



TUGAS AKHIR - RG 141536

ANALISA PERGESERAN TITIK AKIBAT GEMPA MENGUNAKAN DATA SUGAR (SUMATRAN GPS ARRAY)

**BIMA PRAMUDYA KHAWIENDRATAMA
NRP 3512100036**

Pembimbing

**Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M. Phil., Ph.D.
Meiriska Yusfania, S.T., M.T.**

**JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

ANALYSIS OF POINT DEFORMATION CAUSED BY EARTHQUAKE USING SUGAR DATA (SUMATRAN GPS ARRAY)

**BIMA PRAMUDYA KHAWIENDRATAMA
NRP 3512100036**

Supervisor

**Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M. Phil., Ph.D.
Meiriska Yusfania, S.T., M.T.**

**GEOMATIC ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Planning and Civil Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA PERGESERAN TITIK AKIBAT GEMPA
MENGUNAKAN DATA SUGAR (SUMATRAN GPS
ARRAY)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BIMA PRAMUDYA KHAWIENDRATAMA

NRP. 3512 100 036

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19781231 200212 2 001
2. Meiriska Yusfania, S.T., M.T.
NIP. 19850510 201504 2 003



SURABAYA, JUNI 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga pelaksanaan tugas akhir berjalan lancar dan pembuatan laporan tugas akhir yang berjudul “Analisa Pergeseran Titik Akibat Gempa Menggunakan Data SuGAR (Sumatra GPS Array)” dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penyusunan laporan ini tidak terlepas dari peran berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta, Bapak Suprajitno, Ibu Sri Mugianti, dan Adine Yenie C. P. yang selama ini dengan tulus ikhlas telah mendidik, memberi pelajaran pada penulis, memberikan doa dan kasih sayangnya setiap saat. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan keselamatan dan kebahagiaan dunia akhirat
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
3. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir
4. Ibu Meiriska Yusfania, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
5. Bapak Akbar Kurniawan, S.T., M.T. yang memberikan masukan dan saran terkait pengolahan GAMIT/GLOBK.
6. Teman-Teman Teknik Geomatika ITS angkatan 2012 yang telah menemani dan mengajari arti kebersamaan selama menempuh kuliah di Teknik Geomatika ITS.
7. Teman-teman Laboratorium Geodinamika dan Lingkungan yang telah membantu mengerjakan tugas akhir ini serta sebagai tepat bertukar pikiran terkait ilmu pengetahuan.

8. Teman-teman masa SMA yang telah memberikan kisah-kisah yang bermakna serta motivasi untuk mengerjakan tugas akhir ini.
9. Segenap pihak yang telah membantu dan membimbing penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dengan segala keterbatasan, Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun penulis harapkan untuk pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan

Surabaya, Juni 2016

Penulis

ANALISA PERGESERAN TITIK AKIBAT GEMPA MENGGUNAKAN DATA SUGAR (SUMATRAN GPS ARRAY)

Nama Mahasiswa : Bima Pramudya Khawiendratama
NRP : 3512 100 036
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Pembimbing : 1. Ira M. Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
2. Meiriska Yusfania, S.T., M.T.

ABSTRAK

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Indonesia merupakan negara dengan aktivitas tektonik terbesar karena Indonesia merupakan pertemuan 3 lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Pulau Sumatra merupakan salah satu pulau di Indonesia dengan aktivitas tektonik yang cukup tinggi dan rawan bencana. Gempa yang terjadi akan menyebabkan deformasi maupun perubahan posisi. Penelitian adalah gempa Kepulauan Batu, 14 Februari 2005 dan gempa Sumatra Barat 29 September 2009. Perhitungan deformasi dilakukan dengan data dari jaring GPS SuGar (Sumatran GPS Array) pada stasiun pengamatan ABGS, MSAI, NGNG, PTLO, PSMK, PSKI, TIKU menggunakan software GAMIT. Pada penelitian ini juga didapatkan nilai pergeseran akibat gempa (*coseismic*). Hasil penelitian pada gempa Kepulauan Batu 2005 stasiun ABGS mengalami pergeseran yang paling besar dengan nilai 0.00115 m dan stasiun PTLO mengalami pergeseran paling kecil dengan nilai 0.00020 m, sedangkan pada gempa Sumatra Barat 2009 dapat dilihat pergeseran pada stasiun ABGS adalah yang terbesar dengan nilai 0.00261 m dan pergeseran pada stasiun MSAI adalah yang terkecil dengan nilai 0.00124 m.

Kata Kunci : Gempa Kepulauan Batu 2005, Gempa Sumatra Barat 2009, SuGAR, Deformasi.

ANALYSIS OF POINT DEFORMATION CAUSED BY EARTHQUAKE USING SUGAR DATA (SUMATRAN GPS ARRAY)

Nama Mahasiswa : Bima Pramudya Khawiendratama
NRP : 3512 100 036
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Pembimbing : 1. Ira M. Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
2. Meiriska Yusfania, S.T., M.T.

ABSTRACT

Earthquake is a tremble condition occurred on earth surface caused by sudden release of energy outward that produce seismic wave. It can cause deformation. Indonesia is country has highest frequency of tectonic activities because it locate where each three major plate, Eurasia, Pasific, and Indo-Australia, encounter. Sumatra island became one of the island with the highest hazard potent in Indonesia. Earthquakes to be researched is Kepulauan Batu earthquake, February 14, 2005, and Sumatra Barat earthquake, September 29, 2009. Deformation calculation using GPS network data of SuGar (Sumatran GPS Array) at ABGS, MSAI, NGNG, PTLO, PSMK, PSKI, TIKU station and using GAMIT software to process the data. The result of coseismic displacement value on Kepulauan Batu earthquake has maximum value, 0.00115 m, at ABGS station and minimum value, 0.00020 m, at PLTO station. While coseismic displacement value on Sumatra Barat has maximum value, 0.00261 m, at ABGS station and minimum value, 0.00124 m, at MSAI station.

Keyword : Kepulauan Batu earthquake, Sumatra Barat earthquake, SuGar, deformation.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II.....	5
LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Gempa Bumi.....	5
2.1.1. Mekanisme Gempa Bumi.....	6
2.1.2. Jenis Sesar.....	7
2.2 GNSS (Global Navigation Satellite System).....	8
2.2.1 GPS (Global Positioning System).....	9
2.3 Sumatran GPS Array (SuGAR).....	17
2.4 Transformasi Koordinat Geosentrik ke Toposentrik... ..	18
2.5 Pemantauan Deformasi.....	19
2.6 Penentuan Korelasi Jarak dan Pergeseran.....	21
2.7 Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK.....	22
2.8 Generic Mapping Tools (GMT).....	29
BAB III.....	31
METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1. Lokasi Penelitian.....	31
3.2 Data dan Peralatan.....	31
3.3 Tahapan Penelitian.....	33

3.4 Tahapan Pengolahan Data	36
BAB IV	39
HASIL DAN ANALISA	39
4.1. Hasil Pengolahan GAMIT/GLOBK	39
4.1.1. Pengolahan <i>Time Series</i>	39
4.1.2. Deteksi dan Menghapus Data <i>Outliers</i>	41
4.2. Perhitungan Kecepatan Vektor Pergeseran	44
4.3. Perhitungan besar pergeseran	48
4.4. Hubungan antara jarak dan pergeseran	51
BAB V	55
KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fase Gempa	6
Gambar 2. 2 Indonesia terletak pada jalur pertemuan 3 lempeng (BMKG, 2015).....	6
Gambar 2. 3 Jenis sesar (Fiandreakha, 2010).....	8
Gambar 2. 4 Gambar 24 Satelit GPS di Angkasa (Seeber, 2003).....	10
Gambar 2. 5 Penentuan Posisi dengan GPS (Seeber, 2003).....	13
Gambar 2. 6 Jaringan GPS SuGAR.....	18
Gambar 2. 7 Diagram Alir Proses Data Menggunakan GAMIT dan GLOBK.....	28
Gambar 3. 1 Lokasi dan Sebaran Jaring GPS.....	31
Gambar 3. 2 Tahapan Penelitian	33
Gambar 3. 3 Tahapan Pengolahan Data	35
Gambar 4. 1 Time series stasiun pengamatan ABGS, Gempa 29 September 2009	40
Gambar 4. 2 Hasil plotting time series stasiun ABGS sebelum dihilangkan outliers	41
Gambar 4. 3 Hasil plotting time series stasiun ABGS sesudah dihilangkan outliers	42
Gambar 4. 4 Gambar kecepatan dan arah pada fase interseismic gempa Kepulauan Batu 2005.....	45
Gambar 4. 5 Gambar kecepatan dan arah pada fase postseismic gempa Kepulauan Batu 2005.....	46
Gambar 4. 6 Gambar kecepatan dan arah pada fase interseismic gempa Sumatra Barat 2009.....	47
Gambar 4. 7 Gambar kecepatan dan arah pada fase postseismic gempa Sumatra Barat 2009.....	48
Gambar 4. 8 Korelasi jarak dan pergeseran gempa Kepulauan Batu.....	53
Gambar 4. 9 Korelasi jarak dan pergeseran gempa Sumatra Barat	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel kekuatan korelasi.....	22
Tabel 4. 1 RMS stasiun pengamatan pada Gempa Kepulauan Batu 2005 sebelum dihilangkan outliers	42
Tabel 4. 2 stasiun pengamatan pada Gempa Kepulauan Batu 2005 setelah dihilangkan outliers	43
Tabel 4. 3 stasiun pengamatan pada Gempa Sumatra Barat 2009 sebelum dihilangkan outliers	43
Tabel 4. 4 stasiun pengamatan pada Gempa Sumatra Barat 2009 setelah dihilangkan outliers	44
Tabel 4. 5 Kecepatan Interseismic Gempa Kepulauan Batu 2005	44
Tabel 4. 6 Kecepatan Postseismic Gempa Kepulauan Batu 2005	45
Tabel 4. 7 Kecepatan Interseismic Gempa Sumatra Barat 2009	46
Tabel 4. 8 Kecepatan Postseismic Gempa Sumatra Barat 2009..	47
Tabel 4. 9 Nilai pergeseran interseismic gempa Kepulauan Batu 2005	49
Tabel 4. 10 Nilai pergeseran interseismic gempa Sumatra Barat 2009	49
Tabel 4. 11 Nilai pergeseran postseismic gempa Kepulauan Batu 2005	50
Tabel 4. 12 Nilai pergeseran postseismic gempa Sumatra Barat 2009	50
Tabel 4. 13 Nilai Pergeseran coseismic gempa Kepulauan Batu 2005	50
Tabel 4. 14 Nilai Pergeseran coseismic gempa Sumatra Barat 2009	51
Tabel 4. 15 Tabel jarak dan pergeseran coseismic	52

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 *Time Series* sebelum dihilangkan outlier
- Lampiran 2 *Time Series* setelah dihilangkan outlier
- Lampiran 3 *Time Series* stasiun ABGS 2005 & 2009
- Lampiran 4 *Script plotting* menggunakan GMT

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa Bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak Bumi (lempeng Bumi). Gempa bumi terjadi akibat aktivitas yang terjadi dibawah permukaan bumi. Gempa bumi tektonik merupakan gempa yang sering terjadi di Indonesia dan dinilai sebagai gempa yang paling merusak. Gempa ini terjadi akibat pergerakan dari lempeng-lempeng yang menyusun bumi, lempeng tersebut dapat bertumbukan, bergesekan, maupun menindih satu sama lain.

Indonesia merupakan Negara dengan aktivitas tektonik terbesar karena berada pada pertemuan 3 lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik (BMKG, 2010). Hingga saat ini, lempeng Indo-Australia masih terus bergerak ke arah bawah lempeng Eurasia yang mengakibatkan Pulau Sumatra menjadi salah satu pulau di Indonesia dengan aktivitas tektonik yang cukup tinggi dan rawan bencana (McCaughy, 2012). Salah satu bentuk bencana akibat aktivitas tektonik ini adalah bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, dan aktivitas vulkanik gunung api.

Akibat aktivitas tektonik yang tinggi di Indonesia sebagai upaya menanggulangi bencana akibat kejadian alam tersebut dibutuhkan studi lebih lanjut tentang geodinamika dan analisa deformasi. Dalam ilmu Geodesi atau Geomatika studi geodinamika dan deformasi tersebut dibutuhkan data yang teliti secara posisi geometrik dan pengambilan data harus dilakukan secara kontinyu atau periodik. Salah satu metode yang dapat

digunakan untuk melakukan studi tersebut adalah metode GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

GNSS merupakan teknologi yang digunakan untuk menentukan posisi atau lokasi (lintang, bujur, dan ketinggian) serta waktu dalam satuan ilmiah di bumi. Satelit akan mentransmisikan sinyal radio dengan frekuensi tinggi yang berisi data waktu dan posisi yang dapat diambil oleh penerima yang memungkinkan pengguna untuk mengetahui dimana pun lokasi pengamatan di permukaan bumi di permukaan bumi. (Bakara, 2011).

Continuously Operating Reference Stations (CORS) adalah suatu teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik yang pada setiap titiknya dilengkapi dengan *receiver* yang mampu menangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara kontinu 24 jam per hari, 7 hari per minggu dengan mengumpulkan, merekam, mengirim data, dan memungkinkan para pengguna memanfaatkan data untuk penentuan posisi, baik secara *post-processing* maupun *real-time*.

Pulau Sumatra merupakan pulau di Indonesia yang juga memiliki stasiun pengamatan CORS yaitu *Sumatran GPS Array* (SuGAR) yang merupakan stasiun CORS yang dikelola oleh *Earth Observatory of Singapore* bekerja sama dengan Lembaga Penelitian Indonesia (LIPI), SuGAR tersebar sepanjang 1300 km di pantai barat pulau Sumatra. SuGAR setiap harinya merekam data GPS dengan akurasi tinggi secara kontinu dan data SuGAR dapat diakses setelah 3 bulan dan dimanfaatkan untuk studi deformasi.

Pada penelitian ini perhitungan pergeseran dengan menggunakan metode GPS sangat tergantung pada strategi pengolahan data sehingga diperlukan perangkat lunak yang mampu memberikan hasil dengan ketelitian yang tinggi, salah satunya adalah perangkat lunak GAMIT. GAMIT (*GPS Analysis at Massachusetts Institute Of Technology*) merupakan

perangkat lunak ilmiah untuk mengolah data survei GPS yang dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institute Of Technology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*) (Herring, 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Berapakah besar pergeseran dan arah pergeseran stasiun SuGAR pada sebelum dan sesudah gempa?
2. Bagaimana pola hubungan antara jarak stasiun dan pergeseran akibat gempa?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data pengamatan yang digunakan adalah data dari stasiun pengamatan SuGAR dengan stasiun pengamatan ABGS, MSAI, NGNG, PTLO, PSMK, PSKI, TIKU
2. Gempa yg diamati adalah gempa bumi Kepulauan Batu, 14 Februari 2005; Sumatra Barat, 30 September 2009 dengan stasiun pengamatan SuGAR yang berada pada sekitar episenter gempa.
3. Perangkat lunak yang digunakan adalah GAMIT dengan metode *post processing* serta rentang waktu data SuGAR yang digunakan adalah 1 bulan sebelum dan 1 bulan sesudah gempa bumi terjadi.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan besar pergeseran stasiun SuGAR sebelum dan sesudah gempa.
2. Menentukan vektor arah pergeseran stasiun SuGAR akibat gempa.
3. Menentukan korelasi jarak dan besar pergeseran pada stasiun SuGAR.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperkaya informasi mengenai aktivitas tektonik di wilayah zona subduksi Sumatra, memberikan informasi mengenai vektor pergeseran yang diakibatkan oleh gempa Kepulauan Batu 2005 dan Sumatra Barat tahun 2009 serta diharapkan dapat digunakan untuk acuan pergeseran titik akibat gempa yang terjadi, menggambarkan pola regangan, permodelan gempa bumi yang terjadi.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa Bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak Bumi (lempeng Bumi). Bagian lempeng yang menunjam di bawah Kepulauan Mentawai dan Nias umumnya melekat kuat pada tubuh batuan di atasnya, sehingga pergerakan ini memampatkan tubuh batuan. Akumulasi tekanan ini akan meningkat dari waktu ke waktu sampai pada saat melampaui daya rekat dua lempeng tersebut (Abidin, 2009). Gempa bumi terjadi akibat aktivitas yang terjadi dibawah permukaan bumi.

Proses terjadinya gempa bumi dapat dibagi menjadi 3 tahapan (Gambar 2.1) yaitu:

1. Tahapan *Interseismic*

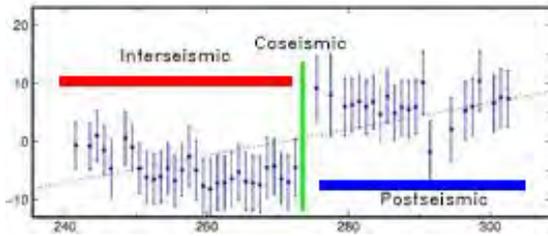
Merupakan tahapan awal dari suatu siklus gempa bumi, arus konveksi dari dalam bumi mengakibatkan pergerakan benda di atasnya yaitu lempeng yang biasa menjadi tempat gempa bumi

2. Tahap *Coseismic*

Tahap ini merupakan tahap dimana terjadi subduksi dari lempeng dan mengakibatkan gempa bumi.

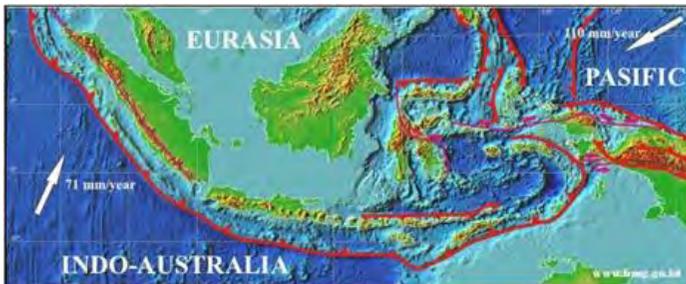
3. Tahap *Postseismic*

Merupakan tahapan setelah terjadinya gempa bumi dimana energi yang terakumulasi dari tahap interseismic dilepaskan (Andreas, 2007).



Gambar 2. 1 Fase Gempa

Indonesia merupakan daerah dengan aktivitas tektonik yang tinggi karena Indonesia terletak pada jalur pertemuan 3 lempeng tektonik yaitu: Lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Jalur pertemuan lempeng yang terletak di laut membuat gempa yang terjadi di Indonesia dapat berpotensi bencana lain.



Gambar 2. 2 Indonesia terletak pada jalur pertemuan 3 lempeng
(BMKG, 2015)

2.1.1. Mekanisme Gempa Bumi

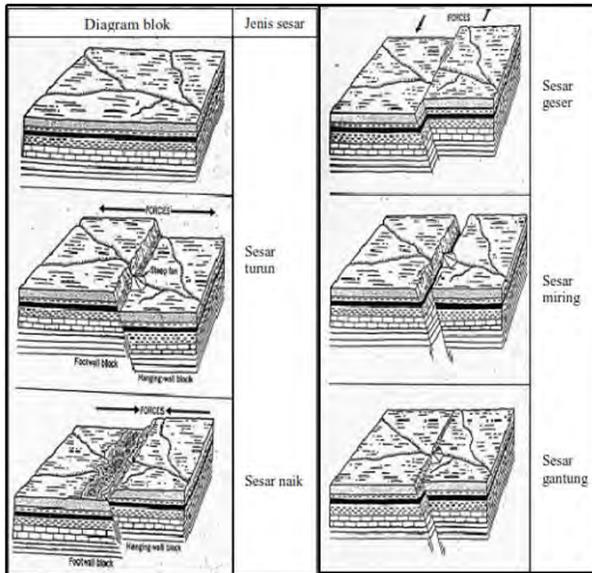
Mekanisme gempa bumi dikontrol oleh pola penjarangan gelombang seismik didalam bumi. Pola mekanisme ini tergantung pada medium yang dilalui hal ini digunakan untuk menerangkan sifat perjarangan energi gempa bumi yang berpusat pada hiposenter atau fokus gempa bumi itu terjadi.

Sesar sering dianggap sebagai mekanisme perjalanan energi gelombang elastis pada fokus tersebut, sehingga dengan memperoleh arah gerakan sesar dan arah bidang sesar suatu gempa bumi diperoleh solusi mekanisme sumber gempabumi.

2.1.2. Jenis Sesar

Sesar Merupakan gerakan menggeser secara horisontal dan atau vertikal tanpa membentuk kerak baru. Ada 5 bentuk sistem sesar (gambar 2.2), yaitu sesar turun, sesar naik, sesar mendatar, sesar miring, dan sesar gantung. Pada dasarnya lempeng yang bergeser dibagi menjadi 2 yaitu sesar mendatar dan tidak mendatar.

- a. Sesar mendatar (*Strike slip fault*), yaitu sesar dengan blok bergerak relatif mendatar atau horisontal satu sama lainnya. Sesar ini ada dua tipe yaitu sesar mendatar ke kanan (*right lateral-strike slip fault*) dengan arah gesekan sesar mendatar searah jarum jam dan sesar mendatar kiri (*left lateral-strike slip fault*) dengan arah gerakan sesar mendatar berlawanan arah jarum jam.
- b. Sesar tidak mendatar, yaitu sesar dengan blok bergerak relatif vertikal atau miring. Tipe ini dibagi 4 yaitu: Sesar Naik (*Trust fault* atau *reverse fault*), Sesar Turun (*Normal fault*), Sesar Miring (*Oblique fault*), Sesar Gantung (*Hanging fault*).



Gambar 2. 3 Jenis sesar (Fiandralekha, 2010)

2.2 GNSS (Global Navigation Satellite System)

GNSS merupakan teknologi yang digunakan untuk menentukan posisi atau lokasi (lintang, bujur, dan ketinggian) serta waktu dalam satuan ilmiah di bumi. Satelit akan mentransmisikan sinyal radio dengan frekuensi tinggi yang berisi data waktu dan posisi yang dapat diambil oleh penerima yang memungkinkan pengguna untuk mengetahui lokasi tepat mereka dimanapun di permukaan bumi.

Pada dasarnya GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa yang terdiri dari satelit-satelit GPS, segmen system control yang terdiri dari stasiun-stasiun kontrol satelit, dan segmen pengguna yang terdiri dari pengguna GPS termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS. (Bakara, 2011). Satelit navigasi mempunyai kemampuan untuk memberikan informasi tentang posisi lokasi geografis dan sinkronisasi waktu dalam penggunaan sinyal *real time* dari satelit navigasi yang

mengorbit. Posisi tersebut ditentukan dari 4 (empat) dimensi yaitu garis bujur, garis lintang, ketinggian, dan waktu (Leick, 2004).

2.2.1 GPS (Global Positioning System)

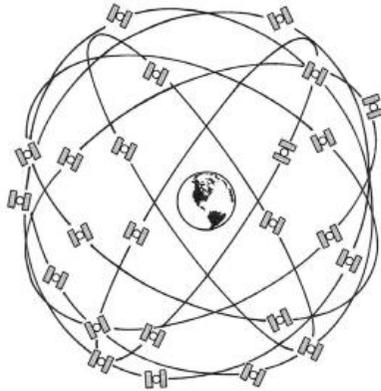
GPS atau NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*), merupakan sebuah sistem yang dapat menginformasikan posisi secara global kepada penggunanya. Pada prinsipnya, penentuan posisi dengan GPS dilakukan dengan mengamati satelit-satelit GPS yang memancarkan sinyal-sinyal yang memiliki informasi tentang posisi satelit yang bersangkutan serta jaraknya dari pengamat. Dengan mengamati satelit dalam jumlah yang cukup, pengamat dapat menentukan posisi dan kecepatannya. Sinyal GPS dibagi dalam tiga komponen, yaitu penginformasi jarak (kode), penginformasi posisi satelit (*navigation message*), dan gelombang pembawa (*carrier wave*). Terdapat dua kode *pseudo-random noise* (PRN) yang digunakan sebagai penginformasi jarak. Kode yang pertama adalah kode P (*Precise* atau *private*) yang digunakan untuk kepentingan militer Amerika Serikat dan pihak berwenang lainnya. Kode P didesain untuk *precise positioning service* (PPS), memiliki panjang gelombang sekitar 30 m. Kode P terdapat pada gelombang pembawa L1, L2, dan L5. Kode yang kedua adalah kode C/A (*Coarse Acquisition* atau *Clear Access*) yang tersedia untuk kepentingan sipil. Kode C/A didesain untuk *standard positioning service* (SPS), memiliki panjang gelombang sekitar 300 m. Kode C/A hanya terdapat pada gelombang L1. Setiap satelit GPS memiliki struktur kode yang unik sehingga memungkinkan *receiver* GPS untuk mengenali dan membedakan sinyal yang datang dari satelit yang berbeda (Seeber, 2003).

c. Segmen Angkasa (*space segment*)

Segmen angkasa terdiri dari satelit-satelit GPS serta roket-roket Delta peluncur satelit dari Cape Canaveral di Florida, Amerika Serikat. Satelit GPS bisa dianalogikan

sebagai stasiun radio di angkasa, yang diperlengkapi dengan antena-antena untuk mengirim dan menerima sinyal-sinyal. Sinyal-sinyal tersebut selanjutnya diterima oleh receiver GPS didekat permukaan Bumi, dan digunakan untuk menentukan informasi posisi, kecepatan, waktu serta parameter-parameter turunan lainnya.

GPS di permukaan bumi atau dekat permukaan bumi, digunakan untuk menentukan informasi posisi, kecepatan, maupun waktu. Satelit GPS yang terdapat di orbit berjumlah 24 satelit, yang dibagi dalam 6 (enam) bidang orbit. Bentuk lintasan orbit mendekati lingkaran dan berjarak dari bumi 20.200 km dengan periode orbit 12 jam (Seeber, 2003).



Gambar 2. 4 Gambar 24 Satelit GPS di Angkasa (Seeber, 2003)

d. Segmen Sistem Kontrol (*control system segment*)

Terdapat pusat pengendali utama yang terdapat di Colorado Springs, dan 5 stasiun pemantau lainnya dan 3 antena yang tersebar di bumi ini. Stasiun pemantau memantau semua satelit GPS dan mengumpulkan

informasinya. Stasiun pemantau kemudian mengirimkan informasi tersebut kepada pusat pengendali utama yang kemudian melakukan perhitungan dan pengecekan orbit satelit. Informasi tersebut kemudian dikoreksi dan dilakukan pemuktahiran dan dikirim ke satelit GPS (Seeber, 2003). Secara lebih spesifik tugas utama dari segmen sistem kontrol GPS adalah:

- Secara kontinyu memantau dan mengontrol satelit,
- Menentukan dan menjaga waktu sistem GPS,
- Memprediksi ephemeris satelit serta karakteristik jam satelit,
- Secara periodik meremajakan (*update*) navigation message dari setiap satelit, dan
- Melakukan manuver satelit agar tetap berada dalam orbitnya, atau melakukan relokasi untuk menggantikan satelit yang tidak sehat, seandainya diperlukan.

e. Segmen Pengguna (*user segment*)

Pada sisi pengguna dibutuhkan penerima GPS (selanjutnya kita sebut perangkat GPS) yang dapat menerima sinyal dari satelit GPS dan kemudian menghitung posisi, kecepatan dan waktu. Sistem receiver merupakan bagian utama dari sistem pengguna yang terdiri dari pengguna GPS, baik di darat, laut, maupun udara. Dalam hal ini alat penerima sinyal GPS (GPS receiver) diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal - sinyal dari satelit GPS untuk digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan dan waktu.

Komponen utama dari suatu GPS receiver secara umum adalah: antena dengan pre-amplifier, pemroses sinyal, pemroses data (solusi navigasi), osilator presisi, unit pengontrolan receiver dan pemrosesan (*user and external*

communication), catur daya, memori serta perekam data (Seeber, 2003).

2.2.1.1 Sinyal dan Penentuan Jarak GPS

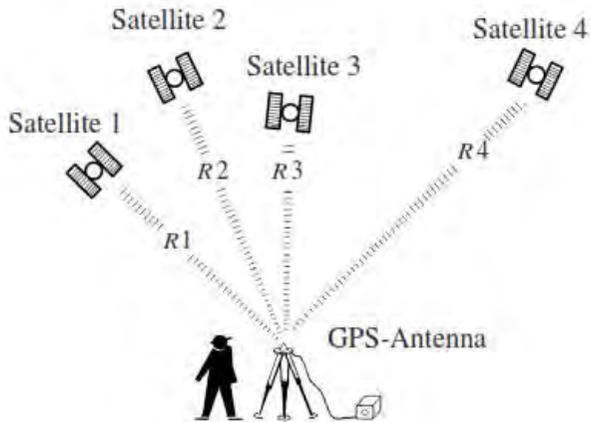
Sinyal GPS terbagi menjadi tiga komponen, antara lain adalah komponen kode sebagai pemberi informasi jarak. Komponen ini terdiri atas dua pseudo-random noise (PRN) yaitu kode P (Precise) dan kode C/A (Coarse Acquisition). Kemudian komponen yang kedua adalah Navigation Message sebagai pemberi informasi posisi satelit (X,Y,Z) termasuk di dalamnya terdapat parameter orbitnya. Komponen ini juga dikenal dengan Broadcast Ephemeris. Kemudian komponen yang terakhir adalah gelombang carrier (pembawa) sebagai gelombang pembawa komponen kode dan navigation message dari satelit kepada pengguna. Terdapat dua jenis gelombang carrier yaitu, gelombang pembawa L1 (kode P, kode C/A dan navigation message) yang memiliki frekuensi 1575,42 MHz dan L2 (kode P dan navigation message) dengan frekuensi 1227,60 MHz. Untuk menentukan jarak semu (pseudorange) dan jarak fase (phase range) dengan GPS serta parameter-parameter lainnya melalui hubungan yang dapat diformulasikan secara umum berikut ini (Seeber, 2003) :

$$P_i = \rho + d\rho + dtrop + dion + (dt - dT) + MP_i + \vartheta P_i \quad (2.1)$$

$$L_i = \rho + d\rho + dtrop - dion + (dt - dT) + MC_i - \lambda_i \cdot Ni + \vartheta Ci \quad (2.2)$$

Dengan P_i (m) adalah *pseudorange* dengan frekuensi f_i ($i = 1, 2$), L_i (m) jarak fase pada frekuensi f_i ($i = 1, 2$), P (m) jarak geometris antara pengamat (x,y,z) dengan satelit, C (m/s) adalah kecepatan cahaya dalam vakum, λ (m) panjang gelombang dari sinyal, $d\rho$ kesalahan jarak yang disebabkan oleh kesalahan ephemeris orbit, $dtrop$ (m) bias yang disebabkan oleh refraksi troposfer, $dion_i$ (m) bias yang disebabkan oleh refraksi ionosfer pada frekuensi f_i dt (m) dan dT (m) adalah kesalahan dan *offset*

dari jam *receiver* dan jam satelit, MP_i (m) dan MC_i (m) adalah efek *multipath* pada hasil pengamatan P_i dan L_i .



Gambar 2. 5 Penentuan Posisi dengan GPS (Seeber, 2003)

2.2.1.2 Penentuan Posisi Metode Relatif (*Differential Positioning*)

Metode relatif atau sering disebut *differential positioning*, merupakan penentuan posisi dengan menggunakan lebih dari sebuah *receiver*. Satu GPS dipasang pada lokasi tertentu dan secara terus menerus menerima sinyal dari satelit dalam jangka waktu tertentu dijadikan referensi bagi *receiver* yang lainnya. Metode ini menghasilkan posisi berketelitian tinggi (umumnya kurang dari 1 meter) dengan mengurangi data yang diamati oleh dua receiver GPS pada waktu bersamaan, maka beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieleminasi atau di reduksi. Pengeleminasian dan pereduksian ini akan meningkatkan akurasi dan presisi data, dan selanjutnya akan meningkatkan tingkat akurasi dan presisi posisi yang diperoleh.

Perlu dicatat efektifitas dari proses pengurangan tersebut sangat tergantung pada jarak antar stasiun referensi dengan titik yang akan ditentukan posisinya. Dalam hal ini, semakin pendek jarak maka akan semakin efektif dampak dari pengurangan data dan sebaliknya. Perlu ditekankan bahwa penentuan posisi secara diferensial adalah metode penentuan posisi yang harus digunakan untuk mendapatkan ketelitian posisi yang relatif tinggi. Ketelitian posisi yang bisa diberikan oleh metode penentuan posisi secara diferensial berkisar pada level mm dengan data fase dan berkisar 1-3 meter dengan data pseudorange (Seeber, 2003).

2.2.1.3 Penentuan Posisi Metode Absolut (*Point Positioning*)

Penentuan posisi absolut adalah metode penentuan posisi yang paling mendasar dari GPS. Posisi suatu titik direferensikan terhadap pusat dari sistem koordinat. Penentuan posisi dengan metode absolut hanya akan memperhitungkan koordinat dari data yang diterima dari satelit tanpa memperhatikan posisi GPS lain. Data yang digunakan adalah pseudorange, dengan demikian ketelitian yang dihasilkan tidak begitu tinggi.

Pada dasarnya penentuan posisi secara absolut dapat dibedakan menjadi dua yaitu statik dan kinematik. Statik adalah penentuan posisi pada titik yang diam sedangkan kinematik penentuan posisi pada titik yang bergerak.

Berkaitan dengan penentuan posisi secara absolut, ada beberapa catatan yang perlu diperhatikan yaitu:

- Posisi ditentukan dalam sistem WGS84 terhadap pusat masa bumi.
- Prinsip penentuan posisi adalah reseksi dengan jarak ke beberapa satelit.
- Untuk penentuan posisi hanya memerlukan satu receiver GPS, dan tipe receiver yang umum digunakan untuk keperluan ini adalah tipe navigasi atau kadang dinamakan dengan tipe genggam (*hand held*).
- Titik yang ditentukan posisinya bisa dalam keadaan diam (statik) maupun dalam keadaan bergerak (kinematik).

- Ketelitian posisi yang diperoleh sangat bergantung pada tingkat ketelitian data serta geometri satelit.
- Metode ini bukanlah penentuan posisi yang teliti.

2.2.1.4 Bias dan Sumber Kesalahan

Dalam perjalanannya dari satelit ke pengamat di permukaan bumi, sinyal GPS harus melalui medium propagasi, yaitu ionosfer dan troposfer dimana sinyal GPS akan mengalami refraksi di dalamnya. Selain itu, sinyal GPS juga dapat dipantulkan oleh benda-benda di sekitar pengamat dan menyebabkan efek *multipath*. Kesalahan dan bias juga dapat disebabkan oleh kesalahan orbit satelit, jam satelit, kesalahan jam satelit dan *receiver*, kesalahan antena, ambiguitas fase, dan *cycle slips* (Kaplan & Hegarty, 2006).

a. Kesalahan Orbit Satelit

Kesalahan ini disebut juga dengan kesalahan ephemeris dimana letak/posisi orbit satelit yang terdapat dilaporkan tidak sama dengan orbit satelit yang sebenarnya, sehingga posisi satelit yang dilaporkan mengalami pergeseran dari posisi sebenarnya dan nantinya akan mempengaruhi ketelitian posisi titik-titik yang diamati.

b. Cycle Slips

Cycle Slips adalah ketidak-kontinyuan dalam jumlah gelombang yang diterima karena data pengamatan sinyal oleh *receiver* terputus oleh hal tertentu.

c. Multipath

Multipath adalah kejadian dimana sinyal yang akan diterima oleh *receiver* melalui dua atau lebih lintasan berbeda karena efek pantulan benda-benda di sekitar pengamat seperti bangunan tinggi, pohon, jalan, permukaan air. Perbedaan jarak tempuh dapat menyebabkan sinyal-sinyal tersebut mengalami

perbedaan ketika diterima oleh antena sehingga menyebabkan kesalahan hasil pengamatan.

d. **Ambiguitas fase.**

Ambiguitas fase adalah jumlah gelombang penuh yang tidak terukur oleh receiver GPS.. Ketidaktepatan dalam mendefinisikan besarnya ambiguitas fase akan menyebabkan kesalahan dalam penentuan jarak dari satelit ke pengamat.

e. **Kesalahan Jam Satelit dan Receiver**

Setiap satelit GPS membawa beberapa buah jam atom yang digunakan untuk mendefinisikan sistem waktu satelit. Jam-jam atom tersebut akan mengalami penyimpangan (*offset*, *drift*, dan *drift-rate*). Pada umumnya *receiver* GPS dilengkapi dengan jam kristal quartz yang relatif lebih kecil, perbedaan waktu pada jam satelit dan jam *receiver* tersebut yang menyebabkan kesalahan terjadi. Selisih antara kedua jam yang terlibat dapat di perkecil (semakin teliti hasil yang didapat) dengan:

- Membuat acuan ke sistem waktu yang sama antara jam receiver dan jam satelit (sistem waktu UTC),
- Sinkronisasi waktu satu sama lain
- Menjaga kestabilannya.

f. **Kesalahan Antena**

Adanya perbedaan lokasi antara pusat fase dan pusat geometris antena akan menyebabkan terjadinya kesalahan pada jarak ukuran. Pada pengukuran jarak dari satelit ke antena *receiver* GPS, jarak ukuran diasumsikan mengacu ke pusat geometris, sebenarnya secara elektronik pengukuran jarak tersebut mengacu ke pusat fase antena, bukan ke pusat geometris antena.

g. **Refraksi Troposfer**

Troposfer merupakan lapisan dari atmosfer yang berbatasan dengan permukaan bumi dan mempunyai ketebalan setinggi 9 - 16 km, tergantung pada tempat dan

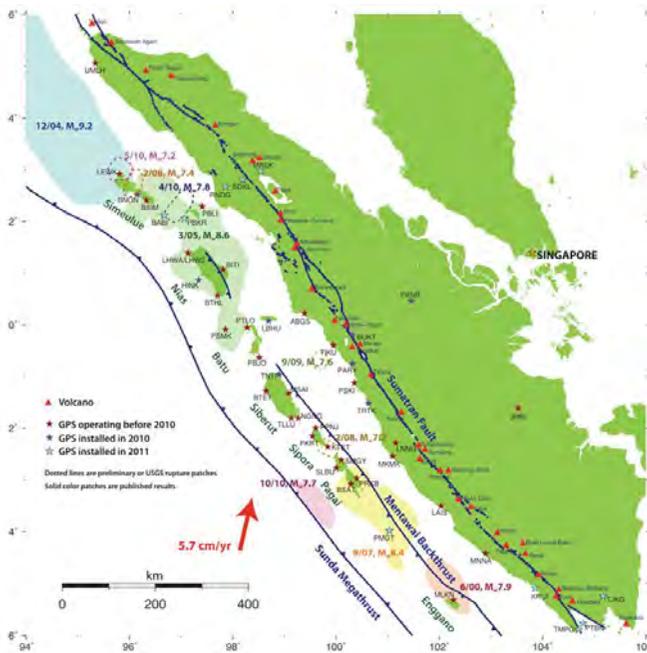
waktu. Ketika melalui troposfer, sinyal GPS akan mengalami refraksi yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah dari sinyal GPS. Pada lapisan ini pseudorange dan fase diperlambat. Dan besar magnitudde bias troposfer pada kedua data pengamatan tersebut adalah sama. Efek utama dari refraksi troposfer adalah kesalahan terhadap hasil ukuran jarak.

h. Refraksi Ionosfer

Ionosfer merupakan lapisan atas dari atmosfer. Elektron-elektron bebas yang terdapat dalam lapisan ionosfer akan mempengaruhi propagasi sinyal GPS yang kemudian turut mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan dari sinyal GPS yang melaluinya. Efek terbesar dari refraksi ionosfer terletak pada kecepatan sinyal dimana ionosfer akan memperlambat *pseudorange* dan memperlambat fase dari sinyal GPS yang akan mempengaruhi ukuran jarak dari pengamat ke satelit.

2.3 Sumatran GPS Array (SuGAR)

SuGAR merupakan stasiun CORS yang tersebar sepanjang 1300 km di pantai barat Pulau Sumatra. SuGAR diinisiasi dari the California Institute of Technology (CalTech) Tectonics Observatory (TO) bekerjasama dengan LIPI pada tahun 2002. Saat ini terdapat 55 stasiun (Gambar 2.5) yang setiap harinya merekam data GPS dengan akurasi tinggi secara kontinyu, dan mengirimkan data ke server pusat untuk postprocessing di Singapura. Solusi dari data SuGAR digunakan untuk mendukung pengukuran deformasi bumi seperti mendeteksi pergerakan tektonik dan membantu dalam memahami peristiwa seismik pada area dengan tingkat aktifitas tektonik yang tinggi ini. Data SuGAR dapat diunduh pada situs transfer <ftp://eos.ntu.edu.sg/SugarData/> (McCaughey, 2012).



Gambar 2. 6 Jaringan GPS SuGAR

2.4 Transformasi Koordinat Geosentrik ke Toposentrik

Sistem koordinat dari data observasi GPS berupa data dengan sistem koordinat geosentrik (X, Y, Z). Untuk dapat digunakan koordinat tersebut ditransformasikan kedalam sistem koordinat lokal toposentrik North, East, Up (n, e, u) yang pusat sumbuanya ada di permukaan bumi dan sifatnya lokal sehingga dapat memperlihatkan besar pergeseran di permukaan bumi (Ramadhan, 2014).

Persamaan yang digunakan dalam transformasi adalah:

$$\begin{pmatrix} np \\ ep \\ up \end{pmatrix} = R(\varphi_a, \lambda_a) \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} XP - XQ \\ YP - YQ \\ ZP - ZQ \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$R(\varphi_Q, \lambda_Q) = \begin{pmatrix} -\sin\varphi_Q \cos\lambda_Q & -\sin\varphi_Q \sin\lambda_Q & \cos\varphi_Q \\ -\sin\lambda_Q & \cos\lambda_Q & 0 \\ \cos\varphi_Q \cos\lambda_Q & \cos\varphi_Q \sin\lambda_Q & \sin\varphi_Q \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Keterangan :

np, ep, up	= koordinat toposentrik
φ_Q, λ_Q	= lintang geodetik dan bujur geodetik
XQ, YQ, ZQ	= koordinat titik ikat (0, 0, 0)
XP, YP, ZP	= koordinat titik pantau (np, ep, up)
$\Delta x, \Delta y, \Delta z$	= selisih antara koordinat titik pantau dan titik ikat
R	= matriks rotasi

2.5 Pemantauan Deformasi

Pemantauan deformasi dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya dengan menggunakan tilimeter, EDM (Electronic Distance Meter), InSAR dan pemantauan GPS. Pada penelitian ini deformasi dilakukan dengan menggunakan metode GPS.

Pada dasarnya pemantauan deformasi dengan GPS adalah selisih posisi/koordinat (L,B,H/X,Y,Z) dari suatu titik pantau/*benchmark* pada pengukuran periode satu dengan pengukuran periode berikutnya. Pemantauan deformasi dengan GPS dilakukan secara diferensial untuk memperoleh ketelitian posisi yang relatif tinggi. Setelah itu dilakukan pemrosesan data untuk menentukan koordinat dari titik-titik pantau.

Data pengamatan GPS dalam jumlah dan waktu yang cukup kemudian diproses untuk mendapatkan informasi mengenai posisi, kecepatan, dan waktu atau parameter turunannya. Perubahan data-data itu diamati secara terus-menerus selama terpasangnya

receiver. Dari pengolahan data dapat diketahui vektor pergeseran horisontal maupun vertikal.

Deformasi adalah perubahan bentuk, dimensi, dan posisi dari suatu materi baik merupakan bagian dari alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang. Deformasi dapat bersifat relatif maupun absolut. Deformasi absolut apabila yang dikaji hanya pergerakan dari titik itu sendiri, sedangkan deformasi relatif terjadi apabila kajian pergerakan ditujukan pada titik yang diamati terhadap titik yang lainnya. Materi yang dipengaruhi oleh gaya penyebab deformasi akan mengalami gaya reaksi yang mengakibatkan perubahan bentuk dan posisi (Yusfania, 2011). Gaya reaksi tersebut dapat dibagi menjadi empat yaitu:

- a. Translasi, yaitu perpindahan posisi dari suatu materi ke posisi lain tanpa mengalami perubahan bentuk awal.

$$A(x, y) \xrightarrow{T(a,b)} A'(x + a; y + b) \quad (2.6)$$

Untuk translasi pada sumbu X dapat ditulis juga sebagai berikut.

$$\begin{aligned} dX_A &= a \\ dY_A &= 0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

- b. Rotasi, yaitu perubahan posisi materi tanpa mengalami perubahan bentuk tetapi mengalami perubahan posisi yang membentuk sudut terhadap koordinat acuan.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

- c. Regangan normal, yaitu merupakan perbandingan panjang (dx) terhadap panjang asalnya.

$$a = \frac{dX_A}{X_A} \quad (2.9)$$

- d. Regangan geser, merupakan perubahan sudut dalam benda padat ketika terdeformasi

$$\begin{aligned}
 dX &= Y \tan\left(\frac{y}{2}\right) \\
 dY &= X \tan\left(\frac{y}{2}\right) \\
 \tan\left(\frac{y}{2}\right) &= \frac{dX}{Y} = \frac{dY}{X}
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

dimana $y = \frac{1}{2}$ perubahan sudut benda akibat deformasi

2.6 Penentuan Korelasi Jarak dan Pergeseran

Penentuan korelasi jarak dan pergeseran dilakukan untuk menggambarkan hubungan dari jarak dan pergeseran. Penentuan korelasi ini dihitung dengan menggunakan konsep Regresi Linier.

Regresi linier adalah metode yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Analisis regresi digunakan untuk melihat pengaruh variabel bebas terhadap variabel tergantung serta memprediksi nilai variabel tergantung dengan menggunakan variabel bebas. Apabila terdapat satu variabel bebas disebut sebagai regresi linier sederhana, jika variabel bebas lebih dari satu maka disebut sebagai regresi linier berganda.

Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik. Regresi juga dapat digunakan untuk melakukan pengendalian (kontrol) terhadap suatu kasus atau hal – hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh.

Pada model regresi terdapat koefisien model regresi, yang diduga sebagai parameter di dalam model regresi untuk kondisi yang sebenarnya. Koefisien regresi dibedakan menjadi 2 macam yaitu *intercept* dan *slope*. *Intercept* merupakan nilai rata – rata pada variabel Y apabila nilai pada variabel X bernilai 0. Dengan kata lain apabila nilai X tidak memberikan kontribusi, maka secara rata – rata variabel Y akan bernilai *intercept*. Sedangkan *slope* merupakan koefisien regresi untuk variabel X (variabel bebas).

Secara umum bentuk persamaan dari regresi linier adalah sebagai berikut (Sarwono, 2006):

$$y = mx + c \quad (2.11)$$

Keterangan:

x, y = Nilai x, y yang didefinisikan

m = Koefisien regresi

c = Konstanta

Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel penulis memberikan kriteria sebagai berikut (Sarwono, 2006):

Tabel 2. 1 Tabel kekuatan korelasi

Nilai Korelasi	Korelasi
0	Tidak ada korelasi antara dua variabel
>0 – 0.25	Korelasi sangat lemah
>0.25 – 0.5	Korelasi cukup
>0.5 – 0.75	Korelasi kuat
>0.75 – 0.99	Korelasi sangat kuat
1	Korelasi sempurna

2.7 Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK

GAMIT merupakan salah satu perangkat lunak ilmiah pengolah data GNSS yang menggunakan *platform* sistem operasi Unix. Perangkat lunak ini dapat menghasilkan posisi relatif tiga dimensi dengan tingkat ketelitian tinggi karena data yang digunakan selain data *broadcast ephemeris*, juga digunakan data *precise ephemeris* (Herring, 2015). Dalam proses pengolahannya, GAMIT membutuhkan delapan macam input data, antara lain:

- a. Raw data dari data pengamatan GPS.
- b. L-file, yang berisi koordinat dari semua stasiun pengamatan atau titik ikat yang digunakan. Koordinat yang digunakan menggunakan koordinat geosentrik (*spherical coordinates*).
- c. File station.info, berisi informasi stasiun-stasiun yang digunakan, seperti tempat/lokasi stasiun, tinggi antena, model antena, model *receiver*, waktu pengamatan (tahun,

DOY *start* dan *stop* pengamatan), serta *firmware* yang digunakan oleh *receiver*.

- d. File *session.info*, yang berisi sesi dari data yang akan diolah. Informasi yang tercantum antara lain (tahun, DOY, sesi pengamatan, *sampling rate*, banyak epok, dan nomor-nomor satelit).
- e. File navigasi, bisa berupa RINEX (*Receiver INdependent Exchange Format*, *Navigation Message*) maupun ephemeris yang disediakan IGS.
- f. File *sestbl* memuat *control table* mengenai karakteristik proses yang dieksekusi oleh GAMIT.
- g. File *sittbl* digunakan untuk memberikan konstrain pada setiap stasiun pengamatan yang digunakan.
- h. File GPS ephemeris yang didapat dari IGS dalam format SP3.

GLOBK adalah satu paket program yang dapat mengkombinasikan hasil pemrosesan data survei terestris ataupun data survei ekstra terestris. Kunci dari data input pada GLOBK adalah matriks kovarian dari data koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan koordinat hasil pengamatan lapangan (Herring, 2015) Sebagai file input digunakan H-file hasil pengolahan dengan GAMIT. Namun selain hasil pengolahan GAMIT, GLOBK juga dapat menerima input file hasil pengolahan dari perangkat lunak ilmiah lain, seperti GIPSY dan Bernese (Herring, 2015). Terdapat tiga moda aplikasi yang dapat dijalankan dengan menggunakan GLOBK, yaitu :

- a. Mengkombinasikan hasil pengolahan individual (misal: harian) untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari (*multidays*);
- b. Mengkombinasikan hasil pengamatan selama bertahun-tahun untuk menghasilkan koordinat stasiun;
- c. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan individu, yang digunakan untuk menggeneralisasikan

data *time series* dari pengamatan teliti harian atau tahunan.

Dalam penelitian ini proses data menggunakan perangkat lunak GAMIT dan GLOBK digambarkan pada gambar 2.7 dan dijelaskan sebagai berikut:

1) Persiapan data RINEX dan data parameter

Pada tahap ini adalah proses download data RINEX dari pusat data di SOPAC. Beberapa data yang dibutuhkan diantaranya: informasi antenna untuk setiap data (*file station.info*), daftar stasiun pengamatan yang akan digunakan, data observasi IGS sebagai kontrol, IGS SP3 *ephemeris file* (*igsWWWD.sp3*), nilai jam satelit, *file* navigasi *brdc* RINEX (*brdcDDD0.YYn*). informasi-informasi diatas digunakan untuk mereduksi kesalahan-kesalahan dalam pengamatan GPS seperti kesalahan orbit, kesalahan jam, siklus ambiguitas efek atmosfer dan ionosfer. Data RINEX dan data parameter dari pengamatan stasiun SuGAR diunduh dari <http://garner.ucsd.edu/pub/>.

2) Pembuatan direktori kerja

Direktori kerja untuk pengolahan data GAMIT dibuat di bawah direktori proses yang terletak dibawah direktori HOME (~). Direktori Home berada pada /Users/user.

Penelitian ini menggunakan rentang waktu selama 2 bulan oleh sebab itu dalam pengolahannya digunakan *automatic batch processing* untuk mempercepat dan memudahkan dalam pengolahan.

3) *Editing control files* pada *folder tables*

Control Files pada *folder tables* merupakan link dari folder tables pada software GAMIT dan GLOBK saat menjalankan perintah sebagai berikut:

```
sh_setup -yr yyyy -apr <file apr>.apr
```

Control files yang perlu di-*edit* adalah:

- a. *File station.info*. *File* ini berisi informasi tentang stasiun titik yang diolah diantaranya *reciever type*, *antenna type*, informasi waktu (*session start* dan *session stop*). *Receiver type* dan *antenna type* digunakan untuk memasukan kode *receiver* dan *antenna* yang digunakan serta informasi tinggi antena yaitu *Ant Ht*.
 - b. *File sittbl*. *file* ini digunakan untuk memasukan *constraint* dari setiap stasiun yang diolah dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT.
 - c. *File sites.defaults*, adalah *file* yang digunakan dalam *automatic batch processing*. *File* ini digunakan sebagai kontrol penggunaan stasiun dalam pengolahan GAMIT dan GLOBK.
 - d. *File sestbl*. *File* sestbl merupakan *file* skenario yang digunakan untuk pengolahan. Bagian yang di-edit adalah pada bagian *choice of experiment*.
 - e. *File process.defaults*, *control file* ini digunakan untuk menentukan lokasi direktori yang digunakan pada *automatic batch processing*. *File* ini juga digunakan untuk menentukan *file* navigasi yang digunakan serta *apr file* yang digunakan pada GLOBK.
 - f. *File* gelombang pasang surut (*otl_FES2004.grd*), *file* atmosfer (*atmdisp_yyyy*), *file* pemodelan cuaca (*vmfl grd.yyyy*) merupakan *file* penunjang.
- 4) Proses pengolahan menggunakan GAMIT

Dalam pengolahan GPS menggunakan GAMIT yang pertama adalah membuat direktori pekerjaan EXPT dan menghubungkan seluruh file yang dibutuhkan dengan perintah `sh_setup -yr yyyy -apr <file apr>` pada terminal linux. Selanjutnya melakukan editing control file yang akan digunakan sesuai dengan parameter dan scenario pengamatan yang telah direncanakan.

Jika seluruh data yang dibutuhkan sudah disiapkan letakkan pada direktori kerja dan seluruh file control dalam direktori /tables sudah di sesuaikan dengan kebutuhan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perintah `sh_gamit` pada terminal linux dengan perintah lengkap sebagai berikut:

```
Sh_gamit -s yyyy DOYa DOYb -expt EXPT -eops usno -orbit IGSF -noftp
```

Data yang telah ada diproses menggunakan GAMIT dan didapatkan hasil berupa *folder* DOY sebanyak jumlah data yang diolah. Setiap *folder* berisi Binary file(h-files), q files dan `sh_gamit_ddd.summary`.

5) Editing `globk_comb.cmd` dan `glog_comb.cmd`

Sebelum masuk dalam proses GLOBK, hal yang dilakukan adalah *Edditing* file `globk_comb.cmd` dan `glog_comb.cmd` pada *folder* `gsoln` dalam direktori kerja.

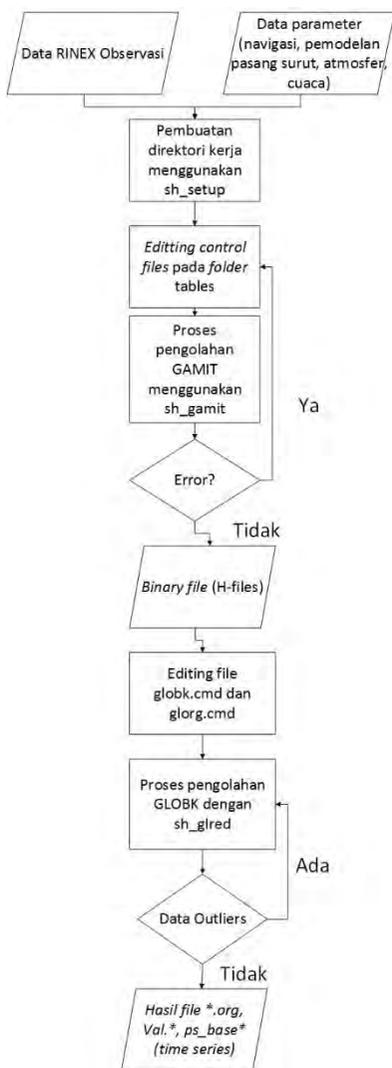
6) Proses pengolahan menggunakan GLOBK

Dalam aplikasi GLOBK akan dilakukan kombinasi DOY dan *plotting* parameter koordinat h-file secara time series yang sebelumnya dilakukan *filtering* dengan metode *Kalman Filter*. Format data plot time series yang dihasilkan dari proses GLOBK ini adalah berformat postscript, dengan nama `psbase_EXPT.GPS`, dimana EXPT adalah nama *project* dan GPS adalah nama stasiun GPS yang digunakan. Perintah yang digunakan dalam menjalankan GLOBK adalah sebagai berikut:

```
sh_glred 6 globk_rep.prt globk_rep.log expt.gdl globk_comb.cmd
```

7) Deteksi data *Outlier*

Ouliers adalah data yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam suatu rangkaian data (*time series*). Agar analisis dari hasil tidak menjadi bias atau tidak sesuai dengan sebenarnya, maka perlu dihilangkan. Untuk menghilangkan *outliers* digunakan interval kepercayaan 95%. Sehingga dengan kata lain, proses ini adalah termasuk ke dalam tahapan uji stastistik. Adapun data yang dihasilkan adalah data berformat *Val.<expt>*, *<expt>*.



Gambar 2. 7 Diagram Alir Proses Data Menggunakan GAMIT dan GLOBK

2.8 Generic Mapping Tools (GMT)

Generic Mapping Tools (GMT) merupakan *software open source* yang mengandung 80 perintah untuk melakukan pengolahan data geografis (termasuk penyeleksian, analisa trend, gridding, dan juga sistem proyeksi). Dalam software GMT mendukung lebih dari 30 jenis proyeksi peta dan transformasi. Dalam software GMT terdapat beberapa versi dan dapat digunakan dalam beberapa sitem operasi antara lain *Windows, Linux, dan Mac OS*.

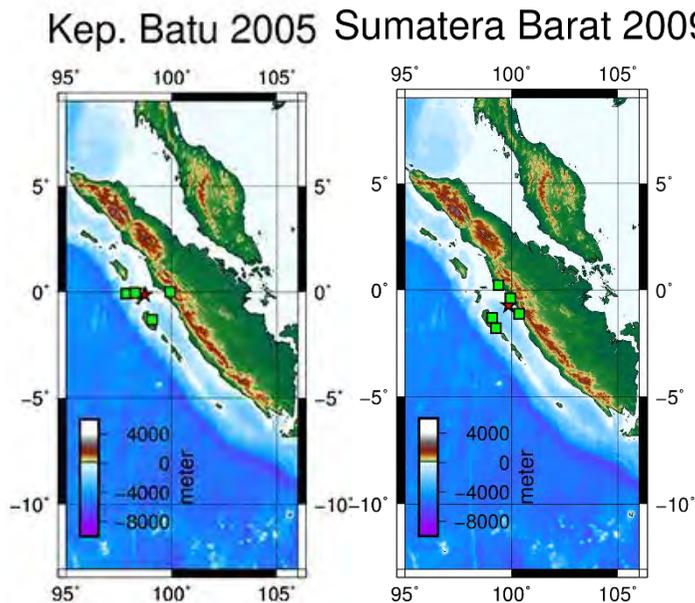
Dalam proses pengolahan data, hasil pengolahan menggunakan software GMT akan disimpan dalam format eps (*encapsulated postscript*). Dalam software ini juga tersimpan database garis pantai, sungai, batas negara dan lain lain (Hawaii, 2016). Beberapa perintah yang digunakan dalam GMT adalah sebagai berikut:

psxy	= <i>Plot</i> garis dan simbol pada peta
psvelo	= <i>Plot</i> vektor kecepatan pada peta
pscoast	= <i>Plot</i> garis pantai, sungai, dan batas pada peta

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di pulau Sumatra, Indonesia yang memiliki stasiun pengamatan SuGAR saat terjadi gempa bumi Kepulauan Batu 2005 dengan jenis sesar *strike-slip fault* pada episenter 98.729°BT 0.127°LS dan Sumatra Barat 2009 dengan jenis sesar *strike-slip fault* pada episenter 99.867°BT 0.720°LS (USGS, 2016).



Gambar 3. 1 Lokasi dan Sebaran Jaring GPS

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

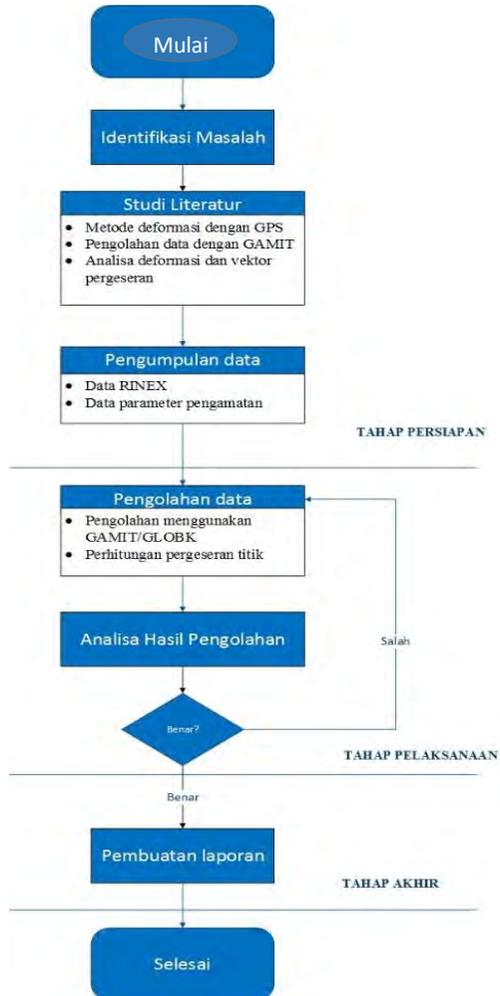
1. Data RINEX GPS stasiun pengamatan SuGAR sekitar gempa selama 1 bulan pengamatan, yaitu:
 - a. Kepulauan Batu, 14 Februari 2005
 - ABGS
 - PSMK
 - MSAI
 - PTLO
 - b. Sumatra Barat, 30 September 2009
 - ABGS
 - MSAI
 - NGNG
 - PSKI
 - TIKU
2. Data parameter pengamatan berupa:
 - IGS SP3 *ephemeris file* (igsWWWWD.sp3)
 - *File* navigasi brdc RINEX (brdcDDD0.YYn)
 - *File* gelombang pasang surut (otl_FES2004.grd)
 - *File* atmosfer (atmdisp_yyyy),
 - *File* pemodelan cuaca (vmfl.grd.yyyy)

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a. Perangkat Keras (*hardware*)
 - Laptop
- b. Perangkat Lunak (*software*)
 - Microsoft Office
 - GAMIT
 - GLOBK
 - GMT

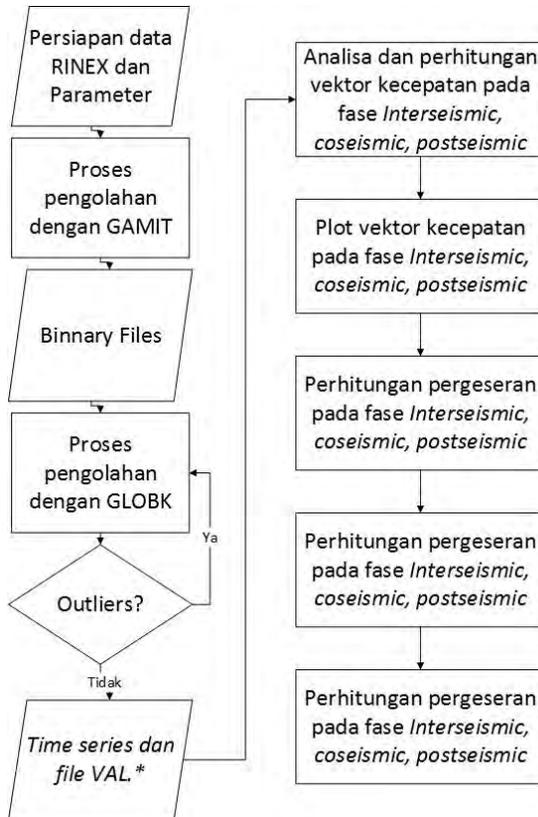
3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 2 Tahapan Penelitian

Penjelasan dari diagram alir pada Gambar 3.2 dijabarkan di bawah ini:

1. Identifikasi Masalah
Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah berapa besar pergeseran yang diakibatkan oleh gempa dari titik-titik pengamatan.
2. Studi Literatur
Tahapan Ini bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.
3. Pengumpulan Data
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan semua data yang diperlukan untuk penelitian. Data diperoleh dari hasil pemantauan menggunakan GPS di stasiun-stasiun pengamatan SuGAR secara kontinyu oleh EOS.
4. Pengolahan Data
Pada tahapan ini data yang sudah dikumpulkan kemudian diproses menggunakan *software* pengolah data GPS yaitu GAMIT & GLOBK
5. Analisa Hasil
Setelah data selesai diolah maka akan dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan. Pada tahap ini hasil pengolahan akan dianalisa perubahan lokasi dari waktu (*Interseismic, Coseismic, Postseismic*).
6. Pembuatan Laporan
Tahapan ini merupakan tahap akhir dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 3. 3 Tahapan Pengolahan Data

3.4 Tahapan Pengolahan Data

Penjelasan dari gambar 3.3 tentang tahap pengolahan data adalah sebagai berikut:

1) Persiapan data RINEX dan data parameter

Pada tahap ini adalah proses download data RINEX dari pusat data di SOPAC. Beberapa data yang dibutuhkan diantaranya: informasi antenna untuk setiap data (file *station.info*), daftar stasiun pengamatan yang akan digunakan, data observasi IGS sebaga untuk kontrol file, IGS SP3 ephemeris file (*igsWWWWD.sp3*), nilai jam satelit, file navigasi *brdc RINEX (brdcDDD0.YYn)*.

2) Proses pengolahan menggunakan GAMIT

Dalam pengolahan GPS menggunakan GAMIT yang pertama adalah membuat direktori pekerjaan EXPT dan menghubungkan seluruh file yang dibutuhkan dengan perintah *sh_setup* pada terminal linux. Selanjutnya melakukan editing *control file* yang akan digunakan sesuai dengan parameter dan skenario pengamatan yang telah direncanakan.

Jika seluruh data yang dibutuhkan sudah disiapkan letakkan pada direktori kerja dan seluruh file control dalam direktori */tables* sudah di sesuaikan dengan kebutuhan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perintah *sh_gamit* pada terminal linux.

3) Proses pengolahan menggunakan GLOBK

Dalam aplikasi GLOBK akan dilakukan kombinasi DOY dan *plotting* parameter koordinat h-file secara time series yang sebelumnya dilakukan *filtering* dengan metode *Kalman Filter*.

4) Deteksi data *Outlier*

Ouliers adalah data yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam suatu rangkaian data (*time series*). Agar analisis dari hasil tidak menjadi bias atau tidak sesuai dengan sebenarnya, maka perlu dihilangkan. Untuk

menghilangkan *outliers* digunakan interval kepercayaan 95%. Sehingga dengan kata lain, proses ini adalah termasuk ke dalam tahapan uji statistik. Adapun data yang dihasilkan adalah data berformat *Val.<expt>, <expt>*.

- 5) Analisa vektor pada fase *interseismic, coseismic, postseismic*.

Langkah ini bertujuan mendapatkan besar dan arah besar vektor pergeseran titik stasiun GPS pada setiap fase gempa.

- 6) Menghitung perubahan posisi pada fase *interseismic, coseismic, postseismic*

Langkah berikutnya adalah mendapatkan besar dan arah besar vektor pergeseran titik stasiun GPS pada setiap fase gempa. Untuk mendapatkan besar pergeseran titik GPS sebelum gempa (*interseismic*) dan setelah gempa (*postseismic*). Adapun fase *coseismic* didapatkan dari sampel data pengamatan yang diambil sebelum dan sesudah gempa. Untuk mendapatkan nilai pergeserannya adalah dengan menghitung selisih rata-rata dari data tersebut.

- 7) Plot vektor pergeseran pada fase *interseismic, coseismic, postseismic*

Selanjutnya pada langkah ini digunakan untuk mendapatkan peta pergeseran koordinat dari jaring GPS yang telah diamati dan diolah. *Plotting* dilakukan dengan menggunakan software GMT dengan memasukan besar pergeseran.

- 8) Analisa perubahan posisi

Dari hasil perhitungan dilakukan analisa terhadap perubahan posisi yang terjadi pada tiga fase yaitu *interseismic, postseismic, coseismic*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dan pembahasan dari penelitian ini mulai dari pengolahan data GPS, analisis data *time series*, perhitungan kecepatan, perhitungan vektor pergeseran dan plotting vektor pergeseran.

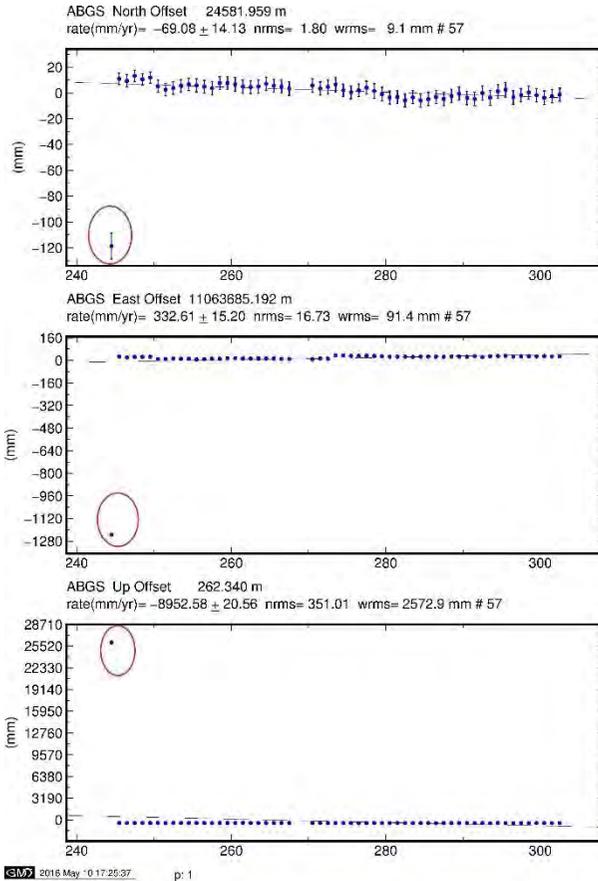
4.1. Hasil Pengolahan GAMIT/GLOBK

Pengolahan data RINEX GPS dan data-data pendukung lainnya dalam penelitian ini diproses menggunakan GAMIT (GPS Analysis at MIT). GAMIT mengolah data dengan melakukan perhitungan pada setiap *Days of Year* (DOY) pengamatan yang diteliti, Output dari pengolahan ini adalah berupa kumpulan *folder* DOY yang berisi solusi GAMIT berupa h-file, q-file, sh_gamit_ddd.summary, dan file lainnya. Namun hanya menggunakan ketiga file diatas, data yang didapat sudah dapat digunakan dalam melakukan proses lebih lanjut. tahapan selanjutnya menggunakan *software* GLOBK. Dalam pengolahan GLOBK didapatkan koordinat geosentrik atau toposentrik yang selanjutnya akan diamati pergerakan posisinya secara *time series* sehingga dapat diketahui besar pergeseran titik GPS.

4.1.1. Pengolahan *Time Series*

Dalam pengolahan GAMIT/GLOBK didapatkan koordinat geosentrik dan lokal toposentrik yang selanjutnya akan diamati pergerakan posisi setiap stasiun GPS pada sumbu *easting* (E), *northing* (N) dan *up* (u) dari setiap DOY, sehingga nantinya dapat diketahui besar pergeseran titik GPS yang diamati. Yang digunakan untuk mendapatkan besar dan arah pergeseran suatu stasiun GPS pada setiap fase gempa, dilakukan pembagian pengamatan posisi GPS ke dalam tiga fase menurut fase gempa itu sendiri yaitu, *interseismic* atau fase sebelum gempa terjadi, *coseismic* yakni fase dimana gempa itu terjadi, *postseismic* adalah fase pasca gempa terjadi. Berikut ini adalah contoh tampilan dari plotting *time series*

dari titik ABGS pada gempa Sumatra Barat, 29 September 2009 yaitu (psbase_7676.ABGS). File psbase_[expt].[GPS] lainnya dapat dilihat pada lampiran *plotting time series*.



Gambar 4. 1 *Time series* stasiun pengamatan ABGS, Gempa 29 September 2009

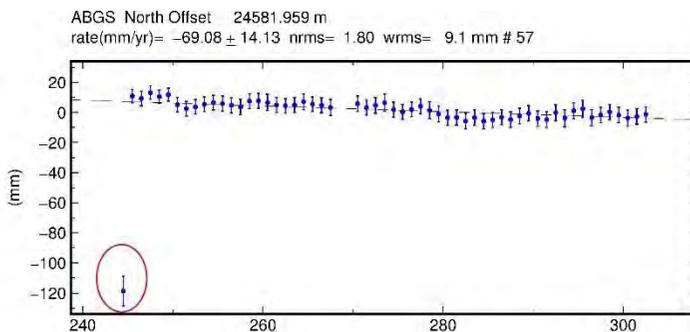
Hasil *plotting time series* pada gambar 4.1 adalah merupakan hasil plotting dari seluruh fase gempa Sumatra Barat 29 September 2009 (DOY 241-302). Pada setiap grafik *plotting time series*

menggambarkan posisi GPS *easting* (E), *northing* (N), *up* (U) dalam sumbu Y pada satuan DOY dalam sumbu X.

Dari gambar 4.1 dapat didapatkan nilai rms pada *easting* (E), *northing* (N), *up* (U) yaitu 3.2 mm, 5.3 mm, dan 4.9 mm. Nilai tersebut masih merupakan nilai rms keseluruhan karena hasil tersebut memasukan nilai DOY pada waktu gempa (*coseseismic*). Prinsip dari software GLOBK adalah nilai uncertainties dari pengamatan GPS dihasilkan dari pendekatan linier, sehingga nilai yang didapatkan dari pengolahan GLOBK harus sudah terbebas dari kesalahan acak kontinyu (Herring, 2015).

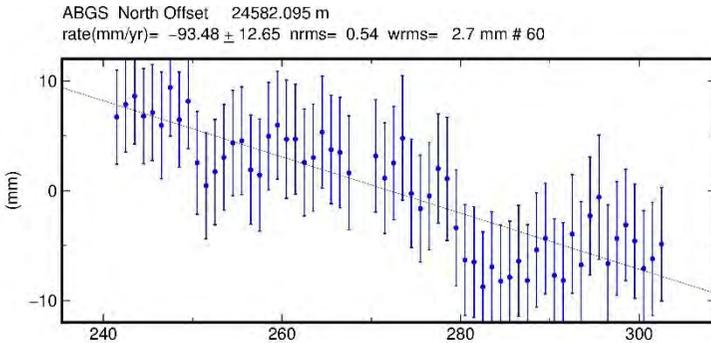
4.1.2. Deteksi dan Menghapus Data *Outliers*

Outliers adalah data yang menyimpang terlalu jauh dari data-data lainya dalam sebuah barisan data. Adanya data *outliers* ini akan menjadi biasa pada analisa data tersebut, atau tidak mencerminkan fenomena yang sebenarnya terjadi. Hasil potting *time series* masih terdapat data *outliers* sehingga perlu dihilangkan. Data yang dihilangkan dengan cara melakukan uji statistik *error probability* dengan tingkat uji kepercayaan 95%, kemudian dilakukan pengolahan ulang. Data koordinat *time series* dapat dilihat pada *file* Val.expt pada *folder* gsoln.



Gambar 4. 2 Hasil plotting *time series* stasiun ABGS sebelum dihilangkan *outliers*

Gambar 4.2. adalah hasil plotting *time series north* stasiun pengamatan ABGS yang belum dikurangi data outliers. Contoh data outliers ditunjukkan pada lingkaran merah. Dimana titik tersebut jauh dari titik-titik yang lain. Garis hitam menunjukkan fitting line dari plotting *time series*, dan titik dengan garis biru menunjukkan besar nilai dari tiap koordinat.



Gambar 4. 3 Hasil plotting time series stasiun ABGS sesudah dihilangkan *outliers*

Pada gambar 4.3 terlihat perubahan setelah data outliers dihilangkan. Dengan menghilangkan data outliers hasil plotting time series mengalami perubahan yang ditunjukkan oleh nilai rms yang berubah dari 9.1 mm menjadi 2.7 mm.

Tabel 4. 1 RMS stasiun pengamatan pada Gempa Kepulauan Batu 2005 sebelum dihilangkan *outliers*

Stasiun GPS	RMS Easting (+mm)	RMS Northing (+mm)	RMS Up (\pm mm)
ABGS	1.6	1.6	3.3
MSAI	1.5	1.0	3.7
PTLO	1.6	1.4	3.3
PSMK	1.5	1.6	3.1

Tabel 4. 2 stasiun pengamatan pada Gempa Kepulauan Batu 2005 setelah dihilangkan *outliers*

Stasiun GPS	RMS Easting (\pm mm)	RMS Northing (\pm mm)	RMS Up (\pm mm)
ABGS	1.5	1.6	3.2
MSAI	1.4	1.0	3.7
PTLO	1.7	1.4	3.2
PSMK	1.5	1.5	3.2

Pada Tabel 4.1 dan 4.2 terlihat perubahan nilai rms yang semakin kecil pada stasiun pengamatan ABGS dan MSAI dan pada stasiun pengamatan PTLO dan PSMK terlihat mengalami kenaikan. Perubahan nilai rms akan semakin baik ketika nilai menjadi semakin kecil, akan tetapi perubahan yang semakin naik pada stasiun PTLO dan PSMK tidak masalah karena masih memenuhi toleransi sebesar 10 mm (Herring dalam Ihsan, 2015).

Tabel 4. 3 stasiun pengamatan pada Gempa Sumatra Barat 2009 sebelum dihilangkan *outliers*

Stasiun GPS	RMS Easting (\pm mm)	RMS Northing (\pm mm)	RMS Up (\pm mm)
ABGS	91.4	9.1	2572.9
MSAI	8.5	5.1	5.1
NGNG	3.8	4.8	3.5
TIKU	6.4	5.9	4.0
PSKI	5.3	4.9	4.7

Tabel 4. 4 stasiun pengamatan pada Gempa Sumatra Barat 2009 setelah dihilangkan *outliers*

Stasiun GPS	RMS Easting (+mm)	RMS Northing (+mm)	RMS Up (+mm)
ABGS	5.3	3.2	4.9
MSAI	8.8	4.9	4.9
NGNG	3.1	4.0	3.9
TIKU	4.2	5.2	4.1
PSKI	3.4	4.3	4.6

Pada Tabel 4.3 dan 4.4 terlihat perubahan nilai rms pada stasiun pengamatan. Pada stasiun pengamatan yang nilainya naik masih diizinkan karena masih memenuhi toleransi.

4.2. Perhitungan Kecepatan Vektor Pergeseran

Kecepatan pergeseran adalah besaran yang menyatakan perubahan suatu titik dalam selang waktu tertentu sehingga menjadi indikator terjadinya deformasi pada daerah pengamatan. Sistem koordinat toposentrik lokal dipilih sebagai data yang dipakai dalam proses perhitungan pola dan besar kecepatan pergeseran. Titik acuannya adalah sesi pertama pada pengamatan masing-masing stasiun, sehingga pergeseran titik yang sama pada sesi selanjutnya mengacu pada sesi pertama.

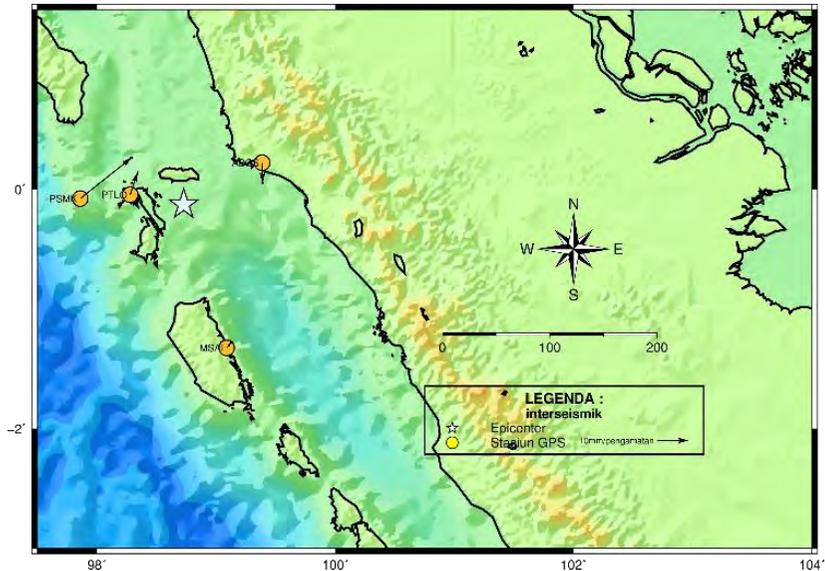
Tabel 4. 5 Kecepatan *Interseismic* Gempa Kepulauan Batu 2005

Stasiun GPS	Kecepatan Interseismic		Arah (°)
	Ve (m/2bulan)	Vn (m/2bulan)	
ABGS	0.00014	-0.00640	178.748
MSAI	0.00151	0.00183	39.583
PSMK	0.00244	0.00719	18.769
PTLO	0.01649	0.01296	51.831

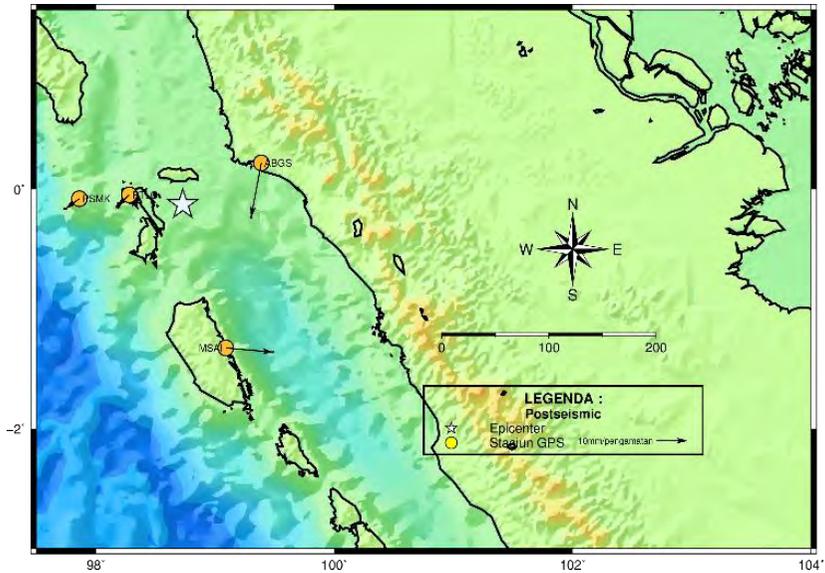
Tabel 4. 6 Kecepatan *Postseismic* Gempa Kepulauan Batu 2005

Stasiun GPS	Kecepatan Postseismic		Arah (°)
	Ve (m/2bulan)	Vn (m/2bulan)	
ABGS	-0.00328	-0.01729	190.730
MSAI	0.01527	-0.00135	95.060
PSMK	-0.00402	-0.00376	226.886
PTLO	-0.00450	-0.00323	234.310

Dari hasil perhitungan kecepatan yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan 4.6 dapat digambarkan pada gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4. 4 Gambar kecepatan dan arah pada fase *interseismic* gempa Kepulauan Batu 2005



Gambar 4. 5 Gambar kecepatan dan arah pada fase *postseismic* gempa Kepulauan Batu 2005

Pada Gempa Sumatra Barat 2009 dilakukan langkah perhitungan yang sama sehingga menghasilkan kecepatan yaitu:

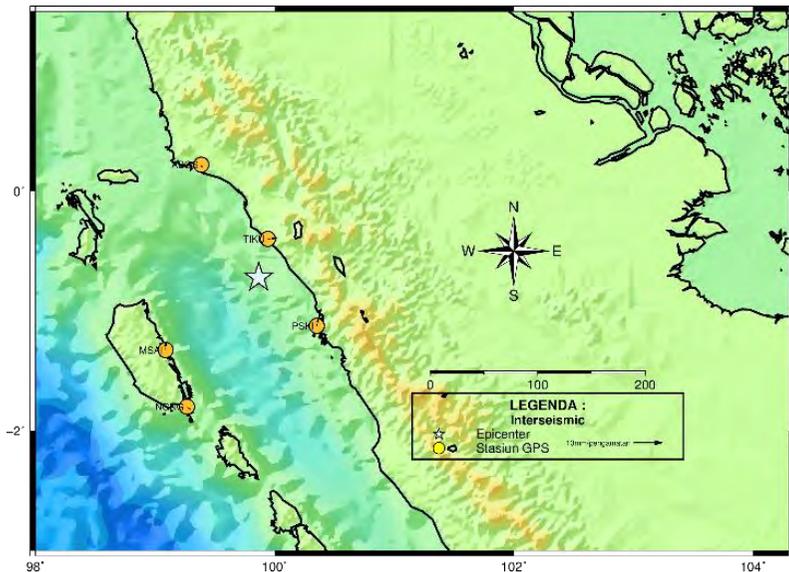
Tabel 4. 7 Kecepatan *Interseismic* Gempa Sumatra Barat 2009

Stasiun GPS	Kecepatan Interseismic		Arah (°)
	V_e (m/2bulan)	V_n (m/2bulan)	
ABGS	0.00117	-0.00409	164.036
MSAI	0.00011	0.02023	180.312
NGNG	0.00703	-0.00647	132.625
PSKI	0.00441	0.01886	13.161
TIKU	0.01965	0.00188	84.535

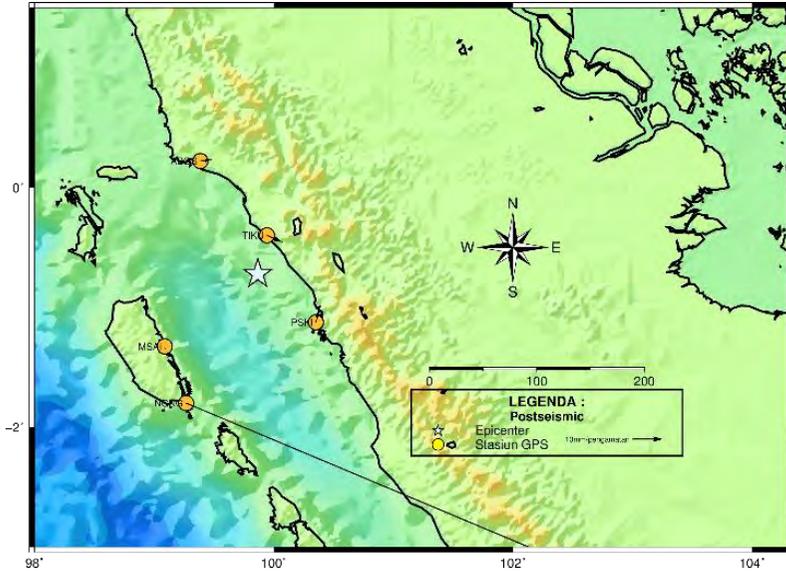
Tabel 4. 8 Kecepatan *Postseismic* Gempa Sumatra Barat 2009

Stasiun GPS	Kecepatan Postseismic		Arah (°)
	Ve (m/2bulan)	Vn (m/2bulan)	
ABGS	0.02306	0.00308	82.39234
MSAI	0.00065	-0.00547	173.2233
NGNG	0.95770	-0.39901	112.6183
PSKI	0.00664	0.02645	14.0923
TIKU	0.03345	-0.01479	113.8527

Nilai kecepatan pergeseran dari Tabel 4.7 dan 4.8 dapat digambarkan dengan gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4. 6 Gambar kecepatan dan arah pada fase *interseismic* gempa Sumatra Barat 2009



Gambar 4. 7 Gambar kecepatan dan arah pada fase *postseismic* gempa Sumatra Barat 2009

Dalam penelitian ini, arah dan kecepatan horisontal terfokus pada jarak dan nilai pergeseran yang diolah. Nilai pergeseran tersebut bernilai negatif (-) atau positif (+) yang dapat mempengaruhi dari arah pergeseran.

4.3. Perhitungan besar pergeseran

Penentuan besar pergeseran vektor fase gempa dihitung pada bidang horisontal (E dan N). Adapun untuk mendapatkan nilai pergeseran akibat gempa yang terjadi dilakukan perhitungan selisih rata-rata dari data *interseismic* dan *postseismic*. Tabel 4.9 dan 4.10 menunjukkan besar pergeseran pada fase *interseismic* pada gempa Kepulauan Batu 2005 dan gempa Sumatra Barat 2009.

Tabel 4. 9 Nilai pergeseran *interseismic* gempa Kepulauan Batu 2005

Stasiun GPS	dE (m)	dN (m)	Pergeseran (m)
ABGS	-0.00006	-0.00063	0.00063
MSAI	-0.00084	-0.00001	0.00084
PSMK	0.00061	0.00010	0.00062
PTLO	0.00018	0.00028	0.00033

Tabel 4. 10 Nilai pergeseran *interseismic* gempa Sumatra Barat 2009

Stasiun GPS	dE (m)	dN (m)	Pergeseran (m)
ABGS	-0.00241	0.00015	0.00241
MSAI	0.00124	-0.00104	0.00162
NGNG	-0.00074	0.00052	0.00090
TIKU	-0.00208	-0.00084	0.00224
PSKI	0.00059	0.00019	0.00062

Pada Tabel 4.9 menunjukkan besar pergeseran titik stasiun GPS pada saat sebelum gempa (*interseismic*) Kepulauan Batu 2005. Besar vektor pergeseran horisontal tertinggi dimiliki oleh stasiun MSAI sebesar 0.00084 m. sedangkan vektor pergeseran terendah dimiliki oleh stasiun PTLO sebesar 0.00033 m.

Sedangkan pada Tabel 4.10 menunjukkan besar pergeseran sebelum gempa (*interseismic*) Sumatra Barat 2009. Tabel tersebut menggambarkan bahwa stasiun GPS ABGS adalah stasiun pengamatan yang memiliki pergeseran paling tinggi dengan nilai 0.00241 m dan stasiun PSKI mengalami pergeseran paling kecil dengan nilai pergeseran 0.00062 m.

Tabel 4. 11 Nilai pergeseran *postseismic* gempa Kepulauan Batu 2005

Stasiun GPS	dE (m)	dN (m)	Pergeseran (m)
ABGS	-0.00082	-0.00144	0.00166
MSAI	0.00016	0.00017	0.00024
PSMK	0.00008	-0.00006	0.00010
PTLO	0.00006	-0.00005	0.00008

Tabel 4. 12 Nilai pergeseran *postseismic* gempa Sumatra Barat 2009

Stasiun GPS	dE (m)	dN (m)	Pergeseran (m)
ABGS	-0.00243	-0.00141	0.00281
MSAI	0.00007	0.00086	0.00087
NGNG	-0.00255	-0.00256	0.00361
TIKU	-0.00192	0.00089	0.00212
PSKI	0.00146	0.00098	0.00176

Pada Tabel 4.11 dijelaskan besar pergeseran titik stasiun GPS pada saat sesudah gempa (*postseismic*) Kepulauan Batu 2005, dengan besar vektor pergeseran horisontal tertinggi dimiliki oleh stasiun ABGS sebesar 0.00166 m. sedangkan vektor pergeseran terendah dimiliki oleh stasiun PTLO sebesar 0.00008 m.

Selanjutnya pada Tabel 4.12 menunjukkan besar pergeseran sesudah gempa (*postseismic*) Sumatra Barat 2009. Di mana stasiun NGNG adalah stasiun pengamatan yang memiliki pergeseran paling tinggi dengan nilai 0.00361 m dan stasiun MSAI mengalami pergeseran paling kecil dengan nilai pergeseran 0.00087 m.

Tabel 4. 13 Nilai Pergeseran *coseismic* gempa Kepulauan Batu 2005

Stasiun GPS	Pergeseran <i>coseismic</i> (m)
ABGS	0.00115
MSAI	0.00054
PSMK	0.00036
PTLO	0.00020

Tabel 4. 14 Nilai Pergeseran *coseismic* gempa Sumatra Barat 2009

Stasiun GPS	Pergeseran <i>coseismic</i> (m)
ABGS	0.00261
MSAI	0.00124
NGNG	0.00226
TIKU	0.00218
PSKI	0.00119

Pada Tabel 4.13 dan 4.14 didapatkan nilai pergeseran akibat gempa (*coseismic*). Dapat dilihat juga pada gempa Kepulauan Batu 2005 stasiun ABGS mengalami pergeseran yang paling besar dengan nilai 0.00115 m dan stasiun PTLO mengalami pergeseran paling kecil dengan nilai 0.00020 m. Sedangkan pada gempa Sumatra Barat 2009 dapat dilihat pergeseran pada stasiun ABGS adalah yang terbesar dengan nilai 0.00261 m dan pergeseran pada stasiun MSAI adalah yang terkecil dengan nilai 0.00124 m.

4.4. Hubungan antara jarak dan pergeseran

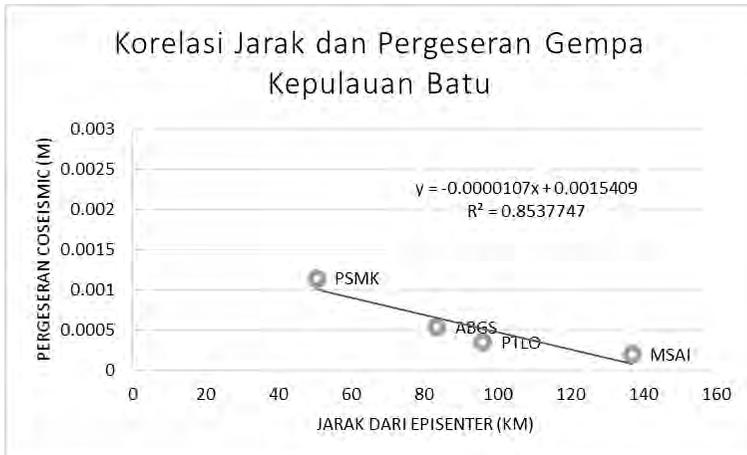
Setelah mendapatkan nilai pergeseran *coseismic* dari setiap stasiun pengamatan dari setiap gempa yang diamati, maka dilakukan regresi dengan menggunakan data hasil perhitungan dan jarak stasiun dari episenter. Regresi ini dilakukan untuk mengetahui nilai hubungan dari dua variabel yaitu jarak dari episenter dan besar pergeseran sehingga didapatkan R^2 . Nilai R^2 merupakan koefisien determinasi yang menggambarkan hubungan dari dua variabel tersebut.

Tabel 4. 15 Tabel jarak dan pergeseran *coseismic*

Gempa	Stasiun GPS	Jarak dari episenter (Km)	Pergeseran <i>coseismic</i> (m)
Kepulauan Batu, 14 Februari 2005	ABGS	83.25	0.00115
	MSAI	136.73	0.00054
	PSMK	50.39	0.00036
	PTLO	95.87	0.00020
Sumatra Barat, 29 September 2009	ABGS	118.09	0.00261
	MSAI	104.28	0.00124
	NGNG	136.64	0.00226
	PSKI	68.53	0.00119
	TIKU	37.24	0.00218

Dari Tabel 4.15 didapatkan grafik korelasi antara jarak dan pergeseran *coseismic* yang digambarkan pada gambar 4.9 Dan 4.10. Dari gambar tersebut juga didapatkan nilai korelasi pada gempa Kepulauan Batu sebesar 0.85377 dan pada gempa Sumatra Barat didapatkan nilai korelasi dengan nilai 0.32894.

Dari Tabel 2.1 nilai korelasi tersebut dapat disimpulkan bahwa korelasi pada gempa Kepulauan Batu memiliki nilai yang sangat kuat. Sedangkan pada gempa Sumatra Barat memiliki nilai korelasi cukup, hal ini bisa dimungkinkan terjadi dikarenakan ada beberapa titik pengamatan dari gempa Sumatra Barat berada dekat dengan patahan sehingga terjadi pergeseran yang besar pada titik yang jauh dari episenter gempa. Untuk menentukan korelasi bukan hanya dari jarak episenter terhadap stasiun pengamatan tetapi ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi pergeseran (Nikolaidis, 2002).



Gambar 4. 8 Korelasi jarak dan pergeseran gempa Kepulauan Batu



Gambar 4. 9 Korelasi jarak dan pergeseran gempa Sumatra Barat

LAMPIRAN

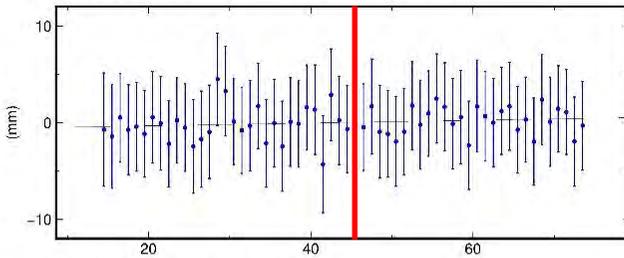
Lampiran 1

Time Series sebelum dihilangkan outlier

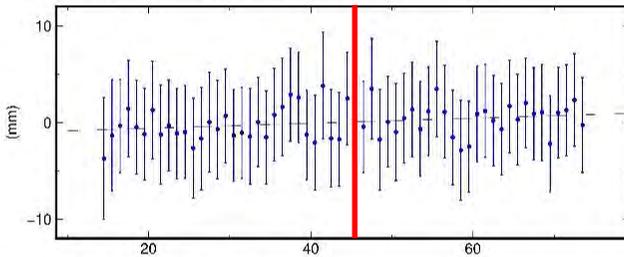
Keterangan: | = Momen gempa terjadi (*coseismic*)

a. Gempa Kepulauan Batu stasiun ABGS

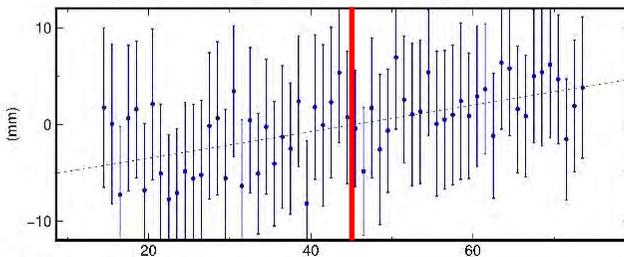
ABGS North Offset 24582.073 m
rate(mm/yr)= 5.17 ± 12.66 nrms= 0.34 wrms= 1.6 mm # 60



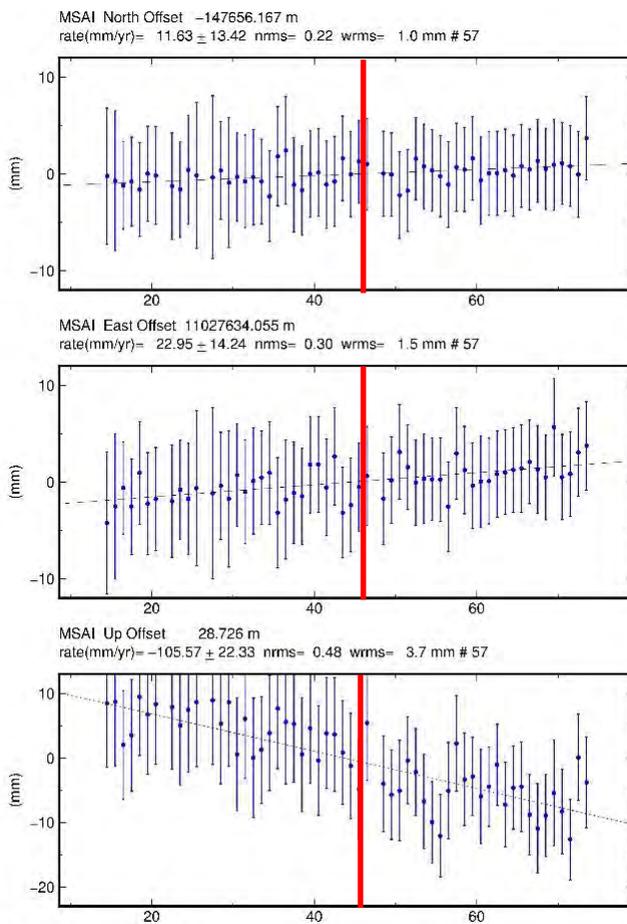
ABGS East Offset 11063686.394 m
rate(mm/yr)= 9.55 ± 13.42 nrms= 0.33 wrms= 1.6 mm # 60



ABGS Up Offset 235.875 m
rate(mm/yr)= 50.17 ± 19.35 nrms= 0.47 wrms= 3.3 mm # 60

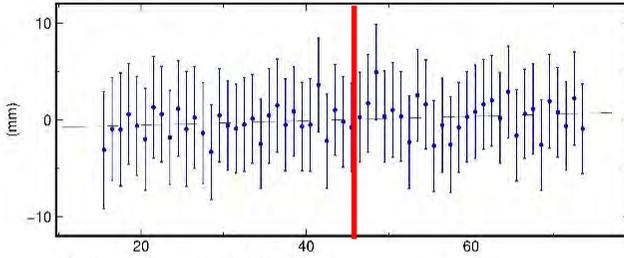


b. Gempa Kepulauan Batu stasiun MSAI

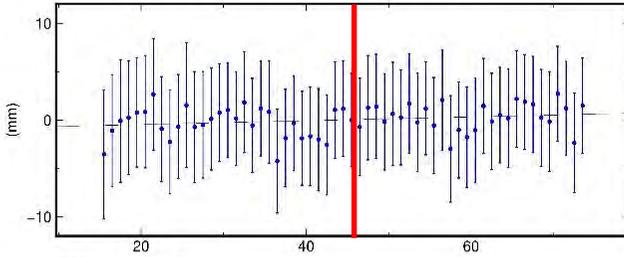


c. Gempa Kepulauan Batu stasiun PSMK

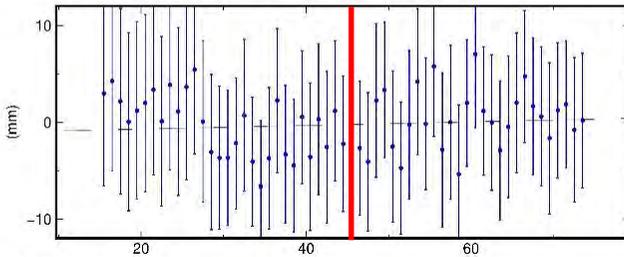
PSMK North Offset -9942.407 m
rate(mm/yr)= 8.28 ± 13.80 nrms= 0.34 wrms= 1.6 mm # 59



PSMK East Offset 10893813.085 m
rate(mm/yr)= 7.19 ± 14.89 nrms= 0.29 wrms= 1.5 mm # 59

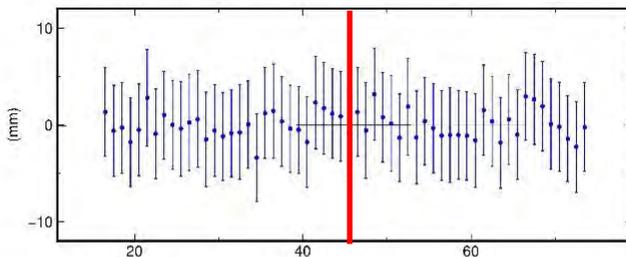


PSMK Up Offset 8.660 m
rate(mm/yr)= 6.84 ± 21.93 nrms= 0.41 wrms= 3.1 mm # 59

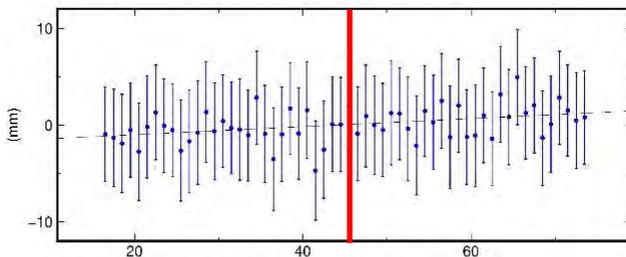


d. Gempa Kepulauan Batu stasiun PTLO

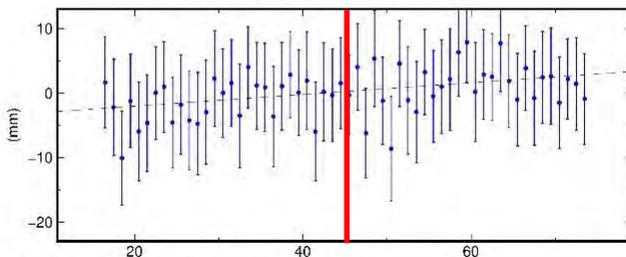
PTLO North Offset -6077.633 m
rate(mm/yr)= 0.83 ± 13.35 nms= 0.30 wrms= 1.4 mm # 58



PTLO East Offset 10940478.702 m
rate(mm/yr)= 15.20 ± 14.17 nms= 0.32 wrms= 1.6 mm # 58

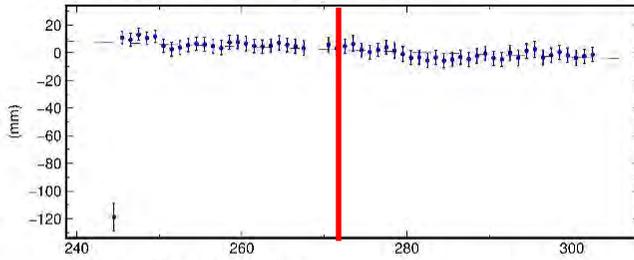


PTLO Up Offset 15.920 m
rate(mm/yr)= 33.15 ± 20.47 nms= 0.47 wrms= 3.3 mm # 58

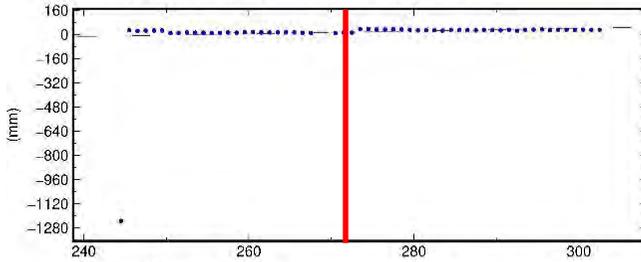


e. Gempa Sumatra Barat stasiun ABGS

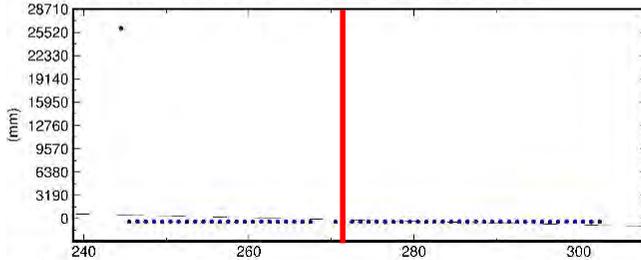
ABGS North Offset 24581.959 m
rate(mm/yr) = -69.08 ± 14.13 nrms= 1.80 wrms= 9.1 mm # 57



ABGS East Offset 11063685.192 m
rate(mm/yr) = 332.61 ± 15.20 nrms= 16.73 wrms= 91.4 mm # 57

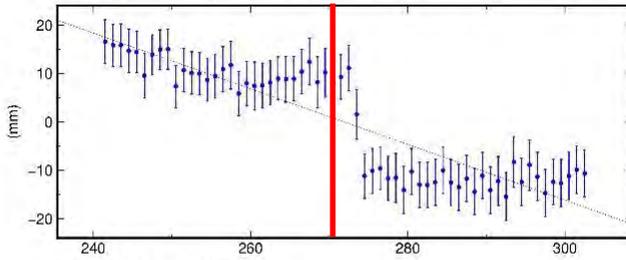


ABGS Up Offset 262.340 m
rate(mm/yr) = -8952.58 ± 20.56 nrms= 351.01 wrms= 2572.9 mm # 57

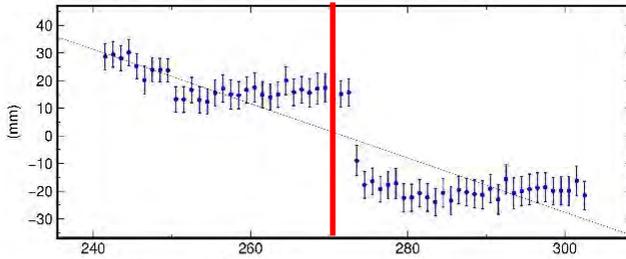


f. Gempa Sumatra Barat stasiun MSAI

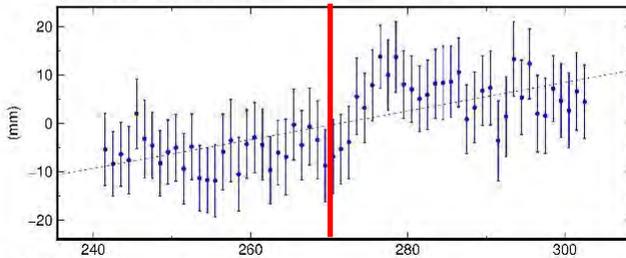
MSAI North Offset -147656.013 m
rate(mm/yr) = -210.18 ± 12.03 nrms = 1.10 wrms = 5.1 mm # 62



MSAI East Offset 11027634.260 m
rate(mm/yr) = -359.11 ± 12.70 nrms = 1.73 wrms = 8.5 mm # 62

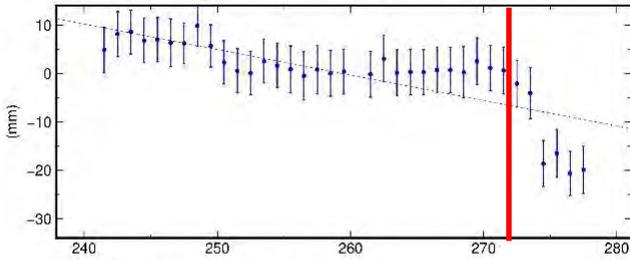


MSAI Up Offset 28.636 m
rate(mm/yr) = 108.18 ± 18.90 nrms = 0.69 wrms = 5.1 mm # 62

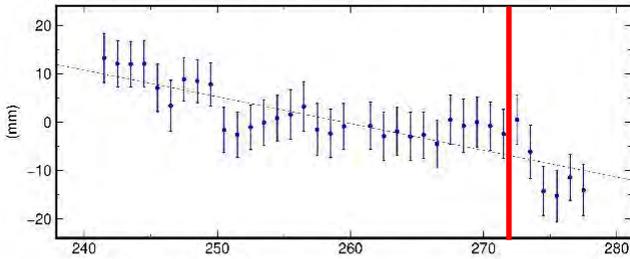


g. Gempa Sumatra Barat stasiun NGNG

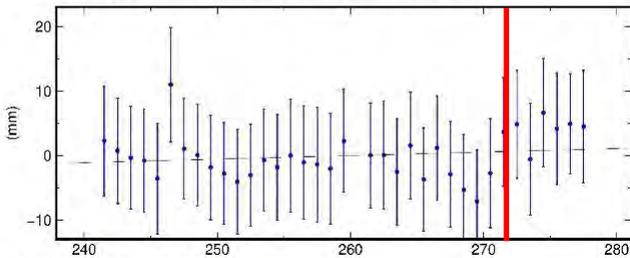
NGNG North Offset -200337.222 m
rate(mm/yr) = -192.20 ± 26.44 nrms = 1.03 wrms = 4.8 mm # 36



NGNG East Offset 11045050.794 m
rate(mm/yr) = -202.23 ± 27.83 nrms = 0.78 wrms = 3.8 mm # 36

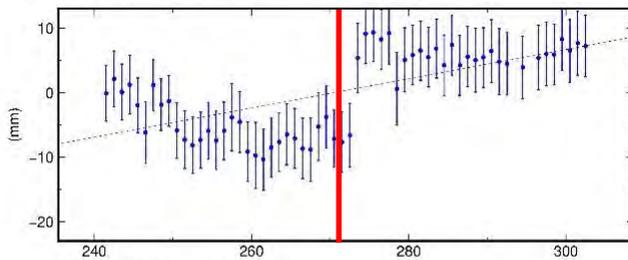


NGNG Up Offset 45.915 m
rate(mm/yr) = 19.98 ± 46.53 nrms = 0.43 wrms = 3.5 mm # 36

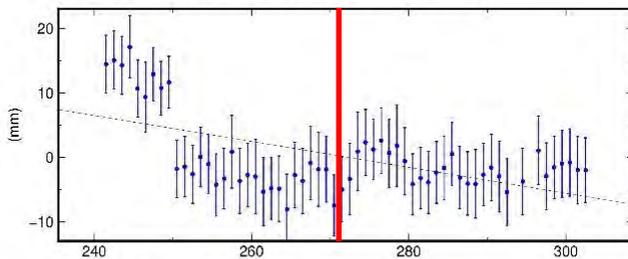


h. Gempa Sumatra Barat stasiun PSKI

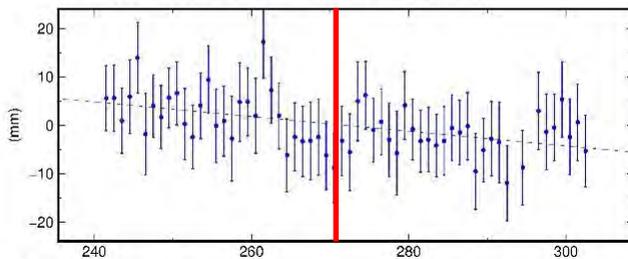
PSKI North Offset -125199.101 m
rate(mm/yr)= 82.71 ± 12.24 nrms= 1.05 wrms= 4.9 mm # 60



PSKI East Offset 11169132.339 m
rate(mm/yr)= -73.40 ± 12.89 nrms= 1.06 wrms= 5.3 mm # 60

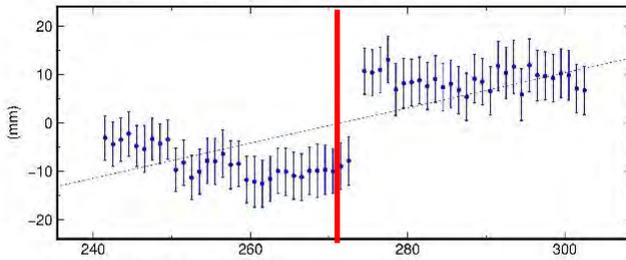


PSKI Up Offset 47.603 m
rate(mm/yr)= -55.27 ± 19.24 nrms= 0.65 wrms= 4.7 mm # 60

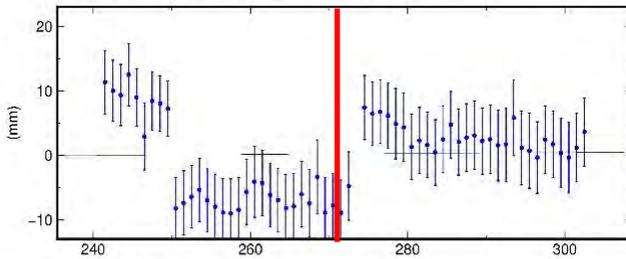


i. Gempa Sumatra Barat stasiun TIKU

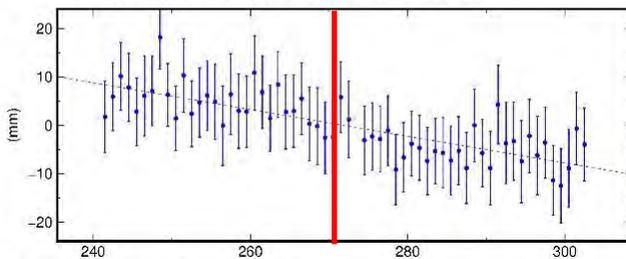
TIKU North Offset -44430.536 m
rate(mm/yr)= 132.66 ± 12.41 nrms= 1.22 wrms= 5.9 mm # 61



TIKU East Offset 11125466.760 m
rate(mm/yr)= 2.76 ± 13.16 nrms= 1.25 wrms= 6.4 mm # 61



TIKU Up Offset 18.321 m
rate(mm/yr)= -100.72 ± 19.09 nrms= 0.54 wrms= 4.0 mm # 61

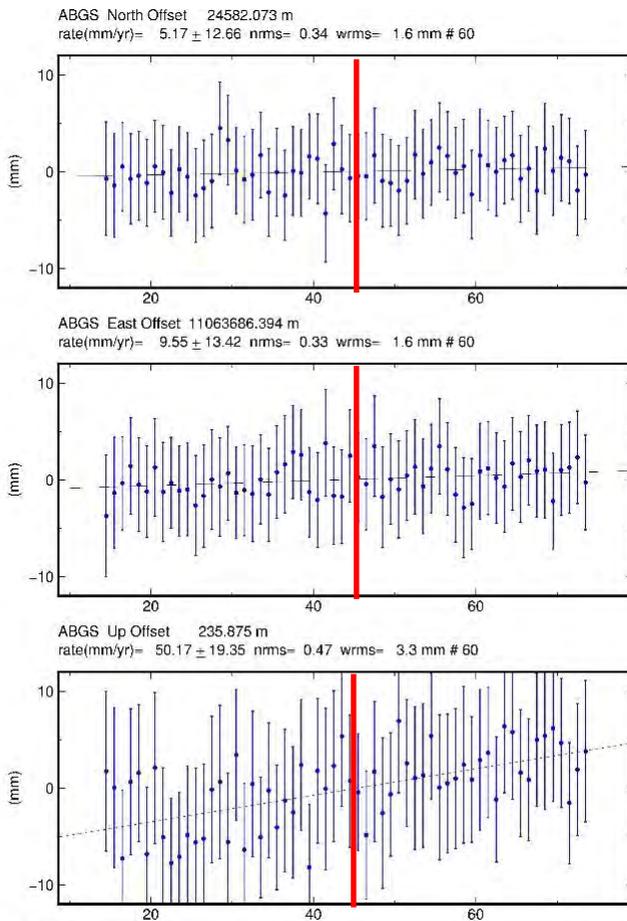


Lampiran 2

Time Series setelah dihilangkan outlier

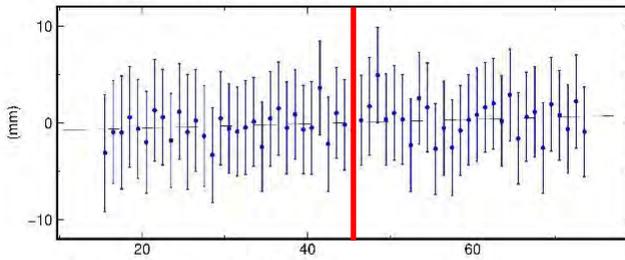
Keterangan: | = Momen gempa terjadi (*coseismic*)

a. Gempa Kepulauan Batu stasiun ABGS

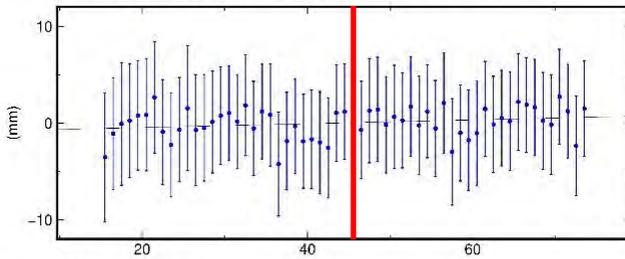


b. Gempa Kepulauan Batu stasiun MSAI

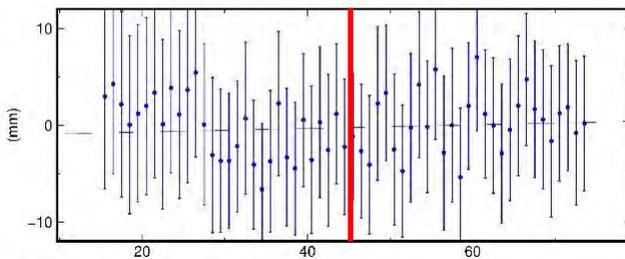
PSMK North Offset -9942.407 m
rate(mm/yr)= 8.28 ± 13.80 nms= 0.34 wrms= 1.6 mm # 59



PSMK East Offset 10893813.085 m
rate(mm/yr)= 7.19 ± 14.89 nms= 0.29 wrms= 1.5 mm # 59

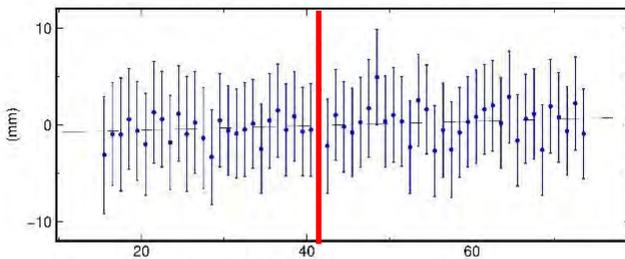


PSMK Up Offset 8.660 m
rate(mm/yr)= 6.84 ± 21.93 nms= 0.41 wrms= 3.1 mm # 59

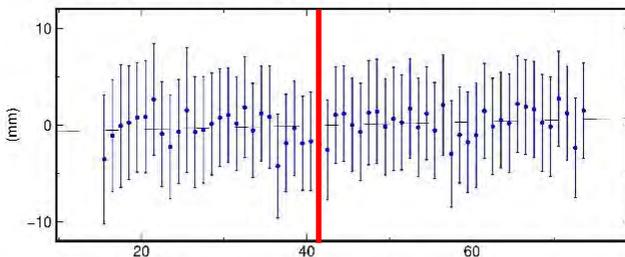


c. Gempa Kepulauan Batu stasiun PSMK

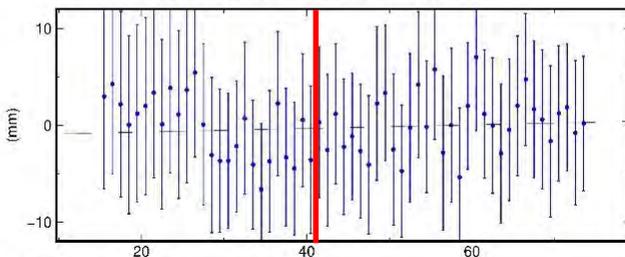
PSMK North Offset -9942.407 m
rate(mm/yr)= 8.28 ± 13.80 nms= 0.34 wrms= 1.6 mm # 59



PSMK East Offset 10893813.085 m
rate(mm/yr)= 7.19 ± 14.89 nms= 0.29 wrms= 1.5 mm # 59

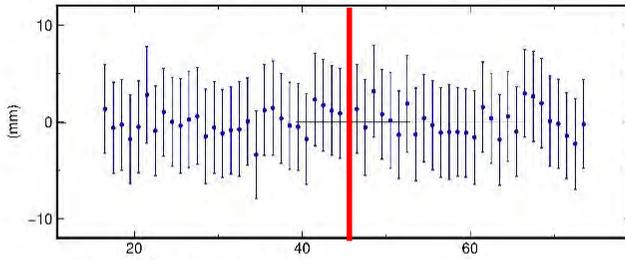


PSMK Up Offset 8.660 m
rate(mm/yr)= 6.84 ± 21.93 nms= 0.41 wrms= 3.1 mm # 59

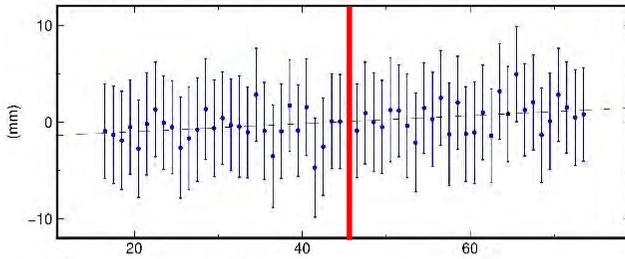


d. Gempa Kepulauan Batu stasiun PTLO

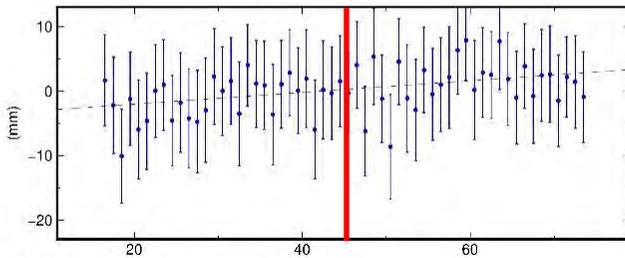
PTLO North Offset -6077.633 m
rate(mm/yr)= 0.83 ± 13.35 nms= 0.30 wrms= 1.4 mm # 58



PTLO East Offset 10940478.702 m
rate(mm/yr)= 15.20 ± 14.17 nms= 0.32 wrms= 1.6 mm # 58

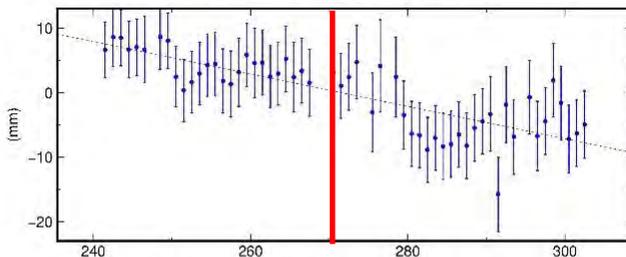


PTLO Up Offset 15.920 m
rate(mm/yr)= 33.15 ± 20.47 nms= 0.47 wrms= 3.3 mm # 58

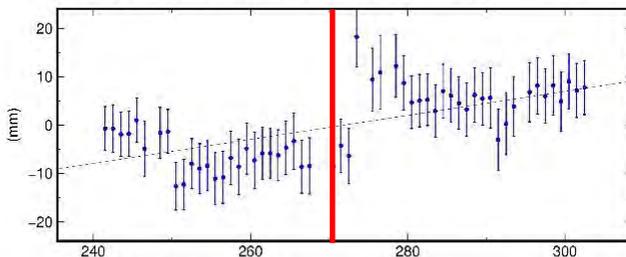


e. Gempa Sumatra Barat stasiun ABGS

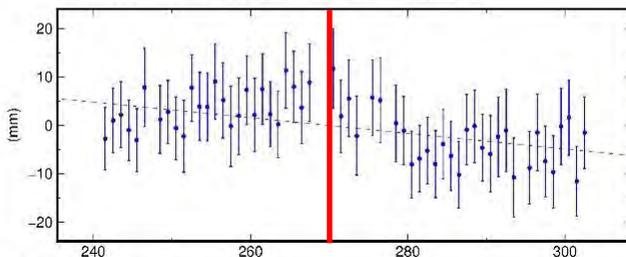
ABGS North Offset 24582.095 m
rate(mm/yr)= -91.70 ± 13.36 nrms= 0.64 wrms= 3.2 mm # 56



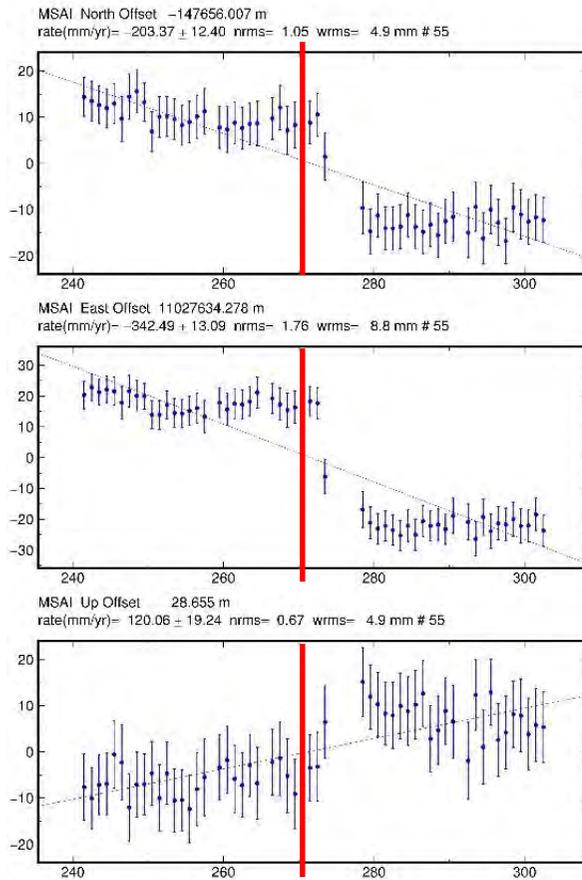
ABGS East Offset 11063686.480 m
rate(mm/yr)= 90.84 ± 14.36 nrms= 0.97 wrms= 5.3 mm # 56



ABGS Up Offset 235.855 m
rate(mm/yr)= -58.94 ± 19.25 nrms= 0.67 wrms= 4.9 mm # 56

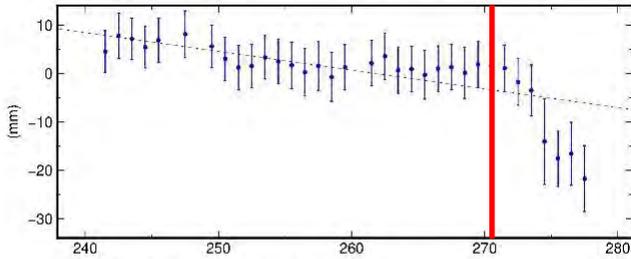


f. Gempa Sumatra Barat stasiun MSAI

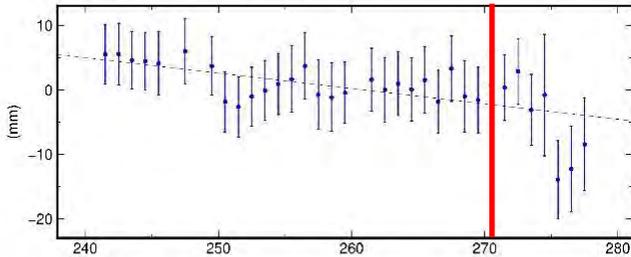


g. Gempa Sumatra Barat stasiun NGNG

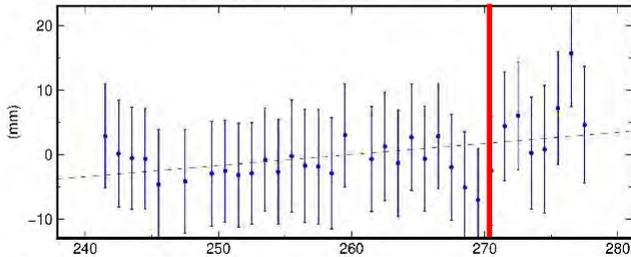
NGNG North Offset -200337.216 m
rate(mm/yr) = -141.25 ± 29.14 nrms = 0.82 wrms = 4.0 mm # 34



NGNG East Offset 11045050.814 m
rate(mm/yr) = -87.13 ± 30.55 nrms = 0.61 wrms = 3.1 mm # 34

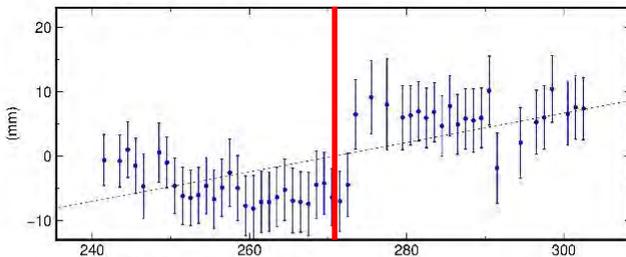


NGNG Up Offset 45.937 m
rate(mm/yr) = 62.65 ± 48.75 nrms = 0.47 wrms = 3.9 mm # 34

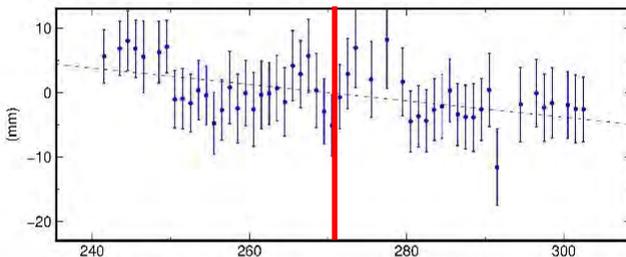


h. Gempa Sumatra Barat stasiun PSKI

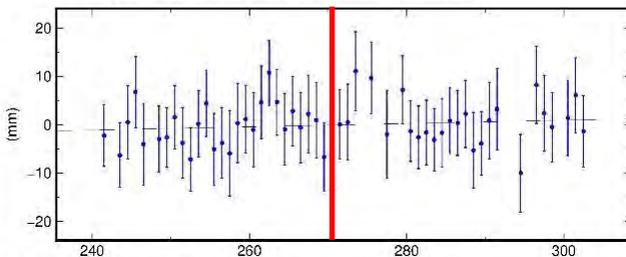
PSKI North Offset -125199.096 m
rate(mm/yr)= 83.27 ± 13.40 nrms= 0.91 wrms= 4.3 mm # 53



PSKI East Offset 11169132.357 m
rate(mm/yr)= -46.41 ± 14.12 nrms= 0.67 wrms= 3.4 mm # 53

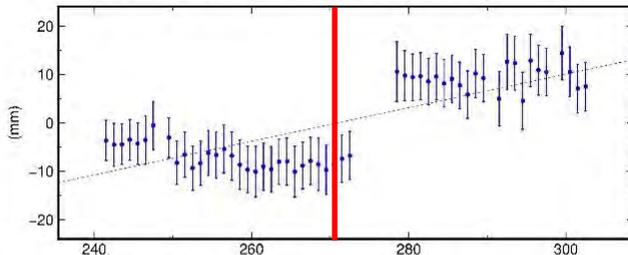


PSKI Up Offset 47.627 m
rate(mm/yr)= 12.41 ± 20.85 nrms= 0.63 wrms= 4.6 mm # 53

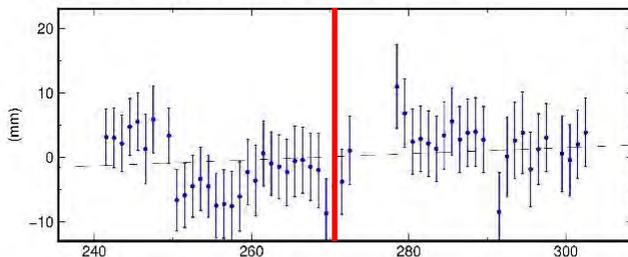


i. Gempa Sumatra Barat stasiun TIKU

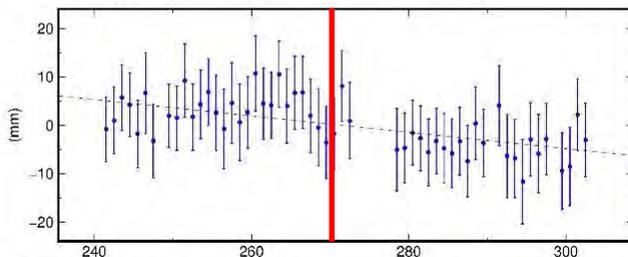
TIKU North Offset -44430.530 m
rate(mm/yr)= 126.75 ± 13.10 nrms= 1.07 wrms= 5.2 mm # 54



TIKU East Offset 11125466.779 m
rate(mm/yr)= 17.30 ± 13.88 nrms= 0.81 wrms= 4.2 mm # 54



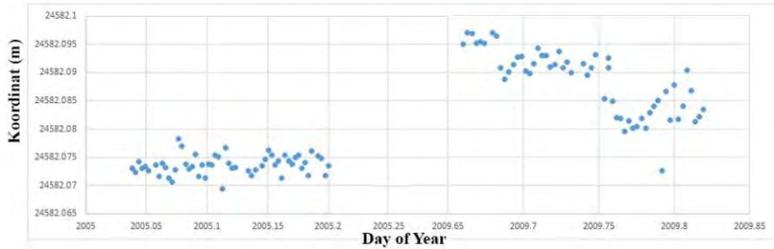
TIKU Up Offset 18.348 m
rate(mm/yr)= -61.59 ± 19.98 nrms= 0.56 wrms= 4.1 mm # 54



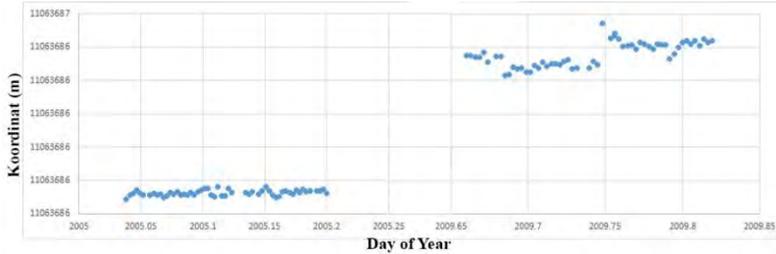
Lampiran 3

Time Series stasiun ABGS 2005 & 2009

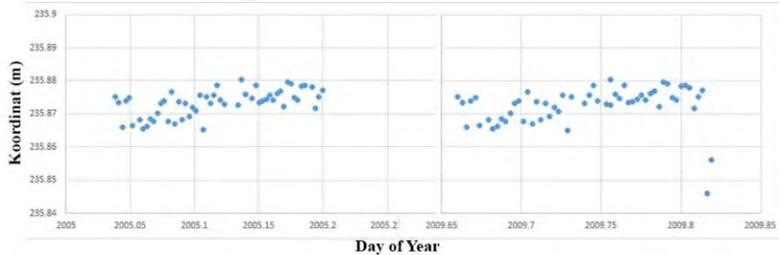
Time Series ABGS North-South



Time Series ABGS East-West



Time Series ABGS Up-Down



Lampiran 4

Script plotting menggunakan GMT

```
grdsample etopo2.grd -I0.5m -Gsumat.grd -R98/104.3/-3/1.5 -fg
grdgradient sumat.grd -Gsumati.grd -M -Ne0.25 -A0/270 -V
makecpt -Chaxby -T-10000/10000/500 -Z > SUGAR.cpt
grdimage sumat.grd -Isumati.grd -JM25c -R98/104.3/-3/1.5 -CSUGAR.cpt -K -Y2 -
X4> Co.ps
pscoast -R98/104.3/-3/1.5 -B2WSne -Lf102.2/-1.5/0/200 -JM25c -O -W2 -K -V -Di
>> Co.ps
psbasemap -R -JM -O -K -Tf102/-0.5/0.9i/2 --LABEL_FONT_SIZE=14p --
HEADER_FONT_SIZE=14p --HEADER_OFFSET=0.05i>> Co.ps
echo 99.867 -0.72 | psxy -R -JM25c -O -h0 -Sa1.0 -G225/250/250 -W1 -K >> Co.ps
psxy post.txt -R -JM25c -O -h0 -Sc0.5 -G255/192/50 -W1 -K>> Co.ps
echo post.txt | psxy -R -JM25c -O -h0 -St0.5 -G255/192/50 -W1 -K >> Co.ps
psxy -R -JM -W10.0 -Sf0.8i/0.1ilt -Dh -Gblack -O -K trench.gmt>> Co.ps
psxy -R -JM -Wthicker -O -K transform.gmt -Dh >> Co.ps
psvelo post.txt -R -JM25c -O -K -h0 -Se15/0.009/9 -L -W1/0/0/0 >> Co.ps
echo H 13 1 LEGENDA : > legend
echo H 12 1 Postseismic >> legend
echo S 0.75 a 0.15i white 0.75p 0.78i Epicenter >> legend
echo S 0.75 c 0.15i yellow 0.75p 0.78i Stasiun GPS >> legend
pslegend legend -R -J -Dx21.5/3/9/3 -F -O -K >> co.ps
psvelo scale -R -J -O -H0 -Sr.1.5/0.009/7 -L -W1/0/0/0 >> co.ps
ps2raster Co.ps -A -P -TG
```

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah nilai pergeseran yang dihasilkan dari stasiun pengamatan adalah sebagai berikut:

a. Pergeseran stasiun pada gempa Kepulauan Batu 2005

Stasiun GPS	Pergeseran <i>interseismic</i> (m)	Pergeseran <i>Postseismic</i> (m)	Pergeseran <i>coseismic</i> (m)
ABGS	0.00063	0.00166	0.00115
MSAI	0.00084	0.00024	0.00054
PSMK	0.00062	0.00010	0.00036
PTLO	0.00033	0.00008	0.00020

Nilai pergeseran *coseismic* paling besar pada gempa kepulauan batu berada pada stasiun ABGS dengan besar pergeseran 0.00115 m dan pada pergeseran *coseismic* stasiun terkecil pada stasiun PTLO dengan besar pergeseran 0.00020 m.

b. Pergeseran stasiun pada gempa Sumatra Barat 2009

Stasiun GPS	Pergeseran <i>interseismic</i> (m)	Pergeseran <i>postseismic</i> (m)	Pergeseran <i>coseismic</i> (m)
ABGS	0.00241	0.00281	0.00261
MSAI	0.00162	0.00087	0.00124
NGNG	0.00090	0.00361	0.00226
TIKU	0.00224	0.00212	0.00218
PSKI	0.00062	0.00176	0.00119

Nilai pergeseran *coseismic* paling besar pada stasiun ABGS dengan besar pergeseran 0.00261 m dan pada pergeseran *coseismic* stasiun terkecil pada stasiun PSKI dengan besar pergeseran 0.00119 m.

c. Arah vektor kecepatan pada gempa Kepulauan Batu 2005

Stasiun pengamatan	Arah pada fase Interseismic ($^{\circ}$)	Arah pada fase Postseismic ($^{\circ}$)	Perubahan arah ($^{\circ}$)
ABGS	178.748	190.730	11.982
MSAI	39.583	95.060	55.478
PSMK	18.769	226.886	208.118
PTLO	51.831	234.310	182.479

Pada gempa Kepulauan Batu arah vektor kecepatan mengalami perubahan dengan perubahan paling besar berada pada stasiun pengamatan PTLO yaitu sebesar 208.118° dan perubahan arah paling kecil pada stasiun pengamatan ABGS sebesar 11.982° .

d. Arah vektor kecepatan pada gempa Sumatra Barat 2009

Stasiun pengamatan	Arah pada fase Interseismic (o)	Arah pada fase Postseismic (o)	Perubahan arah (o)
ABGS	164.036	82.39234	-81.644
MSAI	180.312	173.2233	-7.088
NGNG	132.625	112.6183	-20.006
PSKI	13.161	14.0923	0.931
TIKU	84.535	113.8527	29.318

Pada gempa Sumatra Barat arah vektor kecepatan mengalami perubahan dengan perubahan paling besar berada pada stasiun pengamatan ABGS yaitu sebesar 81.644° dengan perubahan arah berlawanan arah jarum jam dan perubahan arah paling kecil pada stasiun pengamatan PSKI sebesar 0.931° .

e. Nilai korelasi antara jarak dan pergeseran gempa didapatkan nilai korelasi pada gempa Kepulauan Batu sebesar 0.85377 yang merupakan korelasi sangat kuat dan pada gempa Sumatra Barat didapatkan nilai korelasi dengan nilai 0.32894 yang merupakan korelasi cukup. Pada gempa Kepulauan Batu terlihat bahwa

semakin jauh jarak dari episenter semakin kecil pergeseran, akan tetapi pada gempa Sumatra Selatan tidak demikian karena ada titik pengamatan yang jauh dari episenter gempa tetapi dekat dengan zona patahan yang lain.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini untuk kedepannya adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan data GPS dengan pemantauan GPS yang tersebar dan memiliki hari pengamatan yang lengkap untuk menjaga kualitas data pengamatan.
2. Perlu adanya pengamatan nilai pergeseran dengan software GPS yang berbeda untuk membandingkan hasil penelitian ini.
3. Menambahkan titik ikat IGS dan stasiun pengamatan untuk hasil yang lebih baik lagi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. (2009). Deformasi Koeseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. *Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4 No.4 Desember*.
- Andreas, H. (2007). *Karakteristik Deformasi Strain dan Stress*. Bandung: Prodi Geodesi dan Geomatika ITB.
- Bakara, J. (2011). Perkembangan Sistem Satelit Navigasi Global dan Aplikasinya. *Berita Dirgantara, Vol. 12 No 2 Juni 2011*.
- BMKG. (2015). *Tentang Gempa*. Dipetik Desember 22, 2015, dari BMKG:
http://inatews.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php
- Fiandralekha. (2010). *Studi Mekanisme Sumber Gempa di Selat Sunda Berdasarkan Gerak Awal Gelombang P dan Bentuk Gelombang*. Semarang: UNESS.
- Hawaii. (2016, April 27). Diambil kembali dari GMT Online:
<http://gmt.soest.hawaii.edu/>
- Herring, T. A. (2015). *GAMIT Reference Manual GPS Analysis at MIT*. San Diego: Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A. (2015). *GLOBK Reference Manual: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*. San Diego: Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
- Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2006). *Understanding GPS Principle and Applications*. London: Artech House.
- Leick, A. (2004). *GPS Satellite Surveying*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- McCaughey, J. (2012). *Sumatran earthquakes with GPS*. Singapore: Earth Observatory of Singapore.
- Muafiry, I. N. (2015). *Analisa Deformasi Akibat Gempa Bumi Kepulauan Mentawai Menggunakan Pengamatan GPS*

- Kontinu (Studi Kasus: Gempa Mentawai Tahun 2008)*.
Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nikolaidis, R. (2002). *Observation of Geodetic and Seismic Deformation with the Global Positioning System*. San Diego: University of California.
- Ramadhan, T. P. (2014). *Analisis Deformasi Pulau Bali Berdasarkan Pengamatan GPS Kontinu Tahun 2010-2012 dan GPS Berkala Tahun 2013*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sarwono, J. (2006). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy*. Hannover: Walter de Gruyter GmbH & co. KG.
- USGS. (2016, Juni 16). *Earthquake Hazards Program*. Diambil kembali dari Earthquake Hazards Program:
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes>
- Yusfania, M. (2011). *Pemanfaatan Spatial Filtering Untuk Studi Regangan Tektonik Berdasarkan Data SuGAR (Sumatran GPS Array) Tahun 2006 - 2008 Studi Kasus : Gempa Bengkulu September 2007*. Bandung: ITB.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Blitar, Provinsi Jawa Timur tanggal 16 Maret 1995. Penulis yang akrab dipanggil Bimi ini merupakan anak kedua dari 2 bersaudara pasangan bapak Suprajtno dan ibu Sri Mugianti. Pendidikan formal yang ditempuh penulis antara SDN Bendogerit 1 Blitar (2001-2002), SMPN 1 Blitar (2007-2010) dan SMAN 1 Blitar (2010-2012). Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan Strata 1 di Jurusan Teknik Geomatika FTSP-ITS Surabaya. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif di organisasi jurusan antara lain sebagai Badan Perwakilan Mahasiswa HIMAGE ITS 2013-2014, Ketua Departemen Dalam Negeri HIMAGE-ITS tahun 2014-2015. Penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan yang sesuai dengan keilmuan dan keprofesian Geomatika antara lain menjadi tim TS Field Camp Geomatika 2015 dan menjadi tim pengukuran rumah negara ITS pada tahun 2015. Pada tahun ke-empat perkuliahan, penulis aktif menjalani kegiatan penelitian Tugas Akhir di Laboratorium Geodinamika dan Lingkungan Geomatika-ITS.