

## **Analisis Deformasi Gunung Anak Krakatau Menggunakan Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)***

Rossi Natadikara<sup>1</sup>

Dr. Rian Nurtyawan, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Adam Irwansyah Fauzi, S.T., M.T.<sup>3</sup>

Institut Teknologi Sumatera

e-mail: [rossi.23116040@student.itera.ac.id](mailto:rossi.23116040@student.itera.ac.id)

**Abstrak:** Gunung Anak Krakatau merupakan gunung api muda yang muncul dalam kaldera pasca erupsi proksimal tahun 1883 dari kompleks vulkanik Krakatau. Tubuh Gunung Anak Krakatau berada dalam fase konstruksi (membangun tubuhnya hingga besar). Pada pengukuran yang dilakukan pada bulan September 2018 oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Gunung Anak Krakatau mempunyai elevasi tertinggi 338 m dari permukaan laut. Pada tahun 2018 Gunung Anak Krakatau mengalami erupsi sejak tanggal 25 Juni 2018 hingga akhir tahun 2019 yang berupa erupsi *strombolian* (Letusan yang relatif ringan). Erupsi yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau menyebabkan Deformasi pada permukaannya, dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh sensor aktif deformasi yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau dapat diketahui. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* dengan menggunakan data citra *Sentinel-1A* pada bulan April 2018 hingga Desember 2019 untuk mengetahui deformasi yang terjadi akibat tingginya aktivitas vulkanik Gunung Anak Krakatau pada bulan November 2018 - Desember 2018. Hasil dari penelitian ini menunjukkan telah terjadinya penurunan permukaan tanah atau *deflasi* deformasi berdasarkan *line of sight displacement (LOS displacement)* dengan nilai -0.0001 m hingga -0.171 m dan dengan menggunakan *Cross section* pada area di sekitar kawah menunjukkan bahwa permukaan Gunung mengalami *deflasi* yang besar pada bulan Juni 2018 hingga Februari 2019 dan setelah itu *deflasi* yang terjadi mengalami penurunan.

**Kata kunci:** Gunung Anak Krakatau, Deformasi dan DInSAR.

**Abstract:** Mount Anak Krakatau is a young volcano that appears in the caldera after the proximal eruption in 1883 from the Krakatau volcanic complex. The body of Mount Anak Krakatau is in the construction phase. Measurements were made in September 2018 by the Center for Volcanology and Geological Mitigation of Mount Anak Krakatau which has the highest elevation of 338 m above sea level. In 2018 Mount Anak Krakatau experienced an eruption from 25 June 2018 to the end of 2019 in the form of a strombolian eruption (relatively mild eruption). The eruption that occurred at Mount Anak Krakatau caused deformation on its surface, by using remote sensing technology, the active sensor of deformation that occurred on Mount Anak Krakatau can be seen. The method used in this research is *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* using *Sentinel-1A* image data from April 2018 to December 2019 to see the deformation that occurs due to volcanic activity of Mount Anak Krakatau in November 2018 - December 2018. Results From this study, it shows that there has been a decrease in the soil surface or deformation deflation based on *line of sight displacement (LOS displacement)* with a value of -0.0001 m to -0.171 m and by using a *cross section* in the area around the crater, it shows that the surface of the mountain experienced a large deflation on the moon. June 2018 to February 2019 and after that the deflation has decreased

**Keywords:** Anak Krakatau Mount, Deformation and DInSAR

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada dipertemuan tiga lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik yang menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung api Aktif [1]. Salah satunya ialah Gunung Anak Krakatau terletak di Selat Sunda yang merupakan gunung api strato (kerucut berlapis) dan merupakan gunung api muda yang muncul dalam kaldera pasca erupsi paroksimal tahun 1883 dari kompleks vulkanik Krakatau. Pada pengukuran yang dilakukan pada bulan September 2018 oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Gunung Anak Krakatau mempunyai elevasi tertinggi 338 m dari permukaan laut [2]. Pada tahun 2018 Gunung Anak Krakatau mengalami erupsi yang dimulai pada bulan Juni 2018 hingga akhir tahun 2019 yang berupa erupsi strombolian [3].

Pada prinsipnya deformasi dari tubuh gunung api dapat berupa kenaikan permukaan tanah (*inflasi*) yang umumnya terjadi karena proses gerakan magma ke permukaan yang menekan permukaan tanah di atasnya atau penurunan permukaan tanah (*deflasi*) yang umumnya terjadi selama atau sesudah masa erupsi [4].

Pengamatan deformasi gunung api dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti penggunaan GPS (*Global Positioning System*), *leveling*, seismometer, tiltmeter dan data survei geofisika lainnya untuk mendeteksi dinamika gunung berapi, selain pengamatan deformasi pada gunung api juga dapat menggunakan teknologi penginderaan jauh dengan sensor aktif yang menyediakan cakupan pemantauan yang luas [4].

*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) adalah teknik akuisisi dua data citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) berpasangan kombinasi data citra kompleks pada posisi spasial yang sama (*differential SAR*), hasil akhir

dari metode ini berupa model elevasi digital atau pergeseran suatu permukaan bumi [1].

*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) merupakan salah satu teknik interferometry radar yang memungkinkan untuk mengetahui fenomena deformasi dengan akurasi centimeter hingga milimeter dan dengan cakupan yang luas [5]. Penelitian tugas akhir ini akan menghasilkan peta deformasi yang kemudian akan di analisis deformasi Gunung Anak Krakatau pada April 2018 hingga Desember 2019.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui deformasi yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau sebelum mengalami erupsi Juni 2018 dan setelah mengalami erupsi.
2. Menganalisis seberapa besar deformasi yang terjadi di sekitar kawah pada Gunung Anak Krakatau menggunakan metode DInSAR pada April 2018 hingga Desember 2019.
3. Mengetahui hubungan deformasi hasil penelitian dengan aktivitas vulkanik Gunung Anak Krakatau.

## II. TEORI DASAR

### Gunung Anak Krakatau

Gunung Anak Krakatau terletak di Kepulauan Krakatau dengan luas 3.090 ha, Kepulauan Krakatau ini terdiri atas Pulau Sertung (1.060 ha), Pulau Panjang (310 ha), Pulau Rakata (1.400 ha) dan Pulau Anak Krakatau (320 ha). Secara Geografis Kepulauan Krakatau terletak pada koordinat  $6^{\circ}03'15''$ -  $6^{\circ}10'30''$  LS dan  $105^{\circ}21'15''$  -  $105^{\circ}27'45''$ BT [6].

Gunung Anak Krakatau terletak di dalam Kaldera Krakatau yang terbentuk pada letusan paroksimal kedua tahun 1883 disebut dengan periode pembangunan yang dimulai dengan kegiatan vulkanik bawah laut pada 29 Desember 1927. Dua tahun kemudian pada 20 Januari 1929 Gunung

Anak Krakatau muncul di permukaan laut berupa dinding kawah dan sejak Agustus 1930 gunung api terbentuk secara permanen di atas muka laut Gunung Anak Krakatau terletak di dalam Kaldera Krakatau yang terbentuk pada letusan paroksimal kedua tahun 1883 disebut dengan periode pembangunan yang dimulai dengan kegiatan vulkanik bawah laut pada 29 Desember 1927. Dua tahun kemudian pada 20 Januari 1929 Gunung Anak Krakatau muncul di permukaan laut berupa dinding kawah dan sejak Agustus 1930 gunung api terbentuk secara permanen di atas muka laut [7].

### Deformasi Gunung Berapi

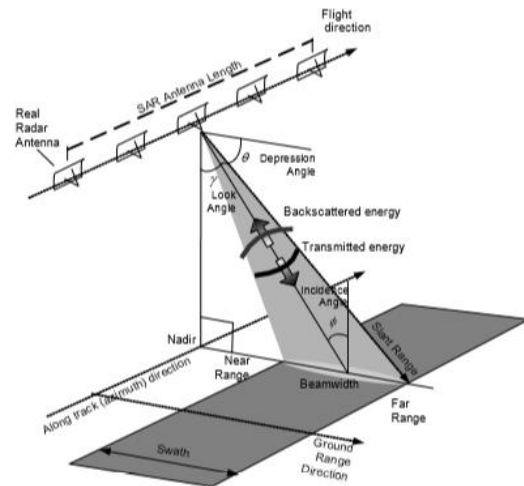
Deformasi permukaan tanah pada gunung berapi terjadi karena adanya perubahan tekanan magma atau intrusi magma. Biasanya deformasi dinyatakan dengan pergeseran (*displacement*) arah *horizontal*, *vertikal*, dan *tilting* (ungkitan). Pada prinsipnya deformasi dari tubuh gunung api dapat berupa kenaikan permukaan tanah (*inflasi*) ataupun penurunan permukaan tanah (*deflasi*). Deformasi yang berupa inflasi umumnya terjadi karena proses gerakan magma ke permukaan yang menekan permukaan tanah di atasnya. Deformasi maksimal biasanya teramati tidak lama sebelum letusan gunung api berlangsung. Deformasi berupa deflasi umumnya terjadi selama atau sesudah masa letusan. Pada saat itu tekanan magma di dalam tubuh gunung api telah melemah, sehingga menyebabkan permukaan tanah cenderung kembali ke posisinya semula [1].

Pemantauan deformasi gunung api dengan metode deformasi umumnya dapat diklasifikasikan atas dua tipe, yaitu metode *episodik* dan metode *kontinyu*. Metode *episodik* yakni pemantauan dilakukan secara berkala dalam selang waktu tertentu dengan menggunakan data pengamatan terestris, pengamatan GPS dan juga SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Sedangkan, metode *kontinyu* yakni menggunakan

sensor-sensor *tiltmeter*, *extensiometer*, dan *dilatometer* yang hanya mengkarakteristik deformasi yang sifatnya relatif lokal [8].

### Synthetic Aperture Radar (SAR)

*Synthetic Aperture Radar* (SAR) merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang digunakan pada siang maupun malam hari dengan segala jenis kondisi cuaca, hal ini karena SAR menggunakan gelombang *microwave* untuk pengamatan permukaan bumi. SAR menggunakan prinsip doppler dimana gama radar yang dihasilkan dari putaran suatu benda di depan satelit untuk men-sintetis antena seakan-akan antena tersebut berukuran lebih besar, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 mengenai geometri pencitraan pada sistem SAR [9].



Gambar 1. Geometri Pencitraan Sistem SAR.

Meskipun sistem SAR menjanjikan banyak keuntungan, namun dalam operasionalnya pemanfaatan data SAR secara luas masih menemui kendala dibandingkan dengan data dari penginderaan jauh sistem optis. Kendala-kendala tersebut diantaranya [10]:

1. Adanya *noise speckle* pada citra SAR yang tampak sebagai *noise*/tekstur bintik-bintik terang-gelap yang tidak beraturan dalam citranya.
2. Permasalahan geometris yang khas pada citra SAR akibat pencitraan kesamping

(*side looking*) yang ditunjukkan pada Gambar 1. seperti:

- a. *Foreshortening* merupakan distorsi pada citra SAR yang terjadi pada area dengan kemiringan (*slope*) yang menghadap pada arah datangnya sinyal radar sehingga luasan area tersebut tampak menjadi lebih pendek.
- b. *Layover* terjadi apabila kemiringan area yang dicitrakan sangat tajam dan posisinya dekat dengan nadir, seperti puncak gunung dan posisi bagian yang lebih rendah (kaki gunung) menjadi berkebalikan.
- c. *Shadow* merupakan suatu area gelap dalam citra SAR dimana tidak terdapat sinyal balik radar yang terdeteksi oleh sensor SAR akibat terhalang oleh objek dengan ketinggian/tingkat kecuraman yang tajam, seperti gunung dan gedung tinggi.

## Sentinel-1

Sentinel-1 merupakan misi yang dikembangkan *European Radar Observatory* bersama *Copernicus* dari *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA), Sentinel-1 misi dari *synthetic aperture radar* (SAR) yang dapat mencitrakan di segala cuaca dan pada siang maupun malam. Sentinel-1 menggunakan C-band dengan frekuensi 5.405 GHz yang beroperasi dalam empat mode pencitraan yang memiliki resolusi berbeda (hingga 5 m) dan jangkauan hingga 400 km. Sentinel-1 ini mendukung operasional di bidang *marine monitoring*, *land monitoring* dan *emergency management services*. Satelit ini beroperasi dalam empat mode akuisisi seperti berikut ini:

- *Stripmap Mode*  
Mode pencitraan *Stripmap* digunakan untuk misi ERS dan Envisat. *Stripmap* menyediakan cakupan pencitraan dengan resolusi 5 x 5 m dengan *narrow swath* 80 km.
- *Interferometric Wide Swath Mode*

*Interferometric Wide Swath Mode* (IW) memiliki *swath area* yakni 250 km dengan resolusi geometrik 5 x 20 m.

- *Extra Wide Swath Mode*  
Mode pencitraan *Extra Wide Swath* ini ditunjukkan untuk operasional Maritim, *Ice* dan zona area kutub dengan cakupan yang luas. Mode EW memiliki resolusi 20 x 40 m.
- *Wave Mode*  
Mode Pencitraan ini digunakan untuk memodelkan gelombang laut yang dapat membantu menentukan arah, panjang gelombang dan ketinggian gelombang di laut terbuka. Dengan cakupan 20 x 20 km di setiap *Vignette* memiliki resolusi spasial 5 x 5 m.

## *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR)

*Interferometry Synthetic Aperture Radar* atau InSAR dikembangkan untuk memperoleh peta topografi pada area tertentu atau ketinggian topografi suatu titik tertentu di permukaan bumi. Produk dari teknik ini adalah interferogram yang diperoleh dengan mengali silangkan pixel demi pixel dari dua *image* SAR (dua citra SLC) dan kemudian didapatkan *digital elevation model* yang mewakili topografi bumi. SAR *image* pertama disebut *master* dan yang kedua disebut *slave*, sehingga dihasilkan interferogram amplitudo yang merupakan hasil dari amplitudo *image master* yang dikalikan dengan *slave image*. Sedangkan *interferometric phase* adalah perbedaan antara fase pada *image* [11].

## Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)

DInSAR merupakan perkembangan dari teknik InSAR. Perbedaan antara InSAR dan DInSAR salah satunya adalah hasil akhir dari kedua proses tersebut. Pada proses InSAR hasil akhir berupa DEM (*Digital Elevation Model*), sedangkan pada DInSAR hasil akhirnya berupa *displacement map* atau bisa disebut peta deformasi [12]. *Differential SAR*

*interferometry* (DInSAR) merupakan teknik *remote sensing* (Penginderaan Jauh) yang mengukur perubahan dan perpindahan permukaan tanah dengan mengeksploitasi pengukuran perubahan fase (disebut/dikenal dengan *interferogram*) antara dua citra SAR [13].

### III. METODOLOGI

#### Data dan Alat

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yakni:

- Data citra satelit *Sentinel-1A* level 1 *Single Look Complex* (SLC), mode *Interferometric Wide Swath* (IW) dengan *swath area* 250 km dan resolusi spasial 5 x 20 m. Polarisasi yang digunakan yakni *single polarization* VV dan panjang gelombang C-Band 5,6 cm dan detail nama dan waktu akuisisi citra disajikan pada Lampiran 1.
- DEM *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) 3-Arcsec yang memiliki ketelitian horizontal 90 m dan ketelitian vertikal tidak melebihi dari 16 m. DEM SRTM yang digunakan berada pada posisi geografis 6°00'00" Lintang Selatan - 7°00'00" Lintang Selatan dan 105°00'00" Bujur Timur - 106°00'00" Bujur Timur.

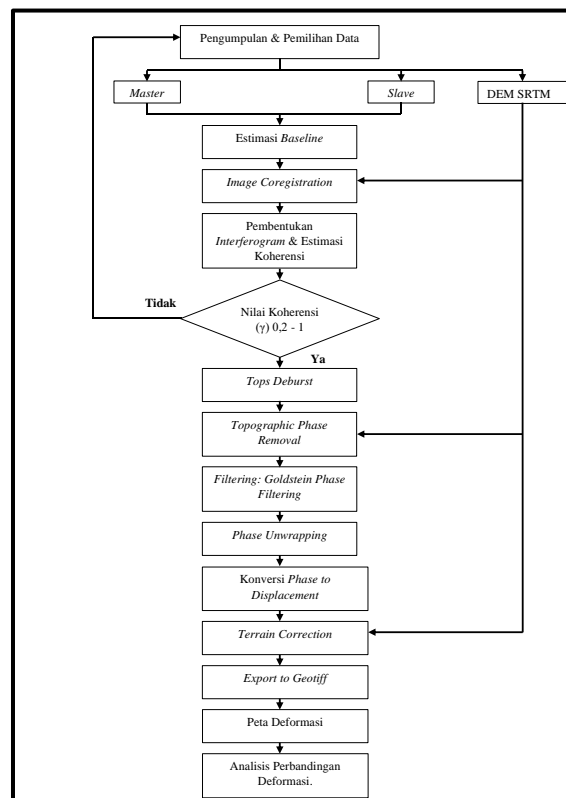
Alat yang digunakan termasuk dalam perangkat lunak dan perangkat keras yakni:

No	Alat	Keperluan
1.	Laptop Dell G5 15 Gaming	Pengolahan data Citra SAR
2.	Lenovo IdeaPad 100-14IBD	Penulisan Tugas Akhir
3.	Snap Desktop 7.0.3	Pengolahan data SAR
4.	ArcMAP 10.3	Digunakan representasi data hasil pengolahan.

5.	Microsoft Office 365 2019	Digunakan untuk proses pembuatan Laporan dan Penyelesaian Tugas Akhir
----	---------------------------	---

#### Diagram Alir

Secara Umum tahapan penelitian ini dilakukan seperti yang terlihat pada Gambar 2.

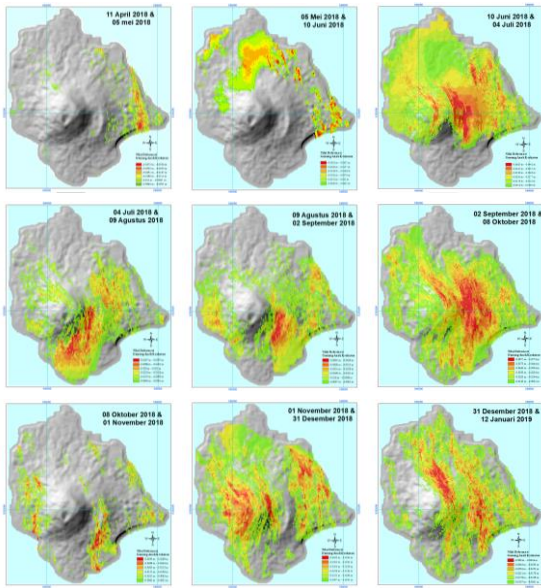


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

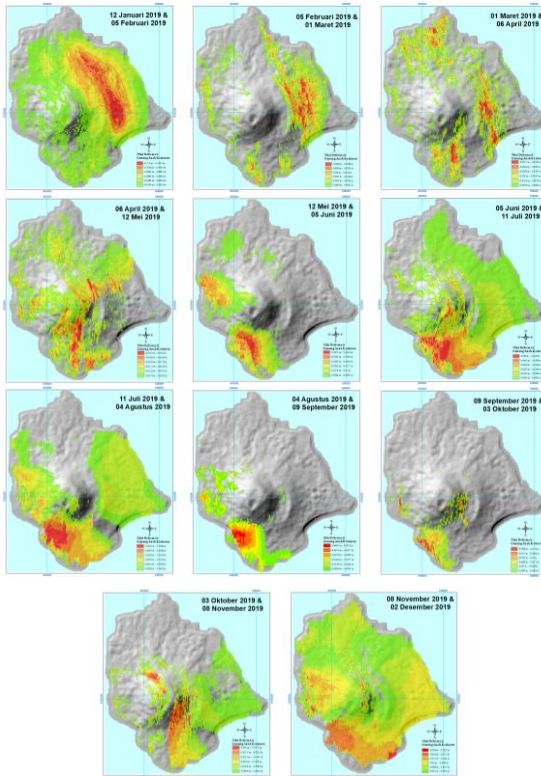
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Deformasi Hasil Pengolahan DInSAR

Dari hasil pengolahan DInSAR diperoleh 20 data deformasi yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut ini:



**Gambar 3. Peta Deformasi April 2018-Desember 2018**



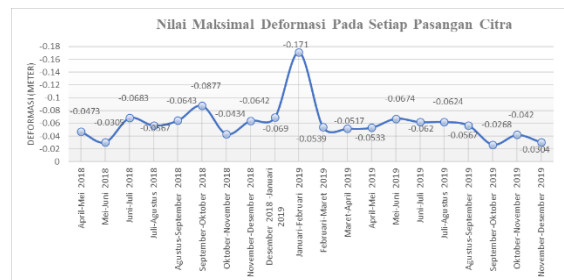
**Gambar 4. Peta Deformasi Januari 2019-Desember 2019**

yang merupakan hasil deformasi pada Gunung Anak Krakatau pada April 2018 hingga Januari 2019 menunjukkan penurunan permukaan tanah (*deflasi*). Selain itu terlihat pula area-area deformasi yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau pada pasangan citra bulan April-Mei 2018, Mei-Juni 2018, Juli-Agustus 2018 dan Oktober-November 2018 *deflasi*

mengalami deformasi pada bagian badan gunung. Pada pasangan citra Juni-Juli 2018, September-Oktober 2018, November-Desember 2018 dan Desember 2018-Januari 2019 area yang mengalami *deflasi* hampir memenuhi bagian badan dan kawah gunung.

Pada Gambar 4.3 area-area deformasi yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau pada pasangan citra Januari-Februari 2019, April-Mei 2019, Mei-Juni 2019, Juni-Juli 2019, Juli-Agustus 2019, September-Oktober 2019, Oktober-November 2019 dan November-Desember 2019 mengalami *deflasi* di bagian badan dan kawah gunung sedangkan pada pasangan citra Februari-Maret 2019, Maret-April 2019 dan Agustus-September 2019 mengalami deformasi pada badan Gunung Anak Krakatau.

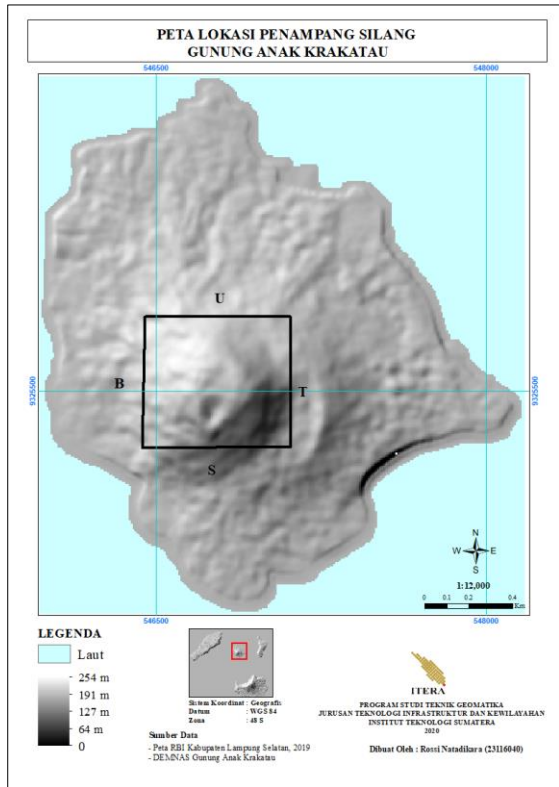
Selain itu didapatkan pula nilai maksimum deformasi pada setiap pasangan citra dari hasil pengolahan citra DInSAR yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan tabel penurunan permukaan yang terlampir pada Lampiran 5. permukaan Gunung Anak Krakatau mengalami *deflasi* dengan nilai -0.0001 m hingga -0.171 m berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan. Deformasi terbesar bernilai -0.171 m terjadi pada pasangan citra 12 Januari 2019 – 05 Februari 2019.



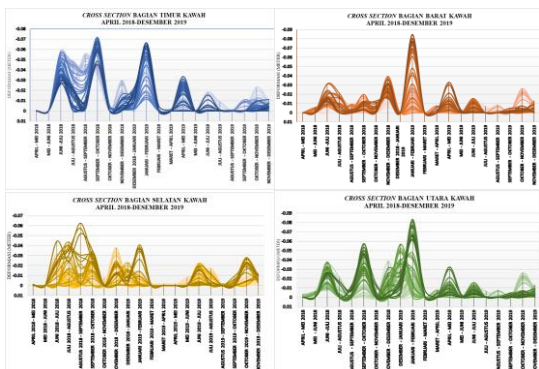
### Nilai Deformasi di sekitar Kawah Gunung Anak Krakatau

Berdasarkan hasil pengolahan citra dengan menggunakan metode DInSAR dengan waktu perekaman citra *Sentinel-1A* pada April 2018 hingga Desember 2019 untuk mengetahui nilai *line of sight*

*displacement* maka dilakukan *cross-section* dengan membagi area menjadi empat bagian yakni Utara, Selatan, Timur dan Barat di sekitar kawah Gunung Anak Krakatau yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.

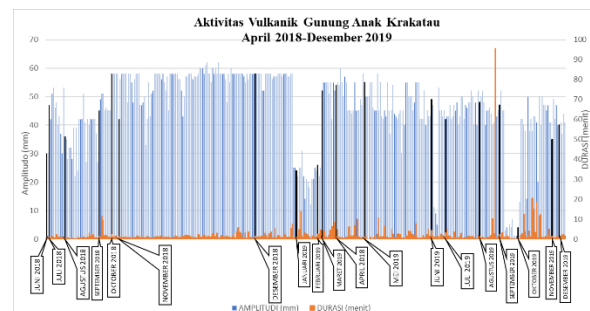


Dari hasil *cross section* pada hasil pengolahan DInSAR di keempat area di sekitar kawah maka dapat diketahui bahwa deformasi yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau mengalami *deflasi* yang besar pada bulan Juni 2018 hingga Februari 2019 dan setelah itu *deflasi* yang terjadi mengalami penurunan hingga akhir tahun 2019.



### Deformasi Hasil Pengolahan DInSAR dengan Aktivitas Vulkanik Gunung Anak Krakatau

Dengan melihat Gambar 4.10 yang merupakan grafik aktivitas vulkanik yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau selama tahun 2018 hingga 2019 berdasarkan data yang dikeluarkan PVMBG diketahui bahwa aktivitas vulkanik berupa erupsi berlangsung pada Juni 2018 hingga akhir tahun 2019.



Dapat terlihat bahwa aktivitas vulkanik pada tahun 2018 lebih besar dibandingkan pada tahun 2019 begitu pula dengan besar maksimum deformasi yang terjadi di seluruh Gunung Anak Krakatau memiliki nilai deformasi yang lebih besar pada pasangan citra pada tahun 2018 hingga pasangan citra Januari 2019 & Februari 2019. Namun pada deformasi yang terjadi nilai deformasi terbesar berada pada bulan Januari 2019 dan Februari 2019 dengan besar  $-0.171$  m sedangkan aktivitas vulkanik menunjukkan bahwa pada Januari 2019 dan Februari 2019 menunjukkan rendahnya aktivitas vulkanik yang terjadi, hal ini terjadi akibat besarnya deformasi berupa penurunan permukaan Gunung atau *deflasi* dapat juga terlihat setelah dan saat terjadinya erupsi.

Besarnya aktivitas vulkanik berupa erupsi pada November 2018 dan Desember 2018 mengakibatkan terjadinya deformasi yang terekam pada pasangan citra Januari 2019 & Februari 2019 pada area di sekitar kawah dengan besar  $-0.0833$  m di bagian utara kawah,  $-0,0407$  m di bagian selatan kawah,  $-0,0847$  m di bagian barat kawah,  $-0,0665$

m di bagian timur kawah, serta deformasi maksimum di

seluruh Permukaan Gunung Anak Krakatau sebesar -0.171 m pada pasangan citra Januari 2019 & Februari 2019.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tugas akhir yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metode DInSAR deformasi yang terjadi pada permukaan Gunung Anak Krakatau akibat peningkatan Aktivitas Vulkanik pada Juni 2018 hingga akhir tahun 2019 menunjukkan telah terjadinya penurunan permukaan tanah atau *deflasi* deformasi berdasarkan *line of sight displacement* (LOS displacement) dengan nilai -0.0001 m hingga -0.171 m.
2. Dengan melakukan *cross section* pada hasil dari penelitian dengan menggunakan metode DInSAR di keempat area disekitar kawah maka dapat diketahui bahwa deformasi yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau mengalami deflasi yang besar pada bulan Juni 2018 hingga Februari 2019 dan setelah itu deflasi yang terjadi mengalami penurunan hingga akhir tahun 2019.
3. Dengan membandingkan aktivitas vulkanik yang terjadi pada Gunung Anak Krakatau dan Deformasi hasil pengolahan DInSAR yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa aktivitas vulkanik pada November 2018 dan Desember 2018 mengakibatkan terjadinya deformasi besar pada Gunung Anak Krakatau.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Pratiwi, Y. Prasetyo dan B. D. Yuwono, "Analisis Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan Kawasan Gunung Merapi Pra dan Pasca Erupsi," *Jurnal*

*Geodesi Undip*, vol. 6, no. 3, pp. 57-66, Juli 2017.

- [2] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, "Pres Rilis Aktivitas Gunungapi Anak Krakatau," 03 Oktober 2018.
- [3] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana, "Press Release Aktivitas Vulkanik G.Anak Krakatau," 31 Desember 2019.
- [4] R. F. Febriyanti dan I. M. Anjasmara, "Analisis Deformasi Gunung Raung Menggunakan Teknologi Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, pp. A624 - A629, 2017.
- [5] R. F. Putri, "Monitoring and Analysis of Land Subsidence and Landslide Hazard Using Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar Data Observed with TerraSAR-X and ALOS PALSAR," 2014.
- [6] BKSDA Bengkulu, "Data Profile Kawasan : CA & CAL Kep. Krakatau," [Online]. Available: <http://bksdabengkulu.id/profil/kawasan/2>.
- [7] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, "Data Dasar Gunung Api," 30 Mei 2014. [Online]. Available: <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/509-g-krakatau>.
- [8] H. Z. Abidin, M. Hendrasto, H. Andreas, H. Darmawan, M. A. Kusuma, M. Gamal, O. Suganda, I. Kusnadi dan A. Wirakusumah, "Studi Deformasi Gunung Api Batur Dengan Metode Survei GPS," *Jurnal Surveying dan Geodesi*, vol. XII, no. 3, pp. 1-9, September 2002.
- [9] I. T. Sofiadin, "Pemetaan dan Analisis Penurunan Permukaan Tanah Dengan Interferometry Synthetic Aperture Radar," *Teknik Geofisika Universitas Lampung, Bandar Lampung*, 2019.
- [10] K. A. Sambodo, "Ortho-Rektifikasi Data ALOS PALSAR dengan menggunakan Data Digitak Elevation Model (DEM) dan teknik Registrasi Citra Berdasarkan Fast Fourier Transform (FFT)," *Jurnal*

*Geomatika SAR Nasional (GeoSARNas)*, pp. 17-28, 2011.

- [11 Agustan, “Ground deformation detection based on ALOS-PALSAR data utilizing DInSAR technique in Indonesia,” Nagoya University, Nagoya, 2010.
- [12 S. W. Mispaki, Y. Prasetyo dan M. Awaluddin, “Analisis Deformasi Sesar Kaligarang Menggunakan Metode DInSAR dan Geomorfologi Tahun 2007-2008,” *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 4, no. 4, pp. 221-230, 2015.
- [13 N. Gourmelen, F. Amelung dan R. Lanari , “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, 2010.