

Analisis Deformasi Koseismik Gempa Mentawai 2008 Menggunakan Data GPS SuGAR

Regina Mai Anggriani^{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

²Puslit Geoteknologi LIPI, Bandung, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 8 Oktober 2019
Direvisi: 14 Oktober 2019
Diterima: 22 Oktober 2019

Kata kunci:

Deformasi
Koseismik
GPS SuGAR
Gempa Mentawai 2008

Keywords:

Deformation
Coseismic
GPS SuGAR
Mentawai Earthquake 2008

Penulis Korespondensi:

Regina Mai Anggriani
Email: maeregina@gmail.com

ABSTRAK

Deformasi koseismik Gempa Mentawai 2008 telah dianalisis menggunakan data GPS SuGAR. Data GPS yang digunakan dari *Day of Year* (DoY) 052 hingga DoY 061 dari stasiun BSAT, PRKB, SLBU, SMGY, KTET, PPNJ, dan MKMK yang tersebar pada Pulau Sipora, Pulau Pagai, dan Bengkulu. Pengolahan data menggunakan software GAMIT 10.40. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa besar deformasi masing-masing stasiun adalah BSAT sebesar 9,7 mm ke arah *South East*, PRKB sebesar 3,07 mm ke arah *North East*, SLBU sebesar 214,5 mm ke arah *South West*, SMGY terdeformasi sebesar 100,09 mm ke arah *South West*, PPNJ terdeformasi sebesar 13,83 mm ke arah *South East*, KTET terdeformasi 126,02 mm ke arah *South West*, PPNJ terdeformasi 13,84 mm ke arah *South East*, dan MKMK 7,8 mm ke arah *North West*. Deformasi koseismik terbesar terjadi pada stasiun SLBU, SMGY, dan KTET. Arah deformasi koseismik Gempa Mentawai 2008 menunjukkan pola yang beragam. Namun secara umum arah deformasi koseismik berlawanan dengan fase preseismik, dengan besar deformasi mencapai 2,1 cm pada stasiun SuGAR yang berada dekat dengan episenter gempa.

Coseismic deformation of the Mentawai Earthquake 2008 has been analyzed using GPS data from SuGAR. GPS data are used from Day of Year (DoY) 052 to DoY 061 from BSAT, PRKB, SLBU, SMGY, KTET, PPNJ, and MKMK on Sipora Island, Pagai Island, and Bengkulu. Data processing using GAMIT 10.40 software. From this research it can be seen that the deformation size of each station is BSAT of 9.7 mm towards South East, PRKB of 3.07 mm towards North East, SLBU of 214.5 mm towards South West, SMGY deformed by 100.09 mm towards the South West, PPNJ deformed by 13.83 mm towards the South East, KTET deformed 126.02 mm towards the South West, PPNJ deformed 13.84 mm towards the South East, and MKMK 7.8 mm to in the direction of North West. The biggest coseismic deformation occurred at SLBU, SMGY, and KTET stations. The direction of coseismic deformation in the Mentawai Earthquake in 2008 shows a variety of patterns. But in general the direction of coseismic deformation is opposite to the preseismic phase, with the deformation reaching 2.1 cm at the SuGAR station which is close to the earthquake epicenter.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sumatera terletak di sepanjang jalur tumbukan dua lempeng tektonik, yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng India-Australia. Batas tumbukan dua lempeng ini terlihat dengan jelas berupa jalur palung laut dalam di sebelah barat Sumatera sampai ke Kepulauan Andaman, dimana Lempeng India-Australia menujam di bawah Sumatera dengan kecepatan 50-60 mm/tahun dan kemiringan dari batas penujaman sekitar 12 derajat ke arah timur (Sieh, dkk., 2000). Batas lempeng atau bidang kontak ini disebut zona subduksi. Zona subduksi ini dapat diamati dari data seismisitasnya sampai kedalaman sekitar 300 km. Penujaman terus-menerus oleh Lempeng India-Australia terhadap Lempeng Eurasia menyebabkan terjadinya akumulasi energi potensial pada bidang kontak yang disebut megathrust. Megathrust di wilayah Sumatera Barat dapat diamati di sepanjang Segmen Mentawai dimana kawasan ini menyimpan akumulasi stress yang tinggi, berkolerasi dengan energi gempabumi yang besar. Segmen Mentawai masih menyimpan energi gempabumi yang besar dimana gempa dahsyat terakhir pada 1797 dan 1833. Energi potensial pada segmen ini bisa mencapai lebih dari 8,9 SR (Natawidjaja, 2007).

Gempabumi menyebabkan kerak bumi di sekitarnya terdeformasi dalam arah horizontal maupun vertikal. Proses deformasi akibat gempa dalam siklus gempabumi dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu: interseismik, praseismik, koseismik, dan pascaseismik. Dengan kemajuan teknologi muncul metode baru dalam analisa deformasi dan geodinamika, yaitu metode satelit. Dengan metode satelit dapat dilakukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) ataupun dengan menggunakan penginderaan jauh. Pemantauan dengan GPS dapat dilakukan secara berkala maupun kontinyu. Metode berkala dapat mengamati pergerakan lempeng bumi secara teliti melalui perubahan koordinat beberapa titik pada lempeng tersebut dari waktu ke waktu atau selang waktu tertentu, sedangkan dengan metode kontinyu pengamatan dilakukan per hari.

Abidin (2009) menggunakan survei GPS untuk mengetahui deformasi fase koseismik dan pascaseismik. Survei GPS dilaksanakan menggunakan empat belas *receiver* GPS tipe geodetik dua-frekuensi dan pengolahan data menggunakan perangkat lunak Bernese 5.0. Hasil survei GPS menunjukkan deformasi koseismik mengalami pergerakan sinistral sedangkan pascaseismik menunjukkan pergerakan dekstral dari sebelah timur Sesar Opak terhadap kawasan sebelah barat yang relatif stabil.

Penelitian deformasi fase pascaseismik guna menganalisa vektor pergeseran stasiun GPS SuGAR pada Gempa Mentawai 25 Februari 2008 diketahui arah pergeseran stasiun SLBU, BSAT, PRKB yang terletak pada pulau Pagai Selatan pada fase postseismik adalah *south-west*, sedangkan stasiun PPNJ pada fase postseismik adalah *south-east* (Muafiry, dkk., 2014). Arah pergerakan stasiun yang berada pada Pulau Pagai Selatan ke arah *south-west* ini berbanding lurus dengan vektor pergeseran stasiun GPS pascaseismik Gempa Mentawai 2007 yang arah vektornya *south-west*, hal ini disebabkan Gempa Mentawai 2008 merupakan rentetan *aftershock* dari Gempa Mentawai 2007 (Yusfania, 2014). Hal ini disebabkan Gempa Mentawai 2008 merupakan rentetan *aftershock* atau masih pada tahap pascaseismik dari Gempa Mentawai 2007. Berdasarkan penelitian tersebut, penelitian lebih lanjut terkait Gempa Mentawai 2008 penting dilakukan untuk memahami tahapan deformasi akibat gempabumi.

II. METODE

Penelitian tentang analisis deformasi Gempa Mentawai 2008 ini dilakukan dengan menggunakan data GPS SuGAR yang diolah menggunakan *software* GAMIT/GLOBK. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data observasi rinex dari SuGAR, observasi rinex IGS, dan data tambahan berupa file gelombang pasang surut, atmosfer, dan pemodelan cuaca. Stasiun SuGAR yang digunakan, yaitu: PPNJ, SMGY, PRKB, KTET, BSAT, SLBU, dan MKMK *Day of Year* (DoY) 051-061. Sedangkan stasiun IGS yang digunakan, yaitu: ALIC, KARR, NNOR, YAR2, BREW, SASK, IRKM, PETS, HYDE, POL2, LHAZ, REUN, KIT3, CHAN, dan BAKO. Dalam pengolahan data dilakukan beberapa langkah sistematis sebagai berikut:

1. Folder direktori kerja eksperimen rinex, brdc, igs dibuat, dan folder tables disalin otomatis dari GAMIT dengan dijalankan perintah `sh_setup`. Direktori kerja diatur sesuai dengan standar pengolahan dengan *automatic batch processing*.

2. Data rinex SuGAR disiapkan dan diunduh data rinex IGS, kemudian ditempatkan pada folder direktori kerja *home/gina/2008/rinex*.
3. Data navigasi global diunduh yang ditempatkan pada folder direktori *home/gina/2008/brdc*.
4. File precise ephemeris diunduh dan ditempatkan pada folder direktori *home/gina/2008/igs*.
5. Pada folder tables, beberapa data pendukung diperbaharui guna meningkatkan ketelitian hasil pengolahan data. Data tersebut adalah data atmosfer (atml.grid), Data gelombang atau pasang surut air laut (otl.grid) dan data map.grid. Data pendukung ini diunduh dari website <ftp://everest.mit.edu/pub/grids>. Setelah data diunduh, data yang sudah ada digantikan dengan data yang baru, yaitu:
 - Data otl.grid diperbarui oleh otl_FES2004.grid
 - Data atml.grid diperbarui oleh atmdisp_cm.2007
 - Data map.grid diperbarui oleh data vmflgrd.2007
6. Pada folder 2008/tables, dilakukan perbaikan pada beberapa file, yaitu file *lfile.*, *station.info*, *sittbl.*, *sestbl.*, dan *process.defaults*.
7. *Automatic batch processing* GAMIT dilakukan dengan perintah:


```
sh_gamit -d <YYYY><d1 d2> -expt <expt> -pres ELEV
```
8. Cek kualitas hasil pengolahan GAMIT dengan melihat nilai *postfit nrms*, *Wide Lane* (WL), *Narrow Lane* (NL), dan nilai *fract*. Nilai *postfit nrms* tidak boleh melebihi 0,25, nilai *fract* nya < 10, *Wide Lane* (WL) lebih besar dari 90%, dan *Narrow Lane* (NL) besar dari 80% (Herring, dkk, 2008).
9. Pengolahan dengan GLOBK dilakukan dengan terlebih dahulu menyalin perintah dasar GLOBK yaitu *glorg_com.cmd* dan *globk_comb.cmd*. Perintah ini dapat disalin dari *~/gg/tables*. Pengolahan data GLOBK dilakukan dengan perintah:


```
glred -s <YYYY d1 YYYY d2> -expt <expt> -opt <R LA H T G>
```
10. Data *timeseries* dari data yang digunakan terdapat pada file .ps pada folder *gsoln/plots*.
11. Diamati pergerakan posisi setiap stasiun GPS pada sumbu *easting* (E), *northing* (N) dan *up* (U) dari data koordinat geosentrik dan lokal yang terdapat pada file.gldr.org. Berdasarkan koordinat tersebut, vektor pergeseran deformasi pada setiap titik GPS dihitung dalam sistem koordinat *Easting* (E) dan *Northing* (N) berdasarkan persamaan berikut:

$$dE_{12} = (E_2 - E_1)111.320 \tag{1}$$

$$dN_{12} = (N_2 - N_1)111.320 \tag{2}$$
12. Besar deformasi gempa dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$D = \sqrt{(dN)^2 + (dE)^2} \tag{3}$$

dengan *D* adalah besar deformasi, *dN* besar deformasi dalam sumbu *North* (utara), dan *dE* besar deformasi dalam arah *East* (timur).
13. Peta vektor deformasi koseismik dibuat menggunakan *software* GMT 5.45.

III. HASIL DAN DISKUSI

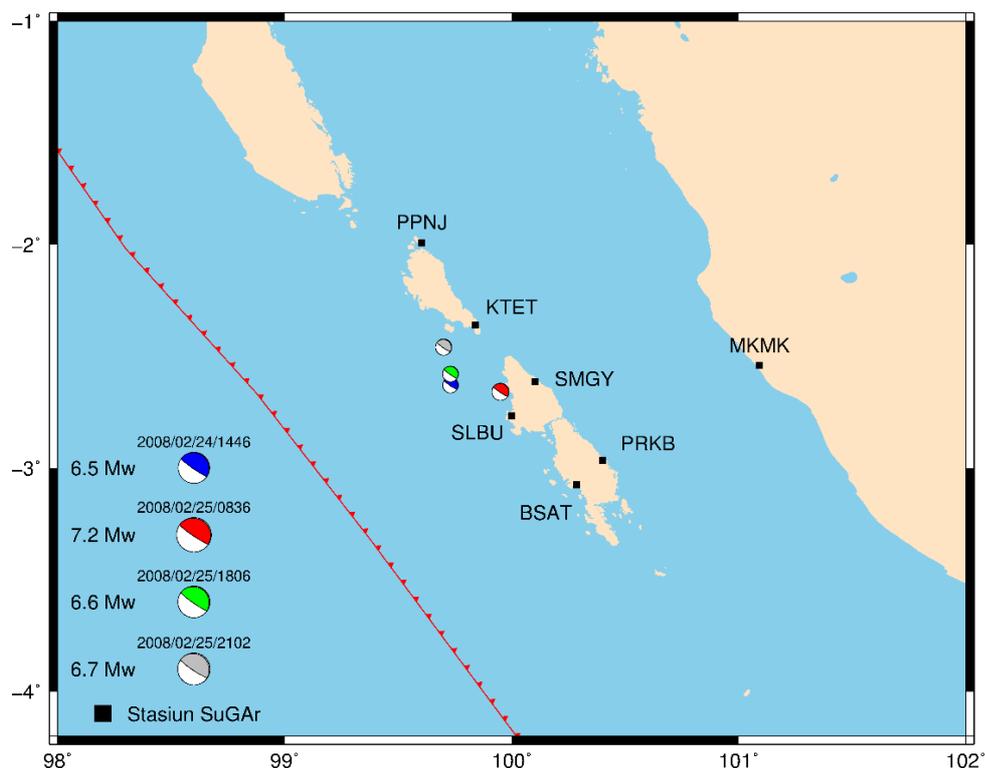
Dari data gempabumi yang terjadi selama Januari hingga April 2008, pada DoY (*Day of Year*) 051-061 di daerah penelitian, diketahui bahwa gempabumi terjadi sebanyak 4 kali akibat pergerakan subduksi lempeng dengan magnitudo besar dari 6 Mw. Dan dari data posisi hasil pengolahan GAMIT/GLOBK, diketahui bahwa stasiun SuGAR merekam posisi setiap pukul 11.59 UTC (*Universal Time Coordinate*). Oleh karena itu, posisi dari stasiun SuGAR pada koseismik gempa Mentawai 2008 merekam deformasi yang diakibatkan akumulasi dari beberapa kejadian gempabumi diketahui bahwa deformasi koseismik Gempa Mentawai 2008 bukan hanya dipengaruhi oleh satu kejadian gempa saja, namun akumulasi dari beberapa kejadian gempabumi. Gambar 1 menunjukkan episenter gempa yang mempengaruhi deformasi koseismik, dimana *foreshock* mencapai kekuatan 6,5 Mw, gempa utama 7,2 Mw, dan 2 kejadian gempa *aftershock* berkekuatan ≥ 6 Mw. Data rinex pada DoY 056 merekam 3 kejadian gempa ≥ 6 Mw.

Penentuan vektor fase koseismik Gempa Mentawai Februari 2008 dihitung pada bidang horizontal (*dN* dan *dE*) dengan mengamati pergeseran DoY setelah gempa terhadap DoY sebelum

gempa. Pergeseran stasiun SuGAR fase koseismik dalam sumbu N dan E Gempa Mentawai 2008 didapat dari Persamaan 1 dan 2, sedangkan nilai perpindahan ditentukan dengan Persamaan 3.

Tabel 1 Vektor Deformasi Koseismik Gempa Mentawai 2008

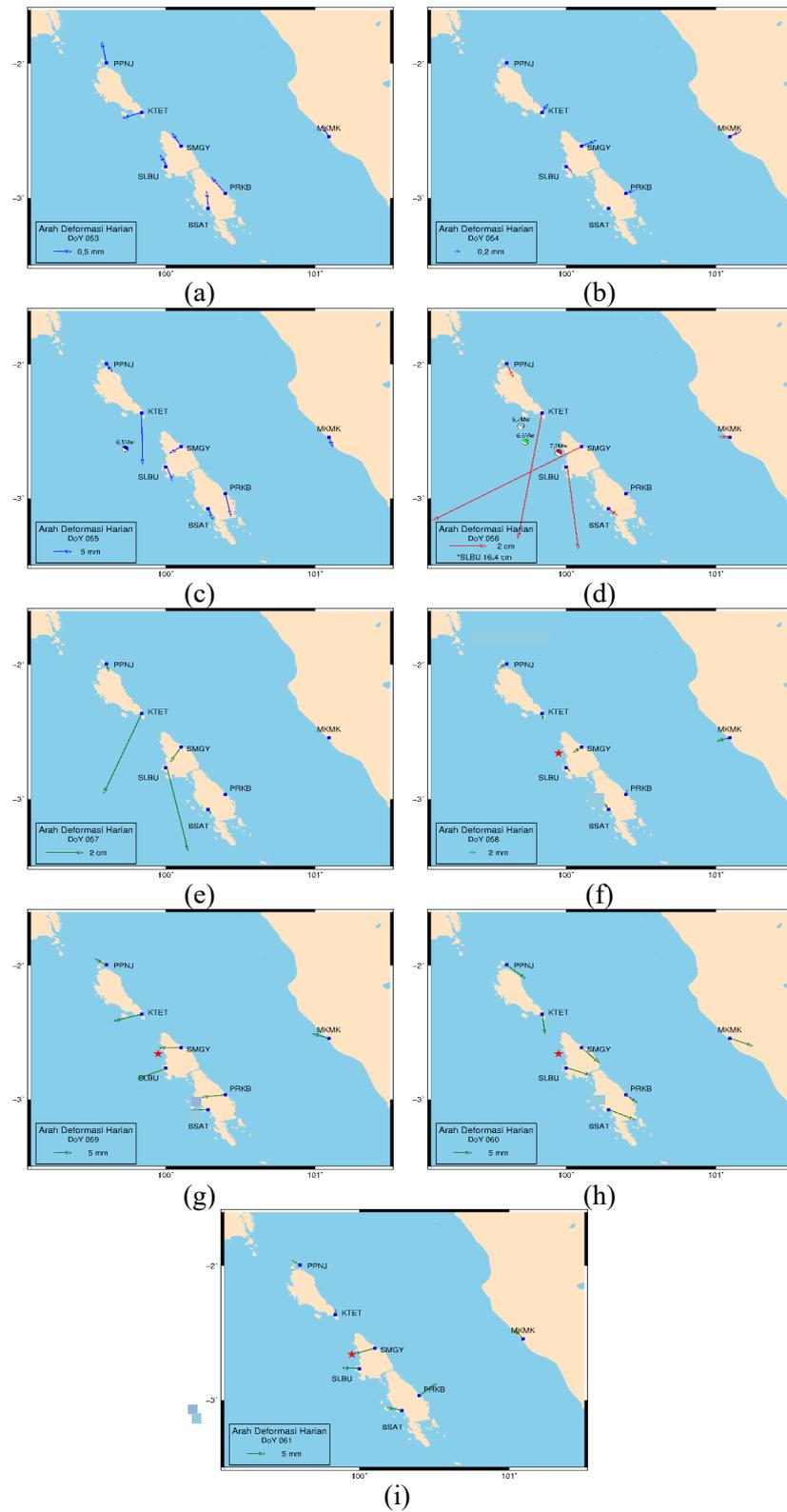
Stasiun	dE (mm)	dN (mm)	D (mm)
BSAT	-7,12	6,60	9,71
PRKB	1,73	2,54	3,07
SLBU	-212,33	30,75	214,55
SMGY	-52,83	-85,01	100,09
KTET	-12,90	4,99	13,84
PPNJ	-121,58	-33,14	126,02
MKMK	-12,90	4,99	13,84



Gambar 1 Episenter Gempa Mentawai 2008

Tabel 1 menunjukkan deformasi koseismik titik stasiun SuGAR. Stasiun BSAT mengalami deformasi sebesar 9,7 mm ke arah SE, PRKB sebesar 3,07 mm ke arah *North East*, SLBU sebesar 214,5 mm ke arah *South East*, SMGY terdeformasi sebesar 100,09 mm ke arah *South West*, PPNJ terdeformasi sebesar 13,83 mm ke arah *South East*, KTET terdeformasi 126,02 mm ke arah *South West*, PPNJ terdeformasi 13,84 mm ke arah *South East*, dan MKMK 7,8 mm ke arah *North West*. Deformasi koseismik terbesar pada stasiun SLBU, SMGY, dan KTET. Hal ini dikarenakan posisi episenter gempa yang dekat dengan stasiun tersebut.

Arah deformasi harian dari DoY 053 hingga hingga 061 ditunjukkan Gambar 2. Fase preseismik ditunjukkan pada Gambar 2 (a) dan (b), dapat dilihat bahwa arah deformasi setiap stasiun SuGAR searah dengan arah laju deformasi akibat subduksi Lempeng India Australia terhadap Eurasia, yaitu *North East* (NE). Besar pergeseran dari DoY 053 dan 054 semakin mengecil saat mendekati koseismik gempa yang menandakan bahwa energi yang terakumulasi semakin besar. Pada tahapan ini batuan atau materi tidak dapat lagi menahan gaya yang ditimbulkan oleh gerak relatif, kemudian akumulasi energi tersebut akan dilepaskan dalam bentuk gelombang gempa yang menjalar ke segala arah. Dengan demikian DoY 054 berada pada fase terkunci.



Gambar 2 Deformasi Harian DoY (a) 053, (b) 054, (c) 055, (d) 056, (e) 057, (f) 058, (g) 059, (h) 060, (i) 061

Deformasi koseismik akibat Gempa Mentawai 2008 terjadi pada DoY 055 dan 056, karena besar deformasi akibat gempa pada DoY 055 cukup besar yang ditunjukkan Gambar 2 (c). Pada fase ini energi akumulasi dilepaskan berupa gelombang gempa yang menjalar ke segala arah, namun pada kasus subduksi arah deformasi koseismik seperti terlenting. Besar deformasi koseismik akan sebanding dengan besar kekuatan gempa, terbukti dengan besar deformasi stasiun SuGAR yang mencapai 214 mm pada stasiun yang dekat dengan episenter gempa. Gambar 4.2 (c) dan (d) menunjukkan arah deformasi koseismik, dapat dilihat bahwa arah deformasi dari masing-masing stasiun GPS berlawanan arah dengan arah preseismik gempa.

Gambar 2 (e) memperlihatkan tahapan pascaseismik, dimana arah deformasi pada DoY 057 masih dipengaruhi oleh koseismik gempa, dilihat dari besar dan arah deformasi yang sesuai dengan koseismik. Gambar 2 (f), (g), (h), dan (i) menunjukkan arah dan besar deformasi yang bervariasi yang menunjukkan pelepasan energi sisa dari gempa. Pada tahapan pascaseismik ini arah deformasi belum stabil dan membutuhkan waktu yang cukup lama hingga kembali pada tahapan awal pengumpulan energi gempa yang nantinya arah pergerakannya akan searah dengan arah deformasi subduksi oleh Lempeng India Australia terhadap Eurasia.

IV. KESIMPULAN

Vektor deformasi koseismik Gempa Mentawai 2008 dari masing-masing stasiun SuGAR sangat beragam yaitu BSAT sebesar 9,7 mm ke arah *Sout East*, PRKB sebesar 3,07 mm ke arah *North East*, SLBU sebesar 214,5 mm ke arah *South East*, SMGY terdeformasi sebesar 100,09 mm ke arah *South West*, PPNJ terdeformasi sebesar 13,83 mm ke arah *South East*, KTET terdeformasi 126,02 mm ke arah *South West*, PPNJ terdeformasi 13,84 mm ke arah *South East*, dan MKMK 7,8 mm ke arah *North West*. Dengan deformasi paling besar pada stasiun KTET, SLBU, dan SMGY yang berada pada Pulau Sipora dan Pagai Utara dengan besar deformasi antara 100 mm hingga 214 mm. Besarnya deformasi ketiga stasiun ini dikarenakan posisi stasiun yang berada dekat dengan episenter gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., *Geodesy Satellite*, (P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, 2001).
- Abidin, H.Z., Jones A., dan Kahar J., *Survei dengan GPS*, Edisi kedua, (P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, 2002).
- Abidin, H.Z dkk, Deformasi Kosesimik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS, *Jurnal Geologi Indonesia*. 4 (4), hal. 275-284, 2009.
- Ardiansyah, Sabar., Energi Potensial Gempabumi di Kawasan Segmen Mentawai- Sumatera Barat (0.5° LS – 4.0° LS dan 100° BT – 104° BT), 2(1), Stasiun Geofisika Kapahiang-Bengkulu, 2014.
- Bird, Peter., An Update Digital Model of Plate Boundaries, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4(3), hal. 1-52, 2003.
- Chrzanowski, Adam., dkk, Intergation of Geodetic and Geotecnical Deformation Survey in The Geosciences, *Tectonophysics*. 130, hal. 1-4, 1986.
- Feng, Lujia., dkk, A Unified GPS-based Earthquake Catalog for The Sumatran Plate Boundary Between 2002 and 2013, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, hal. 3566-3598, doi 10.1002/2014JB011663, 2015.
- Herring, T.A., King, R.W., McClusky, S. C. *Introduction to GAMIT/ GLOBK*, (Departement of Earth Atmospheric and Planetary Sciences, MIT, 2008).
- Muafiry, I.N., Cahyadi, M. N., Yusufania, Meiriska., Analisis Vektor Pergeseran Postseismic Stasiun GPS SuGAR Akibat Gempa Mentawai 2008, *Jurnal Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Sepuluh Nopember*, 2014.
- Natawidjaja, D. H., The Sumatran Fault Zone from Source to Hazard, *Journal of Earthquake and Tsunami, World Scientific Publishing*, 1(1), hal. 21-47, 2007.
- Global Centroid Moment Tensor Catalog – Global CMT, www.globalcmt.org, diakses pada Juli 2019.
- Massachusetts Institute of Thecnology, ftp://everest.mit.edu/pub/grids, diakses pada Juli 2019