

KAJIAN PENGAMATAN KECEPATAN TEKTONIK MENGGUNAKAN DATA SUGAR (SUMATRAN GPS ARRAY)

(Studi Kasus : Gempa Sumatera Barat tahun 2009)

Achmad Umar Azmi¹⁾, Ira Mutiara Anjasmara²⁾, Meiriska Yusfania³⁾
Teknik Geomatika, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: ira@geodesy.its.ac.id²⁾ yusfania_mei@geodesy.its.ac.id³⁾

Abstrak—Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik. Pada daerah sekitar batas lempeng tersebut umumnya aktifitas tektonik utama terjadi, seperti misalnya subduksi, tumbukan (*collision*), pemekaran punggung tengah samudra, dan sesar *transform*. Akibatnya gempa bumi akan sering terjadi tidak jauh dari batas-batas lempeng tersebut. Salah satu pulau yang sering mengalami gempa adalah pulau Sumatera yang berdekatan dengan zona subduksi antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Gempa besar yang pernah terjadi salah satunya adalah gempa Sumatera Barat tanggal 30 september 2009.

Pemantauan deformasi kerak bumi akibat aktivitas gempa dapat dilakukan menggunakan teknologi *Global Positioning System* (GPS). Melalui pemantauan GPS secara kontinu atau berkala dapat diketahui pergerakan deformasi yang terjadi sebelum dan sesudah gempa. Dalam penelitian ini, dilakukan pemantauan deformasi dengan GPS menggunakan metode pemantauan kontinu titik-titik stasiun SuGAR (Sumatran GPS Array).

Penelitian ini menghasilkan nilai kecepatan dan arah pergeseran lempeng tektonik serta mendapatkan besar dan pola regangan mengacu pada titik-titik stasiun SuGAR di daerah Sumatera barat dan sekitarnya. Nilai pergeseran tertinggi pada fase interseismik adalah 0.1 mm pada stasiun SLBU, fase koseismik sebesar 1.3842 mm pada stasiun SuGAR NGNG, dan fase poseismik sebesar 0.0006981 m pada stasiun NGNG. Untuk besar kecepatan pergeseran tertinggi pada fase interseismik adalah 0.05187 mm/yr pada stasiun NGNG dan fase poseismik sebesar 0.32403 mm/yr pada stasiun NGNG.

Kata Kunci: gempa sumatera barat 2009, GPS SuGAR, kecepatan pergeseran, regangan tektonik.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bertabrakan dengan lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatra, Jawa dan Nusa Tenggara, sedangkan lempeng Eurasia dengan lempeng Pasifik di utara Irian dan Maluku utara. Pertemuan lempeng Indo-Australia dengan Eurasia di selatan Jawa hampir tegak lurus, berbeda dengan pertemuan lempeng di wilayah Sumatera yang mempunyai subduksi miring dengan kecepatan 5-6 cm/tahun (Bock, 2000). Pada daerah sekitar batas lempeng tersebut umumnya aktifitas tektonik utama berlangsung, seperti misalnya subduksi, tumbukan (*collision*), pemekaran punggung tengah samudra, dan sesar *transform*. Akibatnya gempa bumi dan letusan gunung api akan sering terjadi tidak jauh dari batas-batas lempeng tersebut.

Pulau Sumatra termasuk salah satu pulau terbesar di Indonesia. Pulau ini merupakan salah satu wilayah dengan aktifitas tektonik paling aktif di dunia. Pulau Sumatra mengakomodasi tumbukan lempeng Indo-Australia yang mensubduksi lempeng Eurasia dengan kecepatan 5-6 cm/tahun (Prawirodirdjo, 2000). Salah satu gempa besar yang terjadi di pulau ini adalah gempa Sumatera Barat pada tahun 2009 yang memiliki kekuatan 7.6 M_w terjadi pada tanggal 30 september 2009 pukul 17:16:10 WIB (10:16:10 UTC) dengan kedalaman 81.0 km pada lokasi koordinat 0.720°S 99.867°E (<http://earthquake.usgs.gov>). Lokasi gempa terjadi di lepas pantai Sumatra, sekitar 50 km barat laut Kota Padang.

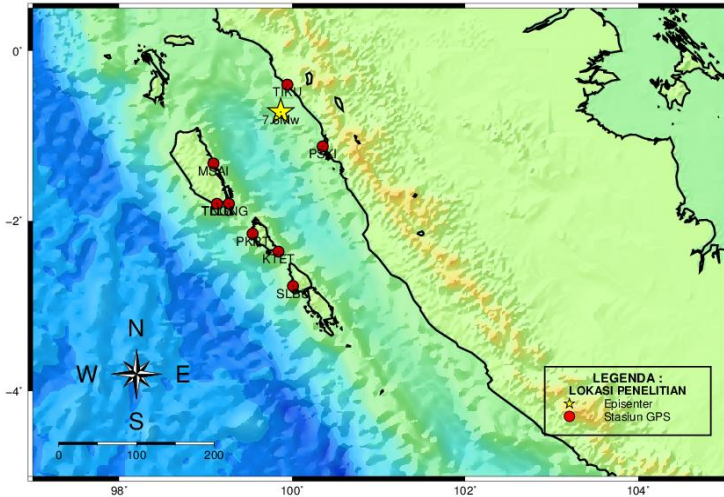
Saat ini, pemantauan deformasi kerak bumi dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi GPS. Melalui pemantauan GPS dapat diketahui pergerakan deformasi yang terjadi sebelum dan sesudah gempa. Salah satu metode dalam pemantauan deformasi dengan GPS adalah pemantauan secara kontinu. Prinsip pemantauan ini adalah pengamatan perubahan koordinat beberapa titik yang mewakili suatu wilayah dari waktu ke waktu. Penyedia data GPS di kawasan Pulau Sumatra salah satunya adalah SuGAR. SuGAR adalah sekumpulan jaring stasiun GPS yang terpasang dan terinstal di sepanjang Pulau Sumatra dan pulau-pulau sekitar batas lempeng samudera. Jaring yang didesain, dibangun dan dioperasikan oleh *Tectonics Observatory California Technology* dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) ini terdiri dari 49 titik pengamatan stasiun GPS yang dapat digunakan untuk memantau pergerakan lempeng Pulau Sumatra.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besar kecepatan pergeseran dan bagaimana arah lempeng tektonik serta besar dan pola regangan lempeng tektonik mengacu pada titik-titik stasiun SuGAR di daerah Sumatera Barat dan sekitarnya pada rentang tahun 2009. Informasi dari kajian pengamatan ini dapat memperkaya informasi mengenai aktivitas tektonik di wilayah zona subduksi Sumatra serta memberikan informasi mengenai vektor pergeseran yang diakibatkan oleh gempa Sumatera Barat tahun 2009 guna peningkatan informasi untuk mitigasi bencana.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah daerah Sumatera Barat yang mengalami gempa pada tanggal 30 September 2009 dengan besar gempa 7.6 M_w dan kedalaman 81.0 km, episenter gempa berada pada koordinat 0.720°S 99.867°E di lepas pantai Sumatera, sekitar 50 km barat laut Kota Padang.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

B. Data dan Peralatan

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

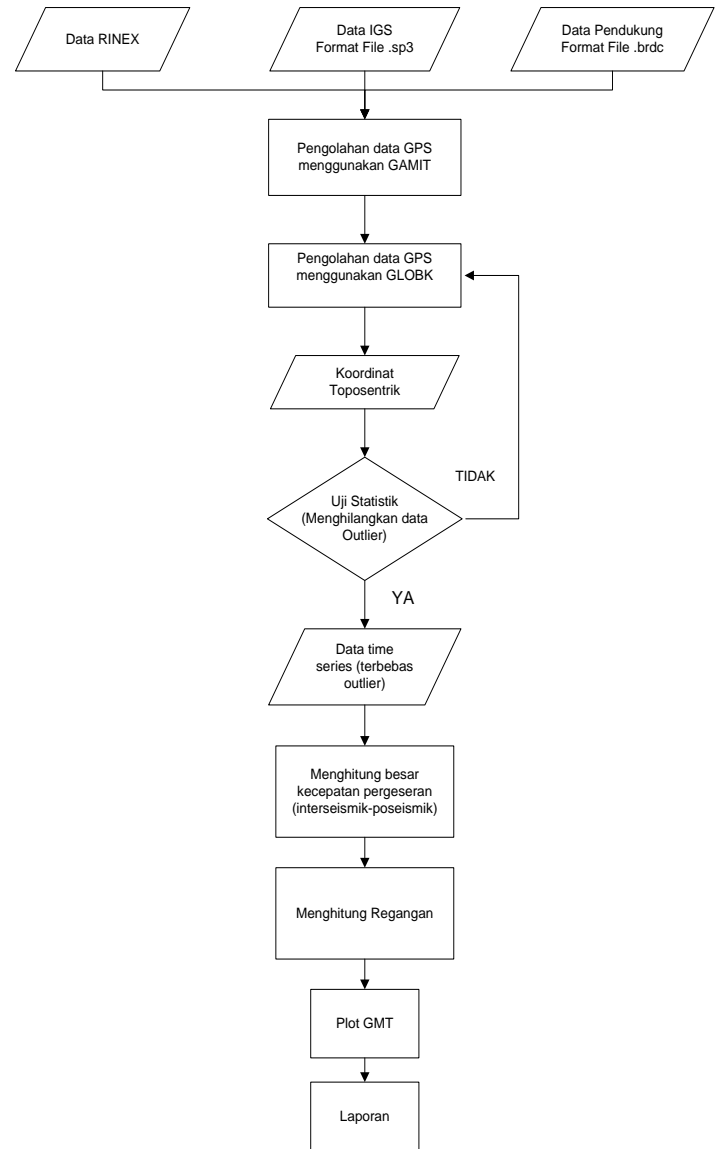
- a. Data *RINEX*.
Data pengamatan GPS berupa data RINEX pada bulan agustus sampai dengan bulan desember tahun 2009 sebanyak 136 DOY (DOY 229 sampai dengan DOY 365), data tersimpan dalam format RINEX. Data GPS bersumber dari hasil pemantauan *online*.
- b. 3 titik ikat GPS *International GNSS Service* (IGS) yaitu :
 - XMIS (-1696343.6790 ; 6039590.1166)
 - COCO (-741949.8528 ; 6190961.6634)
 - KARR (-2713832.1550 ; 5303935.1870)
- c. Data pendukung GAMIT/GLOBK yaitu :
 - Data pemodelan atmosfer (atmdisp_cm.2009)
 - Data pemodelan pasang-surut laut (otl_FES2004.grid)
 - Data pemodelan cuaca (vmf1grd.2009)

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Perangkat Keras (Hardware)
 - Stasiun GPS *online*
- b. Perangkat Lunak (software)
 - Software GAMIT/GLOBK.
 - Software GMT

C. Metode Penelitian

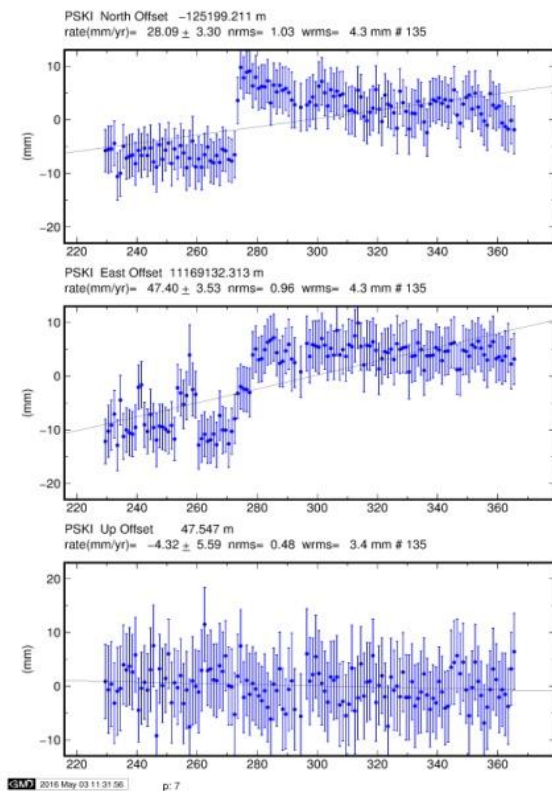


Gambar 2. Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN ANALISA

A. Deret waktu seluruh fase

Hasil pengolahan GAMIT/GLOBK adalah deret waktu seluruh data GPS yang dikombinasi. Hasil plot *time series* yang ditampilkan pada jurnal ini adalah hasil *plot* pada seluruh fase salah satu stasiun SuGAr (PSKI) pada gempa Sumatera Barat tanggal 30 september 2009 dimulai pada DOY 229 sampai dengan DOY 365 dari hasil pengolahan pada *software* GAMIT/GLOBK. Pada masing-masing stasiun terdapat tiga grafik yang menggambarkan kondisi posisi stasiun GPS (sumbu-Y) pada tiga sumbu koordinat GPS *easting* (E), *northing* (N) dan *up* (U) dalam satuan DoY (sumbu-X).



Gambar 3. Deret waktu seluruh fase stasiun SuGAR PSKI

Hasil *plot time series* tersebut terdapat nilai Offset, rate (mm/yr), nilai *n rms (normalized root mean square)* dan nilai *w rms (weighted root mean square)* setiap stasiun yang diamati.

B. Nilai Pergeseran

Nilai pergeseran diperoleh dengan menghitung selisih rata-rata dari data sebelum gempa dan setelah gempa terjadi. Setelah diperoleh nilai pergeserannya maka selanjutnya dihitung resultan dari pergeseran tersebut untuk melihat besar pergeserannya. Berikut data hasil nilai pergeseran yang didapat dari data *time series*.

Nilai Pergeseran Horizontal

a. Interseismik

Tabel 1. Hasil nilai pergeseran interseismik

Stasiun	dE (m)	dN (m)	Pergeseran Horizontal (m)
PSKI	0,0001000	-0,0000200	0,0001020
SLBU	-0,0001300	-0,0000400	0,0001360
TIKU	0,0000700	-0,0000700	0,0000990
KTET	-0,0000100	-0,0000600	0,0000608
PKRT	-0,0000300	-0,0000600	0,0000671
NGNG	0,0000050	0,0000500	0,0000502
TLLU	0,0000009	0,0000300	0,0000300
MSAI	0,0000600	-0,0000014	0,0000600

Untuk menghitung nilai pergeseran horizontal pada fase interseismik, digunakan data sebanyak 44 DOY dimulai pada tanggal 17 agustus 2009 sampai dengan 29 september 2009. Hasil nilai pergeseran yang didapat pada tabel 1 menunjukkan besar nilai pergeseran dalam waktu 1.5 bulan pengamatan (fase interseismik) atau 44 DOY pengamatan.

Hasil nilai pergeseran horizontal pada fase interseismik menunjukkan besar pergeseran tertinggi sebesar 0.0001360 m pada stasiun SLBU dan besar pergeseran terendah sebesar 0.0000300 m pada stasiun TLLU.

b. Koseismik

Tabel 2. Hasil nilai pergeseran koseismik

Stasiun	dE (m)	dN (m)	Pergeseran Horizontal (m)
PSKI	-0,0004120	-0,0004120	0,0005827
SLBU	0,0003600	-0,0002500	0,0004383
TIKU	-0,0003300	0,0000200	0,0003306
KTET	0,0001300	-0,0000600	0,0001432
PKRT	-0,0001300	-0,0004290	0,0004483
NGNG	0,0000500	0,0013833	0,0013842
TLLU	-0,0000600	0,0001000	0,0001166
MSAI	0,0002900	-0,0000200	0,0002907

Hasil nilai pergeseran pada saat terjadi gempa (koseismik) menunjukkan besar pergeseran tertinggi adalah pada stasiun NGNG sebesar 0.0013842 m sedangkan besar pergeseran terendah adalah pada stasiun TLLU sebesar 0.0001166 m.

c. Poseismik

Tabel 3. Hasil nilai pergeseran poseismik

Stasiun	dE (m)	dN (m)	Pergeseran Horizontal (m)
PSKI	0,0000800	-0,0001300	0,0001526
SLBU	0,0000500	-0,0000700	0,0000860
TIKU	0,0000700	-0,0001000	0,0001221
KTET	0,0000300	-0,0000100	0,0000316
PKRT	-0,0000040	-0,0000700	0,0000701
NGNG	-0,0005500	-0,0004300	0,0006981
TLLU	0,0000700	-0,0000100	0,0000707
MSAI	0,0001600	-0,0000300	0,0001628

Untuk menghitung nilai pergeseran horizontal pada fase poseismik, digunakan data sebanyak 92 DOY dimulai pada tanggal 1 oktober 2009 sampai dengan 31 desember 2009. Hasil nilai pergeseran yang didapat pada tabel 3 menunjukkan besar nilai pergeseran dalam waktu 3 bulan pengamatan (fase poseismik) atau 92 DOY pengamatan.

Hasil nilai pergeseran horizontal pada fase poseismik menunjukkan besar pergeseran tertinggi sebesar 0.0006981 m pada stasiun NGNG dan besar pergeseran terendah sebesar 0.0000316 m pada stasiun KTET.

Nilai Pergeseran Vertikal

a. Interseismik

Tabel 4. Hasil nilai pergeseran interseismik

Stasiun	dU (m)
PSKI	-0,0001467
SLBU	0,0000881
TIKU	-0,0001330
KTET	0,0001337
PKRT	0,0000095
NGNG	0,0002560
TLLU	-0,0001623
MSAI	-0,0000495

Nilai pergeseran vertikal terbesar pada fase interseismik pada stasiun NGNG sebesar 0.0002560 m mengarah keatas karena bernilai positif dan pergeseran vertikal terkecil ada pada stasiun PKRT sebesar 0.0000095 m mengarah keatas.

Besar nilai pergeseran vertikal yang didapat pada tabel 4 diatas merupakan besar nilai pergeseran selama waktu 1.5 bulan pengamatan waktu interseismik.

b. Poseismik

Tabel 5. Hasil nilai pergeseran poseismik

Stasiun	dU (m)
PSKI	-0,0001294
SLBU	-0,0000198
TIKU	-0,0000248
KTET	-0,0000481
PKRT	0,0000143
NGNG	0,0009467
TLLU	0,0000143
MSAI	0,0000654

Nilai pergeseran vertikal terbesar pada fase poseismik pada stasiun SuGAR NGNG sebesar 0.0009467 m mengarah keatas karena bernilai positif dan pergeseran vertikal terkecil ada pada stasiun SuGAR PKRT dan TLLU sebesar 0.0000143 m mengarah keatas.

Besar nilai pergeseran vertikal yang didapat pada tabel 5 diatas merupakan besar nilai pergeseran selama waktu 3 bulan pengamatan waktu poseismik.

C. Kecepatan Pergeseran

Kecepatan pergeseran adalah besaran yang menyatakan perubahan suatu titik pantau dalam selang waktu tertentu sehingga bisa menjadi indikator terjadinya deformasi di daerah pengamatan. Sistem koordinat toposentrik lokal dipilih sebagai format data yang dipakai dalam proses hitungan *linier fit* untuk menghitung pola dan kecepatan pergeseran.

Hasil kecepatan pergeseran ditunjukkan tabel 6 sampai dengan tabel 9.

Kecepatan Pergeseran Horizontal

a. Interseismik

Tabel 6. Hasil kecepatan pergeseran interseismik

Stasiun	Ve (m/1.5 bulan)	Vn (m/1.5 bulan)	Kecepatan Horizontal (m/1.5 bulan)	sd_E (m)	sd_N (m)
PSKI	-0,00356	0,00094	0,00368	0,00003	0,00002
SLBU	-0,01002	0,00326	0,01054	0,00003	0,00002
TIKU	0,00207	0,00224	0,00305	0,00003	0,00002
KTET	-0,00808	-0,00165	0,00825	0,00004	0,00002
PKRT	-0,00384	0,00336	0,00510	0,00003	0,00002
NGNG	0,00611	-0,01224	0,01368	0,00005	0,00003
TLLU	-0,00418	-0,00329	0,00532	0,00002	0,00002
MSAI	-0,00283	0,00169	0,00330	0,00003	0,00001

Untuk menghitung kecepatan pergeseran horizontal pada fase interseismik, digunakan data sebanyak 44 DOY dimulai pada tanggal 17 agustus 2009 sampai dengan 29 september 2009.

Dari tabel hasil kecepatan pergeseran diatas didapat nilai kecepatan pergeseran tertinggi pada stasiun NGNG sebesar 0.01368 m/1.5 bln dan nilai kecepatan pergeseran terkecil pada stasiun TIKU sebesar 0.00305 m/1.5 bln. Hasil kecepatan pergeseran pada tabel 6 diatas menunjukkan nilai kecepatan pergeseran selama 1.5 bulan waktu pengamatan fase interseismik.

b. Poseismik

Tabel 7. Hasil kecepatan pergeseran poseismik

Stasiun	Ve (m/3 bulan)	Vn (m/3 bulan)	Kecepatan Horizontal (m/3 bulan)	sd_E (m)	sd_N (m)
PSKI	-0,00269	0,00038	0,00272	0,00001	0,00001
SLBU	-0,00225	0,00019	0,00226	0,00001	0,00001
TIKU	-0,00284	0,00008	0,00284	0,00001	0,00001
KTET	-0,00121	0,00011	0,00122	0,00001	0,00001
PKRT	-0,00207	-0,00023	0,00208	0,00001	0,00001
NGNG	-0,20742	-0,11505	0,23719	0,00051	0,00022
TLLU	-0,00097	0,00180	0,00205	0,00001	0,00001
MSAI	-0,00191	-0,00035	0,00194	0,00001	0,00001

Untuk menghitung kecepatan pergeseran horizontal pada fase poseismik, digunakan data sebanyak 92 DOY dimulai pada tanggal 1 oktober 2009 sampai dengan 31 desember 2009.

Dari tabel hasil kecepatan pergeseran diatas didapat nilai kecepatan pergeseran tertinggi pada stasiun NGNG sebesar 0.23719 m/3 bln dan nilai kecepatan pergeseran terkecil pada stasiun KTET sebesar 0.00226 m/3 bln. Hasil kecepatan pergeseran pada tabel 7 diatas menunjukkan nilai kecepatan pergeseran selama 3 bulan waktu pengamatan fase interseismik.

Kecepatan Pergeseran Vertikal

c. Interseismik

Tabel 8. Hasil kecepatan pergeseran interseismik

Stasiun	V _u (m/1.5 bulan)	sd_U (m)
PSKI	-0,00465	0,00004
SLBU	0,01073	0,00003
TIKU	-0,00338	0,00005
KTET	0,00491	0,00004
PKRT	0,00333	0,00005
NGNG	0,00701	0,00008
TLLU	0,00263	0,00005
MSAI	0,00318	0,00003

Untuk menghitung kecepatan pergeseran vertikal pada fase interseismik, digunakan data sebanyak 44 DOY dimulai pada tanggal 17 agustus 2009 sampai dengan 29 september 2009.

Dari tabel hasil kecepatan pergeseran vertikal diatas didapat nilai kecepatan pergeseran tertinggi pada stasiun SLBU sebesar 0.01073 m/1.5 bln dan nilai kecepatan pergeseran terkecil pada stasiun TLLU sebesar 0.00263 m/1.5 bln. Nilai positif menunjukkan kecepatan pergeseran mengarah keatas dan nilai negatif mengarah kebawah. Hasil kecepatan pergeseran pada tabel 8 diatas menunjukkan nilai kecepatan pergeseran selama 1.5 bulan waktu pengamatan fase interseismik.

d. Poseismik

Tabel 7. Hasil kecepatan pergeseran poseismik

Stasiun	V _u (m/3 bulan)	sd_U (m)
PSKI	0,00028	0,00002
SLBU	0,00134	0,00002
TIKU	0,00092	0,00002
KTET	0,00121	0,00002
PKRT	0,00137	0,00002
NGNG	0,54010	0,00117
TLLU	0,00120	0,00002
MSAI	0,00114	0,00003

Untuk menghitung kecepatan pergeseran vertikal pada fase poseismik, digunakan data sebanyak 92 DOY dimulai pada tanggal 1 oktober 2009 sampai dengan 31 desember 2009.

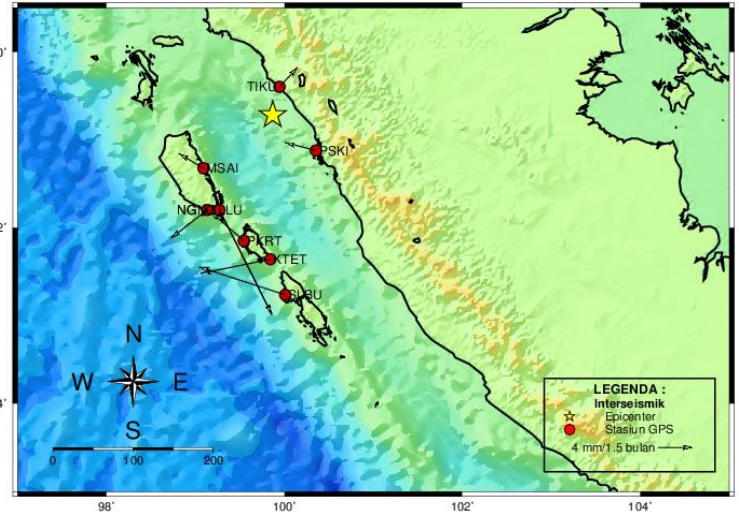
Dari tabel hasil kecepatan pergeseran diatas didapat nilai kecepatan pergeseran tertinggi pada stasiun NGNG sebesar 0.54010 m/3 bln dan nilai kecepatan pergeseran terkecil pada stasiun PSKI sebesar 0.00028 m/3 bln. Nilai positif menunjukkan kecepatan pergeseran mengarah keatas dan nilai negatif mengarah kebawah. Hasil kecepatan pergeseran pada tabel 7 diatas menunjukkan nilai kecepatan pergeseran selama 3 bulan waktu pengamatan fase interseismik.

Arah kecepatan Pergeseran

Arah dan kecepatan pergeseran horizontal terfokus pada jarak dari nilai pergeseran yang diolah. Nilai pergeseran tersebut dapat bernilai *minus* (-) atau *plus* (+) yang dapat mempengaruhi dari arah pergeseran. Hasil arah dan kecepatan ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.

Horizontal

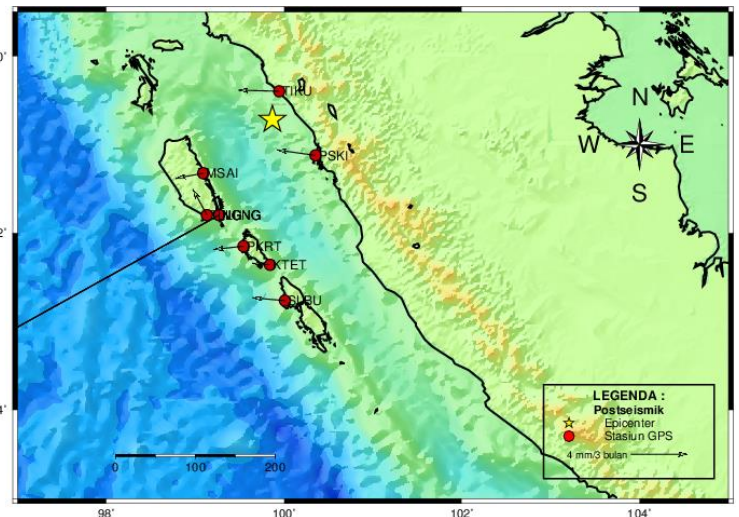
a. Interseismik



Gambar 4. Hasil plot kecepatan pergeseran interseismik

Dari hasil plot kecepatan pergeseran diatas, arah kecepatan pergeseran pada fase interseismik stasiun SuGAR rata-rata ke arah barat dengan kecepatan pergeseran terbesar adalah pada stasiun NGNG.

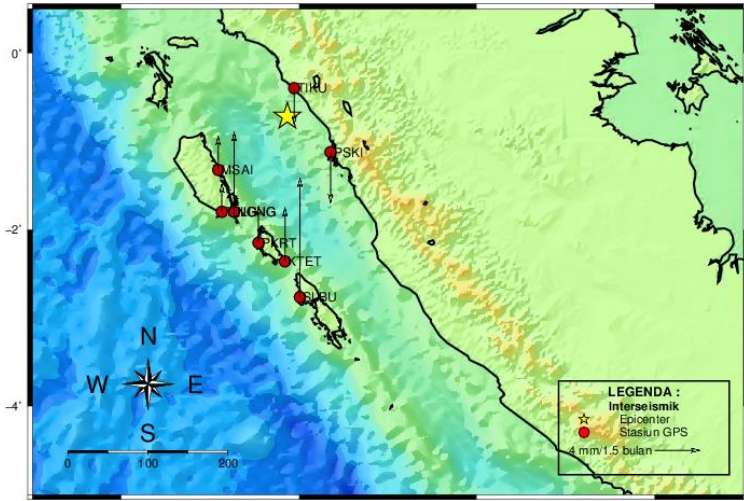
b. Poseismik



Gambar 5. Hasil plot kecepatan pergeseran poseismik

Dari plot diatas, arah kecepatan pergeseran pada fase poseismik stasiun SuGAR rata-rata berarah ke barat dengan kecepatan pergeseran terbesar adalah pada stasiun NGNG.

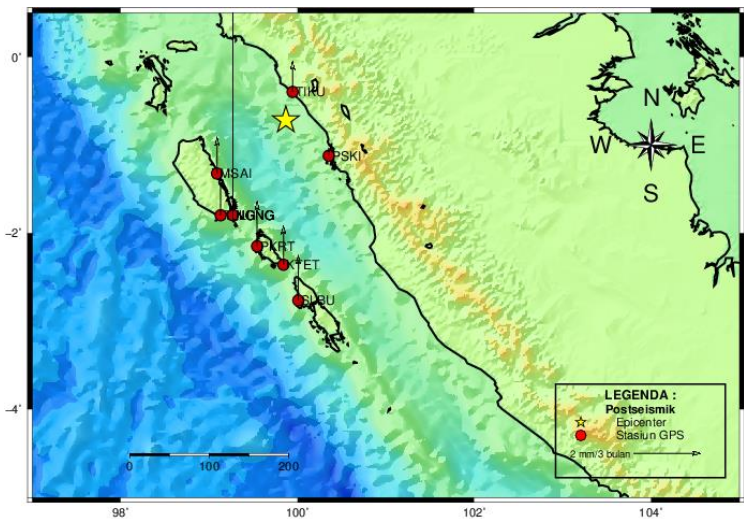
Vertikal
c. Interseismik



Gambar 4. Hasil plot kecepatan pergeseran interseismik

Hasil plot kecepatan pergeseran diatas, arah kecepatan pergeseran vertikal pada fase interseismik stasiun SuGAR rata-rata bernilai positif dengan kecepatan pergeseran terbesar adalah pada stasiun SLBU. Dua stasiun terdekat dengan pusat gempa yaitu TIKU dan PSKI bernilai negatif. Meskipun ditampilkan dalam diagram mata angin, tetapi arah arah kecepatan pergeseran pada gambar-gambar tersebut menunjukkan pergeseran stasiun GPS SuGAR di sumbu vertikal.

d. Poseismik



Gambar 5. Hasil plot kecepatan pergeseran poseismik

Hasil plot kecepatan pergeseran diatas, arah kecepatan pergeseran vertikal pada fase poseismik seluruh stasiun SuGAR bernilai positif dengan kecepatan pergeseran terbesar adalah pada stasiun NGNG.

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Melalui pengamatan GPS secara kontinu dengan menggunakan *software* pengolah data GPS ilmiah,

GAMIT/GLOBK, didapatkan kecepatan pergeseran horizontal dan vertikal titik stasiun SuGAR pada tiap fase gempa (interseismik dan poseismik). Pada fase sebelum gempa (interseismik) kecepatan pergeseran horizontal terbesar ada pada titik stasiun NGNG sebesar 0.01368 m/1.5 bln dan terendah adalah titik stasiun TIKU sebesar 0.00305 m/1.5 bln. Pada fase setelah gempa (fase poseismik) didapat nilai kecepatan pergeseran tertinggi pada stasiun NGNG sebesar 0.23719 m/3 bln dan nilai kecepatan pergeseran terkecil pada stasiun KTET sebesar 0.00226 m/3 bln.

2. Kecepatan pergeseran vertikal pada fase interseismik terbesar ada pada titik stasiun SLBU sebesar 0.01073 m/1.5 bln dengan arah *Up-lift* dan terendah adalah titik stasiun TLLU sebesar 0.00263 m/1.5 bln juga dengan arah *Up-lift*. Pada fase setelah gempa (fase poseismik) didapat nilai kecepatan pergeseran tertinggi pada stasiun NGNG sebesar 0.54010 m/3 bln dengan arah *Up-lift* dan nilai kecepatan pergeseran terkecil pada stasiun PSKI sebesar 0.00028 m/3 bln dengan *Up-lift*.
3. Adanya perubahan arah pada fase interseismik dan poseismik, arah kecepatan horisontal sebelum gempa menunjukkan arah barat laut sedangkan pada fase poseismik, arah kecepatan seluruh stasiun menunjukkan arah barat.
4. Semakin jauh stasiun terhadap pusat gempa, dampak perubahan pergeseran vertikal akan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abidin, Hasanuddin Z. 2009. "Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS." *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 4 No.4 Desember 275-284.
- [2] Bock, Y. Prawirodirjo, L. & Genrich, J (2000). One century of tectonic deformation along the Sumatran fault from triangulation and Global Positioning System surveys. *Journal Geophys. Res. Solid Earth* 105, 28343-28361
- [3] Prawirodirjo. 2000. *Accommodated the subduction of Indo-Australian plate through Eurasian Plate*
- [4] USGS. *Tectonic*. 27 Januari 2016. <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/slabs.html>