

ANALISIS DEFORMASI DAN PEMETAAN POTENSI DAMPAK ALIRAN LAVA PADA KAWASAN GUNUNG AGUNG

Ardi Setyo Pratomo^{*)}, Yudo Prasetyo, Sawitri Subiyanto

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : ardisetyo62@gmail.com

ABSTRAK

Gunung Agung adalah salah satu gunung aktif di Indonesia yang berada di Kabupaten Karangasem Provinsi Bali. Gunung Agung telah mengalami erupsi sebanyak lima kali mulai tahun 1808 hingga tahun 2017 dan berlanjut hingga tahun 2018. Mitigasi bencana diperlukan bagi masyarakat yang berada di wilayah Gunung Agung untuk mengantisipasi dampak yang ditimbulkan akibat aktivitas vulkanik. Penelitian ini membahas mitigasi bencana Gunung Agung yang didasarkan pada konsep penginderaan jauh. Data yang digunakan adalah citra satelit radar, *digital elevation model* (DEM) dan citra optis untuk membuat peta mitigasi bencana. Karakteristik deformasi yang dikaji meliputi posisi, besar pergeseran dan sifat deformasi vertikal yang terjadi. Hasil penelitian didapatkan nilai deformasi di tubuh gunung sebelum erupsi adalah $0,047 \pm 0,035$ m dalam rentang 27 Oktober 2017 hingga 20 November 2018 atau $0,715 \pm 0,035$ m/tahun dan setelah erupsi sebesar $-0,172 \pm 0,053$ m dalam rentang 2 Desember 2017 hingga 7 Januari 2018 atau $-1,744 \pm 0,053$ m/tahun. Aliran lava Gunung Agung yang dilakukan *buffering* pada lebar cakupan 25 meter dapat berdampak seluas 1.536,602 hektare, pada lebar cakupan 50 meter dapat berdampak 3.008,468 hektare dan pada lebar cakupan 75 meter dapat berdampak 4.425,017 hektare. Kelas tutupan lahan yang terkena dampak aliran lava paling banyak adalah pasir dengan lebar cakupan 25 meter seluas 570,042 hektare (37,342%), pada lebar cakupan 50 meter seluas 1043,676 hektare (34,940 %) dan pada lebar cakupan 75 meter seluas 1.461,583 hektare (33,285 %). Prediksi wilayah yang terdampak aliran lava paling besar adalah Kecamatan Kubu seluas 772,071 hektare pada lebar cakupan 25 meter, 1.516,748 hektare pada lebar cakupan 50 meter dan 2.234,101 hektare pada lebar cakupan 75 meter. Prediksi wilayah terdampak paling kecil adalah Kecamatan Sidemen seluas 5,465 hektare pada lebar cakupan 25 meter, 11,256 hektare pada lebar cakupan 50 meter dan 17,366 hektare pada lebar cakupan 75 meter.

Kata Kunci : Aliran Lava, DInSAR, Mitigasi Bencana, *Supervised Classification*

ABSTRACT

Mount Agung is one of the active mountains in Indonesia located in Karangasem Regency, Bali Province. Mount Agung has experienced eruptions five times from 1808 to 2017 and continues until 2018. Disaster mitigation is needed for people in the Gunung Agung area to anticipate the impact caused by volcanic activity. This study discusses Mount Agung's disaster mitigation based on the concept of remote sensing. The data used are radar satellite imagery, digital elevation model (DEM) and optical imagery to create a disaster mitigation map. Deformation characteristics studied include position, magnitude of shift and the nature of vertical deformation that occurs. The results showed that the deformation in the mountain body before eruption was $0,047 \pm 0,035$ m in the range of 27 October 2017 to 20 November 2018 or $0,715 \pm 0,035$ m/year and after eruption of $-0,172 \pm 0,053$ m in the range of 2 December 2017 to 7 January 2018 or $-1,744 \pm 0,053$ m/year. The buffering of Gunung Agung lava at 25 meters wide can have an impact of 1.536,602 hectares, 50 meters wide can have an impact of 3.008,468 hectares and an impact width of 75 meters can be 4.425,017 hectares. The land cover class affected by the most lava flow is sand with a width of 25 meters covering an area of 570,042 hectares (37,342%), at 50 meters wide with an area of 1043,676 hectares (34,940%) and at 75 meters wide coverage area of 1.461,583 hectares (33,285%). The prediction of the area affected by the largest lava flow is Kubu District covering 772,071 hectares in 25 meters wide, 1.516,748 hectares in 50 meters wide and 2.234.101 hectares in 75 meters wide coverage. Prediction of the smallest affected areas is Sidemen Subdistrict covering 5,465 hectares in 25 meters wide, 11,256 hectares in 50 meters wide coverage and 17,366 hectares in 75 meters wide coverage.

Keywords: DInSAR, Disaster, Lava Flow, Mitigation, *Supervised Classification*

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Negara Indonesia adalah negara kepulauan yang termasuk dalam kawasan jalur cincin api (*ring of fire*) sehingga di negara Indonesia banyak ditemukan rentetan pegunungan yang memanjang dari sisi Barat hingga Timur Indonesia. Rangkaian jalur cincin api mengitari Samudra Hindia hingga Samudra Pasifik melewati Selandia Baru, Indonesia, Filipina, Jepang, bagian Barat Amerika Serikat hingga Argentina. Indonesia sebagai salah satu wilayah yang dilewati jalur *ring of fire* mengakibatkan banyak terdapat gunungapi, salah satunya adalah Gunung Agung.

Gunung Agung merupakan salah satu gunung yang berada di Provinsi Bali tepatnya di Kabupaten Karangasem. Gunung Agung dengan ketinggian 3.014 meter di atas permukaan laut merupakan gunung berapi aktif yang bertipe *stratovolcano* dengan kawah yang lebar dan dalam. Sejarah mencatat letusan Gunung Agung terbesar terjadi pada tahun 1963 yang setidaknya menelan korban hingga 1.500 jiwa (ESDM, 2014).

Sejarah letusan Gunung Agung tercatat dimulai dari tahun 1808 terjadi erupsi berupa lontaran abu dan batu apung keluar dari mulut kawah Gunung Agung dalam jumlah yang besar, kemudian disusul pada tahun 1821 dan 1843. Tahun 1843 adalah letusan Gunung Agung yang terakhir pada periode sebelum Gunung Agung berdormansi sampai tahun 1963. Tahun 1963 Gunung Agung kembali erupsi setelah berdormansi selama 120 tahun lamanya. Letusan pada tahun 1963 adalah letusan yang paling kuat dalam sejarah Gunung Agung, kemudian pada tahun 2017 pada bulan Oktober Gunung Agung dikabarkan kembali menunjukkan tanda-tanda peningkatan aktivitas setelah berdormansi selama 54 tahun, kemudian tahun 2017 tepatnya bulan November terjadi erupsi Gunung Agung yang mengakibatkan kelumpuhan di sebagian wilayah Provinsi Bali.

Erupsi Gunung Agung yang terjadi pada tahun 2017 bertipe freatik dengan jenis letusan yang menghasilkan material dan gas akibat uap air bertekanan tinggi. Selain itu, erupsi eksplosif yang juga terjadi mengakibatkan adanya lontaran batuan ke udara, luncuran awan panas dan adanya aliran lava. Sebelum terjadinya letusan, gunung akan mengalami gempa akibat aktivitas vulkanik atau yang sering disebut dengan gempa vulkanik dan gempa tektonik yang bersifat lokal. Kegempaan ini dapat terjadi hingga beratus-ratus kali dengan intensitas gempa yang beragam. Gempa yang terjadi di Gunung Agung sebelum meletus tercatat oleh PVMBG sebanyak lebih dari 700 kali gempa. Gempa yang terjadi pada Gunung Agung dapat memungkinkan adanya deformasi pada gunung tersebut.

Perubahan spasial akibat proses vulkanik dapat terjadi pada Gunung Agung. Gempa yang terjadi akibat proses vulkanik dapat membuat gerakan tanah sehingga memungkinkan adanya perubahan spasial yang disebut dengan deformasi. Perubahan spasial yang terjadi pada

Gunung Agung dapat dianalisis dengan menggunakan metode penginderaan jauh. Penelitian ini menganalisis nilai deformasi vertikal yang terjadi dan prediksi wilayah terdampak aliran lava yang berdasarkan pola *watershed* Gunung Agung akibat adanya aktivitas vulkanik pada tahun 2017 dengan menggunakan citra radar (Sentinel-1) yang akan diekstraksi menjadi data *displacement* dan citra TerraSAR X untuk *digital elevation model*. Penelitian ini juga mengaplikasikan teknologi sistem informasi geografis (SIG) untuk membuat simulasi aliran lava sehingga dapat diketahui wilayah yang terdampak bahaya letusan Gunung Agung ditinjau dari aliran lava berdasarkan pola *watershed*.

Urgensi penelitian ini sebagai salah satu bentuk mitigasi bencana letusan Gunung Agung dan diharapkan dapat menurunkan dampak yang terjadi dengan cara memberikan informasi prediksi kawasan terdampak bencana melalui peta kawasan rawan bencana berdasarkan arah aliran lava.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis deformasi akibat aktivitas vulkanik Gunung Agung tahun 2017 dengan metode DInSAR ?
2. Bagaimana hasil verifikasi deformasi metode DInSAR dengan metode pengamatan GNSS ?
3. Bagaimana analisis simulasi wilayah yang terdampak aliran lava Gunung Agung berdasarkan model pola *watershed* ?

I.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Segi Keilmuan

Perkembangan ilmu geodesi yang dapat digunakan sebagai sarana memberi informasi terkait analisis perubahan spasial (deformasi) berdasarkan data citra SAR dan pemodelan aliran lava yang terjadi apabila terjadi erupsi.

2. Segi Kerekayasaan

Adanya informasi kawasan rawan bencana Gunung Agung yang dibuat dalam produk peta prediksi wilayah terdampak aliran lava sehingga masyarakat dan pihak-pihak terkait dapat mengambil tindakan kemitigasian apabila terjadi bencana letusan Gunung Agung.

I.4 Batasan Masalah

Untuk mencegah pembahasan yang terlalu melebar, penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut :

1. Masa aktivitas vulkanik Gunung Agung mulai dari 25 Oktober 2017 hingga 7 Januari 2018 dengan puncak erupsi pada 22-27 November 2017.
2. Analisis deformasi menggunakan metode DInSAR citra Sentinel 1A tahun 2017 dan tahun 2018.

3. Analisis deformasi yang dikaji meliputi posisi, besar pergeseran vertikal dan sifat deformasi yang terjadi pada Gunung Agung.
4. Verifikasi deformasi menggunakan data pengamatan *receiver* GNSS sebanyak 4 titik di area Gunung Agung.
5. Simulasi wilayah terdampak aliran lava menggunakan *multi-buffering* dengan jarak 25 m, 50 m dan 75 m pada aliran lava.
6. Batas wilayah studi untuk aliran lava adalah zona KRB I dan KRB II Gunung Agung yang dikeluarkan oleh PVMBG Tahun 2014 mencakup Kecamatan Abang, Kecamatan Bebaden, Kecamatan Karangasem, Kecamatan Kubu, Kecamatan Manggis, Kecamatan Rendang, Kecamatan Selat, Kecamatan Sidemen dan sebagian wilayah Kabupaten Bangli di sebelah Timur.
7. Analisis *watershed* menggunakan DEM TerraSAR X tahun 2011 dengan asumsi pola *watershed* tidak berubah secara signifikan.
8. Tutupan lahan wilayah studi kasus menggunakan citra satelit Sentinel 2 tanpa koreksi geometrik karena citra sudah terkoreksi geometrik secara global.
9. Jumlah kelas tutupan lahan yang dianalisis adalah 6 kelas meliputi puncak, pasir, permukiman, hutan, sawah dan kebun.
10. Metode klasifikasi tutupan lahan menggunakan *Supervised Classification* dengan algoritma klasifikasi *Maximum Likelihood*.
11. Verifikasi tutupan lahan menggunakan Google Earth sesuai tahun akuisisi citra yang diklasifikasikan.
12. Skala peta luaran adalah 1:150.000 dan 1:20.000 dengan datum WGS 1984.

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

Secara administratif wilayah penelitian yang adalah Kabupaten Karangasem, Bali yang terdapat Gunung Agung terletak pada koordinat 115°30'12" BT dan 8°20'27" LS.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Konsep Deformasi

Deformasi pada gunung api disebabkan oleh intrusi magma yang merupakan awalan dari terjadinya erupsi gunung api. Prinsip dasar perubahan permukaan tanah adalah ketika gunungapi akan meletus akan menunjukkan peningkatan tekanan di dapur magma dan

tekanan ini bisa menyebabkan gunungapi tersebut mengembang (inflasi) dan apabila tekanan tersebut turun setelah meletus maka gunungapi akan menunjukkan gejala mengempis (deflasi). Menggunakan teori elastik, posisi dan kedalaman sumber magma bisa ditentukan berdasarkan pengukuran deformasi tanah dan lokasinya dengan model matematis (Mogi, 1958 dalam Abidin, dkk, 2002).

II.2 Differential Synthetic Aperture Radar (DInSAR)

DInSAR (*Differential Synthetic Aperture Radar*) adalah metode pengukuran deformasi menggunakan teknik penginderaan jauh sensor aktif. Metode DInSAR memungkinkan untuk mendeteksi nilai deformasi hingga orde sentimeter. Nilai deformasi dapat dihitung dari selisih nilai fasa yang didapatkan dari perekaman citra *master* dan cita *slave* (Prasetyo dan Haniah, 2011).

II.3 Digital Elevation Model (DEM)

Digital elevation model (DEM) adalah bentuk model geometrik dari suatu permukaan bumi yang direpresentasikan oleh titik-titik koordinat (X,Y dan Z) hasil sampling dengan algoritma yang mendefinisikan topografi suatu permukaan (Templifi (1991) dalam Purwanto, 2017).

II.4 Watershed

Watershed adalah suatu analisis menggunakan data *digital elevation model* untuk mengetahui dan mengidentifikasi daerah yang dapat dilalui oleh air, menentukan arah aliran air, menghitung akumulasi air dan menciptakan jaringan aliran air (ESRI, 2015).

II.5 Supervised Classification

Supervised Classification adalah klasifikasi dengan menggunakan *input* objek yang dipilih oleh operator sebagai contoh untuk mengklasifikasikan objek yang memiliki karakter yang sama dengan objek yang dipilih tersebut. Pemilihan objek sampel pada suatu piksel dalam lokasi geografis disebut sebagai *training area* (Danoedoro, 2012).

III. Metodologi Penelitian

III.1 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar tahapan penelitian dilakukan sesuai dengan Gambar III-1.

III.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

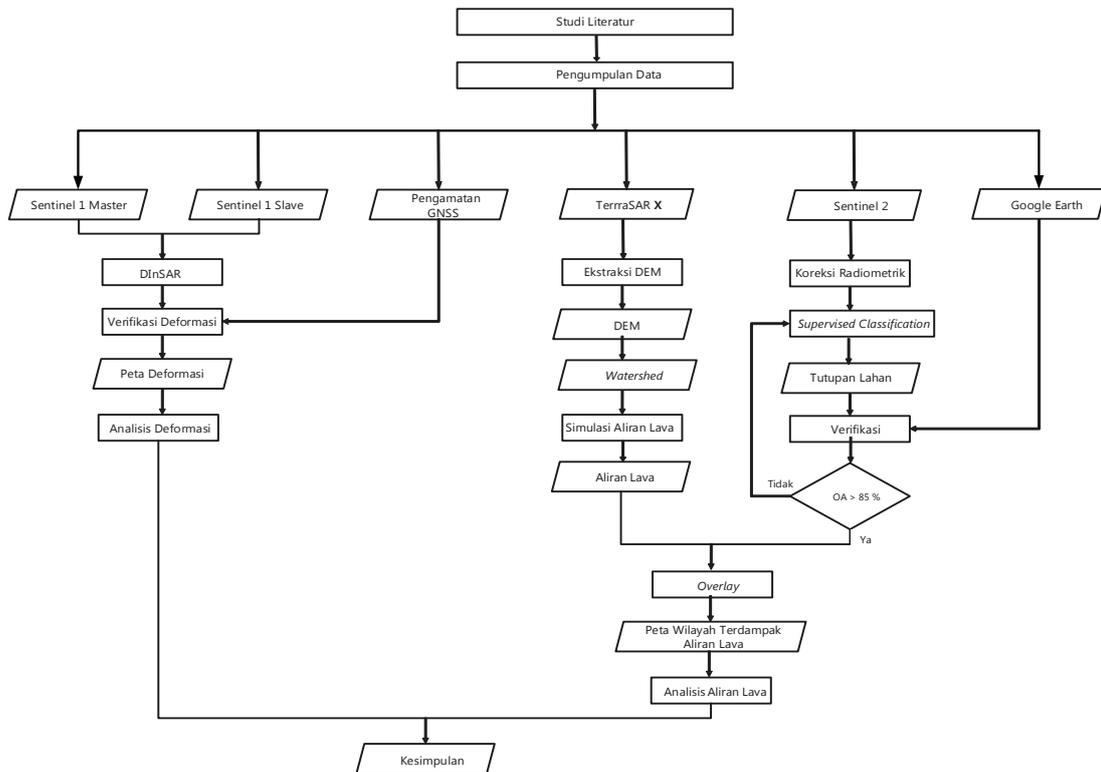
III.2.1 Peralatan Pengolahan Data

- a. Perangkat Keras (*Hardware*)
 - Laptop ASUS A455L Intel (R) Core (TM) i3-5010U CPU @ 2.10GHz.
- b. Perangkat Lunak (*Software*)
 - 1) *Software* SNAP 5.0, untuk pengolahan DInSAR.
 - 2) *Software* Quantum GIS 2.8.18, untuk proses *Supervised Classification*.

- 3) *Software* ArcMap 10.3.1, untuk *editing* dan pengolahan data.
- 4) *Software* Google Earth Pro 2018, untuk verifikasi visualisasi tutupan lahan di lapangan.
- 2) DEM TerraSAR X tahun 2011.
- 3) Citra Sentinel 2A tahun 2018.
- 4) Peta RBI Kabupaten Karangasem tahun 2018.
- 5) Data pengamatan GNSS tahun 2017 dan 2018.

III.2.2 Data Penelitian

- 1) Citra Sentinel-1 mode IW polarisasi VV tahun 2017 dan tahun 2018.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

III.3 Pengolahan Data

III.3.1 Pengolahan DInSAR

Penelitian ini menganalisis deformasi menggunakan dua metode untuk saling dibandingkan. Metode pertama adalah analisis deformasi menggunakan data pencitraan radar citra Sentinel 1A pada bulan Oktober 2017 hingga bulan Januari 2018 dengan mode akuisisi *Interferometric Wide Swath (IW)* dan polarisasi VV. Metode kedua adalah analisis deformasi menggunakan data *global positioning system (GPS)* pada bulan Oktober 2017 hingga bulan Januari 2018.

Pengolahan DInSAR dilakukan menggunakan *software* SNAP 5.0 dengan tahapan *Baseline Estimation, Coregistration, pembentukan interferogram, TOPSAR Deburst, Topographic Phase Removal, Phase Filtering, Multilooking, Phase Unwrapping, Phase to Displacement* dan *Geocoding*.

III.3.2 Pengolahan Watershed

Pola aliran lava digunakan untuk membuat peta prediksi wilayah yang terkena aliran lava apabila terjadi erupsi.

Langkah pertama adalah melakukan tahap *sink*. *Sink* merupakan proses untuk mencari adanya titik-titik terendah dari titik-titik di sekelilingnya pada *digital elevation model*. Tahap berikutnya adalah proses *fill* yang bertujuan agar citra *sink* maupun *peak* dapat dieliminasi sehingga air dapat mengalir. Setelah proses *fill* selesai tahap berikutnya adalah membuat aliran air menggunakan *toolflow direction* yang terdapat pada menu *hydrology*. *Flow direction* dilakukan untuk mengetahui arah mengalirnya air dari tempat dengan elevasi tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Tahap berikutnya adalah *flow accumulation* yang mana tahap ini adalah untuk menggabungkan beberapa arah aliran air menjadi bentuk satu aliran baru. Tahap setelah *flow accumulation* adalah proses *reclassify* untuk melakukan pengelasan ulang data *flow accumulation* agar tidak ada data bernilai nol dalam kelas aliran air. Tahap terakhir

adalah melakukan konversi dari data berbentuk raster menjadi bentuk vektor.

III.3.3 Pengolahan *Supervised Classification*

Pada penelitian ini klasifikasi terselia menggunakan citra Sentinel 2A yang telah dilakukan koreksi radiometrik dan koreksi geometrik. Klasifikasi terselia untuk penelitian ini memilih sebanyak tujuh kelas yaitu kelas puncak, pasir, permukiman, hutan, sawah, kebun dan awan. Pemilihan kelas ini adalah asumsi peneliti ditinjau dari penelitian terdahulu, keterbutuhan penelitian dan tutupan lahan yang dominan pada wilayah studi kasus.

Hasil klasifikasi yang diperoleh harus dilakukan pengujian akurasi. Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi yang dihasilkan klasifikasi.

III.3.4 Zona Kawasan Rawan Bencana

Kawasan rawan bencana Gunung Agung berdasarkan Kementerian ESDM dibagi menjadi dua zona KRB yaitu zona I dan KRB zona II. Pembagian jarak liputan zona ini ditarik dari titik pusat letusan di puncak gunung. Pembagian zona Kawasan Rawan Bencana Gunung Agung dideskripsikan pada *Tabel III-1*.

Tabel III-IKRB Gunung Agung

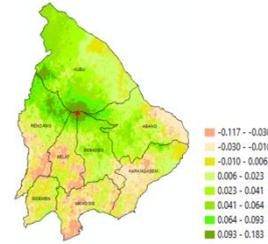
Zona	Jarak	Kondisi
KRB I	10 km	Berpotensi terlanda aliran lahar hujan, banjir dan hujan abu lebat serta kemungkinan perluasan aliran awan panas dan lontaran batu (pijar) terutama jika letusannya semakin membesar
KRB II	14 km	Berpotensi terlanda awan panas, lontaran batu (pijar), hujan abu (lebat), dan aliran lava. Khusus di dalam kawah ancaman juga berupa gas beracun. Untuk bahaya yang bersifat aliran,

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Analisis Deformasi

Deformasi sebelum erupsi dianalisis menggunakan citra satelit Sentinel-1 dengan waktu akuisisi 27 Oktober 2017 dan 20 November 2017 polarisasi VV (*Vertical – Vertical*) dan arah perekaman *descending*. Analisis deformasi yang diberikan adalah perhitungan laju deformasi antara akuisisi data pertama dan kedua serta nilai laju deformasi tersebut tiap tahunnya. Perhitungan laju deformasi satu dimensi pertahun dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Laju (per tahun)} = \frac{\text{Nilai Pergeseran} \times 365}{\text{Selang Waktu Akuisisi Pasangan Citra (dalam hari)}}$$



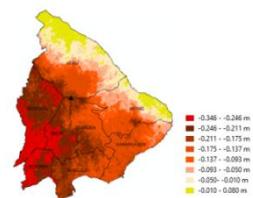
Gambar 3 Deformasi Sebelum Erupsi

Nilai deformasi sebelum erupsi dalam rentang waktu 27 Oktober 2017 – 20 November 2017 terjadi paling tinggi berada pada Kecamatan Kubu dengan nilai $0,038 \pm 0,029$ m atau $0,578 \pm 0,029$ m/tahun dan paling rendah berada pada Kecamatan Selat dengan nilai $-0,004 \pm 0,036$ m atau $-0,061 \pm 0,036$ m/tahun cenderung turun. Tubuh gunung mengalami deformasi vertikal naik (inflasi) sebesar $0,047 \pm 0,035$ m atau $0,715 \pm 0,035$ m/tahun.

Tabel IV-I Pergeseran Sebelum Erupsi Per Kecamatan

Wilayah	Minimum [m]	Maksimum [m]	Rata-rata [m]	Rata-rata (m/tahun)	Standar Deviasi [m]
Abang	-0,073	0,145	0,017	0,259	0,028
Bebaden	-0,075	0,167	0,026	0,395	0,032
Karangasem	-0,091	0,130	-0,006	-0,091	0,021
Kubu	-0,069	0,183	0,038	0,578	0,029
Manggis	-0,206	0,087	-0,014	-0,213	0,021
Rendang	-0,112	0,175	0,022	0,335	0,045
Selat	-0,118	0,174	-0,004	-0,061	0,036
Sidemen	-0,083	0,072	-0,004	-0,061	0,018
Tubuh Gunung	-0,088	0,175	0,047	0,715	0,035

Deformasi setelah erupsi dianalisis menggunakan citra Sentinel-1 yang diakuisisi pada 2 Desember 2017 dan 7 Januari 2018 dengan polarisasi VV (*Vertical-Vertical*) dan arah perekaman *descending*.



Gambar 4 Deformasi Setelah Erupsi

Nilai deformasi setelah erupsi pada rentang 2 Desember 2017 – 7 Januari 2018 paling tinggi terjadi di Kecamatan Sidemen dengan nilai rata-rata deformasi vertikal sebesar $-0,252 \pm 0,019$ m atau $-2,555 \pm 0,019$ m/tahun cenderung turun dan paling rendah terjadi di Kecamatan Kubu dengan rata-rata deformasi vertikal $-0,074 \pm 0,072$ m atau $-0,750 \pm 0,072$ m/tahun cenderung turun. Tubuh gunung mengalami deformasi vertikal sebesar $-0,172 \pm 0,053$ m atau $-1,743 \pm 0,053$ m/tahun cenderung turun (deflasi).

Tabel IV-2 Pergeseran Setelah Erupsi Per Kecamatan

Wilayah	Minimum [m]	Maksimum [m]	Rata-rata [m]	Rata-rata (m/tahun)	Standar Deviasi [m]
Abang	-0,272	0,054	-0,083	-0,841	0,057
Bebaden	-0,287	-0,046	-0,173	-1,754	0,035
Karangasem	-0,253	0,004	-0,142	-1,439	0,036
Kubu	-0,300	0,080	-0,074	-0,750	0,072
Manggis	-0,308	0,000	-0,192	-1,946	0,027
Rendang	-0,347	-0,134	-0,239	-2,423	0,026
Selat	-0,323	-0,098	-0,230	-2,31	0,029
Sidemen	-0,332	-0,152	-0,252	-2,555	0,019
Tubuh Gunung	-0,327	-0,007	-0,172	-1,743	0,053

Berdasarkan Tabel IV-2 diketahui bahwa seluruh wilayah kecamatan di Kabupaten Karangasem mengalami deformasi vertikal cenderung turun. Pada tubuh gunung juga mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena adanya material vulkanik yang keluar dari tubuh gunung saat terjadi erupsi.

Grafik perbandingan keadaan Kabupaten Karangasem sebelum dan setelah terjadi erupsi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Perbandingan Deformasi Sebelum dan Setelah Erupsi

Hasil deformasi dapat dianalisis menjadi perkiraan volumetrik. Perhitungan volumetrik Gunung Agung sebelum dan setelah erupsi dapat dilihat pada Tabel IV-3 dan Tabel IV-4.

Sebelum erupsi Tubuh Gunung Agung mengembang (inflasi) sebesar 10,543 juta m³ ditandai dengan nilai deformasi yang positif (naik). Volumetrik tubuh Gunung Agung setelah erupsi adalah 34,548 juta m³ dan cenderung mengempis (deflasi) hal ini ditandai dari nilai deformasi yang negatif (turun). Selisih nilai volumetrik sebelum erupsi dan setelah erupsi adalah sebesar 24,005 juta m³.

Tabel IV-3 Volumetrik Sebelum Erupsi

Analisis Volumetrik Sebelum Erupsi Tubuh Gunung			
Pergeseran [m]	Jarak [m]	Luas [Juta m ²]	Volume [Juta m ³]
-0,088 - -0,018	0,053	5,751	3,066
-0,018 - 0,006	0,012	14,718	0,182
0,006 - 0,026	0,016	34,807	0,572
0,026 - 0,042	0,034	42,143	1,455
0,042 - 0,061	0,052	41,315	2,153
0,061 - 0,082	0,071	28,034	2,011
0,082 - 0,103	0,092	19,696	1,830
0,103 - 0,175	0,139	14,560	2,030
Jumlah		201,027	10,543

Tabel IV-4 Volumetrik Setelah Erupsi

Analisis Volumetrik Setelah Erupsi Tubuh Gunung			
Pergeseran [m]	Jarak [m]	Luas	Volume

		[Juta m ²]	[Juta m ³]
-0,326 - -0,241	0,284	17,052	4,848
-0,241 - -0,215	0,228	33,098	7,563
-0,215 - -0,191	0,203	27,479	5,589
-0,191 - -0,168	0,180	27,943	5,035
-0,168 - -0,146	0,157	31,481	4,962
-0,146 - -0,118	0,132	26,558	3,520
-0,118 - -0,087	0,103	22,572	2,326
-0,087 - -0,007	0,047	14,845	7,015
Jumlah		201,031	34,548

Verifikasi hasil deformasi metode DInSAR dilakukan menggunakan data pengamatan GNSS yang tersebar di tubuh Gunung Agung. Receiver GNSS yang digunakan untuk melakukan verifikasi berjumlah empat receiver dengan kode CEGI, DKUH, PGBN dan YHKR. Verifikasi menggunakan pengamatan GNSS dilakukan pada fase sebelum erupsi yaitu pada tanggal 28 Oktober 2017 (DOY 301) dan tanggal 21 November 2017 (DOY 325). Fase setelah erupsi yaitu pada tanggal 4 Desember 2017 (DOY 338) dan tanggal 8 Januari 2018 (DOY 008).

Rata-rata deformasi yang terjadi di tubuh Gunung Agung sebelum erupsi berdasarkan pengamatan GNSS adalah 0,052 meter sedangkan rata-rata deformasi dengan metode DInSAR adalah 0,027 meter. Selisih antara kedua metode adalah 0,025 meter dengan standar deviasi 0,030 meter dan arah deformasi vertikal bernotasi positif (inflasi). Keterangan jelas dapat dilihat pada Tabel IV-5.

Rata-rata deformasi vertikal yang terjadi di tubuh Gunung Agung berdasarkan data pengamatan GNSS adalah -0,463 meter sedangkan berdasarkan pengolahan DInSAR sebesar -0,174 meter. Selisih rata-rata antara kedua metode tersebut adalah 0,289 meter dengan standar deviasi sebesar 0,093 meter dan arah deformasi vertikal bernotasi negatif (deflasi). Keterangan jelas dapat dilihat pada Tabel IV-6.

Tabel IV-5 Hasil Verifikasi Sebelum Erupsi

Titik	Bujur	Lintang	Pergeseran GNSS (m)	DInSAR (m)	Selisih Pergeseran GNSS dan DInSAR (m)
CEGI	115.4715987	-8.3023281	0,100	0,030	0,070
DKUH	115.5343330	-8.2960270	0,036	0,028	0,008
PGBN	115.4610090	-8.3637297	0,031	0,023	0,007
YHKR	115.5083740	-8.3815836	0,041	0,027	0,015
Jumlah			0,208	0,108	0,100
Rata-Rata			0,052	0,027	0,025
Standar Deviasi					0,030

Tabel IV-6 Hasil Verifikasi Setelah Erupsi

Titik	Bujur	Lintang	Pergeseran GNSS (m)	DInSAR (m)	Selisih Pergeseran GNSS dan DInSAR (m)
CEGI	115.4715885	-8.3023225	-0,428	-0,162	0,266
DKUH	115.5343339	-8.2960188	-0,564	-0,141	0,423
PGBN	115.4610114	-8.3637232	-0,425	-0,216	0,209
YHKR	115.5083764	-8.3815771	-0,435	-0,175	0,259
Jumlah			-1,851	-0,694	1,157
Rata-Rata			-0,463	-0,174	0,289
Standar Deviasi					0,093

IV.2 Analisis Aliran Lava

Analisis spasial aliran lava dibuat dengan cara melakukan multi-buffering sejauh 25 m, 50 m dan 75 m

di aliran tersebut. Tujuan dilakukannya *buffering* adalah untuk mengetahui perkiraan luas wilayah yang terkena dampak lava apabila terjadi letusan.

Perkiraan luas wilayah yang terdampak aliran lava secara keseluruhan, pada jangkauan 25 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 1536,602 hektare, pada jangkauan 50 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 3008,468 hektare dan pada jangkauan 75 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 4425,017 hektare.

Tabel IV-7 Perkiraan Luas Dampak Aliran Lava Keseluruhan

Analisis Spasial Aliran Lava	
Jangkauan [m]	Luas Wilayah Terdampak [Ha]
25	1.536,602
50	3.008,468
75	4.425,017

Data perkiraan luas wilayah yang terdampak aliran lava pada KRB I, pada jangkauan 25 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 1264,062 hektare, pada jangkauan 50 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 2463,380 hektare dan pada jangkauan 75 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 3609,460 hektare.

Tabel IV-8 Perkiraan Luas Dampak Aliran Lava KRB I

Analisis Spasial Aliran Lava KRB I	
Jangkauan [m]	Luas Wilayah Terdampak [Ha]
25	1.264,062
50	2.463,380
75	3.609,460

Data perkiraan luas wilayah yang terdampak aliran lava pada KRB II, pada jangkauan 25 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 272,539 hektare, pada jangkauan 50 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 545,088 hektare dan pada jangkauan 75 meter prediksi luas wilayah yang terdampak aliran lava adalah 815,556 hektare.

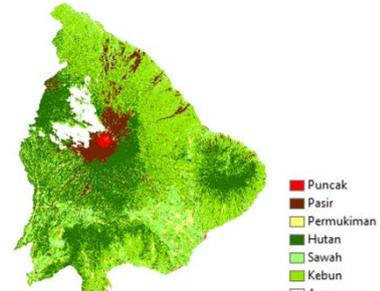
Tabel IV-9 Perkiraan Luas Dampak Aliran Lava KRB II

Analisis Spasial Aliran Lava KRB II	
Jangkauan [m]	Luas Wilayah Terdampak [Ha]
25	272,539
50	545,088
75	815,556

IV.3 Analisis Klasifikasi Tutupan Lahan

Pada penelitian ini tutupan lahan diolah menggunakan citra Sentinel-2A dengan waktu akuisisi pada 18 April 2018 dan arah perekaman *descending*. Tutupan lahan diolah dengan metode *supervised classification* menggunakan algoritma *maximum likelihood* dan dibagi menjadi 7 kelas. Kelas tutupan lahan adalah puncak, pasir, permukiman, hutan, sawah, kebun dan awan. Kelas awan sendiri dibuat karena pada

citra yang digunakan terdapat liputan awan (*cloud coverage*) yang cukup tebal sehingga dapat diklasifikasikan sendiri. Selain itu pengelasan awan dilakukan agar awan tidak masuk ke kelas lainnya.



Gambar 6 Hasil Supervised Classification

Tutupan lahan puncak paling dominan berada di Kecamatan Selat dengan luas 89,689 hektare, tutupan lahan pasir paling dominan berada di Kecamatan Kubu dengan luas 3.830,867 hektare, tutupan lahan permukiman paling dominan berada di Kecamatan Karangasem dengan luas 774,967 hektare, tutupan lahan hutan paling dominan berada di Kecamatan Rendang dengan luas 5.543,210 hektare, tutupan lahan sawah paling dominan berada di Kecamatan Karangasem dengan luas 2451,896 hektare dan tutupan lahan kebun paling dominan berada di Kecamatan Kubu dengan luas 10.967,992 hektare.

Tabel IV-10 Luas Tutupan Lahan

No	Tutupan	Luas [Ha]	Persentase [%]
1	Puncak	292,743	0,349
2	Pasir	6.719,330	8,011
3	Permukiman	3.875,628	4,621
4	Hutan	26.458,568	31,545
5	Sawah	11.248,867	13,411
6	Kebun	32.238,137	38,436
7	Awan	3.042,493	3,627
	Jumlah	83.875,766	100

Tingkat akurasi yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan matriks konfusi dalah *producer's accuracy*, *user's accuracy*, *error omission*, *error comission*, *overall accuracy* dan *kappa coefficient*.

Tabel IV-11 Matriks Konfusi

	Puncak	Pasir	Permukiman	Hutan	Sawah	Kebun	Awan	Total
Puncak	8094	8810	1	0	0	0	0	16905
Pasir	570	99775	574	1791	1142	1094	2894	107840
Permukiman	2	1198	27979	133	800	932	835	31879
Hutan	0	160	15	212037	231	13086	301	225830
Sawah	3	2905	694	1811	29605	6027	6230	47275
Kebun	0	3432	232	10778	6564	78301	498	99805
Awan	107	149	164	128	112	21	192042	192723
Jumlah	8776	116429	29659	226678	38454	99461	202800	722257

Nilai *overall accuracy* yang didapatkan adalah 89,695 % dan nilai *kappa coefficient* adalah 86,759 %. Berdasarkan nilai *overall accuracy* dan *kappa coefficient* dapat disimpulkan bahwa hasil *supervised classification* berada pada tingkat akurasi yang baik.

Verifikasi tutupan lahan menggunakan kompilasi citraGoogle Earth tahun 2018 yang mengkombinasikan citra Terrametrics, DigitalGlobe dan CNES/Airbus. Verifikasi menggunakan 126 sampel yang dipilih berdasarkan teknik *purpose sampling* dengan kuota disesuaikan dengan besar luasan kelas yang tersebar secara merata. Hasil klasifikasi dianalisis menggunakan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No 15 tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta. Hasil verifikasi didapatkan tutupan lahan yang sesuai sejumlah 111 objek dan tidak sesuai 15 objek. Hasil *overall accuracy* bernilai 88,095 % sedangkan pada PERKA BIG No 15 tahun 2014, ketelitian atribut pada tutupan lahan paling sedikit adalah 85% sehingga hasil uji verifikasi dapat diterima.

IV.4 Analisis Wilayah Terdampak Aliran Lava

Luas tutupan lahan yang terdampak aliran lava dapat dilihat pada Tabel IV-12. Pada aliran lava dengan lebar cakupan 25 meter tutupan lahan yang paling luas terkena dampak aliran lava adalah pasir dengan luas 570,0425 hektare (37,342%) dan paling sedikit adalah permukiman dengan luas 21,376 hektare (1,4 %). Pada aliran lava dengan lebar cakupan 50 meter tutupan lahan yang paling luas terkena dampak aliran lava adalah pasir dengan luas 1.043,676 hektare (34,940 %) dan paling sedikit adalah permukiman dengan luas 37,140 hektare (1,243 %). Pada aliran lava dengan lebar cakupan 75 meter tutupan lahan yang paling luas terkena dampak aliran lava adalah pasir dengan luas 1.461,583 hektare (33,285 %) dan paling sedikit adalah permukiman dengan luas 55,905 hektare (1,273 %).

Tutupan lahan pasir mendominasi sebagai tutupan lahan yang paling banyak terkena dampak aliran lava, hal ini dikarenakan letusan terdahulu yang terjadi membawa material pasir hasil letusan ke kaki gunung dan mengendap di aliran tersebut sehingga aliran lava didominasi oleh pasir. Tutupan lahan permukiman merupakan tutupan lahan yang paling sedikit terkena dampak aliran lava. Hal ini dikarenakan pola permukiman tidak banyak mengelompok di sepanjang sempadan aliran sungai yang juga menjadi aliran lava.

Tabel IV-12 Luas Tutupan Lahan Terhadap Aliran Lava

Radius	Tutupan Lahan	Luas [Ha]	Persentase [%]
25 Meter	Puncak	76,625	5,020
	Pasir	570,043	37,342
	Permukiman	21,376	1,400
	Hutan	326,874	21,413
	Sawah	121,110	7,934
	Total	1.526,526	100,000
50 Meter	Puncak	126,296	4,228
	Pasir	1.043,676	34,940
	Permukiman	37,140	1,243
	Hutan	705,297	23,611
	Sawah	225,959	7,565
	Total	2.987,094	100,000
75 Meter	Puncak	157,901	3,596
	Pasir	1.461,583	33,285
	Permukiman	55,905	1,273
	Hutan	1.088,532	24,789
	Sawah	321,287	7,317
	Total	4.391,171	100,000

Berdasarkan pada data aliran lava, Kecamatan Kube merupakan kecamatan yang memiliki cakupan aliran lava paling luas dengan total luas pada cakupan 25 m adalah 772,071 hektare, cakupan 50 m adalah 1.516,748 hektare dan cakupan 50 m adalah 2.234,101 hektare. Kecamatan Sidemen memiliki aliran lava paling sedikit dengan total luas pada cakupan 25 m adalah 5,465 hektare, cakupan 50 m adalah 11,256 hektare dan cakupan 75 m adalah 17,366 hektare.



Gambar 7 Luas Cakupan Dampak Per Kecamatan

V. Kesimpulan dan Saran

IV.5 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Deformasi yang terjadi sebelum erupsi pada rentang 27 Oktober 2017 – 2 November 2017 paling tinggi terjadi pada Kecamatan Kube dengan nilai $0,038 \pm 0,029$ m atau $0,578 \pm 0,029$ m/tahun cenderung mengalami kenaikan dan paling rendah berada pada Kecamatan Selat dengan nilai $-0,004 \pm 0,036$ m atau $-0,061 \pm 0,036$ m/tahun cenderung mengalami penurunan.

- m/tahun cenderung turun. Tubuh Gunung Agung mengalami deformasi terindikasi inflasi (naik/mengembang) sebesar $0,047 \pm 0,035$ m atau $0,715 \pm 0,035$ m/tahun dengan nilai volumetrik $10,543$ juta m^3 . Deformasi yang terjadi setelah erupsi pada rentang 2 Desember 2017 – 7 Januari 2018 paling tinggi terjadi pada Kecamatan Sidemen dengan nilai rata-rata deformasi vertikal sebesar $-0,252 \pm 0,019$ m atau $-2,555 \pm 0,019$ m/tahun cenderung turun cenderung mengalami penurunan dan paling rendah terjadi di Kecamatan Kubu dengan rata-rata deformasi vertikal $-0,074 \pm 0,072$ m atau $-0,750 \pm 0,072$ m/tahun cenderung turun. Tubuh Gunung Agung mengalami deformasi terindikasi deflasi (turun/mengempis) sebesar $-0,172 \pm 0,053$ m atau $-1,744 \pm 0,053$ m/tahun dengan nilai volumetrik $34,548$ juta m^3 .
2. Verifikasi deformasi menggunakan pengamatan survei GNSS terdiri dari empat titik yang tersebar di tubuh Gunung Agung yaitu CEGI, DKUH, PGBN dan YHKR. Nilai deformasi yang dihasilkan berdasarkan data pengamatan receiver GNSS Gunung Agung sebelum erupsi pada rentang 27 Oktober 2017 - 20 November 2017 rata-rata sebesar 0,052 meter sedangkan rata-rata deformasi dengan metode DInSAR adalah 0,027 meter dan selisih rata-rata kedua metode adalah 0,025 meter dengan standar deviasi sebesar 0,030 meter. Nilai deformasi yang dihasilkan berdasarkan data pengamatan receiver GNSS Gunung Agung setelah erupsi pada rentang 2 Desember 2017 – 7 Januari 2018 rata-rata sebesar -0,463 meter sedangkan berdasarkan pengolahan DInSAR sebesar -0,174 meter dan selisih rata-rata kedua metode adalah 0,289 meter dengan standar deviasi sebesar 0,093 meter.
 3. Wilayah kecamatan yang terdampak aliran lava yang terbesar adalah Kecamatan Kubu pada jangkauan 25 meter terkena dampak seluas 772,071 Ha (3,601 %), pada jangkauan 50 meter terkena dampak seluas 1516,748 Ha (7,075%) dan pada jangkauan 75 meter terkena dampak seluas 2234,101 Ha (10,421 %). Wilayah yang paling sedikit terkena dampak aliran lava adalah Kecamatan Sidemen pada jangkauan 25 meter terkena dampak seluas 5,465 Ha (0,127 %), pada jangkauan 50 meter terkena dampak seluas 11,256 Ha (0,261 %) dan pada jangkauan 75 meter terkena dampak seluas 17,366 Ha (0,403 %).

IV.6 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan masih terdapat berbagai kelemahan dan kekurangan. Untuk penelitian selanjutnya yang lebih baik, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Penelitian deformasi menggunakan citra SAR sebaiknya dilihat lagi parameter saat melakukan pengolahan seperti nilai *baseline* *perpendicular*, *baseline* temporal, nilai dekolorasi pasang citra dan nilai koherensi yang dihasilkan.
2. Sebaiknya citra optis yang digunakan tidak tertutup awan atau apabila terdapat awan usahakan liputan awan tidak lebih dari 10% dari luas wilayah sehingga dapat diklasifikasikan dengan baik.
3. Pengambilan sampel untuk *supervised classification* sebaiknya lebih diperbanyak agar mendapatkan hasil maksimal.
4. Verifikasi tutupan lahan sebaiknya dilakukan secara langsung ke lapangan agar hasil verifikasi nyata sesuai keadaan.
5. Verifikasi hasil deformasi yang menggunakan data GNSS sebaiknya diolah menggunakan *scientific software* agar hasil yang diberikan optimal.
6. Pemodelan aliran lava sebaiknya menggunakan teknik lain seperti teknik *Smoothed Particle Hydrodynamic* dan *Steepest Slope and Lowest Height*.
7. Untuk mendapat ketelitian yang tinggi dalam pengamatan deformasi vertikal diperlukan alat ukur yang teliti seperti waterpass.
8. Data DEM yang digunakan sebaiknya sesuai dengan tahun penelitian agar hasil yang didapatkan optimal.

Daftar Pustaka

- Abidin, dkk. (2002). Studi Deformasi Gunungapi Batur Dengan Metode Survei GPS. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Acevedo, S dkk. (2012). *An Evaluation of the utility of two classifiers for mapping woody vegetation using remote sensing*. RMIT University.
- Adefioye, S (2014). *Quantitative Image Classification Accuracy Assessment Program for Sustainable Geospatial Technology Applications*. Kuala Lumpur : FIG Congress 2014.
- Danoedoro, P. (2012). Pengantar Pengindraan Jauh Digital. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- ESDM (2014). Sejarah Letusan Gunung Agung. <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/468-g-agung>. Diunduh pada 19 Desember 2017.
- ESRI (2015). *Manual Guide for ArcGIS Desktop 10.3.1* : United State of America : Esri.
- Prasetyo, Y. dan Haniah (2011). Pengenalan Teknologi Radar Untuk Pemetaan Spasial di Kawasan Tropis. Jurnal. Vol.32 No. 2. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Purwanto (2017). *Digital Elevation Model*. Diktat Kuliah. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.