Topografi

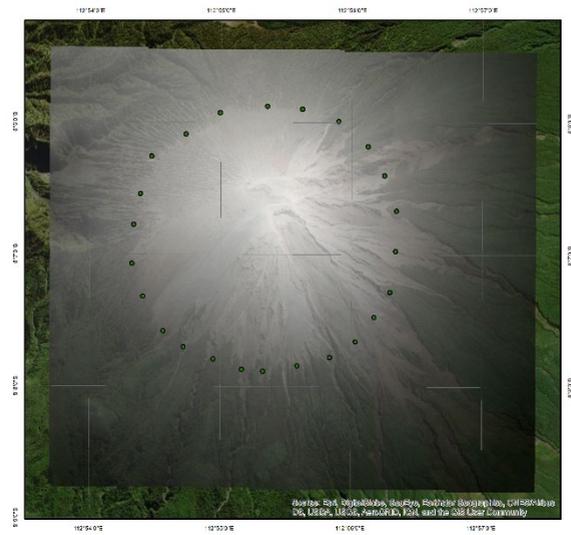
Koreksi topografi bertujuan untuk mengembalikan nilai keabuan elemen gambar (piksel) pada nilai yang sebenarnya akibat adanya pengaruh sudut elevasi (Sanjoto, 2008). Pada penelitian deformasi, tahap ini dilakukan setelah mendapat fase topografi dari proses *interferogram generation*. Tahap koreksi topografi 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 pembanding *DInSAR two-pass interferometry*, koreksi topografi dilakukan menggunakan data DEM SRTM 1 yang dapat diunduh secara





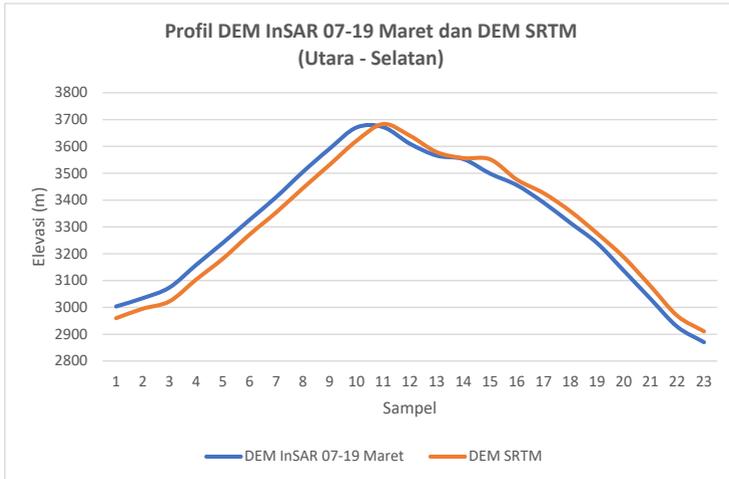
(b)

**Gambar 4. 18 Titik Sampel Profil DEM Curam Arah Utara - Selatan  
(a) dan Timur - Barat (b)**

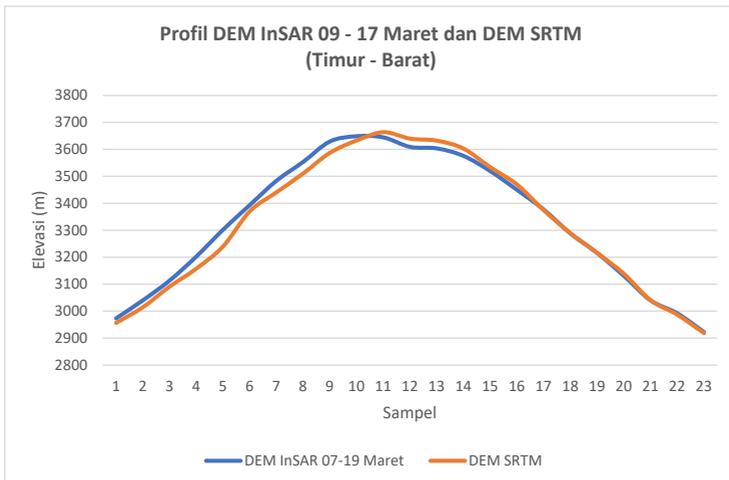


**Gambar 4. 19 Titik Sampel Profil Landai (Melingkar)**

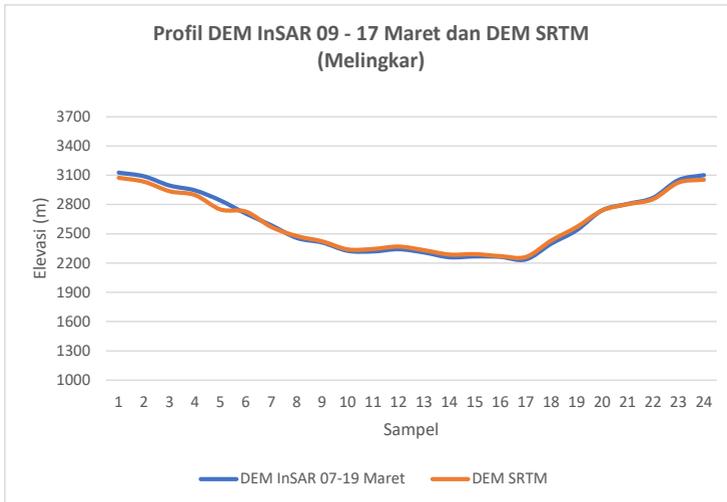
Profil DEM disajikan pada gambar 4.20 sampai gambar 4.22 sebagai berikut :



**Gambar 4. 20 Profil DEM Arah Utara – Selatan**



**Gambar 4. 21 Profil DEM Arah Timur – Barat**



**Gambar 4. 22 Profil DEM Landai (Melingkar)**

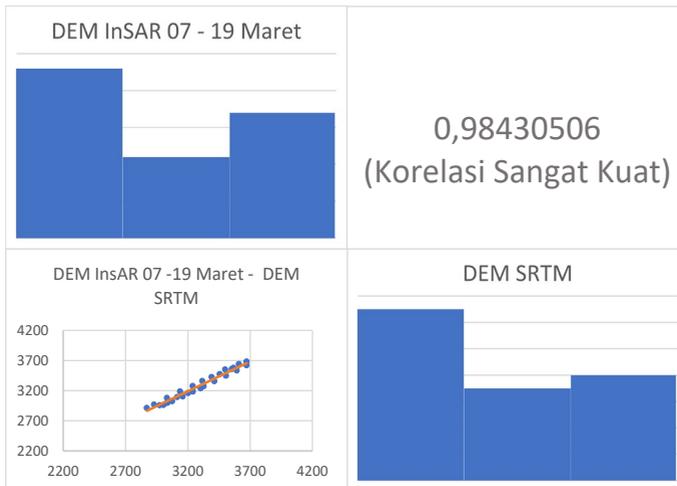
Dari ketiga profil yang ditunjukkan gambar 4.19 sampai 4.21, dapat diketahui bahwa nilai elevasi pada DEM InSAR 07-19 Maret dan DEM STRM memiliki selisih yang cukup rendah yaitu -4,15 meter pada sampel utara – selatan, - 8,81 meter pada sampel timur – barat, dan 4,85 meter pada sampel landai (melingkar).

Sementara itu, apabila melihat visualisasi dari profil DEM pada gambar 4.20 sampai 4.22, dapat dilihat bahwa pada profil DEM curam arah utara - selatan dan timur - barat memiliki selisih elevasi yang lebih signifikan dari pada profil DEM landai arah melingkar. Hal tersebut dapat terjadi karena Gunung Semeru merupakan gunung berapi dengan tipe vulkanian strombolian yang mengalami aktivitas vulkanik secara terus menerus pada jangka waktu yang panjang. Sehingga berdasarkan data *time-series* SBAS (gambar 4.16), citra periode pendek 07 – 19 Maret tidak sepenuhnya statis namun juga mengalami deformasi LOS dengan rata-rata -0,2 mm pada sekitar kawah Gunung Semeru yang menyebabkan adanya perbedaan nilai elevasi (dibanding dengan SRTM)

saat diolah menjadi data DEM untuk koreksi topografi *DInSAR Three-pass Interferometry*.

Selain itu pola sebaran titik elevasi antara kedua data DEM memiliki keterkaitan yang tinggi dan dibuktikan dengan matriks *scatter* korelasi pada gambar 4.23 yang menunjukkan *trendline* positif dan nilai koefisien korelasi 0,98430506 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 pembanding SBAS telah dilakukan dan disediakan dalam LiCSBAS, yaitu paket *open-source python* yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi *time-series* InSAR menggunakan produk LiCSAR (fase *unwrapping* dan nilai koherensi) yang tersedia secara gratis di portal web COMET-LiCS. Deformasi SBAS yang disajikan secara *time-series* mengharuskan penerapan *Spatio-temporal Filtering* dan perataan model deformasi linear yang mengakibatkan nilai deformasi SBAS lebih rendah dari nilai deformasi *two-pass* dan *three-pass*.



**Gambar 4. 23 Matriks *Scatter* Korelasi Data DEM**

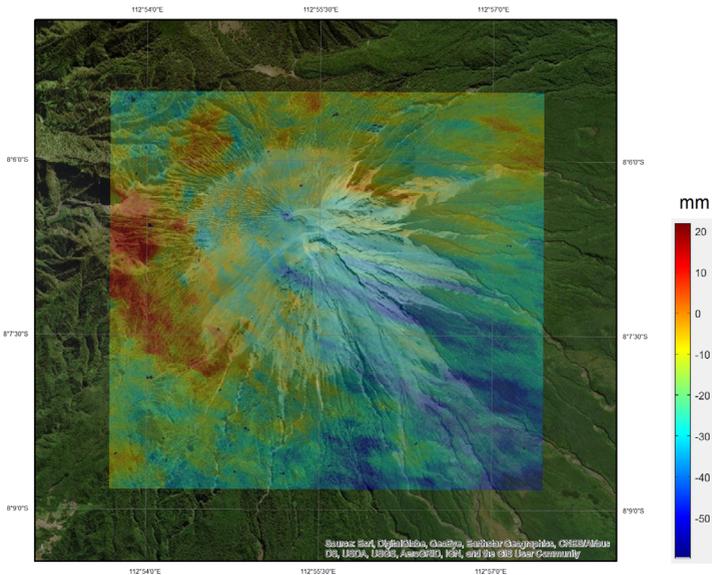
### 4.2.3 Analisa Deformasi Terkait Geologi dan Morfologi Gunung Semeru

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 sampling di sekitar kawah.

**Tabel 4. 2 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
<b>Rata-rata (mm)</b>	<b>-26</b>

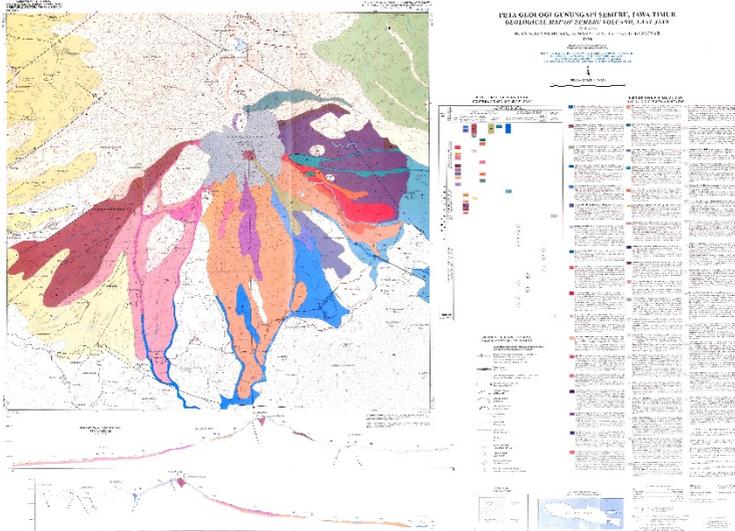
Berdasarkan tabel 4.2, studi deformasi Gunung Semeru yang telah dilakukan menggunakan metode *DInSAR Three-pass Interferometry* menunjukkan adanya fenomena deflasi (penurunan) dengan rata-rata 26 milimeter yang direpresentasikan dari 92 titik sampel di seluruh area Gunung Semeru. Deformasi LOS berupa deflasi umumnya terjadi selama atau sesudah masa letusan. Pada saat itu tekanan magma di dalam tubuh gunung api telah melemah, sehingga menyebabkan permukaan tanah cenderung kembali ke posisi semula.



**Gambar 4. 24** Hasil Deformasi Metode *DInSAR Three-pass Interferometry*

Pada gambar 4.24 dapat dilihat bahwa hasil deformasi LOS 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. Berdasarkan perbandingan letak titik sampel terhadap peta geologi yang diterbitkan oleh PVMBG (gambar 4.25), dapat diketahui bahwa pada area tersebut memiliki struktur geologi yang 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.



**Gambar 4. 25 Peta Geologi Gunung Semeru  
(Sumber : PVMBG 1996)**

Sementara itu, nilai deformasi pada titik sampel bagian timur, tenggara, selatan, dan barat daya didominasi oleh warna biru tua sampai biru muda dengan rentang -50 sampai -20 milimeter. Berdasarkan perbandingan letak titik sampel terhadap peta kawasan rawan bencana Gunung Semeru (gambar 3.1) dan peta geologi Gunung Semeru (gambar 4.25) 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.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 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 :

1. 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 pembanding *two-pass interferometry* dan *Small Baseline Subset (SBAS)*, yaitu 0,525889 dan 0,704151.
2. 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.

## 5.2 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 :

1. Proses pemilihan data pasangan citra pendek dan panjang (*DInSAR Three-pass Interferometry*) sebaiknya dilakukan beberapa percobaan pasangan citra agar mendapatkan nilai koherensi yang tertinggi.
2. Proses validasi sebaiknya menggunakan data penelitian di lapangan berupa survey terestris GNSS.
3. Untuk optimalisasi hasil deformasi dengan teknik DInSAR dapat dilakukan penambahan pengolahan data Sentinel-1A pada orbit *ascending*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustan., dan Sadly, Muhammad. 2020. Pemanfaatan Data Satelit Radar untuk Wilayah Darat Indonesia : Peluang dan Tantangan, Bab 11, 143-154. Jakarta. LIPI Press, anggota Ikapi dan LAPAN Pusfatja.
- Andreas, H. 2007. Karakteristik Deformasi Strain dan Stress. Bandung: Geodesi dan Geomatika ITB.
- Anjasmara.2013. Deformation Study. Surabaya : Teknik Geomatika ITS
- Antonielli, B., Monserrat, O., Bonini, M., Righini, G., Sani, F., Luzzi, G., Feyzullayev, A.A. and Aliyev, C.S., 2014. Pre-eruptive ground deformation of Azerbaijan mud volcanoes detected through satellite radar interferometry (*DInSAR*). *Tectonophysics*, 637, pp.163-177.
- Bhattacharya, A., Arora, M.K. and Sharma, M.L., 2012. Usefulness of synthetic aperture radar (SAR) interferometry for digital elevation model (DEM) generation and estimation of land surface displacement in Jharia coal field area. *Geocarto International*, 27(1), pp.57-77.
- Braun, A. and Veci, L., 2020. TOPS Interferometry Tutorial. Array Systems. <URL : [http://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20TOPSAR%20Interferometry%20with%20Sentinel-1%20Tutorial\\_v2.Pdf](http://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20TOPSAR%20Interferometry%20with%20Sentinel-1%20Tutorial_v2.Pdf)> dikunjungi pada tanggal 24 Desember 2020, jam 10:12 WIB.
- Campbell, J. B., dan Wynne, R. H. 2011. *Introduction to Remote Sensing Fifth Edition*. New York: A Division of Guilford Publications, Inc.

- 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).
- Chee, J.D., 2015. Pearson's product-moment correlation: Sample analysis. *Research Gate*, 4(1), pp.4-90.
- ESA.2000. *Asar Product Handbook*. <URL : [https://earth.esa.int/pub/ESA\\_DOC/ENVISAT/ASAR/asar.ProductHandbook.2\\_2.pdf](https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/ENVISAT/ASAR/asar.ProductHandbook.2_2.pdf)
- ESA.2012. Sentinel-1. <URL : [http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin131/bul131a\\_attema.pdf](http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin131/bul131a_attema.pdf)
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., dan Rocca, F. 2007. Part A InSAR Principles : Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. The Netherlands: ESA Publications.
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., dan Rocca , F. 2007. Part B InSAR Processing : a Practical Approach. The Netherlands: ESA Publications.
- Gaile, G. L., & Willmott, C. (Eds.). 2013. *Spatial statistics and models* (Vol. 40). Springer Science & Business Media.
- Haniah, Y. 2011. "Pengenalan Teknologi Radar Untuk Pemetaan Spasial Di Kawasan Tropis". *TEKNIK* – Vol. 32 No.2.
- Hanssen, R.F., 2001. *Radar interferometry: data interpretation and error analysis* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.

- Hayati, N., Kurniawan, A. and Taufik, M., 2015. Radar Interferometry Application For Digital Elevation Model In Mount Bromo, Indonesia. *Geoid*, 10(2), pp.222-226.
- Ismullah, I. 2004. "Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Dijital (DEM) pada Radar Aperture Sintetik Interferometri (InSAR) Data Satelit". *Sains & Tek.* Vol. 36 A, No.1 : 11-32.
- Ji, L., Lu, Z., Dzurisin, D., dan Senyukov, S. 2013. "Pre-eruptive Deformation Caused by Dike Intrusion Beneath Kizimen Volcano, Kamchatka, Russia, Observed By Insar". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 256, 87-95.
- Kusman, A. 2008. Studi Deformasi Gunung Api Baturdengen Menggunakan Teknologi SAR Interferometri (InSAR). Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB.
- Luis, J.F., 2007. Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data. *Computers & Geosciences*, 33(1), pp.31-41.
- Massonet, D., dan Feigl, K. 1998. "Radar Interferometry and Its Application to changes in the Earth's Surface". *Reviews of Geophysics* 36, 441-500.
- Mura, J., Paradella, W., Gama, F., Santos, A., Galo, M., Camargo, P., Silva, A., Silva, G. 2014. "Monitoring of Surface Deformation in Open Pit Mine Using *DInSAR Time-series*: A Case Study in the N5W Iron Mine (Carajás, Brazil) Using TerraSAR-X Data". *Proc. of SPIE* Vol. 9243. SPIE.
- Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T.J., Weiss, J.R., Elliott, J.R. and Hooper, A., 2020. LiCSBAS: an open-source InSAR time series analysis package integrated with the LiCSAR automated Sentinel-1 InSAR processor. *Remote Sensing*, 12(3), p.424.

- Nurtyawan, R. and Utami, L.S., 2020. Monitoring Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Citra Sentinel-1A Dengan Menggunakan Metode *DInSAR* (Studi Kasus: Gunung Merapi, Jawa Tengah). *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 4(1), pp.14-23.
- 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).
- Sanjoto, T. B., & Purwadhi, S. H. 2008. *Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh*.
- Sari, A.R., Handayani, H.H. and Agustan, A., 2014. Penerapan Metode Dinsar untuk Analisa Deformasi Akibat Gempa Bumi dengan Validasi Data Gps Sugar (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat). *Geoid*, 10(1), pp.26-31.
- Sarmap. 2015. *SARscape Help Manual - Harris Geospatial Solutions*
- Sarwono, J. 2006. *Korelasi*
- Sarwono, J. 2013. *12 Jurus Ampuh SPSS Untuk Riset Skripsi*. Elex Media Komputindo.
- Sensing, R., 2015. ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), pp.A1-A26.
- Taufik, M. and Aprillisa, I.V., 2019. Analisis Deformasi Gunung Bromo Akibat Aktivitas Erupsi Pada Desember 2015–Februari 2016 Menggunakan Teknologi Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (*DInSAR*). *Geoid*, 14(2), pp.23-27.
- Wahyudin, D., 2010, Aliran lava produk letusan celah Tahun 1941 serta kemungkinan terjadinya letusan samping

baru di Gunung Semeru Jawa Timur. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 1 No.3, 199 – 211

- Wang, G., Xie, M., Chai, X., Wang, L. and Dong, C., 2013. D-InSAR-based landslide location and monitoring at Wudongde hydropower reservoir in China. *Environmental earth sciences*, 69(8), pp.2763-2777.
- Yu Morishita. 2020. LiCSBAS Tutorial. University of Leeds, Geospatial Information Authority of Japan.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LAMPIRAN 1**  
**Tabel Perbandingan Nilai Deformasi**  
**Data Penelitian Utama dan Pembanding**

**Lampiran 1. 1 Tabel Koordinat Titik Sampel Perbandingan Nilai Deformasi**

<b>Titik Sampel</b>	<b>Arah</b>	<b><i>Easting</i> (mT)</b>	<b><i>Northing</i> (mU)</b>
Sampel 1	Utara	711774,6193	9103185,848
Sampel 2	Utara	711774,6193	9103303,226
Sampel 3	Utara	711774,6193	9103454,563
Sampel 4	Utara	711774,6193	9103599,846
Sampel 5	Utara	711774,6193	9103745,129
Sampel 6	Utara	711774,6193	9103896,466
Sampel 7	Utara	711774,6193	9104035,696
Sampel 8	Utara	711774,6193	9104180,979
Sampel 9	Utara	711774,6193	9104320,208
Sampel 10	Utara	711774,6193	9104477,599
Sampel 11	Utara	711774,6193	9104580,507
Sampel 12	Utara	711774,6193	9104685,848
Sampel 13	Selatan	711774,6193	9103185,848
Sampel 14	Selatan	711774,6193	9103067,141
Sampel 15	Selatan	711774,6193	9102921,858
Sampel 16	Selatan	711774,6193	9102770,522
Sampel 17	Selatan	711774,6193	9102613,131
Sampel 18	Selatan	711774,6193	9102479,955
Sampel 19	Selatan	711774,6193	9102334,672
Sampel 20	Selatan	711774,6193	9102201,496
Sampel 21	Selatan	711774,6193	9102050,159
Sampel 22	Selatan	711774,6193	9101904,876
Sampel 23	Selatan	711774,6193	9101765,646
Sampel 24	Selatan	711774,6193	9101685,848
Sampel 25	Timur	711774,6193	9103185,848
Sampel 26	Timur	711892,7506	9103185,848

Sampel 27	Timur	712038,0337	9103185,848
Sampel 28	Timur	712207,5307	9103185,848
Sampel 29	Timur	712328,6	9103185,848
Sampel 30	Timur	712691,8079	9103185,848
Sampel 31	Timur	713206,3523	9103185,848
Sampel 32	Timur	713274,6193	9103185,848
Sampel 33	Barat	711774,6193	9103185,848
Sampel 34	Barat	711644,5585	9103185,848
Sampel 35	Barat	711511,3823	9103185,848
Sampel 36	Barat	711366,0992	9103185,848
Sampel 37	Barat	711208,7091	9103185,848
Sampel 38	Barat	711069,4794	9103185,848
Sampel 39	Barat	710924,1963	9103185,848
Sampel 40	Barat	710784,9666	9103185,848
Sampel 41	Barat	710645,7369	9103185,848
Sampel 42	Barat	710506,5072	9103185,848
Sampel 43	Barat	710391,4914	9103185,848
Sampel 44	Barat	710274,6193	9103185,848
Sampel 45	Timur Laut	711774,6193	9103185,848
Sampel 46	Timur Laut	711862,1069	9103273,335
Sampel 47	Timur Laut	711948,8732	9103360,102
Sampel 48	Timur Laut	712037,6573	9103448,886
Sampel 49	Timur Laut	712122,4058	9103533,634
Sampel 50	Timur Laut	712205,1365	9103616,365
Sampel 51	Timur Laut	712287,8672	9103699,096
Sampel 52	Timur Laut	712378,6692	9103789,898
Sampel 53	Timur Laut	712469,4711	9103880,7
Sampel 54	Timur Laut	712588,5226	9103999,751
Sampel 55	Timur Laut	712689,4137	9104100,642
Sampel 56	Timur Laut	712835,2794	9104246,508

Sampel 57	Barat Daya	711774,6193	9103185,848
Sampel 58	Barat Daya	711690,592	9103101,821
Sampel 59	Barat Daya	711611,897	9103023,126
Sampel 60	Barat Daya	711515,0416	9102926,27
Sampel 61	Barat Daya	711416,1683	9102827,397
Sampel 62	Barat Daya	711313,2594	9102724,488
Sampel 63	Barat Daya	711216,404	9102627,633
Sampel 64	Barat Daya	711121,5664	9102532,795
Sampel 65	Barat Daya	711024,711	9102435,94
Sampel 66	Barat Daya	710952,0694	9102363,298
Sampel 67	Barat Daya	710871,3565	9102282,585
Sampel 68	Barat Daya	710784,5902	9102195,819
Sampel 69	Barat Laut	711774,6193	9103185,848
Sampel 70	Barat Laut	711696,3006	9103264,167
Sampel 71	Barat Laut	711619,6234	9103340,844
Sampel 72	Barat Laut	711542,9462	9103417,521
Sampel 73	Barat Laut	711470,3046	9103490,163
Sampel 74	Barat Laut	711391,6096	9103568,858
Sampel 75	Barat Laut	711314,9324	9103645,535
Sampel 76	Barat Laut	711222,1126	9103738,355
Sampel 77	Barat Laut	711117,1859	9103843,281
Sampel 78	Barat Laut	711026,3839	9103934,083
Sampel 79	Barat Laut	710943,6532	9104016,814
Sampel 80	Barat Laut	710854,8691	9104105,598
Sampel 81	Tenggara	711774,6193	9103185,848
Sampel 82	Tenggara	711859,7441	9103100,723
Sampel 83	Tenggara	711956,5996	9103003,868
Sampel 84	Tenggara	712059,5085	9102900,959
Sampel 85	Tenggara	712142,2392	9102818,228
Sampel 86	Tenggara	712222,952	9102737,515

Sampel 87	Tenggara	712289,5401	9102670,927
Sampel 88	Tenggara	712370,253	9102590,214
Sampel 89	Tenggara	712469,1262	9102491,341
Sampel 90	Tenggara	712551,8569	9102408,61
Sampel 91	Tenggara	712693,1044	9102267,363
Sampel 92	Tenggara	712802,0668	9102158,4

**Lampiran 1. 2 Tabel Perbandingan Nilai Deformasi**

<b>Titik Sampel</b>	<b>Arah</b>	<b>Deformasi 3 Pass (milimeter)</b>	<b>Deformasi 2 Pass (milimeter)</b>	<b>Deformasi SBAS (milimeter)</b>
Sampel 1	Utara	-34	-39	-13
Sampel 2	Utara	-29	-41	-12
Sampel 3	Utara	-25	-39	-10
Sampel 4	Utara	-27	-35	-9
Sampel 5	Utara	-18	-35	-8
Sampel 6	Utara	-16	-32	-6
Sampel 7	Utara	-19	-32	-5
Sampel 8	Utara	-20	-30	-4
Sampel 9	Utara	-20	-29	-3
Sampel 10	Utara	-18	-27	-1
Sampel 11	Utara	-13	-26	0
Sampel 12	Utara	-11	-24	1
Sampel 13	Selatan	-34	-40	-13
Sampel 14	Selatan	-36	-40	-12
Sampel 15	Selatan	-32	-42	-10
Sampel 16	Selatan	-27	-40	-9
Sampel 17	Selatan	-27	-34	-7
Sampel 18	Selatan	-29	-33	-5
Sampel 19	Selatan	-38	-30	-3
Sampel 20	Selatan	-35	-28	-1
Sampel 21	Selatan	-21	-26	1
Sampel 22	Selatan	-9	-24	2
Sampel 23	Selatan	-10	-25	3
Sampel 24	Selatan	-17	-24	3
Sampel 25	Timur	-34	-40	-13
Sampel 26	Timur	-33	-43	-13
Sampel 27	Timur	-33	-41	-13
Sampel 28	Timur	-32	-35	-12

Sampel 29	Timur	-29	-35	-12
Sampel 30	Timur	-25	-32	-10
Sampel 31	Timur	-27	-28	-8
Sampel 32	Timur	-27	-28	-8
Sampel 33	Barat	-34	-40	-13
Sampel 34	Barat	-40	-41	-12
Sampel 35	Barat	-39	-40	-10
Sampel 36	Barat	-31	-35	-9
Sampel 37	Barat	-27	-33	-7
Sampel 38	Barat	-25	-31	-5
Sampel 39	Barat	-26	-29	-3
Sampel 40	Barat	-17	-26	-1
Sampel 41	Barat	-14	-23	2
Sampel 42	Barat	-16	-21	4
Sampel 43	Barat	-14	-19	6
Sampel 44	Barat	-18	-16	8
Sampel 45	Timur Laut	-34	-40	-13
Sampel 46	Timur Laut	-31	-43	-13
Sampel 47	Timur Laut	-28	-40	-12
Sampel 48	Timur Laut	-25	-37	-11
Sampel 49	Timur Laut	-22	-34	-10
Sampel 50	Timur Laut	-20	-33	-9
Sampel 51	Timur Laut	-18	-33	-8
Sampel 52	Timur Laut	-13	-32	-6
Sampel 53	Timur Laut	-14	-31	-6
Sampel 54	Timur Laut	-9	-30	-4
Sampel 55	Timur Laut	-12	-30	-3
Sampel 56	Timur Laut	-13	-28	-1
Sampel 57	Barat Daya	-34	-40	-13
Sampel 58	Barat Daya	-35	-41	-11
Sampel 59	Barat Daya	-31	-41	-10

Sampel 60	Barat Daya	-31	-33	-8
Sampel 61	Barat Daya	-29	-32	-5
Sampel 62	Barat Daya	-25	-30	-3
Sampel 63	Barat Daya	-30	-26	0
Sampel 64	Barat Daya	-23	-23	2
Sampel 65	Barat Daya	-22	-23	4
Sampel 66	Barat Daya	-22	-23	5
Sampel 67	Barat Daya	-19	-22	5
Sampel 68	Barat Daya	-19	-21	6
Sampel 69	Barat Laut	-34	-40	-13
Sampel 70	Barat Laut	-36	-41	-12
Sampel 71	Barat Laut	-40	-40	-12
Sampel 72	Barat Laut	-33	-39	-10
Sampel 73	Barat Laut	-25	-37	-9
Sampel 74	Barat Laut	-21	-34	-7
Sampel 75	Barat Laut	-21	-32	-5
Sampel 76	Barat Laut	-19	-31	-4
Sampel 77	Barat Laut	-20	-31	-2
Sampel 78	Barat Laut	-21	-26	-1
Sampel 79	Barat Laut	-20	-24	1
Sampel 80	Barat Laut	-17	-23	2
Sampel 81	Tenggara	-34	-40	-13
Sampel 82	Tenggara	-33	-43	-13
Sampel 83	Tenggara	-34	-42	-13
Sampel 84	Tenggara	-36	-37	-13
Sampel 85	Tenggara	-32	-33	-13
Sampel 86	Tenggara	-30	-29	-12
Sampel 87	Tenggara	-29	-28	-12
Sampel 88	Tenggara	-32	-27	-10
Sampel 89	Tenggara	-38	-24	-9
Sampel 90	Tenggara	-37	-22	-8

Sampel 91	Tenggara	-37	-21	-8
Sampel 92	Tenggara	-40	-19	-10

**Lampiran 1. 3 Tabel Perhitungan RMSE Nilai Deformasi**

<b>Titik Sampel</b>	<b>Arah</b>	<b>(3 Pass - 2 Pass)<sup>2</sup></b>	<b>(3 Pass - SBAS)<sup>2</sup></b>	<b>(2 Pass - SBAS)<sup>2</sup></b>
Sampel 1	Utara	36	441	729
Sampel 2	Utara	121	324	841
Sampel 3	Utara	196	196	784
Sampel 4	Utara	64	306	650
Sampel 5	Utara	256	120	726
Sampel 6	Utara	289	90	701
Sampel 7	Utara	144	211	704
Sampel 8	Utara	100	285	723
Sampel 9	Utara	81	329	737
Sampel 10	Utara	81	294	683
Sampel 11	Utara	169	173	685
Sampel 12	Utara	169	147	631
<b>Jumlah</b>		1706	2917	8594
<b>RMSE (milimeter)</b>		12	16	27
		<b>3 Pass dan 2 Pass</b>	<b>3 Pass dan SBAS</b>	<b>2 Pass dan SBAS</b>
Sampel 13	Selatan	36	441	729
Sampel 14	Selatan	16	576	784
Sampel 15	Selatan	100	484	1024
Sampel 16	Selatan	169	327	967
Sampel 17	Selatan	49	414	748
Sampel 18	Selatan	16	564	770
Sampel 19	Selatan	64	1221	726
Sampel 20	Selatan	49	1167	738

Sampel 21	Selatan	25	492	739
Sampel 22	Selatan	214	137	694
Sampel 23	Selatan	225	164	773
Sampel 24	Selatan	49	384	707
<b>Jumlah</b>		1012	6372	9399
<b>RMSE (milimeter)</b>		9	23	28
		<b>3 Pass dan 2 Pass</b>	<b>3 Pass dan SBAS</b>	<b>2 Pass dan SBAS</b>
Sampel 25	Timur	36	441	729
Sampel 26	Timur	100	400	900
Sampel 27	Timur	64	400	784
Sampel 28	Timur	9	400	529
Sampel 29	Timur	36	289	529
Sampel 30	Timur	49	225	484
Sampel 31	Timur	1	363	402
Sampel 32	Timur	1	355	394
<b>Jumlah</b>		296	2873	4751
<b>RMSE (milimeter)</b>		5	15	20
		<b>3 Pass dan 2 Pass</b>	<b>3 Pass dan SBAS</b>	<b>2 Pass dan SBAS</b>
Sampel 33	Barat	36	441	729
Sampel 34	Barat	1	784	841
Sampel 35	Barat	1	841	900
Sampel 36	Barat	16	489	682
Sampel 37	Barat	36	411	691
Sampel 38	Barat	36	399	674
Sampel 39	Barat	9	544	693

Sampel 40	Barat	81	267	642
Sampel 41	Barat	81	256	624
Sampel 42	Barat	25	407	634
Sampel 43	Barat	25	405	631
Sampel 44	Barat	4	675	575
<b>Jumlah</b>		351	5919	8317
<b>RMSE (milimeter)</b>		5	22	26
		<b>3 Pass dan 2 Pass</b>	<b>3 Pass dan SBAS</b>	<b>2 Pass dan SBAS</b>
Sampel 45	Timur Laut	36	441	729
Sampel 46	Timur Laut	144	324	900
Sampel 47	Timur Laut	144	256	784
Sampel 48	Timur Laut	144	196	676
Sampel 49	Timur Laut	144	144	576
Sampel 50	Timur Laut	169	121	576
Sampel 51	Timur Laut	225	109	647
Sampel 52	Timur Laut	361	43	653
Sampel 53	Timur Laut	289	69	640
Sampel 54	Timur Laut	421	28	665
Sampel 55	Timur Laut	324	77	717
Sampel 56	Timur Laut	225	151	744
<b>Jumlah</b>		2626	1958	8306
<b>RMSE (milimeter)</b>		15	13	26
		<b>3 Pass dan 2 Pass</b>	<b>3 Pass dan SBAS</b>	<b>2 Pass dan SBAS</b>
Sampel 57	Barat Daya	36	441	729
Sampel 58	Barat Daya	36	576	900

Sampel 59	Barat Daya	100	449	973
Sampel 60	Barat Daya	4	551	649
Sampel 61	Barat Daya	9	578	732
Sampel 62	Barat Daya	25	493	741
Sampel 63	Barat Daya	16	901	677
Sampel 64	Barat Daya	0	632	632
Sampel 65	Barat Daya	1	654	706
Sampel 66	Barat Daya	1	705	759
Sampel 67	Barat Daya	9	594	749
Sampel 68	Barat Daya	4	620	723
<b>Jumlah</b>		241	7196	8971
<b>RMSE (milimeter)</b>		4	24	27
		<b>3 Pass dan 2 Pass</b>	<b>3 Pass dan SBAS</b>	<b>2 Pass dan SBAS</b>
Sampel 69	Barat Laut	36	441	729
Sampel 70	Barat Laut	25	576	841
Sampel 71	Barat Laut	0	784	784
Sampel 72	Barat Laut	36	529	841
Sampel 73	Barat Laut	144	259	789
Sampel 74	Barat Laut	169	185	708
Sampel 75	Barat Laut	121	242	705
Sampel 76	Barat Laut	144	231	740
Sampel 77	Barat Laut	121	323	840
Sampel 78	Barat Laut	25	418	647
Sampel 79	Barat Laut	16	429	611
Sampel 80	Barat Laut	36	351	612

<b>Jumlah</b>		873	4768	8847
<b>RMSE (milimeter)</b>		9	20	27
		<b>3 Pass dan 2 Pass</b>	<b>3 Pass dan SBAS</b>	<b>2 Pass dan SBAS</b>
Sampel 81	Tenggara	36	441	729
Sampel 82	Tenggara	100	400	900
Sampel 83	Tenggara	64	441	841
Sampel 84	Tenggara	1	529	576
Sampel 85	Tenggara	1	361	400
Sampel 86	Tenggara	1	324	289
Sampel 87	Tenggara	1	289	256
Sampel 88	Tenggara	25	484	289
Sampel 89	Tenggara	196	852	231
Sampel 90	Tenggara	225	859	205
Sampel 91	Tenggara	256	838	168
Sampel 92	Tenggara	441	915	85
<b>Jumlah</b>		1347	6733	4969
<b>RMSE (milimeter)</b>		11	24	20
		<b>3 Pass dan 2 Pass</b>	<b>3 Pass dan SBAS</b>	<b>2 Pass dan SBAS</b>

**LAMPIRAN 2**  
**Tabel Perbandingan Nilai Elevasi**  
**Data DEM Citra Pendek (07 – 19 Maret 2020) dan**  
**DEM SRTM 1 Koreksi Topografi**

**Lampiran 2. 1 Tabel Koordinat Titik Sampel Profil DEM Curam  
(Utara - Selatan)**

<b>Titik Sampel</b>	<b>Arah</b>	<b><i>Easting</i> (mT)</b>	<b><i>Northing</i> (mU)</b>
Sampel 1	Utara	711774,6193	9104685,848
Sampel 2	Utara	711774,6193	9104580,507
Sampel 3	Utara	711774,6193	9104477,599
Sampel 4	Utara	711774,6193	9104320,208
Sampel 5	Utara	711774,6193	9104180,979
Sampel 6	Utara	711774,6193	9104035,696
Sampel 7	Utara	711774,6193	9103896,466
Sampel 8	Utara	711774,6193	9103745,129
Sampel 9	Utara	711774,6193	9103599,846
Sampel 10	Utara	711774,6193	9103454,563
Sampel 11	Utara	711774,6193	9103303,226
Sampel 12	Utara	711774,6193	9103185,848
Sampel 13	Selatan	711774,6193	9103067,141
Sampel 14	Selatan	711774,6193	9102921,858
Sampel 15	Selatan	711774,6193	9102770,522
Sampel 16	Selatan	711774,6193	9102613,131
Sampel 17	Selatan	711774,6193	9102479,955
Sampel 18	Selatan	711774,6193	9102334,672
Sampel 19	Selatan	711774,6193	9102201,496
Sampel 20	Selatan	711774,6193	9102050,159
Sampel 21	Selatan	711774,6193	9101904,876
Sampel 22	Selatan	711774,6193	9101765,646
Sampel 23	Selatan	711774,6193	9101685,848

**Lampiran 2. 2 Tabel Koordinat Titik Sampel Profil DEM Curam (Timur Barat)**

<b>Titik Sampel</b>	<b>Arah</b>	<b><i>Easting</i> (mT)</b>	<b><i>Northing</i> (mU)</b>
Sampel 1	Timur	713274,6193	9103185,848
Sampel 2	Timur	713182,2762	9103185,848
Sampel 3	Timur	713080,1944	9103185,848
Sampel 4	Timur	712936,1599	9103185,848
Sampel 5	Timur	712786,1242	9103185,848
Sampel 6	Timur	712636,0313	9103185,848
Sampel 7	Timur	712498,0559	9103185,848
Sampel 8	Timur	712360,0234	9103185,848
Sampel 9	Timur	712215,9895	9103185,848
Sampel 10	Timur	712089,8457	9103185,848
Sampel 11	Timur	711933,7237	9103185,848
Sampel 12	Timur	711774,6193	9103185,848
Sampel 13	Barat	711645,7709	9103185,848
Sampel 14	Barat	711507,6821	9103185,848
Sampel 15	Barat	711369,7072	9103185,848
Sampel 16	Barat	711225,7878	9103185,848
Sampel 17	Barat	711081,6127	9103185,848
Sampel 18	Barat	710931,6353	9103185,848
Sampel 19	Barat	710793,6039	9103185,848
Sampel 20	Barat	710655,5158	9103185,848
Sampel 21	Barat	710499,6222	9103185,848
Sampel 22	Barat	710397,6275	9103185,848
Sampel 23	Barat	710274,6193	9103185,848

**Lampiran 2. 3 Tabel Koordinat Titik Sampel Profil DEM Landai (Melingkar)**

<b>Titik Sampel</b>	<b>Arah</b>	<b><i>Easting</i> (mT)</b>	<b><i>Northing</i> (mU)</b>
Sampel 1	Melingkar	711847,2344	9104373,804
Sampel 2	Melingkar	712340,5844	9104332,37
Sampel 3	Melingkar	712846,3034	9104160,543
Sampel 4	Melingkar	713260,2365	9103806,687
Sampel 5	Melingkar	713492,0882	9103401,563
Sampel 6	Melingkar	713658,5619	9102905,518
Sampel 7	Melingkar	713642,8969	9102345,178
Sampel 8	Melingkar	713562,2326	9101772,116
Sampel 9	Melingkar	713339,7709	9101421,291
Sampel 10	Melingkar	713078,4139	9101083,684
Sampel 11	Melingkar	712713,7255	9100863,865
Sampel 12	Melingkar	712258,6303	9100748,737
Sampel 13	Melingkar	711777,7507	9100672,825
Sampel 14	Melingkar	711479,181	9100700,307
Sampel 15	Melingkar	711077,273	9100845,57
Sampel 16	Melingkar	710662,4995	9101016,955
Sampel 17	Melingkar	710377,8364	9101239,854
Sampel 18	Melingkar	710094,3968	9101723,397
Sampel 19	Melingkar	709940,6977	9102180,262
Sampel 20	Melingkar	709969,2425	9102727,499
Sampel 21	Melingkar	710062,1723	9103157,14
Sampel 22	Melingkar	710220,4683	9103677,703
Sampel 23	Melingkar	710702,4762	9103988,222
Sampel 24	Melingkar	711184,43	9104285,704

**Lampiran 2. 4 Tabel Perbandingan Elevasi Titik Sampel Profil DEM Curam (Utara - Selatan)**

<b>Titik Sampel</b>	<b>Arah</b>	<b>DEM InSAR 07 - 19 Maret (meter)</b>	<b>DEM SRTM (meter)</b>	<b>Selisih (meter)</b>
Sampel 1	Utara	3003,78	2960,23	-43,55
Sampel 2	Utara	3034,62	2995,67	-38,95
Sampel 3	Utara	3074,50	3023,13	-51,38
Sampel 4	Utara	3158,95	3104,59	-54,36
Sampel 5	Utara	3241,06	3182,37	-58,68
Sampel 6	Utara	3326,77	3272,53	-54,24
Sampel 7	Utara	3411,97	3355,27	-56,70
Sampel 8	Utara	3505,75	3445,52	-60,23
Sampel 9	Utara	3592,21	3532,82	-59,39
Sampel 10	Utara	3670,58	3621,47	-49,11
Sampel 11	Utara	3671,52	3683,64	12,12
Sampel 12	Utara	3609,41	3639,90	30,50
Sampel 13	Selatan	3565,47	3579,03	13,56
Sampel 14	Selatan	3552,50	3556,68	4,19
Sampel 15	Selatan	3498,34	3551,90	53,55
Sampel 16	Selatan	3455,27	3476,26	20,98
Sampel 17	Selatan	3390,35	3426,00	35,65
Sampel 18	Selatan	3314,89	3358,60	43,72
Sampel 19	Selatan	3239,62	3276,12	36,50
Sampel 20	Selatan	3136,61	3187,23	50,62
Sampel 21	Selatan	3031,91	3079,73	47,81
Sampel 22	Selatan	2928,01	2969,11	41,10
Sampel 23	Selatan	2870,38	2911,00	40,63
<b>Jumlah</b>				-95,66
<b>Rata-rata Selisih (meter)</b>				-4,16

**Lampiran 2. 5 Tabel Perbandingan Elevasi Titik Sampel Profil DEM Curam (Timur - Barat)**

<b>Titik Sampel</b>	<b>Arah</b>	<b>DEM InSAR 07 - 19 Maret (meter)</b>	<b>DEM SRTM (meter)</b>	<b>Selisih (meter)</b>
Sampel 1	Timur	2973,77	2956,80	-16,98
Sampel 2	Timur	3040,22	3014,78	-25,43
Sampel 3	Timur	3113,67	3091,12	-22,56
Sampel 4	Timur	3202,66	3157,99	-44,67
Sampel 5	Timur	3302,19	3240,01	-62,18
Sampel 6	Timur	3393,58	3370,23	-23,35
Sampel 7	Timur	3483,78	3440,84	-42,95
Sampel 8	Timur	3553,86	3510,66	-43,19
Sampel 9	Timur	3629,55	3587,20	-42,35
Sampel 10	Timur	3649,03	3632,93	-16,11
Sampel 11	Timur	3644,84	3663,81	18,97
Sampel 12	Timur	3609,41	3639,90	30,50
Sampel 13	Barat	3604,02	3632,44	28,41
Sampel 14	Barat	3576,01	3602,91	26,90
Sampel 15	Barat	3519,82	3533,90	14,08
Sampel 16	Barat	3450,08	3469,82	19,73
Sampel 17	Barat	3377,03	3374,68	-2,35
Sampel 18	Barat	3288,45	3289,03	0,59
Sampel 19	Barat	3216,06	3216,44	0,37
Sampel 20	Barat	3131,19	3139,27	8,07
Sampel 21	Barat	3040,26	3041,02	0,75
Sampel 22	Barat	2992,33	2987,31	-5,02
Sampel 23	Barat	2922,82	2918,89	-3,92
<b>Jumlah</b>				-202,67
<b>Rata-rata Selisih (meter)</b>				-8,81

**Lampiran 2. 6 Tabel Perbandingan Elevasi Titik Sampel Profil DEM Landai (Melingkar)**

Titik Sampel	Arah	DEM InSAR 07 - 19 Maret (meter)	DEM SRTM (meter)	Selisih (meter)
Sampel 1	Melingkar	3127,66	3074,34	53,31
Sampel 2	Melingkar	3089,69	3034,07	55,61
Sampel 3	Melingkar	2995,40	2936,61	58,79
Sampel 4	Melingkar	2945,55	2897,34	48,21
Sampel 5	Melingkar	2841,82	2749,67	92,16
Sampel 6	Melingkar	2707,05	2727,69	-20,64
Sampel 7	Melingkar	2587,15	2570,14	17,01
Sampel 8	Melingkar	2457,32	2477,22	-19,90
Sampel 9	Melingkar	2410,54	2423,00	-12,46
Sampel 10	Melingkar	2325,29	2340,64	-15,34
Sampel 11	Melingkar	2318,93	2345,13	-26,20
Sampel 12	Melingkar	2341,81	2369,65	-27,84
Sampel 13	Melingkar	2308,23	2332,57	-24,35
Sampel 14	Melingkar	2259,28	2287,83	-28,55
Sampel 15	Melingkar	2267,80	2291,96	-24,16
Sampel 16	Melingkar	2263,46	2271,53	-8,07
Sampel 17	Melingkar	2236,89	2262,60	-25,71
Sampel 18	Melingkar	2398,56	2431,43	-32,87
Sampel 19	Melingkar	2536,94	2570,59	-33,65
Sampel 20	Melingkar	2740,84	2739,52	1,32
Sampel 21	Melingkar	2806,51	2803,28	3,23
Sampel 22	Melingkar	2869,68	2855,66	14,03
Sampel 23	Melingkar	3051,66	3025,62	26,04
Sampel 24	Melingkar	3102,06	3055,48	46,58
<b>Jumlah</b>				116,53
<b>Rata-rata Selisih (meter)</b>				4,86

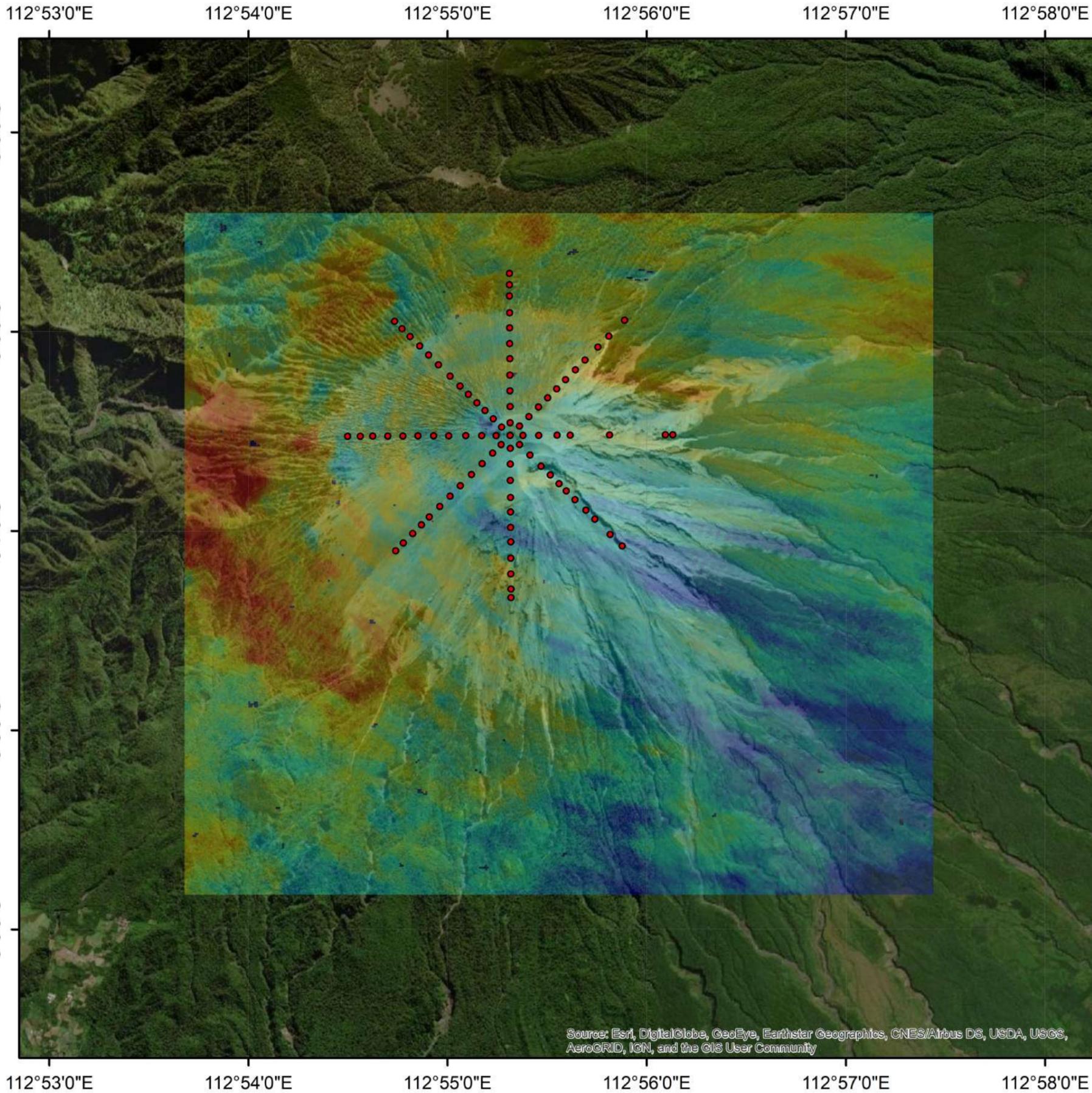
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIOGRAFI PENULIS



**Eka Diah Nur Safitri.** Penulis yang dilahirkan di Surabaya, 01 September 2000 merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di RA Ar-Rohman, MI Tarbiyyatunnasyiin II, SMPN 1 Diwek, dan SMAN 3 Jombang. Kemudian pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengikuti program SNMPTN dan diterima di Teknik Geomatika – FTSPK. Selama menjadi mahasiswa, penulis cukup aktif dalam kegiatan kemahasiswaan sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE) yaitu sebagai staff Departemen Keprofesian dan Akademik pada masa jabatan 2019 / 2020 dan sebagai Kepala Biro *Research* Divisi *Big Event* pada masa jabatan 2020 / 2021. Selain itu penulis juga aktif pada kegiatan kepanitiaan acara-acara besar departemen, sebagai staff di beberapa sie pada tahun 2018, Bendahara Geolympic 2019, Koordinator Sie *Proceeding* Geolympic 2020, Penanggung Jawab Pendanaan Kompas 2020, serta PIC Sie *Public Relation* GeoICON 2020. Selanjutnya penulis juga aktif mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD dan LKMM TD, serta kegiatan seminar tingkat institut, regional, nasional, dan internasional yang diadakan oleh Instansi atau Lembaga yang berkaitan dengan Bidang Geomatika. Dalam masa studi, penulis juga telah melakukan kegiatan magang atau kerja praktik di beberapa instansi pemerintahan seperti Badan Pertanahan

Nasional (BPN) Jombang pada tahun 2019 serta Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Jakarta Timur pada tahun 2020. Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geospasial, dengan judul Tugas Akhir “Analisis Deformasi Akibat Aktivitas Vulkanik Menggunakan Data Citra Sentinel-1A dan Metode *DInSAR Three-pass Interferometry* (Studi Kasus : Gunung Semeru, Jawa Timur)” sebagai syarat dalam penyelesaian studi di jenjang Strata 1.



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community



## PETA DEFORMASI DINSAR THREE-PASS INTERFEROMETRY GUNUNG SEMERU, JAWA TIMUR



SKALA 1 : 40.000

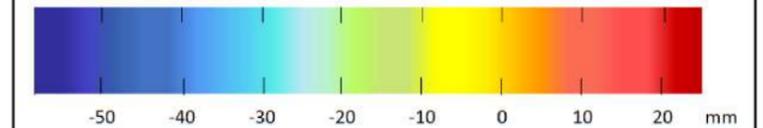


### Informasi Kartografi

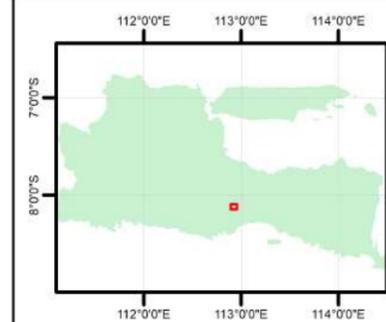
Datum : WGS 1984  
 Proyeksi : UTM Zona 49 S  
 Unit Grid : Lintang - Bujur Interval 00° 01' 00"

### Legenda

Nilai Deformasi (mm)



● Titik Sampel Deformasi



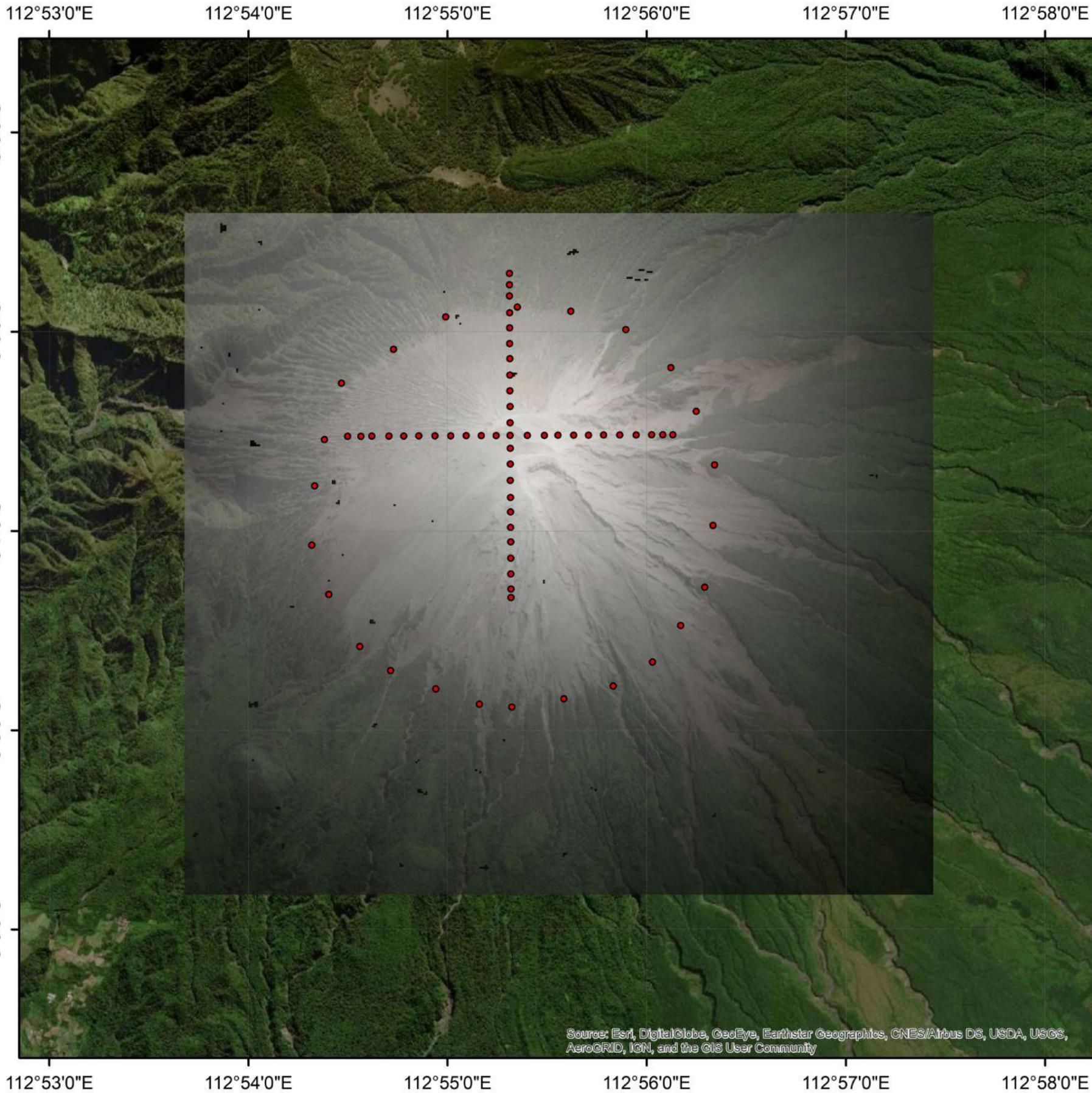
### Sumber Data

- Citra Sentinel 1-A (SLC)  
 Path 3, Frame 617  
 Descending  
 Tanggal Akuisisi :  
 07 Maret 2020  
 19 Maret 2020  
 24 April 2020  
 - Precise Orbit  
 Ephemerides (POE)

Disusun Oleh : Eka Diah Nur Safitri (0331174000006)

Dosen Pembimbing : Dr-Ing. Noorlaila Hayati, S.T, M.T.  
 Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 2021



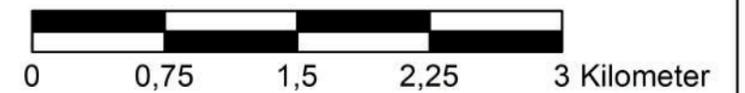
Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community



**PETA DEM INSAR  
07 - 19 MARET 2020  
GUNUNG SEMERU, JAWA TIMUR**



SKALA 1 : 40.000

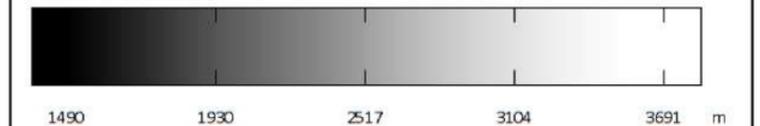


**Informasi Kartografi**

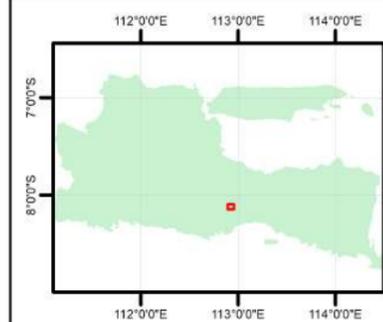
Datum : WGS 1984  
 Proyeksi : UTM Zona 49 S  
 Unit Grid : Lintang - Bujur Interval 00° 01' 00"

**Legenda**

Nilai Elevasi (m)



● Titik Sampel Profil DEM



**Sumber Data**

- Citra Sentinel 1-A (SLC)  
 Path 3, Frame 617  
 Descending  
 Tanggal Akuisisi :  
 07 Maret 2020  
 19 Maret 2020  
 - Precise Orbit  
 Ephemerides (POE)

**Disusun Oleh** : Eka Diah Nur Safitri (0331174000006)  
**Dosen Pembimbing** : Dr-Ing. Noorlaila Hayati, S.T, M.T.  
 Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 2021**