



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Monitoring Deformasi Gunung Api Anak Krakatau Berdasarkan Data GPS Kontinu Periode Januari – Maret 2023

Putri Regina Septiani¹, Fajriyanto², Eko Rahmadi³, Romi Fadly⁴, Efrita Lusyana⁵, Ardi⁶

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Indonesia

^{5,6} Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Jl. Diponegoro no. 57 Bandung – 40122 Jawa Barat, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 11/11/2024
Direvisi 13/01/2025
Dipublish 22/05/2025

Kata kunci:
Deformasi
GPS
GAMIT/GLOBK
Gunung Api Anak Krakatau

ABSTRAK

Gunung Api Anak Krakatau, yang terletak di perairan Selat Sunda, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia. Gunung ini pertama kali tercatat meletus pada tahun 1883, dan sejak itu muncul Anak Krakatau. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji deformasi Gunung Api Anak Krakatau melalui analisis pergeseran dari stasiun PNJG, SRTG, dan TNJG selama periode Januari hingga Maret 2023. Metode yang digunakan untuk memantau deformasi adalah metode GPS. Data GPS yang dikumpulkan diproses secara berkelanjutan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk menentukan posisi, arah, dan besaran pergeseran titik pengamatan. Hasil pengolahan ini membantu memperkirakan inflasi atau deflasi di lokasi pusat gunung api. Selama periode tersebut, arah dan besaran pergeseran dari ketiga stasiun menunjukkan pergeseran horizontal antara 3,32 mm hingga 40,86 mm setiap bulan. Stasiun PNJG dan TNJG menunjukkan kecenderungan pergeseran ke arah tenggara dengan kecepatan 3,32 hingga 40,86 mm/tahun. Sebaliknya, stasiun SRTG, yang berada di sisi kiri gunung, bergerak ke arah barat laut dengan kecepatan -26,93 hingga -30,34 mm/tahun. Selain itu, perubahan vertikal dari ketiga stasiun menunjukkan adanya deflasi pada Gunung Api Anak Krakatau. Informasi ini penting untuk memahami aktivitas vulkanik dan keberadaan kantong magma di gunung api tersebut.

1. Pendahuluan

Geografi Indonesia didominasi oleh gunung api yang terbentuk akibat zona subduksi antara lempeng Eurasia Indo-Australia. Secara geografis, Indonesia terletak pada 6° LU sampai dengan 11° LS dan 95° BT sampai dengan 141° BT. Setelah pertemuan lempeng ini, jalur pegunungan berapi yang membentang dari Sumatra hingga wilayah Sulawesi Utara melintasi Indonesia. Indonesia memiliki 129 gunung api aktif dan terbesar di dunia (BPPTKG, 2016).

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) adalah salah satu lembaga yang bertanggung jawab untuk menetapkan kebijaksanaan, standarisasi, bimbingan teknis, dan evaluasi dalam bidang

vulkanologi dan mitigasi bencana alam geologi. Pemantauan aktivasi gunung api merupakan salah satu tugas dari PVMBG. Salah satu gunungapi di Indonesia yang masih aktif hingga sekarang adalah Gunung api Anak Krakatau berada di perairan Selat Sunda di wilayah Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung dengan posisi geografis 6°06'06" Lintang Selatan dan 105°25'27" Bujur Timur. Gunung api Krakatau pertama kali tercatat meletus pada tahun 1883 setelah erupsi lalu muncul gunung api yaitu Anak Krakatau yang saat ini ada. Hasil letusan tersebut menghasilkan empat pulau utama yaitu Pulau Rakata, Pulau Panjang, Pulau Sertung dan Anak Krakatau sendiri. Hingga sampai saat ini Gunungapi Anak Krakatau masih sangat aktif

sehingga pemantauan aktifitas Gunung api Anak Krakatau masih dilakukan.

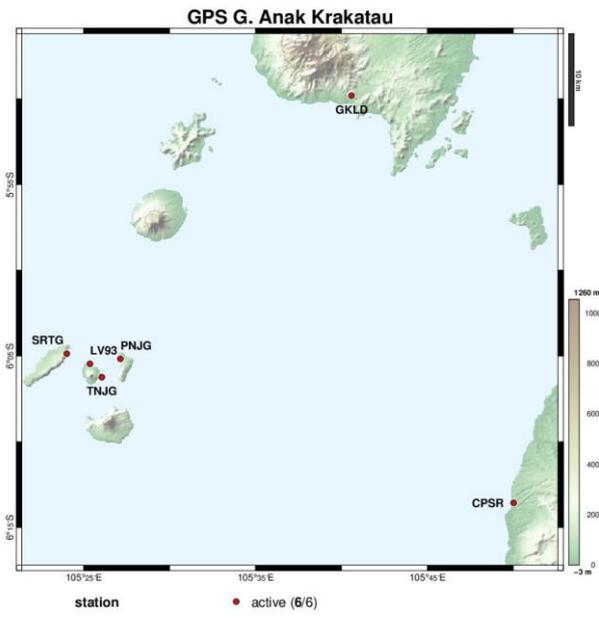
Pemantauan yang dilakukan terhadap gunung api perlu dilakukan untuk melihat aktivitas vulkanik sehingga diharapkan mampu mendeteksi tanda-tanda peningkatan terjadinya bahaya. Metode yang bisa digunakan untuk monitoring aktivitas gunung api ada banyak, seperti metode deformasi, metode seismik, metode thermal, metode penginderaan jauh, dan metode geokimia. Banyaknya metode yang dilakukan untuk pemantauan gunung api bertujuan untuk validasi data. Metode deformasi dianggap memiliki banyak potensi besar dalam pemantauan gunung api untuk mendapatkan pola dan kecepatan arah horizontal maupun vertikal dari deformasi permukaan gunung api. Deformasi merupakan perubahan posisi, bentuk, dan ukuran suatu benda. Menurut definisi ini, deformasi juga dapat dipahami sebagai perubahan posisi atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolute atau relatif. Perubahan posisi atau pergerakan suatu titik biasanya mengacu pada sistem kerangka acuan (absolute atau relatif).

Metode yang diterapkan untuk mengamati tingkat deformasi Gunung Api Anak Krakatau adalah metode GPS. Data GPS yang diperoleh diproses secara berkelanjutan dari Januari sampai dengan Maret 2023. Proses mengolah data dilakukan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk menentukan posisi, arah, dan besar pergeseran titik pengamatan dari waktu ke waktu. Setelah besar pergeseran tersebut ditentukan, nilai tersebut digunakan sebagai pendekatan untuk memperkirakan terjadinya adanya aktivitas gunung api seperti inflasi dan deflasi pada periode Januari sampai Maret 2023 dan divalidasi dengan GNSS WebObs dari PVMBG. Informasi yang diperoleh dari hasil pengolahan ini memberikan gambaran tentang aktivitas serta keberadaan kantong magma di Gunung Api Anak Krakatau.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Gunung api Anak Krakatau merupakan lokasi utama dari penelitian ini, dimana secara geografis lokasinya di perairan Selat Sunda di wilayah Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung dengan posisi geografis 6°06'06" Lintang Selatan dan 105°25'27" Bujur Timur menggunakan titik pengamatan lokal yang terdiri dari 3 titik stasiun yaitu PNJG, SRTG, dan TNJG.



Gambar 1. Titik Stasiun Pengamatan
Sumber : PVMBG

Untuk pemantauan deformasi Gunung Anak Krakatau digunakan 3 titik stasiun GPS, dengan rincian sebagai berikut :

List of station(s)						
Alias	Name	Coordinates			Lifetime and V	
		Lat. (WGS84)	Lon. (WGS84)	Elev. (m)		
CPSR	"Pasauran"	-6.22601	105.83362	31	2022-08-11	
GKLD	"Kalianda"	-5.83033	105.67643	150	2023-07-21	
LV93	"Lava93"	-6.09093	105.42274	29	2022-08-11	
PNJG	"Panjang"	-6.08609	105.45224	18	2022-07-28	
SRTG	"Sertung"	-6.08111	105.40020	21	2022-07-28	
TNJG	"Tanjung"	-6.10392	105.43423	28	2022-07-28	

Gambar 2. Koordinat Stasiun Pengamatan
Sumber : PVMBG

Tabel 1. Lokasi Titik Pengamatan

No	Stasiun	Lokasi
1	PNJG	Selat Sunda, Pulau Panjang
2	SRTG	Selat Sunda, Pulau Sertung
3	TNJG	Selat Sunda, Pulau Tanjung

2.2. Alat dan bahan

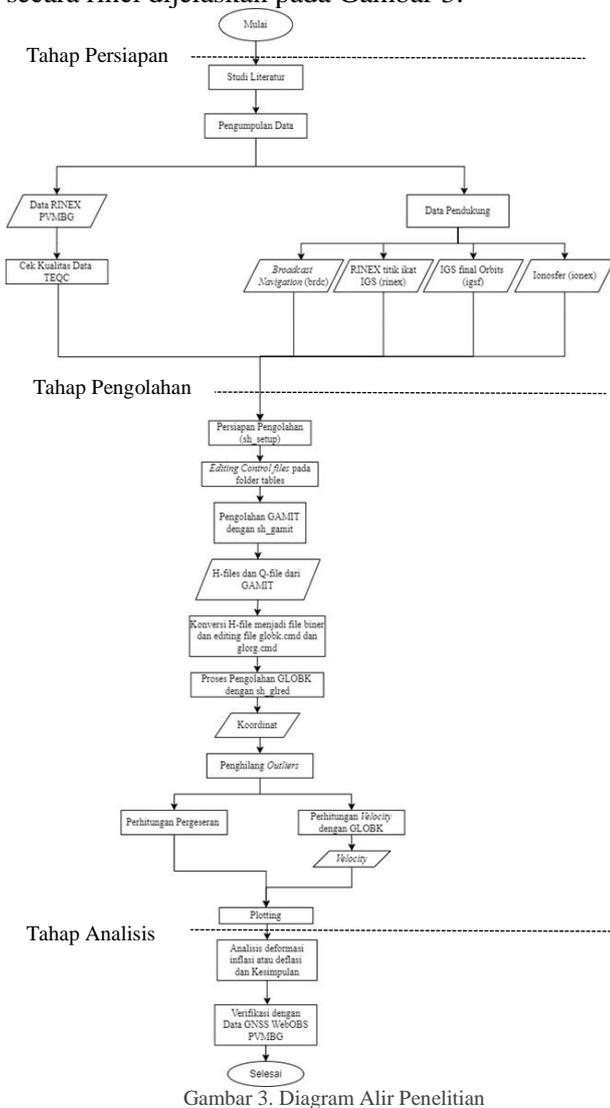
Dalam penelitian ini digunakan perangkat keras yaitu Laptop MSI Gaming GF63 Thin 10SC-819 dengan Sistem Operasi Linux Ubuntu, Microsoft Windows 10 Pro 64-bit, RAM 512 GB, dan Processor Intel Core i5-105005. Pada perangkat lunak digunakan GAMIT/GLOBK sebagai pengolahan data RINEX, perangkat lunak pengolah data RINEX digunakan untuk menghasilkan koordinat pengamatan pergerakan gunung api dan Microsoft Office Excel 2016 untuk proses perhitungan pergeseran pergerakan

dan uji *t-student*. Selain itu, terdapat beberapa data sebagai penunjang pelaksanaan penelitian yaitu Sebagai berikut :

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah data GPS dari tiga titik pengamatan yaitu stasiun PNJG, TNJG, dan SRTG yang berada disekitar Gunung Anak Krakatau. Didapatkan data GPS dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dalam format *RINEX* sebanyak 90 data dalam rentang waktu tiga bulan, yaitu bulan Januari sampai Maret 2023 dan data stasiun titik ikat IGS (*Internasional GNSS Service*) berformat *RINEX* yang didapatkan dari situs web <https://igs.org/> menggunakan 14 stasiun ikat yaitu AIRA, BAKO, CEDU, DARW, DGAR, IISC, JOG2, KARR, KMMN, NTUS, PIMO, STK2, TOW2, XMIS

2.2. Diagram Alir

Metode penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu: 1) tahap persiapan, 2) tahap pengolahan, dan 3) tahap analisis. Prosedur kerja secara rinci dijelaskan pada Gambar 3.



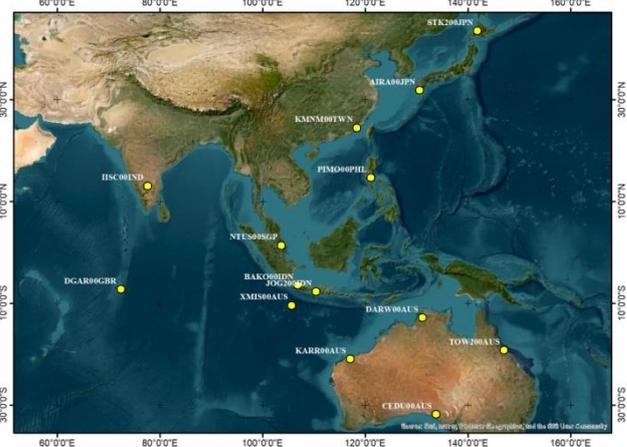
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.2.1. Studi Literatur

Dalam pengumpulan literatur yang relevan untuk mendukung penelitian yang sedang dilakukan, penting untuk menggunakan referensi yang berkaitan dengan permasalahan yang terkait dengan tema penelitian. Misalnya, referensi tersebut dapat mencakup karakteristik deformasi Gunung Api Anak Krakatau, metode deformasi yang akan diterapkan, serta perhitungan untuk menentukan nilai kecepatan pergeseran. Referensi yang digunakan dapat berupa jurnal penelitian, tugas akhir, dan buku. Dalam studi literatur ini juga memiliki tujuan untuk pengaruh inflasi dan deflasi Gunung Api Anak Krakatau terhadap aktivitas vulkanik dengan melakukan pengamatan pergerakan Gunungapi tersebut melalui pemantauan deformasi.

2.2.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data GPS dari tiga titik pengamatan yaitu stasiun PNJG, TNJG, dan SRTG yang berada disekitar Gunung Anak Krakatau. Didapatkan data GPS dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dalam format *RINEX* sebanyak 90 data dalam rentang waktu tiga bulan, yaitu bulan Januari sampai Maret 2023 dan data stasiun titik ikat IGS (*Internasional GNSS Service*) berformat *RINEX* yang didapatkan dari situs web <https://igs.org/> menggunakan 14 stasiun ikat yaitu AIRA, BAKO, CEDU, DARW, DGAR, IISC, JOG2, KARR, KMMN, NTUS, PIMO, STK2, TOW2, XMIS.



Gambar 4. Persebaran Titik IGS yang digunakan

2.3. Analisis

Analisis dilakukan untuk mengevaluasi hasil pengolahan data dengan uji signifikan *t-student*, yang menghubungkan hasil tersebut dengan jenis pergerakan deformasi gunung api. Uji ini membandingkan nilai *T*-hitung, yang diperoleh dari pembagian resultan pergeseran horizontal koordinat dengan standar deviasi, dan *T*-tabel dari tabel *T-student* dengan tingkat

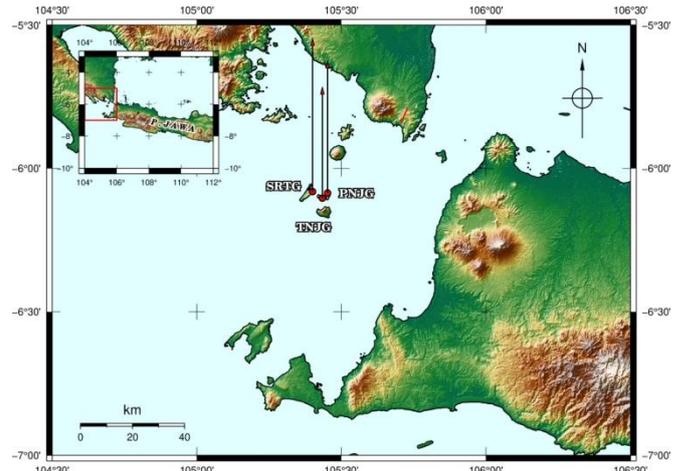
kepercayaan 95% dan derajat kebebasan yang diasumsikan tak terbatas. Hipotesis nol diterima jika $T\text{-hitung} > T\text{-tabel}$, menunjukkan pergeseran yang signifikan secara statistik, dan ditolak jika sebaliknya. Selanjutnya, analisis dilakukan untuk mengidentifikasi deformasi di segmen Komering dengan mempertimbangkan nilai pergeseran dan kecepatan dari ketiga stasiun pengamatan. Hasil deformasi dari

metode GAMIT/GLOBK divalidasi dengan data GNSS WebObs dari PVMBG untuk memastikan konsistensi pola pergeseran dan inflasi permukaan yang terdeteksi. Interpretasi hasil pengolahan dan validasi difokuskan pada perubahan deformasi di Gunung Anak Krakatau, dengan perhatian pada aktivitas vulkanik yang terdeteksi, seperti potensi peningkatan tekanan magmatik dan kemungkinan terjadinya erupsi.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil Pergerakan Vertikal

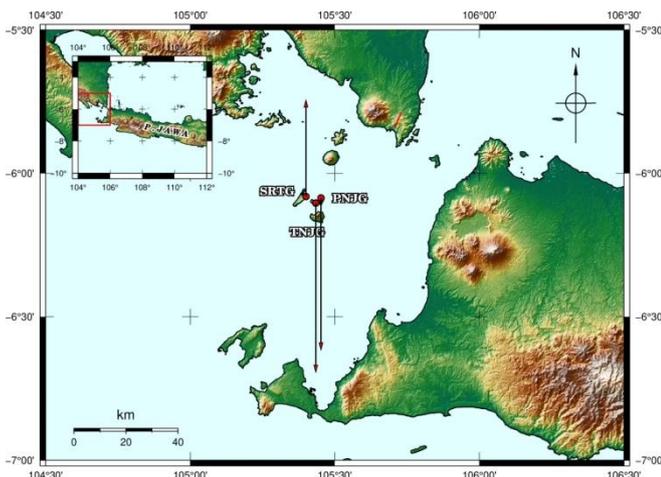
Pemantauan deformasi vertikal yang menunjukkan pola inflasi dan deflasi seperti ini sangat penting untuk mengidentifikasi pergerakan magma dan potensi erupsi dari Gunung Anak Krakatau. Informasi ini dapat digunakan untuk upaya mitigasi bencana dan peringatan dini bagi masyarakat di sekitar gunung api tersebut. Hasil dari plot kecepatan vertikal Gunung api Anak Krakatau bulan Januari sampai Maret 2023 dapat dilihat pada gambar 5 dan 6. Pada gambar 2 menjelaskan terkait beberapa titik pengamatan (PNJG, TNJG) Pada periode ini, yaitu Januari sampai Februari, data menunjukkan penurunan elevasi atau pengempisan pada titik-titik pengamatan. Deflasi ini dapat disebabkan oleh keluarnya magma dari sistem gunung api atau penurunan tekanan magma, yang merupakan bagian dari siklus aktivitas vulkanik.



Gambar 6. Hasil Vertikal Periode Febuari sampai Maret

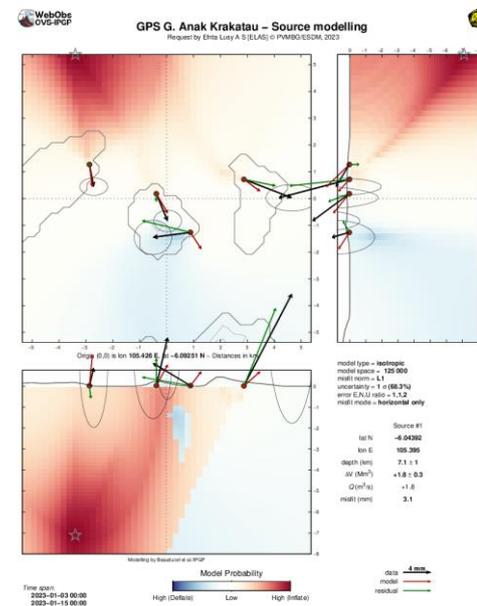
3.2. Hasil GNSS WebObs PVMBG

Pada pemantaun aktifitas gunung api Anak Krakatau melalui metode GNSS *WebObs* dititik beratkan pada *monitoring* perubahan pergerakan dengan ditunjukkannya msfit mode yaitu pergerakan secara horizontal dengan pergerakan 3,1 mm/tahun. Dengan metode GNSS WebObs dapat menganalisis juga adanya perubahan deformasi secara inflasi ataupun deflasi untuk setiap DOY yang ingin ditentukan dapat dilihat pada gambar 34 sampai 36:



Gambar 5. Hasil Vertikal Periode Januari sampai Febuari

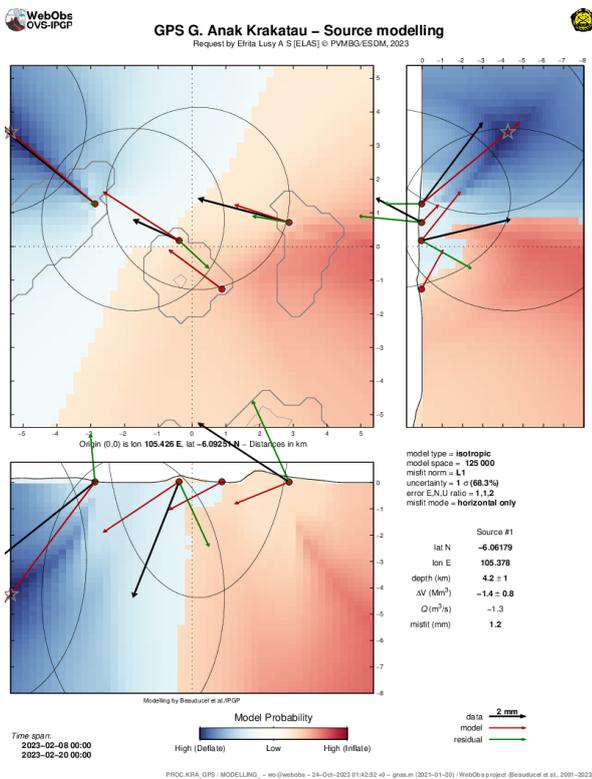
Pada gambar 5 menjelaskan terkait beberapa titik pengamatan (PNJG, SRTG, TNJG) terlihat adanya peningkatan elevasi atau penaikan didalam Gunung Api Anak Krakatau, terutama pada periode Februari sampai Maret. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan tekanan magma di bawah permukaan gunung api, yang dapat menjadi tanda-tanda aktivitas vulkanik yang meningkat.



Gambar 7. Hasil GNSS WebObs Periode Januari

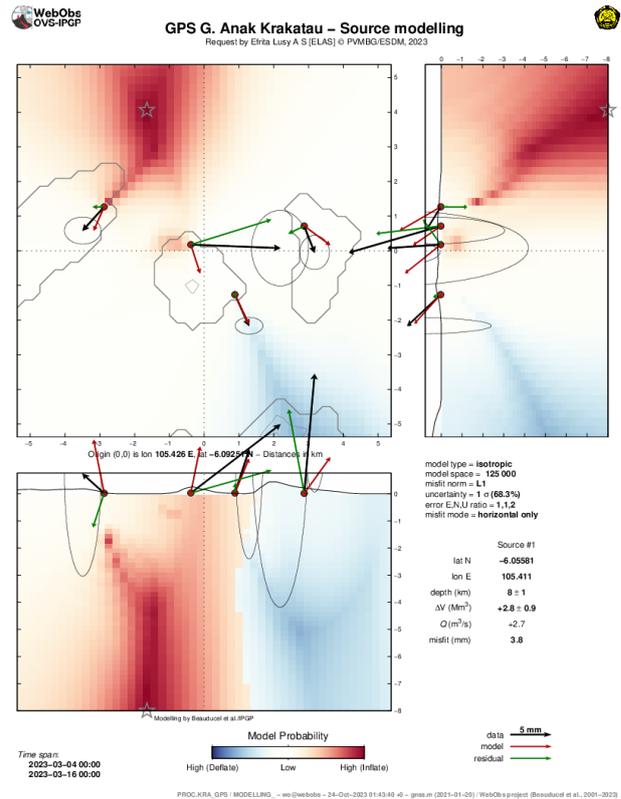
Pada gambar 7 GNSS WebOBS PVMBG menunjukkan hasil pemantauan deformasi Gunung Anak Krakatau menggunakan data GPS kontinu yang dimodelkan dengan metode isotropik untuk memperkirakan tekanan dari sumber magma di bawah permukaan. Vektor hitam pada gambar diatas mewakili data deformasi aktual yang diukur oleh stasiun GPS, sedangkan vektor hijau adalah hasil dari pemodelan tekanan magma. Hasil dari GNSS WebObs PVMBG mengidentifikasi sumber magma pada kedalaman sekitar $7,1 \pm 1$ km dibawah permukaan, dengan volume perubahan magma sebesar $+ 1,8 \pm 0,3$ Mm yang menyebabkan inflasi atau penggelembungan pada tubuh gunung, terutama di bagian barat daya gunung. Warna hasil peta diatas menunjukkan probabilitas deformasi, dengan warna merah menandakan area inflasi dan biru untuk deflasi. Periode pengamatan Januari dengan pergerakan terukur hingga 4 mm. Pemodelan ini juga mencatat perbedaan kecil antara data pengamatan dan model (misfit), menunjukkan bahwa model mendekati kondisi aktual. Lokasi sumber magma berada pada koordinat latitude $-6,04392$ dan longitude $105,395$, membantu mengidentifikasi area paling terdampak oleh aktivitas vulkanik ini.

atau penurunan tekanan. Peta probabilitas deformasi menunjukkan daerah berwarna merah sebagai area inflasi, dan biru sebagai area deflasi, dengan deflasi signifikan terlihat di bagian barat daya gunung. Misfit model untuk pergerakan horizontal tercatat rendah (1,2) mm, yang menunjukkan kecocokan antara data pengamatan dan model. Lokasi sumber magma berada pada koordinat latitude $-6,06179$ dan longitude $105,378$, membantu mengidentifikasi area paling terdampak oleh aktivitas vulkanik ini.



Gambar 8. Hasil GNSS WebOBS Periode Februari

Pada gambar 8 GNSS WebOBS PVMBG menunjukkan hasil pemantauan deformasi Gunung Anak Krakatau menggunakan data GPS kontinu Februari 2023 yang dimodelkan dengan metode isotropik. Vektor hitam pada peta menunjukkan data deformasi aktual yang diukur oleh stasiun GPS, sedangkan vektor hijau menunjukkan hasil pemodelan sumber tekanan magma di bawah permukaan. Sumber magma teridentifikasi pada kedalaman sekitar $4,2 \pm 1$ km dengan volume perubahan magma (ΔV) sebesar $-1,4 \pm 0,8$ Mm³, yang menunjukkan adanya deflasi



Gambar 9. Hasil GNSS WebOBS Periode Maret

Pada gambar 9 GNSS WebOBS PVMBG menunjukkan hasil pemodelan deformasi Gunung Anak Krakatau menggunakan data GPS kontinu dari 4 hingga 16 Maret 2023. Vektor hitam menunjukkan arah dan besaran deformasi berdasarkan data GPS aktual, sedangkan vektor hijau menunjukkan hasil pemodelan yang merepresentasikan sumber tekanan di bawah permukaan. Sumber magma yang teridentifikasi berada pada kedalaman sekitar 8 ± 1 km dengan volume perubahan magma (ΔV) sebesar $+ 2,8 \pm 0,9$ Mm³, yang menunjukkan adanya inflasi atau peningkatan volume magma. Peta probabilitas deformasi menunjukkan area berwarna merah sebagai wilayah dengan inflasi tinggi, terutama di sebelah barat daya gunung, sementara area biru menandakan deflasi. Model ini menunjukkan misfit sebesar 3,8 mm, yang mengindikasikan kesesuaian antara data pengamatan dan model masih bisa ditingkatkan. Lokasi sumber magma berada pada koordinat latitude $-6,05581$ dan longitude $105,411$, membantu mengidentifikasi area paling terdampak oleh aktivitas vulkanik ini.

3.3. Kajian Deformasi

Gunung Anak Krakatau merupakan salah satu gunung api yang aktif dan memerlukan pemantauan deformasi secara intensif karena letaknya di jalur vulkanik yang sangat aktif. Pemantauan deformasi dilakukan untuk mendeteksi perubahan pergerakan tanah yang dapat mengindikasikan aktivitas magma di bawah permukaan, yang dapat memprediksi aktivitas vulkanik yang lebih berbahaya, seperti erupsi.

Deformasi permukaan dipantau menggunakan teknologi GPS, dengan data yang diolah menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Metode ini memungkinkan penentuan pergerakan tanah dalam koordinat kartesian geosentrik, yang kemudian dikonversi ke sistem koordinat toposentrik untuk memahami perubahan horizontal dan vertikal. Data ini kemudian divalidasi menggunakan data GNSS dari WEBOBS PVMBG untuk memastikan akurasi hasil deformasi.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa arah dan besar pergeseran titik pengamatan di tiga stasiun Gunung Api Anak Krakatau antara Januari hingga Maret 2023 mengalami pergeseran horizontal antara 3,32 mm hingga 40,86 mm setiap bulan. Stasiun PNJG dan TNJG di sisi kanan menunjukkan kecenderungan pergerakan ke arah tenggara, sedangkan stasiun SRTG di sisi kiri bergerak ke arah barat laut. Pergeseran vertikal menunjukkan deflasi di sisi kiri dan inflasi di sisi kanan gunung. Uji T-student menunjukkan bahwa pergeseran komponen Northing, Easting, dan Up pada sistem koordinat toposentrik signifikan, dengan nilai pergeseran mencapai 10 hingga 66 mm/tahun. Pemantauan menggunakan GNSS WebOBS selama periode yang sama mengindikasikan adanya tekanan magma di bawah permukaan, dengan sumber magma teridentifikasi pada kedalaman 7 hingga 8 km dan inflasi mencapai 4-5 mm di bagian barat daya gunung. Analisis menggunakan software GAMIT/GLOBK yang divalidasi dengan data GNSS WebObs menunjukkan adanya aktivitas deformasi signifikan akibat tekanan magma, dengan kesesuaian yang baik antara model dan kondisi aktual, mengindikasikan potensi peningkatan aktivitas vulkanik di Gunung Anak Krakatau.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik Universitas Lampung atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Pengumpulan data GPS dilakukan secara kontinu dari Januari hingga Maret 2023, dengan stasiun GPS yang terletak di sekitar Gunung Anak Krakatau. Hasil pengolahan data menunjukkan adanya perbedaan kecenderungan pergerakan antara sisi kanan dan kiri gunung api. Sisi kanan (stasiun PNJG dan TNJG) cenderung bergerak ke tenggara, sedangkan sisi kiri (stasiun SRTG) cenderung bergerak ke barat laut. Untuk pergeseran vertikal, sisi kiri gunung api mengalami deflasi (penurunan), sementara sisi kanan mengalami inflasi (kenaikan), yang kemungkinan disebabkan oleh aktivitas magma.

Hasil pemantauan GNSS WebOBS PVMBG juga menunjukkan adanya pergerakan horizontal yang signifikan ke arah barat laut, serta inflasi permukaan tanah di beberapa lokasi, mengindikasikan pergeseran atau migrasi material di bawah permukaan gunung api akibat peningkatan aktivitas magmatik. Hasil analisis dari GAMIT/GLOBK yang divalidasi dengan data GNSS WebOBS menunjukkan konsistensi, memperkuat interpretasi deformasi yang mengarah pada inflasi akibat tekanan magma pada Gunung Anak Krakatau.

Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z., Hendrasto, M., Andreas, H., Darmawan, D., Kusuma, M. ., Gamal, M., Suganda, O. ., Kusnadi, I., dan Wirakusumah, A. 2018. Studi Deformasi Gunungapi Batur Dengan Metode Survei Gps. *Jurnal Surveying*, 12(3), 2.
- Adhiguna, Abhie. 2020. "Analisis Gunungapi Gede berdasarkan data pengamatan GPS kontinu tahun 2017-2018". Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional.
- Alif, S. M. dan P. T. Hapsoro. 2021. Penentuan Titik IGS Sebagai Titik Ikat Dalam Pengolahan Data GNSS Untuk Studi Geodinamika Di Pulau Sumatra. *Jurnal Ilmiah Tekno Global*. 10(2):72-78.
- Bulatovic, V., and Affairs, R. P. 2024. *GAMIT / GLOBK : A Review Of Methodology , Application , and Future. March*.
- Cui, M., Peng, N., Liu, Y., Wang, Z., Li, C., Xu, K., and Kuang, H. 2023. Recognizing deformation origins: a review of deformation structures and hypothesis on the perspective of sediment consolidation. *International Geology Review*, 65(9), 1500-1523.
<https://doi.org/10.1080/00206814.2022.2094840>
- Estey, L. dan S. Wier. 2014. *Teqc Tutorial: Basics of Teqc Use and Teqc Products*. Boulder, Colorado: UNAVCO.
- Hanafiah, A. Sutedja, dan I. Ahmaddien. 2020. *Pengantar Statistika*. Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung.
- Herring, T.A., 2010. *GAMIT Reference Manual GPS Analysis at MIT Release 10.4*. San Diego:

- Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology*
- Jamel, I., Meilano, I., Gumilar, I., dan Sarsito, D. A. 2013. Analisis Deformasi Gunung Api Papandayan Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002 – 2011. 2(3), 1–9.
- Kriswati, E. 2008. Deformasi Pra Letusan Gunung Anak Krakatau Oktober 2007. February, 222–232.
- Kurniawan, R., dan Anjasmara, I. M. 2016. Utilization of Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) for Deformation Monitoring due to Geothermal Exploitation Activity. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 331–336. <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Mauradhia, A., Anjasmara, I. M., Geomatika, D. T., Teknologi, I., dan Nopember, S. 2019. 44592-105990-1-Pb. 8(2), 213–218.
- Nurfarida, Nurul. 2010. Analisis Laju Geser dan Potensi Bahaya Gempa Sesar Cimandiri Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2006-2010. Tugas Akhir: Institut Teknologi Bandung
- Oktarina, S. W., Alif, S. M., Irwan Meilano, S. T., dan Umar Rosadi, S. T. 2019 Studi Deformasi Gunung Api Sinabung Berdasarkan Data GNSS Tahun 2018 2019
- Patmurdea I, E. D. 2018. Analisis Pergeseran Koordinat Stasiun CORS Secara Periodik Pada Tahun 2014 Sampai Tahun 2018 (Studi Kasus : Bali Dan Nusa Tenggara). 2018, 1–7.
- Saputra, R., Awaluddin, M., dan Janu Amarrohman, F. 2015. Perhitungan Velocity Rate CORS GNSS Di Wilayah Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Geodesi Undip*, 4(4), 231–239.
- Sari, A. N. A. R. 2014. Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (Dinsar) Untuk Analisa Deformasi Di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai , Sumatera Barat).
- Stehn, C. H. 1929. The geology and volcanism of the Krakatau Group. Pan-Pacific Science Congress Java, 1-55.
- Sulasdi, W.N., 1995. Makna Kerangka Referensi dalam Analisis Deformasi. Yogyakarta : Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika.
- Yulaikhah, S. Pramumijoyo, dan N. Widjajanti. 2018. Correlation of GNSS Observation Data Quality Resulted from TEQC Checking and Coordinate's Precision. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering (JGISE)*. 1(1):8–13.