

Analisis Vektor Deformasi Stasiun SuGAR Akibat Gempa Bengkulu 12 September 2007

Annisa Zahratul Hilma^{1,*}, Dwi Pujiastuti¹, Deasy Arisa²

¹Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus UNAND Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Laboratorium *Earth Hazard*, Gedung 70

Pusat Penelitian Geoeknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI, Jl Sangkuriang, Cobleng, Kota Bandung, 40132, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 03 Januari 2020

Direvisi: 13 Januari 2020

Diterima: 17 Januari 2020

Kata kunci:

deformasi
GAMIT/GLOBK
koseismik
pascaseismik
SuGAR

Keywords:

deformation
GAMIT/GLOBK
coseismic
postseismic
SuGAR

Penulis Korespondensi:

Annisa Zahratul Hilma

Email:

annisazahratul005@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis deformasi yang terjadi akibat gempa Bengkulu 12 September 2007. Dalam penelitian ini vektor deformasi dapat dilihat dari pergeseran beberapa stasiun SuGAR yang tersebar di sepanjang pantai barat Pulau Sumatera. Data yang digunakan yaitu data pengamatan GPS pada fase koseismik dan pascaseismik dari 9 stasiun SuGAR yaitu stasiun BSAT (Bulasat), LAIS (Lais), LNNG (Lunang), MKMK (Muko-Muko), NGNG (Nyang Nyang), PPNJ (Pulau Panjang), PRKB (Parak Batu), PSKI (PulauSikuai), dan SLBU (Silabu). Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan *software* GAMIT/GLOBK 10.70 dan pemetaan vektor deformasi menggunakan *software* GMT 5.4.5. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan arah pergerakan stasiun SuGAR secara horizontal akibat gempa yaitu ke arah barat laut. Hal ini menunjukkan bahwa subduksi lempeng ke arah timur laut mengalami perubahan secara signifikan akibat gempa Bengkulu 2007. Stasiun yang mengalami pergeseran paling besar adalah stasiun PRKB di Pulau Pagai Selatan dengan besar pergeseran 180,89 cm, sedangkan stasiun yang memiliki pergeseran paling kecil adalah stasiun NGNG di Pulau Siberut bergeser sejauh 16,38 cm. Pada fase pascaseismik arah deformasi masih mengikuti fase koseismik, tapi nilai pergeserannya lebih kecil. Dapat disimpulkan semakin dekat lokasi stasiun dengan episenter gempa, maka deformasi yang terjadi juga akan semakin besar.

Deformation due to the Bengkulu earthquake on September 12th 2007 has been analyzed. The deformation vector could be seen from the displacement of SuGAR stations distributed along the west coast of Sumatra Island. This study used the GPS observation data of the coseismic and postseismic phase recorded by 9 SuGAR stations which were BSAT (Bulasat), LAIS (Lais), LNNG (Lunang), MKMK (Muko-Muko), NGNG (Nyang Nyang), PPNJ (Panjang Island), PRKB (Parak Batu), PSKI (Sikuai Island), and SLBU (Silabu). The data processed by GAMIT / GLOBK 10.70 software and GMT 5.4.5 for mapping of the deformation vector. The results showed direction of the displacement from the SuGAR station horizontally to the northwest in the coseismic phase. It showed that the subduction of the plate toward the northeast have a significant change due to Bengkulu Earthquake. The PRKB station located in South Pagai Island had the biggest displacement value which was 180.89 cm, while the NGNG station located in Siberut Island had the smallest displacement which was 16.38 cm. At the postseismic phase, direction of deformation following the coseismic phase. Therefore, the closer station located to the earthquake epicenter, the greater deformation occurred.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia berada di pertemuan 3 lempeng tektonik bumi yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Hindia-Australia, dan Lempeng Pasifik. Pulau Sumatera merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang berada di sepanjang jalur tumbukan dua lempeng bumi, dimana Lempeng Samudra Hindia-Australia bergerak menunjam ke bawah Lempeng Benua Eurasia dengan kecepatan 50-60 mm/tahun (Natawidjaja, 2007). Hal ini mengakibatkan Pulau Sumatera rawan terjadi gempa tektonik yang disebabkan dari pergerakan lempeng tersebut. Salah satu gempa besar yang pernah terjadi adalah gempa Bengkulu 12 September 2007 dengan kedalaman 30 km dan magnitudo Mw 8,5. Lokasi pusat gempa sejauh 105 Km lepas pantai barat Pulau Sumatera atau barat daya Kota Bengkulu yaitu pada koordinat -3.78°LS dan 100.99°BT .

Gempa bumi merupakan peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi yang disebabkan oleh lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba patah akibat pergerakan lempeng tektonik yang saling bertumbukan dan saling mengunci energi. Di dalam satu siklus gempa bumi terdapat beberapa tahapan gempa yaitu interseismik, praseismik, koseismik, dan pascaseismik. Tahapan interseismik merupakan tahapan akumulasi energi di batas antara dua lempeng. Tahapan praseismik adalah fase sesaat sebelum terjadinya gempa, sedangkan saat terjadinya gempa bumi, yang menyebabkan lempeng terdeformasi secara tiba-tiba, disebut tahapan koseismik dan tahap pascaseismik adalah tahap pelepasan energi gempa dan menuju kesetimbangan awal (Ardiansyah, 2014). Gempa bumi biasanya akan menyebabkan kerak bumi di sekitarnya terdeformasi, dalam arah vertikal maupun horizontal. Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda. Untuk mempelajari fenomena deformasi akibat gempa bumi dapat dilakukan dengan pendekatan geodesi yaitu menggunakan teknologi GPS (*Global Positioning System*). Teknologi GPS dapat memberikan nilai vektor deformasi kerak bumi dalam arah horizontal dan vertikal dengan tingkat presisi sampai orde milimeter dan konsistensi yang baik (Abidin dkk, 2009). Pulau Sumatera dan kepulauan Mentawai telah memiliki stasiun pengamatan GPS yang dikenal dengan nama SuGAR (*Sumatran GPS Array*).

Pada tahun 2016 Sajagat dkk telah melakukan penelitian untuk mengetahui kecepatan pergerakan stasiun SuGAR akibat proses interseismik gempa Bengkulu 2007. Hasil penelitian menunjukkan pergeseran horizontal stasiun SuGAR akibat proses interseismik gempa Bengkulu 2007 ke arah timur laut sebesar 4,567 cm/tahun. Arah deformasi ini sesuai dengan arah pergerakan lempeng. Penelitian lain yang dilakukan Andreas dkk tahun 2005 terhadap gempa Aceh Andaman Mw9,3 menunjukkan bahwa stasiun GPS BAKO yang berada di Banda Aceh mengalami pergeseran horizontal ke arah barat laut sebesar 2,4 meter, dan stasiun GPS yang berada di wilayah Lok Nga mengalami pergeseran horizontal sebesar 2,7 meter ke arah barat laut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Andreas dkk (2005) menunjukkan bahwa deformasi setelah gempa memiliki arah dan besar pergeseran yang berbeda dengan arah pergeseran lempeng.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Andreas dkk (2005), maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui vektor deformasi akibat gempa Bengkulu 2007. Besar deformasi yang ditimbulkan akibat gempa bisa mencapai orde meter seperti yang telah dilakukan Andreas dkk (2005), sehingga dengan mengetahui besarnya deformasi, dapat dihitung perkiraan besarnya dampak yang ditimbulkan akibat gempabumi. Pada penelitian ini akan dihitung vektor deformasi akibat gempa yaitu dapat dilihat pada fase koseismik dan pascaseismik. Vektor deformasi akan digambarkan menggunakan *software* GMT 5.4.5. Analisis vektor deformasi dapat digunakan sebagai informasi penting mengenai gempa dengan skala Mw8,5 sehingga dapat dijadikan acuan untuk mitigasi bencana gempa, terutama pada daerah yang memiliki kondisi geologis dan geografis yang sama.

II. METODE

2.1 Data Penelitian

Data yang digunakan adalah data pengamatan stasiun SuGAR terhadap gempa Bengkulu tahun 2007 yaitu pada fase koseismik dan pascaseismik. Gempa Bengkulu 2007 terjadi pada DOY (*Day of Years*) ke 255, untuk fase koseismik menggunakan data dimulai dari DOY ke 254 hingga DOY 256 (11 September – 13 September 2007) . Digunakan 3 hari data karena banyak terdapat kekosongan data untuk pengamatan DOY ke 255. Sedangkan untuk fase pascaseismik yaitu

menggunakan data pengamatan dimulai dari DOY ke 256 hingga DOY 310 (13 September – 06 November 2007) sebanyak 55 hari data. Data utama yang digunakan untuk penelitian adalah data pengamatan 9 stasiun SuGAR, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1 yaitu BSAT (Bulasat), LAIS (Lais), LNNG (Lunang), MKMK (Muko Muko), NGNG (Nyang Nyang), PPNJ (Pulau Panjang), PRKB (Parak Batu), PSKI (Pulau Sikuai), dan SLBU (Silabu). Data pengamatan stasiun IGS yang digunakan sebagai titik ikat, data IGS Orbit (*Prechise Ephemeris*), dan data navigasi (*Broadcast Ephemeris*). Keseluruhan data utama diunduh dari penyedia data SuGAR yaitu *archive SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center)* dalam format RINEX melalui *software* GAMIT. Selain itu juga digunakan data pendukung yaitu data pemodelan atmosfer, data pemodelan pasang surut laut, dan data pemodelan cuaca yang diunduh pada <ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS>. Lokasi stasiun SuGAR dan IGS yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Stasiun SuGAR yang digunakan

2.2 Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat lunak untuk pengolahan data yaitu sistem operasi Windows 7 untuk media menjalankan *Microsoft office*, sistem operasi Linux Ubuntu 14.04 untuk media pengolahan GAMIT/GLOBK 10.70, *software* GAMIT/GLOBK 10.70 digunakan dalam pengolahan data RINEX untuk mendapatkan data posisi perhitungan tiga dimensi, dan GMT 5.4.5 (*Generic Mapping Tools*) untuk pemetaan vektor deformasi.

2.3 Menghitung Vektor Deformasi

Untuk perhitungan vektor deformasi pada setiap stasiun SuGAR dihitung dalam sistem koordinat *easting* (E) dan *northing* (N) menggunakan persamaan:

$$dE_{12} = (E_2 - E_1) \times 111320m \quad (1)$$

$$dN_{12} = (N_2 - N_1) \times 111320m \quad (2)$$

dimana dE_{12} adalah besar pergeseran stasiun SuGAR ke arah timur, dN_{12} adalah besar pergeseran stasiun SuGAR ke arah utara, E_2 adalah posisi *longitude* akhir stasiun SuGAR, E_1 adalah posisi *longitude* awal stasiun SuGAR, N_2 adalah posisi *latitude* akhir stasiun SuGAR, N_1 adalah posisi *latitude* awal stasiun SuGAR, dan 111320 m adalah nilai 1 derajat lintang dan bujur.

Nilai dE_{12} dan dN_{12} yang didapatkan masih berupa koordinat dalam satuan derajat. Untuk mengkonversikan koordinat ke besaran jarak dalam satuan meter adalah dengan mengalikan dengan nilai 111320 m. Arah dan besar pergeseran stasiun SuGAR dapat diketahui dengan menghitung resultan vektor pergeseran stasiun SuGAR. Besar resultan dihitung menggunakan persamaan:

$$R = \sqrt{(dE_{12})^2 + (dN_{12})^2 + 2dE_{12}dN_{12} \cos \theta} \quad (3)$$

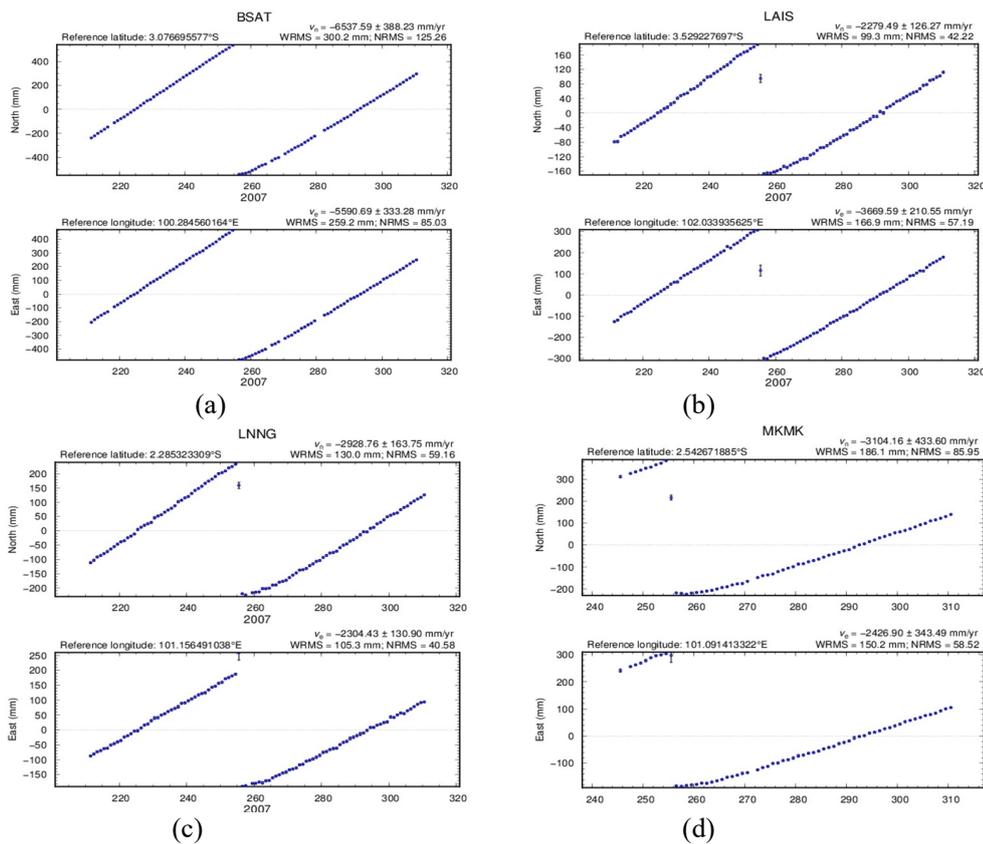
dimana R adalah resultan besar pergeseran stasiun SuGAR dan θ adalah sudut yang terbentuk dE_{12} dan dN_{12} Untuk menentukan arah resultan dihitung besar sudut α yang terbentuk antara vektor posisi R dengan dE_{12} menggunakan persamaan:

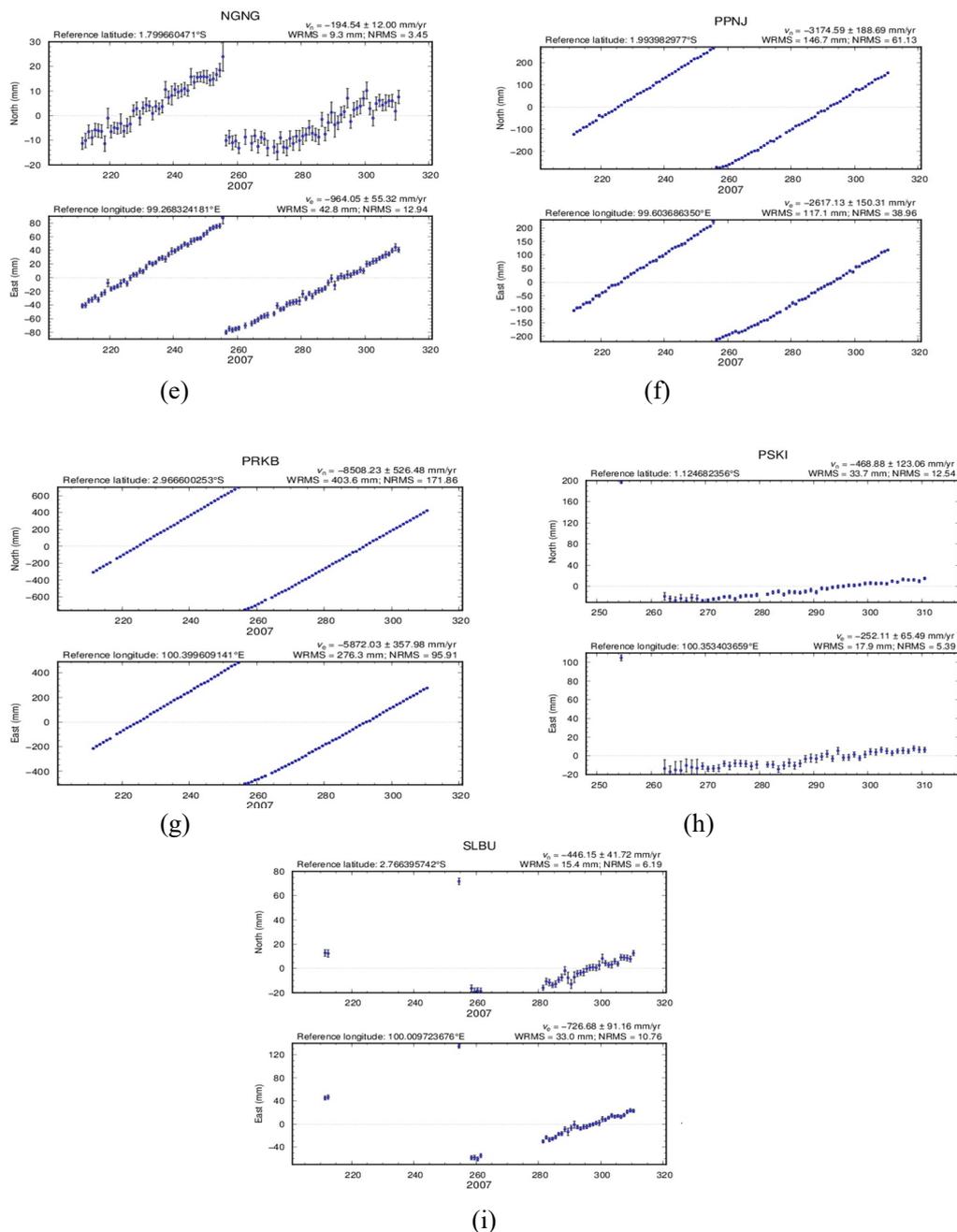
$$\alpha = \arctan \frac{dN_{12}}{dE_{12}} \quad (4)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Grafik Time Series Stasiun SuGAR

Data pengamatan SuGAR dalam format RINEX yang diolah menggunakan software GAMIT/GLOBK menghasilkan *file* berupa data perubahan posisi koordinat harian stasiun SuGAR yaitu posisi *latitude* dan *longitude* dan juga dalam bentuk grafik *time series*. Gambar 2 menunjukkan grafik *timeseries* pengamatan GPS tahun 2007 dari DOY 211 sampai 310 dimana ada 2 grafik, yaitu grafik yang menunjukkan pergerakan dalam arah utara (*north*) dan grafik yang menunjukkan pergerakan dalam arah timur (*east*). Dapat dilihat pada tiap-tiap grafik pada DOY ke 255 terdapat koseismik *jump*, artinya ada gempa yang terjadi pada DOY 255. Gempa tersebut menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap arah pergerakan stasiun sebelum dan setelah terjadinya gempa. Berdasarkan *time series* pada Gambar 2 didapatkan bahwa *trend* deformasi sebelum terjadinya gempa mengarah ke timur laut, hal ini sesuai dengan Sajagat dkk (2016) yang menjelaskan bahwa pergerakan pulau-pulau di Mentawai mengarah ke timur laut, sesuai dengan arah penunjaman lempeng. Setelah terjadinya gempa semua stasiun mengalami pergerakan ke arah yang berlawanan dengan arah tunjaman lempeng.

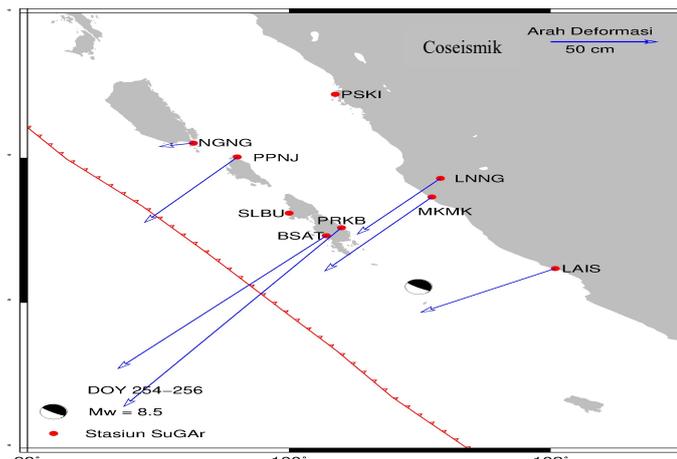




Gambar 2 (a) Timeseries stasiun BSAT, (b) Timeseries stasiun LAIS, (c) Timeseries stasiun LNNG, (d) Timeseries stasiun MKMK, (e) Timeseries stasiun NGNG, (f) Timeseries stasiun PPNJ, (g) Timeseries stasiun PRKB, (h) Timeseries stasiun PSKI, (i) Timeseries stasiun SLBU

3.2 Analisa Deformasi Akibat Gempa Bengkulu 12 September 2007

Hasil penghitungan vektor deformasi pada fase koseismik gempa Bengkulu 2007 dapat dilihat pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa arah deformasi semua stasiun SuGAR adalah kearah barat laut, menunjukkan adanya perubahan arah deformasi lempeng akibat gempa. Faktor yang menyebabkan perubahan arah pergerakan adalah sifat batuan pada zona subduksi dari palung sampai kedalaman 40 km bersifat elastis (Natawidjaja, 2007). Berdasarkan data gempa dari website Global CMT gempa 12 September terjadi pada kedalaman 24,4 km, artinya pada kedalaman tersebut batuan masih bersifat elastik, sehingga jika mendapat energi yang sangat besar maka akan terjadi deformasi elastik pada batuan tersebut.



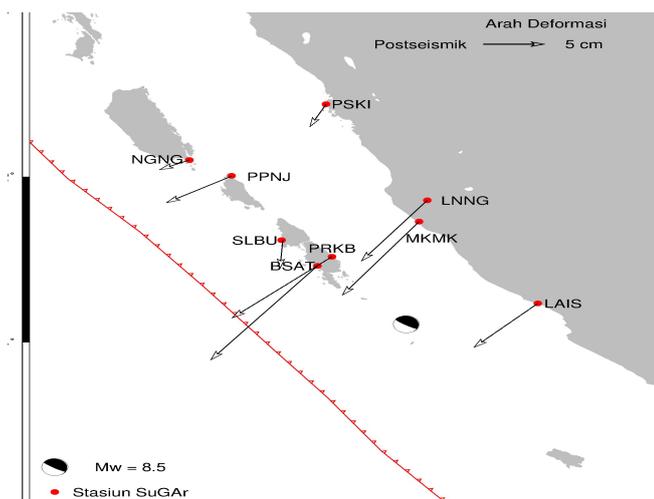
Gambar 3 Vektor deformasi fase koseismik gempa Bengkulu 2007

Besar deformasi yang terjadi akibat gempa Bengkulu 2007 dapat dilihat pada Tabel 1. Deformasi besar dari 50 cm terjadi pada stasiun SuGAR yang dekat dengan episenter gempa. Untuk melihat hasil hitungan besar deformasi stasiun juga dapat dilihat pada Tabel 1. Salah satu stasiun yang memiliki pergeseran paling besar adalah stasiun PRKB dengan besar pergeseran yaitu 180,89 cm, stasiun PRKB memiliki jarak 109,494 Km dari episenter gempa. Stasiun yang memiliki pergeseran paling kecil adalah stasiun NGNG, yaitu 16,38 cm, posisi stasiun NGNG berada jauh dari episenter gempa dengan jarak 292,11 Km. Dapat disimpulkan dari Gambar 3 bahwa besar deformasi dipengaruhi oleh jarak stasiun dari episenter gempa, semakin dekat posisi stasiun dari episenter gempa, maka semakin besar pergeseran yang terjadi pada stasiun tersebut, dan semakin jauh posisi stasiun dari episenter gempa, maka pergeseran yang terjadi juga semakin kecil. Besarnya deformasi stasiun SuGAR juga menggambarkan deformasi yang terjadi pada daerah tempat pemasangan stasiun tersebut, yang artinya juga mempengaruhi kerusakan infrastruktur daerah tersebut.

Tabel 1 Data Besar Pergeseran Stasiun SuGAR Fase Koseismik

Stasiun	Koordinat		Besar Pergeseran (cm)
	Lattitude	Longitude	
BSAT	-3.077	100.285	14,38
LAIS	-3.529	102.034	7,46
LNGG	-2.285	101.156	9,14
MKMK	-2.543	101.091	10,93
NGNG	-1.800	99.268	2,71
PPNJ	-1.994	99.604	6,20
PRKB	-2.993	100.400	11,01
PSKI	-1.125	100.353	3,07
SLBU	-2.766	100.010	3,46

Fase pascaseismik gempa Bengkulu 2007 dihitung sehari setelah gempa tersebut terjadi yaitu pada DOY ke 256 hingga DOY 310. Hasil pemetaan vektor deformasi dapat dilihat pada Gambar 4 yang menunjukkan bahwa arah pergeseran stasiun SuGAR fase pascaseismik masih mengikuti arah deformasi fase koseismik yaitu ke arah barat laut. Besar pergeseran yang terjadi menjadi semakin kecil, karena energi yang besar telah dilepaskan pada fase koseismik, dan fase pascaseismik merupakan pelepasan energi yang tersisa. Hasil hitungan besar deformasi stasiun SuGAR juga dapat dilihat pada Tabel 2, yang menunjukkan nilai deformasi dari stasiun SuGAR 55 hari setelah kejadian gempa. Dapat dilihat bahwa deformasi terbesar yaitu stasiun BSAT yaitu 14,36 cm, dan PRKB yaitu 11,01 cm, dan yang terkecil adalah NGNG dengan besar pergeseran yaitu 2,71 cm.



Gambar 4 Vektor deformasi fase pascaseismik Gempa Bengkulu 2007

Tabel 2 Data Besar Pergeseran Stasiun SuGAR Fase Pascaseismik

Stasiun	Koordinat		Besar Pergeseran (cm)
	Lattitude	Longitude	
BSAT	-3.077	100.285	14,38
LAIS	-3.529	102.034	7,46
LNNG	-2.285	101.156	9,14
MKMK	-2.543	101.091	10,93
NGNG	-1.800	99.268	2,71
PPNJ	-1.994	99.604	6,20
PRKB	-2.993	100.400	11,01
PSKI	-1.125	100.353	3,07
SLBU	-2.766	100.010	3,46

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah vektor deformasi pada fase koseismik gempa Bengkulu 2007 memiliki nilai rata-rata pergeseran ke arah barat laut sebesar 89,80 cm, dengan deformasi terbesar yaitu stasiun BSAT dan PRKB di Kepulauan Mentawai, sedangkan pada fase pascaseismik setelah 55 hari sejak gempa masih terjadi pergeseran yaitu sebesar 7,59 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., dan Meilano, I., Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS, *Jurnal Geologi Indonesia*, 4 (4), hal 275-284 (2009).
- Andreas, H., Sarsito, D. A., Meilano, I., dan Abidin, H., Z, Implikasi Koseismik dan Pascaseismik Horizontal Displacement Gempa Aceh 2004 Terhadap Status Geometrik Data Spasial Wilayah Aceh dan Sekitarnya, *Prosiding Seminar Dokumentasi Ilmiah Gempa Aceh 2004*, Kelompok Keahlian Geodesi, ITB, 2005.
- Ardiansyah, S., Energi Potensial Gempa Bumi di Kawasan Segmen Mentawai Sumatera Barat (0,5° LS – 4,0° LS dan 100°BT - 104°BT), *PSJ*, 2 (1), hal 1-9 (2014).
- Natawidjaja, D. H., Gempa Bumi dan Tsunami di Sumatera dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam, *Laporan Kebencanaan Nasional 2007* (2007).
- Sajagat, M.J, Awaluddin, dan M, Yuwono, B.D., Hitungan Kecepatan Pergerakan Stasiun SUGAR Akibat Proses *Interseismic* Gempa Mentawai 2007. *Jurnal Geodesi Undip*, 5 (4), hal 196-206 (2016).