



TUGAS AKHIR - RG 141536

PEMODELAN MEKANISME GEMPA BUMI PADANG TAHUN 2009 BERDASARKAN DATA GPS SUGAR

I DEWA MADE AMERTHA SANJIWANI
NRP 3512100022

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”



UNDERGRADUATE THESIS - RG 141536

**MODELLING EARTHQUAKE MECHANISM PADANG TAHUN
2009 BASED ON DATA GPS SUGAR**

I DEWA MADE AMERTHA SANJIWANI
NRP 3512100022

Supervisors

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”

**LEMBAR PENGESAHAN
PEMODELAN MEKANISME GEMPA BUMI PADANG
TAHUN 2009 BERDASARKAN DATA GPS SUGAR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

I DEWA MADE AMERTHA SANJIWANI

NRP. 3512100022

Disetujui oleh Pembimbing:

1. Ira Mutiara Anjasmara, S.T.
NIP. 19781231 200212 2 000
2. Meiriska Yusfania, S.T., M.T.
NIP. 19850510 201504 2 003



SURABAYA, JULI 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga pelaksanaan tugas akhir berjalan lancar dan pembuatan laporan tugas akhir yang berjudul “Pemodelan Mekanisme Gempa Bumi Padang Tahun 2009 Berdasarkan Data SuGAR” dapat diselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
2. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir
3. Ibu Meiriska Yusfania, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Irwan Meilano, S.T., M.Sc., yang telah memberikan saran-saran serta wawasan terkait tugas akhir ini.
5. Bapak Akbar Kurniawan, S.T., M.T. yang selalu memberikan masukan dan saran terkait pengolahan GAMIT/GLOBK
6. Ibu Cherie Bekt, S.T., M.T. yang selalu memberikan masukan dan saran
7. Mamah. Papah, Kak Friska yang senantiasa memberikan doa, dukungan serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini
8. Teman-Teman Geoid 2012 yang telah menemani dan mengajari arti kebersamaan selama menempuh kuliah di Teknik Geomatika ITS.
9. Teman-teman Geodinamika Deformasi dan Lingkungan yang telah membantu mengerjakan tugas akhir ini serta sebagai tepat bertukar pikiran terkait ilmu pengetahuan
10. Romario, Alawy, Surya, Ipul, Dian, Nindy, Wiswa, Amik, Vina, Icha, Arin, Muflih, Kiki, Ika, Beki, Bintang, Odah,

Finda, Alif, Anjar, Indira, Ardhiya, Robert, Alan, Junior, Jeffrey, Riyash, Teguh, Dara, Bima, Leni, Alfian, Bagas, Dewok, Defit, Hasan, Icha dan Licke sebagai sahabat-sahabat yang selalu ada disaat suka maupun duka

11. Teman-Teman SPE SC ITS yang selalu memberikan motivasi, pengalaman dan profesionalitas dalam hal pekerjaan.
12. Temen-temen TPKH ITS yang selalu memberikan doa dan dukungan serta cerita-cerita unik.
13. Teman-teman masa SMA bokong Separo yang telah memberikan kisah-kisah yang bermakna serta motivasi untuk mengerjakan tugas akhir ini.
14. 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

PEMODELAN MEKANISME GEMPA BUMI PADANG TAHUN 2009 BERDASARKAN DATA GPS SUGAR

Nama Mahasiswa : I Dewa Made Amertha Sanjiwani
NRP : 3512 100 022
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Pembimbing : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Meiriska Yufania, S.T., M.T.

ABSTRAK

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo – Australia dan Lempeng Pasifik. Akibatnya gempa bumi dan letusan gunung api sering terjadi pada batas-batas lempeng tersebut. Pada 30 September 2009, di sekitar wilayah Padang, Pariaman terjadi gempa berkekuatan 7.6 Mw dengan lokasi epicenter $99^{\circ}52'1.2''$ BT; $0^{\circ}43'12''$ LS. Melalui pemantauan GPS dapat diketahui pergerakan deformasi yang terjadi sebelum (*interseismic*) dan setelah (*postseismic*) akibat gempa (*coseismic*). Untuk itu dalam penelitian ini dilakukan pemodelan mekanisme akibat gempa bumi (*coseismic*) Padang 2009 dengan menggunakan metode kontinu pada jaring stasiun GPS *Sumatran GPS Array* (SuGAr) dan model dislokasi *elastic halfspace*. Pada hasil analisa didapatkan deformasi terbesar akibat gempa Padang tahun 2009 terjadi pada stasiun pengamatan MSAI dengan pergeseran sebesar -6.26 mm pada sumbu horizontal (*easting, northing*) dan stasiun pengamatan PPNJ sebesar 20.83 mm pada sumbu vertikal (*up*). Pemodelan mekanisme yang dihasilkan dengan model *elastic halfspace* adalah model 3 yaitu dengan lebar bidang 69 km, slip sebesar -5 m dan *dipping angle* sebesar 12.762° . Model dislokasi 3 ini merepresentasikan mekanisme gempa Padang 2009 karena nilai korelasi yang didapatkan paling besar yaitu sebesar -0.71965 untuk pergeseran horizontal dan pergeseran vertikal sebesar 0.75906. Hal ini

menunjukkan bahwa mekanisme gempa yang terjadi di Padang dan sekitarnya adalah *Thurst Fault*

Kata Kunci : Gempa Padang 2009, SuGAR, Deformasi, Elastic Halfspace

MODELLING EARTHQUAKE MECHANISM PADANG TAHUN 2009 BASED ON DATA GPS SUGAR

Student Name : I Dewa Made Amertha Sanjiwani
Student ID Number : 3512 100 022
Departement : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Lecturers : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Meiriska Yufania, S.T., M.T.

ABSTRACT

Indonesia is located among three tectonic plates, namely Eurasia, Hindia-Australia and Pasific plate. It is affected some tectonic activities such as earthquake and volcano eruption at nearest tectonic zone. On September 31st 2009 around Padang, Pariaman, epicenter 99°52'1.2"E; 0°43'12"S, occurred an earthquake with magnitude 7.6 Mw and as one of disaster mitigation action in the earthquake zone societies, geodynamic analysis nowadays is needed in modelling the earthquake probability. Geodynamic study is easier to be completed by using continued GPS method. It can be analyzed the displacement at the earthquake phase. This research will examine modelling mechanism earthquake (coseismic) Padang 2009 by GPS continued method using GPS network Sumatran GPS Array (SuGAR) and dislocation model elastic half-space. The results showed that the biggest displacement happened in MSAI station with -6.26 mm on horizontal axis (easting, northing) and TLLU station with 20.83 mm on vertical axis (up). The most fit model for visualizing the mechanism earthquake Padang 2009 is model number 3 with the parameters of width 69 km, slipage -5 m and dipping angle 12.762°. Model number three represented

mechanism earthquake Padang 2009 because the highest score of correlation which is -0.71965 mm in horizontal displacement and 0.75906 in vertical displacements. It shows that earthquake mechanism that happened in Padang is Thrust Fault

Keywords : Earthquake Padang 2009, SuGAr, Deformation, Elastic-Halfspace.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR RUMUS.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Gempa Bumi.....	5
2.2. Mekanisme Sumber Gempa.....	6
2.2.1. Parameter Bidang Sesar.....	6
2.3. Tektonik Lempeng.....	7
2.4. Deformasi.....	8

2.5.	<i>Elastic Rebound Theory</i>	9
2.6.	<i>Earthquake Geodesy</i>	11
2.7.	Penentuan Posisi dengan GPS	14
2.8.	Pengolahan data GPS dengan <i>Software</i> GAMIT	18
2.9.	Pemantauan Kerak Bumi dengan GPS.....	20
2.10.	Mencari Besar Pergeseran Akibat Gempa	22
2.11.	Sistem Koordinat	25
2.11.1.	Sistem Koordinat Geosentrik.....	25
2.11.2.	Sistem Koordinat Toposentrik	25
2.12.	Model Dislokasi.....	27
2.13.	Analisa Korelasi	30
2.14.	Penelitian Terdahulu.....	30
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1.	Lokasi Penelitian	33
3.2.	Data dan Peralatan	33
3.2.1.	Data	33
3.2.2.	Peralatan	35
3.3.	Tahapan Penelitian	36
3.4.	Tahapan Pengolahan Data	38
BAB 4 HASIL dan ANALISA		47
4.1.	Hasil Panjang dan Lebar Bidang Gempa	47
4.2.	Hasil Pengolahan Nilai <i>Dipping</i> dan Nilai <i>Slip</i>	47
4.3.	Hasil Pengolahan GAMIT	49
4.3.1.	Nilai <i>Normalised Root Mean Square (nrms)</i>	49

4.3.2.	Nilai <i>Wide Lane</i> dan <i>Narrow Lane</i>	50
4.4.	Hasil GLOBK.....	52
4.4.1.	<i>Time Series</i> Seluruh Waktu.....	53
4.4.2.	Uji Kualitas Data GPS <i>Interseismic</i> Sebelum <i>Removing Outlier</i>	55
4.4.3.	Uji Kualitas Data GPS pada Fase <i>Postseismic</i>	56
4.4.4.	Analisa Nilai Pergeseran Horisontal Stasiun GPS akibat Gempa Padang 2009	57
4.4.5.	Analisa Nilai Pergeseran Sumbu Vertikal Stasiun GPS Akibat Gempa Padang 2009	58
4.5.	Hasil Pengolahan <i>Generic Mapping Tools</i> (GMT)	59
4.5.1.	<i>Plot</i> Nilai Pergeseran Horisontal.....	59
4.5.2.	<i>Plot</i> Nilai Pergeseran Vertikal.....	59
4.6.	Hasil Pengolahan Model.....	60
4.6.1.	Hasil Pergeseran Horisontal Pemodelan	60
4.6.2.	Hasil Pergeseran Vertikal Pemodelan	62
4.6.3.	Visualisasi Nilai Pergeseran Horisontal Model ..	64
4.6.4.	Visualisasi Nilai Pergeseran Vertikal Model	67
4.6.5.	Uji Korelasi Hasil Pengamatan Terhadap Model	70
BAB 5	Kesimpulan dan Saran.....	73
5.1.	Kesimpulan.....	73
5.2.	Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	81
BIODATA PENULIS	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyebab Terjadinya Gempa Bumi di Sumatera (Natawidjaja, et al., 2004)	5
Gambar 2.2 Jenis-Jenis Bidang Sesar (Zawawi, 2011).....	7
Gambar 2.3 Sejarah Pembentukan Lempeng dari Benua yang dikemukakan Wagener dalam Teori Continental Drift (USGS, 2007)	8
Gambar 2.4 San Andreas Fault (Stein, et al., 1997).....	10
Gambar 2.5 Ilustrasi Elastic Rebound Theory (Stein, et al., 1997)	11
Gambar 2.6 Metode Orbital GPS (Seeber, 2003)	12
Gambar 2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Data (Raju, n.d.)	13
Gambar 2. 8 Metode Penentuan Posisi dengan GPS (kiri), Metode Penentuan Posisi dengan GPS secara Statik Differensial (Kaplan & Hegarty, 2006).....	14
Gambar 2.9 Prinsip Dasar Penentuan Posisi GPS Modifikasi dari (Han, 2000)	16
Gambar 2.10 Ilustrasi Pengamatan GPS Differensial (Wellenhof, et al., 1997).....	17
Gambar 2.11 Prinsip Estimasi Deformasi Koseismik dan Pascaseismik dengan GPS Modifikasi dari (Kaplan & Hegarty, 2006)	21
Gambar 2.12 Kuadran Arah Vektor Pergeseran (Chrzanowski, et al., 1986)	24
Gambar 2.13 Sistem Koordinat Geosentrik (Anjasmara & Hapsari, 2014).....	25
Gambar 2.14 Sistem Koordinat Toposentrik (Anjasmara & Hapsari, 2014).....	26
Gambar 2.15 Sistem Toposentrik dan Geosentrik (Anjasmara & Hapsari, 2014).....	26

Gambar 2.16 Parameter-parameter Model Dislokasi Modifikasi (Segall & Davis, 1997).....	28
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	33
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data	39
Gambar 4.1 Ilustrasi Panjang dan Bidang Gempa	47
Gambar 4.2 Nilai Dipping berdasarkan Korelasi Jarak dan Kedalaman	48
Gambar 4.3 Nilai nrms Solusi Harian GAMIT	50
Gambar 4.4 Resolusi Ambiguitas Fase Wide Lane Sepanjang Observasi.....	51
Gambar 4.5 Resolusi Ambiguitas Fase Narrow Lane Sepanjang Observasi.....	52
Gambar 4.6 Deret Waktu Pengamatan PS stasiun MSAI pada DoY 244-304.....	54
Gambar 4.7 Visualisasi Hasil Pergeseran Horizontal Akibat Gempa (Coseismic)	59
Gambar 4.8 Visualisasi Hasil Pergeseran Vertikal Akibat Gempa (Coseismic)	60
Gambar 4. 9 Visualisasi Nilai Pergeseran Horizontal yang Dihasilkan Model	65
Gambar 4. 10 Visualisasi Pergeseran Horizontal yang diperbesar	66
Gambar 4. 11 Visualisasi Nilai Pergeseran Vertikal Model	68
Gambar 4. 12 Visualisasi Pergeseran Vertikal yang Diperbesar	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Metode Penentuan Posisi dengan GPS	15
Tabel 2 2 Intrepretasi Korelasi Nilai r	30
Tabel 3. 1 Lokasi Receiver Pengamatan GPS SuGAR	34
Tabel 4. 1 Nilai panjang dan lebar bidang gempa.....	47
Tabel 4.2 RMS data GPS Interseismic sebelum Removing Outlier	55
Tabel 4.3 RMS Data GPS Interseismic Setelah Removing Outlier	55
Tabel 4.4 RMS Error Data GPS Postseismic sebelum Removing Oultier	56
Tabel 4.5 RMS Error Data GPS Postseismic Setelah Removing Outlier	56
Tabel 4.6 Pergeseran Horisontal Stasiun GPS akibat Gempa Padang 2009 (coseismic).....	57
Tabel 4.7 Pergeseran Vertikal Stasiun GPS Akibat Gempa Padang 2009 (coseismic)	58
Tabel 4.8 Hasil Pergeseran Horizontal Model 1	61
Tabel 4 9 Hasil Pergeseran Horizontal Model 2	61
Tabel 4.10 Hasil Pergeseran Horizontal Model 3	62
Tabel 4.11 Hasil Pergeseran Horizontal Model 4	62
Tabel 4.12 Hasil Pergeseran Vertikal Model 1	63
Tabel 4.13 Hasil Pergeseran Vertikal Model 2	63
Tabel 4.14 Hasil Pergeseran Vertikal Model 3	63
Tabel 4.15 Hasil Pergeseran Vertikal Model 4	64
Tabel 4.16 Nilai Residu Pergeseran Horizontal Hasil Pengolahan dengan Model.....	67
Tabel 4.17 Nilai Residu Pergeseran Vertikal Hasil Pengolahan dengan Hasil Model	70
Tabel 4.18 Nilai Korelasi Pergeseran Horizontal Hasil Observasi Terhadap Model	70

Tabel 4.19 Nilai Korelasi Pergeseran Vertikal Hasil Observasi Terhadap Model	71
--	----

DAFTAR RUMUS

Persamaan (2. 1)	17
Persamaan (2. 2)	17
Persamaan (2. 3)	17
Persamaan (2. 4)	19
Persamaan (2. 5)	19
Persamaan (2. 6)	20
Persamaan (2. 7)	20
Persamaan (2. 8)	22
Persamaan (2. 9)	22
Persamaan (2. 10)	23
Persamaan (2. 11)	23
Persamaan (2.12)	23
Persamaan (2. 13)	23
Persamaan (2. 14)	24
Persamaan (2. 15)	24
Persamaan (2. 16)	28
Persamaan (2. 17)	28
Persamaan (2. 18)	29
Persamaan (2. 19)	29
Persamaan (2. 20)	29
Persamaan (2. 21)	29
Persamaan (2. 22)	29
Persamaan (2. 23)	29
Persamaan (2. 24)	29
Persamaan (2. 25)	29
Persamaan (2. 26)	30

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan PSKI <i>Interseismic</i>	81
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan PSKI <i>Postseismic</i>	82
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan MSAI <i>Interseismic</i>	83
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan MSAI <i>Postseismic</i>	84
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan KTET <i>Interseismic</i>	85
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan KTET <i>Postseismic</i>	86
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan PPNJ <i>Interseismic</i>	87
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan PPNJ <i>Postseismic</i>	89
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan TLLU <i>Interseismic</i>	90
<i>Time Series</i> Stasiun Pengamatan TLLU <i>Postseismic</i>	91
Program MATLAB Model Dislokasi	91
<i>Plotting</i> Nilai Pergeseran Horizontal <i>Coseismic</i>	93
<i>Plotting</i> Nilai Pergeseran Vertikal <i>Coseismic</i>	93
<i>Program Plot</i> Nilai Pergeseran Horizontal	94
<i>Program Plot</i> Nilai Pergeseran Vertikal	94
Data Sebaran Gempa	95
<i>File Station.info</i>	96
<i>File Sites.Defaults</i>	97

<i>File Process.default</i>	98
<i>File globk_comb.cmd</i>	101
<i>File glorg_comb.cmd</i>	102

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gempa Bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi dipermukaan bumi akibat pelepasan energi dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa Bumi disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Gempa Bumi di bagi menjadi tiga yaitu: Gempa Bumi tektonik, Gempa Bumi vulkanik dan Gempa Bumi runtuhan. Penyebab terjadinya Gempa Bumi tektonik adalah adanya pergeseran lempeng-lempeng tektonik secara mendadak yang mempunyai kekuatan yang sangat besar (pelepasan energi yang terjadi akibat pergeseran lempeng tektonik).

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Hindia – Australia, dan lempeng Pasifik. Pada daerah sekitar batas lempeng tersebut umumnya aktifitas tektonik utama berlangsung, seperti misalnya subduksi, tumbukan (*collision*), pemekaran punggung tengah samudera dan sesar *transform* (Sule, et al., 2007). Akibatnya gempa bumi dan letusan gunung api akan sering terjadi tidak jauh dari batas-batas lempeng tersebut.

Pulau Sumatera termasuk salah satu pulau terbesar di Indonesia. Pulau ini merupakan salah satu wilayah dengan aktifitas tektonik terbesar di dunia. Pulau Sumatera mengakomodasi tumbukan lempeng Indo – Australia yang mensubduksi lempeng Eurasia dengan kecepatan 5-6 cm/tahun (Natawidjaja, et al., 2004). Hal ini mengakibatkan pulau Sumatera rawan terjadi gempa tektonik yang disebabkan dari pergerakan lempeng tersebut. Salah satu gempa terbesar yang terjadi di pulau ini adalah gempa Kota Padang, Pariaman pada tahun 2009 dengan *magnitude* gempa 7.6

Mw pada lokasi epicenter $99^{\circ}52'1.2''$ BT; $0^{\circ}43'12''$ LS dan kedalaman 81 km.

Kota Padang, Pariaman merupakan kota yang terletak memanjang dibagian barat pulau Sumatera dan dikelilingi oleh Samudera Hindia. Kota Padang, Pariaman merupakan bagian serangkaian pulau non-vulkanik dan kota tersebut merupakan puncak-puncak dari suatu punggung pengunungan bawah laut.

Meskipun gempa bumi ini dirasakan hingga seluruh pulau Sumatera, Malaysia dan Singapura, baiknya adalah kerugian yang diakibatkan oleh gempa ini tidak terlalu besar dibandingkan dengan gempa bumi yang terjadi di pulau Sumatera sebelumnya. Namun prinsipnya, gempa bumi biasanya akan menyebabkan kerak bumi disekitarnya terdeformasi dengan baik dalam arah vertikal dan horizontal. Oleh sebab itu, kemungkinan besar gempa Padang tahun 2009 juga menyebabkan aktivitas deformasi kerak bumi.

Memodelkan gempa tektonik yang berada di kota Padang, Pariaman diperlukan metode-metode tertentu untuk melakukan *monitoring*. Metode yang digunakan adalah metode Okada menggunakan parameter-parameter yang akan dihitung. Perlunya data laju pergeseran dari setiap stasiun GPS yang berada di daerah sekitar kota Padang.

Dengan adanya model gempa tektonik menggunakan data SuGAR di kota Padang, Pariaman tahun 2009 ini guna mengetahui tipe-tipe pertemuan lempeng akibat gempa bumi (*earthquake mechanism*) diharapkan dapat dijadikan salah satu bentuk langkah dalam mitigasi bencana bagi masyarakat kota Padang, Pariaman dan sekitarnya.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah, bagaimana cara memodelkan gempa bumi tektonik dengan

mengkombinasikan rumus pergeseran GPS dengan model dislokasi okada berdasarkan parameter yang akan dihitung?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Wilayah studi berada di kota Padang, Pariaman dan sekitarnya.
- b. Penelitian mengenai pemodelan gempa bumi kota Padang, Pariaman menggunakan data GPS SuGAr untuk nilai pergeseran dan data gempa bumi yang diambil pada USGS untuk menghitung parameter-parameter yang dibutuhkan. Data GPS yang digunakan adalah data RINEX pada stasiun GPS MSAI, KTET, PPNJ, PSKI dan TLLU mengikat minimal pada tiga stasiun IGS.
- c. Pemodelan gempa bumi tektonik menggunakan *software* Matlab dengan menggunakan rumus Okada.
- d. Pengolahan data GPS menggunakan *software* GAMIT/GLOBK
- e. Penge-*plot*-an titik persebaran gempa bumi digunakan *software* Generic Mapping Tools (GMT)
- f. Model yang dihasilkan dari gempa bumi tektonik adalah model yang paling *fit* berdasarkan nilai korelasi. Model yang paling *fit* menggambarkan mekanisme gempa yang terjadi di kota Padang

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menghasilkan model gempa bumi tektonik yang optimal berdasarkan data pergeseran dari stasiun GPS dan parameter yang akan dihitung dalam hal ini adalah luas bidang gempa dan *slip*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

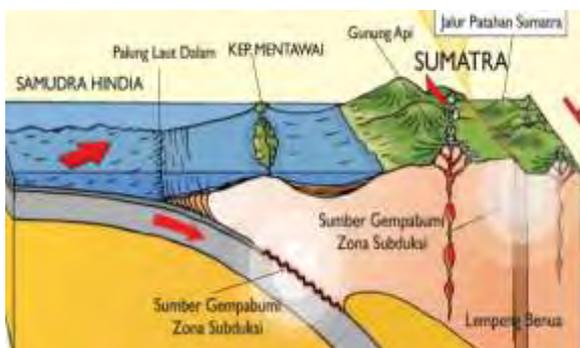
- a. Mengetahui mekanisme gempa yang terjadi di kota Padang, Pariaman dan sekitarnya.
- b. Mengetahui pergeseran yang terjadi di kota Padang, Pariaman pada tahun 2009

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah tanah yang berguncang akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras. Wilayah di sebelah barat Sumatera mempunyai banyak sumber gempa karena posisinya dekat dengan jalur tabrakan dua lempeng bumi, dimana lempeng Samudera Hindia bergerak ke arah dan menunjam kebawah lempeng (benua) Sumatera (Megawati, et al., 2004). Bagian lempeng yang menunjam di bawah Kepulauan Mentawai dan Nias umumnya melekat kuat pada tubuh batuan di atasnya, sehingga pergerakan ini memampatkan tubuh batuan (Gambar 2.1). Akumulasi tekanan ini akan meningkat dari waktu ke waktu sampai pada saat melampaui daya rekat dua lempeng tersebut. Maka ibarat, sebuah per pegas raksas yang sudah ditekan maksimal dan kemudian dilepaskan, Kepulauan Mentawai akan terpental ke atas dan ke arah luar secara tiba-tiba menimbulkan guncangan bumi yang sangat keras, yaitu gempa bumi yang terjadi pada zona subduksi.



Gambar 2.1 Penyebab Terjadinya Gempa Bumi di Sumatera
(Natawidjaja, et al., 2004)

2.2. Mekanisme Sumber Gempa

Mekanisme sumber gempabumi atau *focal mechanism* adalah istilah yang digunakan untuk menerangkan sifat perjalanan energi gempa bumi yang berpusat pada hiposenter atau fokus gempa bumi itu terjadi (Sykes, 1967). Sesar sering dianggap sebagai mekanisme perambatan energi gelombang elastis pada fokus tersebut, sehingga dengan memperoleh arah gerakan sesar dan arah bidang sesar suatu gempa bumi diperoleh solusi mekanisme sumber gempabumi.

2.2.1. Parameter Bidang Sesar

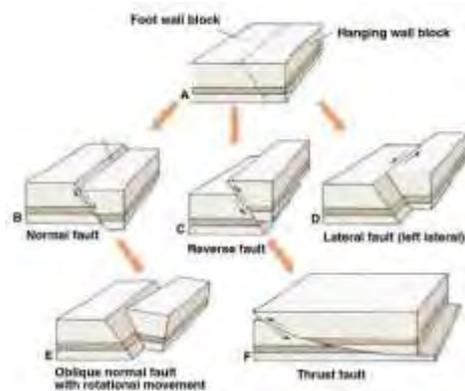
Mekanisme sumber gempa bumi merupakan metode yang digunakan untuk menentukan jenis sesar dengan cara menentukan parameter-parameter sesar yang terdiri dari *strike*, *dip* dan *rake* (Zawawi, 2011). *Strike* (ϕ) adalah panjangnya pergeseran patahan secara horizontal yaitu sudut yang dibentuk jurus sesar dengan arah utara. *Strike* diukur dari arah utara ke timur searah jarum jam sampai jurus sesar ($0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$). *Dip* (δ) adalah besarnya pergeseran patahan ke arah bawah, yaitu sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal dan diukur pada bidang vertikal dengan bidang arahnya tegak lurus *strike* sesar ($0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$). *Rake* (λ) adalah sudut yang dibentuk oleh arah *slip* dan *strike* sesar. *Rake* bernilai positif pada sesar naik (*reverse fault*) dan bernilai negatif pada sesar turun (*normal fault*) ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$).

Berdasarkan genetis atau gaya yang bekerja padanya, jenis bidang sesar dibedakan menjadi:

- a. Sesar Turun (*Normal Fault*) yaitu *hanging wall* pada sesar relatif turun terhadap *foot wall*
- b. Sesar Naik (*Reverse Fault*) yaitu *hanging wall* pada sesar relatif naik terhadap *foot wall*
- c. Sesar Mendatar (*Strike Slip Fault*) yaitu sesar dengan arah gerakan relatif mendatar satu sama lain.

Sesar ini dibedakan menjadi dua yaitu:

- Left lateral strike slip fault (sinistral strike slip fault)*, apabila *hanging wall* bergerak ke kiri
- Right lateral strike slip fault (dextral strike slip fault)*, apabila *hanging wall* bergerak ke kanan



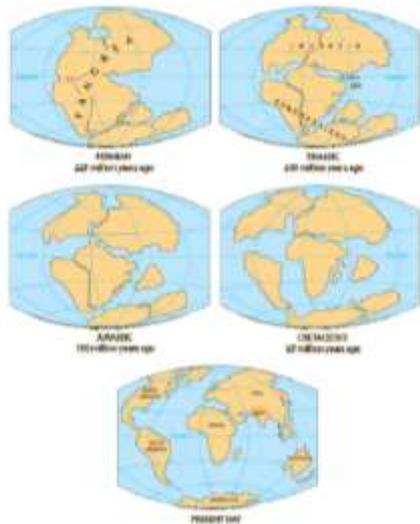
Gambar 2.2 Jenis-Jenis Bidang Sesar (Zawawi, 2011)

2.3. Tektonik Lempeng

Penyebab utama terjadinya lempeng gempa bumi disebabkan oleh adanya gaya yang berasal dari interior bumi, yang disebut dengan gaya konveksi mantel. Gaya konveksi mantel yang disebabkan oleh tekanan arus panas bumi inilah, yang mengakibatkan pergerakan lempeng-lempeng tektonik yang berada di atasnya. Pergerakan lempeng-lempeng tektonik ini kemudian membentuk daerah batas antar lempeng dan sistem sesar.

Dalam istilah geologi, lempeng diartikan sebagai materi penyusun bumi paling atas dengan ketebalan kira-kira hingga 100 km (Stein & Klosko, 2002). Sekitar 225 juta tahun yang lalu, lempeng-lempeng bergabung dalam satu benua besar bernama Pangea. Menurut teori pergerakan benua (*continental drift*) yang

dibuat oleh Wagener, Pangea kemudian terpecah belah menjadi dua benua besar bernama Lauresia di bagian utara dan Gondwanaland di bagian selatan. Berdasarkan waktu hitungan geologi, bagian-bagian bumi tersebut kemudian saling terpisah dan membentuk lempeng serta benua baru seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sejarah Pembentukan Lempeng dari Benua yang dikemukakan Wagener dalam Teori Continental Drift (USGS, 2007)

2.4. Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu benda (Shang-Long, 1991). Secara umum juga dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Pergerakan secara absolut adalah gerakan suatu sistem referensi tertentu yang dilihat dari titik itu sendiri, sedangkan pergerakan relatif adalah gerakan pada suatu sistem referensi tertentu yang dilihat dari titik lain. perubahan bentuk pada bahan atau logam dapat dibedakan menjadi dua yaitu deformasi elastis (*non – rigid*) dan plastis (*rigid*). Efek-

efek dari penyebab deformasi atau pergeseran pada suatu materi akan menciptakan reaksi yang sebanding dengan sifat geometrik dan jenis material dari materi yang terdeformasi tersebut. Beban atau gaya berat materi merupakan gaya penyebab deformasi. Bekerjanya gaya berat pada suatu materi disertai pengaruh gaya berat dari materi di sekitarnya dalam suatu selang waktu akan mempengaruhi bentuk geometri materi tersebut. Berdasarkan jenisnya, deformasi yang terjadi pada suatu benda dapat dikelompokkan ke dalam empat jenis yaitu (Singh & Mal, 1991):

- a. Translasi materi yang bersifat kaku. Perpindahan posisi materi ini tanpa mengalami perubahan bentuk, sesuai dengan acuan.
- b. Rotasi, yaitu perubahan posisi materi tanpa mengalami perubahan bentuk yang membentuk perubahan sudut (w) terhadap koordinat acuan.
- c. Regangan normal, merupakan perbandingan perubahan panjang (dx) terhadap panjang asalnya (X)
- d. Regangan geser atau regangan menyilang, merupakan perubahan sudut dalam benda padat ketika terdeformasi.

2.5. Elastic Rebound Theory

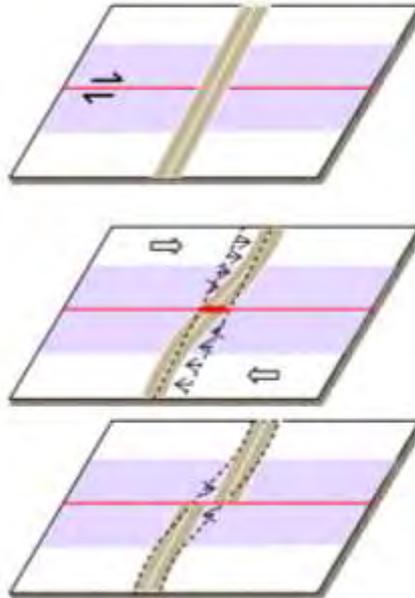
Penelitian ilmiah mengenai gempa bumi, pertama kali dilakukan setelah terjadinya peristiwa gempa Lisbon – Portugal yang disertai dengan *tsunami*, pada 1 Nopember 1755. Gempa yang menewaskan hingga 70.000 korban jiwa ini, dihipotesa berasal dari pergerakan kerak bumi di dasar laut yang disebut zona subduksi. Kemudian penelitian mengenai gempa bumi mengalami perkembangan baru, yaitu ketika terjadinya peristiwa gempa San Fransisco 1906. Setelah peristiwa gempa tersebut, para peneliti menemukan jejak sesar sepanjang 270 mil yang dinamakan *San Andreas Fault* (Gambar 2.4) (Stein, et al., 1997). Gempa bumi tersebut mengakibatkan terjadinya pergeseran relatif antara kedua sisinya, yang diperlihatkan dengan salin menjauhnya kedua sisi sungai San Andreas yang memotong sesar tersebut. Sehingga

muncullah sebuah teori yang menjelaskan proses terjadinya gempa bumi, yang di kemukakan Hary Fielding Riold seorang peneliti Amerika, yang kemudian dikenal dengan istilah *elastic rebound theory*.



Gambar 2.4 San Andreas Fault (*Stein, et al., 1997*)

Elastic Rebound Theory menjelaskan mengenai mekanisme terjadinya pergeseran antara dua blok batuan yang bergerak berlawanan, relatif terhadap yang lainnya. Namun pada daerah sekitar sesar tidak terjadi pergerakan, yang menunjukkan adanya daerah kuncian (*coupling zone*) disekitar sesar tersebut. Kemudian ketika *coupling zone*, dengan tingkat elastisitas batumannya tidak mampu lagi mengakumulasikan pergerakan dua blok batuan yang berlawanan, maka *coupling zone* tersebut akan patah dan terjadilah gempa bumi. Patahnya *coupling zone* mengakibatkan terjadinya pergeseran pada kedua titik batuan tersebut, yaitu pada Gambar 2.5 ditunjukkan dengan terpisahnya sebuah jalan yang memotong jalur sesar.

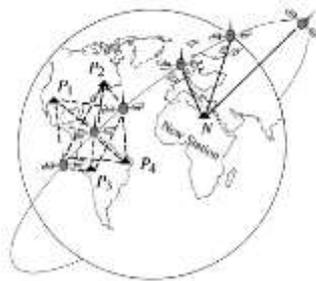


Gambar 2.5 Ilustrasi Elastic Rebound Theory (Stein, et al., 1997)

2.6. Earthquake Geodesy

Dewasa ini aplikasi GPS telah banyak digunakan dalam mempelajari dinamika bumi, yang salah satunya adalah fenomena gempa bumi. Pada dasarnya, studi geodinamika dengan GPS adalah mengamati perubahan koordinat geodetik dari titik-titik pengamatan yang dilakukan secara kontinu atau berkala (periodik), dengan ketelitian posisi hingga orde millimeter. Dengan tingkat ketelitian yang tinggi tersebut, diharapkan pergerakan kerak bumi yang relatif kecil dan lambat, dapat terdeteksi dengan baik. Untuk mencapai ketelitian tersebut, maka digunakan metode *survey* GPS serta strategi pengolahan data yang menunjang tujuan tersebut. Kontribusi data geodetik dalam bidang kajian gempa bumi dikenal dengan istilah *earthquake geodesy*

Teknologi GPS menjadi sangat penting dan menjadikan bukti dari beberapa pertimbangan bahwa GPS (menggunakan sistem satelit) dapat mengorbit pada ketinggian tertentu sehingga dalam melakukan survei GPS, GPS dapat mengukur untuk area yang luas. Satelit GPS dianggap sebagai *probe* atau *sensor* untuk *gravity field* di bumi. Pada orbit satelit geodesi yang sangat dinamis ini, perbedaan panjang (ketinggian) sangat dipertimbangkan. Satelit geodesi khususnya GPS dapat dianggap sebagai *bear of its own coordinates*. Koordinat geosentrik yang telah di observasi pada *ground station* dapat diturunkan dari orbit satelit yang diketahui. Metode ini disebut *orbital method* yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.

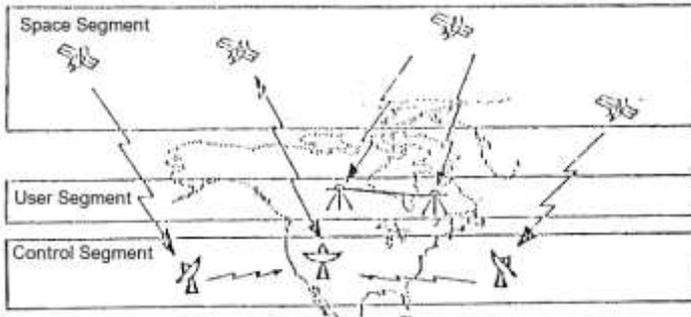


Gambar 2.6 Metode Orbital GPS (Seeber, 2003)

Beberapa kelebihan yang ditawarkan GPS khusus dalam studi geodinamika adalah sistem ini tidak memerlukan banyak data untuk proses risetnya. Selain itu, hal yang tidak kalah pentingnya adalah data hasil pengamatan GPS dapat menyediakan cakupan ketelitian posisi baik spasial maupun temporal yang luas beserta satelitnya. Ketelitian posisi yang diperoleh hasil pengamatan GPS secara umum akan tergantung pada segmen-segmen dari GPS itu sendiri (Raju, n.d.) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, yaitu:

a. *Space Segment*

- b. *Control Segment*
- c. *Users*



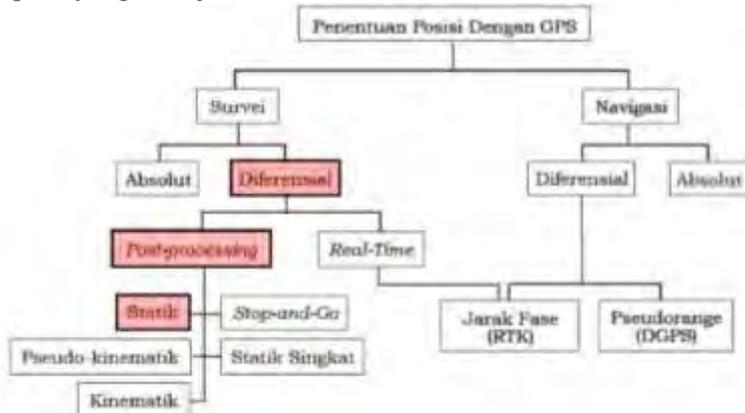
Gambar 2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Data (Raju, n.d.)

Ketelitian data yang diterima *receiver* dari satelit GPS erat kaitannya dengan tipe *receiver* yang digunakan dalam pengamatan yang dilakukan. Berdasarkan tingkat ketelitian posisinya, terdapat 3 macam tipe *receiver* GPS (Seedat, et al., 2011):

- a. Tipe Navigasi (*Handheld*), dengan tingkat ketelitian posisi yang diberikan saat ini mencapai 3 – 6 meter
- b. Tipe Geodetik *Single Frequency* (Tipe Pemetaan), yang biasa digunakan dalam survei dan pemetaan dengan tingkat ketelitian mencapai orde desimeter hingga sentimeter
- c. Tipe Geodetik *Dual Frequency*, dengan tingkat ketelitian posisi mencapai millimeter yang biasa digunakan untuk aplikasi *precise positioning* untuk studi deofrmasi dan geodinamika.

Dari berbagai metode yang ditunjukkan pada Gambar 2.8, metode yang digunakan dalam studi potensi gempa adalah metode statik – differensial. Metode pengamatan ini memerlukan minimal satu buah *receiver* yang diukur secara bersamaan. Posisi titik yang satu ditempatkan pada titik yang telah diketahui koordinatnya yang disebut sebagi titik referensi (*base station*), sedangkan posisi titik

lainnya (*rover*) ditentukan relatif terhadap titik referensi tersebut seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.10



Gambar 2. 8 Metode Penentuan Posisi dengan GPS (kiri), Metode Penentuan Posisi dengan GPS secara Statik Diferensial (*Kaplan & Hegarty, 2006*)

2.7. Penentuan Posisi dengan GPS

Pada dasarnya konsep penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi 3 dimensi (x,y,z atau l,b,h) yang dinyatakan dalam datum *World Geodetic System 1984 (WGS'84)*, sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid. Sehingga untuk sistem tingginya berbeda dengan tinggi *orthometrik* yang merupakan tinggi di atas geoid yang diukur sepanjang garis gaya berat melalui titik tersebut. Adapun pengelompokan metode penentuan posisi dengan GPS berdasarkan mekanisme pengaplikasiannya dapat dilihat pada tabel 2.1.

a. Metode Absolut

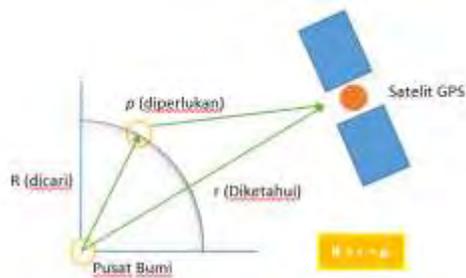
Penentuan posisi secara absolut (*absolute positioning*) adalah metode penentuan posisi yang paling mendasar dari

GPS. Melalui satelit GPS dilakukan pengukuran vektor jarak (p) ke titik yang akan ditentukan posisinya. Dengan catatan posisi satelit (r) telah diketahui relatif terhadap pusat bumi, maka posisi P (pengamat) akan diperoleh pula relatif terhadap pusat bumi. prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS melalui pendekatan vektor ditunjukkan pada Gambar 2.9

Tabel 2 1 Metode Penentuan Posisi Absolut (*Han, 2000*)

Metode	Absolute (1 Receiver)	Differensial (Minimal 2 Receiver)	Titik	Receiver
Statik	v	v	Diam	Diam
Kinematik	v	v	Bergerak	Bergerak
Rapid Static		v	Diam	Diam (singkat)
Pseudo Kinematik		v	Diam	Diam & bergerak
Stop and Go		v	Diam	Diam & bergerak

Pada metode ini penentuan posisi suatu titik tidak tergantung terhadap titik lainnya (hanya menggunakan satu receiver), oleh karena itu kesalahan jam receiver masih besar pengaruhnya. Ada 4 (empat) parameter yang akan ditentukan nilainya dalam metode absolut, yaitu 3 (tiga) parameter koordinat (X,Y,Z atau L,B,h) dan parameter kesalahan jam satelit. Keempat parameter tersebut didapat melalui penurunan persamaan model matematika pengukuran jarak satelit. Jadi dibutuhkan minimal 4 (empat) satelit GPS untuk bisa mendapatkan posisi secara absolut.

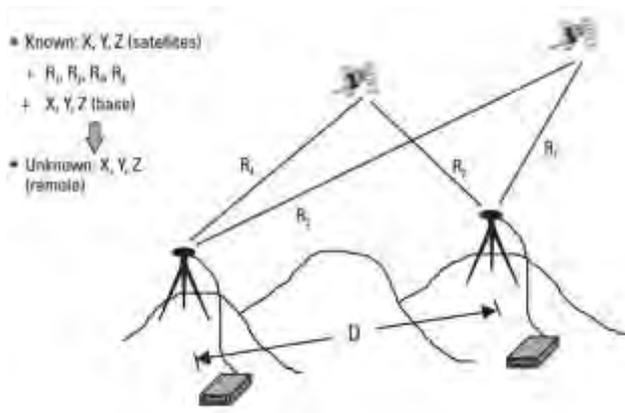


Gambar 2.9 Prinsip Dasar Penentuan Posisi GPS Modifikasi dari (Han, 2000)

b. Metode Diferensial

Pada pengamatan GPS dengan metode diferensial (metode relatif) dibutuhkan minimal dua *receiver* GPS. Prinsipnya adalah dengan mengurangi data yang diamati oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan, maka beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieliminasi atau direduksi. Pengeliminasian dan reduksian ini akan meningkatkan akurasi dan presisi data, dan selanjutnya akan meningkatkan tingkat akurasi dan presisi posisi yang diperoleh.

Adapun biasanya titik yang akan ditentukan posisinya dinamakan rover, sedangkan titik yang posisinya telah diketahui dinamakan *base/master*.



Gambar 2.10 Ilustrasi Pengamatan GPS Differensial (Wellenhof, et al., 1997)

Ada tiga metode pengeliminasian (*differencing*), yaitu *Single Difference*, *Double Difference* dan *Triple Difference*. Metode *Single Difference* (SD), disimbolkan dengan (Δ), dilakukan dengan menggunakan dua *receiver* A dan B serta satelit dimana kesalahan ephemeris (orbit) atau dua satelit dapat dieliminasi dengan mengurangi dua data *one-way* (OW) masing-masing *receiver* atau satelit. Kemudian *Double Difference* (DD), disimbolkan dengan ($\Delta\Delta$), dilakukan dengan dua *receiver*, dua satelit sehingga kesalahan jam *receiver* dapat dieliminasi. Sedangkan *Triple Difference* (TD) dilakukan dengan dua *receiver*, dua satelit dan dua *epoch* pengamatan sehingga ambiguitas fase dapat dieliminasi.

$$SD = OW - OW \quad (2.1)$$

$$DD = SD - SD \quad (2.2)$$

$$TD = DD - DD \quad (2.3)$$

2.8. Pengolahan data GPS dengan Software GAMIT

GPS Analysis Package Developed at MIT (GAMIT) adalah *software* pengolah data GNSS ilmiah yang bekerja pada sistem operasi Unix. *Software* ini menghasilkan posisi relatif tiga dimensi dengan ketelitian tinggi karena menggunakan data *broadcast ephemeris* dan *precise ephemeris*. Adapun data yang perlu dimasukkan dalam proses pengolahan GAMIT adalah sebagai berikut (Herring, et al., 2010):

1. *Raw data* pengamatan GPS
2. *File* navigasi global yang diunduh melalui situs IGS
3. *File GPS Ephemeris* yang diunduh dari IGS dalam format SP3
4. *File *.apr* yang di dalamnya adalah berisi kumpulan koordinat apriori stasiun pengamatan yang akan digunakan. Koordinat ini bisa diperoleh dari data RINEX GPS
5. *File lfile* yang di dalamnya adalah berisi kumpulan koordinat pendekatan masing-masing stasiun GPS yang digunakan.
6. *File station.info* yang di dalamnya berisi informasi tentang jenis *receiver*, antenna, *firmware* yang akan digunakan oleh *receiver* dan waktu/sesi kerja GPS. Tipe data ini adalah berformat ASCII
7. *File sittbl.* yang di dalamnya berisi nilai *constraint* pada setiap koordinat apriori stasiun yang akan diolah. Tipe data ini berformat ASCII
8. *File sestbl.* yang di dalamnya berisi skenario pengolahan. Untuk melakukan analisa deformasi maka salah satu parameter yang perlu diubah adalah *choice of experiment*-nya diubah menjadi tipe pengolah *baseline* jenis RELAX.
9. *Gile sites.defaults* yang berisi daftar stasiun yang digunakan dalam proses pengolahan data menggunakan perangkat lunak GAMIT

10. *File process.defaults* yang di dalamnya terdapat pengaturan direktori file dan data yang akan digunakan dalam pengolahan aplikasi GAMIT/GLOBK

Pada proses pengolahan GPS menggunakan aplikasi GAMIT tujuan akhirnya adalah untuk mendapatkan solusi pengolahan koordinat per-hari di seluruh stasiun pengamatan berdasarkan epok pertama pengamatan dalam bentuk *loosely constrained solution* (h-file) yang berisikan matriks kovarian dan parameter perataannya sebagai data *input* pengolahan GLOBK, (q-file) yang berisikan informasi koordinat *apriori*, *spheris*, *adjust*, *formal* dan *postfit* koordinat *spheris* untuk setiap stasiun pengamatan dalam bentuk satuan meter, dan *sh_gamit_ddd.summary* yang berisi nilai *postfit Normalised Root Mean Square (nrms)*.

Adapun untuk mengevaluasi hasil pengolahan GAMIT dapat dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter evaluasi GAMIT, yakni nilai *postfit nrms*, *Wide Lane (WL)* dan *Narrow Lane (NL)*.

Postfit nrms perbandingan nilai varian *aposteriori* dan varians *apriori* untuk unit bobot. Sesuai dengan pedoman manual pengolahan GPS dengan GAMIT, bahwa *nrms* solusi harian harus kurang dari 0.25. Apabila nilai *postfit nrms* lebih besar dari 0.5 maka mengindikasikan data GPS masih terdapat efek *cycle slip*. Nilai *postfit nrms* dirumuskan seperti pada persamaan (2.4) dan persamaan (2.5) (Prasidya, 2014):

$$postfit\ nrms = \sqrt{\frac{x^2}{(n-u)}} \quad (2.4)$$

$$Dengan\ nilai\ x^2 = \frac{\sigma^{r^2}}{\sigma^2} \quad (2.5)$$

Dimana σ^2 adalah varian apriori untuk bobot, kemudian σ^{r^2} adalah varian aposteriori untuk bobot, n adalah jumlah ukuran dan u adalah ukuran minimum.

Adapun nilai *wide lane* dan *narrow lane* menunjukkan resolusi ambiguitas fase yang didapat dengan mengkombinasikan sinyal GPS L1 dikurangkan dengan GPS L2 untuk *wide lane*. Sedangkan resolusi ambiguitas fase dengan mengkombinasikan sinyal GPS L1 ditambahkan dengan GPS L2 untuk *narrow lane*. Nilai *wavelength wide lane* λ_δ dan *wavelength narrow lane* λ_n dirumuskan pada persamaan (2.6) dan (2.7) secara berturut-turut (Zhang, et al., 2007)

$$\lambda_\delta = \frac{c}{f_1 - f_2} \quad (2.6)$$

$$\lambda_n = \frac{c}{f_1 + f_2} \quad (2.7)$$

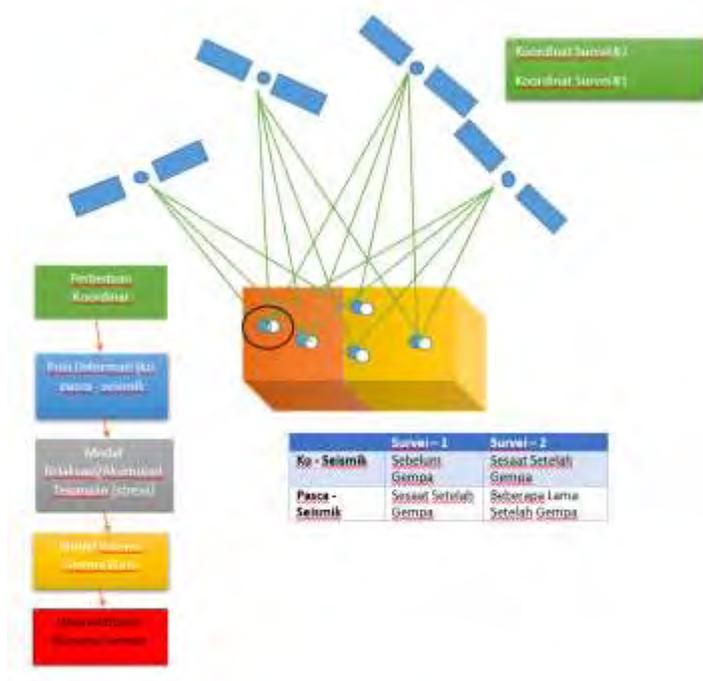
Dimana c adalah kecepatan cahaya dalam vakum (m/s), sedangkan f_1 dan f_2 adalah frekuensi sinyal L1 dan L2. Pada GAMIT akan dihasilkan nilai ambiguitas fase setiap pengamatan hariannya baik pada jenis WL maupun NL dalam bentuk presentase.

Nilai *Wide Lane* (WL) dan *Narrow Lane* (NL) resolusi ambiguitas fase hasil pengolahan harian GAMIT harus berada di atas 90% dan 80% untuk masing-masing nilai. Jika nilai WL tersebut masih di bawah ketentuan maka menunjukkan pengolahan tersebut masih terdapat *noise* pada *pseudorange*. Demikian juga jika nilai NL masih di bawah ketentuan menunjukkan pengolahan data masih terdapat kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat *a priori* atau kondisi atmosfer (Herring, et al., 2010)

2.9. Pemantauan Kerak Bumi dengan GPS

Prinsip penentuan deformasi koseismik dan pascaseismik dengan metode survei GPS pada prinsipnya menggunakan beberapa titik yang ditempatkan pada beberapa lokasi yang dipilih, secara periodik ditentukan koordinatnya secara teliti dengan menggunakan metode survei GPS (Kuncoro, 2013). Untuk mempelajari deformasi koseismik maka survei pertama harus dilaksanakan sebelum gempa, dan survei berikutnya sebaiknya

dilaksanakan beberapa saat setelah gempa terjadi. Sementara untuk deformasi pascaseismik, survei pertama sebaiknya dilaksanakan beberapa lama setelah gempa. Dengan mempelajari pola dan kecepatan perubahan koordinat titik-titik tersebut dari survei yang satu ke survei berikutnya, maka karakteristik deformasi koseismik dan pascaseismik gempa akan dapat diestimasi dan dipelajari lebih lanjut guna pembuatan model potensi gempa bumi berikutnya (Shang-Long, 1991)



Gambar 2.11 Prinsip Estimasi Deformasi Koseismik dan Pascaseismik dengan GPS Modifikasi dari (Kaplan & Hegarty, 2006)

Adapun beberapa kelebihan pengamatan pergerakan kerak bumi (deformasi) menggunakan pengamatan GPS antara lain adalah sebagai berikut:

1. Pada pengamatan GPS dapat menghasilkan nilai vektor pergerakan kerak bumi dalam tiga dimensi (dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal).
2. Pada pengamatan GPS pula menghasilkan nilai dari vektor pergerakannya dalam suatu sistem koordinat referensi tunggal. Maka dari itu, pengamatan GPS dapat digunakan untuk memantau deformasi suatu wilayah secara regional dengan efektif dan efisien.
3. Tingkat presisi nilai vektor pergerakan deformasi dengan pengamatan GPS tergolong tinggi karena hingga skala millimeter (mm) baik secara spasial maupun temporal
4. GPS dapat digunakan secara kontinyu tanpa bergantung waktu (kondisi siang atau malam) maupun cuaca. Maka pengamatan deformasi dapat dilakukan secara efektif dan fleksibel.

2.10. Mencari Besar Pergeseran Akibat Gempa

Vektor pergeseran adalah besaran yang menyatakan perubahan suatu titik pengamatan dalam selang waktu tertentu, sehingga bisa menjadi indikator terjadinya deformasi di daerah pengamatan (Rusmen, et al., 2012). Adapun salah satu metode perhitungan besar pergeseran vektor adalah dengan *linear fit*.

$$y = ax + b \quad (2. 8)$$

Dimana x adalah waktu pengamatan (tahun+DoY/365), kemudian y adalah data pada waktu pengamatan, sedangkan a dan b adalah nilai yang ditentukan berdasarkan kumpulan data pengamatan dengan metode *least square*, dengan solusi persamaannya adalah sebagai berikut:

$$X = (A^tPA)^{-1} \cdot (A^tPF) \dots\dots\dots (2. 9)$$

Dimana A dan F adalah matriks desain dan matriks identitas, X adalah parameter yang dicari (a dan b), dimana a ialah besarnya pergeseran, sedangkan P adalah matriks bobot.

Koordinat stasiun pengamatan yang diolah dan diamati adalah sistem koordinat lokal toposentrik *North, East, Up* (n, e, u) yang pusat sumbunya ada di permukaan bumi sehingga pergeseran di permukaan bumi dapat terlihat. Adapun karena sistem koordinat hasil pengolahan data GPS adalah sistem koordinat geosentrik (X, Y, Z), maka perlu dilakukan transformasi dengan rumus transformasi (Donnelly, 2012):

$$\begin{bmatrix} np \\ ep \\ up \end{bmatrix} = R(\varphi_0, \lambda_0) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} XP - XO \\ YP - YO \\ ZP - ZO \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$R(\varphi_0, \lambda_0) = \begin{pmatrix} -\sin\varphi_0\cos\lambda_0 & -\sin\varphi_0\sin\lambda_0 & \cos\varphi_0 \\ -\sin\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ \cos\varphi_0\cos\lambda_0 & \cos\varphi_0\sin\lambda_0 & \sin\lambda_0 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Dimana (np, ep, up) adalah koordinat toposentrik titik P, kemudian (φ_0, λ_0) adalah koordinat geodetik bujur dan lintang titik ikat, (XO, YO, ZO) adalah koordinat geosentrik titik ikat (0,0,0), lalu (XP, YP, ZP) adalah koordinat geosentrik titik yang dicari, ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) adalah selisih koordinat geosentrik titik ikat dan titik yang dicari dan R adalah matriks rotasi.

Untuk menentukan besar vektor pergeseran stasiun GPS dapat menggunakan rumus:

$$X_t = (t - t_0)V + X_{t_0} \quad (2.13)$$

Dimana X_t adalah koordinat stasiun pengamatan di epok t, kemudian X_{t_0} adalah koordinat stasiun pengamatan di epok t_0 , t_0 adalah waktu pengamatan koordinat stasiun pertama, t adalah

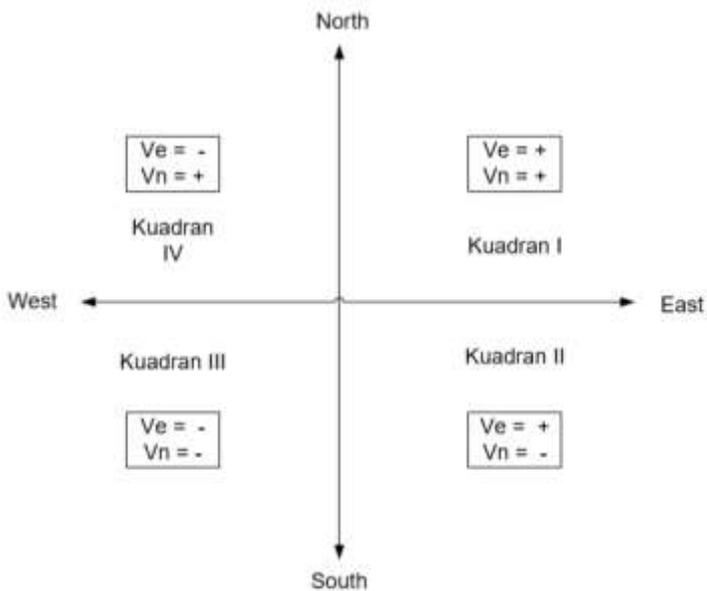
waktu pengamatan koordinat stasiun terakhir, dan V adalah besar pergeserannya. Sehingga pada bidang datar akan didapatkan resultan pergeserannya V_R melalui parameter V_n dan V_e , yakni besar resultan pergeseran di sumbu *northing* dan *easting*:

$$V_R = \sqrt{(V_n)^2 + (V_e)^2} \quad (2.14)$$

Sedangkan untuk menentukan arah vektor pergeserannya (α) dapat diketahui dengan menghitung parameter (V_n) dan (V_e) dengan rumus:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{V_e}{V_n} \quad (2.15)$$

Gambar 2.12 mengilustrasikan arah vektor pergeseran berdasarkan nilai positif (+) atau negatif (-) parameter (V_n) dan (V_e) dalam arah mata angin *north*, *east*, *south* dan *west*.

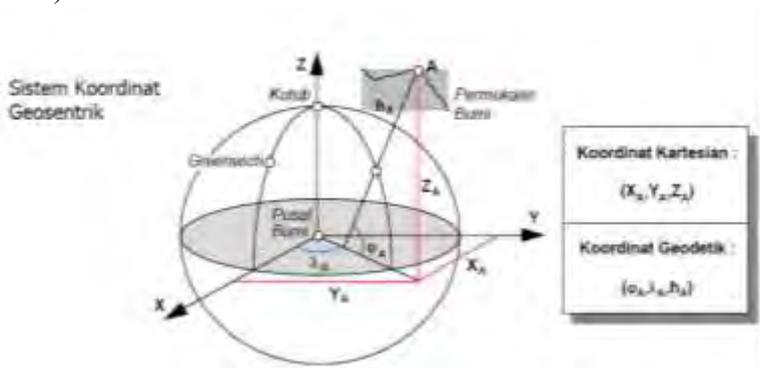


Gambar 2.12 Kuadran Arah Vektor Pergeseran (Chrzanowski, et al., 1986)

2.11. Sistem Koordinat

2.11.1. Sistem Koordinat Geosentrik

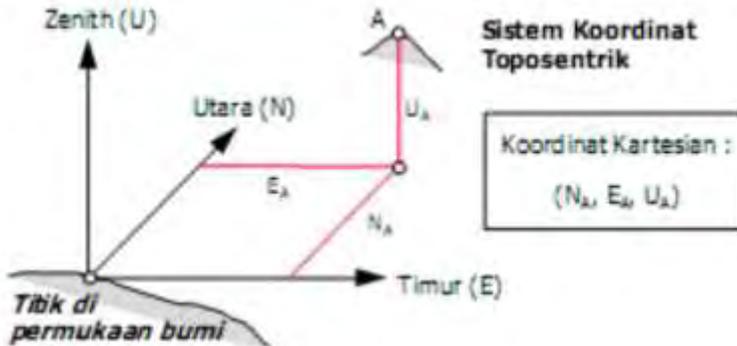
Sistem koordinat geosentrik adalah penentuan posisi suatu titik di permukaan bumi, dimana titik nol-nya berada di titik pusat massa bumi. sistem koordinat geosentrik biasanya digunakan sistem koordinat untuk menentukan posisi titik-titik di permukaan bumi dengan menggunakan satelit GPS. Gambar 2.13. menunjukkan sistem koordinat geosentrik. (Anjasmara & Hapsari, 2014).



Gambar 2.13 Sistem Koordinat Geosentrik (Anjasmara & Hapsari, 2014)

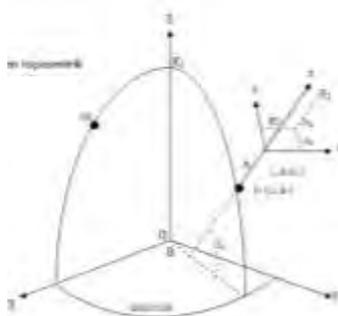
2.11.2. Sistem Koordinat Toposentrik

Sistem koordinat toposentrik definisikan sebagai penentuan posisi suatu titik di permukaan bumi dimana titik nol-nya berlokasi di satu titik di permukaan bumi. Sistem koordinat toposentrik biasanya digunakan untuk menentukan posisi terestris. (Anjasmara & Hapsari, 2014).



Gambar 2.14 Sistem Koordinat Toposentrik (Anjasmara & Hapsari, 2014)

Perhatikan gambar 2.15. (XYZ) merupakan sistem koordinat geosentrik (siku-siku ruang). Titik (O) berhimpit dengan ellipsoida referensi. Sumbu (XY) terletak pada bidang ekuator geodetik. Sumbu X merupakan perpotongan bidang meridian Greenwich (GR) dengan bidang ekuator. Sumbu Y tegak lurus sumbu X ke arah timur. Sumbu Z berimpit dengan sumbu pendek dan sejajar sumbu rotasi bumi.



Gambar 2.15 Sistem Toposentrik dan Geosentrik (Anjasmara & Hapsari, 2014)

(e, n, h) merupakan sistem koordinat toposentrik di titik P_1 sebagai titik nol ($L_1 B_1 h_1$). Sumbu h^+ berimpit dengan garis normal ellipsoida melalui P_1 ke arah luar. Sumbu n^+ sejajar garis singgung pada meridian P_1 ke arah utara. Sumbu e^+ sejajar garis singgung pada irisan normal utama di P_1 ke arah timur.

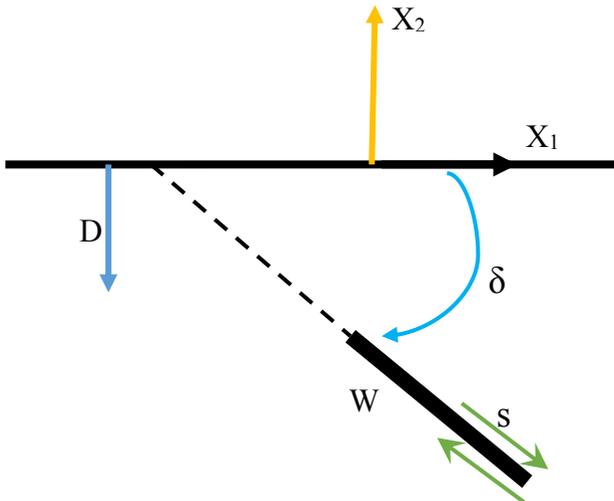
2.12. Model Dislokasi

Model dislokasi adalah metode yang sering digunakan dalam pemodelan gempa bumi. Model dislokasi ini berasal dari fungsi Greens untuk *elastic half space*. Perpindahan materi yang solid dengan bentuk geometri persegi panjang yang terbatas dapat ditentukan dengan menggunakan parameter berikut:

- a. *Length and width*
- b. *Latitude and longitude*
- c. *Depth*
- d. *Strike*
- e. *Dip*
- f. *Rake*
- g. *Slip*

Model dari akumulasi regangan dan pelepasannya pada zona subduksi dianggap sebagai gangguan sederhana terhadap subduksi yang terus menerus. Dalam penyelesaian masalahnya, deformasi dipicu oleh terjadinya pergerakan zona subduksi utama maka selanjutnya diperkenalkan teori dislokasi, ujung dislokasi ini berada di bagian bawah dari zona patahan utama dengan *vector Burgers* paralel dengan zona yang menghasilkan kembali efek dari patahan akibat pergerakan turun dan sebangun dengan dislokasi yang sifatnya rotasi (*skew*) yang dihasilkan dari efek patahan akibat pergerakan yang saling bertabrakan. Solusi permasalahan ini adalah dengan menggunakan pemodelan bumi bernama *elastic half space* yang digunakan dalam bahasan peregangan yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi.

Model dislokasi yang digunakan adalah model dislokasi *elastic-half space* yang dikembangkan oleh Seagall, 1966. Secara sederhana bumi di bagi menjadi dua bagian yaitu *upper-space* (atmosfer) dan *lower-space* (di dalam permukaan bumi). Model ini menjelaskan bahwa perambatan gelombang akibat gempa bumi yang terjadi didalam permukaan tanah dianggap melewati medium yang homogen.



Gambar 2.16 Parameter-parameter Model Dislokasi Modifikasi (Segall & Davis, 1997)

Untuk lokasi *fault* vertikal pada origin sistem koordinat, $x_1 = 0$ dan $x_2 = z$, dimana z adalah variable *dummy* pada permukaan *fault* sehingga dihasilkan rumus :

$$u_1(\xi_1, \xi_2 = 0) = \frac{s_2}{\pi} \left[\frac{\xi_1^2}{\xi_1^2 + d^2} \right] \quad (2.16)$$

Untuk komponen vertikal yang berkaitan dengan *slip* pada vertikal *fault* adalah

$$u_2(\xi_1, \xi_2 = 0) = -\frac{s_2}{\pi} \left[\frac{\xi_1 d}{\xi_1^2 + d^2} + \tan^{-1} \left(\frac{\xi_1}{d} \right) \right] \quad (2.17)$$

Mengingatikan bahwa *horizontal displacements* mengarah ke s_2/π untuk $\xi_1 \gg d$. kita dapat menghilangkan *rigid body motion* tanpa mempengaruhi *stresses* atau *strains*. Jika hal itu dilakukan dan mengenalkan parameter jarak pada kedalaman *fault* $\zeta = \xi_1/d$ maka di dapat rumus :

$$u_1 = -\frac{s_2}{\pi} \frac{1}{1+\zeta^2} \quad (2. 18)$$

$$u_2 = \frac{s_2}{\pi} \left[\frac{\zeta}{1+\zeta^2} + \tan^{-1}(\zeta) \right] \quad (2. 19)$$

untuk *dipping fault*, *displacement* ditemukan pada penjumlahan vector pada komponen horizontal pada vector *slip*.

$$u_1 = \frac{1}{\pi} \left[s_1 \tan^{-1}(\zeta) - \frac{s_2 + s_1 \zeta}{1+\zeta^2} \right] \quad (2. 20)$$

$$u_2 = \frac{1}{\pi} \left[s_2 \tan^{-1}(\zeta) + \frac{s_2 \zeta - s_1}{1+\zeta^2} \right] \quad (2. 21)$$

kita dapat menghubungkan komponen vector *slip* dengan *slip magnitude* dan *fault dip*, sebagai berikut:

$$u_1(x_1, x_2 = 0) = \frac{-s}{\pi} \left\{ \cos \alpha \tan^{-1}(\zeta) + \frac{\sin \alpha - \zeta \cos \alpha}{1+\zeta^2} \right\} \quad (2. 22)$$

$$u_2(x_1, x_2 = 0) = \frac{s}{\pi} \left\{ \sin \alpha \tan^{-1}(\zeta) + \frac{\cos \alpha - \zeta \sin \alpha}{1+\zeta^2} \right\} \quad (2. 23)$$

dimana parameter (ζ) adalah jarak dari dislokasi terhadap kedalaman,

$$(\zeta) = \frac{x_1 - \xi_1}{d} \quad (2. 24)$$

Dengan menuliskan $s > 0$ maka mengacu pada *reverse faulting* untuk $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ dan *normal faulting* $\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$ dan berlaku sebaliknya jika $s < 0$. Akhirnya, permukaan *strain* normal di dapat dari penurunan pada komponen u_1 terhadap *displacement* sebagai berikut:

$$\epsilon_{11}(x, z = 0) = \frac{2s}{\pi d} \left\{ \frac{\zeta \sin \alpha - \zeta^2 \cos \alpha}{(1+\zeta^2)^2} \right\} \quad (2. 25)$$

2.13. Analisa Korelasi

Analisa Korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk menentukan kuatnya atau dejerat hubungan linier antara dua variabel atau lebih. Ukuran untuk derajat hubungan garis lurus ini dinamakan koefisien korelasi. Korelasi dilambangkan dengan r dengan ketentuan nilai r tidak lebih dari harga $(-1 \leq r \leq 1)$. Apabila nilai $r = -1$ artinya korelasi negatif sempurna; $r = 0$ artinya tidak ada korelasi; dan $r = 1$ artinya korelasinya sangat kuat.

Tabel 2 2 Intrepretasi Korelasi Nilai r (Sudjana, 2002)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,800 – 1,000	Sangat Kuat
0,600 – 0,799	Kuat
0,400 – 0,599	Cukup Kuat
0,200 – 0,399	Lemah
0,000 – 0,1999	Sangat Lemah

Rumus korelasi sederhana adalah (Sudjana, 2002):

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \quad (2. 26)$$

2.14. Penelitian Terdahulu

Pada gempa Bengkulu tahun 2007 telah dilakukan analisa deformasi menggunakan pengamatan GPS dan memodelkan gempa tektonik yang berada di daerah Bengkulu. Lokasi penelitiannya adalah $101^{\circ}1' \text{ BT} - 104^{\circ}46' \text{ BT}$ dan $2^{\circ}16' \text{ LS} - 5^{\circ}13' \text{ LS}$. Penelitian ini dilakukan oleh (Yusfania, 2008). Dalam jurnalnya, dijelaskan tujuan penelitiannya adalah mengetahui arah pergeseran akibat gempabumi yang terjadi dipermukaan tanah dan estimasi model gempa untuk mengetahui mekanisme gempa Bengkulu September tahun 2007. Pengamatan deformasi dibagi menjadi tiga tahapan yaitu *interseismic*, *coseismic* dan *postseismic*. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *Sumatran GPS Array* (SuGAR) milik Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) seluruh stasiun yang aktif pada saat pengamatan.

Dengan menggunakan perangkat lunak pengolah data GPS ilmiah milik *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) dan *Scripps Institutions of Oceanography* (SIO), GAMIT dan GLOBK dijelaskan akan didapatkan *time series* koordinat seluruh stasiun GPS.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode pemodelan dislokasi dan metode *least square*. Sehingga dari pengamatan yang dilakukan, di dapatkan kesimpulan bahwa gempa Bengkulu memberikan pergeseran horizontal sebesar -0.73 meter dan pergeseran vertikal sebesar -0.96 meter (Yusfania, 2008). Kesimpulan selanjutnya adalah dari model optimum berdasarkan hasil pengamatan GPS disimpulkan bahwa mekanisme gempa di pantai sebelah barat daya Bengkulu M8.5, 12 September 2007 yang terjadi di zona subduksi antar lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia ini adalah *thrust fault*.

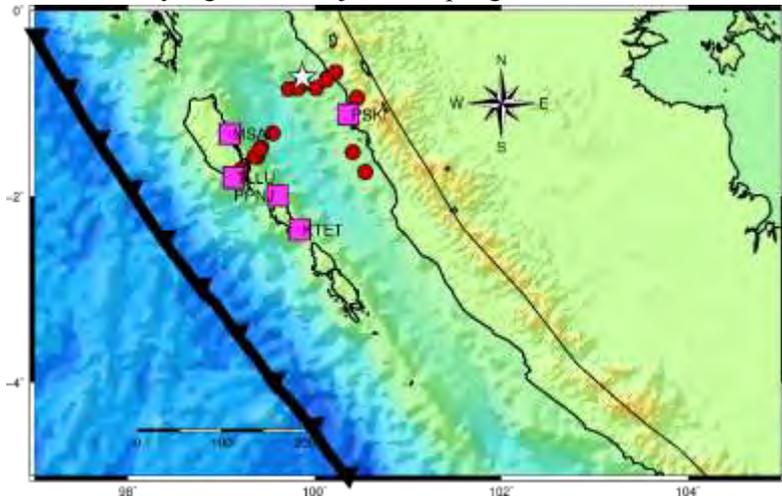
Pada penelitian yang akan digunakan kali ini yang membedakan dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini dilakukan pada lokasi yang berbeda dengan pengolahan data pergeseran GPS menggunakan *GAMIT/GLOBK* (pada penelitian sebelumnya menggunakan *Bernesse*). Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan gempa tektonik berupa mekanisme dari gempa sehingga membutuhkan data pergeseran GPS yang diolah sendiri dan dijadikan kedalam bentuk model yang sesuai dengan data pergeseran GPS. Selain itu, data pengamatan GPS yang diambil tujuh hari sebelum gempa dan tujuh hari sesudah gempa untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada saat gempa.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah gempa bumi yang terjadi di Padang, Sumatera Barat pada tanggal 30 September 2009 dengan besar gempa 7.6 skala richter (SR) dan kedalaman 81 km. posisi episenter secara geografis terletak pada koordinat $99^{\circ}52'1.2''$ BT; $0^{\circ}43'12''$ LS yang berada di jalur lempeng tektonik.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2. Data dan Peralatan

3.2.1. Data

- Data RINEX

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data pengamatan GPS berupa data RINEX pada bulan September 2009 sampai Oktober 2009, yakni DoY (*Days of Year*) ke-266 hingga 280. Data tersimpan dalam format

RINEX dengan *sampling* pengukuran tiap lima belas detik. Data GPS bersumber dari hasil pemantauan *online*. Data pengamatan diunduh di salah satu penyedia data *Sumateran GPS Array* (SuGAR) yaitu “*Scripps Orbit and Permanent Array*” (SOPAC). Dalam penelitian ini akan menggunakan lima buah stasiun *receiver* GPS SuGAR di kawasan sekitar wilayah gempa Padang tahun 2009. Data pengamatan yang digunakan adalah data pengamatan GPS MSAI, GPS KTET, GPS PPNJ, GPS PSKI dan GPS TLLU seperti yang dijelaskan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Lokasi Receiver Pengamatan GPS SuGAR

Nama Stasiun	Lokasi	Koordinat
MSAI	Muara Suabi, Sumatera Barat	1°19'48" LS - 99°5'24" BT
PPNJ	Pulau Panjang	1°59'24" LS - 99°36'00" BT
PSKI	P. Sekuai, Sumatera Barat	1°07'12" LS - 100°21'00" BT
TLLU	Taileleu, Sumatera Barat	1°48'00" LS - 99°7'48" BT
KTET	Katiet, Sepora	2°21'45" LS - 99°50'26" BT

- Tiga *file* data tambahan yaitu : *file* gelombang pasang surut, *file* atmosfer dan *file* pemodelan cuaca
- 3 Titik ikat GPS *International GNSS Services* (IGS) untuk kontrol *file*.
- Data orbit satelit; IGS SP3 *ephemeris file* (igsWWWD.sp3)
- Nilai jam satelit; *file* navigasi RINEX (brdcDDD0.YYn)
- Data sekunder yang dibutuhkan saat pengolahan yang akan diunduh otomatis perangkat lunak GAMIT/GLOBK
- Data gempa bumi Padang tahun 2009 yang diunduh di *website* USGS.

3.2.2. Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu:

1. *Hardware*
 - a. Stasiun GPS *Online*
2. *Software*
 - a. Sistem operasi LINUX Ubuntu 14.04 dan Windows 10.
 - b. Microsoft Word dan Excel
 - c. *Software Generic Mapping tools (GMT)*

Generic Mapping Tools (GMT) digunakan untuk *plotting* data gempa bumi serta *plotting* data grafik koordinat lokal *time series* dari hasil pengolahan yang secara otomatis terintegrasi dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK perangkat lunak ini diunduh dari <ftp://ftp/soest.hawaii.edu/gmt>.
 - d. *Software MATLAB*
 - e. *Software GAMIT/GLOBK*

GAMIT adalah sebuah paket perangkat lunak ilmiah untuk pengolahan data pengamatan GPS yang dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* dan *Scripps Institution of Oceanography (SIO)*. Perangkat lunak ini dapat menghasilkan posisi relatif tiga dimensi dari pengamat dengan tingkat ketelitian tinggi karena data yang digunakan selain data *broadcast ephemeris*, juga digunakan data *precise ephemeris*. GLOBK adalah salah satu paket program yang dapat mengkombinasikan hasil pemrosesan data survei terestris ataupun data survei ekstra terestris. Data *input* pada GLOBK adalah matriks kovarian dari koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit dan

koordinat hasil pengamatan lapangan. Ada tiga fungsi yang dilakukan dalam GLOBK (Herring, et al., 2010):

- a. Mengkombinasikan hasil pengolahan individual (misal: harian) untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari
- b. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan individual, yang digunakan untuk menggeneralisasikan data runur waktu (*time series*) dari pengamatan teliti harian atau tahunan
- c. Mengkombinasikan sesi pengamatan individu dengan koordinat stasiun dianggap stokastik. Hasilnya adalah koordinat *repeatabillites* untuk mengevaluasi tingkat presisi pengukuran harian dan tahunan

3.3. Tahapan Penelitian

Adapun untuk melaksanakan penelitian ini secara garis besar tertuang dalam diagram alir Gambar 3.3. berikut adalah penjelasan dari diagram alir:

a. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana memodelkan mekanisme gempa bumi Padang tahun 2009 dengan menggunakan parameter-parameter gempa bumi dengan vektor pergeseran GPS.

b. Studi Literatur

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur yang akan dilakukan meliputi:

1. Pengkajian metode untuk memodelkan mekanisme gempa bumi

2. Pengkajian mengenai isu permasalahan dan kondisi lapangan mengenai lokasi penelitian
3. Studi literature terkait pengolahan data untuk memodelkan mekanisme gempa bumi dengan vektor pergeseran GPS

c. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk penelitian. Data-data tersebut diambil pada *website* USGS dan SOPAC

d. Pengolahan data

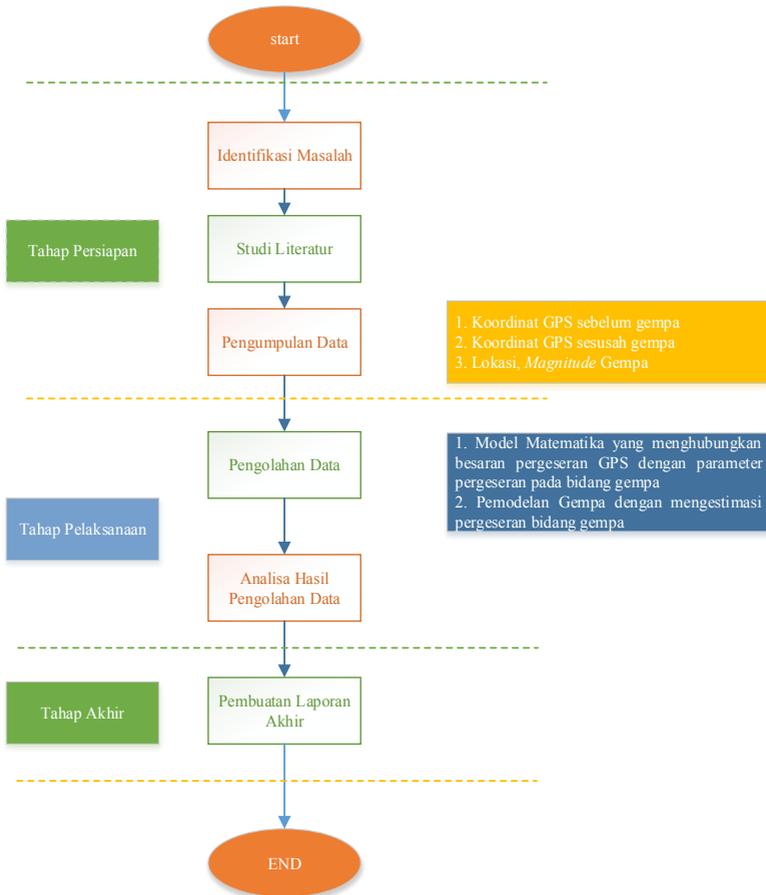
Dalam tahapan ini akan melakukan pengolahan data menggunakan *software* GAMIT/GLOBK untuk pergeserannya, MATLAB dan Linux Ubuntu untuk memodelkan mekanisme gempa bumi dan melakukan transformasi koordinat serta GMT untuk melakukan *plotting* hasil pengolahan data.

e. Analisis hasil pengolahan data

Setelah data selesai diolah, maka akan dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan. Pada tahap ini hasil Analisa digunakan untuk menentukan mekanisme gempa bumi Padang tahun 2009.

f. Pembuatan Laporan Akhir

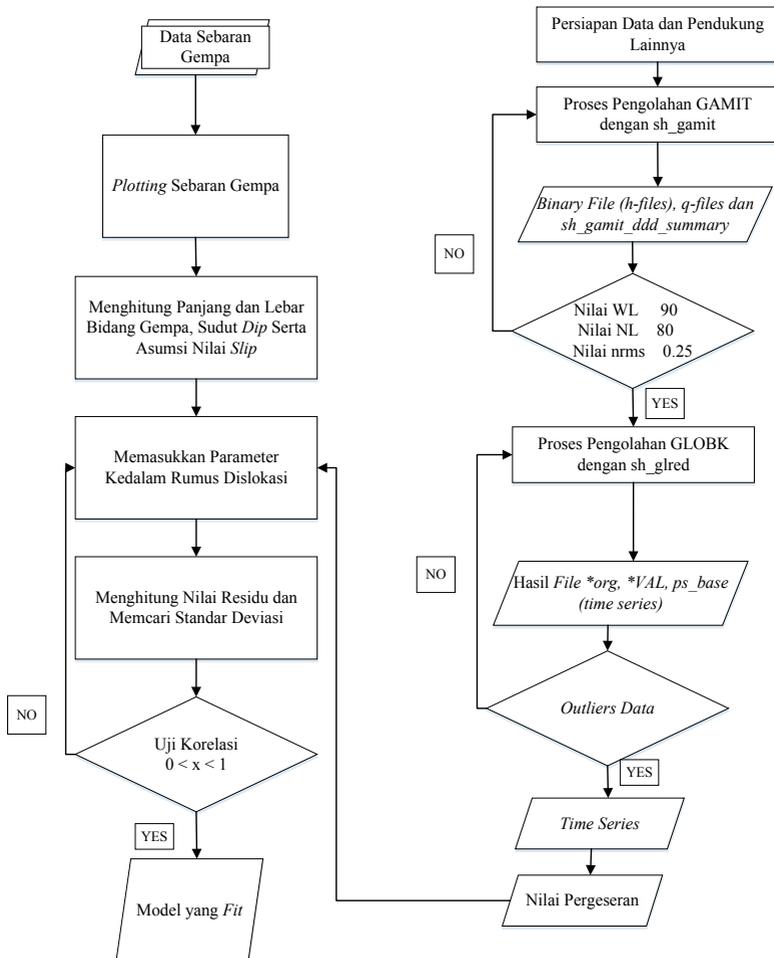
Tahapan ini adalah tahapan akhir, yaitu proses penyajian hasil penelitian dalam bentuk laporan dan presentasi.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4. Tahapan Pengolahan Data

Adapun pengolahan data dalam penelitian ini secara garis dijelaskan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data

a. Data Sebaran Gempa

Data sebaran gempa dapat diunduh dari *website* USGS dengan memasukkan rentan waktu kejadian gempa yang terjadi. Data sebaran gempa yang didapat, di-*filter* kembali

sesuai dengan waktu kejadian gempa yang akan diolah dalam hal ini adalah gempa *mainshock* dan *aftershock*.

b. *Ploting* Bidang Gempa

Ploting bidang gempa dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GMT. Hasil *plotting* dilakukan untuk mengetahui posisi *mainshock* dan *aftershock* untuk mempermudah melakukan perhitungan panjang dan lebar bidang gempa

c. Menghitung Panjang dan Lebar Bidang Gempa dan Sudut pada Bidang Gempa (*Dipping*)

Hasil *plotting* yang sudah diolah dengan menggunakan GMT, dibuat sebuah panjang dan lebar gempa yang kemudian dihitung nilai dari panjang dan lebar bidang gempa tersebut.

Sudut bidang gempa diperoleh dengan melakukan perhitungan dengan fungsi regresi linier pada data *aftershock* yang telah dunduh dan di-*filter*.

d. Persiapan data dan Pendukung lainnya

Pada tahap ini adalah proses *download* data RINEX dari pusat data di SOPAC. Seperti yang dijelaskan dalam bab sebelumnya dibutuhkan beberapa pendukung lainnya sebelum memulai proses pengolahan data seperti data *receiver* dan informasi antenna untuk setiap data (*file station.info*), *list station* (sesuai dengan data stasiun yang dibutuhkan untuk penelitian), titik ikat untuk kontrol *file*, IGS SP3 *ephemeris file* (*igsWWWWD.sp3*), nilai jam satelit, *file* navigasi 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.

e. Proses Pengolahan Data dengan GAMIT

Langkah pertama dalam pengolahan data GPS menggunakan GAMIT adalah membuat direktori pekerjaan EXPT dan menghubungkan seluruh *file* yang dibutuhkan seperti *control file* yang terletak di `~gg/tables/` dengan perintah `sh_setup -yr yyyy` pada terminal linux. Selanjutnya melakukan *editing control file* yang akan digunakan sesuai dengan parameter dan skenario pengamatan yang telah direncanakan. Adapun data-data *control file* yang akan digunakan adalah seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya mengenai “Pengolahan Data GPS dengan *Software* GAMIT”.

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 ddd1 ddd2 -expt EXPT -nogifs > sh_gamit.log&
```

Hasil dari perintah tersebut akan menghasilkan sejumlah *folder day of year* (DoY) sesuai dengan jumlah DoY yang diatur pada tahap persiapan data. *File* h-file memiliki format `h[EXPT]a.yyddd`, dimana EXPT adalah nama direktori kerja, yy adalah dua angka tahun terakhir dan ddd DoY dari data yang diproses.

f. Evaluasi Solusi GAMIT

Proses pengamatan GPS dapat dikatakan baik atau salah dengan melihat h-file, Q-file dan *postfit.autcl.summary*. Parameter yang dicek adalah:

- Nilai *postfit* nrms (*normalized root mean square*), yang merupakan perbandingan nilai varians *a posteriori* dan varians *a priori* untuk unit bobot.

Sesuai dengan pedoman pengolahan GPS dengan GAMIT, bahwa *nrms* solusi harian harus kurang dari 0.25. Apabila nilai *posfit nrms* lebih besar dari 0.5 maka mengindikasikan data GPS masih terdapat efek *cycle slip*.

- Nilai *Wide Lane* adalah resolusi ambiguitas fase yang didapat dengan mengkombinasikan sinyal GPS L1 dikurangkan dengan GPS L2 (*Wide Lane*). Sedangkan resolusi ambiguitas fase dengan mengkombinasikan sinyal GPS L1 ditambahkan dengan GPS L2 (*Narrow Lane*). Nilai *Wide Lane* (WL) dan *Narrow Lane* (NL) resolusi ambiguitas fase hasil pengolahan harian GAMIT harus berada di atas 90% dan 80% untuk masing-masing nilai. Jika nilai WL tersebut masih di bawah ketentuan maka menunjukkan pengolahan tersebut masih terdapat *noise* pada *psudorange*. Demikian juga nilai NL masih di bawah ketentuan menunjukkan pengolahan data masih terdapat kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat apriori, atau kondisi atmosfer.

g. Proses Pengolahan Data dengan 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.

Adapun *file* yang perlu disiapkan dan di-*edit* sesuai dengan kebutuhan pengguna adalah *file* kontrol globk dan glorg yaitu *globk_comb.cmd* dan *glorg_comb.cmd* yang dapat

di-copy dari folder *~gg/tables* dan ditempatkan di folder *gsoln* di dalam direktori *project EXPT*. Kemudian *file* nilai parameter orientasi bumi, *pmu,usno*, yang diperoleh dari *~gg/tables* dan ditempatkan pada */tables* di direktori *project*. Terakhir adalah *file global directory list (*.gdl)* yang berisikan *list file* biner h-file hasil dari konversi proses *hgtolb* yang sudah tidak memiliki nilai ambiguitas biasanya, *ambiguitas resolve*, format **.glx*.

Jika semua *file* sudah disiapkan maka dilakukan perintah solusi harian dengan perintah sebagai berikut:

```
glred 6 globk_rep.prt globk_rep.log xxxx.gdl globk_comb.cmd
```

Dimana *glred* adalah perintah untuk membuat solusi DoY, kemudian angka 6 menunjukkan bahwa akan dibuat sebanyak 6 *file .gdl* dalam setiap 30 hari pengolahan data, *globk_rep.prt* adalah keluaran berbentuk *print file* yang berisikan solusi *glred*, *globk_rep.log* adalah *log file* yang berisikan waktu pengolahan dan *prefit chii square* per nilai derajat kebebasan untuk setiap *file* matriks yang diolah, *xxxx.gdl* adalah *file .gdl* yang akan digunakan dan *globk_comb.cmd* adalah *file* kontrol *globk* yang secara otomatis akan terhubung dengan *file glorg_comb.cmd*.

Dari proses *glred* didapatkan pergeseran titik stasiun GPS dalam bentuk *file glred.org*. Kemudian untuk melihat hasil *plot* secara *timeseries* adalah dengan perintah sebagai berikut:

```
sh_plotcrd -f globk_comb.org -s long
```

Dimana *sh_plotcrd* adalah perintah untuk membuat *plot* koordinat secara *timeseries* dan *globk_comb.org* adalah *file .org* keluaran dari proses *glred* sebelumnya. Evaluasi hasil GLOBK dapat dilihat pada *plot* deret waktu hasil

pengolahan menggunakan GLOBK. Untuk nilai wrms yang baik adalah di bawah 10 mm.

h. Deteksi Data *Outliers*

Outliers 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>*. Kemudian dilakukan pengolahan ulang dengan melakukan proses pengolahan GLOBK kembali tanpa mengikutsertakan data *folder DoY* yang ter-*outliers*. Maka akan diperoleh data *time series* GPS yang sudah bersih dari *noise*.

i. Analisa Deformasi dan Besar Pergeseran Vektor Fase *Interseismic*, *Coseismic* dan *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*) digunakan 7 hari pengamatan sebelum peristiwa gempa tanggal 30 September 2009 terjadi. Hal ini dimaksudkan agar didapatkan data yang linier, tidak terpengaruh efek gempa. Sedangkan untuk mengamati pergeseran titik GPS setelah gempa (*postseismic*) digunakan 7 hari sesudah setelah peristiwa gempa agar mendapatkan data yang tidak memiliki efek gempa. Adapun fase *coseismic* didapatkan dari tujuh data pengamatan yang diambil sebelum dan sesudah gempa. Untuk mendapatkan nilai pergeserannya adalah dengan menghitung selisih rata-rata dari data tersebut.

Pada aplikasi GLOBK siapkan *file* perintah *globk_vel.cmd* dan *glorg_vel.cmd* yang didapat dari `~gg/tables` kemudian di tempatkan pada *folder* *gsoln*. Kemudian atur parameter di dalamnya sesuai kebutuhan yang dibutuhkan pengguna. Dengan menggunakan perintah terminal Linux sebagai berikut:

```
globk 6 globk.prt globk.log xxxx.gdl globk_vel.cmd
```

Dimana *globk* adalah perintah untuk menghasilkan estimasi besar vektor pergeseran titik pantau GPS, kemudian angka 6 menunjukkan bahwa akan dibuat sebanyak 6 file *.gdl* dalam setiap 30 hari pengolahan data, *globk.log* adalah *log file* yang berisikan waktu pengolahan dan *prefit chii square* per nilai derajat kebebasan untuk setiap *file* matriks yang diolah, *xxxx.gdl* adalah *file .gdl list experiment* yang akan dilakukan (misal *fase Interseismic*, maka masukan seluruh hari pengamatan yang termasuk *fase* tersebut), *globk_vel.cmd* adalah *file* kontrol untuk menentukan besar vektor pergeseran titik.

Adapun proses *glred* dan *globk* di atas sebenarnya dapat disingkat dengan hanya menggunakan satu perintah sebagai berikut:

```
Sh_glred -s YYYY1 DDD1 YYYY2DDD2-expt NNNN -opt H G E
```

Dimana *YYYY1* adalah tahun awal data yang diolah, *DDD1* hari akhir data yang akan diolah, *YYYY2* tahun akhir data yang diolah, *DDD2* hari akhir data yang diolah, *Expt* adalah nama *experiment* yang sudah ditentukan pada *sites.defaults*, *H* untuk memindah h-files kedalam direktori *glbf*, *G* untuk membentuk *file* ekstensi *.gdl* pada setiap harinya kedalam direktori *gsoln*, dan *E* untuk *ploting time series*

- j. *Plot* Vektor Pergeseran Fase *Interseismic*, *Coseismic* dan *Postseismic*.

Dari proses *globk* di dapatkan besar vektor pegeseran titik stasiun GPS dalam bentuk *file globk.org*. Kemudian untuk melihat hasil *plot* secara spasial adalah dengan perintah GMT sebagai berikut:

```
sh_plotvel -f globk_vel.org -R97/105/-5/0
```

Dimana *sh_plotvel* adalah perintah untuk membuat *plot* spasial besar vektor pergeseran titik GPS, *globk_vel.org* adalah *file .org* yang dihasilkan dari proses *globk*.

- k. Memasukkan rumus Model Dislokasi
 Nilai pergeseran yang telah dihasilkan oleh *software* GLOBK di masukkan kedalam *software* Matlab dengan mengkombinasikan data parameter gempa yang telah dihitung. Carilah model yang paling *fit* atau cocok.
- l. Mencari Nilai Standar Deviasi paling Minimum
 Model yang telah dihasilkan dihitung atau dicari nilai standar deviasi yang paling minimum. Hal ini dilakukan untuk mencari model yang mendekati dengan kejadian yang sebenarnya sehingga menghasilkan model yang optimal.
- m. Uji Korelasi
 Nilai pergeseran dan nilai model yang sudah dihasilkan kemudian diuji untuk mengetahui model mana yang sesuai atau *fit*. Nilai korelasi yang terbesar adalah nilai model yang paling optimal.

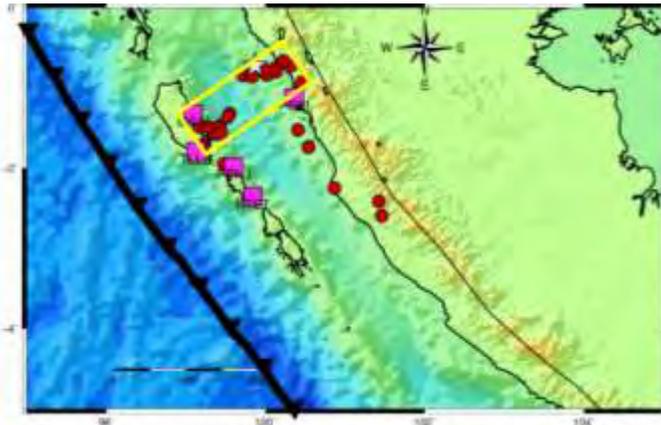
BAB 4 HASIL dan ANALISA

4.1. Hasil Panjang dan Lebar Bidang Gempa

Hasil pengolahan panjang dan lebar dan bidang gempa bumi oleh *software* pengolah panjang dan lebar bidang gempa bumi dapat dilihat pada tabel 4.1 dan gambar 4.1

Tabel 4. 1 Nilai panjang dan lebar bidang gempa

Panjang Bidang Gempa	170 Km
Lebar Bidang Gempa	69 Km

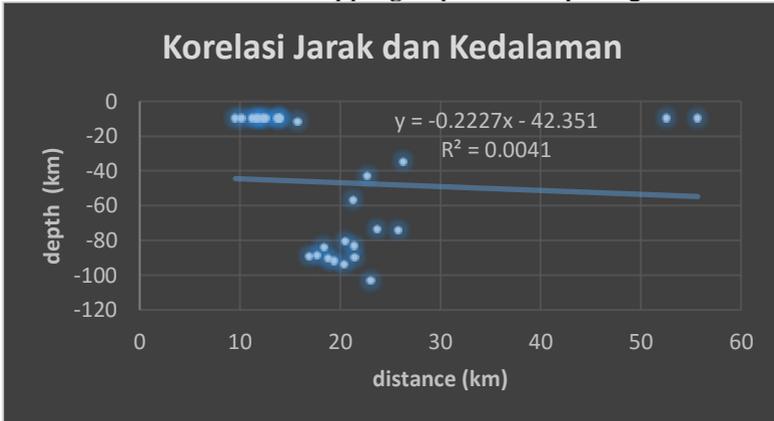


Gambar 4.1 Ilustrasi Panjang dan Bidang Gempa

4.2. Hasil Pengolahan Nilai *Dipping* dan Nilai *Slip*

Hasil pengolahan nilai *dipping* diperoleh dengan menggunakan rumus regresi linier (persamaan 2.8). Korelasi yang digunakan adalah korelasi antara jarak yang didapat dari perhitungan jarak terpendek gempa dengan *trench* sehingga mendapatkan jarak tegak lurus dan kedalaman gempa bumi. Hasil

pengolahan nilai *dipping* yang digunakan sebesar 12.726° atau sebesar $12^\circ 45' 46.8''$. Nilai *dipping* dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Nilai Dipping berdasarkan Korelasi Jarak dan Kedalaman

Berdasarkan Gambar 4.2 nilai *dipping* yang diperoleh sangatlah kecil. Hal ini dikarena lokasi kedalaman gempa utama yang dalam yaitu berkisar 81 km dan lokasi gempa tidak terletak pada bidang *trench*. Untuk Indonesia sendiri memiliki nilai *dipping* yang berbeda tiap kedalaman, umumnya nilai *dipping* di Indonesia berkisar $15^\circ - 50^\circ$ pada kedalaman 50 – 100 km (Cruciani, et al., 2005). Hal ini diperkuat dengan bukti pada zona subduksi sumatera khususnya bagian utara memiliki sudut *dip* berkisar $8.1^\circ - 19.5^\circ$ (Megawati, et al., 2004)

Untuk nilai *slip* diperoleh dari *website* USGS yaitu <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000h237#finite-fault>. Nilai *slip* yang diperoleh merupakan asumsi yang akan dimasukkan kedalam model dislokasi. Nilai *slip* yang didapatkan adalah sebesar 3 m, 4 m, 5 m dan 6 m.

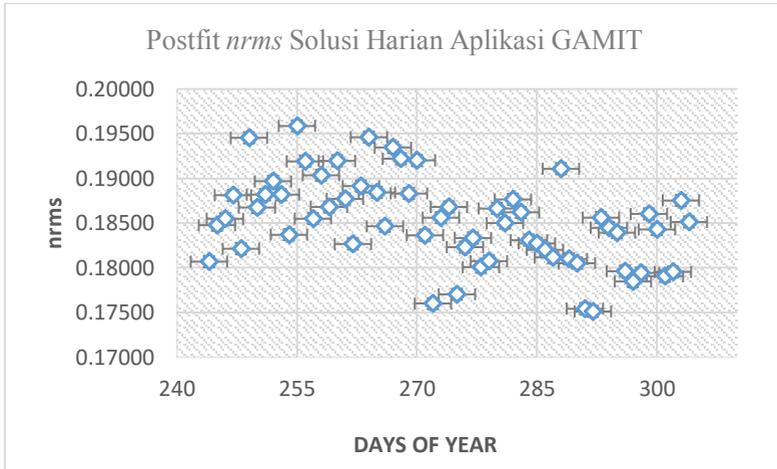
4.3. Hasil Pengolahan GAMIT

Data GPS SuGAR beserta data-data pendukung lainnya dalam penelitian ini diolah menggunakan GAMIT, aplikasi penggabungan data GPS dan *Kalman Filter* (GLOBK) dan GMT dalam lingkungan sistem operasi komputer Linux.

Pengolahan GPS dengan menggunakan aplikasi GAMIT menghasilkan kumpulan *folder* dari DoY yang diteliti dan setiap *foldernya* berisikan solusi GAMIT (h-file), kemudian q-file dan *sh_gamit_ddd.summary* serta *file-file* lainnya. Namun untuk memastikan bahwa penggunaan GAMIT dalam pengolahan data GPS dikatakan baik, ketiga *file* di atas sudah cukup mewakili informasi parameter yang akan dievaluasi. Berikut di bawah ini adalah evaluasi parameter yang digunakan.

4.3.1. Nilai *Normalised Root Mean Square (nrms)*

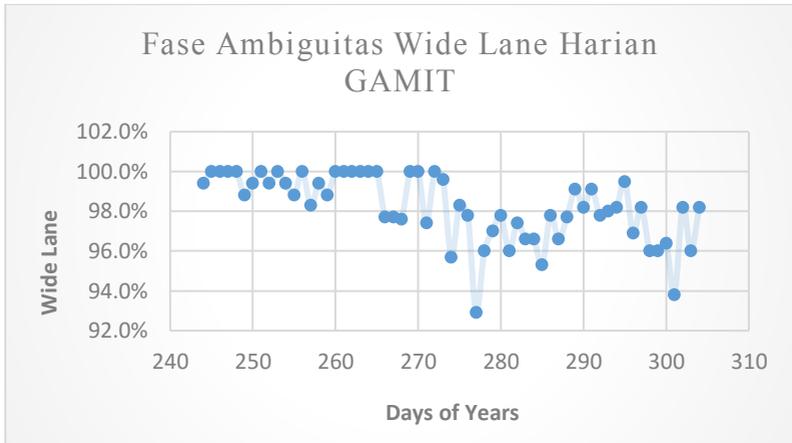
Pada penelitian ini dilakukan pengamatan GPS sepanjang 60 DoY, dimulai pada awal agustus 2009 (DoY 244) hingga akhir oktober 2009 (DoY 304). Adapun nilai *nrms* dalam setiap pengamatan DoY-nya. Nilai dalam pengolahan GAMIT harus memiliki kurang dari 0.25 dalam setiap pengamatan DoY-nya. Nilai *nrms* dari hasil pengolahan GPS dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.3. Gambar 4.3 menghasilkan nilai *nrms* minimal adalah sebesar 0.17512, *nrms* maksimal adalah sebesar 0.19588. Rerata *nrms* adalah sebesar 0.18515. Hal ini menunjukkan bahwa metode penggunaan GAMIT sesuai dengan kriteria.



Gambar 4.3 Nilai nrms Solusi Harian GAMIT

4.3.2. Nilai Wide Lane dan Narrow Lane

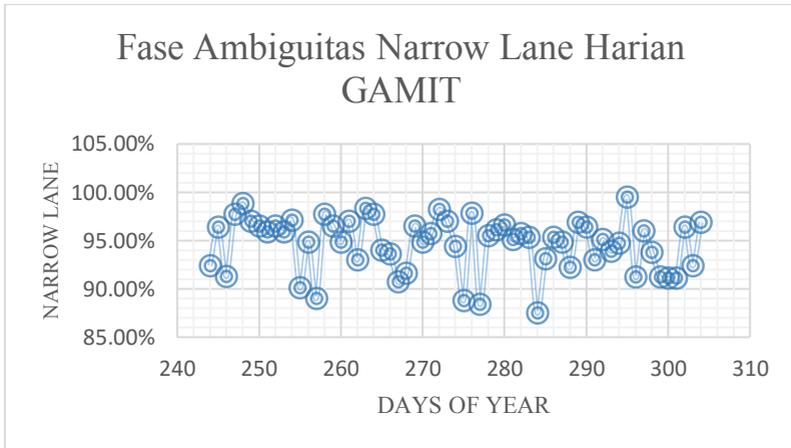
Nilai *Wide Lane* adalah resolusi ambiguitas fase yang didapat dengan menggabungkan sinyal GPS L1 dikurangkan dengan GPS L2 (*Wide Lane*). Nilai WL pada GAMIT dikatakan tidak memiliki *noise* pada *pseudorange* jika resolusi ambiguitas fase WL-nya adalah melebihi 90%. Sedangkan resolusi ambiguitas fase dengan menggabungkan sinyal GPS L1 ditambahkan dengan GPS L2 (*Narrow Lane*) dikatakan tidak terdapat kesalahan ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat *apriori* atau kondisi atmosfer jika resolusi ambiguitas fase NL-nya adalah melebihi 80%. Gambar 4.4 menunjukkan nilai WL setiap DoY sepanjang waktu observasi.



Gambar 4.4 Resolusi Ambiguitas Fase Wide Lane Sepanjang Observasi

Gambar 4.4. menunjukkan bahwa nilai maksimal *Wide Lane* pada penelitian ini adalah sebesar 100% dan nilai reratanya sebesar 98.21% dan nilai minimumnya sebesar 92.90%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengolahan data GPS dalam penelitian ini masih dalam toleransi yang diberikan *software* GAMIT dan menggambarkan data GPS yang digunakan tidak memiliki *noise* pada *psudorange*.

Pada Gambar 4.5 menunjukkan nilai *Narrow Lane* setiap DoY sepanjang waktu observasi. Dapat dilihat bahwa nilai maksimal *Narrow Lane* adalah sebesar 100% dan nilai minimalnya sebesar 87.5% serta nilai reratanya adalah sebesar 94.63%. Hal ini secara umum menunjukkan bahwa pengolahan data GPS dalam penelitian ini baik.



Gambar 4.5 Resolusi Ambiguitas Fase Narrow Lane Sepanjang Observasi

4.4. Hasil GLOBK

Dalam pengolahan 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), sehingga nantinya dapat diketahui besar pergeseran titik GPS yang diamati sepanjang DoY 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.

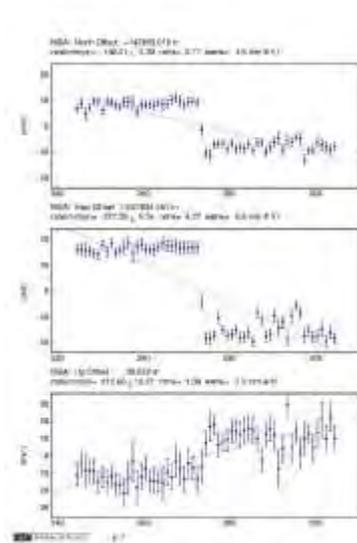
Dalam penelitian ini pembagian tiga fase tersebut didasarkan atas waktu terjadinya gempa, ketersediaannya data pengamatan GPS yang akan digunakan dan pengaruh aktifitas gempa terhadap data pengamatan GPS. Untuk pengamatan vektor pergeseran pada fase *interseismic* dimulai dari DoY ke-244 sampai ke-272.

Sedangkan fase *postseismic* dimulai dari DoY ke-274 sampai ke-304. Adapun gempa Padang tahun 2009 terjadi pada DoY ke-273

4.4.1. Time Series Seluruh Waktu

Salah satu keluaran pengolahan GLOBK adalah deret waktu seluruh data GPS yang dikombinasikan. Tujuan dari deret waktu ini adalah untuk menentukan fungsi matematika dari data yang dihasilkan *software* pengolah GPS sepanjang waktu pengamatan (DoY) dan menghapus *outlier*. Hasil *plot time series* yang ditampilkan pada gambar 4.6 adalah hasil *plot* seluruh fase gempa Padang 2009 (DoY 244-304) hasil pengolahan pada *software* GLOBK, baik fase *interseismic*, *coseismic* dan *postseismic*. Pada masing-masing stasiun terdapat tiga grafik yang menggambarkan kondisi posisi stasiun (sumbu-Y) pada tiga sumbu koordinat GPS *easting* (E), *northing* (N) dan *up* (u) dalam satuan DoY (sumbu-x).

Gambar *time series* stasiun GPS MSAI di atas memiliki nilai rms sebesar 4.6 mm, 8.6 mm dan 7.9 mm untuk masing-masing sumbu *northing*, *easting* dan *up*. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kombinasi harian MSAI di atas sudah masuk toleransi rms, yaitu 10 mm. Prinsip dasar pada *software* GLOBK ini adalah *uncertainties* dari pengamatan GPS dihasilkan dari pendekatan linier, sehingga data yang akan dihitung dengan GLOBK harus sudah terbebas dari model-model distribusi peluang khusus perubah acak kontinyu (Herring, et al., 2010). Sehingga untuk menganalisa kombinasi *time series* data GPS yang di dalamnya terdapat *coseismic*, diperlukan dua kali analisa *time series*, yakni pengamatan untuk *interseismic* sendiri dan *postseismic* sendiri.



Gambar 4.6 Deret Waktu Pengamatan PS stasiun MSAI pada DoY 244-304

Pada Gambar 4.6 diindikasikan adanya *outlier* dikarenakan data tersebut menunjukkan lebih kecil daripada residunya. Sehingga untuk mendapatkan analisa data *time series* yang bebas dari bias, data *outlier* harus dihilangkan. Untuk itu, untuk menganalisa arah dan besar vektor pergeseran stasiun GPS pada saat sebelum (*interseismic*) dan setelah (*postseismic*) gempa Padang 2009 (*coseismic*), pengolahan data pada penelitian ini akan dibagi ke dalam dua tahapan mulai dari data *time series* pada fase *interseismic* dan fase *postseismic*, penentuan besar pergeseran di sumbu *easting*, *northing* dan *up*, hingga penentuan besar dan arah vektor pergeseran stasiun GPS yang digunakan.

4.4.2. Uji Kualitas Data GPS *Interseismic* Sebelum *Removing Outlier*

Analisa kualitas data GPS dilakukan secara terpisah antara dua fase gempa aagr pemodelan dan penentuan nilai *root-mean-square* (RMS) *error* tidak terpengaruh akibat bias gempa, yakni *interseismic* dan *postseismic*. Maka untuk fase *interseismic* gempa Padang 2009, dilakukan pengamatan GPS mulai dari DoY 244-272 dan didapatkan RMS *error* dari data masing-masing stasiun GPS sebelum dihilangkan *outliernya* yang ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 RMS data GPS *Interseismic* sebelum *Removing Outlier*

Stasiun GPS	RMS Northing (\pm mm)	RMS Easting (\pm mm)	RMS Up(\pm mm)
PSKI	1.3	2.6	7.4
PPNJ	1.6	1.2	5.9
MSAI	1.3	1.2	4.5
TLLU	2.3	1.2	5.5
KTET	1.4	1.9	5.3

Kemudian dilakukan penghapusan *outlier* dengan *level of confidence* yang digunakan untuk uji statistik kualitatif terhadap data GPS ini sebesar 95% atau sebesar 2 kali RMS *error*. Tabel 4.3 menunjukkan Nilai RMS *error* setelah dilakukan penghapusan *outlier*.

Tabel 4.3 RMS Data GPS *Interseismic* Setelah *Removing Outlier*

Stasiun GPS	RMS Northing (\pm mm)	RMS Easting (\pm mm)	RMS Up(\pm mm)
PSKI	1.0	1.7	3.7
PPNJ	1.0	1.6	5.9
MSAI	1.0	1.4	4.0
TLLU	1.6	1.2	5.9
KTET	1.0	1.3	4

Melihat nilai RMS hasil *filtering*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3, maka langkah penentuan arah dan besar pergeseran

stasiun GPS di fase *interseismic* bisa dilanjutkan karena hasil RMS dibawah dari nilai 10 mm,

4.4.3. Uji Kualitas Data GPS pada Fase *Postseismic*

Untuk analisa data GPS pasca gempa, dilakukan pengamatan mulai dari DoY 274-304 kemudian didapatkan RMS *error* dari data mentah untuk masing-masing stasiun GPS sebelum dihilangkan *outlier*-nya yang dijelaskan pada tabel 4.4.

Kemudian dilakukan penghapusan *outlier* dengan *level of confidence* yang digunakan untuk uji stastistik kualitatif terhadap data GPS ini sebesar 95% atau sebesar 2 kali RMS *error*. Ditunjukkan pada tabel 4.5 nilai RMS *Error* setelah dilakukan penghapusan *outlier*.

Tabel 4.4 RMS *Error* Data GPS *Postseismic* sebelum *Removing Outlier*

Stasiun GPS	RMS Northing (±mm)	RMS Easting (±mm)	RMS Up(±mm)
PSKI	1.7	2.9	8.8
PPNJ	1.6	3.0	6.3
MSAI	1.9	1.2	4.5
TLLU	1.7	4.0	6.5
KTET	2.0	3.5	6.3

Tabel 4.5 RMS *Error* Data GPS *Postseismic* Setelah *Removing Outlier*

Stasiun GPS	RMS Northing (±mm)	RMS Easting (±mm)	RMS Up(±mm)
PSKI	2.1	2.9	6.6
PPNJ	2.2	2.6	6.7
MSAI	1.7	1.9	5.2
TLLU	2.1	2.4	4.7
KTET	3.1	2.7	3.7

Melihat nilai RMS hasil *filtering*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5, maka langkah penentuan arah dan besar pergeseran stasiun GPS di fase *postseismic* juga bisa dilanjutkan karena hasil RMS di bawah dari nilai 10 mm.

4.4.4. Analisa Nilai Pergeseran Horisontal Stasiun GPS akibat Gempa Padang 2009

Dengan melakukan pengolahan data GPS yang sudah terbebas dari *outlier*, maka dapat dilakukan penentuan besar pergeseran titik GPS di seluruh fase gempa. Penentuan besar vektor fase Gempa Padang tahun 2009 dihitung pada bidang horizontal (E dan N) maupun bidang vertikal (U).

Adapun untuk mendapatkan nilai pergeseran akibat gempa yang terjadi, dilakukan perhitungan selisih rata-rata dari data *coseismic*, yakni tujuh hari sebelum gempa dan tujuh hari sesudah gempa. Tabel 4.6 menunjukkan besar pergeseran titik GPS akibat gempa (*coseismic*). Nilai sudut A merupakan sudut yang dibentuk oleh R dan garis yang tegak lurus terhadap *trench*.

Tabel 4.6 Pergeseran Horisontal Stasiun GPS akibat Gempa Padang 2009 (*coseismic*)

Titik Pengamatan	dE (m)	dN (m)	Resultan (m)	A (Derajat)	Pergeseran Horizontal $R \cdot \cos \alpha$ (m)
PSKI	-0.00470	-0.00580	0.00746	40	-0.00571
PPNJ	-0.01124	-0.00481	0.01222	70	-0.00418
MSAI	-0.00531	-0.00708	0.00885	45	-0.00626
TLLU	-0.00317	-0.00098	0.00331	89	-0.00005
KTET	0.00101	0.00156	0.00185	20	-0.00174

Pada tabel 4.6 ditunjukkan besar nilai pergeseran bidang horizontal setiap stasiun GPS pada fase *coseismic*, dengan menggunakan rumus 2.14 dan 2.15, pada data yang sudah terbebas dari *outliers*. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.6. Pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pergeseran titik stasiun GPS sebelum terjadinya gempa. Besar nilai pergeseran horizontal tertinggi dimiliki oleh stasiun MSAI yaitu -0.00626 m. sedangkan besar

pergeseran terendah dimiliki oleh stasiun TLLU yaitu sebesar -0.00005 m.

Dapat disimpulkan bahwa nilai pergeseran akibat gempa Padang 2009 adalah untuk stasiun pengamatan PPNJ sebesar -0.00418 m, stasiun pengamatan PSKI sebesar -0.00571 m, stasiun pengamatan MSAI sebesar -0.00626 m, stasiun pengamatan TLLU sebesar -0.00005 m dan stasiun pengamatan KTET sebesar -0.00174 m.

4.4.5. Analisa Nilai Pergeseran Sumbu Vertikal Stasiun GPS Akibat Gempa Padang 2009

Sama halnya dengan analisa nilai pergeseran horizontal, untuk mendapatkan nilai pergeseran di sumbu vertikal akibat gempa yang terjadi, dilakukan perhitungan selisih rata-rata dari data *coseismic*, yakni tujuh hari sebelum gempa dan tujuh hari setelah gempa. Tabel 4.7 menunjukkan besar pergeseran vertikal titik GPS akibat gempa (*coseismic*). Sama halnya dengan analisa *coseismic* pada sumbu horizontal, bahwa TLLU adalah stasiun GPS yang mengalami dampak deformasi paling besar di sumbu vertikal berdasarkan Tabel 4.7 yakni sebesar 0.02586 meter.

Tabel 4.7 Pergeseran Vertikal Stasiun GPS Akibat Gempa Padang 2009 (*coseismic*)

Titik Pengamatan	Pergeseran Vertikal (m)
PSKI	0.00277
PPNJ	0.02083
MSAI	0.01579
TLLU	0.01904
KTET	0.01195

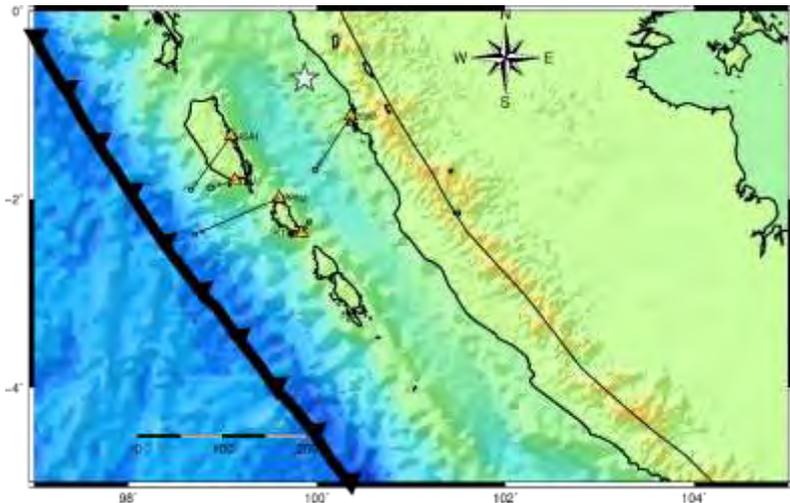
Berdasarkan Tabel 4.7 dapat disimpulkan bahwa nilai pergeseran vertikal akibat gempa Padang tahun 2009 adalah untuk stasiun pengamatan PPNJ sebesar 0.02083 m, stasiun pengamatan PSKI sebesar 0.00277 m, stasiun pengamatan MSAI sebesar 0.01579 m, stasiun pengamatan TLLU sebesar 0.01904 m dan stasiun pengamatan KTET sebesar 0.01195 m.

4.5. Hasil Pengolahan *Generic Mapping Tools* (GMT)

4.5.1. Plot Nilai Pergeseran Horizontal

Langkah berikutnya adalah mendapatkan menghitung nilai pergeseran saat *coseismic* pada setiap stasiun pengamatan GPS. Untuk memvisualisasikannya dilakukan *plotting* data nilai pergeseran horizontal stasiun GPS.

Data yang digunakan dalam penentuan nilai pergeseran horizontal pada saat terjadi gempa (*coseismic*) adalah data hasil pergeseran stasiun pengamatan GPS di sumbu *Easting* dan *Northing* pada Tabel 4.6. Gambar 4.7 merupakan hasil nilai pergeseran secara horizontal akibat gempa Padang tahun 2009 .



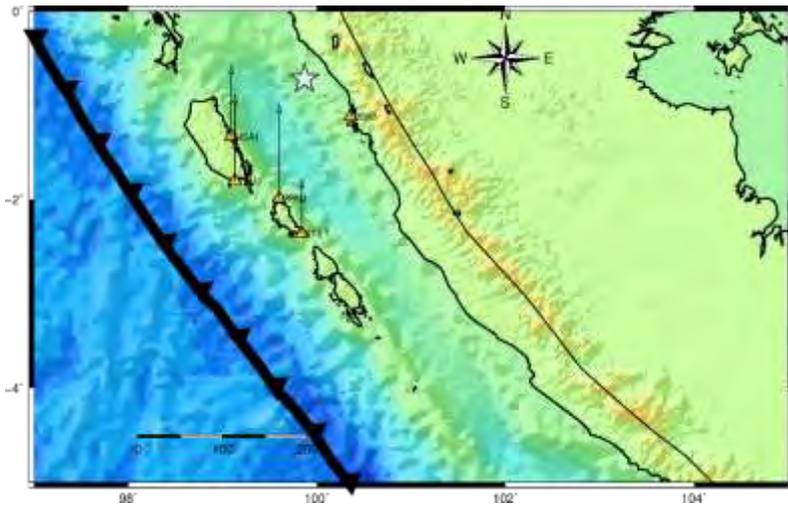
Gambar 4.7 Visualisasi Hasil Pergeseran Horizontal Akibat Gempa (Coseismic)

4.5.2. Plot Nilai Pergeseran Vertikal

Langkah berikutnya adalah mendapatkan data nilai pergeseran fase *coseismic* pada setiap stasiun pengamatan GPS. Untuk

memvisualisasikannya dilakukan *plotting* data nilai pergeseran vertikal stasiun GPS.

Data yang digunakan dalam penentuan nilai pergeseran vertikal pada saat gempa (*coseismic*) adalah data hasil pergeseran stasiun pengamatan GPS di sumbu *up* pada Tabel 4.7. Gambar 4.8 menunjukkan hasil nilai pergeseran secara vertikal akibat gempa Padang tahun 2009.



Gambar 4.8 Visualisasi Hasil Pergeseran Vertikal Akibat Gempa (Coseismic)

4.6. Hasil Pengolahan Model

4.6.1. Hasil Pergeseran Horizontal Pemodelan

Langkah selanjutnya adalah menentukan model mana yang paling *fit* untuk penggambaran Gempa Bumi Padang tahun 2009. Pengolahan model dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Parameter yang dimasukkan adalah lebar bidang gempa, *Dip*, *slip* dan kedalaman gempa yang telah dilakukan perhitungan sebelumnya.

Dengan rumus 2.16 akan didapatkan nilai pergeseran horizontal berdasarkan model dalam bentuk Tabel 4.8. parameter pada model 1 ini adalah sudut *dip* sebesar 12.726° , lebar bidang gempa sebesar 69 km, *slip* sebesar 3 m dan kedalaman sebesar 81 km.

Adapun hasil pergeseran yang dihasilkan oleh model 2 yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. Parameter model 2 yang digunakan adalah sudut *dip* sebesar 12.726° , lebar bidang gempa sebesar 69 km, *slip* sebesar 4 m dan kedalaman sebesar 81 km.

Tabel 4.8 Hasil Pergeseran Horizontal Model 1

Stasiun Pengamatan	Nilai Pergeseran Horizontal Model 1 (m)
PSKI	-0.31388
KTET	-0.32621
TLLU	-0.32467
PPNJ	-0.32305
MSAI	-0.32135

Tabel 4.9 Hasil Pergeseran Horizontal Model 2

Stasiun Pengamatan	Nilai Pergeseran Horizontal Model 2 (m)
PSKI	-0.43073
KTET	-0.44318
TLLU	-0.44184
PPNJ	-0.44034
MSAI	-0.43868

Adapun hasil pergeseran yang dihasilkan oleh model 3 yang ditunjukkan pada Tabel 4.10. Parameter model 3 yang digunakan adalah sudut *dip* sebesar 12.726° , lebar bidang gempa sebesar 69 km, *slip* sebesar 5 m dan kedalaman sebesar 81 km.

Adapun hasil pergeseran yang dihasilkan oleh model 4 yang ditunjukkan pada Tabel 4.11. Parameter model 4 yang digunakan adalah sudut *dip* sebesar 12.726° , lebar bidang gempa sebesar 69 km, *slip* sebesar 6 m dan kedalaman sebesar 81 km.

Tabel 4.10 Hasil Pergeseran Horizontal Model 3

Stasiun Pengamatan	Nilai Pergeseran Horizontal Model 3 (m)
PSKI	-0.44179
KTET	-0.46830
TLLU	-0.46445
PPNJ	-0.46068
MSAI	-0.45688

Tabel 4.11 Hasil Pergeseran Horizontal Model 4

Stasiun Pengamatan	Nilai Pergeseran Horizontal Model 4 (m)
PSKI	-0.56653
KTET	-0.59818
TLLU	-0.59373
PPNJ	-0.58925
MSAI	-0.58474

Berdasarkan pada Tabel 4.8, Tabel 4.9, Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 nilai pergeseran horizontal terbesar terjadi di stasiun pengamatan KTET sedangkan pergeseran terkecil terjadi di stasiun pengamatan PSKI.

4.6.2. Hasil Pergeseran Vertikal Pemodelan

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai pergeseran vertikal yang dihasilkan oleh model. Model dengan nilai vertikal yang paling mendekati hasil pengolahan GPS adalah model yang paling *fit*. Parameter yang dimasukkan sama dengan mencari nilai pergeseran horizontal menggunakan model yaitu, lebar bidang gempa, sudut *dip*, *slip* dan kedalaman yang telah dilakukan perhitungan sebelumnya.

Dengan rumus 2.17 akan didapatkan nilai pergeseran Vertikal berdasarkan model dalam bentuk Tabel 4.12. parameter pada model 1 ini adalah sudut *dip* sebesar 12.726° , lebar bidang gempa sebesar 69 km, *slip* sebesar 3 m dan kedalaman sebesar 81 km.

Adapun hasil pergeseran vertikal yang dihasilkan oleh model 2 pada tabel 4.13. Parameter pada model 2 adalah sudut *dip* sebesar 12.726° , lebar bidang gempa sebesar 69 km, *slip* sebesar 4 m dan kedalaman sebesar 81 km.

Adapun hasil pergeseran vertikal yang dihasilkan oleh model 3 yang ditunjukkan pada Tabel 4.14. Parameter model 3 yang digunakan adalah sudut *dip* sebesar 12.726° , lebar bidang gempa sebesar 69 km, *slip* sebesar 5 m dan kedalaman sebesar 81 km.

Tabel 4.12 Hasil Pergeseran Vertikal Model 1

Stasiun Pengamatan	Nilai Pergeseran Vertikal Model 1 (m)
PSKI	0.18497
KTET	0.20798
TLLU	0.20399
PPNJ	0.20798
MSAI	0.21613

Tabel 4.13 Hasil Pergeseran Vertikal Model 2

Stasiun Pengamatan	Nilai Pergeseran Vertikal Model 2 (m)
PSKI	0.27199
KTET	0.30457
TLLU	0.29932
PPNJ	0.30457
MSAI	0.31644

Tabel 4.14 Hasil Pergeseran Vertikal Model 3

Stasiun Pengamatan	Nilai Pergeseran Vertikal Model 3 (m)
PSKI	0.20078
KTET	0.22519
TLLU	0.22089
PPNJ	0.22519
MSAI	0.23409

Adapun hasil pergeseran vertikal yang dihasilkan oleh model 4 yang ditunjukkan pada Tabel 4.15. Parameter model 4 yang

digunakan adalah sudut *dip* sebesar 12.726° , lebar bidang gempa sebesar 69 km, *slip* sebesar 6 m dan kedalaman sebesar 81 km.

Berdasarkan pada Tabel 4.12, Tabel 4.13, Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 nilai pergeseran vertikal terbesar terjadi di stasiun pengamatan MSAI sedangkan pergeseran terkecil terjadi di stasiun pengamatan PSKI.

Tabel 4.15 Hasil Pergeseran Vertikal Model 4

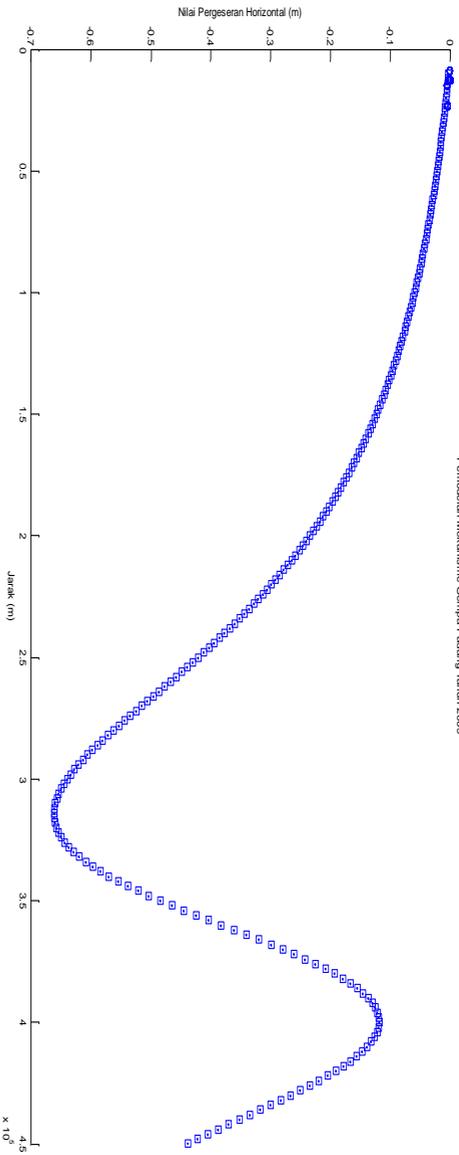
Stasiun Pengamatan	Nilai Pergeseran Vertikal Model 4 (m)
PSKI	0.28091
KTET	0.31592
TLLU	0.30977
PPNJ	0.31592
MSAI	0.32862

4.6.3. Visualisasi Nilai Pergeseran Horizontal Model

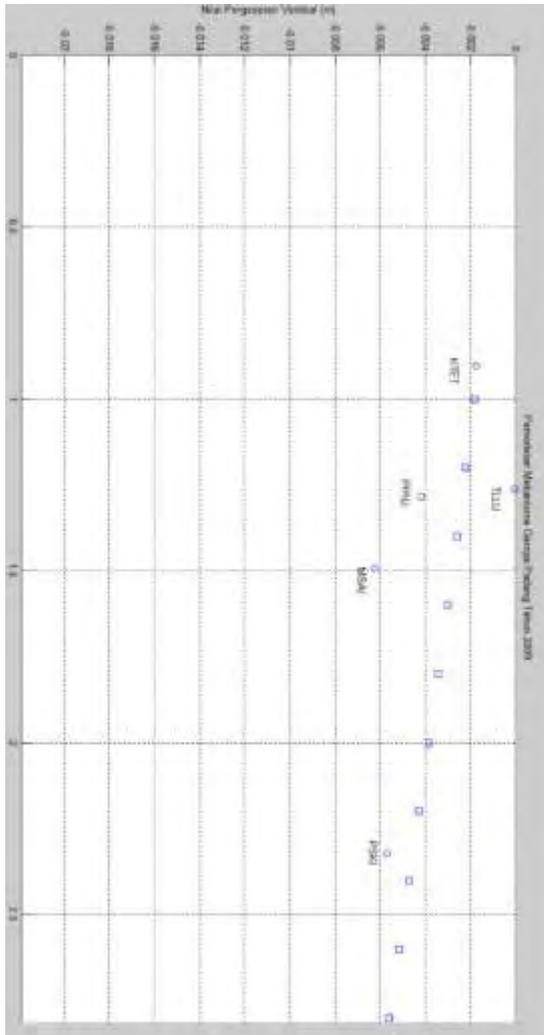
Visualisasi nilai pergeseran horizontal model ini didapatkan dari *software* pengolah model. Gambar 4.9 salah satu model yang dihasilkan.

Berdasarkan Gambar 4.9, nilai pergeseran horizontal didapatkan dengan mencari jarak terdekat antara stasiun pengamatan dengan model yang dihasilkan. Stasiun pengamatan di *plot* dengan sumbu axis adalah jarak terdekat stasiun pengamatan dengan *trench* sedangkan sumbu oordinat adalah nilai pergeseran yang telah dilakukan pengolahan sebelumnya.

Nilai yang didapatkan oleh model kemudian dikurangkan dengan nilai yang didapatkan berdasarkan hasil pengolahan GPS. Nilai residu yang dihasilkan oleh stasiun pengamatan dan model serta standar deviasi ditunjukkan pada Tabel 4.16.



Gambar 4. 9 Visualisasi Nilai Pergeseran Horizontal yang Dihasilkan Model



Gambar 4. 11 Visualisasi Pergeseran Horizontal yang diperbesar

Tabel 4.16 Nilai Residu Pergeseran Horizontal Hasil Pengolahan dengan Model

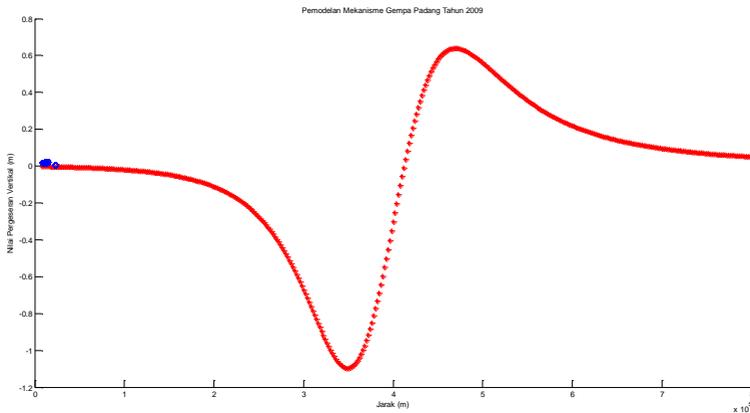
Stasiun Pengamatan	Nilai (Observasi – Model) (m)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
PSKI	0.30817	0.42502	0.43608	0.56082
KTET	0.32447	0.44144	0.46656	0.59644
TLLU	0.32462	0.44179	0.46440	0.59368
PPNJ	0.31887	0.43616	0.45650	0.59507
MSAI	0.31509	0.43242	0.45062	0.57848
Standar Deviasi	0.00691	0.00697	0.01226	0.01424

Berdasarkan Tabel 4.16 nilai residu untuk nilai pergeseran horizontal terbesar terjadi pada stasiun pengamatan KTET oleh model 4 yaitu sebesar 0.59644 m dengan standar deviasi yang dihasilkan oleh model 4 sebesar 0.01424 m. Nilai residu terkecil ditunjukkan oleh stasiun pengamatan PSKI yaitu sebesar 0.30817 m.

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai standar deviasi terkecil. Model yang memiliki nilai standar deviasi terkecil untuk pergeseran horizontal adalah model 1 yaitu sebesar 0.00691 m.

4.6.4. Visualisasi Nilai Pergeseran Vertikal Model

Visualisasi nilai pergeseran vertikal model didapatkan dengan *software* pengolah model. Gambar 4.11 merupakan salah satu model yang dihasilkan.



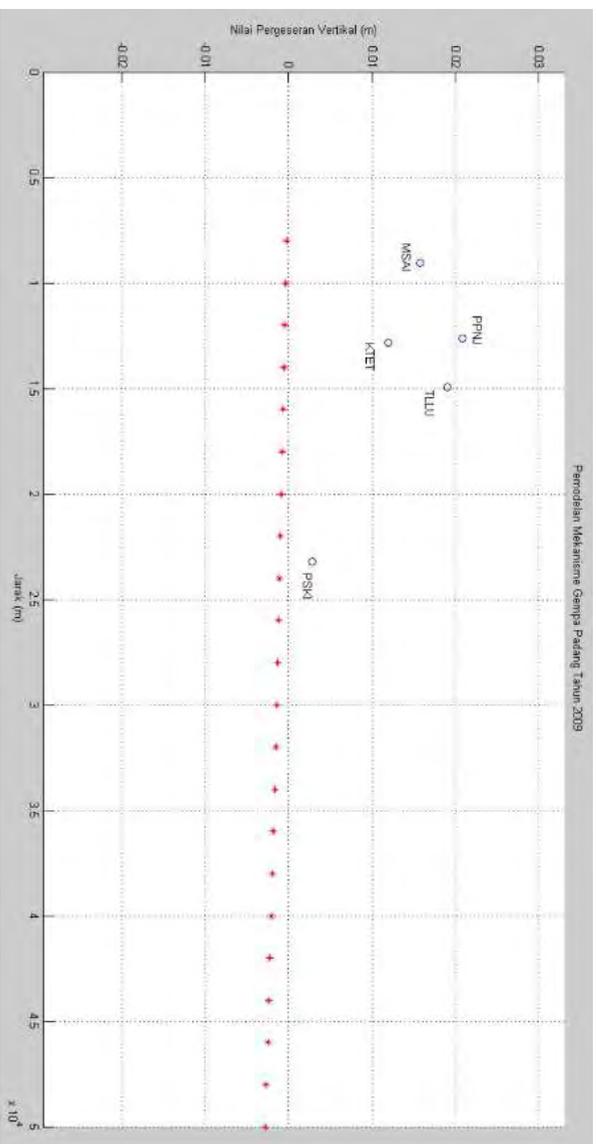
Gambar 4. 12 Visualisasi Nilai Pergeseran Vertikal Model

Berdasarkan Gambar 4.11, nilai pergeseran vertikal didapatkan dengan mencari jarak terdekat antara stasiun pengamatan dengan model yang dihasilkan. Stasiun pengamatan di *plot* dengan sumbu axis adalah jarak terdekat stasiun pengamatan dengan *trench* sedangkan sumbu ordinat adalah nilai pergeseran yang telah dilakukan pengolahan sebelumnya.

Nilai yang didapatkan oleh model kemudian dikurangkan dengan nilai yang didapatkan berdasarkan hasil pengolahan GPS. Nilai residu yang dihasilkan oleh stasiun pengamatan dan model serta standar deviasi ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Berdasarkan pada Tabel 4.17 nilai residu terbesar dimiliki oleh stasiun pengamatan MSAI oleh model 4 yaitu sebesar -0.31283 m dengan standar deviasi yang dihasilkan oleh model 4 sebesar 0.01317 m. Nilai residu terkecil ditunjukkan oleh stasiun pengamatan PSKI oleh model 1 sebesar -0.18220 m dengan standar deviasi yang dihasilkan oleh model 1 adalah sebesar 0.00770 m.

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai standar deviasi terkecil. Model yang memiliki standar deviasi terkecil untuk pergeseran vertikal adalah model 1 yaitu sebesar 0.00770 m.



Gambar 4. 13 Visualisasi Pergeseran Vertikal yang Diperbesar

Tabel 4.17 Nilai Residu Pergeseran Vertikal Hasil Pengolahan dengan Hasil Model

Stasiun Pengamatan	Nilai (Observasi – Model) (m)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
PSKI	-0.18220	-0.26922	-0.19801	-0.27814
KTET	-0.19603	-0.29262	-0.21324	-0.30397
TLLU	-0.18495	-0.28028	-0.20185	-0.29068
PPNJ	-0.18715	-0.28374	-0.20436	-0.29509
MSAI	-0.20034	-0.30065	-0.21830	-0.31283
Standar Deviasi	0.00770	0.01199	0.00837	0.01317

4.6.5. Uji Korelasi Hasil Pengamatan Terhadap Model

Tahap selanjutnya adalah mencari model yang paling *fit* dengan melihat hasil korelasi antara hasil pengamatan dengan hasil model. Uji korelasi ini digunakan untuk menentukan model yang optimal dengan ketentuan nilai R berkisar dengan rentan 0 – 1. Berdasarkan penelitian ini nilai korelasi yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 4.18 untuk korelasi model terhadap pengamatan berdasarkan nilai pergeseran horizontal dan tabel 4.19 untuk korelasi model terhadap pengamatan berdasarkan nilai pergeseran horizontal.

Tabel 4.18 Nilai Korelasi Pergeseran Horizontal Hasil Observasi Terhadap Model

	Model			
	1	2	3	4
Sxx	0.00528	0.00528	0.00528	0.00528
Syy	0.00960	0.00978	0.02044	0.02445
Sxy	$-3.559 \cdot 10^{-05}$	$-3.541 \cdot 10^{-05}$	$-7.770 \cdot 10^{-05}$	$-9.267 \cdot 10^{-05}$
Nilai Korelasi (R)	-0.70207	-0.68496	-0.71965	-0.71748

Berdasarkan Tabel 4.18 nilai korelasi yang terbesar terdapat pada model 3 yaitu sebesar -0.71965 . Model 3 merupakan model yang *fit* untuk nilai pergeseran horizontal karena nilai korelasinya besar diantara model yang lainnya.

Tabel 4.19 Nilai Korelasi Pergeseran Vertikal Hasil Observasi Terhadap Model

	Model			
	1	2	3	4
Sxx	0.01433	0.01433	0.01433	0.01433
Syy	0.02325	0.03309	0.02480	0.03553
Sxy	0.00025	0.00036	0.00027	0.00038
Nilai Korelasi (R)	0.76282	0.76433	0.75906	0.75923

Berdasarkan Tabel 4.19 nilai korelasi yang terbesar diperoleh pada model 2 yaitu sebesar 0.76433 . Model 2 merupakan model yang *fit* untuk nilai pergeseran vertikal karena nilai korelasinya besar diantara model yang lainnya.

Berdasarkan tabel 4.18 dan 4.19 model yang sangat optimal adalah model 3 karena memiliki perbedaan nilai korelasi yang besar diantara model-model lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa model 3 adalah model yang *fit* menggambarkan mekanisme Gempa Bumi Padang Tahun 2009.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Model yang paling *fit* atau optimal untuk menggambarkan mekanisme kota Padang dan sekitarnya adalah model 3 yang memiliki nilai korelasi yang besar diantara model yang lain yaitu sebesar -0.71965 untuk pergeseran horizontal dan 0.75906 untuk pergeseran vertikal. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme gempa yang dihasilkan adalah *thrust fault*.
2. Nilai pergeseran yang dihasilkan oleh stasiun pengamatan adalah sebagai berikut:
 - Stasiun Pengamatan PSKI sebesar -0.00571 m untuk pergeseran horizontal dan 0.00277 m untuk pergeseran vertikal.
 - Stasiun Pengamatan PPNJ sebesar -0.00481 m untuk pergeseran horizontal dan 0.02083 m untuk pergeseran vertikal.
 - Stasiun Pengamatan MSAI sebesar -0.00626 m untuk pergeseran horizontal dan 0.01579 m untuk pergeseran vertikal.
 - Stasiun Pengamatan TLLU sebesar -0.00005 m untuk pergeseran horizontal dan 0.01904 m untuk pergeseran vertikal.
 - Stasiun Pengamatan KTET sebesar -0.00174 m untuk pergeseran horizontal dan 0.01195 m untuk pergeseran vertikal.
3. Nilai pergeseran yang dihasilkan oleh model adalah sebagai berikut:

- Model 1 menghasilkan nilai pergeseran horizontal pada stasiun pengamatan PSKI, PPNJ, MSAI, TLLU dan KTET secara berturut-turut sebesar -0.31388 m, -0.32305 m, -0.32135 m, -0.32467 dan -0.32621 m. Nilai pergeseran vertikal stasiun pengamatan PSKI, PPNJ, MSAI, TLLU dan KTET secara berturut-turut adalah sebesar 0.18497 m, 0.20798 m, 0.21613 m, 0.20399 dan 0.20798 m
- Model 2 menghasilkan nilai pergeseran horizontal pada stasiun pengamatan PSKI, PPNJ, MSAI, TLLU dan KTET secara berturut-turut adalah sebesar -0.43073 m, -0.44034 m, -0.43863 m, -0.44184 m dan -0.44318 m. Nilai pergeseran vertikal stasiun pengamatan PSKI, PPNJ, MSAI, TLLU dan KTET secara berturut-turut adalah sebesar 0.27199 m, 0.30457 m, 0.31644 m, -0.29932 m dan 0.30457 m
- Model 3 menghasilkan nilai pergeseran horizontal pada stasiun pengamatan PSKI, PPNJ, MSAI, TLLU dan KTET secara berturut-turut adalah sebesar -0.44179 m, -0.46068 m, -0.45688 m, -0.46445 m dan -0.46830 m. Nilai pergeseran vertikal pada stasiun pengamatan PSKI, PPNJ, MSAI, TLLU dan KTET secara berturut-turut adalah sebesar 0.20078 m, 0.22519 m, 0.23409 m, 0.22089 m dan 0.22519 m.
- Model 4 menghasilkan nilai pergeseran horizontal pada stasiun pengamatan PSKI, PPNJ, MSAI, TLLU dan KTET secara berturut-turut adalah sebesar -0.56653 m, -0.58925 m, -0.58474 m, -0.59373 m dan -0.59818 m. Nilai vertikal pada stasiun pengamatan PSKI, PPNJ, MSAI, TLLU

dan KTET secara berturut—turut adalah sebesar - 0.28091 m, 0.31592 m, 0.32862 m, 0.30977 m dan 0.31592 m.

5.2. Saran

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

1. Menggunakan data GPS dengan pemantauan GPS yang tersebar dalam arti variasi jarak yang lebih banyak.
2. Perlu adanya pengamatan nilai pergeseran dengan *software* GPS yang berbeda untuk membandingkan hasil penelitian ini.
3. Mengambil data gempa dengan *aftershock* yang lebih banyak untuk mendapatkan nilai yang lebih maksimal.
4. Menghitung nilai *slip* dengan menambahkan parameter gempa lainnya. Pada penelitian nilai *slip* yang diperoleh berdasarkan data USGS, perlu dilakukan perhitungan nilai *slip* dengan metode-metode tertentu.
5. Menambahkan titik ikat IGS dan stasiun pengamatan untuk hasil yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

Andreas, H., 2007. *Karakteristik Deformasi Strain dan Stress*, Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.

Anjasmara, I. M. & Hapsari, H., 2014. *Bahan Ajar : Sistem Transformasi Koordinat*. Surabaya: Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Berger, Z., Irving, R. & Clark, J., 2008. *Exploration applications of RADARSAT imagery in the Foothills and The Western Canada Basin*, Canada: s.n.

Chrzanowski, A., Chen, Y. Q. & Secord, J. M., 1986. *Geometrical Analysis of Deformation Surveys*. Boston , Massachusetts Institute of Technology (MIT) Proceedings.

Cruciani, C., Carminati, E. & Doglioni, C., 2005. *Slab Dip vs. Lithosphere Age: No Direct Function*, Roma: Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria.

Donnelly, N., 2012. *Determining Coordinates in a Local Reference Frame from Absolute ITRF Positions: A New Zealand Case Study*. Rome, Italy, IAG/FIG Commission.

Hanif, S. L., 2012. *Analisis Data Time Series GPS Kontinu di Daerah Sumatera*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Han, S. C., 2000. *Static and Kinematic Absolute GPS Positioning and Satellite Clock Error Estimation*, Ohio: The Ohio State University.

Herring, T. A., King, R. W. & McClusky, S. C., 2010. *Introduction to GAMIT/GLOBK*, USA: Massachusetts Institute of Technology.

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J., 2006. *Understanding GPS Principles and Application*. 2nd ed. Norwood: Artech House, Inc.

Kuncoro, H., 2013. Metodologi Pengestimasi Parameter Rotasi Euler dengan Menggunakan Data Pengamatan GPS. *Indonesia Journal of Geospastial*, pp. 42-55.

Megawati, K., Pan, T. C. & Koketsu, K., 2004. Response Spectral Attenuation Relationships for Sumatran-Subduction Earthquake and the Seismic Hazard Implications to Singapore and Kuala Lumpur. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, pp. 11 - 25.

Natawidjaja, D. H. et al., 2004. *Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central sumatran micratolls, Indonesia*. s.l., J. Geophysis Resource, pp. 1 - 34.

Natawidjaja, D. H. et al., 2004. Understanding the Nature of Giant Earthquake and Tsunamis in Sumatera - Andaman to Restore and Establish Safer Cities Around the Indian Ocean. *Memorial Conference on the 2004 Giant Earthquake*, p. 1302.

Prasidya, A. S., 2014. *Pengolahan Data GNSS Secara Loose Constraint dengan Modul GAMIT*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Raju, P. N., n.d. Fundamentals of GPS. *Satellite Remote Sensing and GIS Application in Argicultural Meterology*, pp. 121-150.

Rusmen, M. R., Meilano, I. & Sarsito, D. A., 2012. Analisis Deformasi Gempa Mentawai Tahun 2010 Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinu Tahun 2010-2011. *Himpunan Ahli Geofisika Indonesia*.

Seeber, G., 2003. *Satellite Geodesy*. 2nd ed. Germany: Walter de Gruyter.

Seedat, M. et al., 2011. *Types Of GPS Technology*, s.l.: Survey and Land Information Departement.

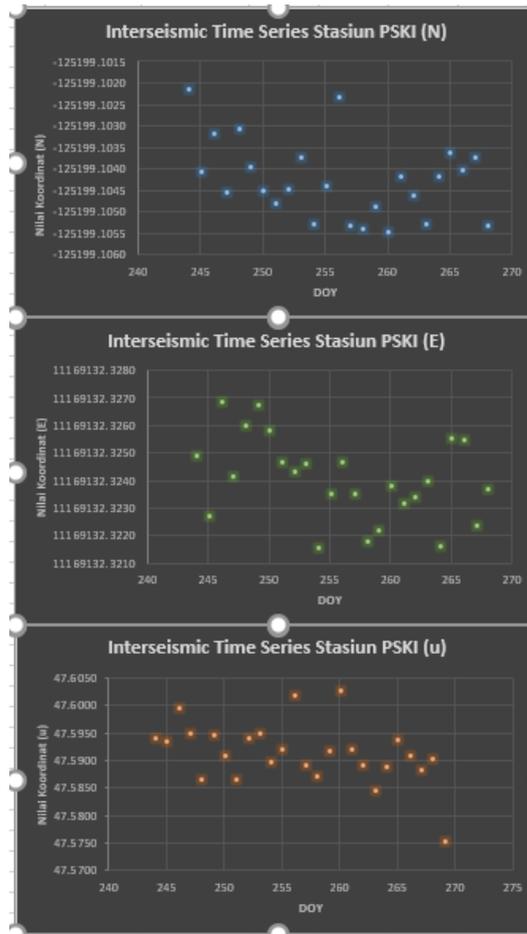
- Segall, P. & Davis, J. L., 1997. *GPS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies*. s.l., Springer, pp. 301 - 304.
- Shang-Long, K., 1991. *Optimization and Design Of Deformation Monitoring Schemes*, Canada: Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of Brunswick.
- Singh, S. J. & Mal, A. K., 1991. *Deformation of Elastic Solids*. 1st ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Stein, R. S., Barka, A. A. & Dieterich, J. H., 1997. Progressive Failure on the North Anatolian Fault since 1939 by Earthquake Stress Triggerring. *Geophysical Journal International*, pp. 594-604.
- Stein, S. & Klosko, E., 2002. *Earthquake Mechanisms and Plate Tectonics*, USA: International Handbook Of Earthquake and Engineering Seismology, Volume 81A.
- Sudjana, 2002. *Metode Statistika*. Bandung: Trasiato.
- Sule, R. et al., 2007. *The Utilization of Resistivity and GPS Methods in Landslide Monitoring: Case Study At Panawangan Area - Ciamis Indonesia*. s.l., s.n.
- Sykes, L. R., 1967. Mechanism of Earthquake and Nature of Faulting on the Mid-Oceanic Ridges. *Journal of Geophysical Research*, Volume 72, pp. 2131-2153.
- USGS, 2007. *The Dynamic Earth : The Story of Plate Tectonics*.
- Wellenhof, B. H., Lichtenegger, H. & Collins, J., 1997. *GPS Theory and Practice*. Fourth ed. New York: Springer.
- Yusfania, M., 2008. *Pemodelan Mekanisme Gempa Bengkulu M8.5 Tahun 2007 Berdasarkan Data GPS*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.

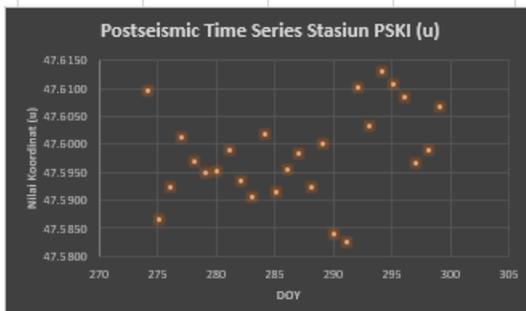
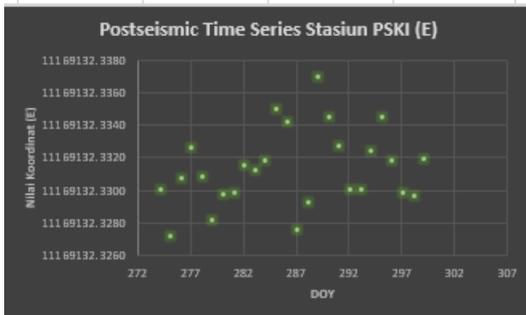
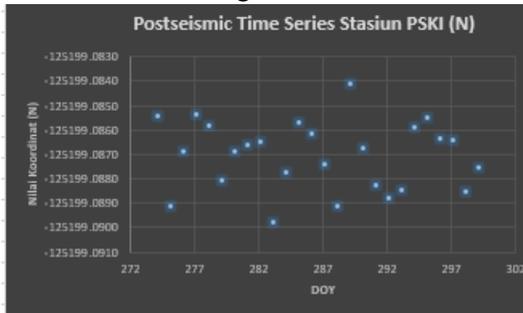
Zawawi, A., 2011. *Analisa Mekanisme Pusat Gempa Bumi di Cilacap Jawa Tengah Pada Tanggal 04 April 2011*, Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

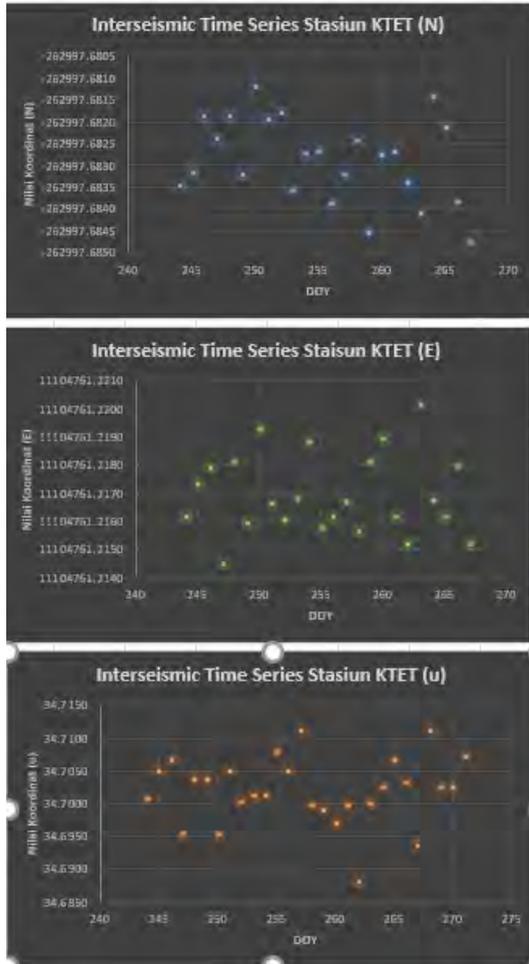
Zhang, F. P., Gendt, G. & Ge, M. R., 2007. *GPS Data Processing at GFZ for Monitoring the Vertical Motion of Global Tide Gauge Benchmarks*, German: Geo Forschungs Zentrum Postdam.

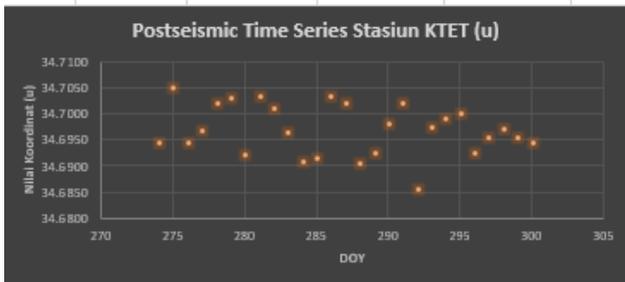
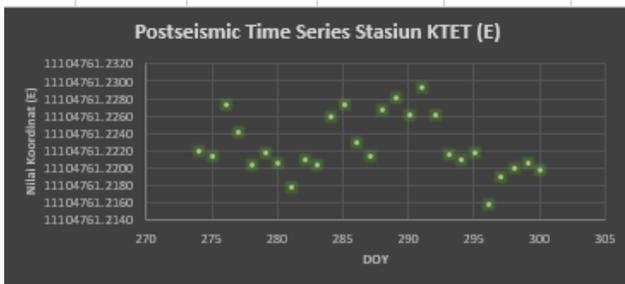
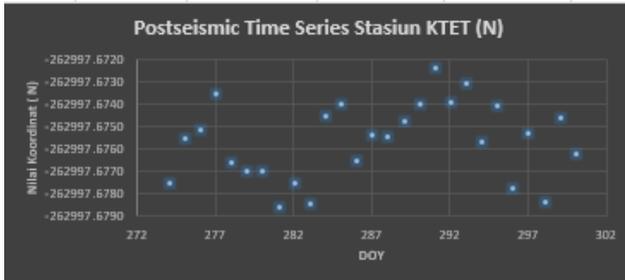
LAMPIRAN

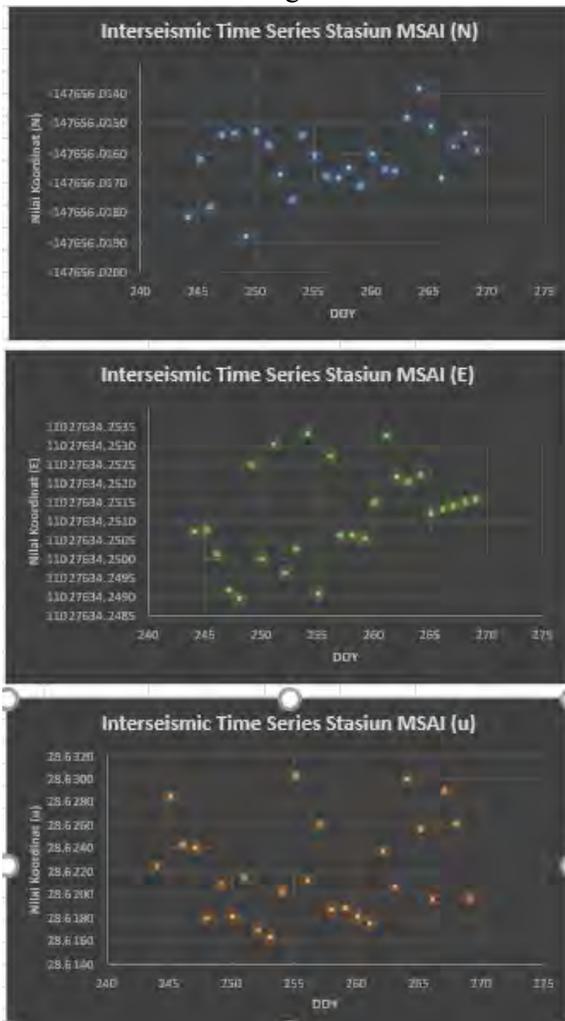
✓ *Time Series* Stasiun Pengamatan PSKI *interseismic*

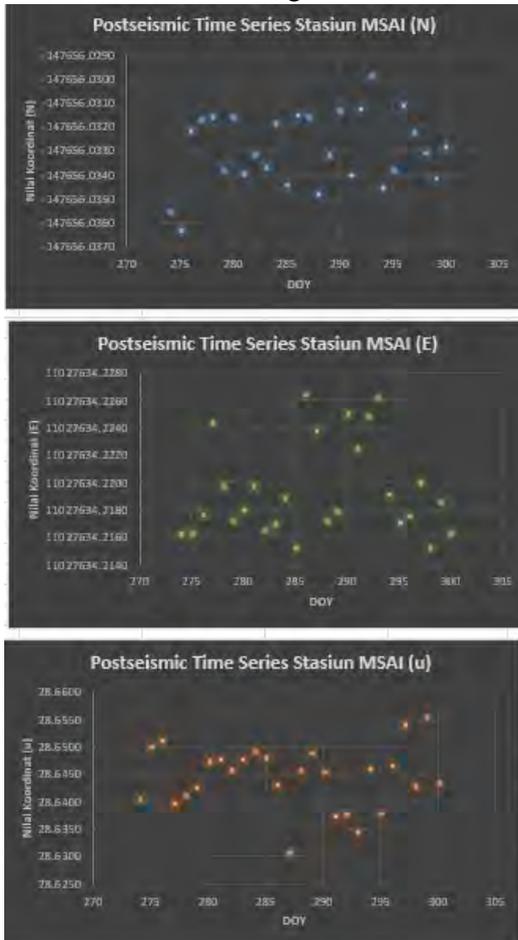


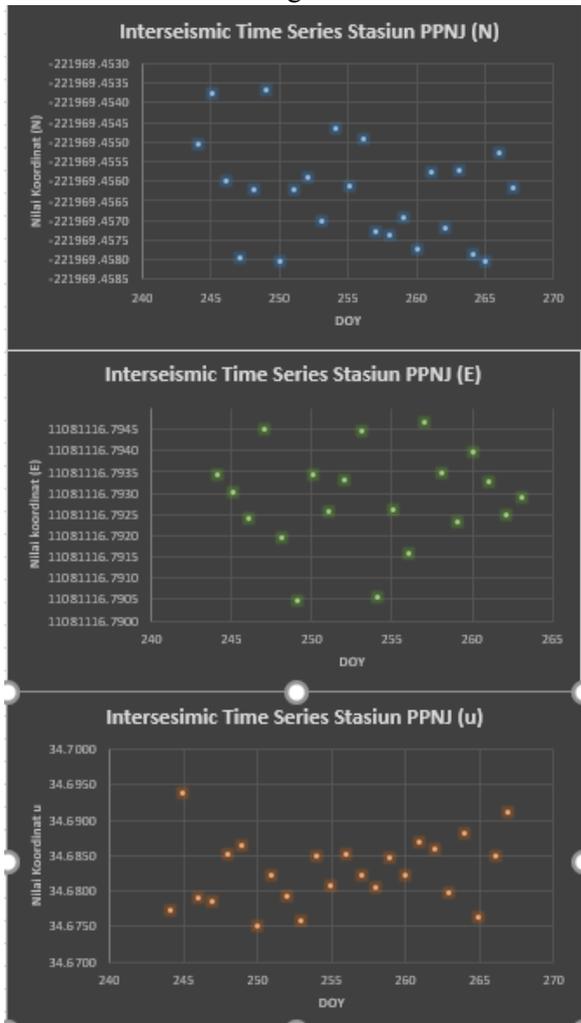
✓ *Time Series Stasiun Pengamatan PSKI Postseismic*

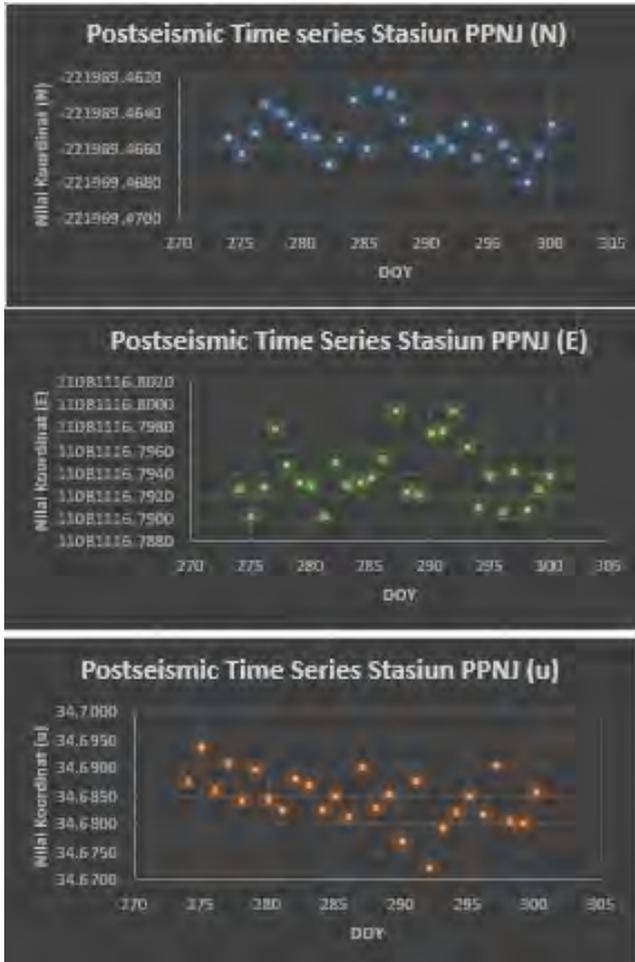
✓ *Time Series Stasiun Pengamatan KTET Interseismic*

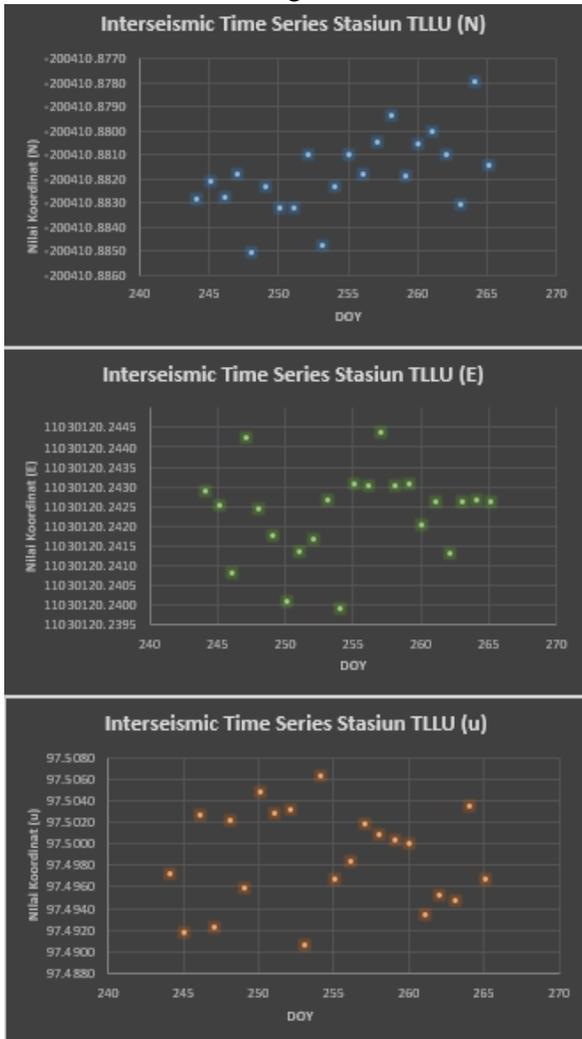
✓ *Time Series Stasiun Pengamatan KTET Postseismic*

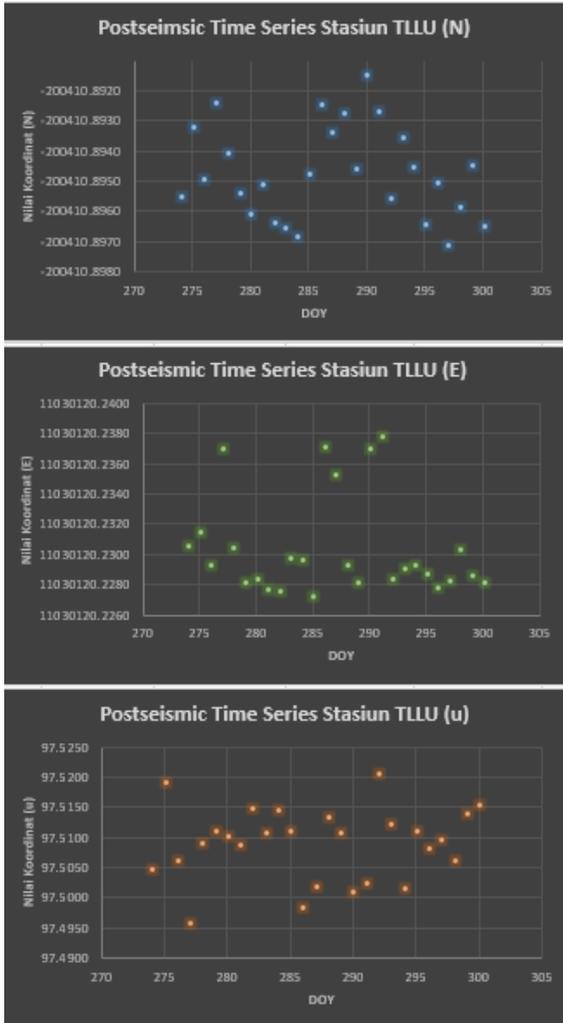
✓ *Time Series Stasiun Pengamatan MSAI Interseismic*

✓ *Time Series Stasiun Pengamatan MSAI Postseismic*

✓ *Time Series Stasiun Pengamatan PPNJ Interseismic*

✓ *Time Series Stasiun Pengamatan PPNJ Postseismic*

✓ *Time Series Stasiun Pengamatan TLLU Interseismic*

✓ *Time Series Stasiun Pengamatan TLLU Postseismic*

✓ Program MATLAB Model Dislokasi (Pak Irwan Meilano)

```

%This function is the solution of
displacement for a dip-slip with
%an infinite lenght and a finite width for
a half space
%Author: I Dewa Made Amertha Sanjiwani
%D:depth of the updip end,
%W:width of the fault,
%U1:assigned slip on the fault,
%theta:inclination angle of the fault in
degrees,
%X1,X2,X3:coordinates of the calculated
point
%where x1 is the direction parallel with
the strike of the fault (X1); x2 is the
%one normal to strike (X2); the vertical
direction (X3) is downwards is
%positive%u,v,w:displacement in X1,X2,and
X3, respectively

%vertikal
figure
for X2=6000:2000:800000;

    x=
[23215.185,12835.755,14932.727,12636.774,9
048.171];
    y=
[0.00277,0.01195,0.01904,0.02083,0.01579];
    D=81000;
    W=69000;
    U1= -6;
    theta= 12.762;
    %X2=50000;
    X3=1270;

[u,v,w]=EdgeHalfSpace(D,W,U1,theta,X2,X3)
plot(X2,w,'-.r*');
scatter(x,y);

```

```
        hold on
    end

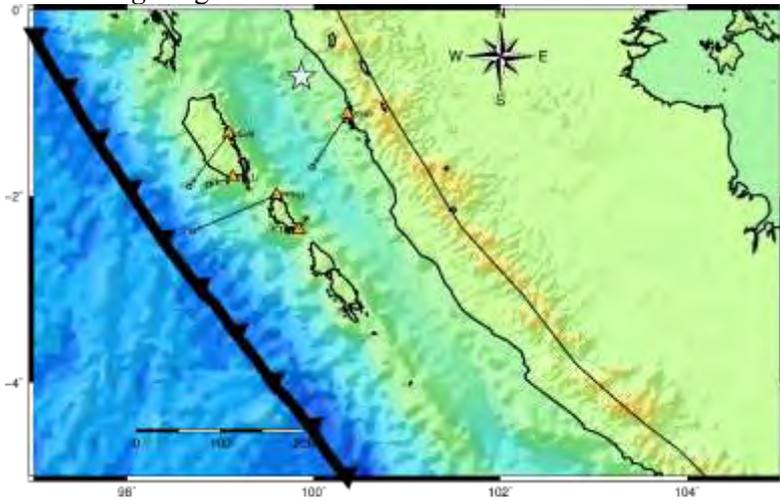
    %horizontal
    figure
    for X2=8000:2000:450000;

        x=
        [23215.185,12835.755,14932.727,12636.774,9
        048.171];
        y= [-0.00571,-0.00418,-0.00626,-
        0.00005,-0.00174];
        D=81000;
        W=69000;
        U1= -6;
        theta= 12.762;
        %X2=50000;
        X3=1270;

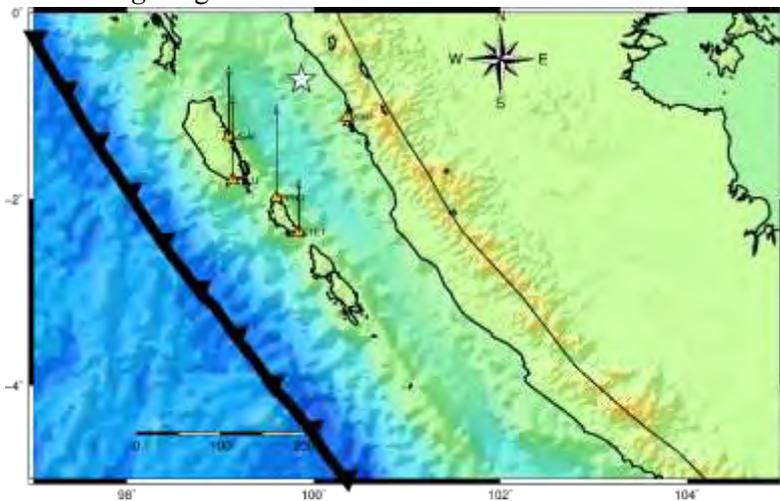
        [u,v,w]=EdgeHalfSpace(D,W,U1,theta,X2,X3)
        plot(X2,v,':bs')
        scatter(x,y);
        hold on
    end

end
```

✓ *Plotting Pergeseran Horizontal Coseismic*



✓ *Plotting Pergeseran Vertikal Coseismic*



✓ *Program Plot Nilai Pergeseran Horizontal*
 grdsample etopo2.grd -I0.5m -Gsumat.grd -R97/105/-5/0 -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 -R97/105/-5/0 -
CSUGAR.cpt -K -Y2 -X4> Co.ps
pscoast -R97/105/-5/0 -B2WSne -Lf99/-4.5/0/200 -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 co.txt -R -JM25c -O -h0 -St0.5 -G255/192/50 -W1 -K>>
Co.ps
echo co.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 co.txt -R -JM25c -O -h0 -Se250/0.009/9 -L -W1/0/0/0
>> Co.ps
ps2raster Co.ps -A -P -TG

```

✓ *Coding Plot Nilai Pergeseran Vertikal*

```

grdsample etopo2.grd -I0.5m -Gsumat.grd -R97/105/-5/0 -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 -R97/105/-5/0 -
CSUGAR.cpt -K -Y2 -X4> covertikal.ps
pscoast -R97/105/-5/0 -B2WSne -Lf99/-4.5/0/200 -JM25c -O
-W2 -K -V -Di >> covertikal.ps
psbasemap -R -JM -O -K -Tf102/-0.5/0.9i/2 --
LABEL_FONT_SIZE=14p --HEADER_FONT_SIZE=14p --
HEADER_OFFSET=0.05i>> covertikal.ps

```

```

echo 99.867 -0.72 | psxy -R -JM25c -O -h0 -Sa1.0 -
G225/250/250 -W1 -K >> covertikal.ps
psxy coverttikal.txt -R -JM25c -O -h0 -St0.5 -G255/192/50 -
W1 -K>> covertikal.ps
echo coverttikal.txt | psxy -R -JM25c -O -h0 -St0.5 -
G255/192/50 -W1 -K >> covertikal.ps
psxy -R -JM -W10.0 -Sf0.8i/0.1ilt -Dh -Gblack -O -K
trench.gmt>> covertikal.ps
psxy -R -JM -Wthicker -O -K transform.gmt -Dh >>
covertikal.ps
psvelo coverttikal.txt -R -JM25c -O -h0 -Se150/0.09/9 -L -
W1/0/0/0 >> covertikal.ps
ps2raster covertikal.ps -A -P -TG

```

✓ Data Sebaran Gempa Padang Tahun 2009

time	latitude	longitude	depth	mag
2009-09-30T10:16:09.250Z	-0.72	99.867	81	7.6
2009-09-30T10:38:51.810Z	-0.729	100.132	83.3	5.4
2009-09-30T21:26:23.880Z	-0.837	100.013	92	4.2
2009-09-30T21:28:01.500Z	-0.845	99.722	89.2	4.4
2009-10-01T14:39:09.350Z	-0.665	100.225	103.4	4.4
2009-10-02T15:08:46.080Z	-0.939	100.454	74.3	4.5
2009-10-05T12:51:03.130Z	-0.794	99.867	93.7	4.8
2009-10-07T03:19:01.720Z	-0.75	100.124	90.2	4.6
2009-10-26T23:22:20.110Z	-0.836	99.818	88.9	4.4
2009-11-09T07:44:18.290Z	-0.856	99.833	84.1	4
2009-11-10T09:47:45.740Z	-0.798	100.133	56.9	4.4
2009-11-29T02:55:21.080Z	-0.775	99.984	90.7	4.3

✓ File Station Info

```

# Station.info written by MSTINF user made      on 2016-04-11 18:56

* Refrence file : station.info

*

*

*SITE Station Name  Session Start  Session Stop  Ant Ht  HiCod  Ant N  Ant E
Receiver Type      Vers          SwVer  Receiver SN      Antenna Type  Dome
Antenna SN

COCO COCO          2009 244 0 0 0 2009 304 23 59 30 0.0040 DHARP 0.0000
0.0000 TRIMBLE NETRS5 3.84          3.84 4807K53468      AOAD/M_T
NONE 202          mstinf: coco2710.09o

DARW DARW          2009 244 0 0 0 2009 304 23 59 30 0.0025 DHARP 0.0000
0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 7.50          7.50 355803      ASH700936D_M
NONE CR13354      mstinf: darw2440.09o

KARR KARR          2009 244 0 0 0 2009 304 23 59 30 0.0020 DHARP 0.0000
0.0000 ASHTECH UZ-12  CN00          9.94 UC22003020      AOAD/M_T
AUST 320          mstinf: karr2440.09o

KTET Katiet        2009 244 0 0 0 2009 304 23 59 45 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
TRIMBLE NETRS      1.13          1.13 4642124342      TRM29659.00  NONE
4624A17045      mstinf: ktet2440.09o

MSAI Muara Saibi   2009 244 0 0 0 2009 304 23 59 45 0.0000 DHARP 0.0000
0.0000 TRIMBLE NETRS      1.13          1.13 4641123510      ASH701945B_M
UNKN CR5200404007 mstinf: msai2440.09o

PPNJ Pulau Panjang 2009 244 0 0 0 2009 304 23 58 0 0.0000 DHARP 0.0000
0.0000 ASHTECH UZ-12  CN00          9.94 UC22004040      ASH701945B_M
SCIT CR5200342025 mstinf: ppnj2440.09o

PSKI Sikuai        2009 244 0 0 0 2009 304 23 59 45 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
TRIMBLE NETRS      1.13          1.13 4636121862      ASH701945B_M  UNKN
00001801      mstinf: pski2440.09o

TLLU Taileleu      2009 244 0 0 0 2009 304 23 59 45 0.0000 DHARP 0.0000 0.0000
TRIMBLE NETRS      1.13          1.13 4641123519      TRM29659.00  NONE
4624A17021      mstinf: tllu2440.09o

XMIS XMIS          2009 244 0 0 0 2009 304 23 59 30 0.0000 DHARP 0.0000
0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 7.50          7.50 355800      ASH701945C_M
NONE CR6200503003 mstinf: xmis2710.09o

```

✓ File Sites.Defaults

```

# File to control the use of stations in the processing
#
# Format: site expt keyword1 keyword2 ....
#
# where the first token is the 4- or 8-character site name (GAMIT uses only
# 4 characters, GLOBK allows only 4 unless there are earthquakes or renames),
# the second token is the 4-character experiment name, and the remaining
# tokens, read free-format, indicate how the site is to be used in the processing.
# All sites for which there are RINEX files in the local directory will be used
# automatically and do not need to be listed.
#
# GAMIT:
# ftpnx = sites to ftp from rinex data archives.
# ftpraw = sites to ftp from raw data archives.
# localrx = sites names used to search for rinex files on your local system.
#      (required in conjunction with rxmfind path variable set in process.defaults).
# xstinfo = sites to exclude from automatic station.info updating.
# xsite = sites to exclude from processing, all days or specified days
# GLOBK:
# glrepu = sites used in the GLRED repeatability solution (default is to use all)
# glreps = sites used for reference frame definition (stabilization) in
#      GLORG for the GLRED repeatability solution (default is IGS list)
# glts = sites to plot as time series from GLRED repeatability solution (default
is all)

```

```

#
# Replace 'expt' with your experiment name and edit the
# following to list sites needed from external archive
all_sites made xstinfo
coco_gps made localrx xstinfo
karr_gps made localrx xstinfo
xmisi_gps made localrx xstinfo
darw_gps made localrx xstinfo
msai_gps made localrx xstinfo
ppnj_gps made localrx xstinfo
pski_gps made localrx xstinfo
ktet_gps made localrx xstinfo
tllu_gps made localrx xstinfo
# templates for removing sites
tth_gps      expt  xsite:1999_256-1999_278  glreps
xsite:1999_300-1999_365
thht_gps expt xsite glreps

```

✓ File Process.Defaults

```

# process.defaults
#
# Do not remove any of these entries. To by-pass a
# function, set the value to null: ""

## LOCAL DIRECTORIES
# Directory for translation of raw data
set rawpth = "$procdir/raw"
# Directory path for raw archives (search all levels); e.g.
# /data18/simon
set rawfnd = ""

```

```

# Input files for RINEX translators
set mph = "$procdir/mkrinex"
# RINEX files directory
set rpth = "$procdir/rinex"
# Directory path for RINEX archives (search all levels); e.g.
/data18/simon
set rxfnd = ""
# Broadcast orbit directory
set bpth = "$procdir/brdc"
# IGS files directory
set ipth = "$procdir/igs"
# G-files directory
set gpth = "$procdir/gfiles"
# GAMIT and GLOBK tables directory
set tpth = "$procdir/tables"
# Output gifs directory
set gifpth = "$procdir/gifs"
# Globk solution directory
set glbpth = "$procdir/gsoln"
# Globk binary h-file directory
set glfpth = "$procdir/glbf"
# Directory path for other h-files (search all levels); e.g.
/raid1/tah/SIO_GLL
set hfnd = ""
# Template files
set templatepth = "$procdir/templates"
# Place to store temporary control files
set cpth = "$procdir/control"
# Archive root directory (cannot be null)
set archivepth = "$procdir/archive"
### FTP INFO FOR REMOTE FILES
# Raw data archive
# set rawarchive = 'chandler.mit.edu'
# set rawdir = 'pub/continuous/mitnet'
# set rawlogin = "anonymous simon@chandler.mit.edu"
# Addresses for CDDSI, SOPAC, IGSCB, UNAVCO, BKG,
IGN, USNO are given in template/ftp_info
##GAMIT
# Set sampling interval, number of epochs, and start time for
processing
set sint = '30'
set neps = '2880'
set stime = '0 0'
# Variables for updating tables
set stinf_unique = "-u"
set stinf_nosort = "-nosort"

```

```

set stinf_slthgt = "2.00"
# Set "Y" to use RINEX header coordinates not in lfile or apr file
set use_rxc = "N"
# Broadcast orbits
set brdc = 'brdc'
# Minimum x-file size to be processed (Def. 300 blocks; most OS use 1 Kb
blocks)
set minxf = '300'
# Set search window for RINEX files which might contain data for day -
default check the previous day
set rx_doy_plus = 0
set rx_doy_minus = 1
# Default globk .apr file
set aprf = itr08.apr
# Set compress (copts), delete (dopts) and archive (aopts) options. (Don't
forget to set the archivepth.)
# Possible d-, c-, and a- opts: D, H, ao, ac, as, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, o, p,
q, t, x, ps, all"
set dopts = ( c )
set copts = ( x k ao )
set aopts = "
# Set the rinex ftp archives (defined in ftp_info) you would like to look for
data in.
# (Default archives searched are: sopac, cddis and unavco).
set rinex_ftpsites = (sopac cddis unavco)

## RESOURCES
# Minimum raw disk space in Mbytes
set minraw = '100'
# Minimum rinex disk space in Mbytes
set minrinex = '100'
# Minimum archive disk space in Mbytes
set minarchive = '100'
# Minimum working disk space in Mbytes
set minwork = '500'

## SYSTEM-DEPENDENT SETTINGS
# UNIX df command must be set to return the correct form
# Most machines (
set udf = 'df -mk'
# but note that if you have free > 1 Tb, you will need to change this to Mb
# set udf = 'df -m'
# HP
# set udf = 'bdf'

```


✓ File GLORG_comb.cmd

```
* Standard glorg coordinate solution processing
```

```
pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot scale
```

```
cnd_hgt 10 10
```

```
stab_it 4
```

```
stab_site clear
```

```
stab_site ktet msai ppnj tllu pski darw karr coco  
xmis
```

BIODATA PENULIS



I Dewa Made Amertha Sanjiwani lahir di Jakarta pada tanggal 26 Mei 1994. Anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan I Dewa Nyoman Nurjaya dan Ni Desak Ketut Alit Dahlia. Pendidikan formal yang ditempuhnya antara lain SDN Pesanggerahan 03 Pagi, SMP N 177 Jakarta dan SMA N 90 Jakarta. Tahun 2012, penulis yang akrab dipanggil Made resmi menjadi mahasiswa pada Program Studi Teknik

Geomatika FTSP-ITS. Riwayat organisasi penulis adalah sebagai *Head of Media and Publication Society Petroleum Engineers Student Chapter (SPE SC ITS)* tahun 2013. Pada tahun 2014 penulis menjadi *staff* Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas (BEM-FTSP) bagian divisi Hubungan Luar (HUBLU). Di tahun keempat perkuliahan, penulis menjadi salah satu peserta Model United Nation (MUN) ITS dengan tema *Sustainable Energy*. Adapun riwayat karya tulis penulis adalah mendapatkan bantuan dana program penelitian ilmiah dengan judul “*Analisa Kebakaran Hutan Berdasarkan Water Vapor Content Menggunakan Citra MODIS*”. Kemudian penulis mendapatkan bantuan dana terkait Pekan Kreatifitas Mahasiswa Gagasan Tertulis dengan Judul “*Indonesia Emergency 911: Tectonic Earthquake Assesment For Natural Hazard Using SuGAR Data and INACORS with TEC (Total Electron Content) Modelling Analyze for Fast Response Indonesia*”. Penulis mendapatkan bantuan dana terkait penelitian ilmiah bersama rekan penulis dengan judul “*Oil Basin Classification dengan metode ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) dengan menggunakan Data Satelit GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) untuk Menunjang Perencanaan Explorasi minyak (case Study : Bojonegoro, Jawa Timur)*”.