

Studi Deformasi Gunung Api Sinabung Berdasarkan Data GNSS Tahun 2018-2019

Deformation Study of Sinabung Volcano Using GNSS Data in 2018-2019

Sri Wani Oktarina¹

Satrio Muhammad Alif, S.T.,M.T.¹, Dr. Irwan Meilano, S.T., M.Sc.²

Umar Rosadi, S.T.³

Institut Teknologi Sumatera, Terusan Ryacudu, Lampung Selatan, Indonesia.¹

²Bandung Institute of Technology, Geomatics Geodesy Engineering

³Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation

sriwanioktarina@gmail.com

ABSTRACT

Sinabung Volcano, as an active volcano are located in Karo District, North Sumatra Province, is a strato type volcano with an hight of 2,460 m. This study aims to determine the magnitude of the displacement and determine inflation also deflation with an analysis related of volcanic activity in Sinabung Volcano. Data are used GNSS observation data, from January 2018 to April 2019 with the GNSS method to get coordinates with accuracy mm. The magnitude of the displacement from January 2018 to April 2018 for the KBYK station displacement of 3.19 cm to 0.26 cm, LKWR station displacement of 2.88 cm to 0.22 cm, and MRDG station displacement of 3.10 cm to 0.23 cm in various direction from moving away from the crater to approaching the creater. Sinabung Volcano Observation in January 2018 until April 2019 experienced 3 times inflation before the eruption occurred and experienced 3 times deflation after the eruption. Observation of Sinabung Volcano after there is no eruption dominant deflation. Sinabung Volcano experienced three eruptions caused by volcanic activity and other earthquakes including tornillo earthquake, low frequency, avalanches, hot cloud, and gusts. Type of Sinabung Volcano activity volcanic that occurs not simultaneously with eruptions.

Keywords: Sinabung Volcano, Displacement, Inflation and Deflation

ABSTRAK

Gunung Api Sinabung salah satu gunung api aktif terletak di Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara, merupakan gunung api tipe strato dengan ketinggian 2.460 m. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar pergeseran dan menentukan inflasi dan deflasi dengan analisis terkait aktivitas vulkanik pada Gunung Api Sinabung. Data yang digunakan data pengamatan GNSS pada bulan Januari 2018 sampai April 2019 dengan metode GNSS untuk mendapatkan koordinat dengan ketelitian mm. Besar pergeseran bulan Januari 2018 sampai April 2019 untuk stasiun KBYK sebesar 3.19 cm sampai 0.26 cm, Stasiun LKWR sebesar 2.88 cm sampai 0.22 cm, stasiun MRDG pergeseran sebesar 3.10 cm sampai 0.23 cm dengan arah beragam dari menjauhi kawah sampai mendekati kawah. Pengamatan Gunung Api Sinabung pada Bulan Januari 2018 sampai April 2019 mengalami 3 kali inflasi sebelum terjadi erupsi dan mengalami 3 kali deflasi setelah terjadi erupsi. Pengamatan Gunung Api Sinabung setelah

tidak ada terjadi erupsi dominan mengalami deflasi. Gunung Api Sinabung mengalami 3 kali erupsi yang diakibatkan oleh aktivitas vulkanik dan kegempaan lain meliputi kegempaan *tornillo*, *low frequency*, guguran, awan panas dan hembusan. Tipe Gunung Api Sinabung aktivitas vulkanik yang terjadi tidak bersamaan dengan terjadi erupsi.

Kata Kunci : Gunung Api Sinabung, Pergeseran, Inflasi dan Deflasi

I. Pendahuluan

Indonesia terdapat 127 gunung api yang masih aktif dan 500 gunung api tidak aktif [1]. Gunung api di Indonesia terdapat banyak karena terletak di antara 3 lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik [2]. Gunung api terdapat pada tempat pertemuan jalur lempeng, salah satu gunung api tersebut adalah Gunung Api Sinabung. Gunung Api Sinabung salah satu gunung api aktif terletak di Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara, merupakan gunung api tipe strato dengan ketinggian 2.460 m [3]. Gambar 1.1 menunjukkan lokasi Gunung Api Sinabung.



Gambar 1.1 Lokasi Gunung Api Sinabung

Pada awalnya Gunung Api Sinabung masuk dalam klasifikasi tipe B, karena Gunung Api Sinabung tidak mempunyai sejarah letusan sejak tahun 1600. Gunung Api Sinabung pada tanggal 27 Agustus 2010 meletus dengan jatuhnya abu vulkanik. Peristiwa ini pertama terjadi gunung api tipe B meletus, sejak saat itu Gunung Api Sinabung diklasifikasikan sebagai tipe A [4].

Melihat sejarah letusan Gunung Api Sinabung yang tidak mempunyai letusan dan kembali aktif untuk itu perlu dilakukan penelitian dan pemantau secara terus menerus, salah satunya metode survei deformasi menggunakan *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

Pada prinsipnya pemantauan deformasi secara kontinu pada GNSS dengan menempatkan *receiver* GNSS pada beberapa titik ukur, untuk Gunung Api Sinabung ditempatkan pada 4 stasiun yaitu SNBG, KBYK, MRDG, LKWR. Pemantauan survei

deformasi menggunakan GNSS pada tubuh gunung api digunakan untuk mengetahui dan memprediksi perubahan bentuk yang terjadi pada Gunung Api Sinabung pada saat kenaikan permukaan tanah dan penurunan permukaan tanah, sehingga dapat mengetahui letusan yang terjadi pada Gunung Api Sinabung. Mengetahui letusan yang akan terjadi lebih cepat dapat memperkirakan kemungkinan yang akan terjadi sehingga dapat mengurangi dampak kerugian yang diakibatkan letusan Gunung Api Sinabung.

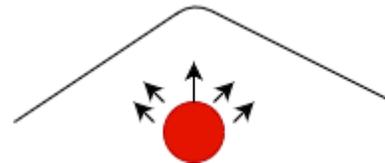
II. Tinjauan Pustaka

1. Deformasi

Deformasi adalah perubahan kedudukan, pergerakan secara absolut dan relatif dari posisi suatu gunung api atau perubahan kedudukan dimensi yang linear [8]. perubahan ukuran ataupun perubahan bentuk mekanika deformasi dengan melihat hubungan dengan *stress* (tegangan) dan *strain* (regangan). Stress adalah sepasang gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah yang bekerja pada satuan luas, sedangkan strain adalah besarnya deformasi yang diakibatkan oleh kegiatan stress yang bekerja pada suatu benda [9]. Perubahan

kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu system referensi [8].

Mengetahui terjadinya deformasi pada suatu tempat atau objek diperlukan survei atau pengamatan yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika adalah survei geodetik yang digunakan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi. Fenomena yang lain adalah fenomena deformasi dan geodinamika yang disebabkan oleh aktivitas gunung api. Gambar 2.1 menunjukkan fenomena yang disebabkan oleh aktivitas Gunung api.



Gambar 2. 1 Deformasi Akibat Aktivitas Gunung Api

2. Deformasi Metode GNSS pada Gunung Api

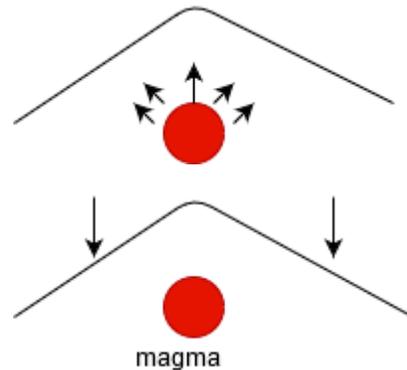
Pengamatan deformasi menggunakan GNSS (*Global Navigation Satellite System*) mempunyai ketelitian posisi titik mencapai mm. Prinsip metode ini dengan cara menempatkan beberapa titik ukur di beberapa lokasi sekitar gunung api, koordinatnya secara teliti

dengan menggunakan metode survei GNSS. Koordinat yang didapat dari pengukuran GNSS tersebut diikatkan pada stasiun referensi yang berada diluar zona deformasi gunung api [10]. Pengamatan deformasi gunung api dengan menggunakan GNSS pada prinsipnya dilakukan secara episodik dan kontinyu.

Pengamatan deformasi dengan metode GNSS menggunakan dua frekuensi dan metode penentuan posisi yang digunakan secara *real time*. Kegiatan pengamatan deformasi gunung api, GNSS penerima sinyal ditempatkan pada punggung gunung yang akan dipantau dan terdapat suatu pusat pengamatan (stasiun referensi) yang merupakan acuan dari koordinat penentuan sekaligus pusat pemrosesan data. Koordinat pergeseran titik yang dihasilkan dari pengamatan akan relatif terhadap pusat referensi [11]. Dengan mengamati sinyal-sinyal dari satelit dengan GNSS penerima dalam jumlah dan waktu yang ditentukan, kemudian dapat diproses untuk mendapatkan informasi posisi, kecepatan ataupun waktu secara cepat dan teliti [12].

Deformasi permukaan gunung api yang berupa vektor pergeseran titik dan vektor kecepatan perubahannya,

dapat memberikan informasi tentang karakteristik dan dinamika dari kantong magma. Gambar 2.2. menunjukkan deformasi tanah akibat aktivitas gunung api.



Gambar 2. 1 Deformasi Tanah Akibat Aktivitas gunung api

Gambar 2.2 menunjukkan aktivitas tubuh gunung api yang mengalami kenaikan menjelang letusan dan tahap letusan sesudah permukaan tanah yang mengalami penurunan.

3. Transformasi

Transformasi yang digunakan yaitu transformasi geosentrik ke toposentrik. Transformasi koordinat kedalam sistem toposentrik (n,e,u), koordinat toposentrik pusat sumbunya berada dipermukaan bumi. Persamaan yang digunakan dalam transformasi koordinat goesentrik ke toposentrik [13] :

$$\begin{pmatrix} n \\ e \\ u \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} XA - X_0 \\ YA - Y_0 \\ ZA - Z_0 \end{pmatrix}$$

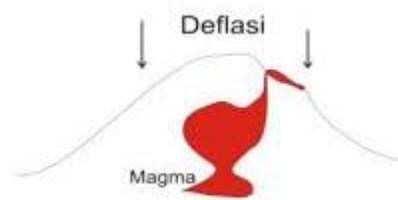
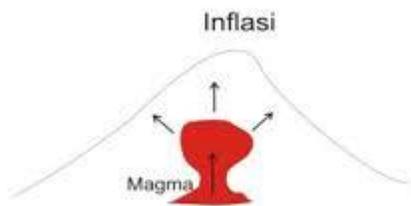
$$R = \begin{bmatrix} -\sin\varphi_0 \cos\lambda_0 & -\sin\varphi_0 \sin\lambda_0 & \cos\varphi_0 \\ -\sin\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ \cos\varphi_0 \cos\lambda_0 & \cos\varphi_0 \sin\lambda_0 & \sin\varphi_0 \end{bmatrix}$$

Keterangan :

- n,e,u : koordinat toposentrik
 φ_0, λ_0 : koordinat geodetik
 X_0, Y_0, Z_0 : koordinat titik ikat
 XA, YA, ZA : koordinat titik pantau
 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: selisih antara koordinat kartesian geosentrik
 R : matriks Rotasi

4. Inflasi dan Deflasi

Vektor kecepatan pergeseran pada setiap stasiun pengamatan yang terjadi dapat digunakan untuk menentukan kenaikan permukaan tanah (*Inflasi*) dan penurunan permukaan tanah (*Deflasi*) pada gunung api. Berikut gambar 2.1 menunjukkan gunung api kenaikan permukaan tanah (*Inflasi*) dan penurunan permukaan tanah (*Deflasi*).



Gambar 2. 2Inflasi dan Deflasi[14]

Inflasi sering dijadikan sebagai tanda-tanda akan terjadinya letusan pada gunung api. Deformasi berupa deflasi terjadi setelah letusan gunung. Pada saat itu tekanan magma di dalam tubuh gunung telah melemah atau kembali dalam posisi semula. Gejala deformasi gunung api menyebabkan pergeseran posisi pada titik tubuh gunung api[2].

III. Metodologi Penelitian

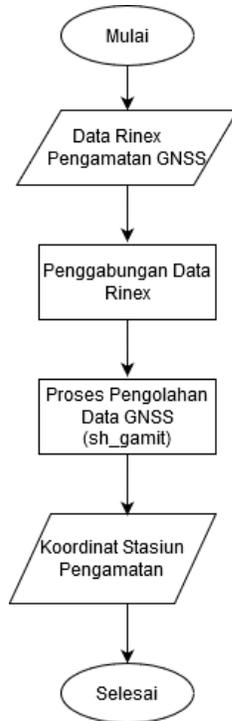
1. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini data pengamatan GNSS, data laporan aktivitas gempa, dan data DEMNAS. Data laporan aktivitas gempa bersumber dari data Magma Indonesia yang diakses secara online [21]. Data DEMNAS bersumber dari Badan Informasi Geospasial yang diakses secara online [22] dan data pengamatan GNSS pada Gunung Api Sinabung bersumber dari PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi). Laporan aktivitas kegempaan dari tahun 2017 sampai 2019 pada Gunung

Api Sinabung data disajikan pada gambar 3.2.

2. Pelaksanaan

Mengelola data GNSS dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.1 adapun proses pelaksanaan sebagai berikut :



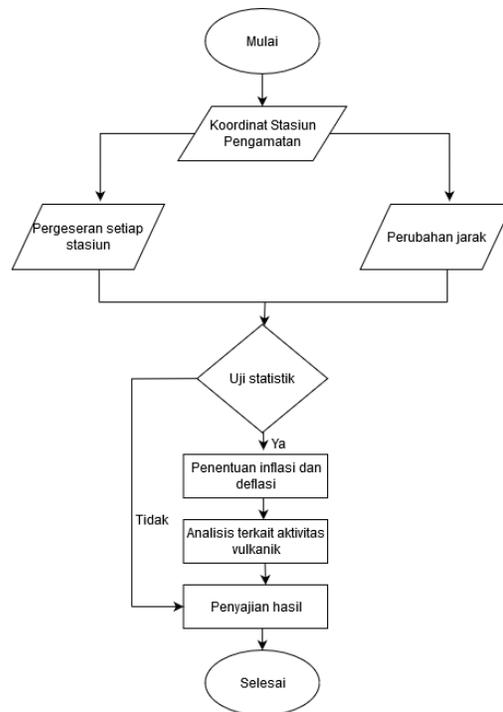
Gambar 3. 1 Pengolahan data GNSS

1. Pengumpulan data *rinex* yang akan digunakan meliputi data *rinex* stasiun pengamatan yang akan diolah, data *rinex* IGS, data *broadcast ephemeris*, data *precise ephemeris*, dan data ionosfer.
2. Melakukan pengecekan *control file*, untuk mengatur parameter dan skenario pengamatan, menambahkan koordinat apriori dari stasiun pengamatan global.

3. Selanjutnya memasukkan data pendukung untuk mengolah data yang harus ada dalam *tables* yaitu *earth tide*, *ocean tide loading*, dan *atmospheric loading*.

4. Langkah berikutnya untuk melakukan pengolahan data pada setiap DOY sehingga diperoleh koordinat pada setiap stasiun.

dari pengolahan data GNSS dilakukan pengolahan ketahap berikutnya, diagram alir pelaksana dapat dilihat pada gambar 3.2 :



1. Koordinat stasiun yang telah didapatkan dilakukan pengolahan untuk mendapatkan pergeseran sebelum kejadian erupsi dan sesudah kejadian erupsi dan antar

bulan menggunakan data bulan Januari 2018 sampai April 2019. Mendapatkan pergeseran per kejadian erupsi dilakukan rata-rata sebelum dan sesudah kejadian erupsi dengan tanggal yang mendekati kejadian erupsi untuk semua stasiun pengamatan, untuk pergeseran antar bulan hasil rata-rata koordinat stasiun pengamatan setiap bulan dihitung pergeseran antar bulan untuk semua stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung.

2. Pergeseran yang telah didapatkan dilakukan *ploting* menggunakan *Generic Mapping Tools (GMT)* [23] untuk melihat arah vektor pergeseran yang terjadi pada Gunung Api Sinabung. Arah vektor pergeseran digunakan untuk menentukan inflasi dan deflasi.
3. Setelah melakukan pencarian arah vektor pergeseran dilakukan uji statistik untuk mengindikasikan baik tidaknya hasil pergeseran titik pada setiap stasiun. Uji statistik dilakukan dengan menguji pergeseran titik, setelah diperoleh pergeseran titik menentukan standar deviasi pergeseran titik, pergeseran titik dan standar deviasi pergeseran diperoleh dilakukan

nilai pengujian pergeseran. Pergeseran dinyatakan baik atau tidaknya digunakan tabel distribusi normal dengan selang kepercayaan 50%. Nilai dari uji hipotesis sebesar 0.67, maka dianggap baik atau tidaknya apabila telah melebihi 0.67.

4. Penentuan inflasi dan deflasi ditentukan juga dengan perubahan jarak antara stasiun. Setelah menentukan inflasi dan deflasi dilakukan analisis terkait aktivitas vulkanik Gunung Api Sinabung.
5. Kegiatan pengolahan data telah selesai kemudian melakukan penyajian hasil berupa laporan penelitian.
6. Kegiatan pengolahan data terselesaikan kemudian melakukan penyajian hasil berupa laporan penelitian.

IV. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil

Hasil perhitungan pergeseran dengan metode perataan, berikut hasil pergeseran stasiun KBYK, LKWR, MRDG :

Tabel 4. 1 Hasil Pergeseran Stasiun
KBYK

Pergeseran pada stasiun KBYK pada tabel 4.1 untuk periode 11 Februari 2018-18 Februari 2018, periode 20 Februari 2018-27 Februari 2018, periode 28 Maret 2018–5 April 2018, periode 7 April 2018-14 April 2018, periode 12 Juni 2018-17 Juni 2018, periode 1 Juli 2018-8 Juli 2018 merupakan per kejadian erupsi sebelum terjadi erupsi, dan setelah terjadi erupsi . Kejadian setelah erupsi pada tanggal 22 Juni 2018 digunakan data awal bulan Juli dikarenakan tidak tersedianya data pada tanggal 20 sampai 30 Juni 2018. Bulan Juli 2018 sampai April 2019 tidak ada terjadi erupsi sehingga dihitung antar bulan.

Tabel 4.2 Hasil Pergeseran Stasiun KBYK

Periode ke-	Pergeseran Utara-Selatan (cm)	Pergeseran Timur-Barat (cm)	Standar Deviasi Utara-selatan (cm)	Standar Deviasi Timur-Barat (cm)	Arah Vektor
11 Februari 2018-18 Februari 2018	-0.19	-0.32	0.90	0.81	Mendekati
20 Februari 2018-27 Februari 2018	-0.41	-0.14	0.85	0.78	Mendekati
28 Maret 2018–5 April 2018	1.76	0.94	0.82	0.77	Menjauhi
7 April 2018-14 April 2018	-1.01	-1.01	0.82	0.75	Mendekati
12 Juni 2018-17 Juni 2018	0.03	0.63	0.78	0.77	Menjauhi
1 Juli 2018-8 Juli 2018	-0.74	-0.58	0.71	0.67	Mendekati
Juli 2018–Agustus 2018	0.26	-0.02	0.04	0.04	Menjauhi

Tabel 4.1 (lanj) Hasil Pergeseran Stasiun KBYK

Periode ke-	Pergeseran Utara-Selatan (cm)	Pergeseran Timur-Barat (cm)	Standar Deviasi Utara-selatan (cm)	Standar Deviasi Timur-Barat (cm)	Arah Vektor
-------------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------

Agustus 2018–September 2018	-0.27	0.16	0.05	0.05	Mendekati
September 2018–Oktober 2018	-0.01	0.60	0.05	0.04	Menjauhi
Oktober 2018–November 2018	0.03	0.40	0.04	0.04	Menjauhi
November 2018–Desember 2018	-0.49	-0.39	0.03	0.03	Mendekati
Desember 2018–Januari 2019	-0.29	0.83	0.03	0.02	Menjauhi
Januari 2019–Februari 2019	-0.07	0.47	0.03	0.02	Menjauhi
Februari 2019–Maret 2019	-1.04	2.69	0.03	0.02	Mendekati
Maret 2019–April 2019	0.11	3.19	0.05	0.04	Mendekati

Pergeseran yang terjadi pada stasiun LKWR dapat dilihat pada tabel 4.2 untuk periode 11 Februari 2018–18 Februari 2018, periode 20 Februari 2018–27 Februari 2018, periode 28 Maret 2018–5 April 2018, periode 7 April 2018–14 April 2018, periode 12 Juni 2018–17 Juni 2018, periode 1 Juli 2018–8 Juli 2018 merupakan per kejadian erupsi sebelum terjadi erupsi dan setelah terjadi erupsi. Kejadian setelah erupsi pada tanggal 22 Juni 2018 digunakan data awal bulan Juli dikarenakan tidak tersedianya data pada tanggal 20 sampai 30 Juni 2018. Bulan Juli 2018 sampai April 2019 tidak ada terjadi erupsi sehingga dihitung antar bulan. Hasil perhitungan pergeseran stasiun LKWR pada pengamatan Gunung Api Sinabung disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 3 Hasil Pergeseran Stasiun LKWR

Periode ke-	Pergeseran Utara-Selatan (cm)	Pergeseran Timur-Barat (cm)	Standar Deviasi Utara-selatan (cm)	Standar Deviasi Timur-Barat (cm)	Arah Vektor
-------------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-------------

11 Februari 2018-18 Februari 2018	-0.07	-0.31	0.64	0.71	Menjauhi
20 Februari 2018-27 Februari 2018	0.24	0.55	0.60	0.72	Mendekati
28 Maret 2018-5 April 2018	1.06	0.52	0.56	0.64	Menjauhi
7 April 2018-14 April 2018	-0.58	-0.84	0.45	0.48	Mendekati
12 Juni 2018-17 Juni 2018	0.05	0.32	0.50	0.55	Menjauhi
1 Juli 2018-8 Juli 2018	-0.14	0.99	0.45	0.51	Mendekati
Juli 2018-Agustus 2018	-0.02	0.22	0.03	0.04	Mendekati

Tabel 4.2 (lanj) Hasil Pergeseran Stasiun LKWR

Periode ke-	Pergeseran Utara-Selatan (cm)	Pergeseran Timur-Barat (cm)	Standar Deviasi Utara-selatan (cm)	Standar Deviasi Timur-Barat (cm)	Arah Vektor
Agustus 2018-September 2018	0.34	0.20	0.03	0.04	Menjauhi
September 2018-Oktober 2018	0.56	-0.15	0.03	0.03	Menjauhi
Oktober 2018-November 2018	0.53	0.03	0.02	0.04	Menjauhi
November 2018-Desember 2018	-1.23	-0.51	0.02	0.03	Mendekati
Desember 2018-Januari 2019	0.64	0.01	0.02	0.02	Mendekati
Januari 2019-Februari 2019	-1.04	2.69	0.02	0.02	Mendekati
Februari 2019-Maret 2019	-0.86	-0.53	0.02	0.02	Menjauhi
Maret 2019-April 2019	0.05	-0.12	0.03	0.03	Menjauhi

Pergeseran yang terjadi pada stasiun MRDG dapat dilihat pada tabel 4.3 untuk periode 11 Februari 2018-18 Februari 2018, periode 20 Februari 2018-27 Februari 2018, periode 28 Maret 2018-5 April 2018, periode 7 April 2018-14 April 2018, periode 12 Juni 2018-17 Juni 2018, periode 1 Juli 2018-8 Juli 2018 merupakan per kejadian erupsi sebelum terjadi erupsi dengan data yang digunakan data yang mendekati akan terjadi erupsi, dan setelah terjadi erupsi digunakan data yang mendekati setelah terjadi erupsi pada Gunung Api Sinabung. Kejadian setelah erupsi pada tanggal 22 Juni 2018 digunakan data awal bulan Juli dikarenakan tidak tersedianya data pada tanggal 20 sampai 30 Juni 2018. Bulan Juli 2018 sampai April 2019 tidak ada terjadi erupsi sehingga dihitung antar bulan. Perhitungan antar bulan dihitung dari rata-rata bulan dan dikurang terhadap rata-rata bulan berikutnya.

Hasil perhitungan pergeseran stasiun MRDG pada pengamatan Gunung Api Sinabung disajikan pada tabel 4.3.

Tabel 4. 4 Hasil Pergeseran Stasiun MRDG

Periode ke-	Pergeseran Utara-Selatan (cm)	Pergeseran Timur-Barat (cm)	Standar Deviasi Utara-Selatan (cm)	Standar Deviasi Timur-Barat (cm)	Arah Vektor
11 Februari 2018-18 Februari 2018	-0.00	0.01	0.70	0.85	Menjauhi
20 Februari 2018-27 Februari 2018	-0.81	-0.41	0.69	0.84	Menjauhi
28 Maret 2018-5 April 2018	0.06	-0.78	0.75	0.77	Menjauhi
7 April 2018-14 April 2018	0.10	-0.17	0.52	0.57	Menjauhi
12 Juni 2018-17 Juni 2018	0.26	0.24	0.57	0.65	Mendekati
1 Juli 2018-8 Juli 2018	0.25	1.01	0.56	0.63	Mendekati
Juli 2018-Agustus 2018	0.06	-0.02	0.04	0.04	Mendekati
Agustus 2018-September 2018	0.23	0.14	0.05	0.05	Mendekati

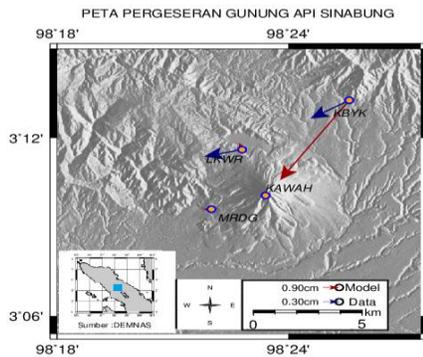
Tabel 4.3 (lanj) Hasil Pergeseran Stasiun MRDG

Periode ke-	Pergeseran Utara-Selatan (cm)	Pergeseran Timur-Barat (cm)	Standar Deviasi Utara-Selatan (cm)	Standar Deviasi Timur-Barat (cm)	Arah Vektor
September 2018–Oktober 2018	-0.23	-0.02	0.05	0.04	Menjauhi
Oktober 2018 – November 2018	0.54	0.14	0.04	0.04	Mendekati
November 2018-Desember 2018	-0.46	-0.57	0.03	0.03	Menjauhi
Desember 2018–Januari 2019	-0.01	0.69	0.03	0.02	Mendekati
Januari 2019–Februari 2019	0.11	3.19	0.03	0.02	Mendekati
Februari 2019–Maret 2019	-0.13	0.19	0.03	0.02	Menjauhi
Maret 2019–April 2019	0.88	-1.52	0.05	0.04	Mendekati

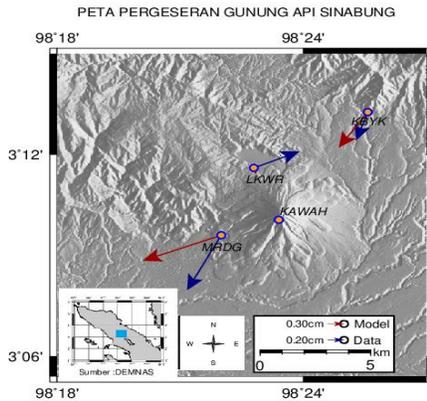
Hasil perhitungan pergeseran untuk menentukan inflasi dan deflasi disajikan dalam bentuk visualisasi arah vektor pergeseran. Arah vektor yang ditampilkan ada 2 meliputi arah vektor berwarna biru dan berwarna merah. Arah vektor pergeseran yang berwarna biru menunjukkan hasil resultan pergeseran tiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung. Arah vektor yang berwarna merah menunjukkan hasil proyeksi dari resultan pergeseran tiap stasiun pengamatan terhadap kawah Gunung Api Sinabung. Ketinggian pada Gunung Api Sinabung dapat dilihat pada gambar 3.1.

11 Februari 2018-18 Februari 2018, berdasarkan gambar 4.1 pada kedua stasiun bergerak menjauhi kawah yaitu stasiun MDRG dan stasiun LKWR mengalami inflasi dan stasiun

KBYK bergerak mendekati kawah menunjukkan mengalami deflasi, sehingga secara dominan mengalami inflasi.



Gambar 4.1 Pergeseran Horizontal
Tanggal 11 Februari 2018-18
Februari 2018

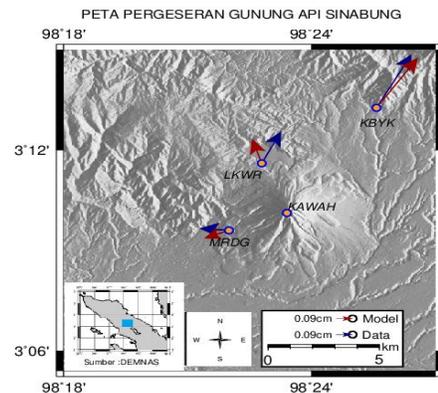


Gambar 4.2 Pergeseran Horizontal
Tanggal 20 Februari 2018-27
Februari 2018

Vektor pergeseran pada gambar 4.2 menunjukkan hasil perhitungan setelah kejadian erupsi pada tanggal 19 Februari 2018 Gunung Api Sinabung periode 20 Februari 2018-27 Februari 2018, berdasarkan gambar 4.2 pada kedua stasiun bergerak mendekati kawah yaitu stasiun KBYK dan stasiun LKWR mengalami deflasi

dan stasiun MRDG bergerak menjauhi kawah menunjukkan mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami deflasi.

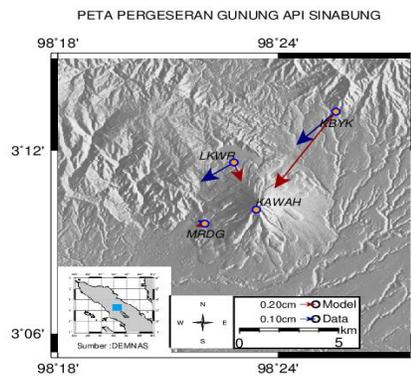
Vektor pergeseran pada gambar 4.3 menunjukkan hasil perhitungan sebelum kejadian erupsi pada tanggal 6 April 2018 Gunung Api Sinabung periode 28 Maret 2018-5 April 2018, berdasarkan gambar 4.3 pada ketigastasiun bergerak menjauhi kawah yaitu stasiun KBYK, stasiun LKWR, dan stasiun MRDG mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami inflasi.



Gambar 4.3 Pergeseran Horizontal
Tanggal 28 Maret 2018-5 April 2018

Vektor pergeseran pada gambar 4.4 menunjukkan hasil perhitungan setelah kejadian erupsi pada tanggal 6 April 2018 Gunung Api Sinabung

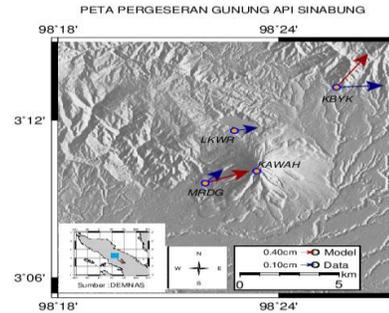
periode 7 April 2018-14 April 2018, berdasarkan gambar 4.4 pada kedua stasiun bergerak mendekati kawah yaitu stasiun KBYK dan stasiun LKWR mengalami deflasi, dan stasiun MRDG bergerak menjauhi kawah menunjukkan mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami deflasi.



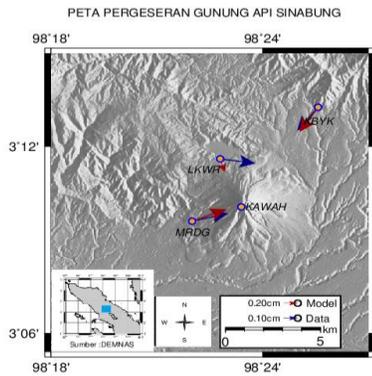
Gambar 4.4 Pergeseran Horizontal Tanggal 7 April 2018-14 April 2018

Vektor pergeseran pada gambar 4.5 menunjukkan hasil perhitungan sebelum kejadian erupsi pada tanggal 19 Juni 2018 Gunung Api Sinabung periode 12 Juni 2018-19 Juni 2018, berdasarkan gambar 4.5 pada kedua stasiun bergerak menjauhi kawah yaitu stasiun KBYK dan stasiun LKWR mengalami inflasi dan stasiun MRDG bergerak mendekati kawah menunjukkan mengalami deflasi,

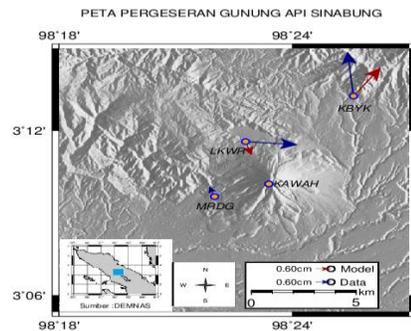
sehingga secara dominan mengalami inflasi.



Gambar 4.5 Pergeseran Horizontal Tanggal 12 Juni 2018-17 Juni 2018 Vektor pergeseran pada gambar 4.6 menunjukkan hasil perhitungan setelah kejadian erupsi pada tanggal 19 Juni 2018 Gunung Api Sinabung periode 1 Juli 2018-8 Juli 2018, digunakan data pada awal bulan Juli dikarenakan data pada tanggal 20 hingga 30 Juni data pengamatan GNSS tidak tersedia. Berdasarkan gambar 4.6 pada ketiga stasiun bergerak mendekati kawah yaitu stasiun KBYK, stasiun LKWR dan stasiun MRDG menunjukkan mengalami deflasi, sehingga secara dominan mengalami deflasi.



Gambar 4.6 Pergeseran Horizontal Tanggal 1 Juli 2018-8 Juli 2018

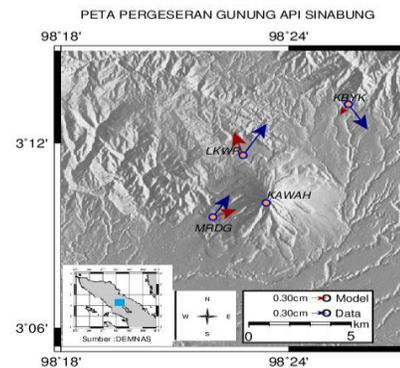


Gambar 4.7 Pergeseran Horizontal Bulan Juli 2018-Agustus 2018

Vektor pergeseran pada gambar 4.7 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode Juli 2018-Agustus 2018, berdasarkan gambar 4.6 pada kedua stasiun bergerak mendekati kawah yaitu stasiun MRDG dan stasiun LKWR mengalami deflasi dan stasiun KBYK bergerak menjauhi kawah menunjukkan mengalami inflasi,

sehingga secara dominan mengalami deflasi.

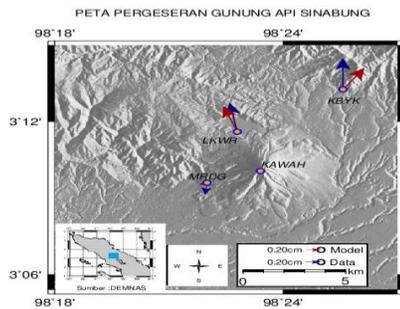
Vektor pergeseran pada gambar 4.8 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode Agustus 2018-September 2018, berdasarkan gambar 4.7 pada kedua stasiun bergerak mendekati kawah yaitu stasiun KBYK dan stasiun MRDG mengalami deflasi dan stasiun LKWR bergerak menjauhi kawah menunjukkan mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami deflasi.



Gambar 4.8 Pergeseran Horizontal Bulan Agustus 2018-September 2018

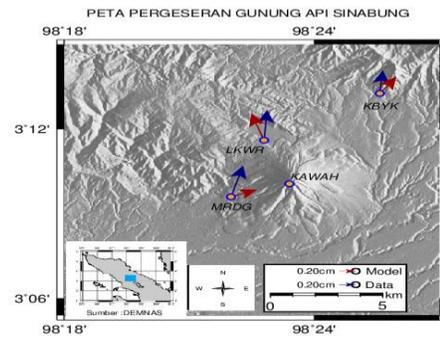
Vektor pergeseran pada gambar 4.9 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode September-Oktober 2018,

berdasarkan gambar 4.9 pada ketiga stasiun bergerak menjauhi kawah yaitu stasiun KBYK, stasiun LKWR, dan stasiun MRDG mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami inflasi.

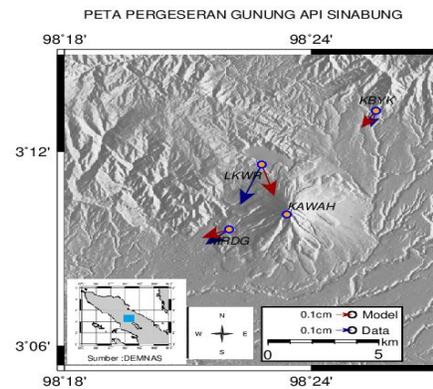


Gambar 4.9 Pergeseran Horizontal Bulan September 2018-Oktober 2018

Vektor pergeseran pada gambar 4.10 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode Oktober 2018-November 2018, berdasarkan gambar 4.10 pada kedua stasiun bergerak menjauhi kawah yaitu stasiun KBYK dan stasiun LKWR mengalami inflasi dan stasiun MRDG bergerak mendekati kawah menunjukkan mengalami deflasi, sehingga secara dominan mengalami inflasi.



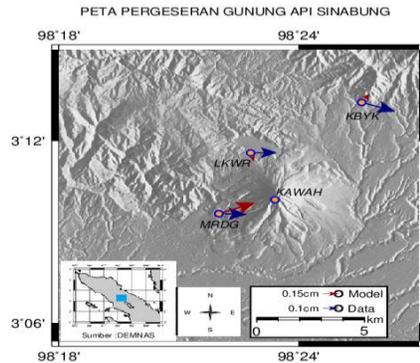
Gambar 4.10 Pergeseran Horizontal Bulan Oktober 2018-November 2018



Gambar 4.11 Pergeseran Horizontal Bulan November 2018-Desember 2018

Vektor pergeseran pada gambar 4.11 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode November 2018-Desember 2018, berdasarkan gambar 4.11 pada kedua stasiun bergerak mendekati kawah yaitu stasiun KBYK dan stasiun LKWR mengalami deflasi dan stasiun MRDG bergerak mendekati kawah menunjukkan mengalami inflasi,

sehingga secara dominan mengalami deflasi.

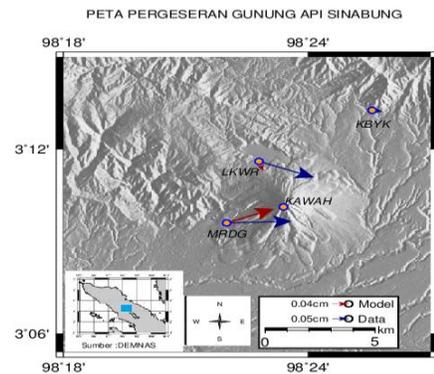


Gambar 4.12 Pergeseran Horizontal Bulan Desember 2018-Januari 2019

Vektor pergeseran pada gambar 4.12 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode Desember 2018-Januari 2019, berdasarkan gambar 4.12 pada kedua stasiun bergerak mendekati kawah yaitu stasiun MRDG dan stasiun LKWR mengalami deflasi dan stasiun KBYK bergerak mendekati kawah menunjukkan mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami deflasi.

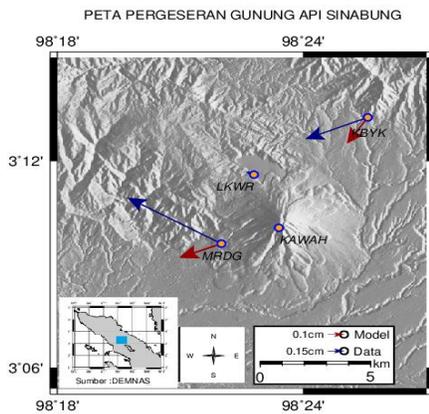
Vektor pergeseran pada gambar 4.13 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode Januari 2019-Februari 2019, berdasarkan gambar 4.13 pada kedua stasiun

bergerak mendekati kawah yaitu stasiun MRDG dan stasiun LKWR mengalami deflasi dan stasiun KBYK bergerak menjauhi kawah menunjukkan mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami deflasi.



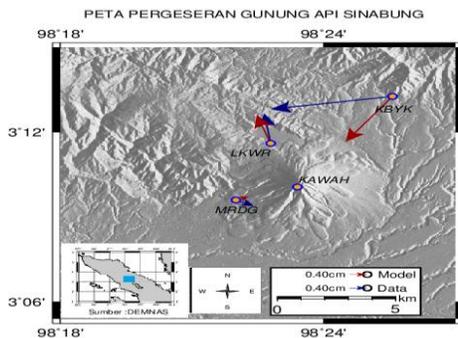
Gambar 4.13 Pergeseran Horizontal Bulan Januari 2019-Februari 2019

Vektor pergeseran pada gambar 4.14 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode Februari 2019-Maret 2019, berdasarkan gambar 4.14 pada kedua stasiun bergerak mendekati kawah pada stasiun LKWR sehingga dinyatakan mengalami deflasi dan kedua stasiun KBYK dan MRDG bergerak menjauhi kawah menunjukkan mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami inflasi.



Gambar 4.14 Pergeseran Horizontal Bulan Februari 2019-Maret 2019

Vektor pergeseran pada gambar 4.15 menunjukkan hasil perhitungan antar bulan pada setiap stasiun pengamatan Gunung Api Sinabung periode Maret 2019-April 2019, berdasarkan gambar 4.15 pada kedua stasiun bergerak mendekati kawah yaitu stasiun KBYK dan stasiun MRDG mengalami deflasi dan stasiun LKWR bergerak menjauhi kawah menunjukkan mengalami inflasi, sehingga secara dominan mengalami deflasi.



Gambar 4.15 Pergeseran Horizontal Bulan Maret 2019-April 2019

Hasil vektor pergeseran yang didapatkan dari stasiun KBYK, LKWR, MRDG pada Gunung Api Sinabung akan menunjukkan inflasi dan deflasi, dari ketiga stasiun dilakukan proses dominan untuk menentukan inflasi dan deflasi pada Gunung Api Sinabung yang ditunjukkan pada tabel 4.4.

B. Pembahasan

Hasil vektor pergeseran yang telah didapatkan dominan mengalami deflasi, namun hasil uji statistik pada tabel 4.6 dengan tabel distribusi normal dengan selang kepercayaan 50%, untuk itu nilai T -perhitungan (pengujian perhitungan pergeseran) jika lebih besar dari nilai 0.67 t -tabel (pengujian) maka dapat dinyatakan signifikan, tetapi nilai T -perhitungan lebih kecil dari nilai 0.67 t -tabel (pengujian) maka dinyatakan tidak signifikan.

Hasil uji statistik pergeseran yang didapatkan pada tabel 4.6 untuk stasiun KBYK periode sebelum dan setelah kejadian erupsi signifikan pada periode 28 Maret 2018-5 April 2018, periode 7 April 2018-14 April 2018, dan periode 12 Juni

2018-17 Juni 2018. Periode antar bulan signifikan terjadi periode Desember 2018-Januari 2019, dan periode Februari 2019 sampai April 2019. Hasil uji statistik pergeseran yang didapatkan pada tabel 4.6 untuk stasiun LKWR periode sebelum dan setelah kejadian erupsi signifikan pada periode 28 Maret 2018-5 April 2018, periode 7 April 2018-14 April 2018, dan periode 12 Juni 2018-17 Juni 2018. Periode antar bulan yang signifikan terjadi periode Oktober 2018 sampai Desember 2018, dan periode Januari 2019 sampai Maret 2019. Hasil uji statistik pergeseran yang didapatkan pada tabel 4.6 untuk stasiun MRDG periode sebelum dan setelah kejadian erupsi signifikan pada periode 20 Februari 2018-27 Februari 2018, periode 28 Maret 2018-5 April 2018, dan periode 12 Juni 2018-17 Juni 2018. Periode antar bulan signifikan terjadi periode Oktober 2018 hingga periode Desember 2018, dan periode Januari 2019 sampai April 2019.

Hasil perhitungan perubahan jarak antar stasiun pengamatan yang telah didapatkan pada tabel 4.5 dominan mengalami deflasi. Hasil perhitungan antar stasiun LKWR-MRDG untuk sebelum kejadian erupsi dan setelah kejadian erupsi berkisar antara 0.15 cm sampai -0.83, dan perubahan jarak antar bulan 5.11 cm sampai -0.92 cm. Hasil perhitungan perubahan jarak antar stasiun

pada pengamatan antar stasiun MRDG-KBYK untuk sebelum kejadian erupsi dan setelah kejadian erupsi berkisar antara 0.27 cm sampai -0.29 cm, dan perubahan jarak antar bulan 4.8 cm sampai -2.29 cm. Hasil perhitungan perubahan jarak antar stasiun pada pengamatan antar stasiun KBYK-LKWR untuk sebelum kejadian erupsi dan setelah kejadian erupsi berkisar antara 0.38 cm sampai -0.29 cm, dan perubahan jarak antar bulan 2.07 cm sampai -0.82 cm.

Gunung Api Sinabung untuk data pengamatan bulan Januari 2018 sampai April 2019 terjadi 3 kali erupsi, untuk itu penentuan inflasi dan deflasi dilakukan periode sebelum terjadi erupsi, setelah terjadi erupsi, dan antar bulan untuk pengamatan yang tidak terjadi erupsi. Berdasarkan kejadian erupsi pada tanggal 19 Februari 2018 dihitung sebelum kejadian erupsi dengan pergeseran dan perubahan jarak periode 11 Februari 2018-18 Februari 2018 pada tabel 4.4 menunjukkan dominan mengalami inflasi, hal itu terindikasi naiknya magma ke atas permukaan, untuk aktivitas kegempaan pada kejadian erupsi intensitas tidak besar dikarenakan tipe Gunung Api Sinabung antara kegempaan dan erupsi tidak bersamaan, kegempaan terlebih dahulu terjadi dan kemudian pada bulan berikutnya terjadi erupsi. Kegempaan

untuk erupsi terjadi pada bulan November, untuk kegempaan yang terjadi pada erupsi ini dari laporan Magma Indonesia [22] terjadi kenaikan aktivitas kegempaan bulan November terutama dari tanggal 5, tanggal 6, dan tanggal 7. Pada tanggal 5 kegempaan meliputi 78 kali gempa guguran, 4 kali gempa letusan, 608 kali gempa *low frequency*, 1 kali gempa hembusan, 3 kali gempa *hybrid*, dan 2 kali gempa getaran banjir, tanggal 6 kegempaan meliputi 674 kali gempa *low frequency*, 70 kali gempa guguran, 6 kali gempa letusan, dan tanggal 7 kegempaan meliputi 464 kali gempa *low frequency*, 4 kali gempa letusan, 1 kali gempa awan panas, 50 kali gempa guguran, 1 kali gempa hembusan, 2 gempa vulkanik. Pada gambar 3.2 dari laporan Magma Indonesia [22] untuk keterkaitan kegempaan vulkanik kecil didominasi oleh kegempaan yang lain. Erupsi pada tanggal 19 Februari 2018 terjadi adanya pergerakan magma yang besar menuju puncak oleh karena terjadi perubahan bentuk mengakibatkan penaikan permukaan tanah pada Gunung Api Sinabung. Periode 20 Februari 2018-27 Februari 2018 setelah kejadian erupsi tanggal 19 Februari pada tabel 4.4 menunjukkan dominan mengalami deflasi akibat dari letusan yang terjadi pada tanggal 19 Februari 2018. Hasil perubahan jarak dengan arah vektor pergeseran berbeda, perubahan jarak

periode 20 Februari 2018-27 Februari 2018 pada tabel 4.5 menunjukkan dominan mengalami inflasi, hal ini dikarenakan adanya penarikan antar stasiun yang menyebabkan hasil perubahan jarak mengalami inflasi. Periode setelah letusan terindikasi terjadi kembang kempis pada Gunung Api Sinabung akibat masih adanya magma kejadian erupsi sebelumnya dan diikuti permukaan tanah akan kembali keposisi semula.

Kejadian erupsi pada tanggal 6 April 2018 dihitung sebelum kejadian erupsi dengan pergeseran dan perubahan jarak periode 28 Maret 2018-5 April 2018 pada tabel 4.4 menunjukkan dominan mengalami inflasi, hal itu terindikasi naiknya magma ke atas permukaan, untuk aktivitas kegempaan pada kejadian erupsi intensitas tidak besar dikarenakan tipe Gunung Api Sinabung antara kegempaan dan erupsi tidak bersamaan, kegempaan terlebih dahulu terjadi dan kemudian pada bulan berikutnya terjadi erupsi. Kegempaan untuk erupsi periode ini terjadi pada bulan Februari 2018, untuk kegempaan yang terjadi pada erupsi ini dari laporan Magma Indonesia [22] terjadi kenaikan aktivitas kegempaan bulan Februari 2018. Pada gambar 3.2 dari laporan Magma Indonesia [22] untuk keterkaitan kegempaan vulkanik besar, terjadi pada tanggal 27

Februari 2018 dan 28 Februari 2018. Pada tanggal 27 Februari 2018 jumlah gempa vulkanik 257 kali, dan tanggal 28 Februari berjumlah 194 kali. Erupsi pada tanggal 6 April 2018 terjadi adanya pergerakan magma menuju puncak oleh karena terjadi perubahan pada Gunung Api Sinabung mengalami inflasi. Periode 7 April 2018-14 April 2018 setelah kejadian erupsi tanggal 19 Februari 2018 pada tabel 4.4 menunjukkan dominan mengalami deflasi akibat dari letusan yang terjadi pada tanggal 6 April 2018. Hasil perubahan jarak dengan arah vektor pergeseran berbeda, perubahan jarak periode 7 April 2018-14 April 2018 pada tabel 4.5 menunjukkan dominan mengalami inflasi, hal ini dikarenakan adanya penarikan antar stasiun yang menyebabkan hasil perubahan jarak mengalami inflasi.

Pergeseran pada periode 12 Juni-19 Juni 2018 sebelum kejadian erupsi, pada tabel 4.4 menunjukkan dominan mengalami inflasi, dan perubahan jarak antar stasiun pengamatan menunjukkan mengalami deflasi. Pada gambar 4.3 arah vektor pergeseran bergerak menjauhi puncak Gunung Api Sinabung disebabkan tekanan magma akibat aktivitas vulkanik yang terjadi bulan April, dari laporan Magma Indonesia [22] terjadi erupsi pada tanggal 22 Juni 2018 tapi data yang ada pada bulan

Juni 2018 hanya sampai tanggal 19, terindikasi pergerakan magma sudah bergerak sebelum terjadi erupsi sehingga terjadi inflasi walaupun data tidak ada pada saat berlangsung erupsi Gunung Api Sinabung. Laporan Magma Indonesia [22] erupsi pada tanggal 22 Juni 2018 kecil hanya berupa hembusan kawah berwarna putih tipis bertekanan lemah dikarenakan aktivitas vulkanik yang terjadi jumlah gempa lebih sedikit dibandingkan letusan pada tanggal 6 April 2018, jumlah kegempaan yang terbesar hanya 10 kali gempa hembusan dan 2 kali gempa tornillo yang terjadi pada tanggal 25 April 2018. Periode 1 Juli 2018-8 Juli 2018 pada tabel 4.4 menunjukkan dominan mengalami deflasi, untuk perubahan jarak periode Juli 2018-8 Juli 2018 pada tabel 4.5 mengalami inflasi, hal ini adanya penarikan antar stasiun menyebabkan perubahan jarak mengalami inflasi.

Aktivitas vulkanik Gunung Api Sinabung untuk bulan Juli 2018 sampai April 2019 tidak ada terjadi erupsi dari laporan Magma Indonesia [22], tetapi arah vektor pergeseran dan perubahan jarak mengalami inflasi dan deflasi dikarenakan dari gambar 3.2 menunjukkan masih ada tekanan aktivitas vulkanik seperti hembusan, tornillo dan dipengaruhi oleh

tektonik lokal dan tektonik jauh dengan intensitas kecil.

V. Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dan dijelaskan pada bab sebelumnya, terdapat beberapa kesimpulan terkait studi deformasi Gunung Api Sinabung berdasarkan data GNSS tahun 2018-2019 yaitu :

1. Besar pergeseran bulan Januari 2018 sampai April 2019 untuk stasiun KBYK sebesar 3.19 cm sampai 0.26 cm, Stasiun LKWR sebesar 2.88 cm sampai 0.22 cm, stasiun MRDG pergeseran sebesar 3.10 cm sampai 0.23 cm dengan arah beragam dari menjauhi kawah sampai mendekati kawah.
2. Pengamatan Gunung Api Sinabung pada Bulan Januari 2018 sampai April 2019 mengalami 3 kali inflasi sebelum terjadi erupsi dan mengalami 3 kali deflasi setelah terjadi erupsi. Pengamatan Gunung Api Sinabung setelah tidak ada terjadi erupsi dominan mengalami deflasi.
3. Gunung Api Sinabung mengalami 3 kali erupsi yang diakibatkan oleh aktivitas vulkanik dan kegempaan lain meliputi kegempaan *tornillo*, *low frequency*, guguran, awan panas, dan

hembusan. Tipe Gunung Api Sinabung aktivitas vulkanik yang terjadi tidak bersamaan dengan terjadi erupsi.

B. Saran

Saran penulis terkait penelitian yang akan dilakukan selanjutnya menggunakan metode lain seperti metode deformasi tiltimeter sebagai pembanding hasil pergeseran yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Santoso, volkanofisik, program studi teknik geofisika dan meteorologi Institut Teknologi Bandung., 2015.
- [2] N. Y. Muvid, "Analisis Deformasi Gunung Merapi menggunakan Data GPS tahun 2015," Malang, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2018.
- [3] PVMBG, "Evaluasi Gunung Sinabung," Bandung, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2016.
- [4] S. Wittiri, Gunungapi Sinabung Naik Kelas, Warta Geologi, 2010.
- [5] Andreas, "Analisis Deformasi Gunung Papandayan Berdasarkan

- Data Pengamatan GPS Tahun 2011-2012," 2001.
- [6] Elvien, Studi Deformasi Untuk Menentukan Lokasi dan Perubahan Volume Pusat Tekanan Di Gunungapi Batur, Bali Dengan Metode Survei GPS, Yogyakarta: Universitas Gajah Mada, 2004.
- [7] H. Z. Abidin, Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya, Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.
- [8] H. Z. Abidin, "Survei dengan GPS. Cetakan Kedua," Jakarta : Pradnya Paramita, 2002.
- [9] Wellenhof, GPS Theory and Practice, New York: Springer Wien New York, 1992.
- [10] R. A. Perwira, D. Y. Bambang and B. Sudarsono, "Studi Deformasi Waduk DiPonegoro Tahun 2017," *Geodesi Undip*, 2018.
- [11] I. Jamel, I. Meilano, S. A. Dina and H. Z. Abidin, "Analisis Deformasi Gunung Api Papandayan Berdasarkan Data pengamatan GPS tahun 2002-2011," *Indonesia journal of geospatial* , vol. Vol.2.No3, 2013.
- [12] A. N. Huda and N. M. Farda, "Monitoring Deformasi Gunung Sinabung Tahun 2018 menggunakan Teknik Persistent Scatter Interferometry (PS INSAR) dan Citra Sentinel-1," *Jurnal Bumi Indonesia*, pp. Volume 8, Nomor 4, 2019.
- [13] M. Zahrudin, D. Sunaryo and A. Y. Maburr, "Pengolahan Data GPS Geodetik untuk Analisis Deformasi Erupsi Gunung Agung Bali," 2018.
- [14] Badan Geologi, ESDM, "Magma Indonesia," Februari 2018. [Online].Available <https://magma.esdm.go.id/v1/gunungapi/laporan/46352?signature=>. [Accessed Rabu Mei 2020].