

TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN GUNUNG
RAUNG MENGGUNAKAN TEKNOLOGI
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY
SYNTHETIC APERTURE RADAR (DInSAR)
BERDASARKAN ERUPSI 28 JUNI 2015**

RANI FITRI FEBRIYANTI
NRP 3513 100 015

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN GUNUNG
RAUNG MENGGUNAKAN TEKNOLOGI
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY
SYNTHETIC APERTURE RADAR (DInSAR)
BERDASARKAN ERUPSI 28 JUNI 2015**

**RANI FITRI FEBRIYANTI
NRP 3513 100 015**

**Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.**

**Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RG 141536

**SURFACE DEFORMATION ANALYSIS AT
MOUNT RAUNG USING DIFFERENTIAL
INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE
RADAR (DInSAR) TECHNOLOGY BASED ON
ERUPTION JUNE 28th, 2015**

**RANI FITRI FEBRIYANTI
NRP 3513 100 015**

**Supervisor
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.**

**GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN GUNUNG RAUNG
MENGUNAKAN TEKNOLOGI *DIFFERENTIAL
INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR*
(DInSAR) BERDASARKAN ERUPSI 28 JUNI 2015

Nama : Rani Fitri Febriyanti
NRP : 3513100015
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Pembimbing : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

ABSTRAK

Gunung Raung merupakan salah satu gunung api aktif Indonesia yang terletak di bagian timur pulau Jawa. Pada tanggal 24 Juni 2015 citra satelit BMKG mendeteksi adanya peningkatan aktivitas pada gunung Raung yang mengakibatkan terjadinya erupsi pada tanggal 28 Juni 2015. Erupsi yang terjadi menyebabkan adanya perubahan (deformasi) pada permukaan gunung Raung. Deformasi yang ada pada permukaan gunung Raung dapat diukur dengan berbagai teknologi, salah satunya yaitu menggunakan teknologi *Differential Interferometry SAR* (DInSAR). Dalam penelitian ini pengukuran deformasi pada permukaan gunung Raung dilakukan pengolahan dengan teknologi DInSAR metode *two-pass* dan *three-pass* dari tiga buah citra satelit *Sentinel-1A* bulan Juni 2015, Juli 2015, dan September 2015 serta DEM SRTM 30 meter. Penggunaan dua metode ini digunakan untuk membandingkan hasil pengolahan dari kedua metode tersebut jika diterapkan bersamaan apakah memiliki hasil yang sama atau berbeda.

Hasil menunjukkan bahwa metode *two-pass* dan *three-pass* teknologi DInSAR dapat di terapkan untuk mengetahui deformasi permukaan gunung Raung, yang menunjukkan terjadinya deformasi mayoritas ada di kaldera gunung Raung. Dari kedua metode, nilai *LOS displacement* yang dihasilkan memiliki nilai yang sama pada

kaldera bagian utara dan selisih relatif kecil, yakni 1 mm pada kaldera bagian selatan. Sedangkan perbedaan terdapat pada kaldera bagian timur dan barat, yang memiliki selisih hasil cukup besar, yakni ~40 mm. Metode *three-pass interferometry* dapat menunjukkan hasil deformasi yang signifikan di banding dengan metode *two-pass*, yang dapat dilihat di kaldera bagian timur dan barat, jika dikaitkan dengan kondisi geologi gunung Raung yang mengalami aktivitas dari bulan Agustus 2015 hingga awal tahun 2016 menurut laporan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Meskipun begitu untuk mengetahui besar nilai deformasi yang akurat perlu dilakukan pengukuran secara langsung di lapangan

Kata Kunci : Deformasi, DInSAR, Sentinel-1A , Gunung Raung

***SURFACE DEFORMATION ANALYSIS AT MOUNT RAUNG
USING DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY SYNTHETIC
APERTURE RADAR (DInSAR) TECHNOLOGY BASED ON
ERUPTION JUNE 28th, 2015***

Name : Rani Fitri Febriyanti
NRP : 3513 100 015
Department : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Supervisor : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

ABSTRACT

Mount Raung is one of active volcanoes in Indonesia which located in East Java. On June 24th 2015, BMKG's satellite imagery detected an increase activity at mount Raung which caused an eruption on June 28th 2015. The eruption can cause deformation on the surface of volcano. Surface deformation at mount Raung can be measured by various technology, one of the technology is using Differential Interferometry SAR (DInSAR) technology. In this research, measurement of deformation on the surface of mount Raung processed by DInSAR technology with two-pass and three-pass method, derived from three images Sentinel-1A in June 2015, July 2015, and September 2015, and DEM SRTM 30 meter. The use of these two methods is to compare the result either have same value or not. The result of this research shows that two-pass and three-pass methods can be applied to find out deformation on the surface of mount Raung. The main deformation happened in the caldera of mount Raung. From these two methods, LOS displacement have the same value at north caldera and relatively small difference of value, i.e. 1 mm at south caldera of mount Raung. While the difference occur at east and west caldera of mount Raung, whose the value have large difference, i.e. ~40 m.

Three-pass method showed significant deformation result than two-pass method, that can be seen at east and west caldera, which can be attributed to Raung mountain geological condition experiencing activity from August 2015 to early 2016 according to Centre of Volcanology and Geological Hazard Mitigation (PVMBG) report. However, to find out more accurate value of deformation, it is necessary to measure it directly in the field.

Key Word : Deformation, DInSAR, Sentinel-1A, Mount Raung

**ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN GUNUNG
RAUNG MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *DIFFERENTIAL
INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR*
(DInSAR) BERDASARKAN ERUPSI 28 JUNI 2015**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

RANI FITRI FEBRIYANTI
NRP. 3513 100 015

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19781231 200212 001



(Handwritten signature)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala kekuatan, kesabaran, dan kesehatan yang diberikan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Deformasi Permukaan Gunung Raung Menggunakan Teknologi *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* Berdasarkan Erupsi 28 Juni 2015**” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Dengan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini hingga selesai dengan baik,

Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Alm. Rahmad Basuki dan Sutinik, terima kasih atas curahan kasih sayang, doa, dan dukungan secara moril maupun materil kepada penulis.
2. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan hingga terselesainya Tugas Akhir ini.
3. Bapak Yanto Budisusanto, ST, M.Eng selaku koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Mochamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
5. Sedy Ayu Yulyta dan Awalina Lukmana sebagai kakak tingkat yang telah memberikan motivasi dan bimbingan terkait *SAR*, *InSAR*, dan *GMTSAR*.
6. Teman Seperjuangan, Adillah Alfatinah, Selfi Naufatunnisa, Fitria Alfiansyah, yang telah menemani, menyemangati, dan mau mendengarkan keluh kesah penulis baik suka dan duka selama proses penyelesaian Tugas Akhir berlangsung.
7. Saudara seperjuangan angkatan 2013, terima kasih atas waktunya selama 4 tahun yang indah ini sehingga dapat saling merasakan suka dan duka bersama.

8. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karenanya penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya. Akhirnya, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat dibaca oleh semua pihak dan dapat memberikan tambahan wawasan serta manfaat yang besar.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vii |
| LEMBAR PENGESAHAN | ix |
| KATA PENGANTAR | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xix |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Gambaran Umum Gunung Raung | 5 |
| 2.2 Deformasi | 6 |
| 2.3 RADAR (<i>Radio Detection and Ranging</i>) | 8 |
| 2.4 SAR (<i>Synthetic Aperture Radar</i>) | 12 |
| 2.5 InSAR (<i>Interferometry Synthetic Aperture Radar</i>) | 13 |
| 2.6 Interferogram | 14 |
| 2.6.1 Koregistrasi Citra SAR | 15 |
| 2.6.2 Koherensi Citra SAR | 16 |
| 2.6.3 Faktor Koherensi | 16 |
| 2.7 DInSAR (<i>Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar</i>) | 17 |
| 2.8 Sentinel-1 | 19 |
| 2.9 GMTSAR | 20 |
| 2.10 Penelitian Terdahulu | 21 |
| BAB III METODOLOGI | 23 |
| 3.1 Lokasi Penelitian | 23 |
| 3.2 Data dan Peralatan | 23 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 3.2.1 | Data | 23 |
| 3.2.2 | Peralatan | 25 |
| 3.3 | Metodologi Penelitian..... | 26 |
| 3.3.1 | Tahapan Penelitian..... | 26 |
| 3.3.2 | Tahapan Umum Pengolahan SAR | 28 |
| 3.3.3 | Tahapan Pengolahan SAR dengan GMTSAR..... | 33 |
| BAB IV | HASIL DAN ANALISA..... | 41 |
| 4.1 | Hasil Pengolahan Data SAR | 41 |
| 4.1.1 | Panjang Baseline dan Interval Waktu | 41 |
| 4.1.2 | Interferogram Phase dan Amplitude | 42 |
| 4.1.3 | Koherensi Citra SAR | 46 |
| 4.1.4 | Citra Interferogram Setelah Filtering | 53 |
| 4.1.5 | Citra Interferogram Setelah Unwrapping | 56 |
| 4.1.6 | Interferogram Setelah Geocode | 58 |
| 4.1.7 | Geometri Pencitraan Studi Kasus | 58 |
| 4.1.8 | Nilai Phase Unwrapping | 60 |
| 4.2 | Analisa Besar Deformasi Area Studi | 64 |
| 4.2.1 | Analisa Besar Deformasi Metode Two-pass Interferometry..... | 64 |
| 4.2.2 | Analisa Besar Deformasi Metode Three-pass Interferometry..... | 70 |
| 4.2.3 | Analisa Perbandingan Besar Deformasi..... | 76 |
| 4.3 | Analisa Kondisi Geologi..... | 79 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | 81 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 81 |
| 5.2 | Saran..... | 82 |
| | DAFTAR PUSTAKA..... | 83 |
| | LAMPIRAN | |
| | BIOGRAFI PENULIS | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Visual Kawah Gunung Raung | 5 |
| Gambar 2.2 Ilustrasi Deformasi (Inflasi dan Deflasi) Pada Gunung Api..... | 7 |
| Gambar 2.3 Prinsip Kerja RADAR | 9 |
| Gambar 2.4 Geometri Pencitraan Radar | 11 |
| Gambar 2.5 Resolusi searah lintasan (Azimuth Resolution)..... | 13 |
| Gambar 2.6 Interferogram Pasangan Citra ERS-1 dan ERS-2..... | 15 |
| Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Gunung Raung | 23 |
| Gambar 3.2 Scene Data Sentinel-1A | 24 |
| Gambar 3.3 Diagram Alir Tahapan Penelitian | 27 |
| Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data SAR Metode Two- Pass Interferometry | 29 |
| Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data SAR Metode Three- Pass Interferometry | 30 |
| Gambar 3.6 Diagram Pengolahan Pada GMTSAR..... | 34 |
| Gambar 3.7 DEM SRTM dengan koordinat geografis | 37 |
| Gambar 3.8 Interferogram Phase a) Sebelum Filtering ; b) Setelah Filtering..... | 38 |
| Gambar 4.1 Citra Interferogram (a) Phase 18 Juni 2015-12 Juli 2015 ; (b) Amplitude 18 Juni 2015-12 Juli 2015.... | 43 |
| Gambar 4.2 Citra Interferogram (a) Phase 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015; (b) Amplitude 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015 .. | 44 |
| Gambar 4.3 Citra Interferogram (a) Phase 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015; (b) Amplitude 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015 . | 45 |
| Gambar 4.4 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 | 48 |
| Gambar 4.5 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015 | 49 |
| Gambar 4.6 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015 | 49 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.7 Koherensi Citra Interferogram 18 Juni 2015 – 12 Juli 2015 | 50 |
| Gambar 4.8 Koherensi Citra Interferogram 12 Juli 2015 – 22 Sept 2015 | 51 |
| Gambar 4.9 Koherensi Citra Interferogram 18 Juni 2015 – 22 Sept 2015 | 52 |
| Gambar 4.10 Pasangan 18 Juni 2015-12 Juli 2015 (a) Sebelum Filtering ; (b) Setelah Filtering ; (c) hasil close-up sebelum filtering ; (d) hasil close-up setelah filtering | 54 |
| Gambar 4.11 Pasangan 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015 a) Sebelum Filtering ; b) Sesudah Filtering ; (c) hasil close-up sebelum filtering ; (d) hasil close-up setelah filtering | 55 |
| Gambar 4.12 Pasangan 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015 a) Sebelum Filtering ; (b) Setelah Filtering ; (c) hasil close-up sebelum filtering ; (d) hasil close-up setelah filtering | 56 |
| Gambar 4.13 Citra Interferogram Setelah Proses Unwrapping (a) Pasangan 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 ; (b) 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015 ; (c) 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015 | 57 |
| Gambar 4.14 Citra SAR Phase yang Ber-Georeference | 58 |
| Gambar 4.15 Nilai Phase Unwrap yang Kosong | 59 |
| Gambar 4.16 Citra Hasil Pengolahan DInSAR, Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 | 61 |
| Gambar 4.17 Citra Hasil Pengolahan DInSAR, Pasangan Citra 12 Juli 2015 - 22 September 2015 | 62 |
| Gambar 4.18 Citra Hasil Pengolahan DInSAR, Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 22 September 2015 | 63 |
| Gambar 4.19 Peta Cross-Section a) Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 - b) 12 Juli 2015 - 22 September 2015 | 66 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.20 Grafik Cross-section Metode Two-pass Interferometry | 68 |
| Gambar 4.21 Peta Cross-Section a) Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 - b) 18 Juni 2015 - 22 September 2015 | 72 |
| Gambar 4.22 Grafik Cross-section Metode Three-pass Interferometry | 74 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Panjang Gelombang Radar dan Frekuensi yang Digunakan dalam Penginderaan Jauh..... | 9 |
| Tabel 3.1 Data Sentinel-1A yang digunakan | 24 |
| Tabel 3.2 Data Precise Orbit Ephemerides yang digunakan | 25 |
| Tabel 3.3 Tabel Spesifikasi Personal Computer | 25 |
| Tabel 4.1 Baseline Perpendicular dan Jarak Temporal | 42 |
| Tabel 4.2 Tabel Besar Deformasi | 77 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Parameter Baseline
- Lampiran 2. Tabel Besar Deformasi Kaldera Gunung Raung Bagian Utara, Selatan, Barat, Timur (Metode *Two-Pass* Interferometry)
- Lampiran 3. Tabel Besar Deformasi Kaldera Gunung Raung Bagian Utara, Selatan, Barat, Timur (Metode *Three-Pass* Interferometry)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gunung Raung merupakan gunung aktif dengan puncak tertinggi mencapai 3332 m di atas permukaan laut yang terletak di tiga kabupaten di Jawa Timur, yakni Kabupaten Jember, Kabupaten Banyuwangi, dan Kabupaten Bondowoso. Gunung Raung sendiri memiliki sejarah letusan pertama kali diketahui tahun 1586 yang berupa letusan dahsyat melanda beberapa daerah dan terdapat korban manusia. Gunung Raung tercatat beberapa kali mengalami erupsi yang bersifat eksplosif seperti pada tahun 1586, 1597, 1683, 1890, 1953, dan 1956 (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana, 2014).

Seperti yang diinformasikan oleh Kompas tahun 2015 bahwa gunung Raung mengalami peningkatan aktivitas sejak 24 Juni 2015 yang terdeteksi oleh citra satelit BMKG dan kemudian mengalami erupsi pada hari Minggu tanggal 28 Juni 2015 pukul 20:00 WIB.

Dikarenakan adanya aktivitas magma pada gunung api seperti *uplift* sebelum erupsi dan penurunan pada saat erupsi (Amelung dkk, 2000) dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada permukaan gunung api (Antonielli dkk, 2014). Pengukuran deformasi permukaan sangat penting untuk memahami proses dari gunung api itu sendiri dan bencana yang disebabkannya, selain itu dapat memberikan wawasan penting mengenai struktur, pipa, dan keadaan dari gunung api itu sendiri (Ji dkk, 2013). Pada prinsipnya deformasi dari tubuh gunung api dapat berupa penaikan permukaan tanah (inflasi) atau penurunan permukaan tanah (deflasi) (Suganda dkk, 2007).

Untuk pengamatan deformasi pada gunung api sendiri ada banyak metode yang dapat dilakukan seperti penggunaan GPS (*Global Positioning System*), seismometer, dan data survei geofisika lainnya untuk membantu mendeteksi dinamika kegiatan gunung berapi (Chang-Wook dkk, 2008), selain itu dapat

menggunakan teknologi satelit penginderaan jauh aktif yang menyediakan cakupan global untuk pemantauan gunung api (Rivera dkk, 2016).

Pengamatan deformasi pada permukaan gunung api di Indonesia telah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti baik menggunakan teknologi DInSAR, InSAR maupun GPS (Yudha dkk, 2011; Jamel dkk, 2013; Haerani dkk, 2010; Maraden, 2012; Kusman, 2008). *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) merupakan teknik berbasis radar yang mengeksplorasi informasi yang ada pada fase, setidaknya dua gambar SAR yang diperoleh pada daerah yang sama, pada waktu yang berbeda, untuk memperoleh pengukuran deformasi pada suatu daerah (Hanssen, 2001). Teknik DInSAR dapat digunakan untuk mengukur pergerakan kecil pada suatu wilayah dari waktu ke waktu. Dengan demikian DInSAR dapat diterapkan di berbagai bidang, baik untuk penelitian ilmiah, penilaian resiko, serta monitoring, utamanya untuk aplikasi pemantauan *land subsidence*, gunung berapi, tanah longsor dan ketidakstabilan tanah, pengukuran tanah yang disebabkan oleh gempa bumi, serta pengukuran kecepatan gerakan gletser (Iodice, 2009).

Penelitian deformasi pada permukaan gunung api yang telah dilakukan sebelumnya dengan teknologi DInSAR (Yudha dkk, 2011; Kusman, 2008) hanya menggunakan metode *two-pass interferometry* saja, sedangkan pada teknologi DInSAR terdapat metode lainnya, yakni *three-pass interferometry*. Sehingga dari metode DInSAR yang ada, tidak dapat diketahui jika metode tersebut diterapkan secara bersamaan akan memiliki hasil yang sama atau berbeda. Oleh karena itu pada penelitian tugas akhir ini diterapkan teknologi DInSAR metode *two-pass interferometry* dan *three-pass interferometry* untuk mendapatkan besarnya deformasi pada permukaan gunung Raung setelah mengalami erupsi yang kemudian dapat di analisis apakah kedua metode tersebut memiliki hasil yang sama atau berbeda.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dari latar belakang tugas akhir yang telah disebutkan sebelumnya adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana menerapkan metode *two-pass interferometry* dan *three-pass interferometry* pada teknologi DInSAR untuk mengetahui deformasi pada permukaan gunung Raung ?
- b. Bagaimana deformasi (inflasi atau deflasi) pada permukaan gunung Raung setelah mengalami erupsi pada 28 Juni 2015 ?
- c. Berapa besar nilai deformasi berdasarkan *Line of Sight* (LOS) pada permukaan gunung Raung setelah mengalami erupsi pada 28 Juni 2015 dengan teknologi DInSAR ?

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 Raung.
- b. Mengetahui besar nilai deformasi (inflasi atau deflasi) pada permukaan gunung Raung setelah erupsi tanggal 28 Juni 2015 berdasarkan *Line of Sight* (LOS).
- c. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data *Sentinel-1A* bulan Juni, Juli, dan September tahun 2015.
- d. Teknik yang digunakan yaitu DInSAR dengan metode *two-pass interferometry* dan *three-pas interferometry* sebagai analisis deformasi pada permukaan gunung Raung.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Membandingkan metode *two-pass interferometry* dan *three-pass interferometry* pada teknologi DInSAR untuk mengetahui deformasi pada permukaan gunung Raung.
- b. Untuk mengamati adanya deformasi (inflasi atau deflasi) pada permukaan gunung Raung dengan menggunakan teknologi DInSAR.

- c. Mendapatkan besaran nilai deformasi berdasarkan *Line of Sight* (LOS) pada permukaan gunung Raung setelah mengalami erupsi pada 28 Juni 2015 menggunakan teknologi DInSAR.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

- a. Dapat memberikan informasi mengenai karakteristik gunung api sebelum dan setelah mengalami erupsi.
- b. Sebagai informasi mengenai gambaran kinerja teknologi DInSAR dalam studi deformasi gunung Raung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Gunung Raung

Gunung Raung memiliki nama lain yakni Rawon dengan puncak tertinggi mencapai 3332 mdpl memiliki koordinat geografis puncak pada 8°7,5' LS dan 114 °2,5' BT dengan wilayah administratif berada di tiga kabupaten di Jawa Timur di antaranya yaitu Kabupaten Jember, Kabupaten Banyuwangi, dan Kabupaten Bondowoso (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana, 2014).

Gunung Raung adalah sebuah gunung api yang besar dan unik, yang berbeda dari ciri gunungapi pada umumnya di pulau Jawa. Keunikan dari puncak gunung Raung adalah kalderanya yang dalamnya sekitar 500 m, selalu berasap dan sering menyemburkan api. Gunung Raung termasuk gunungapi tua dengan kaldera di puncaknya dan dikelilingi oleh banyak puncak kecil, menjadikan pemandangannya benar-benar menakjubkan. Puncak gunung Raung merupakan kerucut terpotong dengan tonjolan dari sisa-sisa endapan lava dan dari sisa endapan piroklastik. Kaldera gunung Raung berbentuk *ellips*, berukuran 1750 x 2250 m, dalamnya 400-550 m di bawah pematang, lereng kaldera sangat terjal.



Gambar 2.1 Visual Kawah Gunung Raung
(Foto : ESDM, 2016)

Sejarah kegiatan gunung Raung yang pertama kali diketahui terjadi pada tahun 1586 berupa letusan dahsyat melanda beberapa daerah dan terdapat korban manusia. Pusat kegiatan gunung Raung saat ini berada pada dasar kaldera. Bulan Februari 1902, pada dasar kaldera muncul kerucut pusat setinggi ± 90 m. Karakter letusan gunung Raung bersifat eksplosif seperti yang terjadi pada tahun 1586, 1597, 1638, 1890, 1953, dan 1956, menghasilkan abu yang dilontarkan ke udara dan pernah terjadi awan panas yang meluncur menyelimuti sebagian tubuh gunungapinya pada tahun 1953. Bahaya utama letusan gunung Raung atau bahaya primer adalah bahaya akibat langsung dari letusan seperti luncuran awan panas dan lontaran piroklastik. Periode Letusan. Berdasarkan sejarah kegiatannya periode erupsi terpendek antara 2 letusan adalah 1 tahun dan terpanjang 90 tahun.

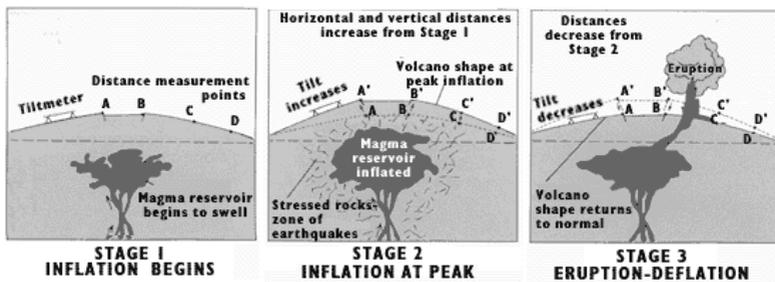
2.2 Deformasi

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, *subsidence*, longsor, tsunami, tektonik lempeng, pasang surut, atmosferik, proses hidrologi. Jenis dari deformasi dapat dibagi menajadi 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 relative 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).

Untuk mengetahui terjadinya deformasi pada suatu tempat atau objek diperlukan suatu survei atau pengamatan, yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika adalah survei *geodetic* yang digunakan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika. Fenomena-fenomena tersebut terbagi menjadi 2, yaitu fenomena deformasi dan geodinamika yang disebabkan oleh alam seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung berapi, gempa bumi dan lain-lain. Fenomena yang lain adalah fenomena deformasi dan geodinamika yang disebabkan oleh manusia seperti bangunan, jembatan, bendungan, dan lain sebagainya. Gunung berapi akan mengalami perubahan tergantung dari besar letusan dan material yang dikeluarkan saat material.



Gambar 2.2 Ilustrasi Deformasi (Inflasi dan Deflasi) Pada Gunung Api
(Sumber : www.teachengineering.org)

Deformasi permukaan pada gunung api adalah perubahan pada bentuk yang dapat terjadi sebelum saat dan sesudah terjadinya erupsi. 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 mulainya erupsi baru. Prinsip dasar permukaan tanah adalah ketika gunung api yang akan meletus menunjukkan peningkatan tekanan di dapur magma dan tekanan ini bisa menyebabkan gunung api tersebut mengembang (inflasi) dan

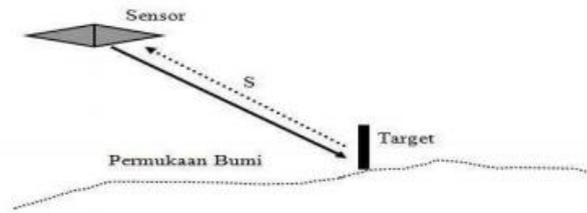
apabila tekanan tersebut turun setelah meletus maka gunung api akan menunjukkan gejala mengempis (deflasi) (Rusydy, 2012).

Biasanya besarnya nilai deformasi sangat kecil, pada kisaran *centimeter* atau kurang dan dapat dideteksi dengan alat yang sangat sensitif. Pada prinsipnya, perubahan deformasi untuk gunung berapi dipantau dengan melihat perubahan bentuknya, sehingga dapat diperkirakan letak letusan, letak kerusakan letusan tersebut, serta besar penurunan tanahnya.

Perubahan permukaan ini dapat dipantau dengan berbagai metode, salah satunya dengan metode penginderaan jauh dengan memanfaatkan metode interferometri dari data radar. Metode lainnya adalah metode pengamatan posisi menggunakan alat GPS (*Global Positioning System*) ; pengamatan perubahan jarak antar dua titik menggunakan *Electronic Distance Measurement* (EDM) atau dengan menggunakan *titl-meter*. Indikasi perubahan permukaan bumi dikombinasikan dengan pengamatan visual dan instrumental lainnya (misalnya *seismometer*) memungkinkan analisa kondisi suatu gunung api menjadi lebih lengkap dan akurat. Hal ini membantu dalam pengambilan keputusan untuk perlu tidaknya evakuasi dilakukan apabila terdapat peningkatan aktivitas kegungungan.

2.3 RADAR (*Radio Detection and Ranging*)

RADAR adalah salah satu sistem penginderaan jauh (inderaja) yang tidak dipengaruhi oleh cuaca dan waktu dalam proses pengerjaannya karena merupakan metode perekaman aktif, dimana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi, tidak tergantung ada radiasi matahari (Sari, 2014).



Gambar 2.3 Prinsip Kerja RADAR
(Sumber : Haniah, 2011)

Radar bekerja pada gelombang elektromagnetik berupa gelombang radio dan gelombang mikro, dengan panjang gelombang beberapa milimeter hingga satu meter. Gelombang radio dan gelombang mikro tersebut dipancarkan ke seluruh permukaan bumi dan pantulannya terdeteksi oleh sistem radar yang selanjutnya digunakan untuk mendeteksi objek seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.3. Sehingga dengan demikian sistem ini sering disebut dengan penginderaan jauh aktif (Haniah, 2011). Radar menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 0,3 – 40 GHz dan panjang gelombang 0,7 cm – 100 cm. Hanya beberapa band saja yang dapat digunakan untuk pencitraan karena adanya perbedaan interaksi antara atmosfer dan permukaan bumi pada setiap panjang gelombangnya (Tomiyama, 2010).

Tabel 2.1 Panjang Gelombang Radar dan Frekuensi yang Digunakan dalam Penginderaan Jauh

| Gelombang (band) | Panjang Gelombang (cm) | Frekuensi (GHz) |
|------------------|------------------------|-----------------|
| Ka | 1,11-0,75 | 27-40 |
| K | 1,67-1,11 | 18-27 |
| Ku | 2,50-1,67 | 12-18 |
| X | 3,75-2,50 | 8-12 |
| C | 7,5-3,75 | 4-8 |
| S | 15-7,5 | 2-4 |
| L | 30-15 | 1-2 |

(Sumber : IEEE *Standard Radar Band*, 521-2002)

Besar kecilnya panjang gelombang elektromagnetik mempengaruhi terhadap penetrasi gelombang tersebut pada objek di permukaan bumi. Semakin besar panjang gelombang yang digunakan maka semakin kuat daya penetrasi gelombang tersebut.

Polarisasi pada sinyal radar menandai orientasi gelombang elektromagnetik yang di transmisikan dan diterima oleh antena. Sistem radar dapat di konfigurasi untuk mentransmisikan baik polarisasi secara horizontal atau vertikal dan untuk menerima baik polarisasi secara horizontal atau vertikal yang dikembalikan oleh objek di permukaan tanah.

Biasanya pencitraan radar 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*. Tetapi ada 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 : 214-215).

Jadi 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 2.4. 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.

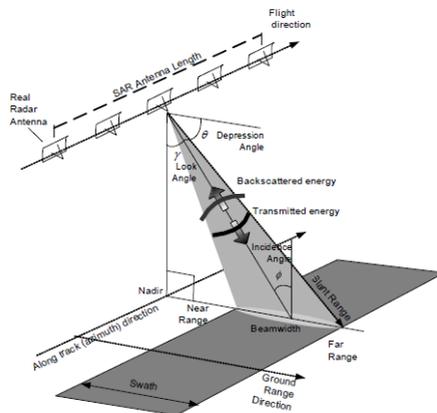
d. *Look Direction*

Look direction merupakan arah antenna saat melakukan pencitraan

Arah pencitraan radar yang kesamping menyebabkan adanya perbedaan representasi topografi pada citra radar sehingga terjadi distorsi, diantaranya (Indra, 2011) :

a. *Foreshortening* (pemendekan)

Foreshortening mengakibatkan proyeksi objek hasil pencitraan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan panjang yang sebenarnya. Distorsi ini bergantung pada *look angle* dari radar, semakin besar *look angle* maka efek *foreshortening* akan semakin kecil.



Gambar 2.4 Geometri Pencitraan Radar
(Sumber : Sambodo dan Musyarofah, 2011)

b. *Shadow*

Shadow terjadi akibat tidak adanya gelombang pantul yang diterima kembali oleh radar. Ketiadaan gelombang pantul tersebut dikarenakan gelombang yang dipancarkan radar tidak mengenai permukaan akibat terhalang oleh suatu objek. *Shadow* biasanya ditandai adanya bagian yang tampak gelap pada citra.

c. *Layover*

Layover mengakibatkan titik atau objek yang jauh menjadi lebih dekat dengan sensor radar. *Layover* umumnya terjadi pada objek yang lebih tinggi dibandingkan objek didepanya. Hal tersebut terjadi karena gelombang yang dipantulkan oleh objek yang lebih tinggi akan diterima terlebih dahulu oleh sensor radar.

2.4 SAR (*Synthetic Aperture Radar*)

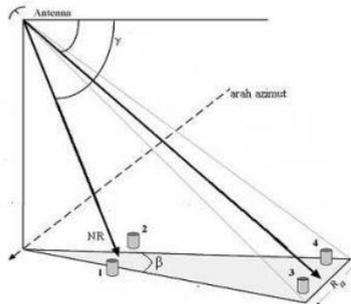
SAR merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari, hal ini dikarenakan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) dalam pengamatan permukaan bumi. Menurut Haniah (2011) dan ESA (2000) bahwa resolusi SAR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

a. *Range Resolution* (Resolusi Melintang Lintasan)

Resolusi dari pulsa radar adalah 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 azimut (α) 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 (β) dari gelombang mikro yang dipancarkan dan jarak dari wahana ke objek.



Gambar 2.5 Resolusi searah lintasan (*Azimuth Resolution*)
(Sumber : Haniah, 2011)

2.5 InSAR (*Interferometry Synthetic Aperture Radar*)

Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR) merupakan suatu teknik penginderaan jauh yang digunakan untuk mengekstreksi informasi tiga dimensi dari permukaan bumi dengan pengamatan fase gelombang radar (Haniah, 2011). 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* (ϕ):

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.

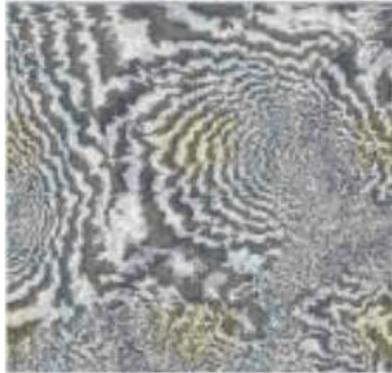
b. Phase

Phase merupakan kondisi oksilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang sejauh 2π (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 konduktifitas 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).

2.6 Interferogram

Dalam melakukan proses InSAR diperlukan dua data citra SAR untuk menghitung beda fase dari dua data tersebut, dimana hasil dari proses InSAR divisualisasikan dalam bentuk *interferogram* yang dapat dilihat pada gambar 2.6. Pada *interferogram* terlihat garis-garis tepi yang disebut *fringes*. *Fringes* menunjukkan rentang fase antara $0 - 2\pi$ dalam bentuk warna.

Gambar 2.6 menunjukkan antara warna yang pertama dengan warna yang sama berikutnya (misalnya dari awal hitam ke awal hitam berikutnya, atau dari awal putih ke awal putih berikutnya), perbedaan yang terjadi adalah sebesar 2π (Ismullah, 2004).



Gambar 2.6 Interferogram Pasangan Citra *ERS-1* dan *ERS-2*
(Sumber : Ismullah, 2004)

2.6.1 Koregistrasi Citra SAR

Dalam tahap ini merupakan tahap yang sangat penting dan dalam waktu yang cukup lama. Tahap awal ini sangat berpengaruh terhadap hasil *interferogram*.

Terdapat 2 hal penting dalam proses koregistrasi citra, diantaranya:

a. Koregistrasi Citra Kompleks

Salah satu citra kompleks yang setiap *pixel*-nya mempunyai harga dalam bilangan kompleks adalah citra SAR. Jika terdapat dua buah citra (SLC) dengan objek yang sama, maka informasi fase dari kedua citra tersebut dapat dikombinasikan. *Pixel* kompleks dapat digambarkan sebagai suatu vektor, dimana panjang vektor menyatakan amplitudo (a) sedang arah/ orientasinya menyatakan fase (ϕ).

b. Parameter Koregistrasi

Terdapat nilai parameter utama dalam tahap koregistrasi yaitu translasi, skala, rotasi, dan kemiringan. Nilai parameter tersebut akan berpengaruh terhadap koordinat dari citra tersebut.

2.6.2 Koherensi Citra SAR

Koherensi (korelasi) antara kedua citra juga harus diperhitungkan dalam proses pembentukan data *interferogram*. Koherensi adalah koefisien korelasi dari citra SAR pada bagian terkecil. Dimana persyaratan yang diberikan oleh *European Space Agency* (ESA), nilai minimum koherensi untuk pembentukan Model Tinggi Permukaan *Digital* adalah 0,20. Untuk penelitian mengenai deformasi pada permukaan gunung api nilai batas koherensi yang digunakan yaitu 0,70 berdasarkan beberapa penelitian mengenai deformasi gunung api yang telah dilakukan sebelumnya (Rivera dkk, 2016 ; Gourmelen dkk, 2010 ; Chaussard dan Amelung, 2012) tetapi batas nilai koherensi 0,4 juga dapat diterapkan berdasarkan penelitian yang di lakukan oleh Bagnardi dan Amelung (2012).

2.6.3 Faktor Koherensi

Menurut Adragna, dkk (2008), lihat juga pada Yulyta (2015) dalam nilai koherensi dipengaruhi oleh 4 dekorelasi yaitu :

a. Dekorelasi Waktu

Data yang diperoleh secara tidak bersamaan yang diperoleh secara tidak bersamaan, menyebabkan hilangnya koherensi citra atau menurunnya kualitas fase (*interferogram*) karena perubahan temporal, seperti : perubahan reaksi vegetasi, pergerakan permukaan air secara terus menerus, erosi tanah, dan aktivitas manusia.

b. Dekorelasi Geometri

Jika dua akuisisi data diperoleh dari kondisi geometri yang sama dan reflektornya tidak bergeser, maka jumlah reflektor akan sama (nilai *phase* juga sama). Namun jika kondisi geometri dua akuisisi berubah maka jumlah reflektor akan berbeda, dan fase akan termodifikasi. Karena terdapat pemancaran gelombang yang bermacam- macam, maka frekuensi yang dibawa juga akan bervariasi. *Shift frequency* (pergeseran frekuensi) antar dua akuisisi diperoleh dari dua kejadian yang berbeda.

c. Dekorelasi Atmosfer

i. Lapisan *Troposfer*

Jika indeks bias lebih tinggi dari 1, maka kecepatan lintas gelombang akan semakin rendah dari kecepatan cahaya, yang mana terjadi pemanjangan gelombang. Efek *troposfer* memperpanjang gelombang sehingga menimbulkan kesalahan dalam penentuan jarak.

ii. Lapisan Ionosfer

Penyimpangan kerapatan elektron pada lapisan *ionosfer* (F) membuat lintasan garis edar memendek. Penyimpangan *ionosfer* berkaitan dengan pembentukan awan, gelembung *ionosfer*, lebih umumnya karena variasi uap air pada *troposfer*.

d. Dekorelasi Suhu

Menurut Hanssen (2001) pengaruh dari gangguan panas terhadap nilai fase didapatkan dengan memperhatikan nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR). SNR merupakan ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas, dimana ukuran panas tersebut terjadi karena proses penguatan (*amplification*) dari sinyal radar yang diterima oleh antena.

2.7 **DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar)**

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).

Differential Interferogram merupakan kontribusi berdasarkan *ground displacement* antara akuisisi dan ditambahkan dengan komponen lainnya, sesuai dengan persamaan 1.

$$\phi_{\Delta t} = \phi_{\text{def}} + \phi_h + \phi_{\text{atm}} + \phi_{\beta} + \phi_{\eta} \quad (1)$$

Dimana ϕ_{def} merupakan perubahan *phase* berdasarkan perubahan dari piksel oleh arah *satellite line of sight* (LOS), ϕ_h merupakan error *phase* topografi, ϕ_{atm} menunjukkan *phase delay* akibat atmosfer, ϕ_{β} adalah residual *phase* yang disebabkan oleh *error* orbit, dan ϕ_{η} merupakan gangguan *phase*. Penggunaan teknik standar DInSAR untuk pengamatan deformasi permukaan tanah cocok ketika ϕ_{def} melampaui empat komponen fase lainnya yang direpresentasikan pada persamaan 1. Oleh karena itu penggunaan DEM yang presisi disarankan sebagai penyelesaian pada kesalahan fase topografi.

Teknik DInSAR diaplikasikan untuk memperoleh deformasi jangka panjang serta mengukur jangka pendek dari perubahan deformasi pada permukaan gunung berapi (Papageorgiu dkk, 2012). Berdasarkan metode DInSAR terbagi atas 3 jenis yaitu *Two-Pass DInSAR*, *Three-Pass DInSAR*, *Four-Pass DInSAR* (Ferretti dkk, 2007).

a. *Two-Pass DInSAR*

Metode dual pass DInSAR merupakan metode yang menggunakan dua buah citra SAR dan *Digital Elevation Model* (DEM). Citra SAR tersebut akan digunakan untuk mendapatkan interferogram, sedangkan DEM digunakan untuk menghilangkan pengaruh topografi pada fase interferogram. Metode ini menggunakan model elevasi (DEM) eksternal yang dikonversikan ke dalam koordinat radar. Kesalahan yang terdapat pada data DEM ini pada akhirnya akan merambat pada hasil perhitungan DInSAR. Dengan kata lain, semakin baik kualitas DEM yang digunakan, maka semakin baik pula citra DInSAR yang dihasilkan.

Pada metode ini bisa menggunakan lebih dari dua citra SAR. Jika menggunakan 3 buah citra SAR maka akan ada dua pasangan citra SAR, pasangan pertama menggunakan citra SAR 1 dan 2, pasangan kedua menggunakan citra SAR 2 dan 3 (Yudha dkk, 2011)

b. *Three-Pass DInSAR*

Metode ini membutuhkan pasangan topografi yang diperoleh dari citra SAR 1 dan 2 dimana selisih temporal dari dua pengamatan tersebut saling berdekatan, sehingga tidak ada unsur *subsidence* didalam model topografi itu atau dianggap tidak memiliki kesalahan *subsidence*. Kemudian dibutuhkan pasangan topografi yang masih dipengaruhi oleh *subsidence* yang diperoleh dari citra SAR 1 dan 3 yang memiliki selisih temporal yang cukup berjauhan. Pasangan citra ini selanjutnya diproses untuk menghasilkan data topografi yang diperlukan pada pengolahan DInSAR.

c. *Four-Pass DInSAR*

Secara umum metode ini hampir sama dengan *three pass* interferometri, namun pada metode ini digunakan empat buah citra dari empat akuisisi data yang berbeda. Interferogram hasil kombinasi empat buah citra inilah yang akan digunakan pada proses *differencing*.

2.8 Sentinel-1

ESA Sentinels akan menjadi seri pertama dari operasi satelit yang bertemu dengan pengamatan bumi oleh *European Union ESA Global Monitoring for Environment and Security Programme* (GMES). *Sentinel-1* merupakan produk pertama dari ESA Sentinels.

ESA mengembangkan *Sentinel-1 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/malam hari untuk layanan pengguna, terutama yang diidentifikasi dalam layanan GMES ESA pada proyek yang dani oleh *European Union (EU) Framework Programmes*.

Satelit *Sentinel-1* 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-1 memiliki 4 mode standar operasional yang didesain untuk interoperabilitas dengan sistem lainnya :

- Mode *Strip Map*, swat 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-1* memiliki *single polarisation* (VV / HH) dan untuk mode lainnya memiliki *dual polarisation* (VV+VH atau HH+HV). *Sentinel-1* didesain untuk aplikasi pada resolusi medium pada mode utama : *wide swath* (250km) dan medium resolusi (5x20 m).

2.9 GMTSAR

GMTSAR (*Generic Mapping Tools Synthetic Aperture Radar*) merupakan *software open source* (*GNU General Public License*) yang dapat digunakan untuk melakukan penelitian terkait area topografi dan perubahan muka tanah melalui aplikasi geodesi *InSAR*. *GMTSAR* dapat dijalankan dengan *platform* apa saja yang telah terpasang *software GMT* dan *NetCDF*. Program ini dapat diunduh dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar>. Sedangkan untuk data orbit citra satelit dapat diunduh dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/tar/ORBITS.tar>.

Pembuat *software* ini adalah David Sandwell, Rob Mellors, Xiaopeng Tong, Xiaohua Xu, Meng Wei, dan Paul Wessel. Semula bahasa pemrograman yang digunakan adalah Fortran kemudian ubah menjadi bahasa C agar dapat dijalankan di berbagai *platform*. Terdapat tiga komponen utama:

1. *preprocessor*, digunakan untuk mengkonversi format data CEOS ke format data turunan.

2. *InSAR processor*, melakukan pengolahan InSAR seperti memfokuskan dan menata citra, mengkonversi data topografi menjadi data *phase*, dan membentuk interferogram kompleks.
3. *postprocessor*, mayoritas menggunakan *GMT* seperti memfilter interferogram, membentuk produk, interferogrametik *phase*, koherensi, beda *phase*, pergeseran LOS dalam sistem koordinat radar dan geografis. *GMT* digunakan untuk menampilkan semua produk tersebut dalam *postscript* dan citra kml untuk *Google Earth*.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian dengan menggunakan teknik DInSAR untuk deformasi pada gunung api telah dilakukan pada beberapa studi kasus. Diantaranya yaitu penggunaan teknik DInSAR pada gunung Merapi tahun 2010 (Maraden, 2012) dari ITB, penggunaan teknik InSAR pada gunung Batur (Kusman, 2008) ITB, penggunaan teknologi InSAR pada gunung Merapi (Yudha dkk, 2011) ITS.

Pada penelitian yang dilakukan Maraden (2012) informasi deformasi pada gunung Merapi diperoleh dengan cara mereduksi semua informasi selain deformasi pada interferogram. DEM Global SRTM 3" digunakan untuk mengeliminasi efek topografi dalam interferogram melalui serangkaian proses diferensial InSAR.

Interferogram yang terbentuk dari beberapa pasang data *ALOS PALSAR* digunakan untuk membentuk DEM dengan resolusi yang lebih baik dari DEM Global SRTM 3". Data ini kemudian digunakan sebagai pembandingan pada proses DInSAR. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa peta deformasi yang didapatkan dengan menggunakan DEM yang diturunkan dari SAR dan DEM Global SRTM 3" menghasilkan pola deformasi yang sama namun memiliki resolusi serta ketelitian yang berbeda. Selain itu juga didapatkan bahwa adanya inflasi yang terjadi pada gunung Merapi sebelum terjadinya erupsi dan setelah erupsi masih terdapatnya inflasi yang relatif lebih rendah dibandingkan sebelum terjadinya erupsi.

Sedangkan penelitian yang dilaksanakan oleh Kusman (2008) mengambil studi kasus gunung Batur. Metode pengolahan yang dilakukan untuk mendapatkan deformasi yaitu dengan *differential* interferometri, 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.

Penelitian pada gunung Merapi lainnya juga dilakukan oleh Yudha (2011) dengan menggunakan data sebelum letusan (16 Juni 2010), saat letusan (16 September 2010) dan sesudah letusan (1 November 2010). Ketiga data yang tersedia kemudian ditentukan pasangannya dan diolah menggunakan metode *Two Pass Interferrometry*.

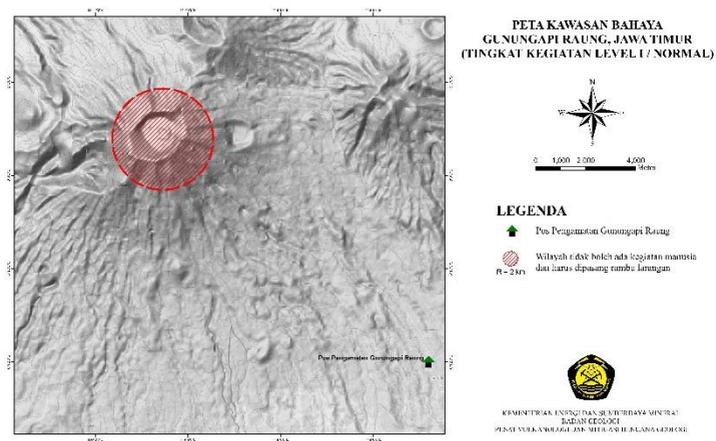
Pada pasangan citra tanggal 16 Juni 2010 dan 16 September 2010, didapatkan informasi berupa naiknya muka tanah di sekitar puncak Gunung Merapi sebesar 4 cm dengan luas 1,400312 km². Sedangkan pada pasangan citra 16 September 2010 dan 1 Nopember 2010 didapatkan informasi naiknya muka tanah sebesar 2 cm untuk areal yang lebih besar dibandingkan pada pasangan citra sebelumnya yaitu dengan luas 64,709913 km². Pada Daerah Sampel 1 dengan koordinat (422758 ; 9163604) m sampai (424510 ; 9164577) m mengalami perubahan muka tanah keatas sebesar 0,4 cm. Daerah Sampel 2 dengan koordinat (422710 ; 9149199) m sampai (424778 ; 9160489) m mengalami perubahan muka tanah keatas sebesar 1,7 cm serta Daerah Sampel 3 dengan koordinat (425387 ; 9164528) m sampai (426652 ; 9161924) m mengalami perubahan muka tanah keatas sebesar 0,3 cm.

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus wilayah gunung Raung yang berada di Provinsi Jawa Timur. Pada koordinat $8^{\circ}4' \text{ LS}$ - $8^{\circ}12' \text{ LS}$ dan $114^{\circ}-114^{\circ}10' \text{ BT}$ dengan batas wilayah gunung Raung sebagai berikut :

- Utara : Kabupaten Bondowoso
- Selatan : Kabupaten Banyuwangi
- Barat : Kabupaten Jember
- Timur : Kabupaten Banyuwangi



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Gunung Raung
(PVMBG, 2014)

3.2 Data dan Peralatan

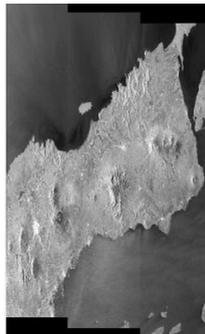
3.2.1 Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dengan rincian data yang digunakan sebagai berikut :

- a. Tiga citra satelit *Sentinel-1A* (level 1.0) yang menggunakan *band C* (bekerja pada frekuensi 5.405 GHz, dengan panjang gelombang 5,6 cm) dengan *single polarisation* (VV). Akuisisi data pada rentang bulan Juni - September 2015. Citra satelit Sentinel-1A didapatkan melalui website <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/> . Berikut data citra satelit Sentinel-1A yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Data *Sentinel-1A* yang digunakan

| No | ID_Scene | Tanggal | Level | Arah |
|----|---|-------------------|------------------------------------|------------------|
| 1 | S1A_IW_SLC__1SSV_20150618T104923_20150618T104953_006426_0087E4_DD9A | 18-Juni-2015 | 1.0 (<i>Single Look Complex</i>) | <i>Ascending</i> |
| 2 | S1A_IW_SLC__1SSV_20150712T104924_20150712T104954_006776_00919E_79B4 | 12-Juli-2015 | 1.0 (<i>Single Look Complex</i>) | <i>Ascending</i> |
| 3 | S1A_IW_SLC__1SSV_20150922T104927_20150922T104957_007826_00AE6A_0B30 | 22-September-2015 | 1.0 (<i>Single Look Complex</i>) | <i>Ascending</i> |



Gambar 3.2 Scene Data *Sentinel-1A*

- b. Data *Precise Orbit Ephemerides* [AUX_PEORB] yang berisi informasi orbit setiap citra *Sentinel-1A* yang akan dilakukan

preprocess. Data orbit didapatkan melalui website https://qc.sentinel1.eo.esa.int/aux_poeorb/ . Berikut data orbit yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Data Precise Orbit Ephemerides yang digunakan

| No | ID_File | Tanggal |
|----|---|-----------------------|
| 1 | S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150708 T122802_V20150617T225944_20150619T0059 44.EOF | 18-Juni-2015 |
| 2 | S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150801 T122402_V20150711T225943_20150713T0059 43.EOF | 12-Juli-2015 |
| 3 | S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20151012 T122334_V20150921T225943_20150923T0059 43.EOF | 22-September- 2015 |

- c. DEM SRTM 30 meter dengan posisi geografis pada $7^{\circ}30'$ sampai dengan $8^{\circ}42'LS$ dan $112^{\circ}30'$ sampai dengan $114^{\circ}42'BT$ dengan format data *grid* (*.grd) yang didapatkan melalui website <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/demgen/>

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Perangkat Keras (*Hardware*)

- *Personal Computer* (PC) Lenovo, digunakan untuk seluruh proses pengolahan data. Dengan spesifikasi dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Tabel Spesifikasi *Personal Computer*

| | |
|----------------|--|
| Sistem Operasi | Ubuntu 16.04 LTS |
| Memory | 7,7 GiB |
| Processor | Intel [®] Core™ i5-6400 CPU @2,70GHz x 4 |
| Graphics | Gallium 0,4 on NV106 |
| OS Type | 64-Bit |
| Disk | 948,6 GB |

b. Perangkat Lunak (*Software*)

- Sistem Operasi *Ubuntu 16.04 LTS* digunakan untuk menjalankan *software GMT* dan *GMT5SAR*.
- *GMT5SAR* merupakan *software open source* yang dapat digunakan untuk melakukan penelitian terkait area topografi dan perubahan muka tanah melalui aplikasi geodesi *InSAR* sehingga dalam penelitian Tugas Akhir ini digunakan untuk pengolahan citra Sentinel-1A.
- *GMT* merupakan *software open source* yang pada penelitian Tugas Akhir ini *software GMT* digunakan untuk proses plotting data hasil pengolahan citra Sentinel-1A.

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahapan Penelitian

Secara garis besar, tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir gambar 3.3. Dengan penjelasan tahap penelitian sebagai berikut :

a. Tahap Persiapan

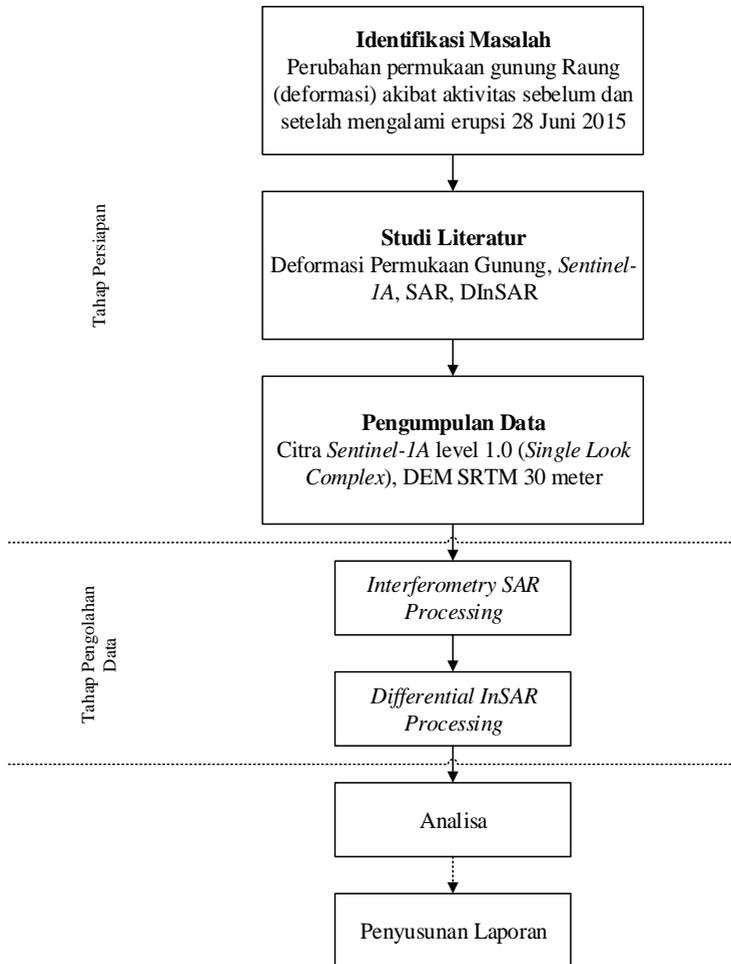
Pada tahapan ini dilakukan beberapa kegiatan diantaranya :

i. Identifikasi Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah mengetahui bagaimana penerapan metode *two-pass* dan *three-pass* pada teknologi DInSAR untuk mengetahui nilai deformasi pada permukaan Gunung Raung setelah mengalami erupsi pada tanggal 28 Juni 2015 dengan melakukan pengamatan dari waktu sebelum terjadinya erupsi hingga setelah terjadinya erupsi pada tahun 2015 menggunakan data citra satelit *Sentinel-1A*.

ii. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data-data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir untuk memperlancar proses pengolahan data. Dalam hal ini data yang dibutuhkan meliputi citra satelit *Sentinel-1A* level 1.0 (*Single Look Complex*) beserta data pendukung lainnya.



Gambar 3.3 Diagram Alir Tahapan Penelitian

b. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini, data *Sentinel-1A* yang digunakan telah dalam format *Single Look Complex* (SLC) yang kemudian dilakukan pembentukan interferogram dari dua citra *Sentinel-1A* pada waktu pengambilan yang berbeda. Dikarenakan interferogram yang

dihasilkan masih mengandung efek topografi, maka pada pengolahan teknologi DInSAR dibutuhkan data DEM SRTM 30 meter untuk melakukan proses penghilangan efek topografi pada interferogram.

c. Tahap Analisa

Dilakukan perbandingan besar deformasi dari proses pengolahan menggunakan metode *two-pass* dan *three-pass* teknologi DInSAR pada penelitian tugas akhir ini mengenai deformasi permukaan Gunung Raung.

d. Tahap Penyusunan Laporan

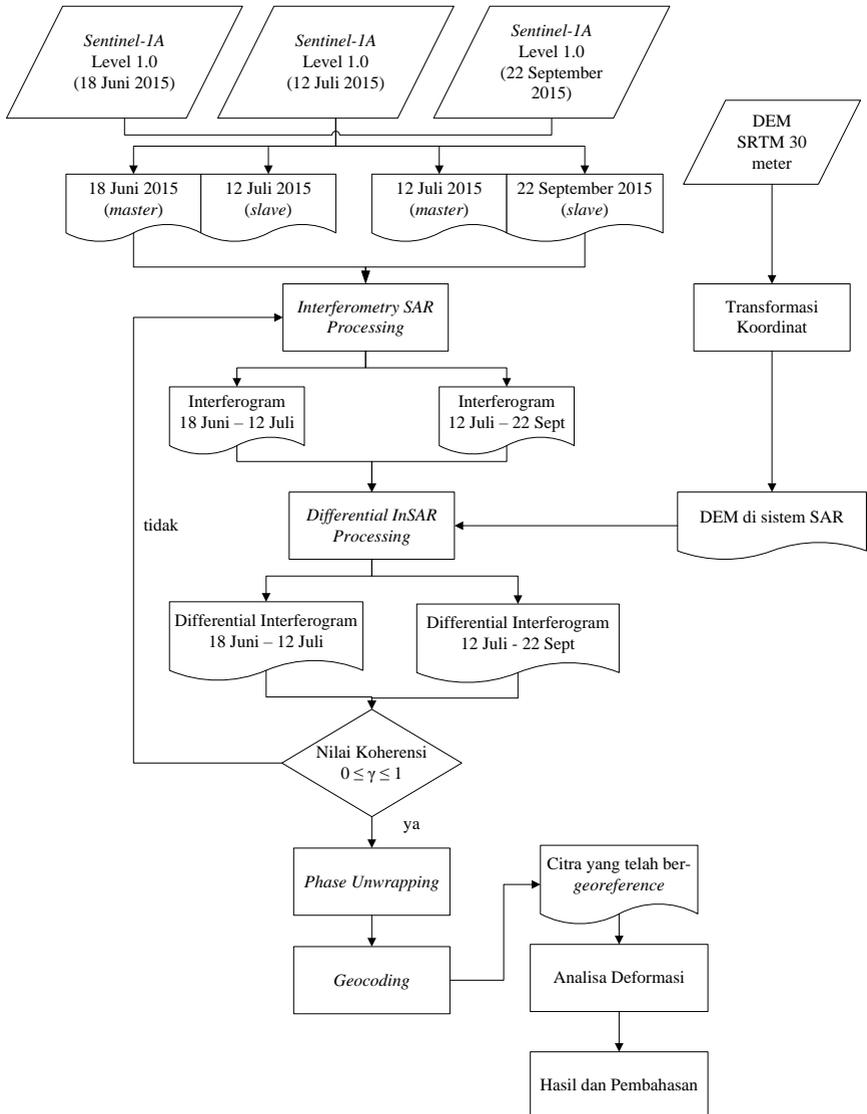
Penyusunan laporan merupakan tahapan akhir dari penelitian Tugas Akhir ini.

3.3.2 Tahapan Umum Pengolahan SAR

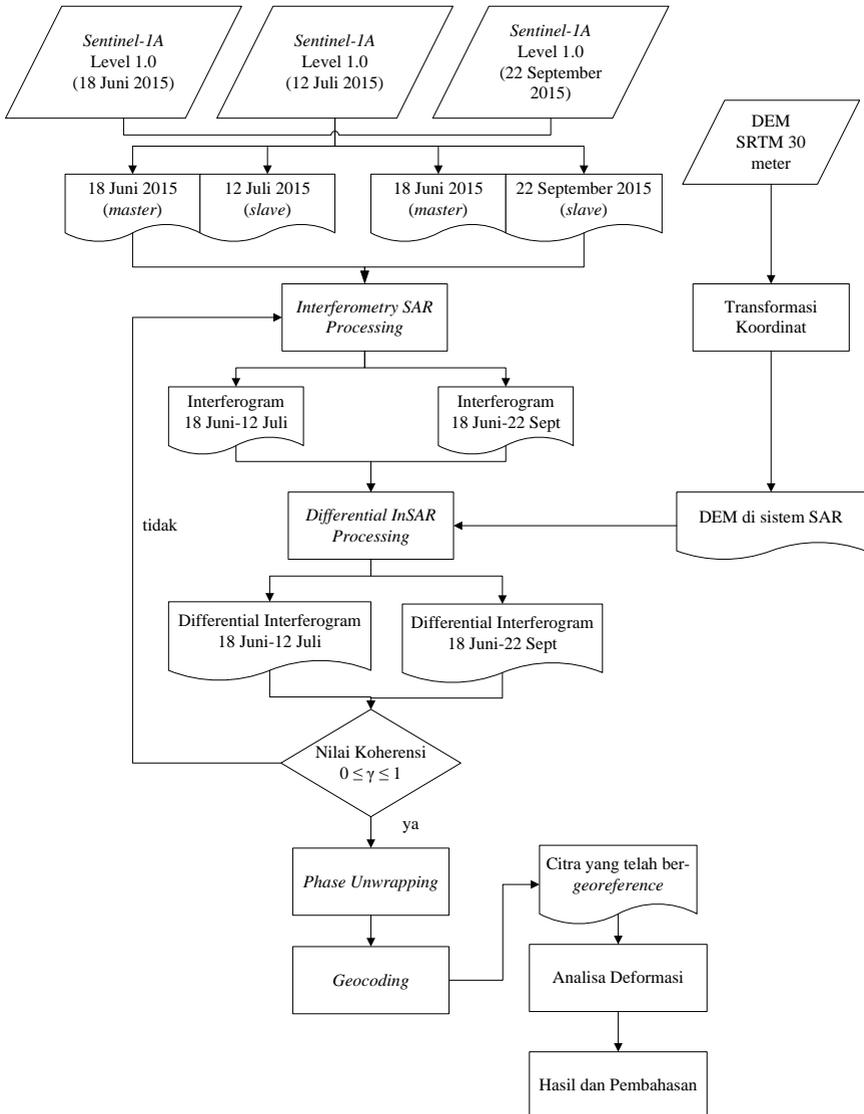
Dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan 3.5, tahapan-tahapan pengolahan SAR secara umum adalah sebagai berikut :

a. Data

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu citra *Sentinel-1A* level 1.0 (*Single Look Complex*) multi temporal perekaman tanggal 18 Juni 2015, 12 Juli 2015, dan 22 September 2015. dikarenakan teknologi yang digunakan yaitu *Differential Interferometry SAR* diperlukan data DEM SRTM 30 meter untum mereduksi efek topografi sehingga deformasi pada pasangan interferogram citra *SAR* dapat diamati.



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data SAR Metode *Two-Pass Interferometry*



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data SAR Metode *Three-Pass Interferometry*

b. *Interferometry SAR Processing*

Tujuan dari proses ini yaitu untuk membentuk pasangan citra *interferogram* dari data SLC terdiri dari *master* dan *slave*. Pada penelitian dilakukan pemilihan data *master* dan *slave* sebagai berikut :

- Metode *two-pass interferometry* dibentuk dua pasang interferogram yang berasal dari 3 scene citra SAR. Pada pasangan interferogram 1 dipilih citra *master* pada tanggal 18 Juni 2015 dan citra *slave* pada tanggal 12 Juli 2015. Sedangkan pada pasangan interferogram 2 menggunakan citra *master* pada tanggal 12 Juli 2015 dan citra *slave* pada tanggal 22 September 2015.
- Metode *three-pass interferometry* hanya menggunakan satu acuan citra *master* saja yaitu menggunakan tanggal 18 Juni 2015. Sehingga tetap terbentuk dua pasangan interferogram, dengan pasangan interferogram 1 dipilih citra *master* pada tanggal 18 Juni 2015 dan citra *slave* pada tanggal 12 Juli 2015, kemudian pada pasangan interferogram 2 menggunakan citra *master* pada tanggal 18 Juni 2015 dan citra *slave* pada tanggal 22 September 2015.

Citra *interferogram* menghasilkan beda *phase* antara citra *master* dan *slave*. Pada proses ini citra yang dihasilkan berhubungan langsung dengan bentuk topografi wilayah penelitian namun masih ada unsur deformasi, noise dan atmosfer. Dan tahapan ini dilakukan pencarian area tampalan (*offset*), *resample* parameter, dan pendataran (*flattening*). Hal ini bertujuan untuk menampalkan citra *slave* terhadap citra *master* serta melakukan proses pendataran dari bidang 3-D menjadi bidang proyeksi 2-D.

c. *Differential Interferometry SAR (DInSAR) Processing*

Karena interferogram didalamnya masih mengandung unsur deformasi, *noise*, dan atmosfer akibat pencitraan kesamping, maka perlu dilakukan proses *Differential Interferometry SAR Processing*. Proses yang dilakukan yaitu penghapusan unsur topografi dan *image filtering*. *Image filtering* pada proses DInSAR

digunakan untuk menaikkan nilai *Signal Noise Ratio* (SNR) yang masih terkandung dalam *interferogram* akibat penjalaran kembali sinyal ke medium udara atmosfer (Kusman, 2008) sehingga efek *noise* dan orbit dapat dihilangkan (Yudha, 2011). Sedangkan untuk menghapus efek topografi pada citra *interferogram* menggunakan metode *two-pass interferometry* dan *three-pass interferometry*. Data yang digunakan pada tahapan ini adalah dua pasangan citra *interferogram* dan DEM SRTM 30 meter.

DEM SRTM 30 meter yang digunakan memiliki sistem koordinat geografis, sedangkan untuk pemrosesan DInSAR dilakukan pada sistem koordinat radar, sehingga perlu dilakukan proses transformasi koordinat dari sistem koordinat geografis pada DEM SRTM 30 meter menjadi sistem koordinat kartesian sistem radar (*range* dan *azimuth*).

d. Nilai Koherensi

Hasil yang diperoleh dari DInSAR memiliki nilai koheren. 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 koheren terbesar di antara dataset. Minimal nilai koherensi yang baik yaitu 0,2, sedangkan 1 menunjukkan bahwa kedua data SAR identik.

e. *Phase Unwrapping*

Citra yang dihasilkan dari DInSAR *processing* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dalam rentang $-\pi$ sampai dengan π , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Walaupun pola deformasi sudah dapat terlihat, namun informasi besar deformasi tersebut belum dapat dibaca dengan baik. Untuk mendapatkan citra deformasi yang memiliki nilai dalam satuan metrik, maka harus dilakukan proses *unwrapping* dan merubah satuan sudut *phase* absolut menjadi satuan metrik.

Untuk mengetahui besar deformasi dilakukan kalkulasi dari rumus *displacement of the earth's surface* sepanjang sensor *line of sight* (LOS) (Ng, dkk. 2008), yaitu :

$$\Delta\phi_{\text{defo}} = \frac{4\pi\Delta R}{\lambda} \quad (2)$$

Nilai λ merupakan panjang gelombang citra *Sentinel-1A*, $\Delta\phi_{\text{defo}}$ adalah nilai perbedaan *phase* dan R merupakan jarak panjang gelombang.

f. Geocoding

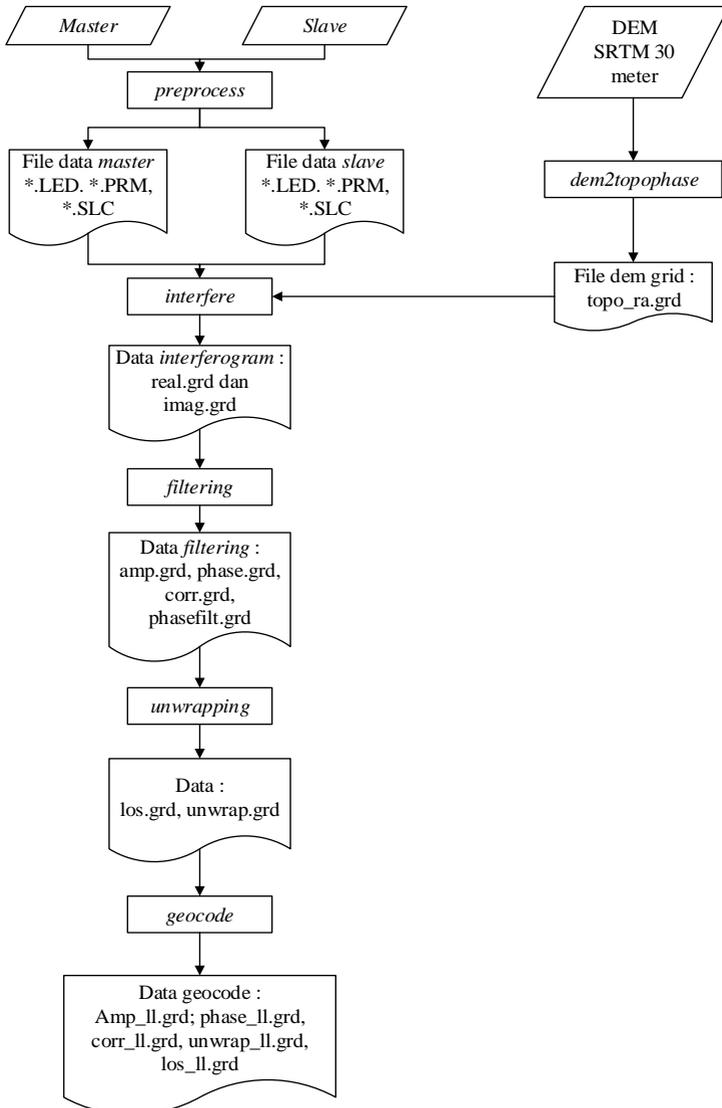
Tahap ini bertujuan untuk menyesuaikan koordinat citra radar yang ada pada citra *interferogram* ke dalam sistem koordinat global sehingga *interferogram* yang didapat sudah *georeference*, artinya posisi suatu piksel memiliki posisi di permukaan bumi atau model deformasi posisinya sudah diketahui di permukaan bumi.

g. Analisa Deformasi

Tahap analisa ini bertujuan untuk mengetahui terjadi deformasi pada hasil pengolahan *SAR* dan membandingkan besar deformasi pada permukaan gunung dari pengolahan yang dilakukan dengan metode *two-pass* dan *three-pass*.

3.3.3 Tahapan Pengolahan SAR dengan GMTSAR

Dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.6, tahapan-tahapan pengolahan *SAR* dengan GMTSAR adalah sebagai berikut :



Gambar 3.6 Diagram Pengolahan Pada GMTSAR

a. Tahap *preprocess*

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan informasi orbit dan mengetahui parameter *ascii file* yang berisi parameter untuk InSAR *processing* dengan mengekstrak *orbital satellite* dan kecepatannya dari *leader file* *.LED, *image alignment*, dan mengestimasi *doppler centroid* dari data yang terdapat pada masing-masing data SAR.

Pada tahap *preprocess* ini di dalamnya terdapat proses *focus* dan *align*. Tahap *focus* merupakan tahapan yang bertujuan untuk membuat citra SLC dari data SAR. Dikarenakan data citra SAR yang digunakan sudah dalam bentuk *Single Look Complex (SLC)* maka tahap *focus* berada pada tahap *preprocess* yang bertujuan untuk mengekstrak file data citra SLC yang sudah ada pada *.SAFE directory*.

Sedangkan tahap *align* dilakukan untuk mencari area tampilan dan parameter yang didapatkan dari tahap *preprocess* oleh citra *master* terhadap citra *slave*.

Hasil dari tahap ini di dapatkan file *.LED, *.PRM dan *.SLC untuk masing-masing data SAR serta file *offset.dat* yang berisi data-data hasil *offset* antara citra *master* dan *slave*. Tahap *preprocess* dilakukan melalui terminal dengan menggunakan perintah, sebagai berikut :

```
geodinamika1@Helmert :
/media/geodinamika2/Raniff/RAUNG/PAIR0618_0712$
align_tops.csh          s1a-iw3-slc-vv-20150618t104925-
20150618t104953-006426-0087e4-003
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150708T122802_V20150617T2259
44_20150619T005944.EOF  s1a-iw3-slc-vv-20150712t104926-
20150712t104954-006776-00919e-003
S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150801T122402_V20150711T2259
43_20150713T005943.EOF dem.grd
```

b. Tahap Transformasi Koordinat (*dem2topophase*)

Pada tahap ini memerlukan data DEM, jenis DEM yang digunakan dalam penelitian ini yaitu DEM SRTM 30 meter yang memiliki sistem koordinat geografis. Namun pada pengolahan GMTSAR koordinat yang digunakan dalam sistem koordinat radar, sehingga di butuhkan transformasi koordinat dari koordinat geografis ke koordinat radar. Dikarenakan, perhitungan beda *phase* pada interferogram yang dihasilkan akan memberikan hasil yang lebih baik apabila proses pengurangannya berada dalam sistem koordinat radar.

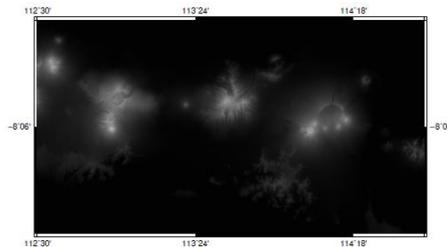
Pada tahap ini dilakukan melalui komen *dem2topo_ra.csh* pada terminal untuk melakukan transformasi data DEM dengan eksentensi file **.grd* yang memiliki koordinat geografis ke dalam koordinat radar (*range* dan *azimuth*). Hasil dari tahapan ini yaitu:

- i. data *topo_ra.grd*, merupakan DEM pada koordinat radar (*range* dan *azimuth*).
- ii. *topo_ra.ps*
- iii. Data *trans.dat*, merupakan koordinat sekutu antara radar dan DEM yakni koordinat *range*, *azimuth* dan koordinat geografis.

Berikut perintah yang digunakan dalam proses transformasi koordinat :

```
#####
# parameters for make topo_ra      #
# - dem2topo_ra.csh                #
#####
# subtract topo_ra from the phase
# (1 -- yes; 0 -- no)
topo_phase = 1
# if above parameter = 1 then one should have put
dem.grd in topo/

# topo_ra shift (1 -- yes; 0 -- no)
shift_topo = 0
```



Gambar 3.7 DEM SRTM dengan koordinat geografis

c. Tahap *interfere*

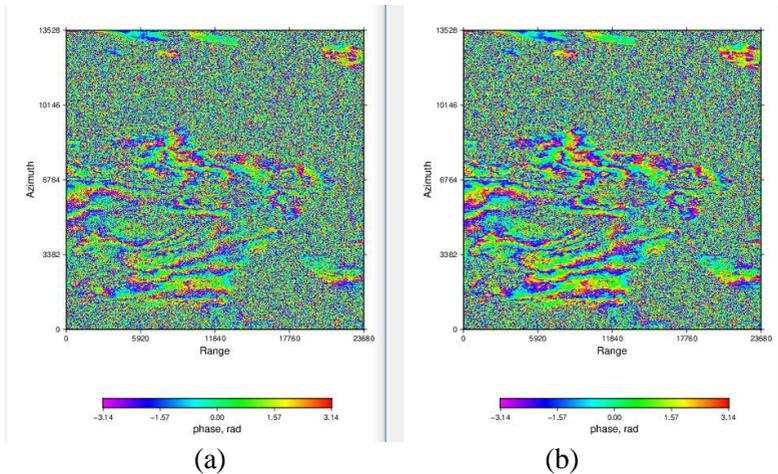
Tahap *interfere* merupakan tahap pembuatan citra *interferogram* dari sepasang citra *SAR* (citra *master* dan *slave*) dan sekaligus dilakukan proses pengurangan efek topografi menggunakan data DEM yang telah dirubah koordinatnya menjadi koordinat radar. Tahap *interfere* dilakukan dengan komen *intf.csh* pada terminal. Tahapan tersebut akan menghasilkan dua file yaitu *imag.grd* dan *real.grd* yang kemudian dihapus setelah tidak diperlukan lagi.

d. Tahap *filtering*

Tahap ini dilakukan dengan menaikkan nilai *signal noise ratio* (*SNR*) yang ada pada interferogram untuk menghilangkan efek *noise* dan *orbit*. Jenis filter yang digunakan GMTSAR yaitu metode Gaussian. Terdapat beberapa jenis filter yang bervariasi dari 100m hingga 700m. Pada penelitian ini menggunakan jenis filter Gaussian 300m.

Tahap *filtering* dilakukan melalui komen *filter.csh*. Hasil dari tahapan ini ada tiga jenis, yaitu :

- i. data *display_amp.grd* dan *display_amp.ps*, merupakan citra *interferogram amplitude*.
- ii. data *phase.grd* dan *phase.ps*, merupakan citra hasil pengolahan *interferogram phase*.
- iii. data *corr.grd* dan *corr.ps*, merupakan citra *interferogram correlation*.



(a) (b)
 Gambar 3.8 *Interferogram Phase* a) Sebelum *Filtering* ; b) Setelah *Filtering*

Gambar 3.8 merupakan salah satu contoh citra *interferogram* yang telah dilakukan proses *filtering*. Untuk pembahasan lebih lanjut mengenai hasil dari proses *filtering*, dapat dilihat pada sub-bab 4.1.4.

e. Tahap *phase unwrapping* (*snaphu*)

Citra yang dihasilkan dari proses *interfere* dan *filtering* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dalam rentang $-\pi$ sampai dengan π . Tahap *snaphu* dilakukan melalui komen *snaphu.csh* pada terminal. Pada proses *unwrap* juga merupakan proses pemotongan data sesuai yang diperlukan. Data koordinat yang dilakukan dalam proses pemotongan merupakan koordinat radar (*range* dan *azimuth*). Berikut perintah yang digunakan pada tahap *snaphu* :

```
#####
#   parameters for unwrap phase   #
#   - snaphu.csh                  #
#####
# correlation threshold for snaphu.csh (0~1)
# set it to be 0 to skip unwrapping.
threshold_snaphu = 0,2

# region to unwrap in radar coordinates (leave it blank
# if unwrap the whole region)
# example 300/5900/0/25000
```

```
# mask the wet region (Lakes/Oceans) before unwrapping
(1 -- yes; else -- no)
switch_land = 1

#
# Allow phase discontinuity in unrapped phase. This is
# needed for interferograms having sharp phase jumps.

# defo_max = 0 - used for smooth unwrapped phase such
# as interseismic deformation
# defo_max = 65 - will allow a phase jump of 65 cycles
# or 1,82 m of deformation at C-band
#
defomax = 0
```

f. Tahap *geocode*

Tahap *geocode* dilakukan melalui komen *geocode.csh*. Yang bertujuan untuk merubah kembali sistem koordinat menjadi koordinat geografis. Hasil dari tahap *geocode* ini pada file *outputnya* memiliki nama dengan akhiran *_ll*. Dengan kemampuan software GMT, hasil tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk postscript dan kml *Google Earth*. Walaupun telah bergeoreferensi, grid, skala, dan informasi lainnya belum ada. Untuk itu, skill menggunakan GMT perlu dilakukan sehingga diperoleh hasil yang artistik akan ditampilkan di bagian hasil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Pengolahan Data SAR

4.1.1 Panjang *Baseline* dan *Interval Waktu*

Deformasi yang terjadi pada tiap titik di permukaan bumi dapat terjadi secara signifikan ataupun stabil dalam kurun waktu tertentu. Untuk deformasi pada gunung api terjadi karena adanya aktivitas vulkanik berupa gerakan magma di bawah permukaan yang berpengaruh pada perubahan tekanan pada kantong magma. Umumnya adanya pergerakan magma di bawah permukaan merupakan indikasi awal akan terjadi erupsi dan kenaikan tekanan akan menghasilkan deformasi di permukaan (*ground deformation*) (Jamel, 2013).

Untuk mengetahui besarnya deformasi yang ada pada permukaan gunung api akibat adanya erupsi dibutuhkan data dengan jarak temporal yang berdekatan dengan cakupan waktu sebelum, saat, dan setelah terjadinya erupsi. Besarnya nilai *baseline* dan jarak juga mempengaruhi nilai koherensi yang akan didapatkan pada pembentukan citra *interferogram*. Untuk memperoleh nilai koherensi pasangan citra yang baik, diperlukan jarak temporal yang tidak lebih dari 6 bulan dan panjang *baseline* yang tidak lebih dari 150 m (Ferretti dkk, 2007).

Dari data SLC yang digunakan dalam pemrosesan SAR dengan *GMTSAR* diperoleh panjang *baseline perpendicular* dan jarak temporal pada tabel 4.1.

Dapat dilihat pada tabel 4.1 bahwa dari tiga pasangan citra yang dibentuk *interferogram* memiliki panjang *baseline perpendicular* sebesar 32,149267 m (pasangan citra 18 Juni 2015 – 12 Juli 2015), -53,932280 m (pasangan citra 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015), dan -21,780299 m (pasangan citra 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015).

Tabel 4.1 *Baseline Perpendicular dan Jarak Temporal*

| ID_Scene | Tanggal | Baseline Perpendicular | Baseline Temporal |
|--|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| S1A_IW_SLC_20150618T104923_20150712T104924 | 18 Juni 2015 – 12 Juli 2015 | 32,149267 m | 24 hari |
| S1A_IW_SLC_20150712T104924_20150922T104927 | 12 Juli 2015-22 Sept 2015 | -53,932280 m | 72 hari |
| S1A_IW_SLC_20150618T104923_20150922T104927 | 18 Juni 2015 – 22 Sept 2015 | -21,780299 m | 96 hari |

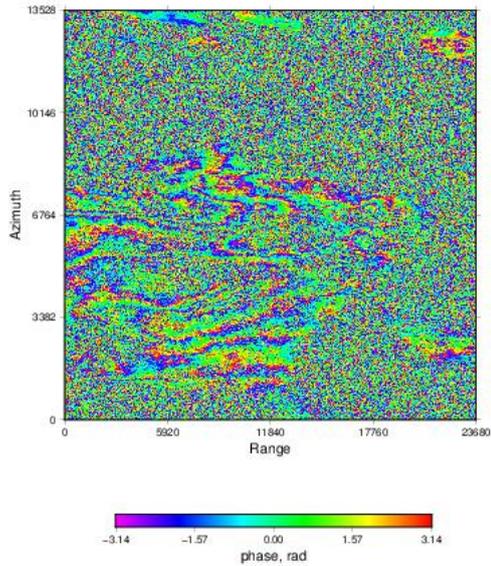
Semakin panjang nilai *baseline perpendicular* maka tingkat koherensi citra akan terus menurun dikarenakan semakin jauhnya perbedaan posisi orbit satelit ketika melakukan pengambilan citra. Begitu juga dengan besarnya nilai *baseline temporal* yang jika nilainya semakin besar akan menyebabkan *temporal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

Koherensi citra yang rendah juga mengakibatkan karakteristik objek dari kedua sisi juga berbeda dan adanya perubahan pada objek yang di amati (Sari, 2014).

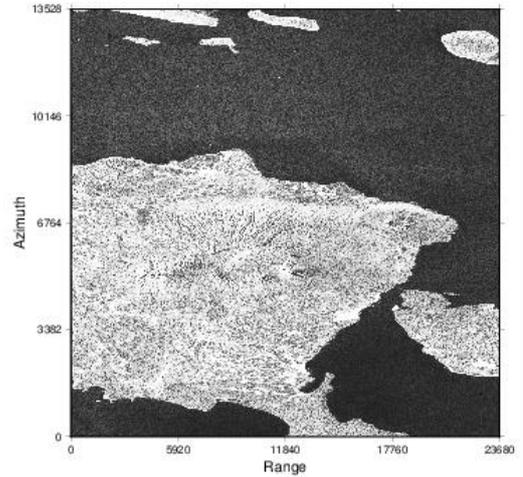
4.1.2 *Interferogram Phase dan Amplitude*

Citra *interferogram* dibentuk dari teknologi InSAR dengan perkalian silang antar piksel pada citra *master* terhadap citra *slave*. Sehingga di dalamnya berisi informasi *phase* dan *amplitude*. Teknologi InSAR memanfaatkan informasi *phase* yang ada pada citra SAR untuk mendapatkan beda jarak dan perubahan jarak dari dua citra SLC pada permukaan yang sama.

Pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 merupakan hasil pembentukan citra *interferogram* berupa citra *interferogram phase* dan *amplitude* pada sistem koordinat radar yang sudah dihilangkan efek topografinya menggunakan DEM SRTM 30 meter.

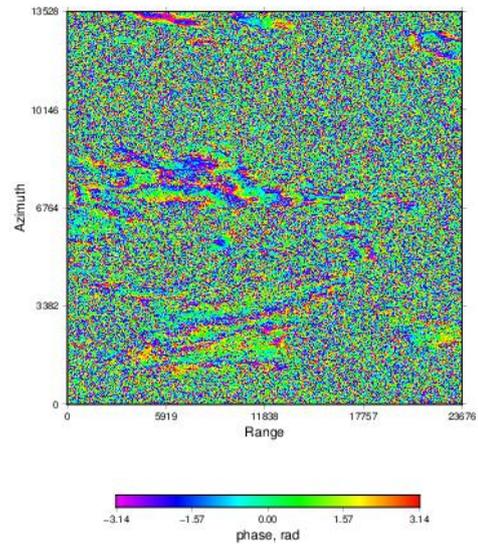
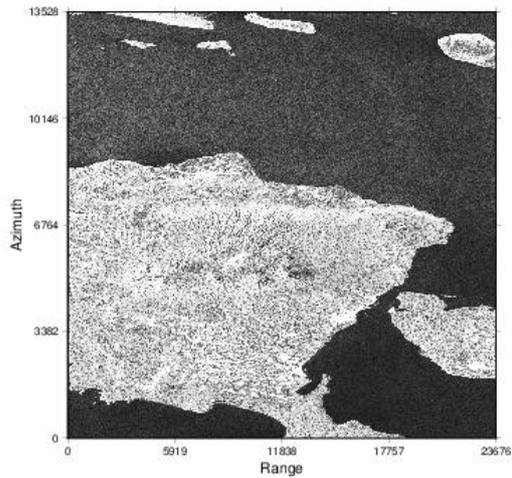


(a)



(b)

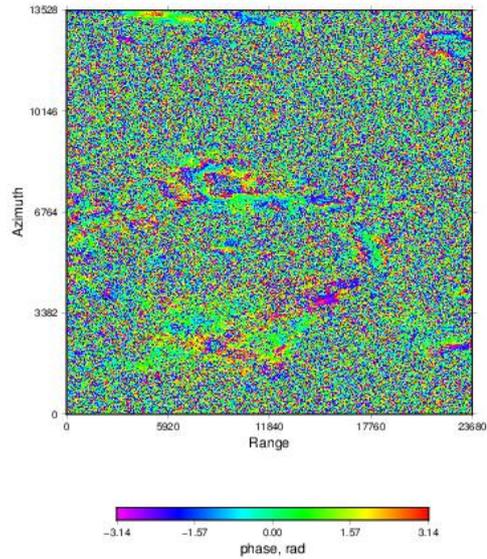
Gambar 4.1 Citra *Interferogram* (a) *Phase* 18 Juni 2015-12 Juli 2015 ; (b) *Amplitude* 18 Juni 2015-12 Juli 2015



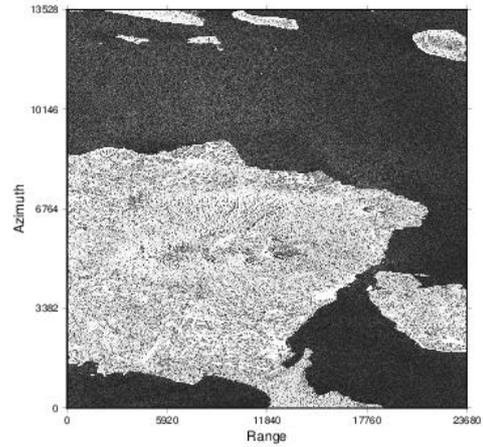
(a)

(b)

Gambar 4.2 Citra *Interferogram* (a) *Phase* 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015; (b) *Amplitude* 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015



(a)



(b)

Gambar 4.3 Citra *Interferogram* (a) *Phase* 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015; (b) *Amplitude* 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015

Pada citra *interferogram amplitude* pada bagian gambar (b) dapat dilihat bahwa area yang menunjukkan warna terang merupakan wilayah yang memiliki objek kasar, karena kuatnya hamburan balik dari objek ke *transmitter*. Sedangkan area yang berwarna gelap, menunjukkan objek dengan permukaan rata atau halus, objek yang dimaksud dalam citra *interferogram* yang dihasilkan yaitu perairan. Area yang berwarna gelap ini disebabkan lemahnya hamburan balik dari objek ke *transmitter*.

Untuk *interferogram phase*, dapat dilihat bahwa dari *interferogram* yang dihasilkan terdapat *fringes* yang terbentuk karena orbit yang tidak sama persis pada saat pengambilan citra SAR. *Fringes* yang dihasilkan pada *interferogram* merupakan garis-garis tipis yang menunjukkan besar *phase* pada nilai yang sama. Dimana besar *phase* didapatkan dari adanya perambatan gelombang elektromagnetik yang melewati media atmosfer dari satelit kepada objek. Gelombang elektromagnetik yang melewati media atmosfer cenderung mengalami pelambatan atau percepatan gelombang dan hal ini akan mempengaruhi *fringes* yang ada di *interferogram*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Beauducel dkk (2000) efek atmosfer pada wilayah gunung diketahui sangat signifikan. Untuk deformasi pada skala besar, Delacourt dkk (1998) mengemukakan bahwa *delay tropospher* dapat mempengaruhi besar error hingga $\pm 1,5$ *fringes* yang terbentuk pada *interferogram* dan menurunkan akurasi *interferogram*. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan status atmosfer antara dua akuisisi citra diterjemahkan ke panjang jalur yang berbeda (Zhou dkk, 2009). Sedangkan efek yang ditimbulkan oleh *ionosphere* dapat menyebabkan adanya pergeseran piksel azimuth dan kesalahan fase awal pada *interferogram*.

4.1.3 Koherensi Citra SAR

Citra *interferogram* yang dihasilkan dari proses InSAR memiliki tingkat koherensi yang berbeda-beda. Koherensi merupakan nilai yang digunakan untuk mengestimasi *phase noise*

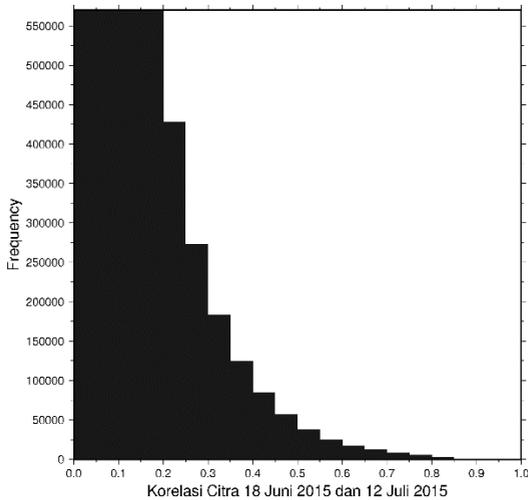
dari citra *interferogram*. Secara kualitatif tingkat koherensi citra dapat dilihat pada gambar 4.7, 4.8, dan 4.9.

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. Pada gambar 4.7, 4.8, dan 4.9, *scalebar* bergerak ke arah kanan (warna merah) menunjukkan bahwa tingkat koherensi yang paling tinggi, sedangkan nilai koherensi paling rendah ditunjukkan pada *scalebar* yang bergerak ke arah kiri (warna ungu). Dapat dilihat pada gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 bahwa citra koherensi yang ditampilkan hanya menunjukkan wilayah yang memiliki nilai koherensi di atas 0,2 saja. Sehingga wilayah citra *interferogram* yang berwarna putih merupakan wilayah yang memiliki nilai di bawah 0,2. Wilayah yang memiliki nilai koherensi di bawah 0,2 merupakan wilayah badan gunung Raung yang memiliki kriteria wilayah vegetasi dengan kerapatan yang tinggi. Untuk nilai koherensi yang tinggi berada pada wilayah puncak (kaldera) gunung api ditunjukkan dengan rentang nilai antara 0,3 – 0,9 pada gambar 4.7, 4.8, dan 4.9.

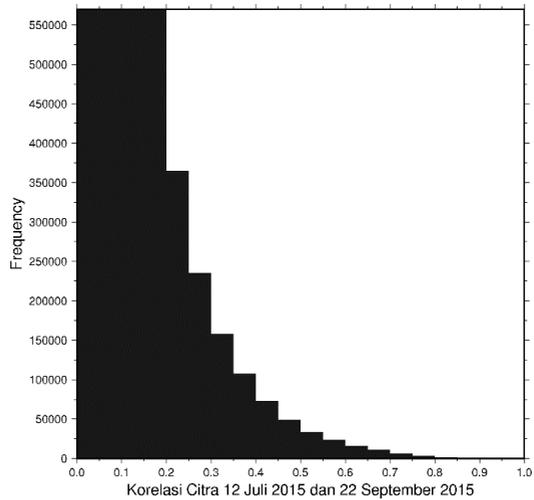
Rendahnya nilai koherensi pada citra *interferogram* dapat disebabkan karena adanya ketidakcocokan sifat dari dua sistem pencitraan yang terlibat dikarenakan adanya *volume scattering*, error pada saat pemrosesan, dll (Hanssen, 2001). Selain itu rendahnya nilai koherensi juga dapat disebabkan dari wilayah pada citra *interferogram* didominasi oleh vegetasi dengan kerapatan yang tinggi. Pada wilayah vegetasi, dekorelasi temporal menyebabkan penurunan nilai koherensi (Tamm dkk, 2016), serta hasil penelitian yang dilakukan oleh Wegmuller (2015) mengindikasikan bahwa koherensi pada band-C secara signifikan lebih rendah pada area vegetasi dibandingkan *urban area* dikarenakan *interval* waktu 12 hari pada pengambilan citra *Sentinel-1A* dianggap lama jika dibandingkan dengan *ERS-1* yang *interval* waktu pengambilan citra hanya 3 hari saja. Penelitian yang ditunjukkan oleh Zebker dkk (2000) juga menunjukkan bahwa penggunaan band-C memiliki penggunaan yang terbatas, seperti

pembentukan *interferogram* yang tidak terlalu berguna akibat rendahnya nilai koherensi. Tetapi band-C yang memiliki panjang gelombang lebih pendek daripada band-L, lebih sensitif terhadap perubahan yang kecil (Fournier dkk, 2010).

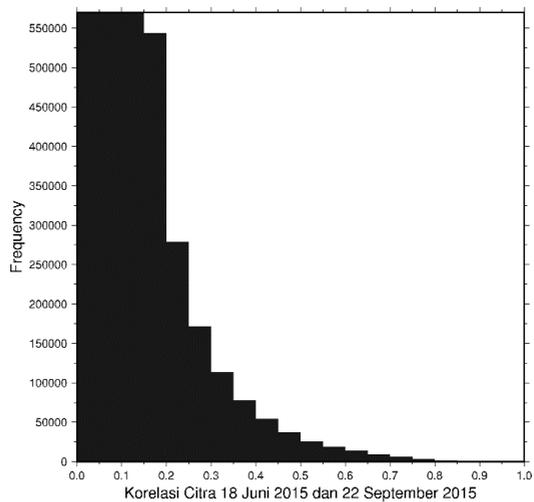
Berdasarkan hasil pengolahan data SAR didapatkan nilai koherensi keseluruhan pasangan citra SAR berada pada rentang nilai antara 0,008 – 0,95. Nilai koherensi rata-rata tiap pasangan citra dapat ditunjukkan pada grafik yang ada pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6. Rendahnya nilai koherensi ini menyebabkan banyaknya piksel yang kosong setelah citra melalui proses *unwrapping*.



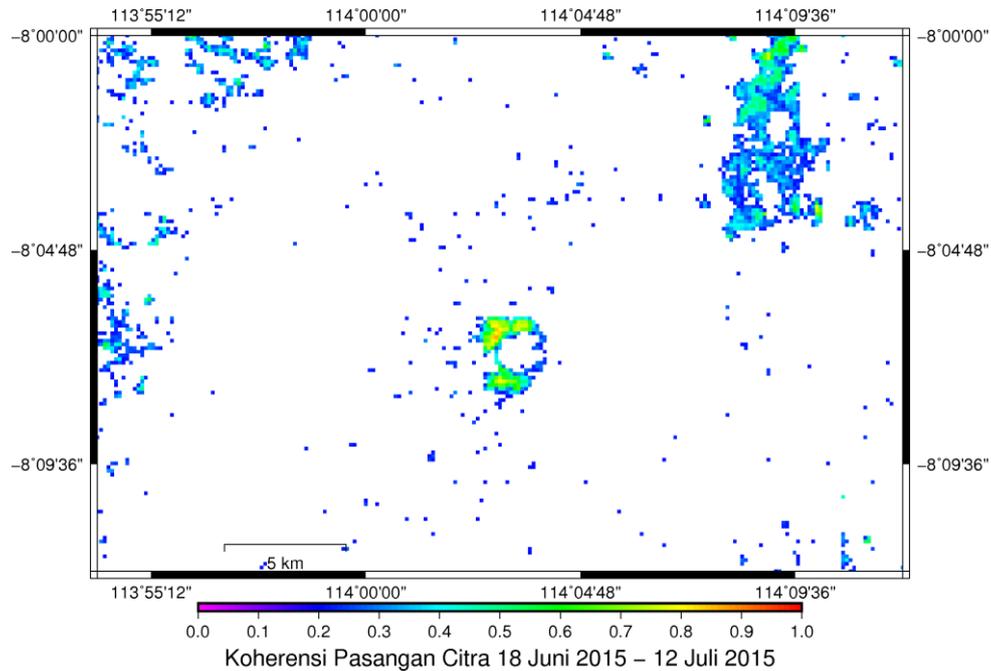
Gambar 4.4 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015



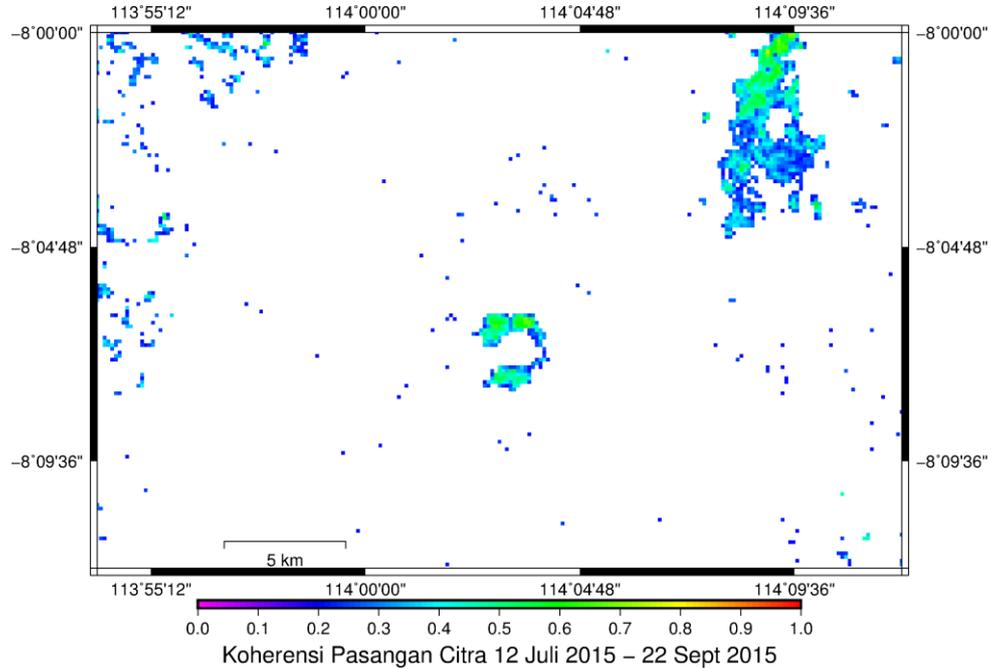
Gambar 4.5 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015



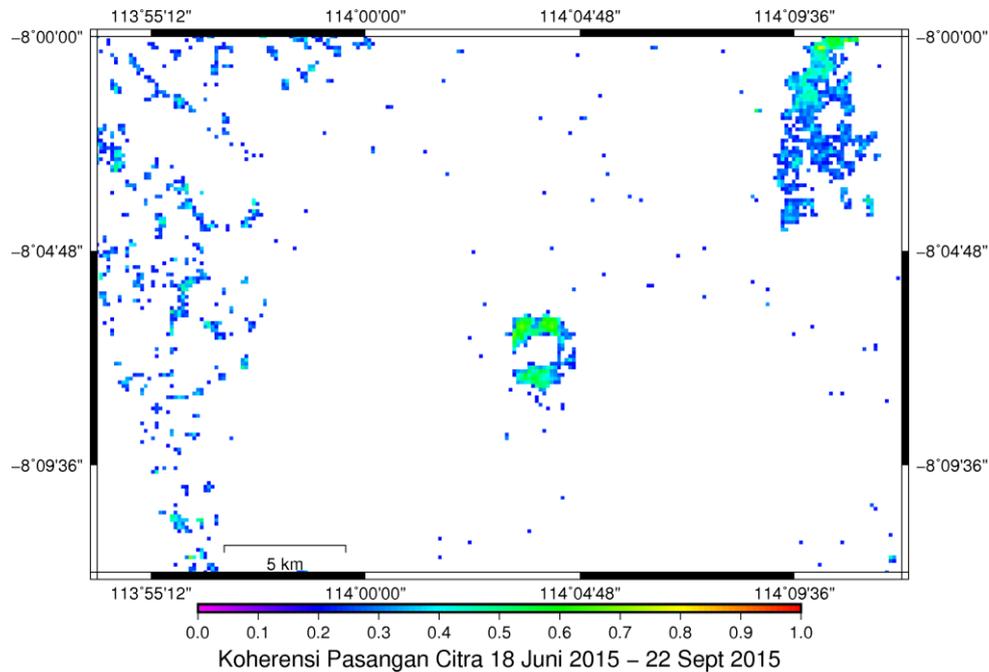
Gambar 4.6 Gambar Grafik Koherensi Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015



Gambar 4.7 Koherensi Citra *Interferogram* 18 Juni 2015 – 12 Juli



Gambar 4.8 Koherensi Citra *Interferogram* 12 Juli 2015 – 22 Sept 2015



Gambar 4.9 Koherensi Citra *Interferogram* 18 Juni 2015 – 22 Sept 2015

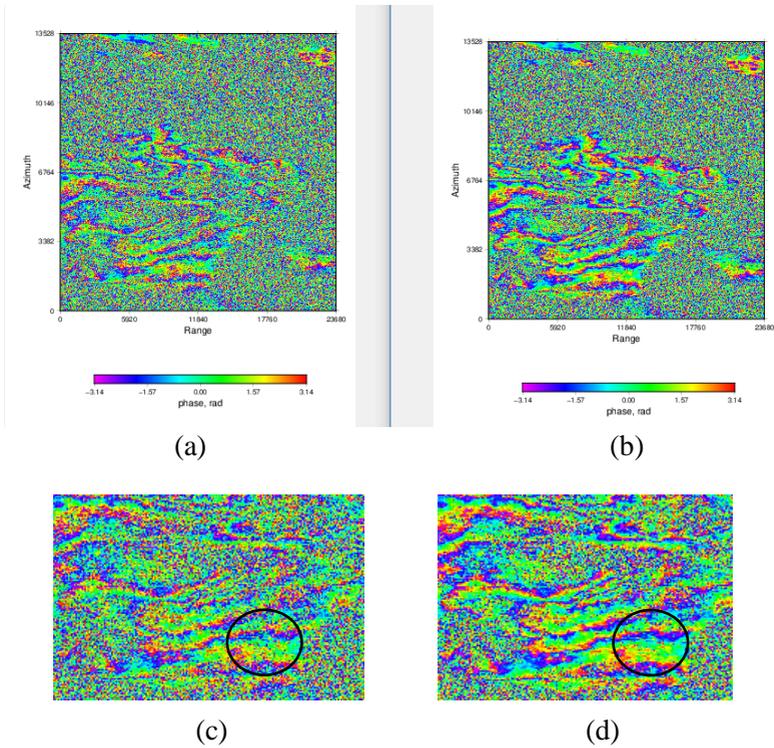
4.1.4 Citra *Interferogram* Setelah *Filtering*

Tujuan dilakukan adanya *filtering* adalah untuk menaikkan nilai SNR (*Single Noise Ratio*) pada *interferogram* dikarenakan pengaruh dari penjalaran sinyal kembali ke medium udara atau atmosfer sehingga menghilangkan dekorelasi yang diakibatkan oleh efek *noise* dan *orbit* yang menyebabkan menurunnya kualitas citra SAR, menaikkan nilai akurasi, dan mempertajam *phase* di area-area yang nilai koherensinya masih relatif besar. Menaikkan nilai SNR merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk proses pemfilteran citra SAR.

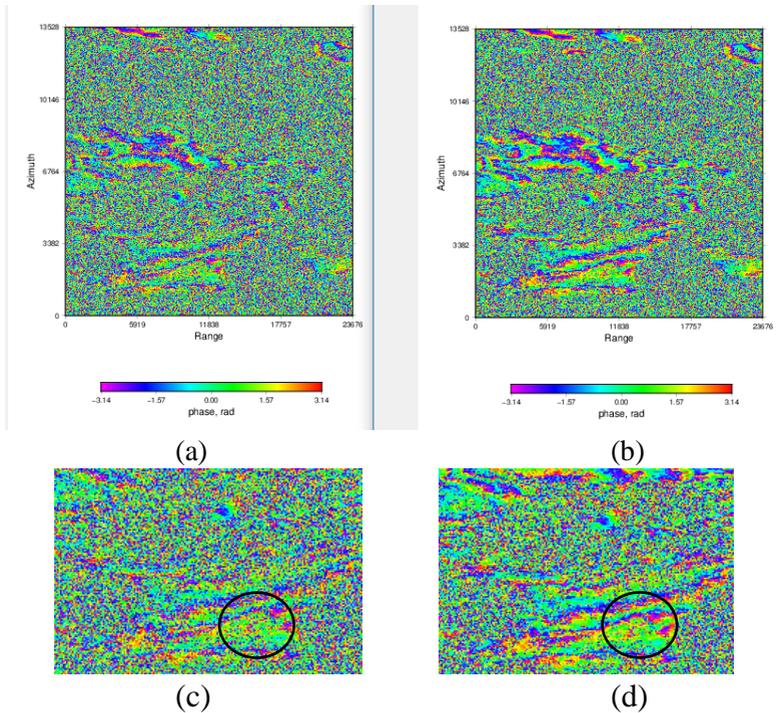
Proses *filtering* yang dilakukan dengan menggunakan *software GMTSAR* dengan waktu yang relatif cepat. Setelah proses *filtering* selesai, *interferogram* menunjukkan adanya deformasi tetapi masih dalam satuan *phase* (radian). Informasi yang ada pada citra masih terbatas antara $-\pi$ sampai π , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas *phase* yang kemudian diselesaikan dengan proses *phase unwrapping*. Hasil *phase* sebelum dan sesudah *filtering* dapat dilihat pada gambar 4.10, 4.11, dan 4.12.

Lingkaran hitam yang ditunjukkan pada gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 merupakan contoh wilayah pada *interferogram* yang mengalami perubahan setelah dilakukan adanya *filtering*. Perubahan dapat dilihat dari *fringes* pada *interferogram* setelah proses *filtering* memiliki tingkat visibilitas yang lebih bagus.

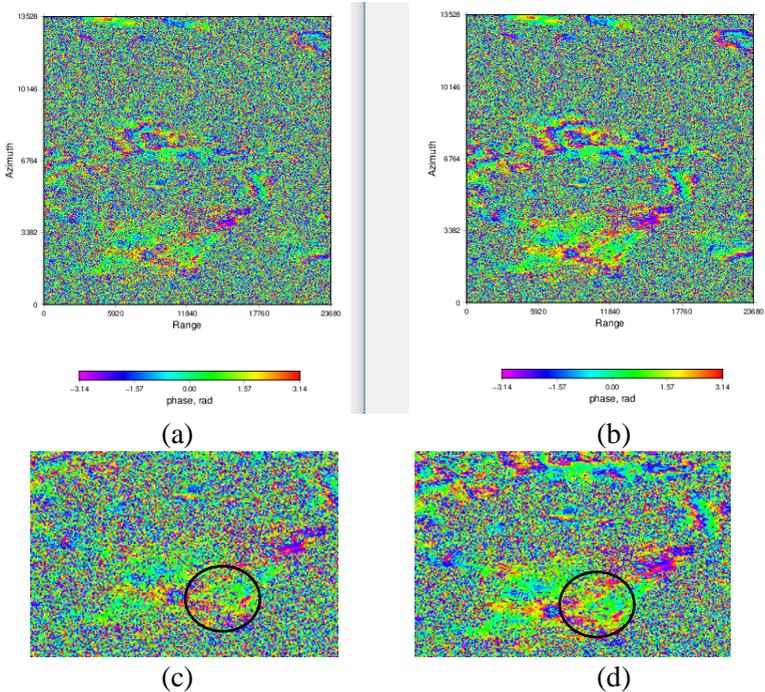
Hal ini sama dengan penelitian oleh Goldstein dan Werner (1998) yang menunjukkan bahwa proses *filtering* secara signifikan dapat meningkatkan visibilitas *fringes* yang ada di *interferogram*.



Gambar 4.10 Pasangan 18 Juni 2015-12 Juli 2015 (a) Sebelum *Filtering* ; (b) Setelah *Filtering* ; (c) hasil *close-up* sebelum *filtering* ; (d) hasil *close-up* setelah *filtering*



Gambar 4.11 Pasangan 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015 a) Sebelum *Filtering* ; b) Sesudah *Filtering* ; (c) hasil *close-up* sebelum *filtering* ; (d) hasil *close-up* setelah *filtering*

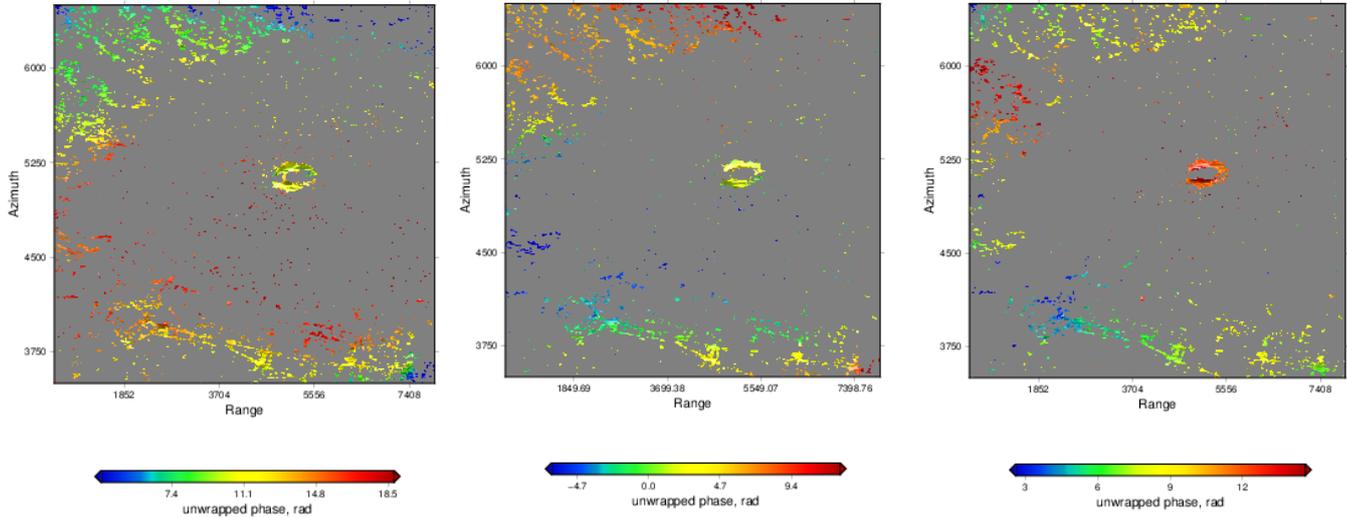


Gambar 4.12 Pasangan 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015 a) Sebelum *Filtering* ; (b) Setelah *Filtering* ; (c) hasil *close-up* sebelum *filtering* ; (d) hasil *close-up* setelah *filtering*

4.1.5 Citra *Interferogram* Setelah *Unwrapping*

Citra *interferogram* yang terbentuk merupakan hasil dari proses pendataran (*flattening*) yang memiliki nilai pengukuran bersifat ambiguitas dikarenakan adanya *fringes* pada *interferogram* dengan modulo 2π . Oleh karena itu dilakukan proses *phase unwrapping* untuk menghilangkan ambiguitas *phase* tersebut untuk mendapatkan nilai *phase* absolut.

Proses *unwrapping* pada area yang relatif datar lebih mudah untuk dilakukan, tetapi jika area studi memiliki bentuk topografi yang beragam (misal memiliki perbedaan *phase jump* yang besar) maka proses *unwrapping* akan sulit dilakukan.

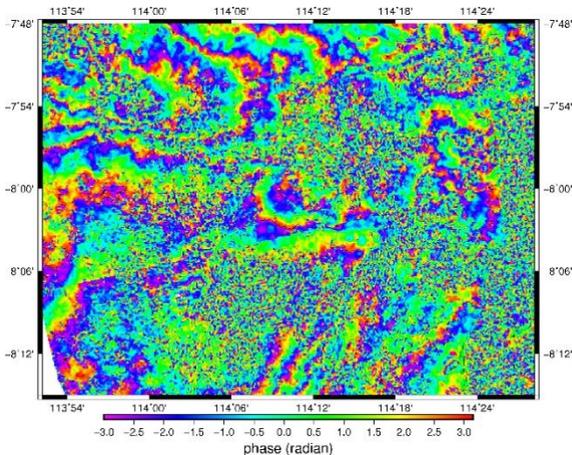


(a) (b) (c)
 Gambar 4.13 Citra *Interferogram* Setelah Proses *Unwrapping* (a) Pasangan 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 ; (b) 12 Juli 2015 - 22 Sept 2015 ; (c) 18 Juni 2015 - 22 Sept 2015

Setelah mengalami proses *unwrap*, citra *interferogram* sudah diketahui nilai deformasinya dalam satuan π rad (*phase*). Yang kemudian dirubah menjadi satuan metrik sehingga dihasilkan nilai deformasi berdasarkan *line of sight* (LOS). Hasil dari proses *unwrapping* ditunjukkan pada gambar 4.13.

4.1.6 Interferogram Setelah *Geocode*

Tahapan akhir ini adalah meng-*georeference*-kan citra *amplitude*, *phase* setelah *filtering* dan *masking*, koherensi, dan citra hasil *unwrap*.



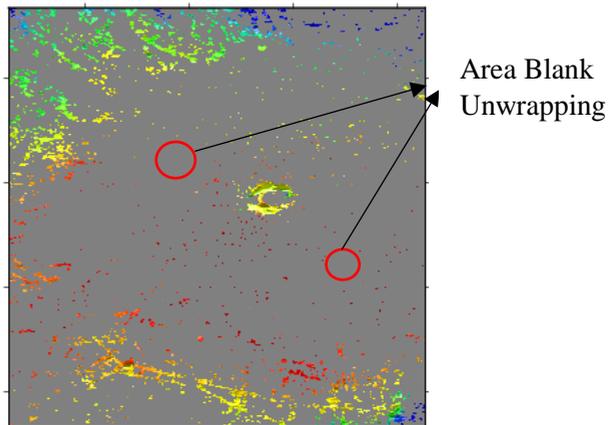
Gambar 4.14 Citra SAR *Phase* yang Ber-*Georeference*

4.1.7 Geometri Pencitraan Studi Kasus

Kondisi geografis di wilayah pegunungan dalam penelitian tugas akhir ini merupakan wilayah gunung Raung yang merupakan kawasan hutan dengan tingkat kerapatan tinggi dan merupakan kawasan cagar alam. Vegetasi di wilayah gunung Raung didominasi dengan pohon berdiameter besar dan tegakkan tinggi yang mengindikasikan bahwa hutan tersebut ditumbuhi pohon berumur tua. Rata-rata tinggi pohon diperkirakan mencapai 30 meter (Ulum dkk, 2015).

Jika dihubungkan dengan citra koherensi yang dihasilkan oleh pasangan citra *interferogram* seperti yang ada pada gambar 4.7, 4.8, dan 4.9, daerah yang mengandung vegetasi dengan kerapatan tinggi memiliki nilai koherensi yang rendah akibat dari jarak temporal pengambilan citra SAR, sehingga menyebabkan sinyal pantulan di daerah tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dan mengalami perubahan.

Wilayah gunung Raung juga memiliki relief topografi yang bervariasi, yang memberikan pengaruh terhadap hasil pencitraan radar. Dikarenakan arah pencitraan radar yang ke samping menyebabkan adanya distorsi pada hasil pencitraan, distorsi berupa *layover*, *shadow*, dan *forshortening*. Distorsi pada radar dipengaruhi dua hal yakni *incidence angle* dan *slope* pada wilayah pencitraan (Hanssen, 2001). Pengaruh dari distorsi akan memberikan efek pada proses *unwrapping* dan kembalinya sinyal pantul ke sensor radar, yang menyebabkan banyaknya area kosong (*blank unwrapping*) pada hasil pengolahan yang di tunjukkan pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Nilai *Phase Unwrap* yang Kosong

Banyaknya *blank unwrapping* pada penelitian ini disebabkan karena kecilnya nilai koherensi yang dihasilkan oleh

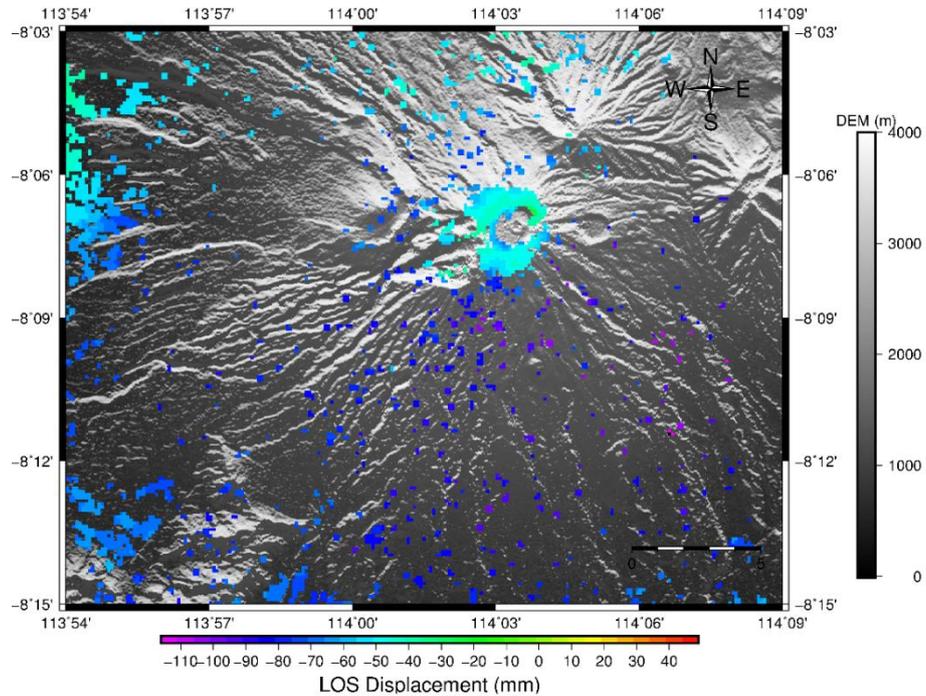
pasangan citra *interferogram*. Penyebab rendahnya nilai koherensi pada *interferogram* telah dijelaskan sebelumnya pada sub-subbab 4.1.3. Sehingga ketika dilakukan proses *phase unwrapping* banyak nilai *phase* yang hilang dan menghasilkan area *blank unwrapping*.

4.1.8 Nilai *Phase Unwrapping*

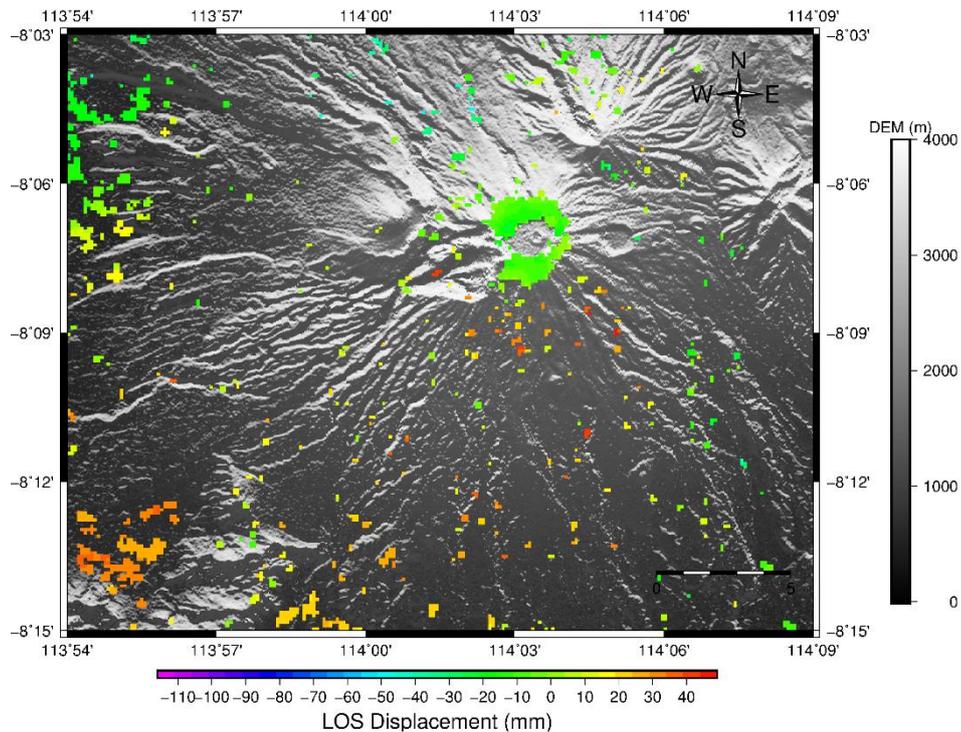
Phase unwrapping merupakan proses penambahan nilai kelipatan bilangan bulat (*integer*) dari 2π ke *fringes* yang ada pada *interferogram*. Hal ini disebabkan adanya variasi *phase* antara 2 titik pada *interferogram* hasil pendataran (*flattened interferogram*) menyediakan pengukuran variasi ketinggian aktual, setelah menghapus setiap bilangan bulat pada nilai ambiguitas.

Pengolahan citra *SAR* dilakukan menggunakan metode *two-pass* dan *three-pass* teknologi DInSAR, dari 3 citra *SAR* yang digunakan menghasilkan 3 pasangan citra *interferogram*. Pada gambar 4.8 menunjukkan hasil dari proses *unwrapping* 3 pasangan citra *interferogram*.

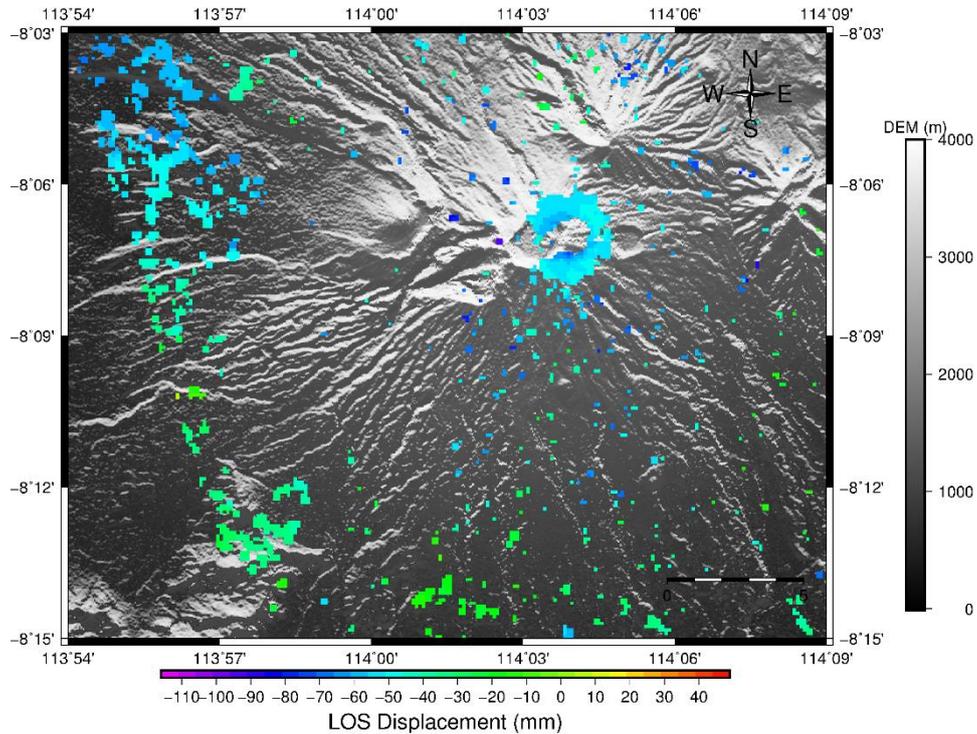
Pada hasil *unwrapping* yang ada pada gambar 4.16, 4.17, dan 4.18, dapat dilihat bahwa pada bagian badan gunung tidak semua wilayah mengalami *displacement*. Hal ini dipengaruhi oleh geometri daerah gunung Raung seperti yang dijelaskan pada sub-subbab 4.1.7. Pada *scalebar* yang ditunjukkan pada gambar di atas, warna merah pada citra hasil *unwrapping* menunjukkan terjadinya kenaikan permukaan tanah (inflasi) pada permukaan gunung Raung. Sedangkan warna ungu menunjukkan terjadinya penurunan permukaan tanah (deflasi). Warna hijau pada *scalebar* menunjukkan area pada studi kasus yang tidak mengalami atau hampir tidak mengalami inflasi atau deflasi.



Gambar 4.16 Citra Hasil Pengolahan DInSAR, Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015



Gambar 4.17 Citra Hasil Pengolahan DInSAR, Pasangan Citra 12 Juli 2015 - 22 September 2015



Gambar 4.18 Citra Hasil Pengolahan DInSAR, Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 22 September 2015

Rentang nilai yang ada pada *scalebar* menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah pada permukaan gunung Raung mengalami deflasi pada nilai antara -70 mm s/d -40 mm. Banyaknya piksel yang kosong pada wilayah permukaan gunung Raung menyebabkan sulitnya pembacaan besar deformasi karena pada proses *filtering* dan *unwrapping*, nilai *phase* yang kecil dihilangkan.

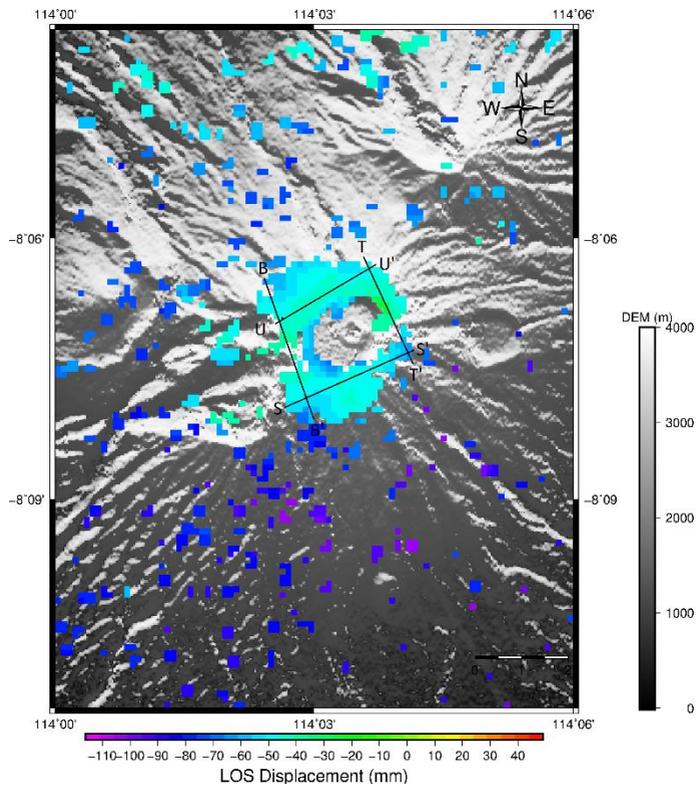
Hasil yang diperoleh pada proses *unwrapping* masih dalam satuan π rad (*phase*), untuk mendapatkan nilai dalam satuan metrik seperti pada gambar 4.8, maka dilakukan perhitungan sesuai *displacement of the earth's surface* sepanjang sensor *line of sight* (LOS).

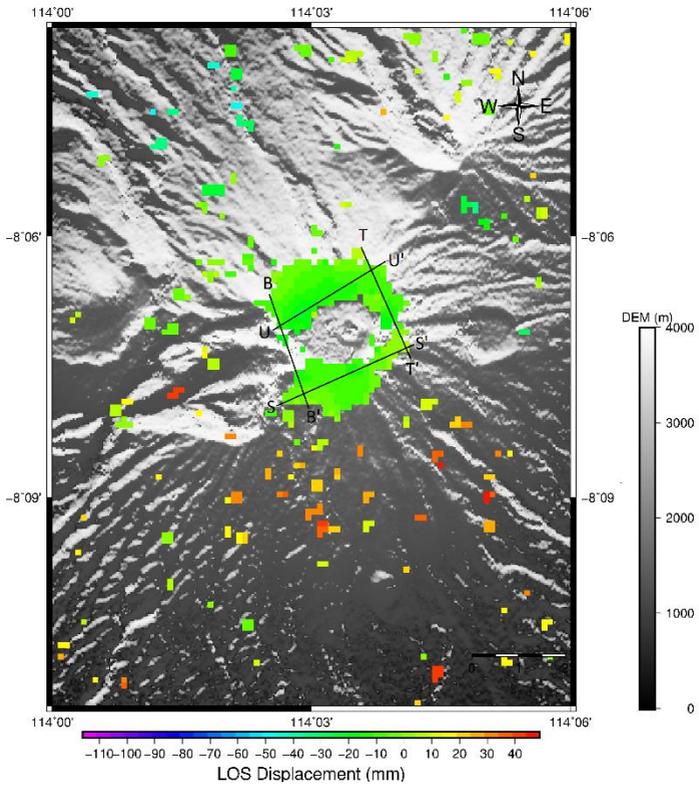
4.2 Analisa Besar Deformasi Area Studi

Untuk mengetahui sebaran nilai *LOS displacement* yang ada pada wilayah permukaan gunung Raung maka di lakukan pembuatan *cross-section* pada wilayah studi.

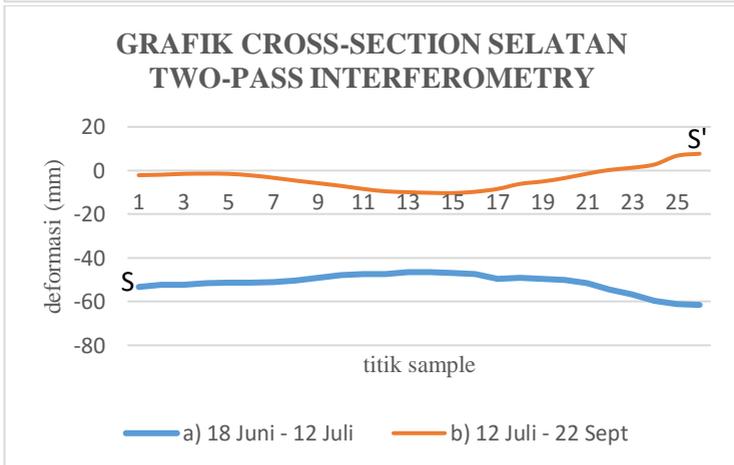
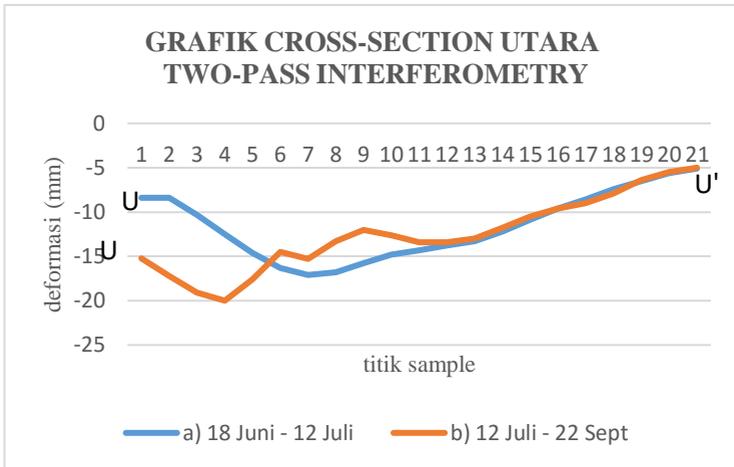
4.2.1 Analisa Besar Deformasi Metode *Two-pass Interferometry*

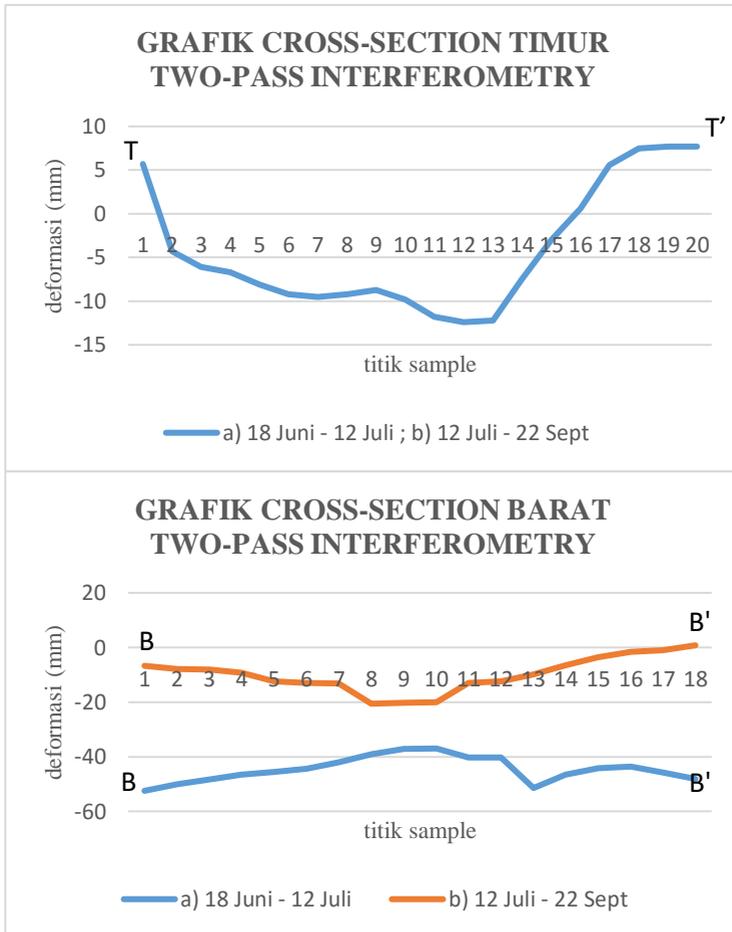
Peta sebaran *cross-section* dari hasil pengolahan citra *SAR* didapatkan dari hasil pengolahan citra *SAR* yang menghasilkan 2 pasangan citra *interferogram* yakni a) Pasangan citra 18 Juni 2015 – 12 Juli 2015 ; b) Pasangan citra 12 Juli 2015 – 22 September 2015. Yang kemudian dari peta sebaran *cross-section* didapatkan grafik besar *LOS displacement* (mm).





Gambar 4.19 Peta *Cross-Section* a) Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 - b) 12 Juli 2015 - 22 September 2015





Gambar 4.20 Grafik *Cross-section* Metode *Two-pass Interferometry*

Dari grafik *cross-section* yang ada pada gambar 4.20 besar nilai *displacement* baik inflasi maupun deflasi dapat dijelaskan sebagai berikut :

a) Grafik Bagian Utara

Hasil pengolahan dengan metode *two-pass* teknologi DInSAR menunjukkan bahwa sepanjang *cross section*, baik pasangan citra a) 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 ; b) 12 Juli 2015 - 22 September 2015 sama-sama mengalami penurunan permukaan gunung (deflasi). Dengan nilai deflasi yang ada pada pasangan citra a) memiliki nilai penurunan yang paling rendah adalah -5,1 mm dan tertinggi adalah -17,1 mm. Untuk pasangan citra b) mengalami nilai penurunan paling rendah yakni -5 mm dan paling tinggi -20 mm. Meskipun sama-sama mengalami deflasi tetapi pada pasangan citra b) memiliki nilai penurunan lebih besar dibandingkan dengan pasangan citra a).

b) Grafik Bagian Selatan

Hasil pengolahan dengan metode *two-pass* teknologi DInSAR menunjukkan bahwa untuk pasangan citra a) mengalami penurunan permukaan tanah (deflasi) dengan nilai penurunan permukaan paling tinggi bernilai -61,5 mm dan penurunan paling rendah bernilai -46,5 mm. Sedangkan pada pasangan citra b) sebagian besar mengalami penurunan permukaan (deflasi), walaupun pada titik-titik tertentu terdapat area yang mengalami kenaikan permukaan tanah (inflasi). Daerah yang mengalami deflasi paling rendah bernilai -1,4 mm dan paling tinggi bernilai -10,3 mm. Sedangkan untuk inflasi berkisar antara 0,3 mm s/d 7,7 mm.

c) Grafik Bagian Timur

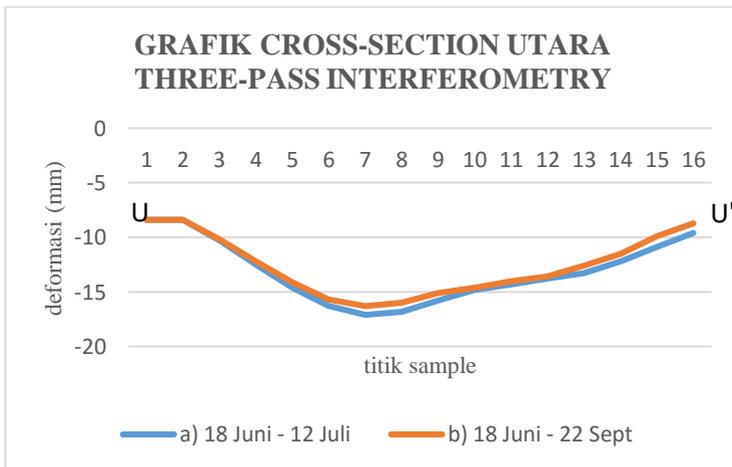
Hasil pengolahan dengan metode *two-pass* teknologi DInSAR menunjukkan bahwa baik pasangan citra a) dan b) sama-sama memiliki nilai deformasi yang sama sepanjang *cross-section*. Mayoritas titik sepanjang *cross-section* dibagian timur kaldera mengalami deflasi dengan nilai paling tinggi yakni 12,4 mm, dan yang paling rendah yakni -3 mm. Sedangkan titik yang mengalami inflasi berkisar antara 0,6 s/d 7 mm.

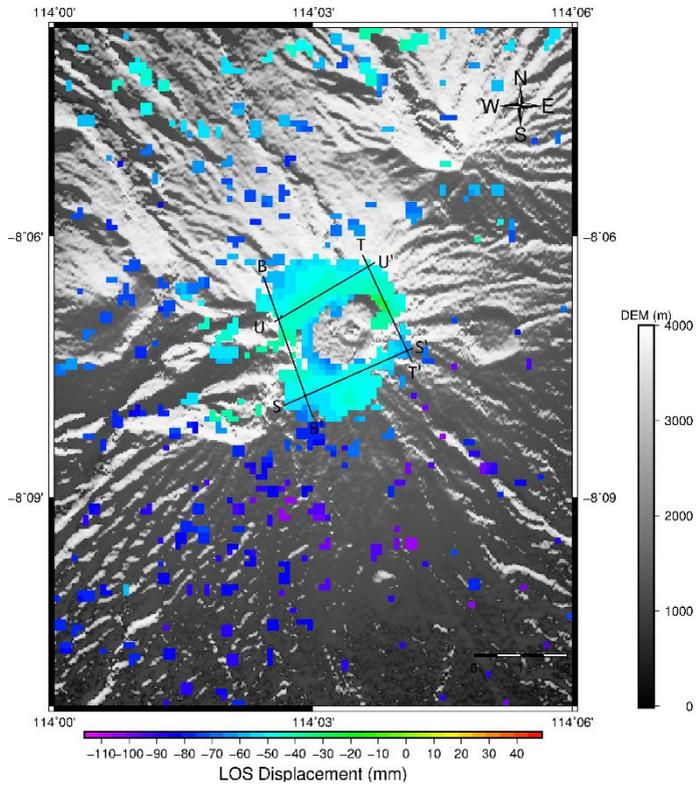
d) Grafik Bagian Barat

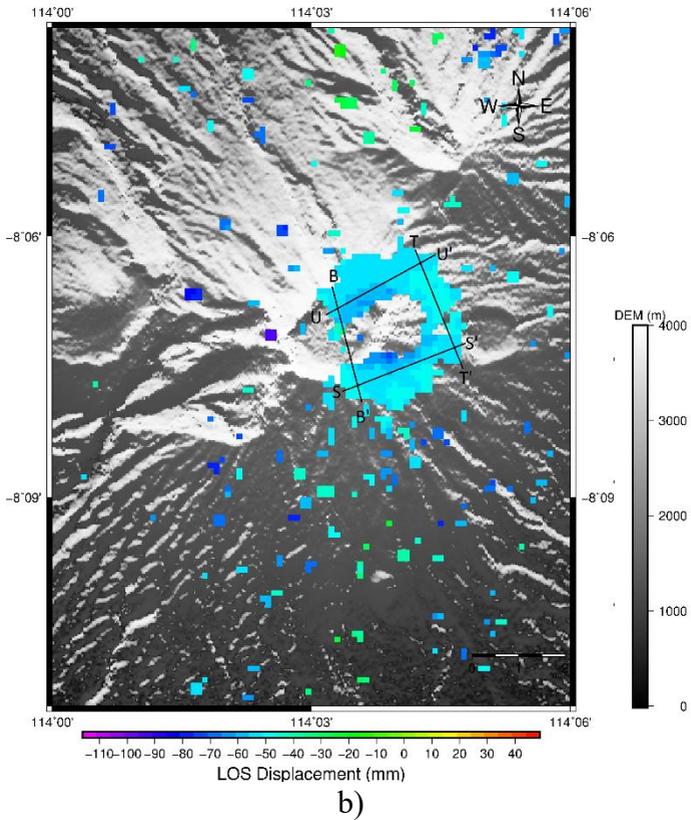
Hasil pengolahan dengan metode *two-pass* teknologi DinSAR menunjukkan bahwa pada pasangan citra a) keseluruhan titiknya mengalami deflasi dengan nilai tertinggi yaitu 52,5 mm dan terendah -37 mm. Sedangkan pada pasangan citra b), mayoritas titik sample sepanjang *cross-section* mengalami deflasi dengan nilai tertinggi -20,6 mm dan terendah -1 mm. Dan ada satu titik yang mengalami inflasi dengan besar nilai 0,8 mm.

4.2.2 Analisa Besar Deformasi Metode *Three-pass Interferometry*

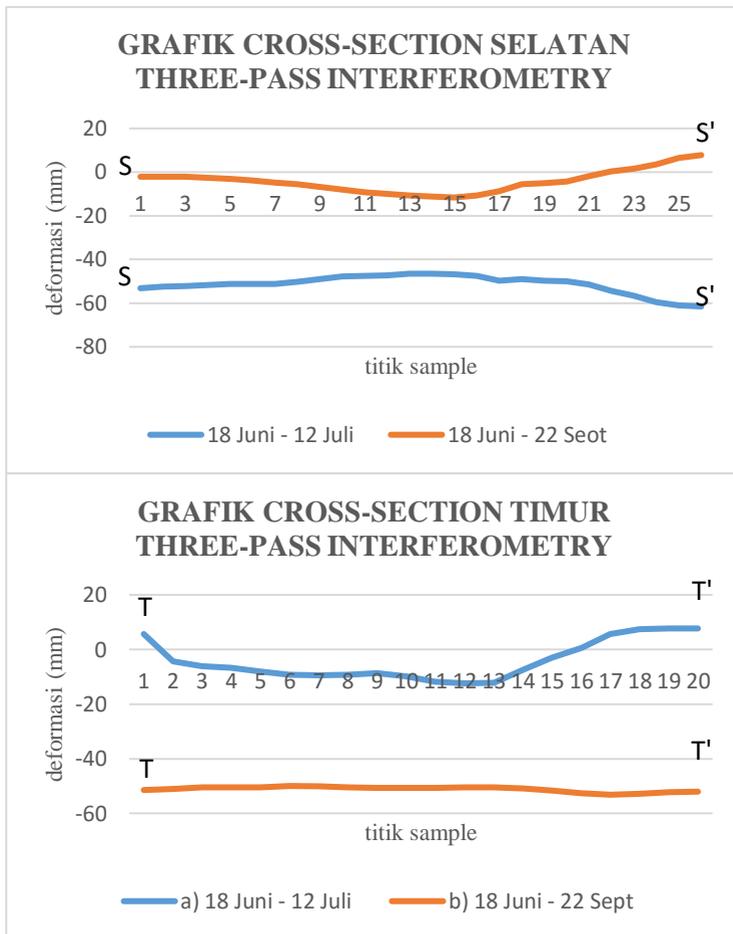
Peta sebaran *cross-section* dari hasil pengolahan citra SAR didapatkan dari hasil pengolahan citra SAR yang menghasilkan 2 pasangan citra *interferogram* yakni a) Pasangan citra 18 Juni 2015 – 12 Juli 2015 ; b) Pasangan citra 18 Juni 2015 – 22 September 2015. Yang kemudian dari peta sebaran *cross-section* didapatkan grafik besar *LOS displacement* (mm) pada gambar 4.12

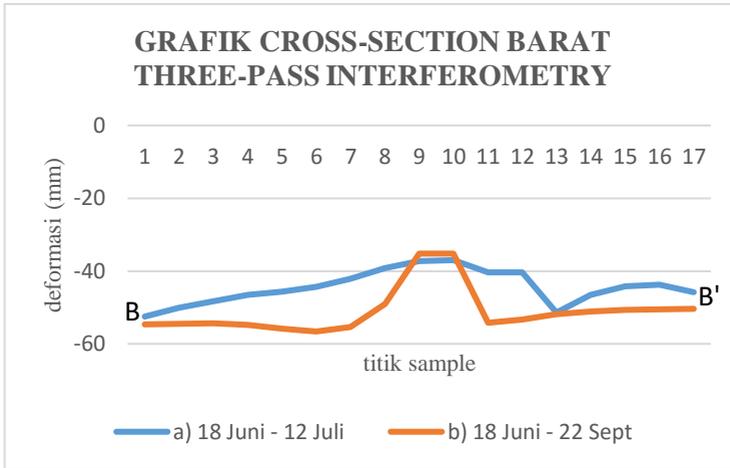






Gambar 4.21 Peta *Cross-Section* a) Pasangan Citra 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 - b) 18 Juni 2015 - 22 September 2015





Gambar 4.22 Grafik *Cross-section* Metode *Three-pass Interferometry*

Dari grafik *cross-section* yang ada pada gambar 4.22 besar nilai *displacement* baik inflasi maupun deflasi dapat dijelaskan sebagai berikut :

a) Grafik Bagian Utara

Hasil pengolahan dengan metode *three-pass* teknologi DInSAR menunjukkan bahwa sepanjang *cross section*, baik pasangan citra a) 18 Juni 2015 - 12 Juli 2015 ; b) 18 Juni 2015 - 22 September 2015 sama-sama mengalami penurunan permukaan gunung (deflasi). Dengan nilai deflasi yang ada pada pasangan citra a) memiliki nilai penurunan yang paling rendah adalah -5,1 mm dan tertinggi adalah -17,1 mm. Untuk pasangan citra b) mengalami nilai penurunan paling rendah yakni -4,3 mm dan paling tinggi -12,2 mm. Meskipun sama-sama mengalami deflasi tetapi pada pasangan citra a) memiliki nilai penurunan lebih besar dibandingkan dengan pasangan b).

b) Grafik Bagian Selatan

Hasil pengolahan dengan metode *three-pass* teknologi DInSAR menunjukkan bahwa pasangan citra a) mengalami penurunan permukaan tanah (deflasi) dengan nilai penurunan permukaan paling tinggi bernilai -61,5 mm dan penurunan paling rendah bernilai -46,5 mm. Sedangkan pada pasangan citra b) sebagian besar mengalami penurunan permukaan (deflasi), walaupun pada titik-titik tertentu terdapat area yang mengalami kenaikan permukaan tanah (inflasi). Daerah yang mengalami deflasi paling rendah bernilai -1,8 mm dan paling tinggi bernilai -11,6 mm. Sedangkan untuk inflasi berkisar antara 0,4 mm s/d 7,8 mm.

c) Grafik Bagian Timur

Hasil pengolahan dengan metode *three-pass* teknologi DInSAR bahwa pasangan citra a) mayoritas titik sepanjang *cross-section* dibagian timur kaldera mengalami deflasi dengan nilai paling tinggi yakni 12,4 mm, dan yang paling rendah yakni -3 mm. Sedangkan titik yang mengalami inflasi berkisar antara 0,6 s/d 7 mm. Sedangkan pada pasangan citra b) keseluruhan titiknya mengalami deflasi, dengan nilai deflasi paling tinggi yakni -52,2 mm dan paling rendah -50,5 mm. Dari kedua pasangan citra, pasangan citra b) mengalami penurunan yang lebih besar dari pada pasangan citra a).

d) Grafik Bagian Barat

Hasil pengolahan dengan metode *three-pass* teknologi DInSAR, keduanya pasangan citra mengalami penurunan permukaan tanah (deflasi). Pada pasangan citra a) memiliki nilai deflasi paling tinggi yakni -52,5 mm dan paling rendah -37 mm. Sedangkan pasangan citra b) mengalami deflasi dengan nilai paling tinggi -56,6 mm dan paling rendah 35,2 mm. . Dari kedua pasangan citra, pasangan citra b) mengalami penurunan yang lebih besar dari pada pasangan citra a).

4.2.3 Analisa Perbandingan Besar Deformasi

Dalam penelitian ini didapatkan bahwa sebagian besar deformasi yang ada pada gunung Raung terjadi di bagian kaldera. Deformasi yang terjadi di area yang dekat dengan kaldera diakibatkan oleh pergerakan ke atas dari magma (Mogi, 1958). Dan pada bagian badan gunung hanya beberapa tempat saja yang mengalami deformasi. Deformasi yang diamati di gunung Raung mengambil waktu akibat adanya erupsi yang terjadi pada tanggal 28 Juni 2015, dengan melakukan penggunaan data citra SAR dari bulan Juni 2015 – September 2015.

Dari data *LOS displacement* beserta hasil grafik *cross-section*, dapat diketahui bahwa di daerah kaldera gunung Raung mayoritas mengalami penurunan permukaan (deflasi). Hasil perbandingan besar deformasi yang terjadi pada permukaan gunung Raung yang diketahui menggunakan metode *two-pass* dan *three-pass* teknologi DInSAR dapat dilihat pada tabel 4.2.

Berdasarkan tabel 4.2 dijelaskan bahwa metode *two-pass* dan *three-pass* teknologi DInSAR, sama-sama dapat digunakan untuk mengetahui nilai deformasi. Tetapi terdapat perbedaan dari kedua hasil yang diperoleh dari kedua metode tersebut, Jika pada metode *two-pass* yang menghasilkan dua citra *interferogram* dengan dua citra *master* yang berbeda, hasil yang di peroleh yakni nilai deformasi yang paling besar berada pada bagian selatan dan barat kaldera gunung Raung dari hasil pemrosesan pasangan citra 18 Juni dan 12 Juli.

Sedangkan pada hasil yang di peroleh dari metode *three-pass* yang juga menghasilkan dua pasangan citra *interferogram* dengan hanya menggunakan satu citra *master* saja pada bulan Juni, nilai deformasi yang paling besar berada pada bagian selatan dan barat kaldera gunung Raung pada hasil pemrosesan pasangan citra 18 Juni – 12 Juli, dan pada pasangan citra 18 Juni – 22 Sept nilai deformasi yang besar ada pada bagian Timur dan Barat Kaldera gunung Raung.

Tabel 4.2 Tabel Besar Deformasi

| Grafik | <i>Two-Pass</i> | | | | <i>Three-Pass</i> | | | |
|---------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| | 18 Juni – 12 Juli | | 12 Juli – 22 Sept | | 18 Juni – 12 Juli | | 18 Juni – 22 Sept | |
| | Inflasi (mm) | Deflasi (mm) |
| UTARA | - | -12 | - | -12 | - | -12 | - | -12 |
| SELATAN | - | -51 | 4 | -5 | - | -51 | 4 | -6 |
| TIMUR | 6 | -8 | 6 | -8 | 6 | -8 | - | -51 |
| BARAT | - | -44 | - | -10 | - | -44 | - | -51 |

Pada bagian utara dan selatan kaldera gunung baik pengolahan dengan metode *two-pass* dan *three-pass* memiliki nilai deformasi yang hampir sama, dengan selisih yang relatif kecil, yakni 1 mm pada bagian selatan kaldera. Pada kaldera bagian timur dan barat memiliki nilai deformasi dengan selisih yang sangat besar yakni ~40 mm.

Adanya perbedaan hasil dari kedua metode tersebut jelas terlihat karena pemilihan citra *master* yang berbeda dari tiga pasang citra *interferogram* yang terbentuk. Selain itu juga dipengaruhi oleh kondisi atmosfer terhadap hasil pengolahan yang belum hilang sepenuhnya sehingga mengakibatkan adanya *noise* pada pasangan citra *interferogram*. Pengaruh atmosfer yang paling berpengaruh yaitu efek dari *troposfer*. Dimana akibat adanya efek *troposfer* perambatan gelombang *elektromagnetik* akan menyebabkan keterlambatan *phase* yang akan berpengaruh dalam penentuan jarak (Hanssen, 2001).

Dari segi *processing* antara kedua metode tersebut, jika hanya menggunakan satu citra *master* saja seperti pada metode *three-pass* maka semakin besar temporal antara citra *master* dan *slave* semakin besar pula nilai deformasi yang dihasilkan.

Perubahan pada permukaan tanah yang disertai dengan erupsi gunung api nampaknya terjadi akibat pergerakan substansi atau perubahan tekanan di kedalaman kerak bumi. Selain itu dengan keluarnya aliran lava, tekanan pada *reservoir* magma menurun dan menyebabkan permukaan menurun (Mogi, 1958). Pada penelitian Mogi (1958) juga dijelaskan bahwa aktivitas permukaan gunung api secara besar dipengaruhi oleh peningkatan tekanan pada *reservoir* magma.

Besarnya deformasi yang ada pada kaldera gunung Raung didominasi karena adanya erupsi yang terjadi. Dapat dilihat bahwa pada bagian Selatan dan Barat pasangan citra 18 Juni – 12 Juli memiliki nilai deformasi yang besar, yakni -51 mm pada bagian selatan, dan -44 mm pada bagian barat. Sedangkan besar nilai deformasi pada wilayah barat dan timur kaldera, memiliki nilai penurunan mencapai -51 mm, pada metode *three-pass*. Hal

tersebut di atas berhubungan dengan kondisi geologi dari gunung Raung yang dijelaskan pada sub-bab 4.3.

4.3 Analisa Kondisi Geologi

Di pulau Jawa terdapat banyak sekali gunung berapi sebagai akibat adanya tumbukan lempeng tektonik antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia di bagian selatan pulau Jawa. Salah satunya yaitu gunung api aktif, gunung Raung, yang memiliki erupsi jangka pendek.

Sebagai studi dasar, adanya perubahan terjadi di dalam kaldera gunung disebabkan adanya aktivitas vulkanik selama periode erupsi. Seperti yang dilaporkan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana, sebagai gunung berapi yang paling aktif di Indonesia dengan periode letusan yang pendek, aktivitas gunung Raung saat ini, terletak di bagian bawah kaldera. Dengan karakter erupsi yang dimiliki gunung Raung yakni tipe erupsi eksplosif (*Strombolian*) seperti yang terjadi pada tahun 1586, 1597, 1638, 1890, 1953, dan 1956.

Erupsi yang terjadi pada tanggal 28 Juni 2015, menurut BNPB dikarakteristikan sebagai aktivitas *strombolian*, bergemuruh (*roaring*), dan lontaran bahan material setinggi 300 meter. Selain itu berdasarkan laporan PVMBG, pada tanggal 1 dan 3-7 Juli adanya lontaran material kembali setinggi 3,7 – 6,1 km. Pada 5 dan 18 Juli, 1 Agustus, BNPB melaporkan adanya erupsi susulan dengan aktivitas *strombolian* (Global Volcanism Program, 2016).

Berdasarkan penjelasan Mogi (1958) dapat di katakan bahwa besar deformasi yang di hasilkan berhubungan dengan aktivitas erupsi dari gunung Raung itu sendiri.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa deformasi pada permukaan gunung Raung, maka di dapatkan beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

- a. Metode *two-pass* dan *three-pass* pada teknologi DInSAR, keduanya dapat di terapkan untuk mengetahui besar nilai deformasi di wilayah permukaan gunung Raung secara *general* dengan ketelitian sub-centimeter.
- b. Pada metode *two-pass*, besar deformasi berdasarkan *LOS displacement* pada kaldera bagian utara menunjukkan besar deflasi dengan nilai -12 mm. Pada kaldera bagian selatan menunjukkan besar deflasi -51 mm (pasangan citra Juni-Juli) serta menunjukkan inflasi dengan nilai 4 mm dan deflasi dengan nilai -5 mm (Pasangan citra Juli-September). Pada kaldera bagian timur menunjukkan besar inflasi 6 mm serta deflasi -8 mm (pasangan citra Juni-Juli), dan menunjukkan inflasi dengan nilai 6 mm serta deflasi dengan nilai -8 mm (Pasangan citra Juli-September). Pada kaldera bagian barat menunjukkan besar deflasi -44 mm (pasangan citra Juni-Juli), dan deflasi -10 mm (Pasangan citra Juli-September)
- c. Pada metode *three-pass*, besar deformasi berdasarkan *LOS displacement* pada kaldera bagian utara menunjukkan besar deflasi dengan nilai -12 mm. Pada kaldera bagian selatan menunjukkan besar deflasi -51 mm (pasangan citra Juni-Juli) serta menunjukkan inflasi dengan nilai 4 mm dan deflasi dengan nilai -6 mm (Pasangan citra Juli-September). Pada kaldera bagian timur menunjukkan besar inflasi 6 mm serta deflasi -8 mm (pasangan citra Juni-Juli), dan menunjukkan deflasi dengan nilai -51 mm (Pasangan citra

Juli-September). Pada kaldera bagian barat menunjukkan besar deflasi -44 mm (pasangan citra Juni-Juli), dan deflasi -51 mm (Pasangan citra Juli-September)

- d. Metode *three-pass interferometry* dapat menunjukkan hasil deformasi yang signifikan di banding dengan metode *two-pass*, yang dapat dilihat di kaldera bagian timur dan barat, jika dikaitkan dengan kondisi geologi gunung Raung yang mengalami aktivitas dari bulan Agustus 2015 hingga awal tahun 2016 menurut laporan PVMBG.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain :

- a. Dianjurkan untuk penelitian selanjutnya dibutuhkan data pembandingan tambahan berupa data GPS untuk melakukan uji validasi dan mengetahui keakuratan nilai deformasi hasil dari pengolahan teknik DInSAR, dikarenakan hasil yang diperoleh dari pengolahan citra *SAR* tidaklah cukup.
- b. Dianjurkan untuk menggunakan citra *SAR* yang memiliki penggunaan *band* yang berbeda dengan *Sentinel-1A* yang menggunakan *band-C*.
- c. Untuk penelitian lebih lanjut dapat menggunakan metode *time-series* untuk mengetahui pola deformasi dari gunung Raung sendiri lebih lanjut
- d. Sebaiknya gunakan teknik yang lebih akurat untuk penelitian selanjutnya, yaitu teknik *PS-InSAR (Persistent Scatterer Interferometry SAR)*, karena pengolahan data *SAR* dengan teknik DInSAR masih memiliki kesalahan atau dekorelasi berupa dekorelasi temporal, atmosferik, serta *noise*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelung, F., Jonsson, S., Zebker, H., dan Segall, P. 2000. "Widespread Uplift and Ttrapdoor' Faulting on Galápagos Volcanoes Observed with Radar Interferometry". *Nature* 407, 993-996.
- 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. 2014. "Pre-eruptive Ground Deformation of Azerbaijan Mud Volcanoes Detected Through Satellite Radar Interferometry (DInSAR)". *Tectonophysics* 637: 163-177.
- Bagnardi, M., Amelung, F., dan Poland, M. 2012. "A New Model for the Growth of Basaltic Shields Based on Deformation of Fernandina Volcano, Galapagos Islands". *Earth and Planetary Science Letters*
- Beauducel, F., Briole, P., dan Froger, J. 2000. Volcano-wide Fringes in ERS Synthetic Aperture Radar Interferograms of Etna (1992-1998) : Deformation or Tropospheric Effect ? *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, No. B7: 16391-16402
- 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).
- Chaussard, E., Amelung, F., dan Aoki, Y. 2013. "Characterization of Open and Closed Volcanic Systems in Indonesia and Mexico Using InSAR Time Series". *Journal Of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 118.

- Delacourt, C., Briole, P., dan Achache, J. 1998. "Tropospheric Corrections of SAR Interferograms with Strong Topography. Application to Etna". *Geophysical Research Letters*, Vol. 25, No.15 : 2849-2852.
- ESA.2000. Asar Product Handbook. <URL : https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/ENVISAT/ASAR/asar.ProductHandbook.2_2.pdf> Dikunjungi pada 25 Oktober 2016 jam 17:00
- ESA.2012. Sentinel-1. <URL : http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin131/bul131a_a.ttema.pdf> Dikunjungi pada 25 Oktober jam 18:00
- ESDM. 2016. Penurunan Aktivitas Gunung Raung. <URL : <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/aktivitas-gunungapi/1331-penurunan-aktivitas-gunung-raung>>. Dikunjungi pada 24 Oktober jam 14:14 WIB
- 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.
- Fournier, T., Pritchard, M., dan Riddick, S. 2010. "Duration, Magnitude, and Frequency of subaerial Volcano Deformation Events: New Results from Latin America using InSAR and a Global Synthesis". *An Electronic Journal Of The Earth Sciences* Volume 11, Number 1.
- Global Volcanism Program. 2016. Raung (263340) pada Volcanoes of the World. <URL : <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=263340>> . Dikunjungi pada 12 Juni jam 23:20
- Gourmelen, N., Amelung, F., dan Lanari, R. 2010. "Interferometric Synthetic Aperture Radar–GPS Integration: Interseismic Strain Accumulation Across the Hunter Mountain Fault in

- the Eastern California Shear Zone”. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 115.
- Haerani, N., Hendrasto, M., dan Abidin, H. 2010. “Gunung Kelud Pasca Pembentukan Kubah Lava November 2007”. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 5 No. 1, 13-30.
- Haniah, Y. 2011. “Pengenalan Teknologi Radar Untuk Pemetaan Spasial Di Kawasan Tropis”. *TEKNIK – Vol. 32 No.2*.
- Hanssen, R. 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis Vol. 2*. Springer.
- Indra. 2011. *Penggunaan Dual Pass Differential InSAR untuk Pemantauan Deformasi (Studi Kasus: Sesar Palu-Koro)*. Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan ITB.
- Iodice, A. 2009. “A Survey of Differential SAR Interferometry for Surface Displacement Monitoring”. *Proceedings of the 6th European Radar Conference*. Rome, Italy.
- 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*.
- Jamel, I., Meilano, I., Gumilar, I., Sarsito, D., dan Abidin, H. 2013. “Analisis Deformasi Gunung Api Papandayan Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002 – 2011”. *Indonesian Journal Of Geospatial Vol. 2 No. 3*.
- Ji, L., Lu, Z., Dzurisin, D., dan Senyukov, S. 2013. “Pre-eruption 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 Baturdangan Menggunakan Teknologi SAR Interferometri (InSAR)*. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB.
- Kompas (Banyuwangi). 2015. 29 Juni
- Maraden, H. 2012. *Penggunaan Metode Insar Diferensial Untuk Pemantauan Deformasi Erupsi Gunung Merapi Pada*

- Tahun 2010. Bandung: Department of Geodetic Engineering ITB.
- Massonet, D., dan Feigl, K. 1998. "Radar Interferometry and Its Application to changes in the Earth's Surface". *Reviews of Geophysics* 36, 441-500.
- Mogi, K. 1958." Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surfaces around them". *Bulletin of the Earthquake Research Institutes* Vol. 36.
- 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.
- Ng, A., Chang, H., Ge, L., Rizos, C., dan Omura, M. 2008. "Radar Interferometry for Ground Subsidence Monitoring Using Alos Palsar Data". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7.
- Papageorgiou, E., Fournelis, M., dan Parcharidis, I. 2012. "Long- and Short-Term Deformation Monitoring of Santorini Volcano: Unrest Evidence by DInSAR Analysis". *IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing*, Vol. 5, No. 5: 1531-1537.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana. 2014. Gunung Raung. <URL : <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/526-g-raung>>. Dikunjungi pada tanggal 24 Oktober 2016, jam 11:00
- 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).

- Rusydy, Ibnu. 2012. Kembang-Kempis Gunung Api. <URL : <http://www.ibnurusydy.com/kembang-kempis-gunungapi/>>. Dikunjungi pada tanggal 10 Juni 2017, jam 22:45.
- Sambodo, K., dan Musyarofah. 2011. “Perbandingan Operasi Direct Correlation dan Fast Fourier Transform pada Registrasi Citra untuk Pengolahan Awal Orthorektifikasi Data Synthetic Aperture Radar (SAR)”. Geomatika SAR Nasional. Bogor: Crestpent Press.
- Sari, A. 2014. Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DINSAR) untuk Analisa Deformasi Di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat). Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suganda, O., Sarsito, D., Abidin, H., dan Kusnandar, A. 2007. “Determinasi Sumber Tekanan dan Analisis Regangan Utama”. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 2:73-86.
- Tamm, T., Zalite, K., Voormansik, K., dan Talgre, L. 2016. “Relating Sentinel-1 Interferometric Coherence to Mowing Events on Grasslands”. Remote Sensing.
- Teach Engineering. 2006. Volcano Panic. <URL : https://www.teachengineering.org/lessons/view/cub_natdis_lesson04>. Dikunjungi pada tanggal 06 Juni 2017, jam 23:00
- Tomiyama, N. 2010. “Microwave Remote Sensing With Focuses on Forestry And Agriculture”. Hanoi, Vietnam: ISPRS Students Consorsium and WG VI/5 TH Summer School.
- Ulum, F., dan Setyati, D. 2015. “Tumbuhan Paku (Pteridophyta) Epifit di Gunung Raung, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia”. Jurnal Ilmu Dasar, Vol. 16: 7-12.
- USGS.2015. Movement on the Surface Provides Information About the Subsurface. <URL : <https://volcanoes.usgs.gov/vhp/deformation.html>>. Dikunjungi pada 28 Januari 2017 pukul 19:00
- Wegmuller, U., Santoro, M., Werner, C., dan Cartus, O. 2015. “On The Estimation and Interpretation of Sentinel-1 TOPS

- InSAR Coherence". Proc 'Fringe 2015 Workshop'. Frascati, Italy: ESA.
- Yudha, E., Mulyo , B., Yuwono, dan Wiweka. 2011. "Studi Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Teknologi Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)". Digilib ITS.
- Yulyta, S. 2015. Studi Penurunan Muka Tanah Menggunakan Data ALOS PALSAR Multi Temporal dengan Teknik DInSAR. Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika ITS
- Zebker, H, Amelung, F., dan Jonsson, S. 2000. "Remote Sensing of Volcano Surface and Internal Processes Using Radar Interferometry". Remote Sensing of Active Volcanism Geophysical Monograph 116: 179-205.
- Zhou, X., Chang, N., & Li, S. 2009. "Applications of SAR Interferometry in Earth and Environmental Science Research". Sensors, 9 : 1876-1912 ; doi:10.3390/s90301876

Pasangan Citra 18 Juni – 12 Juli

SAT_baseline S1A20150618_104925_F3.PRM

S1A20150712_104926_F3.PRM

using command line

SC_identity = 10

.....master LED file S1A20150618_104925_F3.LED

.....slave LED file S1A20150712_104926_F3.LED

Sampling interval being 0.008916 azimuth pixel

lon_tie_point = 114.343581

lat_tie_point = -8.588685

SC_vel = 7181.786069

SC_height = 700622.475850

SC_height_start = 700728.915175

SC_height_end = 700514.456050

earth_radius = 6377617.394051

rshift = 0

sub_int_r = 0.0

ashift = -2

sub_int_a = 0.0

B_parallel = 3.037457

B_perpendicular = 32.149267

baseline_start = 32.292438

baseline_center = 31.022114

baseline_end = 29.773090

alpha_start = 38.313810

alpha_center = 39.967225

alpha_end = 41.759338

Pasangan Citra 12 Juli – 22 September

SAT_baseline S1A20150712_104926_F3.PRM

S1A20150922_104929_F3.PRM

using command line

SC_identity = 10

.....master LED file S1A20150712_104926_F3.LED

.....slave LED file S1A20150922_104929_F3.LED

Sampling interval being 0.012230 azimuth pixel

lon_tie_point = 114.343245

lat_tie_point = -8.587483

SC_vel = 7181.814154

SC_height = 700604.791225

SC_height_start = 700711.474560

SC_height_end = 700496.530400

earth_radius = 6377617.529398

rshift = 0

sub_int_r = 0.0

ashift = 0

sub_int_a = 0.0

B_parallel = -27.818085

B_perpendicular = -53.932280

baseline_start = 60.683908

baseline_center = 61.877195

baseline_end = 63.056971

alpha_start = -163.575736

alpha_center = -163.668461

alpha_end = -163.756884

Pasangan Citra 18 Juni – 22 September

SAT_baseline S1A20150618_104925_F3.PRM

S1A20150922_104929_F3.PRM

using command line

SC_identity = 10

.....master LED file S1A20150618_104925_F3.LED

.....slave LED file S1A20150922_104929_F3.LED

Sampling interval being 0.009026 azimuth pixel

lon_tie_point = 114.343581

lat_tie_point = -8.588685

SC_vel = 7181.814155

SC_height = 700605.081249

SC_height_start = 700711.762304

SC_height_end = 700496.822687

earth_radius = 6377617.394051

rshift = 0

sub_int_r = 0.0

ashift = 0

sub_int_a = 0.0

B_parallel = -24.782061

B_perpendicular = -21.780299

baseline_start = 32.992908

baseline_center = 35.692726

baseline_end = 38.391764

alpha_start = 175.022468

alpha_center = 175.938548

alpha_end = 176.727184

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Kaldera Bagian Utara

| 18 Juni – 12 Juli | | |
|-------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,04 | -8,116 | -8,4 |
| 114,043 | -8,115 | -8,4 |
| 114,044 | -8,114 | -10,3 |
| 114,045 | -8,114 | -12,5 |
| 114,046 | -8,113 | -14,6 |
| 114,047 | -8,112 | -16,3 |
| 114,048 | -8,112 | -17,1 |
| 114,049 | -8,111 | -16,8 |
| 114,05 | -8,111 | -15,8 |
| 114,051 | -8,11 | -14,8 |
| 114,052 | -8,109 | -14,3 |
| 114,053 | -8,109 | -13,8 |
| 114,054 | -8,108 | -13,3 |
| 114,056 | -8,108 | -12,2 |
| 114,057 | -8,107 | -10,9 |
| 114,058 | -8,106 | -9,6 |
| 114,059 | -8,106 | -8,6 |
| 114,06 | -8,105 | -7,4 |
| 114,061 | -8,105 | -6,5 |
| 114,062 | -8,104 | -5,6 |
| 114,063 | -8,104 | -5,1 |

| 12 Juli – 22 September | | |
|------------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,04 | -8,116 | -15,2 |
| 114,043 | -8,115 | -17,2 |
| 114,044 | -8,114 | -19,1 |
| 114,045 | -8,114 | -20 |
| 114,046 | -8,113 | -17,6 |
| 114,047 | -8,112 | -14,5 |
| 114,048 | -8,112 | -15,3 |
| 114,049 | -8,111 | -13,3 |
| 114,05 | -8,111 | -12 |
| 114,051 | -8,11 | -12,6 |
| 114,052 | -8,109 | -13,4 |
| 114,053 | -8,109 | -13,4 |
| 114,054 | -8,108 | -13 |
| 114,056 | -8,108 | -11,8 |
| 114,057 | -8,107 | -10,5 |
| 114,058 | -8,106 | -9,6 |
| 114,059 | -8,106 | -9 |
| 114,06 | -8,105 | -7,9 |
| 114,061 | -8,105 | -6,4 |
| 114,062 | -8,104 | -5,5 |
| 114,063 | -8,104 | -5 |

Kaldera Bagian Selatan

| 18 Juni – 12 Juli | | |
|-------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,044 | -8,131 | -53,2 |
| 114,045 | -8,131 | -52,4 |
| 114,046 | -8,131 | -52,2 |
| 114,047 | -8,13 | -51,6 |
| 114,048 | -8,13 | -51,2 |
| 114,049 | -8,129 | -51,2 |
| 114,05 | -8,129 | -51,1 |
| 114,051 | -8,129 | -50,3 |
| 114,052 | -8,128 | -49,1 |
| 114,053 | -8,128 | -47,8 |
| 114,054 | -8,127 | -47,4 |
| 114,055 | -8,127 | -47,3 |
| 114,056 | -8,126 | -46,5 |
| 114,057 | -8,126 | -46,5 |
| 114,058 | -8,125 | -46,8 |
| 114,059 | -8,125 | -47,5 |
| 114,06 | -8,125 | -49,6 |
| 114,061 | -8,124 | -49,1 |
| 114,062 | -8,124 | -49,7 |
| 114,063 | -8,123 | -50 |
| 114,064 | -8,123 | -51,5 |
| 114,065 | -8,122 | -54,5 |
| 114,066 | -8,122 | -56,7 |
| 114,067 | -8,121 | -59,6 |

| 12 Juli – 22 September | | |
|------------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,044 | -8,131 | -2,1 |
| 114,045 | -8,131 | -1,9 |
| 114,046 | -8,131 | -1,5 |
| 114,047 | -8,13 | -1,4 |
| 114,048 | -8,13 | -1,5 |
| 114,049 | -8,129 | -2,2 |
| 114,05 | -8,129 | -3,3 |
| 114,051 | -8,129 | -4,6 |
| 114,052 | -8,128 | -5,8 |
| 114,053 | -8,128 | -7 |
| 114,054 | -8,127 | -8,4 |
| 114,055 | -8,127 | -9,5 |
| 114,056 | -8,126 | -9,9 |
| 114,057 | -8,126 | -10,2 |
| 114,058 | -8,125 | -10,3 |
| 114,059 | -8,125 | -9,7 |
| 114,06 | -8,125 | -8,4 |
| 114,061 | -8,124 | -6,1 |
| 114,062 | -8,124 | -5 |
| 114,063 | -8,123 | -3,4 |
| 114,064 | -8,123 | -1,4 |
| 114,065 | -8,122 | 0,3 |
| 114,066 | -8,122 | 1,3 |
| 114,067 | -8,121 | 2,8 |

| | | |
|---------|--------|-------|
| 114,068 | -8,121 | -61,1 |
| 114,069 | -8,121 | -61,5 |
| 114,065 | -8,122 | -54,5 |

| | | |
|---------|--------|------|
| 114,068 | -8,121 | 6,8 |
| 114,069 | -8,121 | 7,7 |
| 114,044 | -8,131 | -2,1 |

Kaldera Bagian Timur

| 18 Juni – 12 Juli | | |
|-------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,06 | -8,102 | 5,7 |
| 114,061 | -8,104 | -4,3 |
| 114,061 | -8,105 | -6,1 |
| 114,062 | -8,106 | -6,7 |
| 114,062 | -8,107 | -8,1 |
| 114,063 | -8,108 | -9,2 |
| 114,063 | -8,109 | -9,5 |
| 114,064 | -8,11 | -9,2 |
| 114,064 | -8,111 | -8,7 |
| 114,065 | -8,112 | -9,8 |
| 114,065 | -8,113 | -11,8 |
| 114,066 | -8,114 | -12,4 |
| 114,066 | -8,115 | -12,2 |
| 114,066 | -8,117 | -7,5 |
| 114,067 | -8,118 | -3 |
| 114,067 | -8,119 | 0,6 |
| 114,068 | -8,12 | 5,6 |
| 114,068 | -8,12 | 7,5 |
| 114,069 | -8,122 | 7,7 |
| 114,069 | -8,122 | 7,7 |

| 12 Juli – 22 September | | |
|------------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,06 | -8,102 | 5,7 |
| 114,061 | -8,104 | -4,3 |
| 114,061 | -8,105 | -6,1 |
| 114,062 | -8,106 | -6,7 |
| 114,062 | -8,107 | -8,1 |
| 114,063 | -8,108 | -9,2 |
| 114,063 | -8,109 | -9,5 |
| 114,064 | -8,11 | -9,2 |
| 114,064 | -8,111 | -8,7 |
| 114,065 | -8,112 | -9,8 |
| 114,065 | -8,113 | -11,8 |
| 114,066 | -8,114 | -12,4 |
| 114,066 | -8,115 | -12,2 |
| 114,066 | -8,117 | -7,5 |
| 114,067 | -8,118 | -3 |
| 114,067 | -8,119 | 0,6 |
| 114,068 | -8,12 | 5,6 |
| 114,068 | -8,12 | 7,5 |
| 114,069 | -8,122 | 7,7 |
| 114,069 | -8,122 | 7,7 |

Kaldera Bagian Barat

| 18 Juni – 12 Juli | | |
|-------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,042 | -8,111 | -52,5 |
| 114,042 | -8,112 | -50,1 |
| 114,043 | -8,113 | -48,3 |
| 114,043 | -8,114 | -46,6 |
| 114,043 | -8,115 | -45,6 |
| 114,044 | -8,116 | -44,4 |
| 114,044 | -8,117 | -42,1 |
| 114,044 | -8,118 | -39,2 |
| 114,045 | -8,119 | -37,2 |
| 114,045 | -8,12 | -37 |
| 114,046 | -8,121 | -40,3 |
| 114,046 | -8,122 | -40,3 |
| 114,046 | -8,123 | -51,4 |
| 114,047 | -8,124 | -46,6 |
| 114,047 | -8,125 | -44,2 |
| 114,047 | -8,126 | -43,7 |
| 114,048 | -8,127 | -45,8 |
| 114,048 | -8,128 | -48,2 |

| 12 Juli – 22 September | | |
|------------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,042 | -8,111 | -6,8 |
| 114,042 | -8,112 | -7,8 |
| 114,043 | -8,113 | -8 |
| 114,043 | -8,114 | -9,3 |
| 114,043 | -8,115 | -12,5 |
| 114,044 | -8,116 | -12,9 |
| 114,044 | -8,117 | -13,2 |
| 114,044 | -8,118 | -20,6 |
| 114,045 | -8,119 | -20,2 |
| 114,045 | -8,12 | -20,1 |
| 114,046 | -8,121 | -12,9 |
| 114,046 | -8,122 | -12,4 |
| 114,046 | -8,123 | -9,9 |
| 114,047 | -8,124 | -6,6 |
| 114,047 | -8,125 | -3,5 |
| 114,047 | -8,126 | -1,6 |
| 114,048 | -8,127 | -1 |
| 114,048 | -8,128 | 0,8 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Kaldera Bagian Utara

| 18 Juni – 12 Juli | | |
|-------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,04 | -8,116 | -8,4 |
| 114,043 | -8,115 | -8,4 |
| 114,044 | -8,114 | -10,3 |
| 114,045 | -8,114 | -12,5 |
| 114,046 | -8,113 | -14,6 |
| 114,047 | -8,112 | -16,3 |
| 114,048 | -8,112 | -17,1 |
| 114,049 | -8,111 | -16,8 |
| 114,05 | -8,111 | -15,8 |
| 114,051 | -8,11 | -14,8 |
| 114,052 | -8,109 | -14,3 |
| 114,053 | -8,109 | -13,8 |
| 114,054 | -8,108 | -13,3 |
| 114,056 | -8,108 | -12,2 |
| 114,057 | -8,107 | -10,9 |
| 114,058 | -8,106 | -9,6 |
| 114,059 | -8,106 | -8,6 |
| 114,06 | -8,105 | -7,4 |
| 114,061 | -8,105 | -6,5 |
| 114,062 | -8,104 | -5,6 |
| 114,063 | -8,104 | -5,1 |

| 18 Juni – 22 September | | |
|------------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,04 | -8,116 | -8,4 |
| 114,043 | -8,115 | -8,4 |
| 114,044 | -8,114 | -10,2 |
| 114,045 | -8,114 | -12,2 |
| 114,046 | -8,113 | -14,1 |
| 114,047 | -8,112 | -15,7 |
| 114,048 | -8,112 | -16,3 |
| 114,049 | -8,111 | -16 |
| 114,05 | -8,111 | -15,1 |
| 114,051 | -8,11 | -14,6 |
| 114,052 | -8,109 | -14 |
| 114,053 | -8,109 | -13,6 |
| 114,054 | -8,108 | -12,6 |
| 114,056 | -8,108 | -11,5 |
| 114,057 | -8,107 | -9,9 |
| 114,058 | -8,106 | -8,7 |
| 114,059 | -8,106 | -7,6 |
| 114,06 | -8,105 | -6,5 |
| 114,061 | -8,105 | -6,2 |
| 114,062 | -8,104 | -4,6 |
| 114,063 | -8,104 | -4,3 |

Kaldera Bagian Selatan

| 18 Juni – 12 Juli | | |
|-------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,044 | -8,131 | -53,2 |
| 114,045 | -8,131 | -52,4 |
| 114,046 | -8,131 | -52,2 |
| 114,047 | -8,13 | -51,6 |
| 114,048 | -8,13 | -51,2 |
| 114,049 | -8,129 | -51,2 |
| 114,05 | -8,129 | -51,1 |
| 114,051 | -8,129 | -50,3 |
| 114,052 | -8,128 | -49,1 |
| 114,053 | -8,128 | -47,8 |
| 114,054 | -8,127 | -47,4 |
| 114,055 | -8,127 | -47,3 |
| 114,056 | -8,126 | -46,5 |
| 114,057 | -8,126 | -46,5 |
| 114,058 | -8,125 | -46,8 |
| 114,059 | -8,125 | -47,5 |
| 114,06 | -8,125 | -49,6 |
| 114,061 | -8,124 | -49,1 |
| 114,062 | -8,124 | -49,7 |
| 114,063 | -8,123 | -50 |
| 114,064 | -8,123 | -51,5 |
| 114,065 | -8,122 | -54,5 |
| 114,066 | -8,122 | -56,7 |
| 114,067 | -8,121 | -59,6 |

| 18 Juni – 22 September | | |
|------------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,044 | -8,131 | -2,1 |
| 114,045 | -8,131 | -2,2 |
| 114,046 | -8,131 | -2 |
| 114,047 | -8,13 | -2,5 |
| 114,048 | -8,13 | -3 |
| 114,049 | -8,129 | -3,8 |
| 114,05 | -8,129 | -4,7 |
| 114,051 | -8,129 | -5,6 |
| 114,052 | -8,128 | -6,8 |
| 114,053 | -8,128 | -7,9 |
| 114,054 | -8,127 | -9,1 |
| 114,055 | -8,127 | -10 |
| 114,056 | -8,126 | -10,8 |
| 114,057 | -8,126 | -11,2 |
| 114,058 | -8,125 | -11,6 |
| 114,059 | -8,125 | -10,8 |
| 114,06 | -8,125 | -8,7 |
| 114,061 | -8,124 | -5,6 |
| 114,062 | -8,124 | -5 |
| 114,063 | -8,123 | -4,2 |
| 114,064 | -8,123 | -1,8 |
| 114,065 | -8,122 | 0,4 |
| 114,066 | -8,122 | 1,5 |
| 114,067 | -8,121 | 3,5 |

| | | |
|---------|--------|-------|
| 114,068 | -8,121 | -61,1 |
| 114,069 | -8,121 | -61,5 |
| 114,065 | -8,122 | -54,5 |

| | | |
|---------|--------|------|
| 114,068 | -8,121 | 6,6 |
| 114,069 | -8,121 | 7,8 |
| 114,044 | -8,131 | -2,1 |

Kaldera Bagian Timur

| 18 Juni – 12 Juli | | |
|-------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,06 | -8,102 | 5,7 |
| 114,061 | -8,104 | -4,3 |
| 114,061 | -8,105 | -6,1 |
| 114,062 | -8,106 | -6,7 |
| 114,062 | -8,107 | -8,1 |
| 114,063 | -8,108 | -9,2 |
| 114,063 | -8,109 | -9,5 |
| 114,064 | -8,11 | -9,2 |
| 114,064 | -8,111 | -8,7 |
| 114,065 | -8,112 | -9,8 |
| 114,065 | -8,113 | -11,8 |
| 114,066 | -8,114 | -12,4 |
| 114,066 | -8,115 | -12,2 |
| 114,066 | -8,117 | -7,5 |
| 114,067 | -8,118 | -3 |
| 114,067 | -8,119 | 0,6 |
| 114,068 | -8,12 | 5,6 |
| 114,068 | -8,12 | 7,5 |
| 114,069 | -8,122 | 7,7 |
| 114,069 | -8,122 | 7,7 |

| 18 Juni – 22 September | | |
|------------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,06 | -8,102 | -51,5 |
| 114,061 | -8,104 | -51 |
| 114,061 | -8,105 | -50,5 |
| 114,062 | -8,106 | -50,4 |
| 114,062 | -8,107 | -50,4 |
| 114,063 | -8,108 | -50 |
| 114,063 | -8,109 | -50,1 |
| 114,064 | -8,11 | -50,5 |
| 114,064 | -8,111 | -50,6 |
| 114,065 | -8,112 | -50,6 |
| 114,065 | -8,113 | -50,6 |
| 114,066 | -8,114 | -50,5 |
| 114,066 | -8,115 | -50,4 |
| 114,066 | -8,117 | -50,8 |
| 114,067 | -8,118 | -51,6 |
| 114,067 | -8,119 | -52,7 |
| 114,068 | -8,12 | -53,2 |
| 114,068 | -8,12 | -52,8 |
| 114,069 | -8,122 | -52,2 |
| 114,069 | -8,122 | -52,1 |

Kaldera Bagian Barat

| 18 Juni – 12 Juli | | |
|-------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,042 | -8,111 | -52,5 |
| 114,042 | -8,112 | -50,1 |
| 114,043 | -8,113 | -48,3 |
| 114,043 | -8,114 | -46,6 |
| 114,043 | -8,115 | -45,6 |
| 114,044 | -8,116 | -44,4 |
| 114,044 | -8,117 | -42,1 |
| 114,044 | -8,118 | -39,2 |
| 114,045 | -8,119 | -37,2 |
| 114,045 | -8,12 | -37 |
| 114,046 | -8,121 | -40,3 |
| 114,046 | -8,122 | -40,3 |
| 114,046 | -8,123 | -51,4 |
| 114,047 | -8,124 | -46,6 |
| 114,047 | -8,125 | -44,2 |
| 114,047 | -8,126 | -43,7 |
| 114,048 | -8,127 | -45,8 |
| 114,048 | -8,128 | -48,2 |

| 18 Juni – 22 September | | |
|------------------------|---------|----------------|
| Bujur | Lintang | Deformasi (mm) |
| 114,042 | -8,111 | -54,6 |
| 114,042 | -8,112 | -54,5 |
| 114,043 | -8,113 | -54,4 |
| 114,043 | -8,114 | -54,8 |
| 114,043 | -8,115 | -55,8 |
| 114,044 | -8,116 | -56,6 |
| 114,044 | -8,117 | -55,4 |
| 114,044 | -8,118 | -49 |
| 114,045 | -8,119 | -35,2 |
| 114,045 | -8,12 | -35,2 |
| 114,046 | -8,121 | -54,2 |
| 114,046 | -8,122 | -53,3 |
| 114,046 | -8,123 | -51,9 |
| 114,047 | -8,124 | -51,1 |
| 114,047 | -8,125 | -50,7 |
| 114,047 | -8,126 | -50,5 |
| 114,048 | -8,127 | -50,4 |
| | | |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Penulis dilahirkan di Nganjuk, 13 Februari 1996, merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tunas Rimba, SD Al-Kautsar, kemudian SMP Negeri 26 dan SMA Negeri 11, Kota Surabaya. Setelah lulus dari SMA memilih melanjutkan pendidikan di jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengikuti program SNMPTN dan diterima di Teknik Geomatika – FTSP, ITS pada tahun 2013 terdaftar dengan NRP 3513100015. Selama menjadi

mahasiswa, penulis cukup aktif dalam kegiatan kemahasiswaan sebagai pengurus dari Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE) yaitu sebagai staff Departemen Dalam Negeri HIMAGE – ITS tahun 2014/2015 serta Sekretaris Departemen Dalam Negeri HIMAGE – ITS tahun 2015/2016. Selain itu penulis juga cukup aktif mengikuti ketrampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD FTSP tahun 2013 dan LKMM TD HIMAGE – ITS tahun 2014. Dan juga dalam bidang organisasi kepanititaan, naik dalam kegiatan mahasiswa maupun seminar yang diselenggarakan oleh organisasi kemahasiswaan ataupun jurusan. Sebagai bentuk ketertarikannya pada geodinamika, dalam pembuatan Tugas Akhir penulis memilih judul “Analisis Deformasi Permukaan Gunung Raung Menggunakan Teknologi *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) Berdasarkan Erupsi 28 Juni 2015” sebagai syarat dalam penyelesaian studi di jenjang Strata 1.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”