



**ESTIMASI LAJU GESER DAN PEMBUATAN MODEL DEFORMASI
DI SELAT SUNDA DENGAN MENGGUNAKAN GPS KONTINYU**

Fajriyanto¹, Suyadi², Citra Dewi³, dan Irwan Meilano⁴

¹ Jurusan Teknik Sipil, FT-Universitas Lampung,

² Jurusan Teknik Sipil, FT-Universitas Lampung,

³ Jurusan Teknik Sipil, FT-Universitas Lampung,

⁴ Jurusan Geodesi dan Geomatika, FITB-ITB, Bandung,

Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, Lampung
Surel:fajri_yanto@yahoo.com

ABSTRACT

One of straits in Indonesia that have activity active tectonic is Sunda Strait. This Strait it is at meeting two tectonic plates, that is Eurasia and Indo-Australia. Meeting both plate of zone form subduction that have direction and type slab that not uniform and different each other in Sunda Strait region. Interaction from meeting both plate referred, alongside Sumatera island generates fault that recognized with Patahan Sumatera. Characteristic of earthquake source zone that existed in Sunda Strait is earthquake source subduction that associated become some active faults.

One of methods that applied to see deformation was using GPS either through episodic or continuous that have high precission till some millimeters (mm). By determining slip rate estimation and making of deformation model then could be determined activity that happened in Sunda Strait. Modelling were referred to see residue between vector of GPS and model vector.

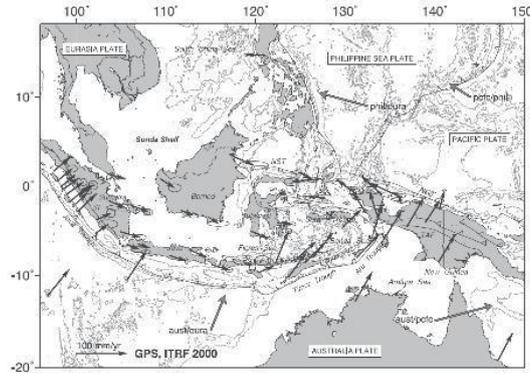
Slip rate in Sunda Strait that has been associated in segment of Semangko Fault (SF) was 2.5 cm/year, with depth 8 km and mechanisms dextral, that gave result GPS continuous data were not far significant with some former research that is 1.8 – 2.1 cm/year. Subduction model by using dislocation formula Okada and giving coupling rate equal to 25% and post seismic as 6 cm/year, gave result that deformation model that produced near with GPS continuous data.

Keywords : coupling rate, gps continuous, post seismic, slip rate, subduction.

PENDAHULUAN

Salah satu selat di Indonesia yang memiliki aktivitas tektonik yang aktif yaitu Selat Sunda. Selat ini berada pada pertemuan dua lempeng tektonik, yaitu Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudera Indo-Australia. Pertemuan kedua lempeng membentuk zona subduksi yang memiliki arah dan jenis penunjaman (*slab*) yang tidak seragam dan berbeda-beda di wilayah Selat Sunda (Prawirodirdjo dalam Krisnanto 2004).

Interaksi dari pertemuan kedua lempeng tersebut, di sepanjang Pulau Sumatera terjadi patahan yang dikenal dengan Patahan Sumatera. Seperti diilustrasikan Gambar 1 dan dapat dilihat bahwa arah penunjaman pada Pulau Sumatera membentuk sudut agak menyerong, sedangkan yang terjadi di Pulau Jawa relatif tegak lurus terhadap zona subduksi (Pramumijoyo, 1991).



Gambar 1. Zona subduksi lempeng Eurasia dengan lempeng Indo Australia (Bock, et al, 2003)

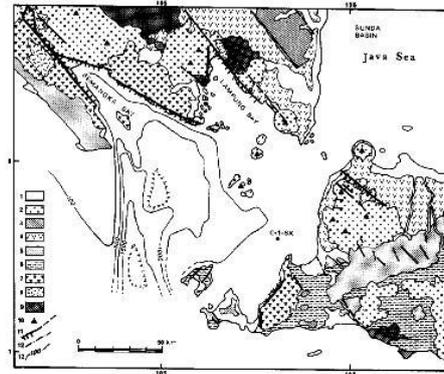
Seismotektonik Selat Sunda

Selat Sunda terletak pada wilayah transisi dari segmen zona penunjaman normal di Pulau Jawa ke zona benturan miring di Pulau Sumatera, dengan kedalaman gempa tektonik sampai dengan 250 km dan kecepatan 7.7 cm/tahun. Daerah ini sangat terbebani oleh perubahan pola sesar mendatar yang lebih cepat ke arah Andaman, ke gerak normal di Jawa (Krisnanto, 2004). Oleh karena itu daerah ini berkecenderungan bentangan dan perluasan Selat Sunda, lebih didominasi oleh suatu deformasi lokal seperti diantaranya gerak graben dan sejumlah patahan normal. Lajur kemiringan gempa mencapai 350 km dan kesenjangan terjadi pada kedalaman 200 km (Kertapati, 1997). Maksimum magnitudo gempa dari aktivitas penunjaman di Selat Sunda mencapai 7.9 Mw pada kedalaman 80 km (Vera Schlindwein dalam Pramumijoyo, 1991). Pada zona subduksi ini, pada tanggal 24 November 1833 berdasarkan catatan sejarah pernah terjadi gempa bumi sebesar 8.8 M yang bersifat destruktif sehingga menimbulkan tsunami.

Selain zona subduksi, deformasi di Selat Sunda juga ditimbulkan oleh sumber gempa lain yaitu zona Patahan Sumatera yang masuk kedalam segmen Selat Sunda, dimana patahan ini bergerak ke arah kanan (*dextral*) dengan panjang kira-kira 1900 km. Interaksi dari zona subduksi ini menimbulkan beberapa Gunung Api aktif dari Banda Aceh diujung Barat Laut sampai dengan Kota Agung diujung Tenggara, representasi

dari aktivitas tektonik ini adalah terbentuknya pegunungan Bukit Barisan yang merupakan perwujudan dari Patahan Sumatera. Berdasarkan kenampakan morfologinya Patahan Sumatera terbagi dalam tiga segmen yaitu : segmen Utara, Tengah dan Selatan. Selat Sunda termasuk dalam segmen selatan (*southern domain*) (Natawidjaja, 2007).

Zona deformasi yang terdapat dalam Selat Sunda dibatasi (lihat Gambar 2) di bagian Barat Daya Jawa Barat oleh batuan vulkanik andesit pada masa Miosen sampai ke Barat bukit-bukit yang dibatasi oleh garis pantai, di sebelah Timur bukit-bukit berada dalam sedimen Pliosen Neritik, Di sebelah Utara, sedimen Pliosen secara ekstensif tercakup pada masa Kuartar (0.02 Ma). Di ujung Selatan Sumatera terdapat pantai curam di sekitar Teluk Semangko dan Lampung adalah dikendalikan oleh Patahan Sumatera (Bemmelen, dalam Pramumijoyo 1991).



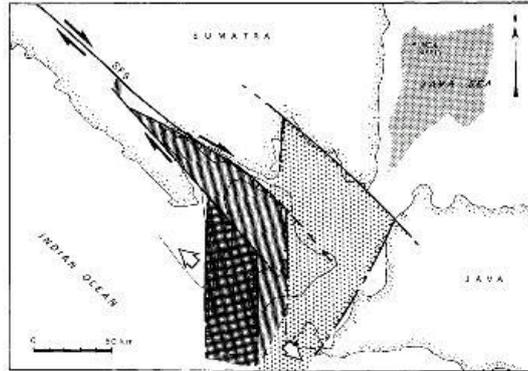
Gambar 2. Kondisi geologi zona deformasi Selat Sunda (Pramumijoyo, 1991)

Geometri Regangan Selat Sunda

Terdapat dua *fault* yang berada di daerah sekitar Selat Sunda, yaitu : *dextral strike-slip* dan *dip slip* yang masing-masing terjadi pada periode tektonik yang berbeda. Deformasi *strike-slip* di Selat Sunda sesuai dengan ekstensi selatan dari gerakan *slip dextral* dari *Sumateran Fault System (SF)*. Gerakan ini diartikan sebagai akomodasi dari konvergensi miring antara India plate dan Sumatera. Timbulnya gerakan *dextral* tentang sistem Sesar Sumatera, dan akibatnya di Selat Sunda, terjadi antara 10 dan 17 Ma yang lalu. Sejak 5 Ma lalu, *strike-slip* di Selat Sunda berubah menjadi patahan normal (Pramumijoyo, 1991)

Fault Semangka ke selatan yang merupakan seismik aktif, batas bagian utara Sunda Selat dengan barat graben. Gerakan barat laut masa kini, dari blok Sumatera barat sepanjang *Sumateran Fault System* menghasilkan pembukaan Selat Sunda

sepanjang Utara-Selatan (N-S) dan Timur Laut-Barat Daya (NE-SW) yang sudah ada sejak sebelum terbentuknya graben. Pada akhirnya terdapat dua sistem tektonik ekstensional yaitu banyaknya fault dan normal slip (selama masa Pliocene).



Gambar 3. Ekstensi Selat Sunda berdasarkan zona sesar (Pramumijoyo, 1991)

Riwayat kegempaan Selat Sunda

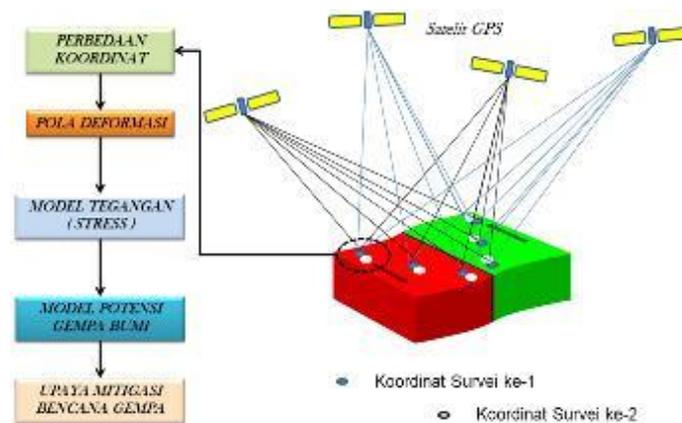
Gempa di Selat Sunda yang terjadi pada tanggal 19 Juli 2006, tercatat memiliki kekuatan magnitude 6.0 Mw dengan kedalaman 44.2 km dan kekuatan gempa ini dapat dirasakan di wilayah sekitar Teluk Betung (Lampung) dan Sukabumi (Jawa Barat) bahkan sebagian kecil Jakarta. Selain itu catatan kejadian gempa juga terekam pada tanggal 16 Oktober 2009, dengan kekuatan 6.1 Mw dan kedalaman 38 km, menjelaskan bahwa gempa ini memiliki kemungkinan periode ulang terjadi lagi sekitar 50 tahun. Kejadian gempa yang terbaru terjadi pada tanggal 30 Desember 2011 dengan kekuatan magnitudo 5.4 Mw dan kedalaman 18 km, lokasi 99 km tenggara Krui (Lampung). Gempa ini juga dapat dirasakan dikota-kota Bandar Lampung, Liwa, Kota Agung dan Pringsewu (USGS, 2012).

GPS Kontinyu dan Studi Deformasi

Pergerakan bumi yang dinamis menghasilkan deformasi yang terjadi pada lempeng. Pergerakan yang terjadi pada distribusi titik pengamatan diatas permukaan bumi dalam rentang waktu tertentu sehingga menghasilkan nilai tertentu. Analisis deformasi digunakan untuk menentukan kuantitas pergeseran dan parameternya yang mempunyai ciri khas dan karakteristik dalam ruang dan waktu dan dimanifestasikan

dengan pergeseran koordinat suatu titik pengamatan yang dilakukan secara episodik dan kontinyu.

Dalam studi deformasi akibat pergerakan kerak bumi, perubahan posisi titik pengamatan adalah perubahan atau pergerakan titik-titik pengamatan yang diletakkan di sekitar daerah-daerah patahan aktif yang diperkirakan berpotensi terjadi gempa bumi. Penggunaan dua receiver GPS atau lebih secara statik (*static differential*) akan memberikan hasil kualitas ketelitian yang tinggi. Salah satu metode yang diterapkan guna melihat deformasi adalah menggunakan pengamatan GPS baik secara episodik maupun kontinyu yang memiliki ketelitian dan presisi yang tinggi hingga beberapa milimeter.



Gambar 4. Prinsip deformasi menggunakan GPS (modifikasi dari Abidin, 2006)

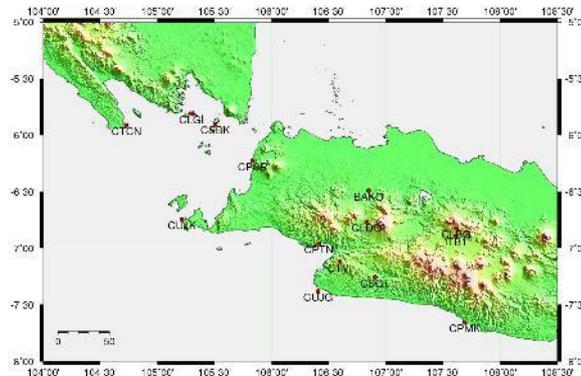
Berdasarkan latar belakang yang telah uraikan di atas, maka tujuan penelitian adalah menentukan besarnya laju geser dan membuat model sumber gempa dengan model subduksi dan sesar di lokasi penelitian.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mencakup wilayah Propinsi Lampung (Pulau Sumatera Bagian Selatan), Selat Sunda dan Propinsi Banten serta Propinsi Jawa Barat (Pulau Jawa Bagian Barat sampai dengan Bagian Selatan) dengan batas geografis 104° – 108° 30' BT dan 5° – 8° LS. Distribusi titik pengamatan GPS secara kontinyu yang termasuk dalam penelitian ini adalah titik-titik yang telah dipasang dan dikelola oleh BIG (Bakosurtanal) sejumlah 12 titik, yaitu : CPMK, CLBG, CSGT, CUJG, CTVI, CLDO,

CPTN, CPSR, CUJK, CSBK, CLGI dan CTCN serta dilakukan dalam kurun waktu tahun 2009 sampai dengan tahun 2011.

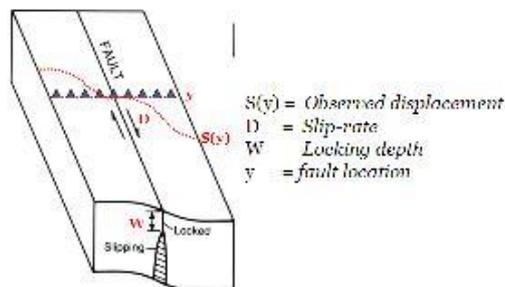


Gambar 5. Distribusi titik pengamatan GPS kontinyu di lokasi penelitian

Estimasi Laju Geser

Untuk melihat tingkat aktivitas pada sesar dapat diketahui dengan menggunakan model dislokasi elastis dimana diasumsikan bahwa kerak bumi bersifat homogen dengan Metode *half-space solution* (Segall, 2010). Metode *half-space solution* dengan mengasumsikan patahan sebagai bidang elastik, maka dimungkinkan untuk menghitung pergeseran dipermukaan, sebagai akibat pergeseran patahan aktif pada kedalaman tertentu dan besar pergeseran pada sisi yang satu akan sama dengan sisi yang disebelahnya. Ilustrasi model laju geser dislokasi elastik dapat dilihat pada Gambar 6.

Estimasi laju geser (*slip rate*) dan kedalaman sumber sesar yang terkunci (*locking depth*) dapat dihitung dengan adanya pemodelan tingkat aktivitas sesar.



Gambar 6. Model laju geser (Meilano. I, 2010)

Pemodelan tingkat aktivitas sesar secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S(y) = D/\pi \operatorname{atan}^2 (y/W) \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

$S(y)$ = Pergeseran dari permukaan sebagai fungsi dari jarak

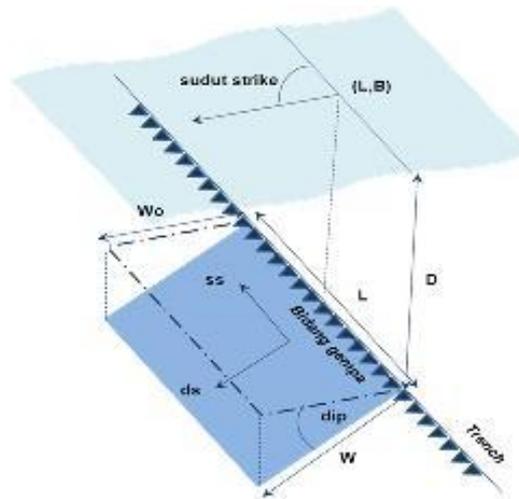
D = Laju geser (*slip rate*)

W = Kedalaman sumber gempa (*locking depth*)

y = jarak yang tegak lurus terhadap garis patahan

Geometri Bidang Gempa dan Survey Geodetik

Geometri bidang gempa dapat dideskripsikan dalam orientasi bidang gempa dan arah slip sepanjang bidang tersebut. Bidang sesar dikarakterisasi oleh vektor normal \hat{n} dan vektor *slip* \hat{d} . Vektor *slip* selalu terletak pada bidang gempa dan tegak lurus terhadap vektor normal. Sudut kemiringan bidang gempa (*dip*) δ adalah sudut antara permukaan atau bidang horizontal dan bidang gempa. Garis *strike* didefinisikan sebagai garis perpotongan antara bidang horizontal dengan bidang gempa. Arah *strike* mengikuti kaidah tangan kiri, dengan jari telunjuk ke arah *strike* dan jari empu ke arah *dip*. Sudut *strike* (ϕ_f) adalah sudut yang dihitung searah jarum jam dari arah utara geografis ke arah *strike*. Arah gerak *hanging wall* dinyatakan oleh sudut slip (λ) yang diukur berlawanan arah jarum jam dari suatu garis pada bidang gempa yang sejajar dengan arah *strike* (Stein dan Wysession, dalam Awaluddin, 2010).



Gambar 7. Geometri bidang gempa

Deformasi kerak bumi yang beriringan mekanismenya dengan gempa bumi dapat diamati salah satunya dengan survey geodetik (GPS, InSAR, dan lain-lain). Selanjutnya deformasi secara lebih detail dan luas lagi dapat dimodelkan dengan

bantuan data hasil survey lapangan dan formulasi matematis seperti *elastic half space model* yang dibuat oleh Okada (1985).

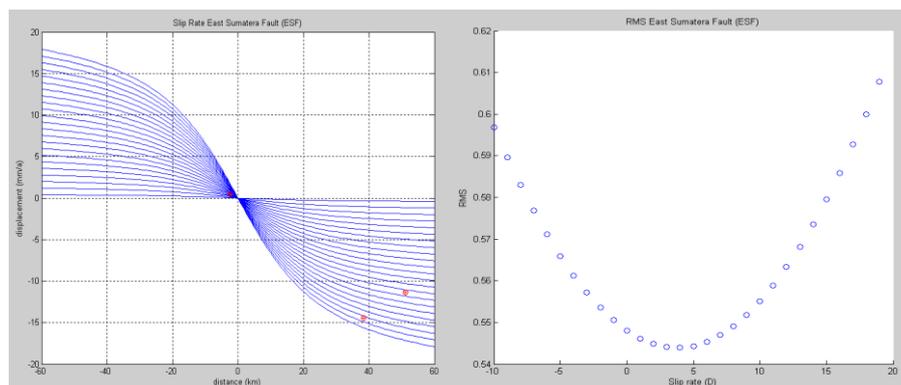
Model yang dibuat Okada menerangkan hubungan antara pergeseran pada bidang sistem *fault* dengan pergeseran yang terjadi di permukaan bumi, dengan mengasumsikan kerak bumi sebagai medium homogen dan isotropik. Mekanisme gempa dengan pergeseran bidang gempa yang mengakibatkan perpindahan/pergeseran titik di permukaan (titik pengamatan GPS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Estimasi Laju Geser

Karakteristik dan aktivitas sesar dapat diketahui dengan menggunakan teori dislokasi elastis dengan asumsi bahwa kerak bumi adalah bersifat homogen, isotropis, linier dan elastis dengan metode *half-space solution* (Segall, 2010). Sesar aktif yang akan dilakukan estimasinya adalah *East Sumatra Fault* (ESF) yang merupakan segmen bagian selatan dari Patahan Sumatera.

Berdasarkan data Tim Revisi Peta Gempa Tahun 2010, diketahui bahwa kedalaman *locking* adalah 20 km, dengan asumsi nilai D adalah 18 mm/tahun. Untuk selanjutnya dihitung selisih antara pengamatan deformasi dengan model, seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



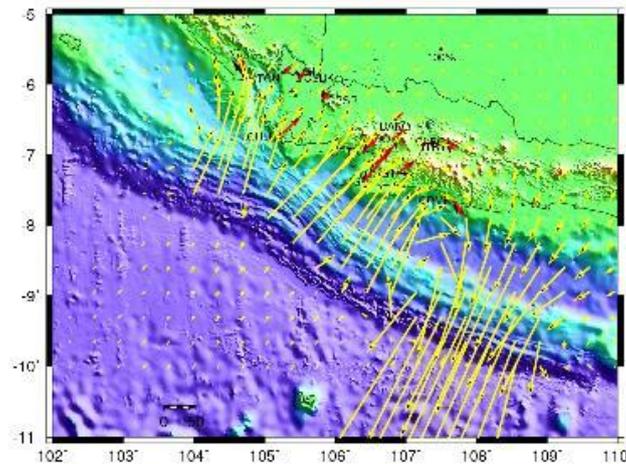
Gambar 8. Laju geser Sesar East Sumatra Fault (ESF)

Dari grafik RMS dapat dilihat bahwa nilai minimum menunjukkan laju geser yang optimum, yaitu $RMS=0.5439$, sehingga nilai laju geser ESF adalah 4.5 mm/tahun.

Analisis Model Sumber Gempa

Proses berikutnya adalah memodelkan zona subduksi di sepanjang titik pengamatan. Pemodelan ini dengan mengidentifikasi *coupling rate*. Pemodelan tersebut bertujuan untuk melihat residu antara vektor pengamatan GPS kontinyu dengan vektor model yang dibuat.

Pembagian bidang menjadi 4 segmen, yaitu bidang A dan B mewakili titik pengamatan di Selat Sunda, bidang C mewakili titik yang dekat dengan sesar Cimandiri, dan bidang D mewakili post seismik di dekat Pangandaran. Pemberian *coupling rate* yang berbeda-beda 100%, 50% dan 25% bertujuan untuk mengetahui model yang paling dapat mewakili data pengamatan, dan memberikan jawaban yang cukup masuk akal dengan sejarah kegempaan dari pola batimetri dan morfologinya. Selain itu juga dicoba untuk melibatkan sesar aktif Semangko, guna melihat pola vektor yang terdistribusi akibat adanya pemilihan bidang gempa tersebut

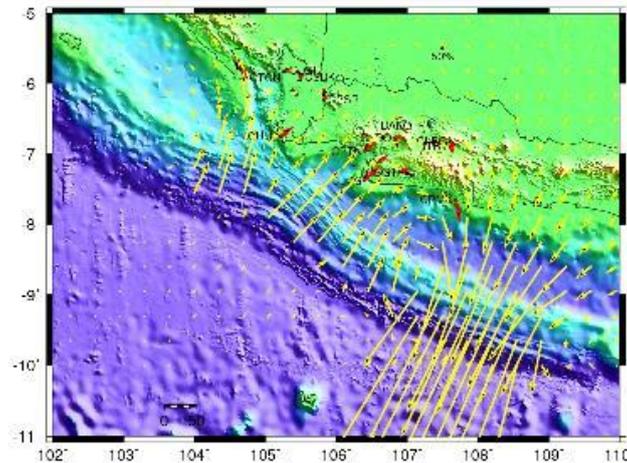


Gambar 9. Pembuatan Model dengan *coupling rate* 100%

Pemodelan bidang sumber gempa yang pertama adalah satu bidang untuk mewakili semua titik pengamatan dengan memberikan *coupling rate* 100%. *Coupling rate* adalah presentase antara luasan bidang pertemuan lempeng yang terangkat dibandingkan dengan pergerakan lempeng secara globalnya.

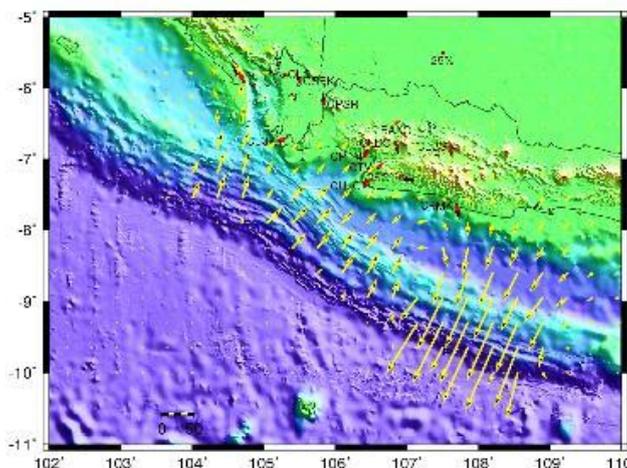
Dari plot bidang sumber gempa, parameter dapat diketahui untuk menghasilkan model, yaitu kedalaman (D) diasumsikan 4 km, lebar bidang (W) 125.43 km, panjang (L) bidang A = 111.85 km, bidang B = 111.85 km, bidang C = 141.69 km, bidang D = 198.58 km dan post seismik deformasi sebesar 18 cm/tahun. Hasil pemodelan bidang

sumber gempa ini menggambarkan panah merah adalah pergeseran dari model dan panah hitam adalah pergeseran titik pengamatan yang sudah bebas dari semua pengaruh, baik global maupun lokal, panah kuning menggambarkan grid model deformasi, menunjukkan arah panah model belum terlalu berhimpit dengan pengamatan di permukaan, sehingga perlu dilakukan pemodelan ulang yaitu pemberian *coupling rate* sebesar 50%.



Gambar 10. Pembuatan Model dengan *coupling rate* 50%

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa pergerakan antara model dengan titik sebenarnya belum memberikan hasil yang maksimal, artinya model belum benar-benar mencerminkan pergerakan real dari sumber gempanya, sedangkan panah kuning menggambarkan pola deformasinya. Terlihat bahwa pemberian nilai *coupling rate* yang semakin kecil akan merubah nilai grid model yang ekuivalen dengan nilai *coupling rate* nya. Untuk itu perlu dilakukan pemodelan ulang dengan *coupling rate* sebesar 25%.



Gambar 11. Pembuatan Model dengan *coupling rate* 25%

KESIMPULAN

Secara garis besar hasil keseluruhan dari model yang telah dibuat memberikan hasil sebagai berikut :

1. Pada bidang D arah pergeseran percepatan grid model memberikan arti pengaruh *post seismic* deformasi masih dominan, sehingga arahnya menuju kearah selatan.
2. Bidang A dan B, pengaruh subduksi tidak memberikan arti yang signifikan, sehingga pada zona Selat Sunda yang dominan adalah pengaruh sesar Semangko dan Patahan Sumatera.
3. Besarnya percepatan pergeseran model (merah) yang hampir berhimpit dengan data pengamatan (hitam), memberikan arti model sudah sesuai dengan data pengamatan.
4. Tingkat laju geser Patahan Sumatera segmen Sesar Semangko adalah 2.5 cm/tahun, hal tersebut secara kuantifikasi memberikan hasil bahwa data GPS kontinyu tidak jauh berbeda secara signifikan dengan beberapa penelitian terdahulu yaitu 1.8 – 2.1 cm/tahun

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., (2007) : Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya, P.T. Pradaya Paramita, Cetakan ketiga, Jakarta.
- Awaluddin, (2010) : Hitungan Distribusi Slip Gempa Bengkulu Tahun 2007 Dari Data Pengamatan GPS Dengan Teknik Inversi Kuadrat Terkecil, Tesis Program Studi Magister Geodesi dan Geomatika, FITB- ITB, Bandung.
- Bock, Y. et.al, (2003) : Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System (GPS) Measurements, Journal of Geophysical Research, 108, Number B8, Pages 3-1 to 3-17, American Geophysical Union, USA
- Natawidjaja, D., et.al, (2007) : The Sumatran Fault Zone : From Source to Hazard, Journal of Earthquake and Tsunami, 1, Number 1, World Scientific Publishing Company, Research Grant LIPI-Tectonic Observatory Caltech-National Scientific Foundation.
- Okada, Y., (1985) : Surface Deformation Due To Shear And Tensile Faults in A Half-Space. Bulletin of the Seismological Society of America, 75, 4, h. 1135-1154.



- Pramumijoyo, Subagyo dan Michel Sebrier, (1991) : Neogene and Quaternary Fault Kinematics Around The Sunda Strait Area, Indonesia. *Journal of Southern Asian Earth Sciences*, 6 No. 2, p. 137-145
- Pramumijoyo, S., (2008) : Geometri dan Kinematika Sesar Semangko dari Citra Radar dan Pengamatan Mikrotektonik di Lapangan, *Jurnal Media Teknik*, 3 Tahun XXX, Edisi Agustus 2008, Halaman 284-289, Yogyakarta
- Segall, P., et.al, (1997) : GPS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies, *Annu. Rev. Earth Planet Science*, 25, Pages 301-336
- Segall, Paul., (2010) : *Earthquake and Volcano Deformation*, Princeton University Press, Princeton and Oxford, p 37-38
- Zulfakriza, (2010) : Estimasi Laju Geser dan Kedalaman Sumber Gempa Pada Sesar aktif Berdasarkan Survei GPS Untuk Analisis Bahaya Kegempaan di Provinsi Aceh, Tesis Program Studi Magister Teknik Geodesi dan Geomatika, FITB-ITB, Bandung