

ANALISIS DEFORMASI POSTSEISMIK GEMPA NIAS 2005 MENGUNAKAN DATA GPS

Ika Nurdianasari, Moehammad Awaluddin, Fauzi Janu Amarrohman^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : ikanurdisa@gmail.com

ABSTRAK

Pulau Sumatera merupakan wilayah yang terletak pada pertemuan dua lempeng, yaitu Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Sumatera merupakan pulau di Indonesia yang memiliki potensi gempa bumi yang cukup besar. Gempa Bumi Sumatera 2005 terjadi pada pukul 23.09 WIB pada 28 Maret 2005 dengan kekuatan magnitude sebesar 8,7. Pusat gempanya berada di 2° 04' 35" LU 97° 00' 58" BT, 30 km di bawah permukaan Samudra Hindia. Sebagai salah satu bentuk langkah dalam mitigasi bencana bagi masyarakat di zona gempa, pengamatan aktivitas geodinamika saat ini dibutuhkan untuk pembuatan model potensi gempa bumi.

Penelitian ini menggunakan data pengamatan stasiun SuGAR sebanyak sembilan stasiun yaitu, ABGS, BSIM, LEWK, LHWA, MSAI, NGNG, PBAI, PSKI, dan PSMK dengan data pengamatan selama 1 tahun (365 DOY) dimulai dari sehari setelah gempa yaitu Maret tahun 2005 s.d. bulan Maret tahun 2006. Titik ikat IGS yang digunakan yaitu BAKO, COCO, DGAR, HYDE, IISC, dan PIMO. Pengolahan data menggunakan *software* ilmiah GAMIT 10.6. Selanjutnya menghitung koordinat harian stasiun SuGAR dan menganalisis pencocokan pola (*curve fitting*) akibat proses deformasi postseismik gempa Nias 2005.

Hasil koordinat harian menunjukkan besar pergeseran rata-rata stasiun GPS SuGAR akibat proses deformasi postseismik gempa Nias 2005 besar pergeseran secara horizontal sebesar 0.221636 m, sedangkan untuk besar pergeseran secara vertikal memiliki sebesar 0.00643 m. Nilai RMS pada kombinasi IV menunjukkan bahwa parameter-parameter pada kombinasi IV lebih cocok atau mendekati pola deformasi postseismik gempa Nias 2005 dengan hasil koordinat harian. Dari perlakuan empat kombinasi *coseismic and postseismic parameters*, diketahui bahwa parameter *decay amplitude (a)* memiliki pengaruh lebih besar (dominan) dalam pemodelan pola deformasi postseismik.

Kata kunci : Besar pergeseran, *Curve fitting*, Postseismik, SuGAR.

ABSTRACT

Sumatra island is an area located at a meeting of two plates, the Indo-Australian and the Eurasian Plate. Sumatra is an island in Indonesia that has the potential of a large earthquake. Sumatra Earthquake 2005 occurred at 23:09 pm on March 28, 2005 with a magnitude of 8.7. The earthquake center is at 2 ° 04 '35 "LU 97 ° 00' 58" BT, 30 km beneath the surface of the Indian Ocean. As one form of a step in disaster mitigation for communities in earthquake zones, observation of current geodynamic activity is required for modeling earthquake potential.

This research uses observation data of SuGAR station as many as nine stations, namely, ABGS, BSIM, LEWK, LHWA, MSAI, NGNG, PBAI, PSKI, and PSMK with 1 year observation data (365 DOY) starting from one day after the earthquake of March 2005 s.d. March of 2006. The IGS bonding points used are BAKO, COCO, DGAR, HYDE, IISC, and PIMO. Data processing using scientific software GAMIT 10.6. It then calculates the daily coordinates of the SuGAR station and analyzes the pattern matching (curve fitting) due to the postseismic deformation process of the 2005 Nias earthquake.

The result of daily coordinate shows that the average shift of the average of SuGAR GPS station due to the post-earthquake deformation process of Nias 2005 earthquake is large horizontal shift of 0.221636 m, while for the vertical shift has 0.00643 m. The RMS value in combination IV indicates that the parameters in combination IV are more suitable or close to the post-earthquake post-earthquake deformation pattern of Nias 2005 with the result of daily coordinates. From the treatment of four combinations of coseismic and postseismic parameters, it is known that the parameter decay amplitude (a) has a greater (dominant) influence in the modeling of the postseismic deformation pattern.

Key Words : *Curve fitting, Large shifting, Postseismik, SuGAR.*

^{*)} Penulis, Penanggung Jawab jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Pulau Sumatera merupakan wilayah yang terletak pada pertemuan dua lempeng, yaitu Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia bergerak dengan arah utara-timur laut dan mempunyai kecepatan sekitar 60 mm/tahun (Natawidjaja, 2007). Sumatera merupakan pulau di Indonesia yang memiliki potensi gempa bumi yang cukup besar, tercatat sering kali terjadi gempa bumi di pulau Sumatera bahkan sering diiringi dengan gelombang tsunami akibat lokasi sumber gempa yang terlalu dekat dengan wilayah daratan dan besarnya kekuatan gempa yang terjadi. Zona subduksi Sumatra adalah jalur gempa bumi yang paling banyak menyerap dan mengeluarkan energi gempa bumi. Dalam sejarah, tercatat sudah banyak Gempa bumi yang terjadi dengan magnitudo (skala Richter dll) diatas 8 (Natawidjaja, 2007 dalam Puspita, 2015).

Gempa Bumi Sumatera 2005 terjadi pada pukul 23.09 WIB pada 28 Maret 2005 dengan kekuatan magnitudo sebesar 8,7. Pusat gempanya berada di 2° 04' 35" LU 97° 00' 58" BT, 30 km di bawah permukaan Samudra Hindia, 200 km sebelah barat Sibolga, Sumatera atau 1400 km barat laut Jakarta, sekitar setengah jarak antara pulau Nias dan Simeulue. Getarannya terasa hingga Bangkok, Thailand, sekitar 1.000 km jauhnya, gempa ini merupakan gempa Bumi terbesar kedua di dunia sejak tahun 1964.

Gempa susulannya masih dirasakan oleh masyarakat Pulau Nias hingga April 2005 dengan skala intensitas III – IV MMI (*Modified Mercally Intensity*) dan sebarannya berarah barat laut – tenggara (NW – SE). Frekuensi gempa susulan yang menurun, baik jumlah maupun besarnya, merupakan petunjuk bahwa blok batuan yang telah terpatahkan yang menjadi penyebab gempa, sedang menuju proses keseimbangan. Pada suatu kejadian gempa, apalagi dengan besaran yang tinggi, akan terbentuk zona pecah (*rupture zone*) di sekitar pusat gempa. Zona pecah merupakan suatu area yang masih belum stabil setelah pelepasan energi, sehingga masih berpotensi bergerak hingga sumber gempa mencapai fase keseimbangan. Zona pecah diperlukan untuk mengetahui karakteristik sumber gempa guna penyusunan peta bahaya gempabumi (*seismic hazard*) dan juga dapat dipergunakan untuk pemodelan tsunami.

Sebagai salah satu bentuk langkah dalam mitigasi bencana bagi masyarakat di zona gempa, pengamatan aktivitas geodinamika saat ini dibutuhkan untuk pembuatan model potensi gempa bumi. Melalui pemantauan GPS kontinu dapat diketahui pergerakan deformasi yang terjadi pasca gempa (postseismik).

Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan deformasi postseismik akibat gempa Nias 2005 menggunakan metode pengamatan GPS dengan memakai data dari beberapa stasiun SuGAR (*Sumatran GPS Array*) yang tersebar di sepanjang pulau Sumatera secara kontinu. Selanjutnya dari data

deformasi tersebut, akan digunakan dalam menghitung dan menganalisis pergeseran stasiun GPS SuGAR akibat proses postseismik gempa Nias 2005.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapakah nilai koordinat harian stasiun GPS SuGAR akibat proses postseismik gempa Nias 2005?
2. Bagaimana hasil pencocokan pola (*curve fitting*) deformasi postseismik berdasarkan hasil koordinat harian?

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Menghitung nilai koordinat harian stasiun GPS SuGAR akibat proses postseismik gempa Nias 2005.
2. Menganalisis hasil pencocokan pola (*curve fitting*) deformasi postseismik berdasarkan hasil koordinat harian.

I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data primer yang digunakan dalam penekirian ini adalah data stasiun SuGAR (*Sumatran GPS Array*) dari bulan Maret tahun 2005 s.d Maret 2006 dengan sembilan stasiun pengamatan SuGAR, data pengamatan stasiun IGS berjumlah enam buah stasiun dengan doy yang sama dengan data stasiun SuGAR.
2. Data sekunder yang digunakan adalah data *Coseismic and Postseismic Parameters* untuk gempa Nias pada 28 Maret 2005 yang didapatkan dari jurnal penelitian terdahulu.
3. Data stasiun SuGAR yang digunakan pada penelitian ini meliputi stasiun ABGS, BSIM, LEWK, LHWA, MSAI, NGNG, PBAI, PSKI, dan PSMK.
4. Data stasiun IGS yang digunakan pada penelitian ini meliputi stasiun BAKO, COCO, DGAR, HYDE, IISC, dan PIMO.
5. Data pengamatan GPS SuGAR yang digunakan adalah data doy (*day of years*) selama satu tahun (365 hari) setelah gempa Nias 28 Maret 2005.
6. Pengolahan data GPS menggunakan *software* GAMIT 10.6.
7. Perhitungan koordinat harian stasiun SuGAR akibat proses postseismik gempa Nias 2005.
8. Analisis pencocokan pola (*curve fitting*) deformasi postseismik berdasarkan hasil koordinat harian.

I.5. Metodologi Penelitian

Penjelasan singkat mengenai metodologi penelitian yang diterapkan.

1. Studi literatur mengenai semua informasi yang terkait dengan penyusunan penelitian Tugas Akhir.

2. Persiapan peralatan baik *hardware* maupun *software*.
3. Pengadaan data primer dan sekunder dengan *download* data pengamatan GPS stasiun SuGAR dan IGS serta mempersiapkan data *Coseismic and Postseismic Parameters* gempa Nias 28 Maret 2005.
4. Melakukan proses pengolahan data menggunakan *Scientific Software* GAMIT 10.6 untuk mendapatkan hasil koordinat Geosentrik harian.
5. Melakukan transformasi koordinat dari koordinat Geosentrik menjadi koordinat Toposentrik dengan origin lokal menggunakan masing-masing stasiun SuGAR pada data pengamatan pertama.
6. Menghitung besar pergeseran tiap komponen (n,e,u) pada masing-masing stasiun SuGAR.
7. Menghitung nilai RMS dan standar deviasi besar pergeseran tiap komponen (n,e,u) pada masing-masing stasiun SuGAR.
8. Melakukan perhitungan berulang menggunakan empat kombinasi *Coseismic and Parameters* gempa Nias 28 Maret 2005 untuk mendapatkan solusi hasil RMS dan standar deviasi yang.
9. Melakukan pencocokan pola (*curve fitting*) dari hasil solusi kombinasi.
10. Analisis hasil pencocokan pola (*curve fitting*) deformasi postseismik berdasarkan hasil koordinat harian.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Postseismik

Postseismik adalah tahapan setelah gempa utama terjadi dimana sisa-sisa energi dilepaskan secara perlahan dalam kurun waktu yang lama (biasanya bersifat aseismik) namun tetap menghasilkan deformasi secara permanen mencapai orde meter untuk gempa berkekuatan besar.

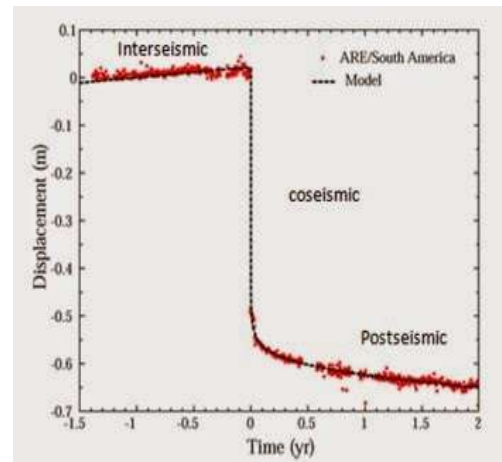
II.2. Studi Geodinamika

Berdasarkan pengamatan secara teliti posisi titik-titik dalam suatu jaring secara kontinu ataupun berkala, GPS juga telah banyak digunakan untuk mempelajari dinamika bumi (geodinamika) seperti yang berkaitan dengan pergerakan sesar-sesar maupun lempeng-lempeng benua, yang selanjutnya digunakan untuk memprediksi terjadinya gempa bumi maupun letusan gunung berapi (Sato dan Shimada, 1993; Shimada dan Imakiire, 1993; Segall dan Davis, 1997 dalam Abidin, 2007).

II.3. Gempa Bumi

Gempa bumi mempunyai sifat berulang. Suatu Gempa bumi yang terjadi di suatu daerah akan terjadi lagi di masa yang akan datang dalam periode waktu tertentu. Istilah perulangan Gempa bumi ini dinamakan siklus Gempa bumi. Satu periode siklus gempa bumi ini biasanya berlangsung dalam kurun waktu puluhan sampai ratusan tahun (Shimazaki dan

Nakata dalam Awaluddin, 2010). Secara garis besar, siklus seismik dibagi dalam tiga fase yaitu: *interseismic*, *coseismic*, dan *postseismic*. Berikut gambar siklus seismik pada gempa bumi.



Gambar 1 Siklus gempa bumi (Perfettini, 2004 dalam Yuzariyadi, 2015)

II.4. Aktivitas Seismik di Sekitar Pulau Nias

II.4.1 Aktivitas Seismik Sebelum Tahun 2000

Zona subduksi Sumatra itu merupakan jalur gempa bumi yang paling banyak menyerap energi pergerakan lempeng, karenanya paling sering menghasilkan gempa-gempa besar. Di masa lampau sudah banyak gempa bumi yang terjadi dengan magnitudo (e.g. skala Richter) di atas 8. Di selatan khatulistiwa, gempa besar pernah terjadi tahun 1833 (M 8,9) dan pada tahun 1797 (M 8,5-8,7). Kedua gempa ini menghasilkan tsunami besar yang menghantam perairan Sumatra barat dan Bengkulu.

Di khatulistiwa, gempa besar terakhir terjadi tahun 1935 dengan kekuatan gempa M 7,7. Gempa ini menyebabkan kerusakan yang cukup parah di Telo, kota Kecamatan di Kepulauan Batu dan wilayah sekitarnya. Di beberapa tempat di Kepulauan Batu dilaporkan adanya kenaikan air laut ketika gempa, namun tidak dilaporkan adanya kerusakan serius akibat gelombang laut yang naik. Di utara khatulistiwa, gempa dan tsunami besar pernah terjadi di wilayah Nias-Simeulue tahun 1861. Gempa tahun 1861 ini diperkirakan berkekuatan lebih dari 8,5 skala magnitudo.

Pada tahun 1907 terjadi lagi bencana tsunami besar di wilayah Simeulue dan Nias. Meskipun gempa yang menyebabkan tsunami 1907 ini tidak terlalu besar (M 7,6), namun tinggi tsunami yang terjadi di pantai barat dan utara Simeulue mencapai lebih dari 10 m atau dua kali lebih besar dari tsunami Aceh di wilayah ini.

II.4.2. Aktivitas Seismik Setelah Tahun 2000

Sejak 11 tahun terakhir, zona subduksi Sumatra menghasilkan rentetan gempa-gempa besar yang memakan banyak korban dan harta benda. Mulai dari gempa besar tahun 2000 di Bengkulu

(Abercrombie, 2002 dalam Natawidjaja, 2007), disusul gempa tahun 2002 di Simeulue, kemudian terjadi gempa dan tsunami Aceh yang dahsyat tahun 2004 yang melanda seluruh wilayah Laut Andaman, termasuk Nanggroe Aceh Darussalam (NAD). Sejak itu, zona subduksi Sumatra seperti tidak henti-hentinya menggetarkan wilayah Sumatra sampai sekarang. Gempa Nias-Simeulue meledak pada bulan Maret 2005, hanya tiga bulan setelah gempa Aceh. Dua tahun kemudian, gempa besar Bengkulu terjadi bulan September 2007 mengoyak wilayah Bengkulu sampai ke Selatan Kepulauan Mentawai. Terakhir, pada bulan Oktober 2010, gempa Mentawai kembali menggoncang wilayah Pagai disertai tsunami dahsyat yang menelan sekitar 500 jiwa penduduk.

II.5. Besar Pergeseran dan Curve Fitting dengan Kombinasi Coseismic and Postseismic Parameters

Gempa bumi dianggap terjadi di zona penguatan kecepatan. Oleh karena itu, area di sekitar zona ini mendapatkan tekanan akibat gempa bumi. *Afterslip* diinterpretasikan sebagai hasil dari relaksasi tegangan di dalam zona penguatan kecepatan, yang diikuti fungsi logaritmik (Marone *et al.*, 1991 dalam Kreemer *et al.*, 2006).

$$u(t) = c + a \ln(1 + (t/\tau \log)) \dots \dots \dots (II.1)$$

Dengan $u(t)$ merupakan besar pergeseran postseismik (meter), c merupakan *coseismic offset*, a merupakan *decay amplitude*, t merupakan waktu yang berjalan setelah *main shock* yaitu waktu berlangsungnya postseismik (hari), dan $\tau \log$ yang merupakan nilai parameter model *fitting* dalam satuan hari (Kreemer *et al.*, 2006).

III. Metodologi Penelitian

III.1. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan adalah:

1. Laptop Acer dengan spesifikasi *processor Intel Core i5 4210U up to 2.7Ghz*, RAM 4 GB, *Harddisk* 500 GB.
2. *Harddisk* WD 4T untuk media penyimpanan dan transfer data.

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan meliputi:

1. Sistem Operasi Windows 8.1 untuk media Microsoft Office.
2. Sistem Operasi Linux Ubuntu 17.04 LTS untuk media penginstalan dan pengolahan GAMIT/GLOBK.
3. GAMIT/GLOBK versi 10.6, digunakan dalam pemrosesan/ pengolahan data RINEX.
4. Microsoft Office 2007, sebagai perangkat pengolah kata dan angka.
5. *Software Rinex Converter*, digunakan untuk konversi data hasil *download* rinex yang masih berformat hatanaka menjadi data observasi.

6. *Software Adjust*, sebagai perangkat lunak keperluan transformasi koordinat.

III.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Data pengamatan stasiun GPS SuGAR yang berjumlah sembilan stasiun. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data satu tahun setelah terjadinya gempa Nias pada 28 Maret 2005 yaitu mulai DOY ke-88 tahun 2005 sampai DOY ke-87 tahun 2006. Data SuGAR dapat *download* pada situs <http://garner.ucsd.edu/>, dimana data yang diperoleh adalah data dalam format hatanaka yang terkompres (*zip*). Ketersediaan data masing-masing stasiun SuGAR dalam satu tahun penelitian dilihat pada Tabel 1.

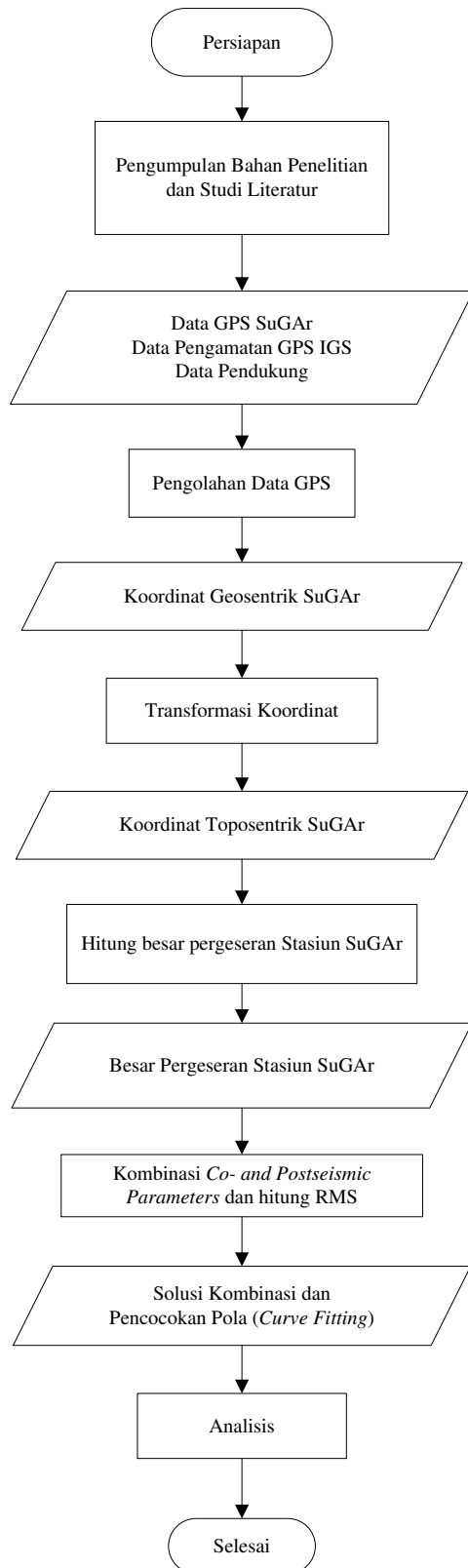
Tabel 1 Jumlah Ketersediaan Data Pengamatan Stasiun SuGAR

No.	STA	Jumlah Ketersediaan Data (DOY)
1	ABGS	37
2	BSIM	97
3	LEWK	245
4	LHWA	284
5	MSAI	201
6	NGNG	57
7	PBAI	322
8	PSKI	316
9	PSMK	206

2. Data pengamatan dari stasiun IGS. Data ini berupa pengamatan stasiun IGS yang berjumlah enam stasiun, yaitu BAKO, COCO, DGAR, HYDE, IISC, dan PIMO. Data diperoleh dengan mengunduh dari situs, <http://garner.ucsd.edu/>, data tersebut dipilih sesuai dengan tanggal data pengamatan GPS dalam bentuk data observasi.
3. Data *Coseismic and Postseismic Parameters* gempa nias 28 Maret 2005 yang diperoleh dari penelitian terdahulu pada jurnal *Geophysical Research Letters* tahun 2006.

III.3. Pelaksanaan Penelitian

Diagram alir pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Diagram alir pelaksanaan penelitian

III.4. Menghitung Besar Pergeseran dan Curve Fitting Menggunakan Kombinasi Coseismic and Postseismic Parameters

Untuk kombinasi I menggunakan parameter yang berdasarkan dengan penelitian Kreemer pada tahun 2006 tanpa menambah atau mengurangi.

Kombinasi II dilakukan penjumlahan nilai parameter sesuai toleransi masing-masing parameter berdasarkan penelitian tersebut. Kemudian pada kombinasi III dilakukan pengurangan nilai parameter sesuai toleransi masing-masing parameter berdasarkan penelitian tersebut. Sedangkan untuk kombinasi IV tidak dilakukan perubahan pada nilai *coseismic offset* (c) dan nilai *fitting model* ($\tau \log$) tetapi hanya merubah nilai parameter *decay amplitude* (a) secara acak.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Hasil Pengolahan Data Stasiun SuGAR

IV.1.1 Pengolahan GAMIT

Untuk mengetahui informasi pengolahan GAMIT dapat diketahui dari *summary file*. *Summary file* ini terdapat dalam folder DOY pengamatan dengan format *file sh_gamit_<do>.summary*, misalnya *sh_gamit_087.summary*. Informasi yang diperoleh dari *summary file* diantaranya adalah *number of station used* yang berisi banyaknya stasiun GPS yang dilakukan pengolahan. Pengecekan dilakukan dengan mengecek jumlah stasiun GPS hasil pengolahan pada *sh_gamit_summary* sama dengan jumlah stasiun pada awal proses *input data*. Bila jumlah stasiunnya berkurang dari data yang diolah berarti terdapat kesalahan pada RINEX yang digunakan dalam pengolahan. Pada penelitian ini ditemui beberapa kali stasiun SuGAR yang tidak muncul pada *sh_gamit_summary*, hal ini salah satunya dikarenakan waktu *record data* stasiun SuGAR yang tidak *overlay* dengan minimum waktu *record data* yang dibutuhkan oleh *software* GAMIT yaitu 4 jam.

Parameter evaluasi lainnya yang terdapat pada *summary file* adalah nilai ambiguitas fase. Nilai *wade lane* diatas 90% mengindikasikan bahwa pada pengolahan tersebut tidak ada *noise* pada *pseudorange*. Nilai *narrow lane* (NL) diatas 80% mengindikasikan bahwa pada pengolahan tersebut tidak ada kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat *a priori*, atau kondisi atmosfer (Panuntun, 2012 dalam Prayitno, 2015). Pada penelitian ini tidak ditemukan nilai *wade lane* (WL) maupun *narrow lane* (NL) yang berada dibawah nilai standar aman yang ditetapkan.

Selain parameter diatas, masih terdapat parameter evaluasi yang harus dicek pada *file sh_gamit_summary*, yaitu nilai *postfit nrms* dan nilai *prefit nrms*. *Postfit nrms* adalah nilai perbandingan antara nilai akar kuadrat *chi-square* dan nilai *degree of freedom*. Standar kualitas nilai *postfit nrms* adalah mendekati $\pm 0,25$. Nilai *postfit* tidak memiliki satuan.

IV.1.2. Pengolahan GLOBK

Untuk mendapatkan koordinat stasiun SuGAR dilakukan proses pengolahan terakhir yaitu menggunakan GLOBK, dimana hasil pengolahan GLOBK berupa *file* dengan format *.org. Dalam *file*

ini berisikan koordinat stasiun pengamatan tiap DOY dengan format nama *file* globk_<nama project>_<dua digit terakhir tahun><DOY>. Pada *file* ini hasil koordinat yang ditampilkan adalah koordinat geosentrik (X, Y, Z) dan koordinat toposentrik global (N, E, U) beserta simpangan bakunya.

IV.1.3. Transformasi Koordinat Geosentrik Toposentrik

Transformasi koordinat hasil pengolahan GAMIT ke sistem koordinat toposentrik dilakukan untuk memperlihatkan besarnya pergeseran dari stasiun-stasiun SuGAR. Dalam perhitungan transformasi koordinat toposentrik ini, koordinat pada DOY data pertama pengolahan GAMIT dijadikan sebagai origin untuk mendapatkan koordinat toposentrik lokal.

Hasil transformasi koordinat tersebut menunjukkan besar pergeseran tiap komponen baik komponen horizontal maupun vertikal pada masing-masing stasiun SuGAR. Besar pergeseran stasiun SuGAR dapat dilihat dari hasil transformasi koordinat toposentrik dari titik origin yaitu DOY pertama masing-masing stasiun SuGAR ke titik terakhir yaitu DOY terakhir masing-masing stasiun SuGAR. Besar pergeseran komponen horizontal maupun vertikal hasil transformasi koordinat masing-masing stasiun SuGAR berdasarkan hasil pengolahan GAMIT/GLOBK ditunjukkan pada Tabel IV.2.

Tabel 2 Besar Pergeseran Hasil Transformasi Koordinat masing-masing stasiun SuGAR berdasarkan hasil pengolahan GAMIT/GLOBK

STA	Lat (der)	Long (der)	n (m)	e (m)	u (m)	Up Hor (m)	Up Ver (m)
ABGS	0.220	99.387	-	-	0.003	0.009	0.003
BSIM	2.409	96.326	-	-	-	0.374	-0.010
LEWK	2.923	95.804	-	-	-	0.218	-0.013
LHWA	1.383	97.134	-	-	-	0.830	-0.028
MSAI	-	99.089	0.003	0.011	-	0.011	-0.007
NGNG	-	99.268	0.041	0.126	0.014	0.132	0.014
PBAI	-	98.526	-	0.027	0.003	0.102	0.003
PSKI	-	100.353	0.006	0.026	0.005	0.026	0.005
PSMK	-	97.860	-	-	-	0.288	-0.024

Berdasarkan hasil pergeseran dari transformasi koordinat toposentrik tersebut dapat dilihat bahwa baik komponen horizontal maupun vertikal memiliki arah pergeseran yang bervariasi.

Plotting pergeseran stasiun SuGAR secara horizontal akibat proses postseismik pada tahun 2005-2006 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Plotting pergeseran stasiun SuGAR secara horizontal akibat proses postseismik tahun 2005-2006

Plotting pergeseran stasiun SuGAR secara vertikal akibat proses postseismik pada tahun 2005-2006 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Plotting pergeseran stasiun SuGAR secara vertikal akibat proses postseismik tahun 2005-2006

IV.1.4. Solusi Kombinasi Coseismic and Postseismic Parameters

Solusi untuk pemodelan deformasi postseismik pada penelitian ini diperoleh berdasarkan ketelitian RMS pergeseran stasiun SuGAR berdasarkan hasil kombinasi *coseismic and postseismic parameters*. Tiap kombinasi parameter pada masing-masing stasiun SuGAR dilakukan empat macam kombinasi dan menghasilkan nilai RMS yang beragam pada tiap komponen horizontal maupun komponen vertikal. Untuk menentukan solusi terbaik kombinasi ini dapat dilihat dari hasil ketelitian RMS yang terkecil. Berikut adalah nilai RMS pergeseran komponen horizontal maupun vertikal hasil kombinasi tiap parameter pada masing-masing stasiun SuGAR yang ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 3 Nilai RMS Pergeseran Arah *Northing*

STA	RMS n (m)			
	Kombinasi I	Kombinasi II	Kombinasi III	Kombinasi IV
ABGS	0.058944	0.044823	0.049489	0.041133
BSIM	0.347736	0.325092	0.350376	0.322234
LEWK	0.070869	0.069124	0.067477	0.066236
LHWA	0.293106	0.275909	0.294454	0.273572
MSAI	0.025845	0.025212	0.023983	0.016924
NGNG	0.216535	0.215758	0.198712	0.189444
PBAI	0.038171	0.037992	0.038352	0.0340532
PSKI	0.013496	0.020959	0.013613	0.012711
PSMK	0.216086	0.213773	0.214926	0.2132
Rata-rata	0.142309	0.136515	0.139042	0.129945

Tabel 4 Nilai RMS Pergeseran Arah *Easting*

STA	RMS e (m)			
	Kombinasi I	Kombinasi II	Kombinasi III	Kombinasi IV
ABGS	0.076396	0.07447	0.078325	0.068704
BSIM	0.329497	0.325092	0.333914	0.323993
LEWK	0.089758	0.091142	0.087274	0.085445
LHWA	0.204953	0.193638	0.190075	0.188995
MSAI	0.032617	0.037407	0.042819	0.031532
NGNG	0.432661	0.453587	0.408696	0.404065
PBAI	0.026274	0.025768	0.026788	0.017531
PSKI	0.023379	0.022031	0.023106	0.013757
PSMK	0.065046	0.063996	0.066102	0.033309
Rata-rata	0.142286	0.143014	0.139677	0.129703

Tabel 5 Nilai RMS Pergeseran Arah *Upheight*

STA	RMS u (m)			
	Kombinasi I	Kombinasi II	Kombinasi III	Kombinasi IV
ABGS	0.034595	0.040448	0.028761	0.006724
BSIM	0.098717	0.085416	0.112033	0.016966
LEWK	0.024365	0.016487	0.032511	0.008075
LHWA	0.129428	0.112468	0.135793	0.012836
MSAI	0.019283	0.016549	0.040571	0.007787
NGNG	0.096279	0.145822	0.106637	0.090453
PBAI	0.011808	0.014323	0.009378	0.004382
PSKI	0.0166	0.014701	0.018525	0.005346
PSMK	0.12442	0.127732	0.121109	0.013515
Rata-rata	0.061722	0.06377213	0.067228	0.018454

Dari hasil empat kombinasi *coseismic and postseismic parameters* yang dilakukan tersebut didapatkan solusi terbaik yang dilihat berdasarkan nilai RMS, yaitu pada kombinasi IV. Nilai RMS pada kombinasi IV menunjukkan bahwa parameter-parameter pada kombinasi IV lebih cocok atau mendekati pola deformasi postseismik gempa Nias 2005 dengan hasil koordinat harian. Berdasarkan hasil solusi tersebut dapat dilakukan pencocokan pola (*curve fitting*) antara hasil koordinat toposentrik harian dengan besar pergeseran hasil parameter kombinasi IV.

Hasil kombinasi tersebut menunjukkan besar pergeseran tiap komponen baik komponen horizontal maupun vertikal pada masing-masing stasiun SuGAR yang berbeda dengan hasil koordinat harian. Pada Tabel 6 dan Tabel 7 dapat dilihat besar pergeseran dan standar deviasi komponen horizontal dan vertikal menggunakan *coseismic and postseismic parameters* kombinasi IV pada masing-masing stasiun SuGAR.

Tabel 6 Besar pergeseran komponen horizontal stasiun SuGAR berdasarkan hasil solusi Kombinasi IV

STA	Up n (m)	Up e (m)	Std n (m)	Std e (m)	Up Hor (m)	Std Hor (m)
ABGS	-0.016	-0.027	0.003	0.005	0.031	0.006
BSIM	-0.303	-0.228	0.064	0.048	0.380	0.080
LEWK	-0.120	-0.158	0.027	0.036	0.198	0.045
LHWA	-0.699	-0.482	0.148	0.102	0.849	0.180
MSAI	0.002	0.035	0.0005	0.007	0.035	0.007
NGNG	0.095	0.204	0.020	0.043	0.225	0.047
PBAI	-0.102	0.043	0.021	0.009	0.111	0.023
PSKI	-0.001	0.018	0.0003	0.004	0.018	0.004
PSMK	-0.286	-0.057	0.060	0.012	0.291	0.061

Tabel 7 besar pergeseran komponen vertikal stasiun SuGAR berdasarkan hasil solusi Kombinasi IV

STA	Lat (der)	Long (der)	Up u (m)	Std u (m)	Up Ver (m)	Std Ver (m)
ABGS	0.220	99.387	0.001	0.0004	0.001	0.0004
BSIM	2.409	96.326	-0.011	0.002	-0.011	0.002
LEWK	2.923	95.804	-0.014	0.003	-0.014	0.003
LHWA	1.383	97.134	-0.031	0.006	-0.031	0.006
MSAI	-1.326	99.089	0.006	0.001	0.006	0.001
NGNG	-1.799	99.268	0.045	0.009	0.045	0.009
PBAI	-0.031	98.526	0.005	0.001	0.005	0.001
PSKI	-1.108	100.35	0.005	0.001	0.005	0.001
PSMK	-0.089	97.860	-0.024	0.005	-0.024	0.005

Tabel 6 menunjukkan adanya pergeseran komponen horizontal pada masing-masing stasiun SuGAR. Besar pergeseran horizontal tertinggi adalah pada stasiun SuGAR PSMK. Sedangkan, besar pergeseran horizontal terkecil adalah stasiun SuGAR PSKI.

Pada Tabel 7 menunjukkan adanya pergeseran komponen vertikal pada masing-masing stasiun SuGAR. Besar pergeseran vertikal tertinggi pada arah naik (+) adalah stasiun SuGAR NGNG dan yang terkecil adalah stasiun SuGAR ABGS. Sedangkan, besar pergeseran vertikal tertinggi pada arah turun (-) adalah stasiun SuGAR LHWA dan yang terkecil ada pada stasiun SuGAR BSIM.

IV.2. Analisis Pencocokan Pola (*Curve Fitting*) Deformasi Postseismik

Pencocokan pola (*curve fitting*) pada deformasi postseismik sangatlah penting guna memantau pergeseran stasiun SuGAR. Karena pencocokan pola merupakan sarana pendekatan untuk pemodelan deformasi postseismik guna mengetahui besar pergeseran, resultan pergeseran, sampai kecepatan pergeseran stasiun tiap tahunnya hingga estimasi waktu berlangsungnya proses deformasi postseismik.

Pola deformasi postseismik pada penelitian ini menggunakan fungsi logaritmik (Marone *et al*, 1991 dalam Kreemer *et al*, 2006) yang polanya dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu *coseismic offset* (*c*), *decay amplitude* (*a*) dan nilai parameter model *fitting* ($\tau \log$). Berdasarkan hasil perlakuan empat kombinasi parameter-parameter tersebut, parameter *decay amplitude* (*a*) memiliki pengaruh lebih besar (dominan) dalam pemodelan pola deformasi postseismik. Nilai parameter *decay amplitude* (*a*) berpengaruh pada besar pergeseran, RMS, dan standar deviasi tiap komponen horizontal maupun vertikal masing-masing stasiun SuGAR.

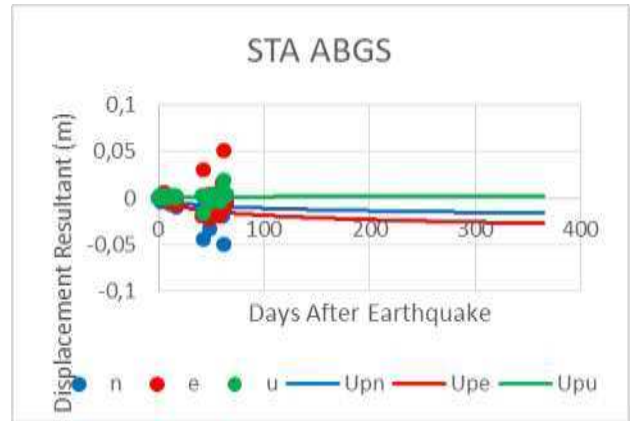
Dapat dilihat pada tabel 8 hanya parameter *decay amplitude* (*a*) yang diubah nilainya secara acak. Untuk parameter *coseismic offset* (*c*) dan nilai parameter model *fitting* ($\tau \log$) tidak dilakukan perubahan perlakuan dari nilai tetap data sekunder yang ditentukan pada penelitian Kreemer *et al* tahun 2006.

Tabel 8 *Coseismic and Postseismic Parameters* yang digunakan pada Kombinasi IV

STA	c			a			$\tau \log$		
	f	a	log	f	a	log	f	a	log
ABGS	-0.0108	-0.0058	8.2	-0.0444	-0.0085	8.2	-0.0295	0.0005	8.2
BSIM	-1.5345	-0.0775	8.2	-1.8894	-0.062	8.2	1.8095	-0.0029	8.2
LEWK	0.0658	-0.0381	8.2	-0.1214	-0.0478	8.2	-0.0057	-0.0042	8.2
LEWA	-3.3542	-0.1773	8.2	-3.0827	-0.1223	8.2	-2.87	-0.0079	8.2
MEAI	-0.0081	0.0006	8.2	0.0182	0.006	8.2	-0.012	0.0017	8.2
SUND	-0.0048	0.0243	8.2	0.0092	0.0319	8.2	-0.0056	0.0118	8.2
PBAI	-0.0518	-0.028	8.2	-0.0654	0.011	8.2	-0.0189	0.0013	8.2
PBSI	-0.0078	-0.0004	8.2	-0.0009	0.0048	8.2	-0.01	0.0013	8.2
PSBC	-0.7987	-0.0728	8.2	-0.0817	-0.0146	8.2	0.2751	-0.0063	8.2

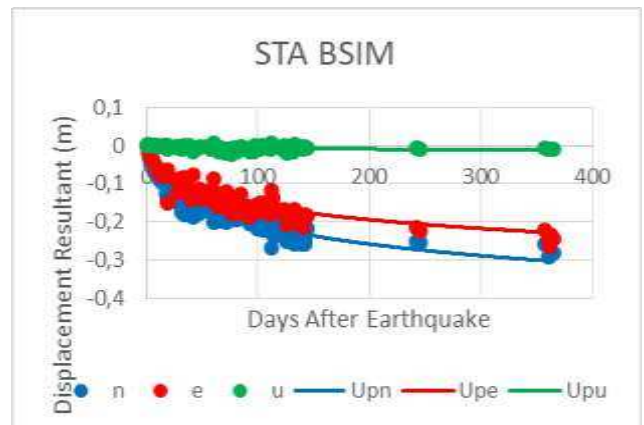
Pencocokan pola (*curve fitting*) di bawah ini menunjukkan bahwa hasil koordinat toposentrik harian dan solusi hasil kombinasi *coseismic and postseismic parameters* pada kombinasi IV memiliki pola yang hampir sama atau mendekati.

Gambar 5 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR ABGS yang berlokasi di Air Bangis, Sumatera Barat.



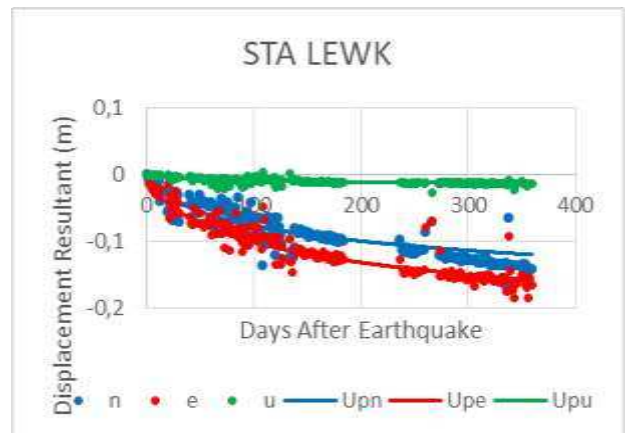
Gambar 5 *Curve Fitting* STA ABGS

Gambar 6 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR BSIM yang berlokasi di Bandara Simeulue, Nangroe Aceh Darussalam.



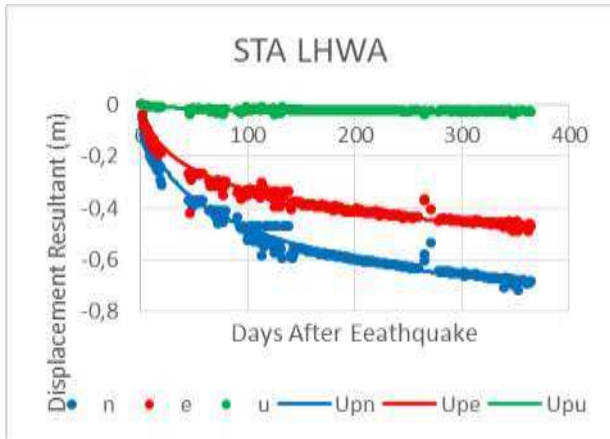
Gambar 6 *Curve Fitting* STA BSIM

Gambar 7 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR LEWK yang berlokasi di Lewak, Pulau Simeulue, Nangroe Aceh Darussalam.



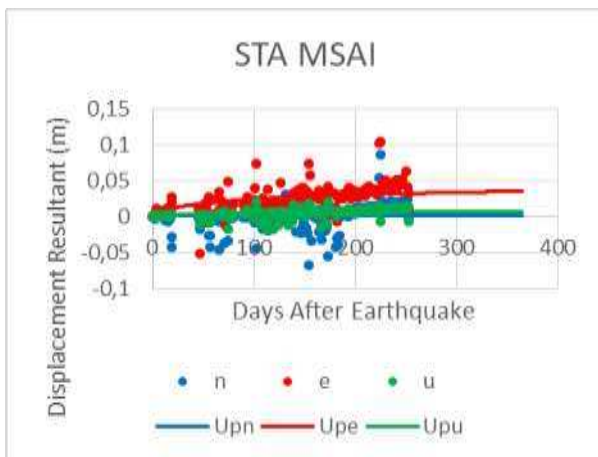
Gambar 7 *Curve Fitting* STA LEWK

Gambar 8 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR LHWA yang berlokasi di Lahewa, Pulau Nias, Sumatera Utara.



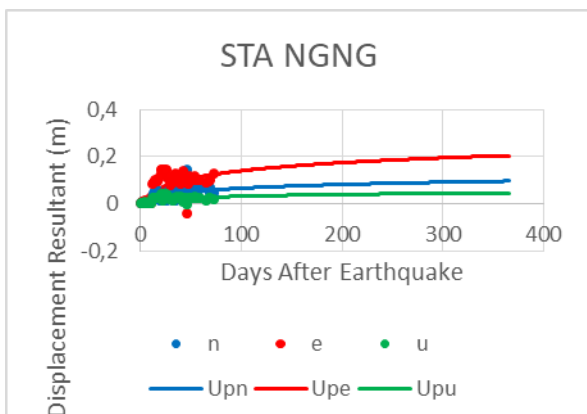
Gambar 8 *Curve Fitting* STA LHWA

Gambar 9 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR MSAI yang berlokasi di Muara Saibi, Pulau Siberut, Sumatera Barat.



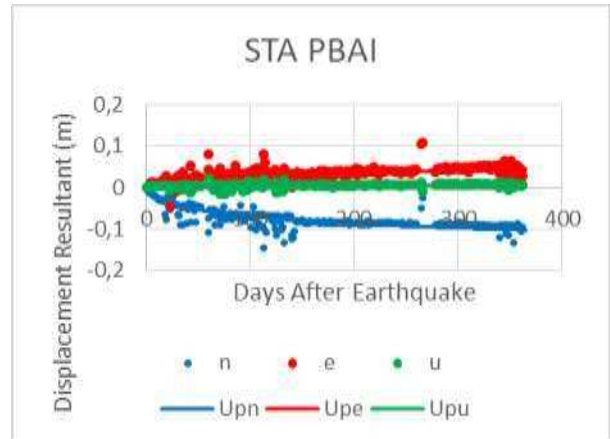
Gambar 9 *Curve Fitting* STA MSAI

Gambar 10 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR NGNG yang berlokasi di Nyang-nyang, Pulau Siberut, Sumatera Barat.



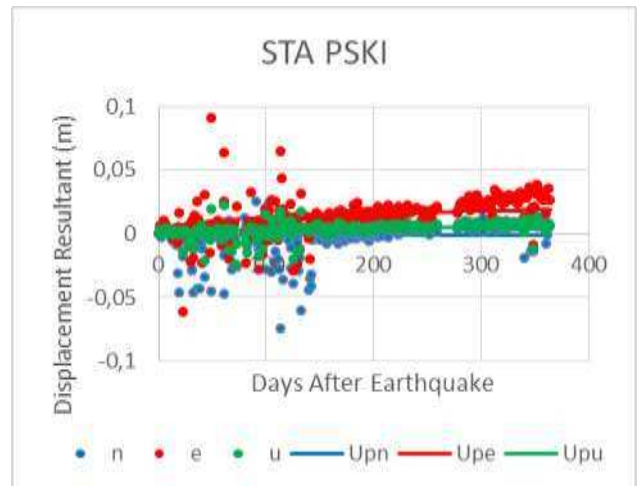
Gambar 10 *Curve Fitting* STA NGNG

Gambar 11 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR PBAI yang berlokasi di Pulau Bais, Sumatera Utara.



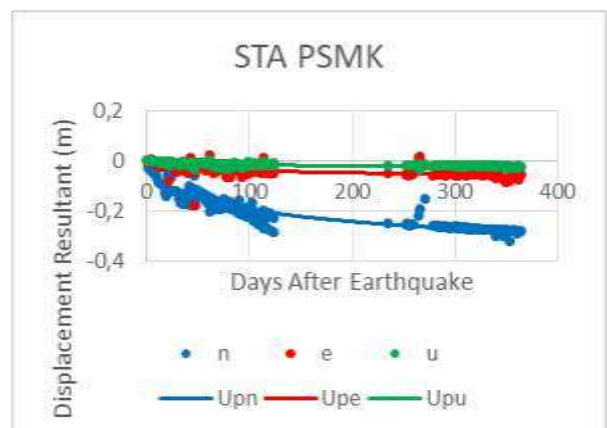
Gambar 11 *Curve Fitting* STA PBAI

Gambar 12 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR PSKI yang berlokasi di Pulau Sikuai, Sumatera Barat.



Gambar 12 *Curve Fitting* STA PSKI

Gambar 13 menunjukkan hasil pencocokan pola solusi kombinasi IV pada stasiun SuGAR PSMK yang berlokasi di Pulau Simak, Sumatera Utara.



Gambar 13 *Curve Fitting* STA PSMK

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil koordinat harian menunjukkan besar pergeseran rata-rata stasiun GPS SuGAR akibat proses deformasi postseismik gempa Nias 2005 besar pergeseran secara horizontal sebesar 0.221636 m, sedangkan untuk besar pergeseran secara vertikal memiliki sebesar 0.00643 m. Adapun untuk stasiun SuGAR dengan besar pergeseran secara horizontal tertinggi berada pada stasiun LHWA dimana memiliki besar gmg pergeseran sebesar 0.83010 m, sedangkan untuk stasiun SuGAR dengan besar pergeseran horizontal terkecil berada pada stasiun ABGS sebesar 0.00913 m. Stasiun SuGAR ABGS, NGNG, PBAI, dan PSKI memiliki arah pergeseran secara vertikal kearah atas/naik. Sedangkan untuk stasiun SuGAR BSIM, LEWK, LHWA, MSAI, dan PSMK memiliki arah pergeseran secara vertikal kebawah/turun. Adapun untuk stasiun SuGAR dengan besar pergeseran secara vertikal arah atas/naik tertinggi berada pada stasiun NGNG sebesar 0.01431 m, dan terkecil berada pada stasiun SuGAR ABGS sebesar 0.00355 m. Sedangkan untuk stasiun SuGAR dengan besar pergeseran secara vertikal arah bawah/turun tertinggi berada pada stasiun SuGAR LHWA sebesar 0.02894 m dan terkecil berada pada stasiun SuGAR MSAI sebesar 0.00714 m.
2. Pencocokan pola (*curve fitting*) deformasi postseismik diperoleh berdasarkan ketelitian RMS besar pergeseran solusi kombinasi *coseismic and postseismic parameters*. Nilai RMS pada kombinasi IV menunjukkan bahwa parameter-parameter pada kombinasi IV lebih cocok atau mendekati pola deformasi postseismik gempa Nias 2005 dengan hasil koordinat harian. Hasil perlakuan empat kombinasi parameter-parameter tersebut, parameter *decay amplitude (a)* memiliki pengaruh lebih besar (dominan) dalam pemodelan pola deformasi postseismik. Nilai parameter *decay amplitude (a)* juga berpengaruh pada besar pergeseran dan nilai standar deviasi tiap komponen horizontal maupun vertikal.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut saran-saran yang dapat dikemukakan untuk penelitian selanjutnya:

1. Untuk penelitian yang sama, disarankan untuk mengolah data RINEX menggunakan *software* ilmiah Bernesse atau *software* ilmiah lainnya, agar dapat digunakan untuk membandingkan tingkat ketelitian hasil olahan data RINEX.

2. Untuk penelitian yang sama, disarankan untuk mengolah data dengan metode yang berbeda, agar dapat membandingkan hasil *curve fitting* dengan kombinasi yang lebih banyak dan sampai dengan analisis estimasi waktu berlangsungnya deformasi postseismik.
3. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk meminta list ketersediaan data pada LIPI selaku departemen pemertintahan yang ditunjuk sebagai penyelenggara dan pengelola data stasiun SuGAR.
4. Pada proses GAMIT *automatic batch processing* sebaiknya dilakukan per DOY agar lebih mudah dalam menemukan kesalahan proses pengolahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Awaluddin, 2010. "Hitungan Distribusi Slip Gempa Bengkulu Tahun 2007 dari Data Pengamatan GPS Dengan Teknik Inversi Kuadrat Terkecil". Tesis. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.
- Kreemer *et al*, 2006, "*Coseismic and postseismic deformation of the 28 March 2005 Nias M_w 8.7 earthquake from continuous GPS data*", Jurnal Geophysical Research Letters.
- Natawidjaja, 2007. *Gempa Bumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam*, Laporan Kebencanaan Nasional 2007.
- Prayitno, 2015, "Perhitungan Deformasi Gempa Kebumen 2014 Dengan Data CORS GNSS Di Wilayah Pantai Selatan Jawa Tengah", Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang.
- Puspita, 2015, "Hitungan Distribusi Slip Koseismik Gempa Mentawai 25 Oktober 2010 Berdasarkan Data Pengamatan Gps Kontinu SuGAR", Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang.
- Yuzariyadi, 2015, "Relaksasi Postseismik Gempa Bumi Mentawai 25 Oktober 2010", Tesis. Bandung: Sains Kebumihan Institut Teknologi Bandung.

Pustaka dari Internet

- _____. <http://garner.ucsd.edu/> diakses pada 17 Mei 2017