

Analisis Deformasi Gunung Raung Menggunakan Teknologi *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR)

Rani Fitri Febriyanti dan Ira Mutiara Anjasmara

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ira@geodesy.its.ac.id

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 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 PVMBG. Meskipun begitu untuk mengetahui besar nilai deformasi yang akurat perlu dilakukan pengukuran secara langsung di lapangan.

Kata Kunci—Deformasi, DInSAR, Gunung Raung, dan Sentinel-1A.

I. PENDAHULUAN

GUNUNG Raung merupakan gunung api aktif dengan puncak tertinggi mencapai 3332 mdpl [1] yang terletak di tiga kabupaten di Jawa Timur, yakni Kabupaten Jember, Kabupaten Banyuwangi, dan Kabupaten Bondowoso. Pada 24 Juni 2015, citra satelit BMKG mendeteksi adanya peningkatan aktivitas pada gunung Raung yang kemudian mengarah pada terjadinya erupsi pada tanggal 28 Juni 2015.

Erupsi pada gunung api disebabkan adanya aktivitas magma seperti *uplift* sebelum erupsi dan penurunan pada saat erupsi [2] yang dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada permukaan gunung api [3]. Pengukuran deformasi permukaan sangat

penting untuk memahami proses dari gunung api itu sendiri dan bencana yang disebabkan, selain itu dapat memberikan wawasan penting mengenai struktur, pipa, dan keadaan dari gunung api itu sendiri [4]. Pada prinsipnya deformasi dari tubuh gunung api dapat berupa kenaikan permukaan tanah (inflasi) atau penurunan permukaan tanah (deflasi) [5].

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 [6], selain itu dapat menggunakan teknologi satelit penginderaan jauh aktif yang menyediakan cakupan global untuk pemantauan gunung api [7].

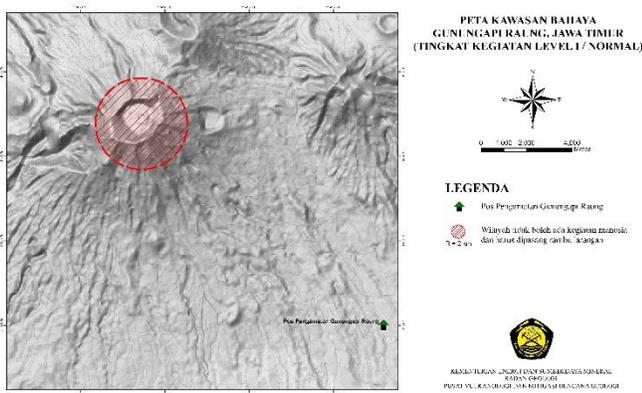
Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) merupakan teknik berbasis radar yang mengeksploitasi informasi yang ada pada fase, setidaknya dua gambar SAR yang diperoleh pada daerah yang sama, pada waktu yang berbeda, untuk memperoleh pengukuran deformasi pada suatu daerah [8]. Teknik DInSAR dapat digunakan untuk mengukur pergerakan kecil pada suatu wilayah dari waktu ke waktu.

Penelitian deformasi pada permukaan gunung api yang telah dilakukan sebelumnya dengan teknologi DInSAR [9][10] 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 studi 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.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus wilayah gunung Raung yang berada di Provinsi Jawa Timur. Pada koordinat 8°4' LS - 8°12' LS dan 114°-114°10' BT. Dengan batas wilayah utara dengan Kabupaten Bondowoso, barat dengan Kabupaten Jember, selatan dan timur dengan Kabupaten Banyuwangi



Gambar 1. Lokasi Penelitian (PVMBG, 2014)

B. Data dan Peralatan

1) Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Tiga citra satelit Sentinel-1A menggunakan *band-C single polaritation* (VV) dengan panjang gelombang 5,6 cm.
2. Data *Precise Orbit Ephemeride* [AUX_PEORB]
3. DEM SRTM 30 meter

Tabel 1.
Data Citra Sentinel-1A

ID_Scene	Tanggal	Level	Arah
S1A_IW_SLC__1SS V_20150618T10492 3_..._DD9A	18-Juni-2015	1.0 (Single Look Complex)	Ascending
S1A_IW_SLC__1SS V_20150712T10492 4_..._79B4	12-Juli-2015	1.0 (Single Look Complex)	Ascending
S1A_IW_SLC__1SS V_20150922T10492 7_..._0B30	22- September- 2015	1.0 (Single Look Complex)	Ascending

2) Peralatan

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

C. Metodologi Penelitian

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

1. Interferometry SAR Processing

Tujuan dari proses ini yaitu pembentukan citra *interferogram* dari sepasang data *SLC* yang terdiri dari citra *master* dan *slave*. Metode *two-pass* terbentuk dua pasang citra, 18Juni-12Juli dan 12Juli-22Sept. Dan metode *three-pass* terbentuk dua pasang citra, 18Juni-12Juli dan 18Juni-22Sept.

2. Differential Interferometry SAR (DInSAR) Processing

Pada citra *interferogram* yang telah terbentuk dilakukan proses *image filtering* dengan menaikkan nilai *Signal Noise Ratio* (SNR) serta penghapusan efek topografi dengan menggunakan DEM SRTM 30 meter pada sistem koordinat radar.

3. Nilai Koherensi

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

4. Phase Unwrapping dan Geocoding

Citra dari proses DInSAR masih dalam satuan radian (*phase*) dalam rentang $-\pi$ sampai dengan π , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Pola deformasi sudah dapat terlihat tetapi informasi deformasi belum dapat terbaca dengan baik, sehingga di butuhkan proses *phase unwrapping* untuk mendapatkan nilai *phase absolut* dan merubah satuan *phase* dari radian menjadi metrik. Sedangkan proses *geocoding* untuk melakukan transformasi koordinat kembali ke geografis.

5. Analisa Deformasi

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

III. HASIL DAN ANALISA

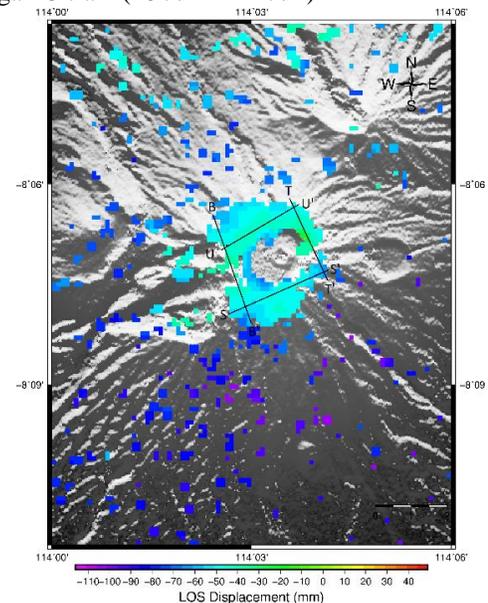
A. Hasil dan Analisa Besar Deformasi Proses DInSAR

Hasil citra *interferogram* yang telah dilakukan proses *unwrapping* di dapatkan nilai deformasi pada permukaan gunung Raung berdasarkan *line of sight* (LOS).

Untuk mengetahui sebaran deformasi baik kenaikan (inflasi) atau penurunan (deflasi) pada permukaan gunung Raung maka dibuat *cross-section*, seperti pada gambar :

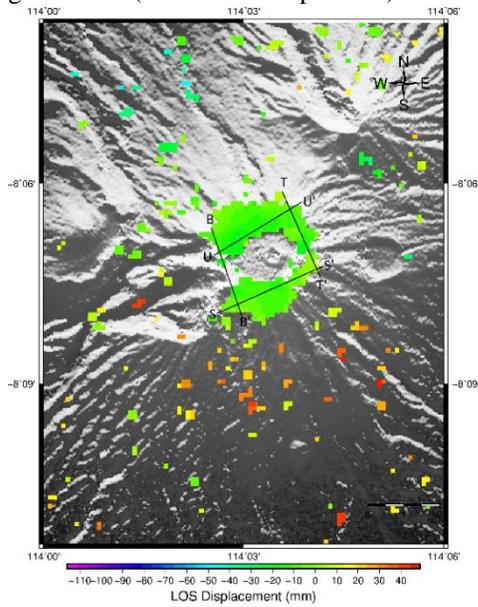
1. Metode two-pass interferometry

- Pasangan Citra 1 (18 Juni – 12 Juli)

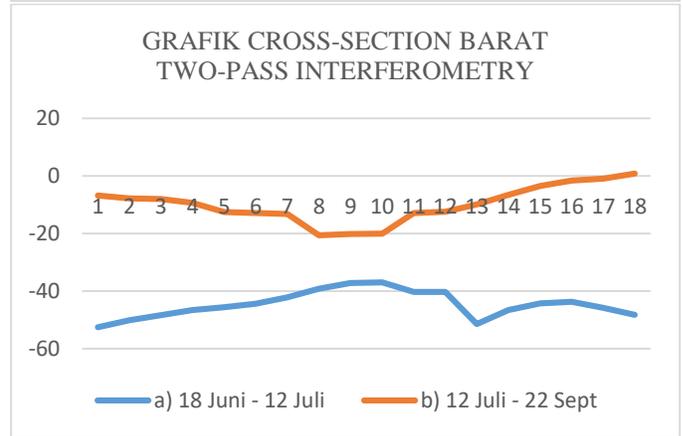
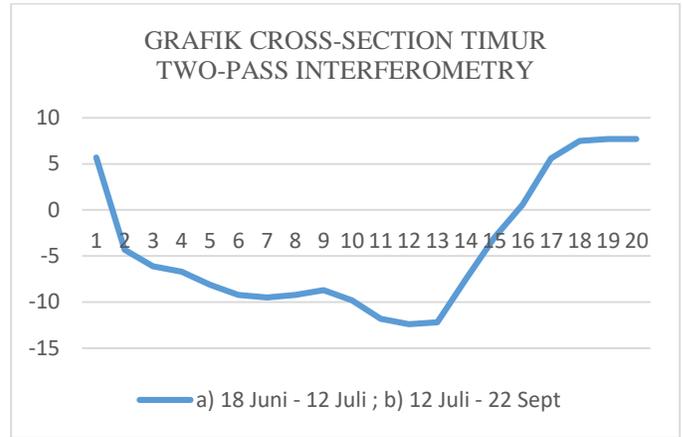


Gambar 2. Peta *cross-section* pasangan citra 1 (18 Juni – 12 Juli)

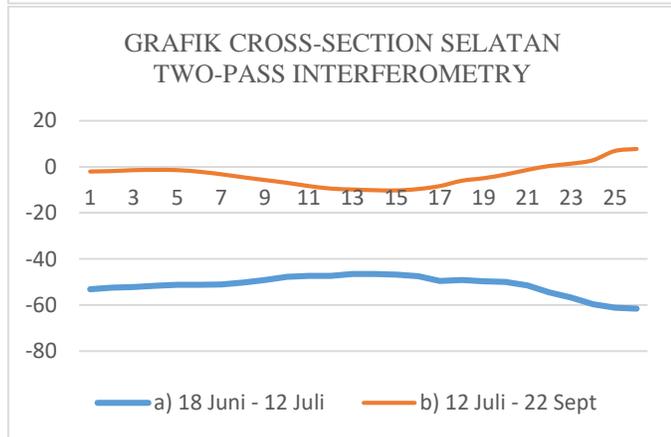
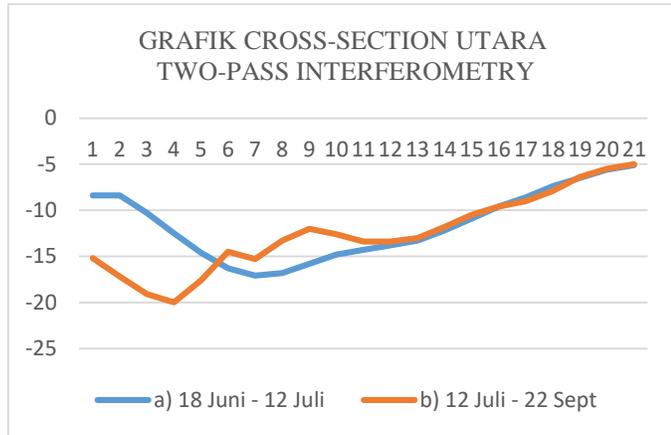
- Pasangan Citra 2 (12 Juli – 22 September)



Gambar 3. Peta *cross-section* pasangan citra 2 (12 Juli – 22 September)

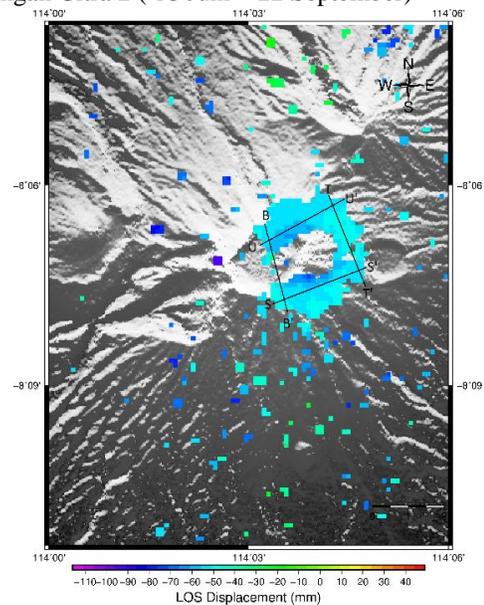


Gambar 4. Grafik *cross-section* metode *two-pass*

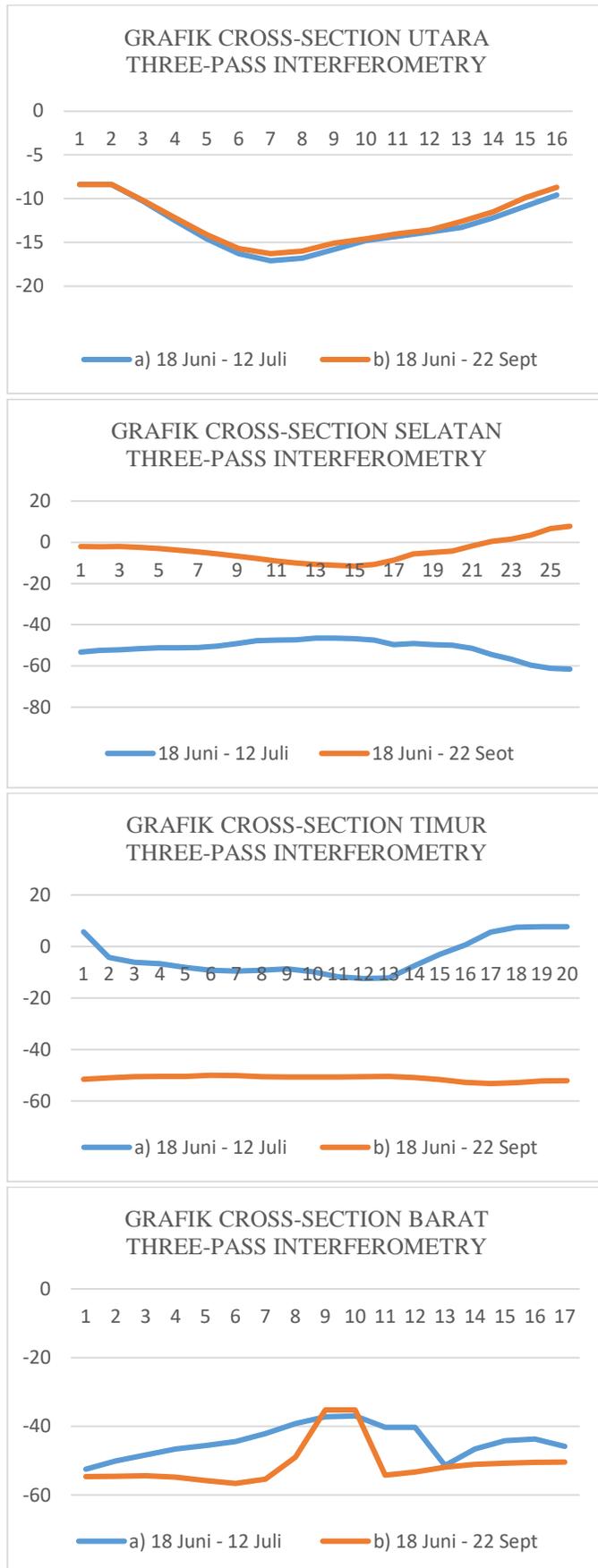


2. Metode *three-pass interferometry*

- Pasangan Citra 1 (18 Juni – 12 Juli)
Dapat dilihat pada gambar 3.
- Pasangan Citra 2 (18 Juni – 22 September)



Gambar 5. Peta *cross-section* pasangan citra 2 (18 Juni – 22 September)



Gambar 6. Grafik *cross-section* metode *three-pass*

Pada gambar 2, 3, dan 5 merupakan tiga pasang citra *interferogram* yang sudah diketahui besar deformasinya berdasarkan LOS dengan rentang nilai *scale bar* antara -110 mm s/d 40 mm. Nilai negatif (-) pada *scale bar* menunjukkan permukaan gunung mengalami deflasi sedangkan nilai positif (+) menunjukkan inflasi. Dari hasil pengolahan 3 pasang citra *interferogram* dapat dilihat aktivitas deformasi paling dominan terjadi di bagian kaldera gunung.

Pada gambar 4 dan 6 menunjukkan grafik *cross-section* yang dihasilkan dari metode *two-pass* dan *three-pass*, yang dapat disimpulkan bahwa kedua metode tersebut dapat digunakan untuk mengetahui nilai deformasi. Dengan besarnya perbandingan dapat dilihat pada tabel 2.

Sebagian besar gambar menunjukkan bahwa kaldera gunung mengalami deflasi setelah terjadinya erupsi tetapi ada beberapa titik di bagian kaldera yang menunjukkan inflasi.

Pada tabel 2 dijelaskan bahwa ada perbedaan dari kedua hasil yang diperoleh dari kedua metode tersebut. 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 [8].

Rujukan [11] menjelaskan bahwa dengan keluarnya aliran lava, tekanan pada *reservoir* magma menurun dan menyebabkan permukaan gunung api menurun. Juga dijelaskan bahwa aktivitas permukaan gunung api secara besar dipengaruhi oleh peningkatan tekanan pada *reservoir* magma.

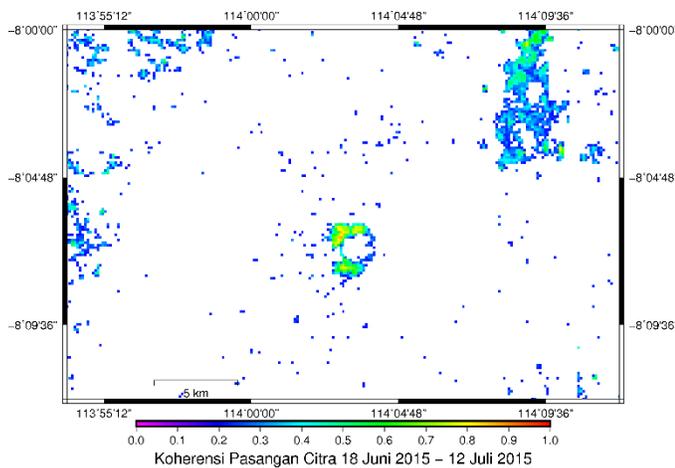
Besarnya deformasi yang ada pada kaldera gunung Raung didominasi karena adanya erupsi yang terjadi. Dapat dilihat bahwa pada bagian Selatan dan Barat pasangan citra 18 Juni – 12 Juli memiliki nilai deformasi yang besar, yakni -51 mm dan -44 mm. Sedangkan besar nilai deformasi pada wilayah barat dan timur 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 bagian analisa kondisi geologi gunung Raung.

Tabel 2.
Perbandingan Besar Deformasi

Grafik	Two-Pass				Three-Pass			
	18 Juni – 12 Juli		12 Juli – 22 Sept		18 Juni – 12 Juli		18 Juni – 22 Sept	
	Inflasi (mm)	Deflasi (mm)						
U	-	-12	-	-12	-	-12	-	-12
S	-	-51	4	-5	-	-51	4	-6
T	6	-8	6	-8	6	-8	-	-51
B	-	-44	-	-10	-	-44	-	-51

1) Koherensi Citra Interferogram

Koherensi merupakan nilai yang digunakan untuk mengestimasi *phase noise* dari citra *interferogram*.



Gambar 7. Citra Koherensi

Pada *scalebar* warna merah menunjukkan tingkat koherensi yang paling tinggi dan warna ungu menunjukkan tingkat koherensi paling rendah. Pada gambar 8 citra koherensi yang ditampilkan hanya menunjukkan wilayah yang memiliki nilai koherensi di atas 0,2 saja.. Wilayah yang memiliki nilai di bawah 0,2 merupakan wilayah vegetasi dengan kerapatan tinggi. Untuk nilai koherensi yang tinggi berada pada wilayah puncak gunung api.

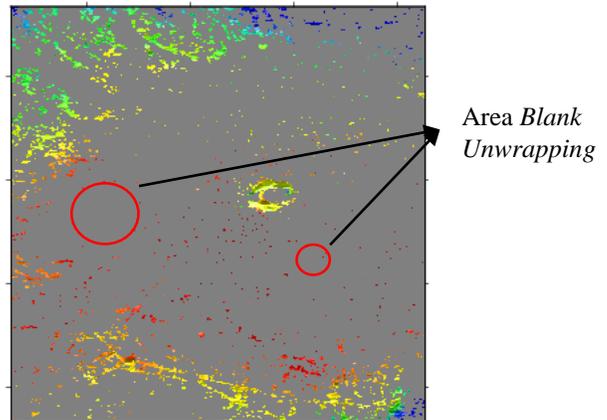
Rendahnya nilai koherensi pada citra *interferogram* disebabkan karena wilayah penelitian didominasi vegetasi dengan kerapatan tinggi. Pada wilayah vegetasi, dekorelasi temporal menyebabkan penurunan nilai koherensi [12], serta hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya [13] mengindikasikan bahwa 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.

2) Geometri Pencitraan Radar

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 [8]. 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.

Banyaknya *blank unwrapping* pada penelitian ini disebabkan daerah penelitian yang merupakan dataran tinggi dengan tingginya tingkat kerapatan vegetasi yang menyebabkan rendahnya nilai koherensi citra *interferogram*. Sehingga ketika dilakukan proses *phase unwrapping* banyak nilai *phase* yang hilang dan menghasilkan area *blank unwrapping*.



Gambar 8. Area Blank Unwrapping

B. Analisa Kondisi Geologi

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 [14].

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 *stromboliann* [15]

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa deformasi pada permukaan gunung Raung, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu :

1. 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.
2. 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-

DAFTAR PUSTAKA

- 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)
3. 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)
 4. 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.
- V. UCAPAN TERIMAKASIH
- Penulis R.F.F mengucapkan terima kasih kepada ESA (*European Space Agency*) yang telah menyediakan data Sentinel-1A untuk keperluan penelitian, Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil. Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama penelitian dilaksanakan.
- [1] P. V. dan M. Bencana, "Gunung Raung," 2014. [Online]. Available: <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/526-g-raung>.
 - [2] P. Amelung, F., Jonsson, S., Zebker, H., dan Segall, "Widespread uplift and 'trapdoor' faulting on Galápagos volcanoes observed with radar interferometry," *Nature*, pp. 993–996, 2000.
 - [3] B. M. Antonielli, B., Monserrat, O., "Pre-eruptive Ground Deformation of Azerbaijan Mud Volcanoes Detected Through Satellite Radar Interferometry (DInSAR)," *Tectonophysics*, pp. 163–177, 2014.
 - [4] S. Ji, L., Lu, Z., Dzurisin, D., dan Senyukov, "Pre-eruption Deformation Caused by Dike Intrusion Beneath Kizimen Volcano, Kamchatka, Russia, Observed By InSAR," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, pp. 87–95, 2013.
 - [5] A. Suganda, O., Sarsito, D., Abidin, H., dan Kusnandar, "Determinasi Sumber Tekanan dan Analisis Regangan Utama," *J. Geol. Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 73–86, 2007.
 - [6] K. Chang-Wook, L., Zhong, L., Hyung-Sup, J., dan Oh-Ig, "Surface Displacements of The St. Augustine Volcano, Alaska, Measured From an Dinsar and GPS Data," *7th Eur. Conf. Synth. Aperture Radar*, 2008.
 - [7] R. Rivera, A., Amelung, F., dan Eco, "Volcano Deformation and Modeling on Active Volcanoes in The Philippines From Alos InSAR Time Series," *Geochemistry Geophys. Geosystems*, vol. 17, 2016.
 - [8] T. A. Mathisen and T. E. S. Hanssen, "The academic literature on intermodal freight transportation," in *Transportation Research Procedia*, 2014, pp. 611–620.
 - [9] dan W. Yudha, E., Mulyo, B., Yuwono, "Studi Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Teknologi Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)," *Digilib ITS*, 2011.
 - [10] A. Kusman, "Studi Deformasi Gunung Api Baturdangan Menggunakan Teknologi SAR Interferometri (InSAR)," 2008.
 - [11] K. Mogi, "Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surfaces around them," *Bulletin of the Earthquake Research Institutes*, 1958.
 - [12] L. Tamm, T., Zalite, K., Voormansik, K., & Talgre, "Relating Sentinel-1 Interferometric Coherence to Mowing Events on Grasslands," 2016.
 - [13] O. Wegmuller, U., Santoro, M., Werner, C., & Cartus, "On The Estimation and Interpretation of Sentinel-1 TOPS InSAR Coherence," in *Proc "Fringe 2015 Workshop"*, 2015.
 - [14] R. Arbad, A., Takeuchi, W., Ardy, A., & Ashari, "Observing Deformation at Mt. Raung East Java Based on PALSAR-2 Imagery by Using Interferometric SAR," in *2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS)*, 2016.
 - [15] G. V. Program, "Raung (263340) pada Volcanoes of the World," 2016. [Online]. Available: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=263340>.