

PEMODELAN SUMBER TEKANAN GUNUNG SINABUNG MENGGUNAKAN SKEMA INVERSI PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Ratih Kumalasari^{1*}, Wahyu Srigutomo², Irwan Meilano², Hendra Gunawan³

¹ Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Jl. Harsono Rm Dalam No.46, RT.7/RW.4, Ragunan, Kec. Ps. Minggu, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia 12550

² Institute Teknologi Bandung, Jl. Ganesa 10 Bandung, Indonesia 40132

³ Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana (PVMBG), Jl. Diponegoro 57 Bandung, Indonesia 40122

*email: ratih.kumalasari@dsn.uharajaya.ac.id

ABSTRAK

Gunung Sinabung merupakan salah satu gunung aktif di Indonesia yang masuk dalam gunungapi tipe A setelah erupsi pertama kali pada tahun 2010 setelah sebelumnya tidak ada aktivitas erupsi. Gunung sinabung terus erupsi hingga saat ini yang menjadikan Gunung Sinabung perlu diamati lebih lanjut terkait aktivitas yang terjadi serta dilakukan pemodelan untuk memprediksi kondisi bawah permukaan yang dapat membantu proses analisis. Pemodelan terhadap data permukaan Gunung Sinabung yang berasal dari data pergeseran permukaan dari GPS pada tahun 2015-2016 telah dimodelkan aproksimasi McTique dengan skema inversi particle swarm optimization (PSO). Erupsi yang terus menerus pada tahun tersebut menghasilkan data yang sangat fluktuatif dengan hasil inversi menunjukkan bahwa sumber tekanan pada tekanan pada Gunung Sinabung terletak pada kedalaman dangkal yaitu 0,5 km hingga 1,0 km di bawah permukaan laut di bawah Gunung Sinabung, dengan sumber tekanan yang dangkal serta adanya inflasi pada tubuh gunung api maka memungkinkan adanya erupsi secara kontinyu dalam waktu yang singkat.

Kata Kunci: Pemodelan; Inversi; PSO; Gunung Sinabung; McTique

ABSTRACT

[Title: Pressure Source Modeling of Sinabung Volcano Using particle Swarm Optimization (PSO) Inversion Scheme] Sinabung Volcano is one of the active volcanoes in Indonesia which is included in type A volcano after its first eruption in 2010 after previously there was no eruption activity. Mount Sinabung continues to erupt until now, which requires further observation of Mount Sinabung regarding the activities that occur and modeling to predict subsurface conditions that can assist the analysis process. Modeling of Sinabung Volcano surface data derived from surface shift data from GPS in 2015-2016 has been modeled McTique approximation using particle swarm optimization (PSO) inversion scheme. Continuous eruptions that year produced very fluctuating data with the inversion results showing that the source of pressure on Sinabung Volcano was located at a shallow depth of 0.5 km to 1.5 km below sea level under Mount Sinabung, with a shallow source of pressure and inflation on the body of the volcano, it allows continuous eruptions in a short time.

Keywords: Modeling; Inversion; PSO; Sinabung Volcano; McTique

PENDAHULUAN

Gunung Sinabung adalah gunung api tipe A yang terletak di provinsi Sumatera Utara yang mulai erupsi pada tahun 2010. Semenjak tahun 2010 Gunung Sinabung terus erupsi hingga saat ini (Gunawan, 2017., PVMBG, 2010).

Perubahan bentuk, dimensi, dan posisi suatu benda dinamakan dengan deformasi (Jamel et al., 2013). Deformasi pada gunung api adalah perubahan dari permukaan bumi berupa kenaikan permukaan

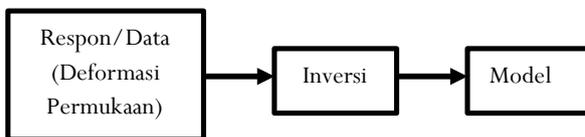
tanah (inflasi) maupun penurunan permukaan tanah (deflasi) yang disebabkan oleh aktivitas gunung api yaitu perubahan sumber tekanan dari tubuh gunung api yang menyebabkan pergerakan magma, gas dan uap air menuju ke luar dari tubuh gunung api. Inflasi sendiri pada umumnya disebabkan oleh proses pergerakan magma ke permukaan yang menyebabkan dinding tanah di atasnya naik, dan deformasi maksimal biasanya terjadi tepat saat gunung api akan erupsi. Inflasi yang besar biasanya menandakan bahwa

gunung api tersebut akan segera erupsi, sedangkan deflasi pada umumnya terjadi pada saat magma dari dalam gunung api telah keluar dan tekanan dari dalam gunung api melemah sehingga permukaan tanah cenderung kembali ke posisi awal. Pemantauan deformasi pada gunung api dapat dilakukan dengan GPS. GPS merupakan sistem satelit yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat yang didesain untuk memberikan informasi mengenai posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca kepada banyak pengguna secara simultan (Nakada, 2017., Nugraha, 2017., Palister, 2017)

METODE

Deformasi pada gunungapi adalah perubahan dari permukaan bumi berupa kenaikan permukaan tanah (infalsi) maupun penurunan permukaan tanah (deflasi) yang disebabkan oleh aktivitas gunungapi, yaitu akibat perubahan sumber tekanan dari tubuh gunung api. Dalam pemodelan data yang diperoleh dari pengamatan adalah data lapangan, pada analisis berikut data lapangan merupakan data pergeseran gunung api yang diperoleh dari data GPS, kemudian diaplikasikan suatu metode inversi untuk memperoleh parameter bawah permukaan.

Metode inversi adalah metode matematika untuk memperoleh informasi mengenai sistem fisis berdasarkan data lapangan, informasi fisis yang dicari pada inversi berikut adalah kedalaman sumber tekanan dari gunung api. Secara grafis inversi digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram inversi pada gunungapi

Metode inversi non-linier ada dua pendekatan yaitu inversi non-linier pendekatan lokal dan inversi non-linier pendekatan global. Salah satu inversi pendekatan global adalah Inversi dengan skema *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang merupakan suatu algoritma optimasi yang meniru proses kehidupan populasi burung (*flock of bird*) dan ikan (*school of fish*) dalam bertahan hidup di alam yang dikembangkan oleh James Kennedy dan Russell Eberhart pada tahun 1995 (Martinez, 2010). Dalam *Particle Swarm Optimization* (PSO), kawanan diasumsikan sebagai partikel yang memiliki ukuran

tertentu dan terletak pada suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi pada posisi awalnya, setiap partikel tersebut diasumsikan memiliki dua karakteristik yaitu posisi dan kecepatan.

Terdapat model gunung api yang dapat diaplikasikan untuk menganalisis aktivitas gunung api, salah satunya adalah model McTigue. McTigue melakukan beberapa koreksi terhadap point pressure model mogi dikarenakan persamaan mogi hanya dapat memprediksi kedalaman lokasi dan besar pusat tekanan diharapkan dengan aproksimasi yang dilakukan McTigue diharapkan dapat memprediksi besar rongga yang mendapatkan tekanan. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 u \\
 v = \frac{3}{G} P \left(\frac{1}{R} \right) \\
 w
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$1 + \frac{3}{d} \cdot \frac{(1 + \frac{x}{R})}{2(7 + 5)} + \frac{15d^2(2 + \frac{y}{R})}{4R^2(7 + 5)} + \frac{z}{R^3}$$

u, v, w adalah perubahan posisi pada titik $x, y, 0$ dan $R = \sqrt{x^2 + y^2 + d^2}$ adalah jarak radial dari satu titik ke permukaan. Vektor pergeseran berarah radial terhadap sumber mempunyai magnitude:

$$U_r = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} = \frac{3}{G} P \left(\frac{1}{R} \right) \frac{1}{R^2}
 \tag{2}$$

Magnitude bervariasi dan berbanding terbalik dengan jarak dari pusat rongga. Lokasi dari pusat (titik tengah dan kedalaman) dapat ditentukan dengan mengukur dua buah vektor pergeseran. Perbandingan $(w/U_r)r$ dengan $U_r = \sqrt{u^2 + v^2}$ sama dengan kedalaman sumber.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengamatan yang digunakan dalam disertasi ini adalah data pengamatan GPS milik PVMBG di sekitar Gunung Sinabung yang terdiri dari stasiun SNBG (Sinabung), stasiun SKNL (Sukanalu), stasiun LKWR (Laukawar), stasiun GRKI (Gurukinayan), dan stasiun MRDG (Mardinding). Data lokal ini juga ditambah satu stasiun GPS kontinyu milik BIG yaitu SAMP (Sampali). Periode data yang diolah adalah sejak bulan Agustus 2015 sampai dengan bulan September 2016. Koordinat yang digunakan dalam melakukan plot *displacement time series* adalah koordinat toposentrik. Koordinat toposentrik ini merupakan koordinat relatif terhadap titik referensi di atas permukaan bumi. Pada file *.pos hasil pengolahan GAMIT/GLOBK 10.6, diperoleh koordinat toposentrik beserta koordinat geosentrik

referensinya. Untuk koordinat geosentrik referensi yang digunakan, dapat dilihat pada tabel 1 berikut

Tabel 1. Koordinat Referensi

Nama Stasiun	Lintang	Bujur	Elevasi (meter)
GRKI	3.1463638562	98.3940415603	1230.29648
LKWR	3.1916204445	98.3851551382	1496.43497
MRDG	3.1600191196	98.3667280919	1186.12912
SAMP	3.6216076487	98.7147172580	1.68352
SKNL	3.1757193989	98.4127966025	1442.57397
SNBG)	3.1399057205	98.4572715202	1220.60456

Hasil dari *displacement time series* semua stasiun terhadap ITRF 2008 belum merupakan pergeseran lokal dari gunung Sinabung karena pergeseran masih dipengaruhi beberapa beberapa aktivitas tektonik seperti coseismik dan postseismik serta aktivitas yang lain, solusi untuk mendapatkan *displacement* lokal dari gunung Sinabung adalah dengan mengurangi *displacement time series* pada semua stasiun dengan *displacement time series* dari stasiun GPS yang memiliki kelengkapan data yang baik, masih dalam satu lempeng tektonik dan tidak terpengaruh oleh aktivitas local dari Gunung Sinabung. Dalam penelitian ini stasiun yang terpilih adalah SAMP.

Berdasarkan analisis kelurusan *trend* pada grafik *displacement time series* relatif terhadap stasiun SAMP diperoleh periode gunungapi dalam penelitian ini sebagai berikut:

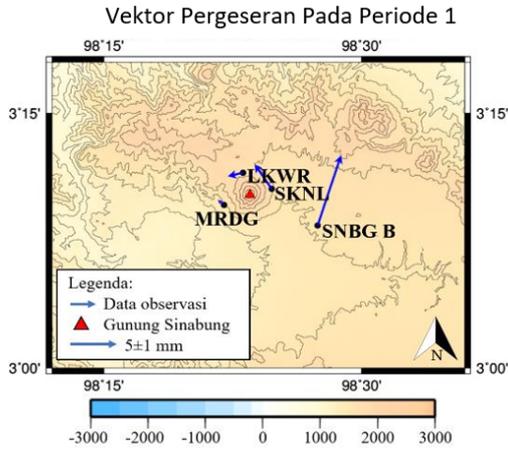
1. Periode 9 (15 Agustus 2015 – 20 Oktober 2015).
2. Periode 10 (21 Oktober 2015 – 20 Desember 2015).
3. Periode 11 (21 Desember 2015 – 10 September 2016).

Setelah ditentukan periode berdasarkan *time series* maka dilakukan *sampling data* menggunakan *symmetric rejection* dari masing-masing periode dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 2.

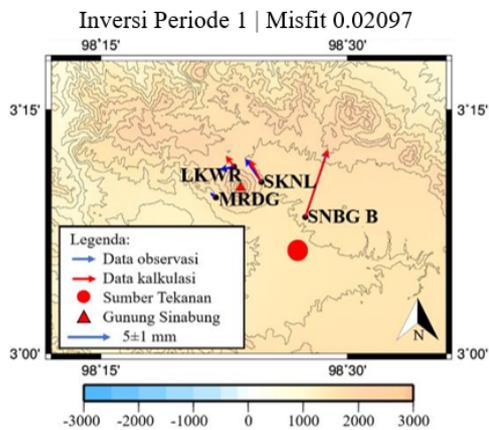
Periode	Stasiun	Koordinat			Displacement (m)			Standar Deviasi		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	LKWR	431687,15	352794,03	1496,45	0.02019	-	0.03814	0.01023	0.01515	0.03290
						0.00295				
	SKNL	429637,51	349302,07	1186,16	0.00008	-	0.00121	0.00564	0.01090	0.03153
						0.00245				
2	MRDG	434757,39	351034,54	1442,59	0.00289	-	0.00455	0.00856	0.01216	0.01790
						0.00371				
	SNBGB	439697,06	347073,05	1220,60	-0.00152	0.00175	0.01632	0.00884	0.01373	0.02796
						0.00670	-0.00085	0.01162	0.01151	0.03140
3	LKWR	431687,15	352794,03	1496,45	-0.00877	0.00187	0.02100	0.02841	0.02492	0.06108
						0.00031				
	SKNL	429637,51	3.9302,07	1186,16	0.00610	-	0.00557	0.00983	0.01076	0.03483
						0.00031				
3	MRDG	434757,39	351034,54	1442,59	0.00180	-	0.01264	0.00445	0.01023	0.03647
						0.00211				
	SNBGB	439697,06	347073,05	1220,60	0.00089	0.00670	-0.00085	0.01162	0.01151	0.03140
						0.00203	0.00178	0.03424	0.01211	0.00940
3	MRDG	429637,51	349302,07	1186,16	-0.00075	0.00582	0.05210	0.00978	0.00876	0.03131
	SNBGB	439697,06	347003,05	1220,60	0.00016	0.00841	0.03749	0.01277	0.01121	0.03474

Tabel 2. Perubahan posisi setiap periode

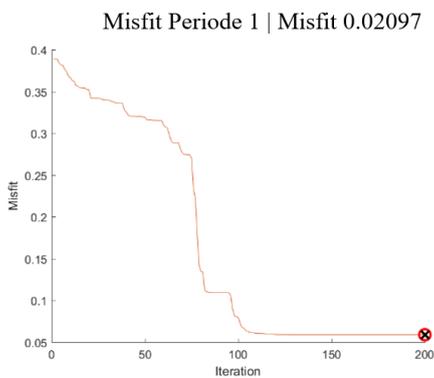
Hasil inversi pada periode 1 yaitu tanggal 15 Agustus 2015 hingga 15 Oktober 2015 di tunjukan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2. Vektor Pergeseran Pada Periode 1



Gambar 3. Hasil inversi periode 1



Gambar 4. Misfit Periode 1

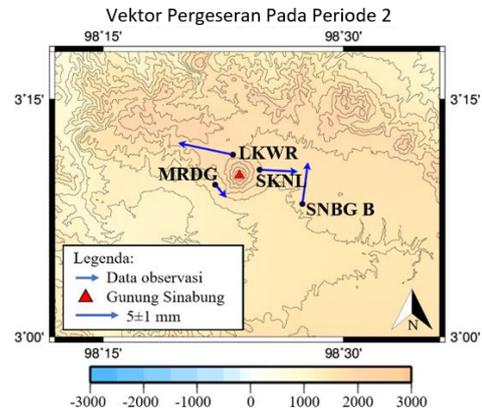
Dengan hasil inversi pada periode 1 sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil inversi pada periode 1

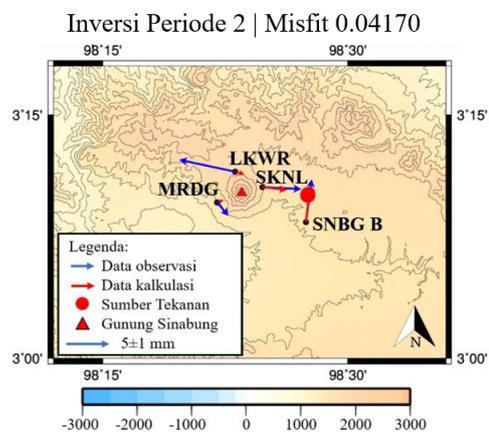
Model	Misfit	a(m)	delta P/G(m)	d(m)	x(m)	y(m)
McTigue dengan PSO pada periode 1	0,0588	200,005	0,00774	10752,258	431464,02	352826,79

Hasil inversi pada periode 1 menunjukkan misfit yang kecil dengan hasil inversi menunjukkan sumber tekanan berada pada kedalaman pada kedalaman 1,057 km yang menunjukkan adanya sumber tekanan berupa kantong magma dangkal yang memungkinkan terjadinya erupsi serta perubahan tekanan bernilai positif yang menunjukkan adanya inflasi pada tubuh gunung api.

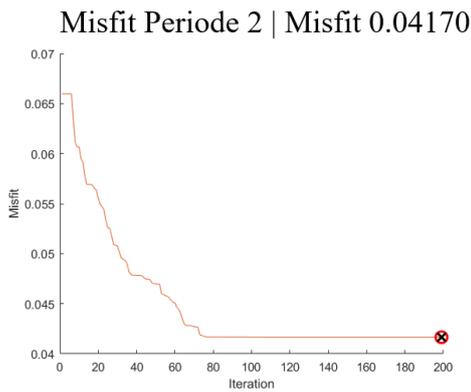
Hasil inversi pada periode 2 yaitu tanggal 21 Oktober 2015 hingga 20 Desember 2015 ditunjukan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 5. Vektor Pergeseran Pada Periode 2



Gambar 6. Hasil inversi periode 2



Gambar 7. Misfit Period 2

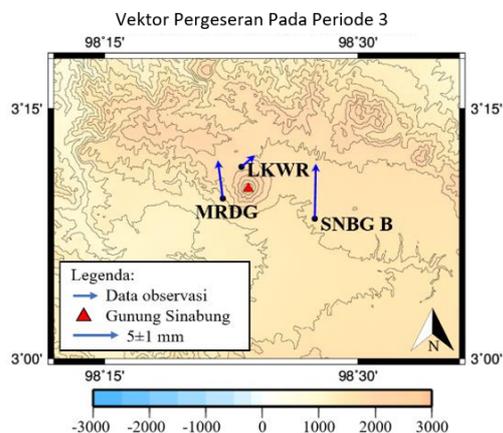
Dengan hasil inversi pada periode 2 sebagai berikut

Tabel 4. Hasil inversi pada periode 2

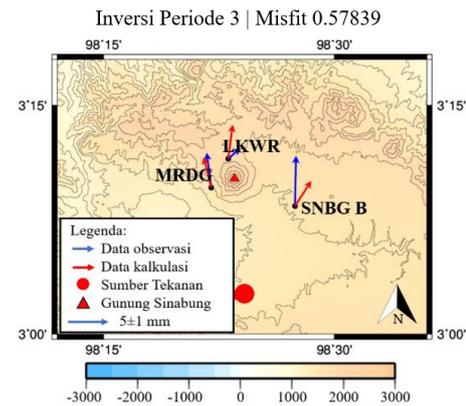
Model	Misfit	a(m)	delta P/G(m)	d(m)	x(m)	y(m)
McTique dengan PSO pada periode 1	0,0296	631,1901	0.04234	27826,347	450000	346001,9

Hasil inversi pada periode 2 menunjukkan kedalaman dari sumber tekanan sangat dalam yaitu pada kedalaman 27,826 km sumber tekanan tersebut memungkinkan adanya sumber tekanan bukan berasal dari sumber lokal tetapi dapat juga berasal dari sumber lain seperti tektonik yang perlu dilakukan analisis lebih lanjut dan dikorelasikan dengan data yang lain seperti kegempaan.

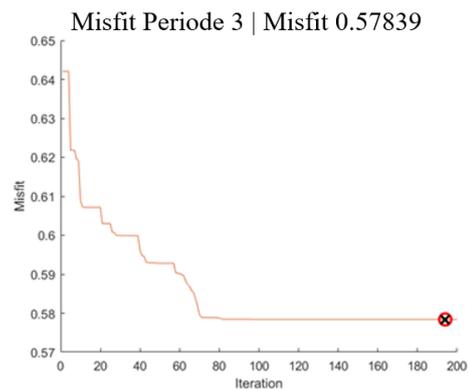
Hasil inversi pada periode 3 yaitu tanggal 21 Desember 2015 hingga 20 September 2016 ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 8. Vektor Pergeseran Pada Periode 3



Gambar 9. Hasil inversi periode 3



Gambar 10. Misfit Period 3

Dengan hasil inversi pada periode 3 sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil inversi pada periode 3

Model	Misfit	a(m)	delta P/G(m)	d(m)	x(m)	y(m)
McTique dengan PSO pada periode 1	0,5784	373,5143	-0,1	614,9723	434027,8	346916,65

Hasil inversi pada periode 3 menunjukkan adanya sumber tekanan dangkal dibawah Gunung Sinabung yaitu pada kedalaman 0,614km yang menunjukkan bahwa ada kantong magma dangkal pada kedalaman tersebut sehingga memungkinkan adanya erupsi yang cepat, dengan hasil misfit pemodelan yang kecil menunjukkan bahwa pemodelan cukup baik dari segi respon model. Pemodelan berikut juga sesuai dengan pemodelan yang telah dilakukan dengan metode lain yang telah dikorelasikan juga dengan kegempaan yang terjadi pada gunung api yang menunjukkan bahwa Gunung Sinabung memiliki kantong magma dangkal yang berada pada kedalaman 0,5 km hingga 1,0 km di bawah tubuh Gunung Sinabung (Indrastuti, 2013., Kumalasari et al., 2017., Kumalasari et al., 2018., Kumalasari et al., 2019., Kumalasari et al., 2020., Kumalasari, 2021.).

KESIMPULAN DAN SARAN

Telah dilakukan pemodelan sumber tekanan Gunung Sinabung dengan menggunakan model McTigue dengan skema inveri *particle swarm optimization* (PSO) pada tahun 2015 hingga 2016 dengan hasil pemodelan cukup baik dengan misfit yang kecil sehingga menunjukkan nilai respon yang sangat baik dengan kedalaman sumber tekanan lokal berupa kantong magma pada kedalaman yang dangkal, antara 0,5 km hingga 1 km dibawah Gunung Sinabung yang disertai juga dengan inflasi pada tubuh Gunung Sinabung yang memungkinkan terjadinya erupsi yang kontinyu dalam jangka waktu yang singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan, Hendra, et.al. 2017. Overview of the Eruption of Sinabung Eruption, 2010 and 2013-preent and detail of the 2013 phreatomagmatic phase. Accepted Manuskrip Journal of Vulcanology and Geothermal Research. Arikunto, S. 1998. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Rinneka Cipta
- Indrastuti, N., Nugraha, A, D., Gunawan, H., McCausland, W. 2017. 3-D Seismic Tomographic study of Sinabung Volcano, Northern Sumatra, Indonesia, during the inter-eruptive period October 2010 - July 2013. Journal of Vulcanology and Geothermal Research, Volume 382, 15 September 2019, Pages 197-209.
- Jamel, I. J., Meilano, I., Gumilar, I., Sarsito, D. A., & Abidin, H. Z. 2013. Analisis Deformasi Gunung Api Papandayan Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002 – 2011. Indonesian Journal Of Geospatial, 2(3), 1–9.
- Kumalasari, R., Srigutomo, W., Djamil, M., Meilano, I., & Gunawan, H. 2018. Location of Sinabung volcano magma chamber on 2013 using lavenberg-marquardt inversion scheme. Journal of Physics: Conference Series, 1013(1). <https://doi.org/10.1088/17426596/1013/1/012182>
- Kumalasari, R. 2021. Pemodelan kantung magma gunung sinabung dengan berdasarkan data gps tahun 2015-2016. 6(2), 30–36.
- Kumalasari, R., Srigutomo, W., Djamil, M., Meilano, I., Evita, M., & Gunawan, H. 2019. Location of Sinabung volcano magma chamber on 2013 using simulated annealing inversion scheme. Journal of Physics: Conference Series, 1321(3). <https://doi.org/10.1088/17426596/1321/3/032120>
- Kumalasari, R., Srigutomo, W., Meilano, I., & Gunawan, H. 2020. Numerical Modeling Of Pressure Source Of Sinabung Volcano Based On GPS Data In 2011-2012 Using Particle Swarm Optimization (PSO). Computational and Experimental Research in Materials and Renewable Energy (CERiMRE) Volume3, Issue2, page 30-36 eISSN : 2747-173X,
- Kriswanti, Estu, Kuncoro, Heri., Meilano, Irwan. 2014. Low Rate of Sinabung Deformation Inferred by GPS Measurement. AIP Conf. Proc. 1658, 050007-1-050007-Pitunov, B. 13 Desember 2007.
- Martinez, J. L. F., Gonzalo, E. G., Alvarez, J. P., Kusma, H. A., dan Perez. C. O. 2010. PSO: A Powerful Algorithm to Solve Geophysical Inverse Problems Application to a 1D-DC Resistivity Case, Journal of Applied Geophysics 71(2010) 13-25.
- McTigue, D.F., 1987. Elastic stress and deformation near a finite spherical magma body: Resolution of the point-source paradox, Journal of Geophysical Research, 92, 12, 931–12, 940, doi: 10.1029/JB092iB12p12931.
- Nakada, S., Zaennudin, A., Yoshimiti, M., Maeno, F., Hokanishi, N., Iguchi, M., Ohkura, T., gunawan, H., dan Triastuty, H. 2017. Growth process of the lava dome/flow complex during 2013-2016 at Sinabung Volcano, North Sumatra, Indonesia, Accepted Manuskrip Journal of Vulcanology and Geothermal Research.
- Nugraha, A, D., Indrastuti, N., Kusnandar, R., Gunawan, H., McCauland, Wendy, Aulia, Atin, N., Harlianti, dan Ulvienin. 2017. Joint 3-D tomographic imaging of Vp, Vs and Vp/Vs and hypocenter relocation at Sinabung Volcano, Indonesia from November to December 2013, Accepted Manuskrip Journal of Vulcanology and Geothermal Research.
- Pallister, J., Wessels, R., Griswold, J., Kartadinata, N., Gunawan, H., Budianto, A., dan Primulyana, S. 2017. Remote sensing of the Sinabung eruption: Use of Optical, IR and Satellite Radar Imagery to monitor activity, estimate effusion rates, forecast collapse events and map the distribution

of pyroclastic deposits, *Journal of
Volcanology and Geothermal Research*.
Research Institute, 36, 99–134. Pusat Vulkanologi
dan Mitigasi Bencana (PVMBG). 2010.

Data Dasar Gunung Api di Indonesia. Pusat
Vulkanologi dan Mitigasi Bencana
(PVMBG)