

# Penerapan Metode *Permanent Scatterers Interferometry Synthetic Aperture Radar* (Ps-InSAR) Untuk Analisis Deformasi Gunungapi (Studi Kasus: Gunungapi Sinabung)

Sajidah Salsabil<sup>1</sup>, Ira Mutiara Anjasmara<sup>1\*</sup>, Estu Kriswati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geomatika, FTSLK-ITS

Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\**e-mail*: ira@geodesy.its.ac.id

<sup>2</sup>Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Badan Geologi

Jalan Diponegoro No. 57, Bandung, 40122, Indonesia

*e-mail*: estu.kriswati@esdm.go.id

**Abstrak**— Di Indonesia terdapat 129 gunungapi yang masih aktif, salah satunya adalah Gunungapi Sinabung. Sepanjang tahun 2017 tercatat Gunungapi Sinabung mengalami erupsi-erupsi kecil akibat aktivitas magma. Pada gunungapi yang sedang aktif akan terjadi perubahan bentuk permukaan tanah yang disebut sebagai deformasi permukaan. Untuk memantau deformasi dapat digunakan berbagai macam metode, antara lain metode geodetik dengan menggunakan pengamatan GPS dan pengolahan data SAR dengan teknik PS-InSAR. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada gunungapi menggunakan metode PS-InSAR dengan validasi menggunakan data GPS. Data SAR yang digunakan, terdiri dari 27 citra Sentinel 1A tipe SLC dengan tanggal akuisisi 2 Januari hingga 28 Desember 2017. Hasil dari PS-InSAR menunjukkan *line of sight* (LOS) *velocity rate* yang terjadi berkisar pada -40,400 mm/tahun sampai dengan 30,800 mm/tahun dengan simpangan baku berkisar pada 1,400 mm/tahun sampai dengan 31,800 mm/tahun.

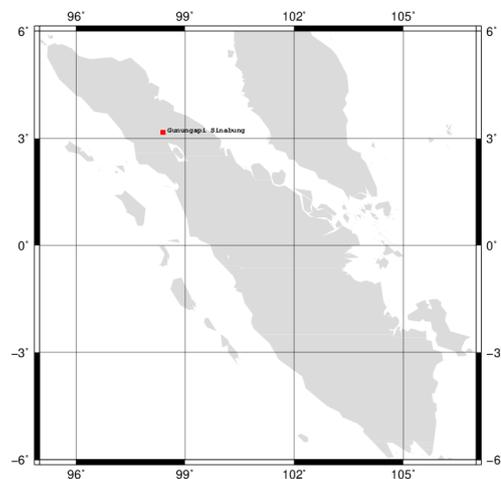
**Kata Kunci**— *Deformasi Gunungapi, StaMPS, PS-InSAR*

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA terletak pada pertemuan tiga lempeng utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Australia, dan Pasifik. Interaksi antar lempeng-lempeng tersebut membentuk jalur pegunungan yang membentang dari Sumatera hingga Laut Banda, serta sampai ke perairan Maluku dan Kawasan Sulawesi Utara. Di Indonesia terdapat 129 gunungapi yang masih aktif dan 500 tidak aktif. Gunungapi aktif yang ada di Indonesia merupakan 13% dari seluruh gunungapi aktif di dunia, yang mana 70 gunung diantaranya merupakan gunungapi aktif yang rawan meletus dan 15 gunungapi kritis[1].

Gunungapi Sinabung merupakan salah satu gunungapi di dataran tinggi Kabupaten Karo, Sumatera Utara, terletak pada koordinat puncak 03° 10' LU dan 98° 23,5' BT dengan puncak tertinggi gunungapi ini adalah 2.460 meter dari permukaan laut yang menjadi puncak tertinggi kedua di Sumatera Utara. Gunungapi Sinabung tercatat selama 27 Agustus 2010 - 7 April 2011 terjadi beberapa kali letusan yang diantaranya merupakan letusan freatik. Status Gunungapi Sinabung berubah dari tipe-B menjadi tipe-A.

Pada gunungapi yang sedang aktif akan terjadi perubahan bentuk permukaan tanah yang biasa disebut deformasi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Deformasi yang terjadi adalah akibat adanya perubahan tekanan dalam tubuh gunungapi karena aktivitas magma. Untuk mengetahui terjadinya deformasi tersebut dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain : dengan menggunakan theodolit ataupun sipat datar, *Global Positioning System* (GPS), dan dengan menggunakan Citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Metode untuk pengolahan citra SAR antara lain: *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR), *Differential InSAR* (D-InSAR), *Multi Temporal InSAR* (MT-InSAR) yang meliputi, *Permanent Scatterers InSAR* (PS-InSAR) dan *Small Baseline Subset* (SBAS).

Pada penelitian kali ini dilakukan penerapan metode PS-InSAR untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada Gunungapi Sinabung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penerapan metode PS-InSAR untuk deformasi Gunungapi Sinabung dan hasil yang didapat dari pengolahan menggunakan metode tersebut.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian ini adalah Gunungapi Sinabung yang berada di Dataran Tinggi Karo, Kabupaten Karo, Sumatera Utara dan terletak pada

Tabel 1.  
Daftar Set Data Citra Satelit Sentinel-1A yang Digunakan dalam Penelitian

ID File Citra	Tanggal
S1A_IW_SLC__1SDV_20170102T231158_20170102T231225_014659_017D86_300F	2 Januari 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170126T231157_20170126T231225_015009_018846_5CBC	26 Januari 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170219T231156_20170219T231224_015359_019324_857D	19 Februari 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170303T231156_20170303T231224_015534_01986E_BD5F	3 Maret 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170315T231159_20170315T231226_015709_019DAF_ACC8	15 Maret 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170327T231159_20170327T231227_015884_01A2E9_ECC6	27 Maret 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170408T231159_20170408T231227_016059_01A827_0C96	8-Apr-17
S1A_IW_SLC__1SDV_20170420T231200_20170420T231228_016234_01AD83_55E7	20-Apr-17
S1A_IW_SLC__1SDV_20170502T231200_20170502T231228_016409_01B2CF_7EE6	2 Mei 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170514T231201_20170514T231229_016584_01B821_BC45	14 Mei 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170526T231201_20170526T231229_016759_01BD82_7E8B	26 Mei 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170607T231202_20170607T231230_016934_01C2F2_B2D0	7 Juni 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170619T231203_20170619T231231_017109_01C859_33C5	19 Juni 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170713T231204_20170713T231232_017459_01D2E8_B36F	13 Juli 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170725T231205_20170725T231233_017634_01D843_05DA	25 Juli 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170806T231206_20170806T231234_017809_01DD96_C65F	6 Agustus 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170818T231206_20170818T231234_017984_01E2E5_7D6F	18 Agustus 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170830T231207_20170830T231235_018159_01E82A_E70D	30 Agustus 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170911T231207_20170911T231235_018334_01EDA3_923F	11-Sep-17
S1A_IW_SLC__1SDV_20170923T231208_20170923T231236_018509_01F300_1FCD	23-Sep-17
S1A_IW_SLC__1SDV_20171005T231208_20171005T231236_018684_01F857_F0E7	5 Oktober 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20171017T231208_20171017T231236_018859_01FDB1_1C41	17 Oktober 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20171110T231208_20171110T231236_019209_020866_FEE5	10-Nov-17
S1A_IW_SLC__1SDV_20171122T231208_20171122T231236_019384_020DF0_439A	22-Nov-17

koordinat puncak  $03^{\circ} 10'$  LU dan  $98^{\circ} 23,5'$  BT [3].

#### B. Data dan Peralatan

Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa data, antara lain:

- 1) Set Data Citra Satelit Sentinel-1A menggunakan tipe SLC *level 1 dual polarisation* (SDV) pada arah *descending* dengan polarisasi VV yang ditampilkan pada Tabel 1.;
- 2) Data Orbit Satelit Radar rentang waktu Januari hingga Desember 2017;
- 3) DEM SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 30 meter tahun 2017.

Pada penelitian ini juga dibutuhkan beberapa perangkat lunak antara lain : *OS Ubuntu 16.04 LTS*, *SNAP* [2] versi 6.0, *StaMPS* [3] versi 4.1b, *QGIS* dan *Matlab*.

#### C. Tahapan Penelitian

Berikut diagram alir pengolahan PS-InSAR yang dilakukan pada penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

##### 1) Pengolahan Dengan SNAP

Pada tahap ini, dilakukan pemilihan citra *master* yang merupakan citra yang paling optimal, yakni citra yang memiliki panjang *spatial* (*perpendicular*) dan *temporal baseline* terpendek diantara semua citra. Kemudian dilakukan pemilihan produk inti Sentinel-1 IW SLC dan pembaharuan informasi orbit. Setelah itu, setiap pasangan citra *master* dan *slave* akan dilakukan pembuatan *stack* untuk kemudian *dco-register* dan dibentuk fase *differential interferogramnya*. *Debursting stack* diperlukan untuk mendapatkan gambar berlanjut secara spasial. Setelah tahap-tahap tersebut, hasil data *stack* akan diekspor agar sesuai dengan algoritma StaMPS.

##### 2) Pemindahan ke dalam StaMPS

Setelah data *stack* berhasil diekspor, skrip *mt\_prep\_snap\_dirun* menggunakan terminal pada OS Ubuntu dengan menentukan parameter *amplitude dispersion*.

##### 3) Pengolahan Dengan StaMPS

Hasil pemindahan ke dalam StaMPS akan menghasilkan folder berisi file-file yang kemudian diproses menggunakan

*StaMPS package* pada perangkat lunak Matlab. Pada proses ini, hasil *PS candidate* keluaran SNAP sebelumnya akan diseleksi sehingga terpilih PS sesuai dengan parameter pengolahan yang telah ditentukan. Kemudian akan dilakukan plotting untuk menampilkan dalam bentuk *time series*.

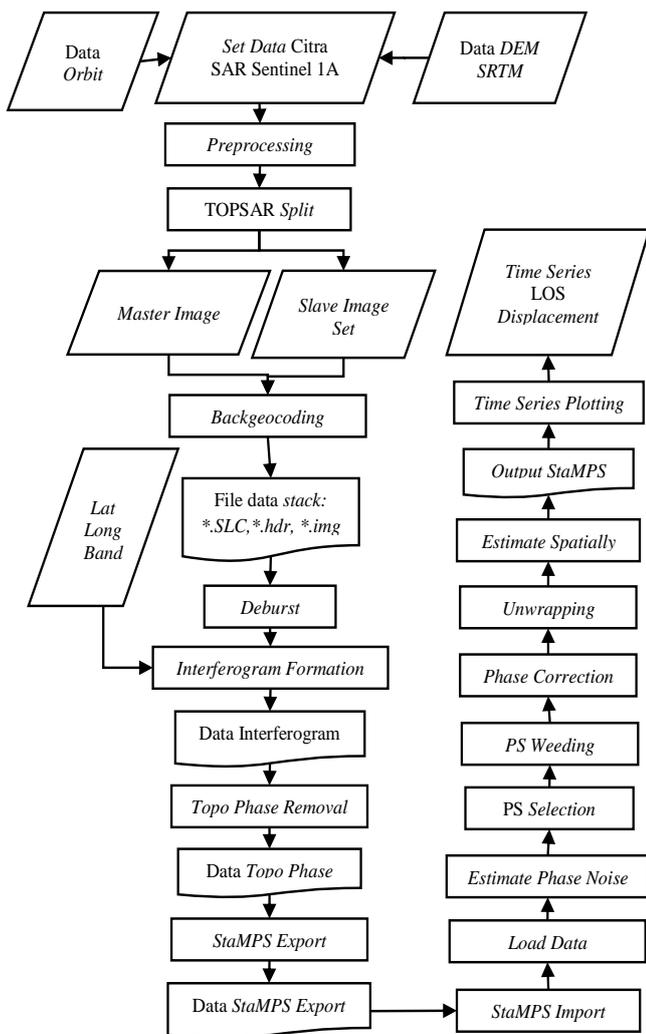
##### 4) Menampilkan Time Series Dengan QGIS

Hasil ekstraksi *time series* untuk setiap PS yang telah dipilih ditampilkan dengan perangkat lunak QGIS menggunakan *plugin PSI*.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Preprocessing

Metode interferometri data SAR terdapat dua parameter yang dapat mempengaruhi kenaikan derajat dari koherensi yang merupakan ukuran langsung untuk menunjukkan kesamaan antara dua pengamatan, yakni: *spatial* (*perpendicular*) yang memberikan indikasi terkait sensitivitas terhadap tinggi topografi, banyaknya dekorelasi akibat gradien fase, dan efektivitas dari *phase unwrapping*, serta *temporal baseline* untuk mereduksi fase sinyal akibat topografi dan *noise* akibat gradien fase, yang idealnya sesingkat mungkin. Pada pengolahan PS-InSAR, jumlah minimum citra yang diperlukan adalah 5 [4], namun direkomendasikan berjumlah 25 citra untuk hasil yang dapat dipercaya [5]. Penelitian kali ini digunakan 26 citra SAR yang kemudian akan menghasilkan 25 pasang citra dengan *perpendicular* dan *temporal baseline* yang ditunjukkan pada Tabel 2. Seluruh citra mengacu kepada satu citra master, yakni citra tanggal 19 Juni 2017. Citra *master* ini merupakan citra yang paling optimal, yang mana terpilih berdasarkan panjang *baseline* spasial (*perpendicular*) dan *temporal* yang terpendek dari seluruh citra yang digunakan yang dapat dilihat pada menu *InSAR Stack Overview* saat pengolahan menggunakan perangkat lunak SNAP.

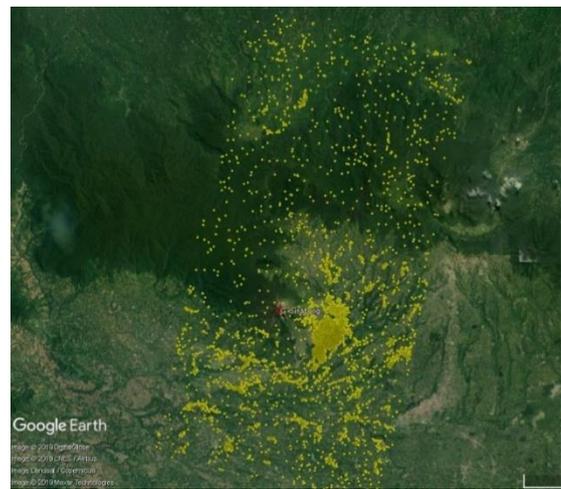


Gambar 2 Diagram Alir

**B. Pengolahan Dengan StaMPS**

Pada metode PS-InSAR, PS didefinisikan oleh stabilitas fase yang dipilih pada PS candidates berdasarkan karakteristik fase yang mana bergantung pada *thresholding pixel amplitude dispersion*, sehingga PS candidates dapat dipilih dengan menghiung *amplitude dispersion index* dan hanya memilih piksel dengan nilai *amplitude dispersion index* kurang dari nilai *threshold* yang telah ditentukan [5]. Metode tersebut memiliki tingkat kesuksesan tinggi dalam pemilihan PS yang cerah, misalnya bangunan tertentu buatan manusia yang memiliki *signal to ratio* (SNR) tinggi (>10) [10]. Nilai *amplitude dispersion* ini bernilai tinggi (>0,400) pada wilayah yang didominasi oleh vegetasi dan dapat bernilai lebih rendah pada wilayah urban [5]. Pada kebanyakan medan alam, termasuk kebanyakan gunungapi, jarang terdapat *scatterer* yang cerah dan densitas *reference PS* pada umumnya rendah untuk membentuk jaring referensi yang berjarak rapat [6]. Pada teknik StaMPS, nilai *amplitude dispersion* yang masuk akal berkisar pada 0,400-0,420. Namun nilai tersebut dapat diatur setinggi yang diinginkan, karena dengan menggunakan metode ini kebanyakan PS candidate merupakan piksel PS [6].

Pada wilayah gunungapi umumnya menghasilkan PS yang kurang rapat. Hal tersebut dikarenakan pada wilayah tersebut umumnya didominasi oleh vegetasi dan tidak banyak terdapat struktur bangunan buatan manusia. Pada penelitian kali ini digunakan nilai *amplitude dispersion* sebesar 0,47



Gambar 3 Hasil Plotting PS Pada Google Earth Pro

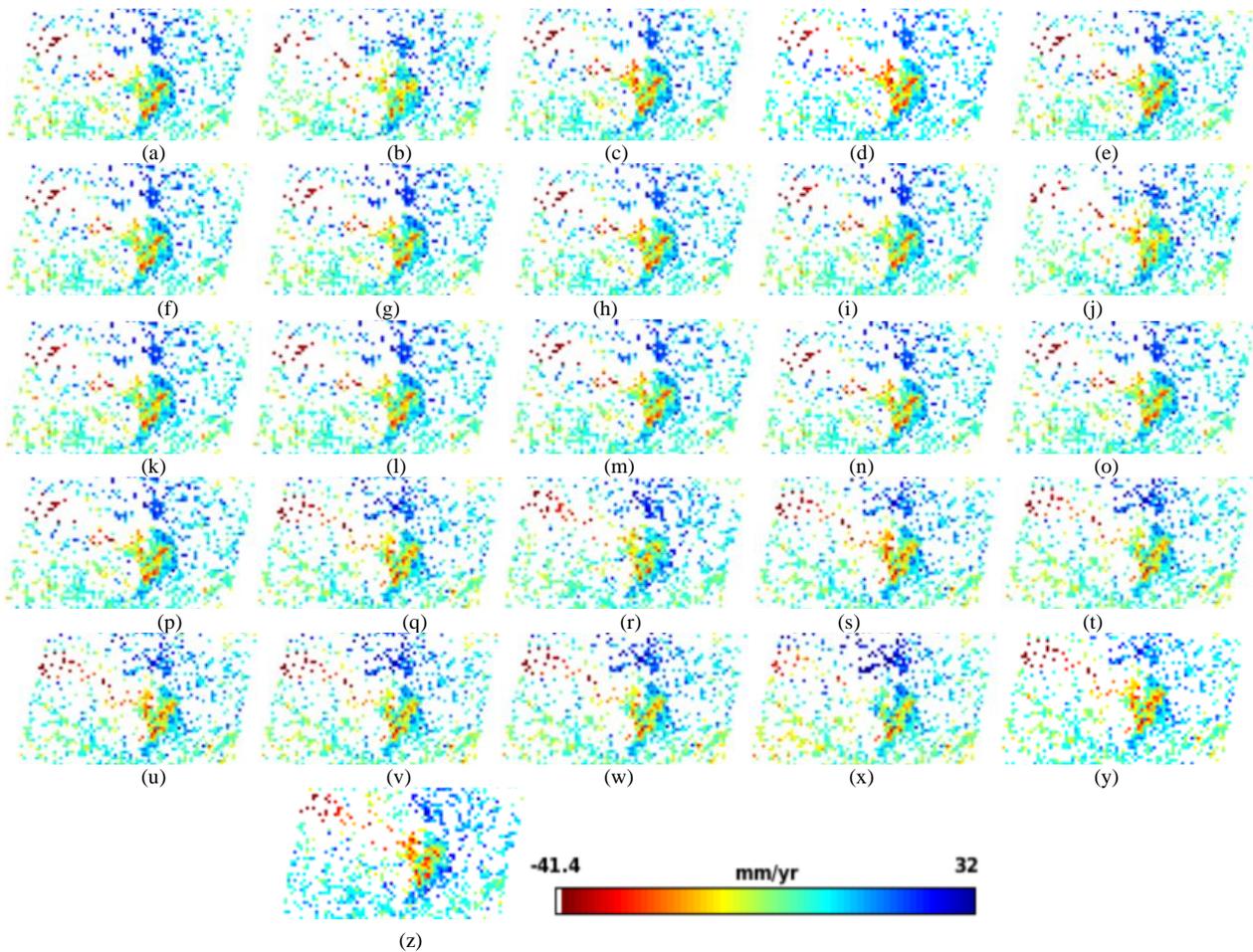
Tabel 2. Perpendicular dan Temporal Baseline

Pasangan Citra Tanggal	Perpendicular Baseline (m)	Temporal Baseline (hari)
19 Juni – 2 Januari 2017	22,300	168
19 Juni – 26 Januari 2017	13,320	144
19 Juni – 19 Februari 2017	-50,360	120
19 Juni – 3 Maret 2017	-105,510	108
19 Juni – 15 Maret 2017	6,800	96
19 Juni – 27 Maret 2017	-8,850	84
19 Juni – 8 April 2017	32,990	72
19 Juni – 20 April 2017	21,190	60
19 Juni – 2 Mei 2017	27,550	48
19 Juni – 14 Mei 2017	38,160	36
19 Juni – 26 Mei 2017	-57,460	24
19 Juni – 7 Juni 2017	29,700	12
19 Juni – 13 Juli 2017	-44,270	-24
19 Juni – 25 Juli 2017	-49,580	-36
19 Juni – 6 Agustus 2017	2,770	-48
19 Juni – 18 Agustus 2017	-14,750	-60
19 Juni – 30 Agustus 2017	-7,980	-72
19 Juni – 11 September 2017	15,690	-84
19 Juni – 23 September 2017	-26,740	-96
19 Juni – 5 Oktober 2017	-36,740	-108
19 Juni – 17 Oktober 2017	-43,880	-120
19 Juni – 10 November 2017	-30,410	-144
19 Juni – 22 November 2017	22,590	-156
19 Juni – 4 Desember 2017	-79,910	-168
19 Juni – 16 Desember 2017	-42,470	-180
19 Juni – 28 Desember 2017	-103,190	-192

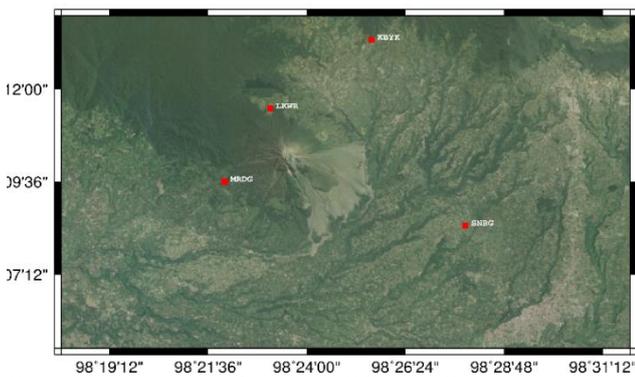
dengan parameter densitas spasial (per km<sup>2</sup>) piksel yang terpilih dengan fasa acak pada nilai 80. Parameter ini digunakan agar dapat menampilkan PS yang rapat, terutama untuk wilayah sekitar puncak Gunungapi Sinabung. Penentuan nilai *amplitude dispersion* pada penelitian ini berdasarkan keterbatasan kapasitas PC/Laptop yang digunakan untuk pengolahan. Sehingga didapatkan persebaran titik PS yang cukup rapat.

Dapat dilihat pada Gambar 3, persebaran PS lebih banyak dan lebih rapat pada daerah urban yang memiliki banyak bangunan buatan manusia. Sedangkan pada daerah yang banyak terdapat vegetasi persebaran PS lebih sedikit dan kurang rapat. Hal tersebut dikarenakan penggunaan *amplitude analysis* sangat baik pada daerah urban, sedangkan untuk kerapatan piksel PS yang diidentifikasi oleh *amplitude dispersion thresholding* di medan alam pada umumnya cenderung rendah.

Dengan pengolahan StaMPS, didapatkan hasil rata-rata kecepatan LOS *displacement* untuk setiap citra. Pada Gambar



Gambar 5 LOS Displacement Velocity Rate untuk Citra (a) 2 Januari 2017; (b) 26 Januari 2017; (c) 19 Februari 2017; (d) 3 Maret 2017; (e) 15 Maret 2017; (f) 27 Maret 2017; (g) 8 April 2017; (h) 20 April 2017; (i) 2 Mei 2017; (j) 14 Mei 2017; (k) 26 Mei 2017; (l) 7 Juni 2017; (m) 13 Juli 2017; (n) 25 Juli 2017; (o) 6 Agustus 2017; (p) 18 Agustus 2017; (q) 30 Agustus 2017; (r) 11 September 2017; (s) 23 September 2017; (t) 5 Oktober 2017; (u) 17 Oktober 2017; (v) 10 November 2017; (w) 22 November 2017; (x) 4 Desember 2017; (y) 16 Desember 2017; (z) 28 Desember 2017



Gambar 4 Stasiun-stasiun Pengamatan GPS untuk Gunungapi Sinabung

4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7, dapat dilihat bahwa rata-rata kecepatan LOS displacement pada daerah Gunungapi Sinabung dan sekitarnya untuk setiap citranya berkisar pada -41,4 mm/tahun sampai dengan 32 mm/tahun.

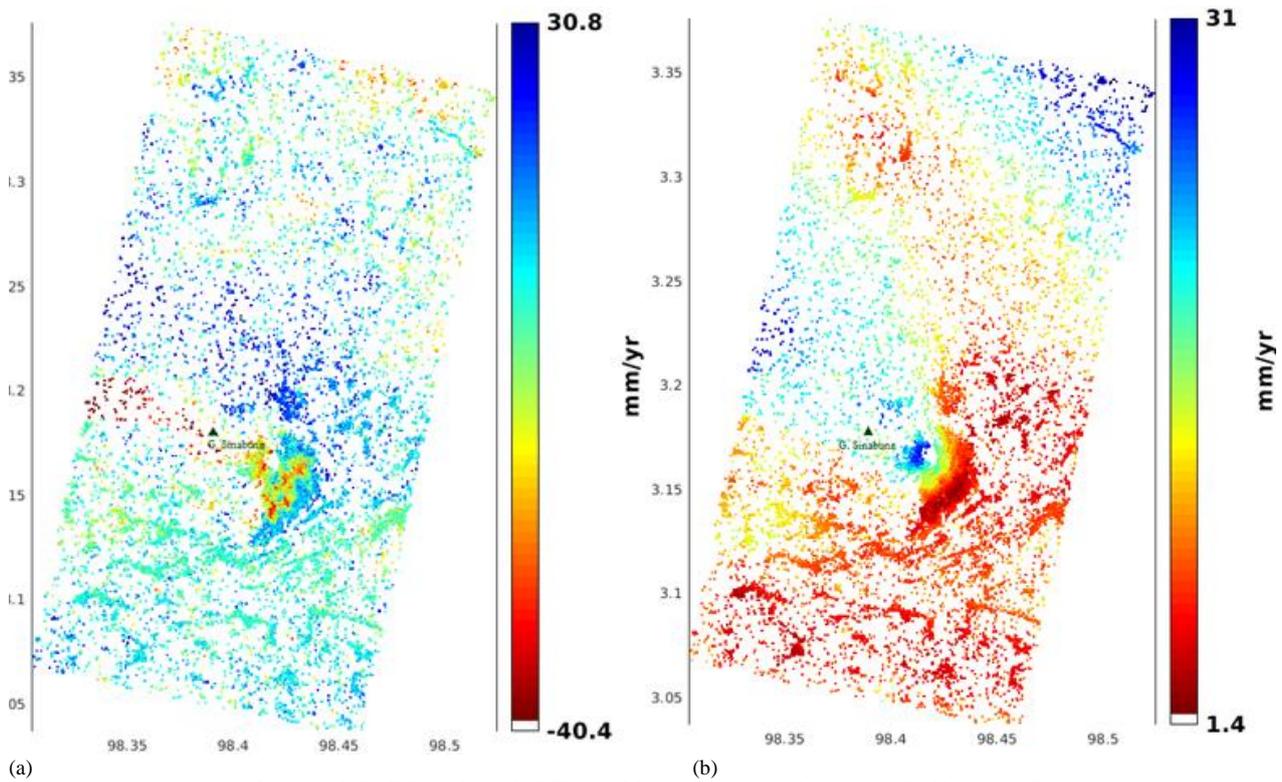
**C. Besar Deformasi Gunungapi Sinabung Sepanjang Tahun 2017**

Dari pengolahan StaMPS kemudian akan dihasilkan pola sebaran PS yang menunjukkan velocity rate dari perpindahan pada arah LOS untuk seluruh area of interest (AOI). Pada Gambar 8, velocity rate untuk daerah Gunungapi Sinabung dan sekitarnya berkisar pada -40,400 mm/tahun sampai dengan 30,800 mm/tahun. Pada Gambar tersebut velocity rate yang menunjukkan nilai positif terjadi di sekeliling bagian

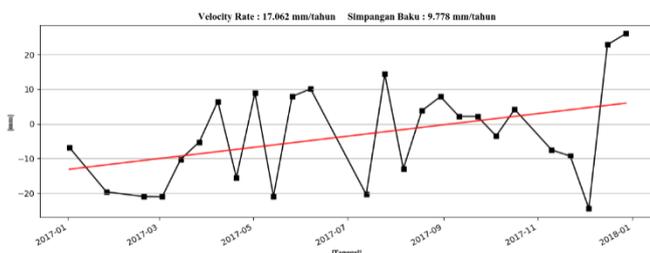
dari Gunungapi Sinabung, kecuali pada bagian barat dimana velocity rate menunjukkan nilai negatif.

Selain itu juga didapatkan rentang simpangan baku dari hasil rata-rata kecepatan. Pada Gambar 9, dapat dilihat simpangan baku berkisar antara 1,400 mm/tahun sampai dengan 31,800 mm/tahun. Jika hasil tersebut ditampilkan dengan Google Earth Pro dapat dilihat bahwa simpangan baku yang nilainya besar, yang ditunjukkan dengan warna biru, terjadi pada daerah vegetasi, sedangkan simpangan baku yang nilainya kecil, yang ditunjukkan dengan warna merah, terjadi pada daerah urban yang memiliki banyak bangunan buatan manusia.

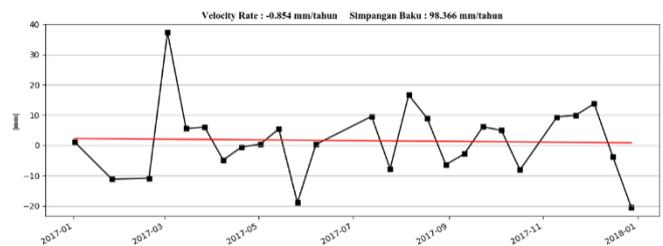
Dari hasil ini kemudian akan diekstraksi nilai velocity rate untuk titik-titik PS yang dipilih. Pemilihan titik-titik PS ini berdasarkan titik stasiun pengamatan GPS untuk Gunungapi Sinabung yang dimiliki oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Badan Geologi, Bandung. Namun dikarenakan PS yang dihasilkan kurang rapat, hal tersebut tidak memungkinkan untuk mendapatkan titik-titik yang tepat berada pada titik-titik pengamatan GPS. Sehingga pemilihan titik-titik berada pada radius 100 hingga 200 meter dari koordinat titik-titik pengamatan GPS. Hasil dari ekstraksi ini berupa tabel nilai velocity rate dan LOS displacement untuk setiap pasangan citra. Terdapat 4 stasiun GPS yang memantau pergerakan akibat aktivitas Gunungapi Sinabung, yakni : KBYK, LKWR, MRDG, dan SNBG. Persebaran titik-titik stasiun GPS dapat dilihat pada Gambar 10.



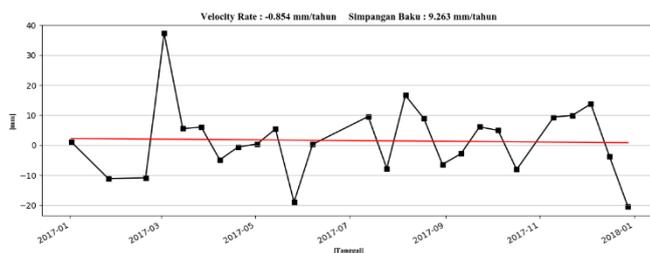
Gambar 10 Hasil Pengolahan StaMP (a) LOS Displacement Velocity Rate; (b) Simpangan Baku



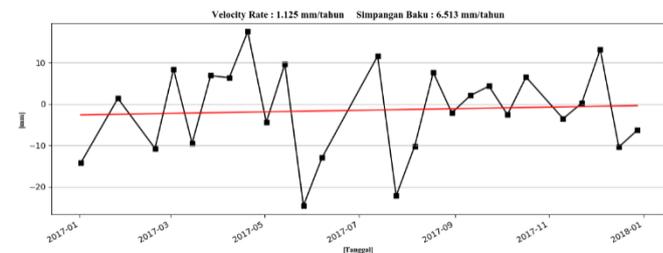
Gambar 9 Time Series LOS Displacement PS-InSAR untuk Stasiun KBYK



Gambar 7 Time Series LOS Displacement PS-InSAR untuk Stasiun MRDG



Gambar 8 Time Series LOS Displacement PS-InSAR untuk Stasiun LKWR



Gambar 6 Time Series LOS Displacement PS-InSAR untuk Stasiun SNBG

Untuk stasiun KBYK titik PS yang dipilih berada pada koordinat  $98,42679^\circ$  LU dan  $3,221249^\circ$  BT. Pada Gambar 11, terlihat bahwa LOS displacement menunjukkan adanya tren naik. LOS displacement tertinggi terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 28 Desember 2017 sebesar 26,087 mm. Sedangkan LOS displacement terendah terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 4 Desember 2017 sebesar -24,443 mm.

Untuk stasiun LKWR titik PS yang dipilih berada pada koordinat  $98,3845^\circ$  LU dan  $3,191259^\circ$  BT. Pada Gambar 12, terlihat bahwa LOS displacement menunjukkan adanya tren yang cenderung stabil. LOS displacement tertinggi terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 28 Desember 2017 sebesar 50,642 mm. Sedangkan LOS displacement terendah

terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 4 Desember 2017 sebesar -71,368 mm.

Untuk stasiun MRDG titik PS yang dipilih berada pada koordinat  $98,36595^\circ$  LU dan  $3,158215^\circ$  BT. Pada Gambar 13, terlihat bahwa LOS displacement menunjukkan adanya tren turun. LOS displacement tertinggi terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 3 Maret 2017 sebesar 37,221 mm. Sedangkan LOS displacement terendah terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 28 Desember 2017 sebesar -20,466 mm.

Untuk stasiun SNBG titik PS yang dipilih berada pada koordinat  $98,46391^\circ$  LU dan  $3,139653^\circ$  BT. Pada Gambar 14, terlihat bahwa LOS displacement menunjukkan adanya tren naik. LOS displacement tertinggi terjadi pada pasangan citra

tanggal 19 Juni dan 20 April 2017 sebesar 17,481 mm. Sedangkan LOS *displacement* terendah terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 26 Mei 2017 sebesar -24,600 mm.

#### IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini digunakan nilai *amplitude dispersion* sebesar 0,470 dengan parameter densitas spasial (per km<sup>2</sup>) dan piksel yang terpilih dengan fase acak pada nilai 80. Didapatkan hasil rata-rata kecepatan LOS *displacement* untuk setiap citra yang berkisar pada -41,400 mm/tahun sampai dengan 32 mm/tahun.

Dari pengolahan StaMPS didapatkan *velocity rate* untuk daerah Gunungapi Sinabung dan sekitarnya yang berkisar pada -40,400 mm/tahun sampai dengan 30,800 mm/tahun dengan nilai simpangan baku yang berkisar antara 1,400 mm/tahun sampai dengan 31,800 mm/tahun.

Pada stasiun KBYK LOS *displacement* tertinggi terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 28 Desember 2017 sebesar 26,087 mm, sedangkan LOS *displacement* terendah terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 4 Desember 2017 sebesar -24,443 mm. Pada stasiun LKWR LOS *displacement* tertinggi terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 28 Desember 2017 sebesar 50,642 mm, sedangkan LOS *displacement* terendah terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 4 Desember 2017 sebesar -71,368 mm. Pada stasiun MRDG LOS *displacement* tertinggi terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 3 Maret 2017 sebesar 37,221 mm, sedangkan LOS *displacement* terendah terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 28 Desember 2017 sebesar -20,466 mm. Pada stasiun SNBG LOS *displacement*

tertinggi terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 20 April 2017 sebesar 17,481 mm, sedangkan LOS *displacement* terendah terjadi pada pasangan citra tanggal 19 Juni dan 26 Mei 2017 sebesar -24,600 mm.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis S.S. mengucapkan terima kasih kepada Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi yang telah memberikan data koordinat stasiun GPS Gunungapi Sinabung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Basyid, "Pengembangan Peta Rencana Kontijensi Bencana Gunung Api," *J. Itenas Rekayasa*, vol. 14, no. 4, 2010.
- [2] M. Fomelis *et al.*, "ESA SNAP-StaMPS Integrated Processing for Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry," in *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2018, pp. 1364–1367.
- [3] A. Hooper, D. Bekaert, K. Spaans, and M. Arjikan, "Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation," *Tectonophysics*, vol. 514, pp. 1–13, 2012.
- [4] A. Hooper, "A multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 35, no. 16, 2008.
- [5] C. Colesanti, A. Ferretti, F. Novali, C. Prati, and F. Rocca, "SAR monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the permanent scatterers technique," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 41, no. 7, pp. 1685–1701, 2003.
- [6] and H. Z. A. Hopper, P. Seagall, *Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to volcán alcedo, galápagos. Journal of Geophysical Research*. 2007.