

*Tectonic Strain in Sumatera Based on
Continous Sumatran GPS Array
(SuGAR) Observation 2007-2008*

**Regangan Tektonik di Sumatera
Berdasarkan Pengamatan Kontinu
Sumatran GPS Array (SuGAR)
Tahun 2007-2008**

Rino¹

Irwan Meilano¹

Irwan Gumilar¹

Danny Hilman Natawidjaja²

¹ Geodesy Research Division, Faculty of Earth Sciences and Technology, ITB

² Puslit Geoteknologi, Sangkuriang/Cisitu 21/154D, Kompleks LIPI

***Tectonic Strain in Sumatera Based on Continous Sumatran
GPS Array (SuGAR) Observation 2007-2008***

**Regangan Tektonik di Sumatera Berdasarkan Pengamatan
Kontinu *Sumatran GPS Array (SuGAR)* Tahun 2007-2008**

Rino¹, Irwan Meilano¹, Irwan Gumilar¹ & Danny Hilman Natawidjaja²

¹Geodesy Research Division, Faculty Earth Sciences and Technology, Institut Teknologi Bandung, Ganesha 10, Bandung 40132, West Java, INDONESIA

²Puslit Geoteknologi, Sangkuriang/Cisitu 21/154D, Kompleks LIPI, Bandung, West Java, INDONESIA

Abstract. Sumatra is located near the place where the collision between Indo-Australian Plate and Eurasian Plate happened. When Indo-Australian Plate moves below Eurasian Plate, the friction that occur between both plates causes the strain is being accumulated. The strain that exceeds the elastic limit will be released as an earthquake. GPS observation in Sumatra was conducted to analyse the velocity of vector displacement and the heterogenous of tectonic strain on the surface as one of the tectonic indication to earthquake mitigation in the future. The result from data processing shows vector displacement in Sumatra has northeast direction that indicate inter-seismic and southwest direction that indicate post-seismic. The strain distribution is extension that indicate post-seismic equally scattered dominantly in zone where happened Aceh earthquake on 2004, Nias earthquake on 2005, Bengkulu on September 12th 2007, and earthquake on Mentawai Island on September 13th 2007. While strain as compression shows Sumatera still has inter-seismic effect.

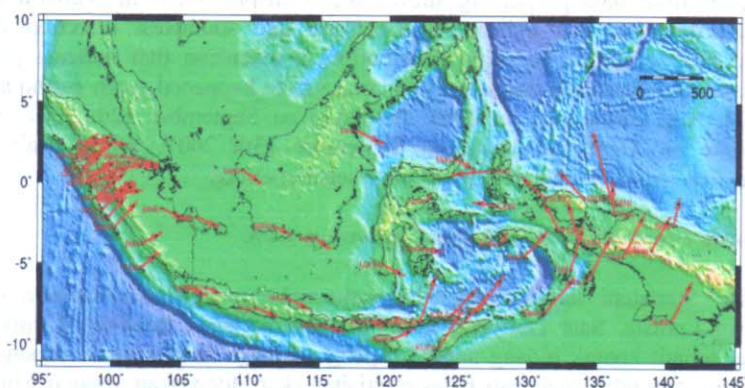
Keywords : *compression, earthquake, extension, GPS.*

Abstrak. Sumatera terletak dekat pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Saat Lempeng Indo-Australia bergerak kebawah Lempeng Eurasia, terjadi kontak bidang antar lempeng sehingga terakumulasi regangan. Regangan yang telah melewati batas elastisitas akan dilepaskan sebagai gempa bumi. Pengamatan GPS diwilayah Sumatera dilakukan untuk mempelajari kecepatan vektor pergeseran dan variasi regangan tektonik di permukaan, sebagai salah satu indikasi tektonik untuk mitigasi gempabumi dimasa depan. Hasil pengolahan data menunjukkan vektor pergeseran di Sumatera mengarah ke timur-laut yang mengindikasikan inter-seismic dan ke barat-daya yang mengindikasikan post-seismic. Distribusi regangan berupa ekstensi yang mengindikasikan post-seismic tersebar merata dominan di zona tempat terjadinya gempa Aceh 2004, gempa Nias 2005, gempa Bengkulu 12 September 2007 dan gempa Kepulauan Mentawai 13 September 2007. Adapun regangan berupa kompresi menunjukkan Sumatera masih dipengaruhi inter-seismic.

Kata Kunci : *ekstensi, gempa, GPS, kompresi, regangan.*

1 Pendahuluan

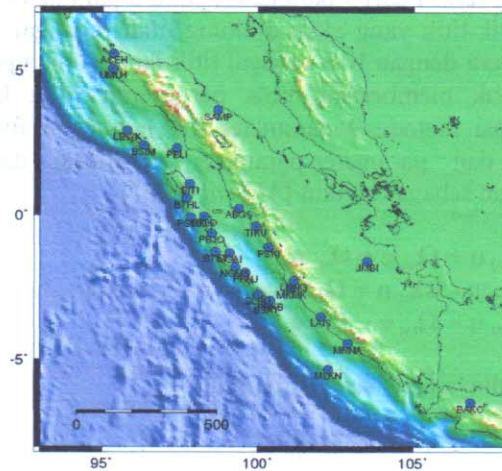
Tatanan geologi wilayah Indonesia saat ini terjadi akibat interaksi 3 lempeng utama dunia, yaitu Lempeng Samudra Pasifik yang bergerak ke arah barat-baratlaut dengan kecepatan sekitar 10 cm per tahun, Lempeng Samudra India-Benua Australia (Indo-Australia) yang bergerak ke arah utara-timurlaut dengan kecepatan sekitar 7 cm per tahun, serta Lempeng Benua Eurasia yang relatif diam, namun *resultan* sistem kinematiknya menunjukkan gerakan ke arah baratdaya dengan kecepatan mencapai 13 cm per tahun (Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009). **Gambar 1.1** menunjukkan peta tektonik aktif di Indonesia, terlihat bahwa Pulau Sumatera terletak dekat pertemuan Lempeng Samudera Indo-Australia dan Lempeng Benua Eurasia. Saat lempeng samudera terdorong ke bawah lempeng benua terjadi gesekan yang menghambat terdorongnya lempeng samudera, perlambatan gerak tersebut menyebabkan adanya akumulasi energi di zona subduksi. Akibatnya, terjadi tekanan dan regangan yang sifatnya temporal dan spasial. Apabila zona tersebut mengalami kondisi dimana bidang temu antar lempeng terkunci (*locked zone*) maka akumulasi energi tekanan atau tarikan yang telah melewati batas elastisitas menyebabkan lempeng yang bertemu akan melepaskan energi. Energi inilah sebagai penyebab utama gempa.



Gambar 1.1 Peta tektonik aktif di Indonesia [Bock et al.2003]

Beberapa contoh diantaranya, gempa Padang 6 Maret 2007 merenggut korban 52 jiwa dan gempa Bengkulu 12 September 2007 merenggut korban 300 jiwa. Berdasarkan banyaknya korban jiwa yang disebabkan oleh gempa bumi inilah, diperlukan adanya suatu metode pengukuran untuk mengamati tekanan dan regangan lempeng bumi. Salah satu yang bisa digunakan adalah metode pengukuran GPS geodetik yang dipasang pada tempat yang dianggap mengalami pergeseran. Metode ini dapat mendokumentasikan dengan baik hampir semua tahapan yang terjadi dalam suatu siklus gempa bumi berikut besar dan arah pergeseran titik-titik di permukaan bumi dari setiap tahapan gempa tersebut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memperoleh

variasi regangan tektonik di Sumatera secara spasial dan temporal menggunakan data pengamatan *continuous* GPS SuGAR tahun 2007-2008 (**Gambar 1.2**), yang analisisnya dibagi per enam bulan, adapun manfaatnya yaitu untuk mitigasi bencana gempa bumi dimasa depan.



Gambar 1.2 Sebaran stasiun SuGAR.

2 Metodologi

Deformasi dalam konteks pergerakan lempeng adalah perubahan dan pergerakan titik-titik yang diletakkan pada lempeng yang akan diamati pola deformasinya dalam selang waktu tertentu sehingga dapat menunjukkan adanya perubahan dalam besaran tertentu. Analisis deformasi bertujuan untuk menentukan kuantitas pergeseran dan parameter-parameter deformasi yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu [Chrzanowski *et al.*, 1986]. Parameter deformasi ini didapat dari hasil pergeseran koordinat titik objek dalam pengamatan yang dilakukan berkala maupun kontinu.

Sebelum melakukan analisis regangan, terlebih dahulu dihitung vektor pergeseran setiap titik pengamatan, yaitu koordinat toposentrik kala ($n+1$) dikurangkan terhadap kala sebelumnya (kala ke- n)

$$\begin{pmatrix} dn \\ de \\ du \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nT(n+1) \\ eT(n+1) \\ uT(n+1) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} nT(n) \\ eT(n) \\ uT(n) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Keterangan :

$nT(0)$, $eT(0)$, $uT(0)$ = koordinat toposentrik pada kala ke-0

$nT(1)$, $eT(1)$, $uT(1)$ = koordinat toposentrik pada kala ke-1

adapun besar dan arah vektor pergeseran arah horizontal yaitu :

$$ds = \sqrt{dn^2 + de^2} \quad \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{de}{dn} \right) \quad (2)$$

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai regangan dengan menggunakan model regangan yang terdiri dari 9 parameter, yaitu 6 parameter regangan dan 3 parameter rotasi. Titik-titik yang akan dihitung nilai regangannya adalah titik GPS di Pulau Sumatera dengan IGS sebagai titik ikat. Tujuan penggunaan titik ikat ini adalah untuk memberikan pola pergeseran yang konsisten. Pada perhitungan deformasi metode 9 parameter ini, hubungan fungsional antara vektor pergeseran dan parameter-parameter deformasi dalam koordinat toposentrik dinyatakan sebagai berikut [Ma'ruf, 2001] :

$$dn = \varepsilon_{nn} n + \varepsilon_{ne} e + \varepsilon_{nu} u + \Omega_{ne} e + \Omega_{nu} u \quad (3)$$

$$de = \varepsilon_{ne} n + \varepsilon_{ee} e + \varepsilon_{eu} u - \Omega_{ne} n + \Omega_{eu} u \quad (4)$$

$$du = \varepsilon_{nu} n + \varepsilon_{eu} e + \varepsilon_{uu} u - \Omega_{nu} e - \Omega_{eu} e \quad (5)$$

dalam notasi matrik dinyatakan sebagai berikut :

$$d = Bc$$

$$d = [dn \ de \ du]^T$$

keterangan :

$$B = \begin{pmatrix} n & 0 & 0 & e & u & 0 & 0 & u & e \\ 0 & e & 0 & n & 0 & u & u & 0 & -n \\ 0 & 0 & u & 0 & n & e & -e & -e & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$c = [\varepsilon_{nn} \ \varepsilon_{ee} \ \varepsilon_{uu} \ \varepsilon_{ne} \ \varepsilon_{nu} \ \varepsilon_{eu} \ \varepsilon_{eu} \ \varepsilon_{nu} \ \varepsilon_{eu}] \quad (7)$$

d = vektor pergeseran

B = matriks desain

c = parameter-parameter deformasi

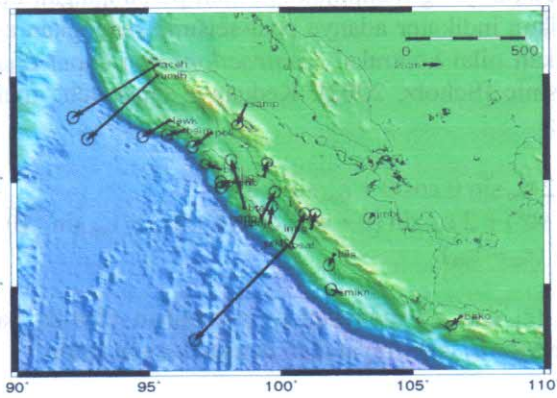
Parameter-parameter regangan dan deformasi dapat dihitung dengan metode hitung perataan kuadrat terkecil, yaitu :

$$c = (B^T \Sigma_{dd} B)^{-1} (B^T \Sigma_{dd} d) \quad (8)$$

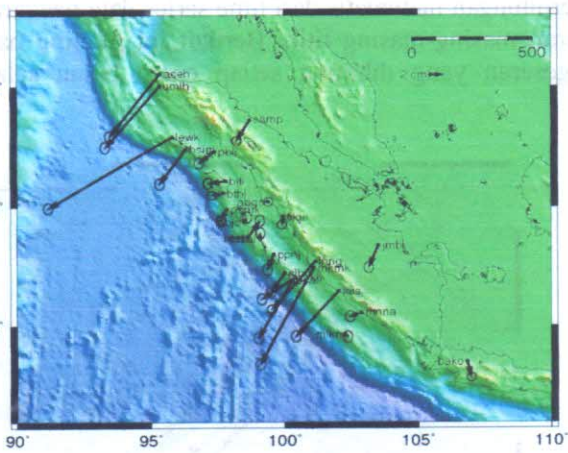
sedangkan standar deviasi parameter-parameter regangan dan rotasi ditentukan dengan :

$$\Sigma_{pp} = (B^T \Sigma_{dd} B)^{-1} \quad (9)$$

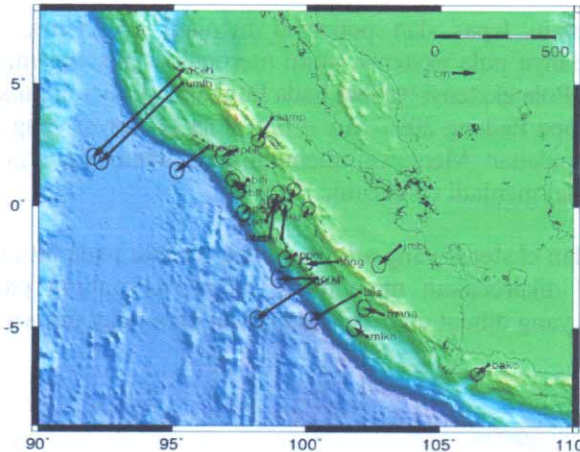
Berdasarkan parameter-parameter tersebut, besaran yang akan digunakan dalam analisis regangan, yaitu besaran principal strain ε_1 dan ε_2 dapat diturunkan.



Gambar 3.2 Plotting vektor pergeseran 6 bulan kedua tahun 2007.



Gambar 3.3 Plotting vektor pergeseran 6 bulan pertama tahun 2008.

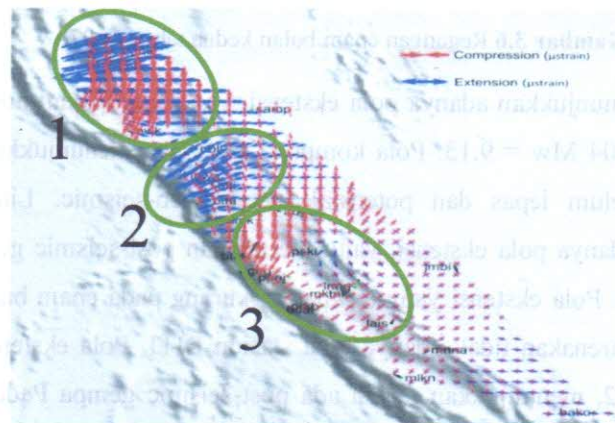


Gambar 3.4 Plotting vektor pergeseran 6 bulan kedua tahun 2008.

Gambar 3.2 menunjukkan arah dan nilai vektor stasiun BSAT berubah drastis dari semula menuju timur laut berubah menjadi barat daya. Hal ini terjadi karena adanya gempa yang mengguncang lepas pantai Bengkulu tanggal 12 September 2007 $M_w = 8.4$ dan Kepulauan Mentawai tanggal 13 September 2007 (selisih 12 jam) $M_w = 7.9$.

3.1 Analisis Regangan

Berikut ini plotting hasil perhitungan regangan yang dihitung setiap enam bulan selama dua tahun pengamatan

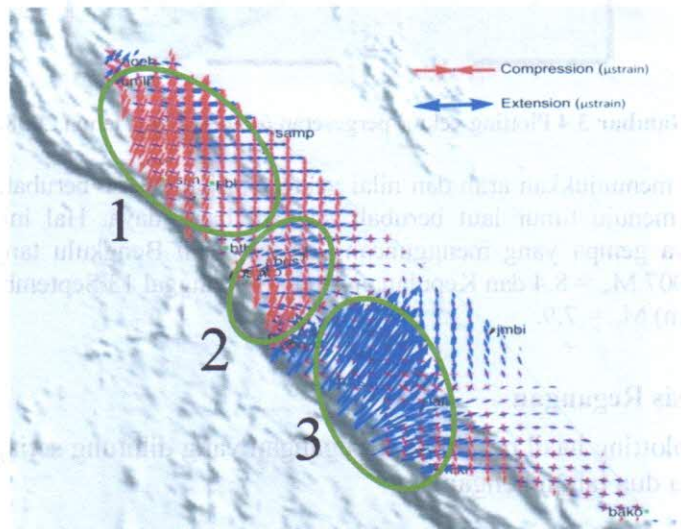


Gambar 3.5 Regangan enam bulan pertama tahun 2007.

Lingkaran 1 menunjukkan adanya pola ekstensi, yaitu merupakan post-seismic gempa Aceh 2004 $M_w = 9.15$. Pola kompresi yang ada menunjukkan adanya

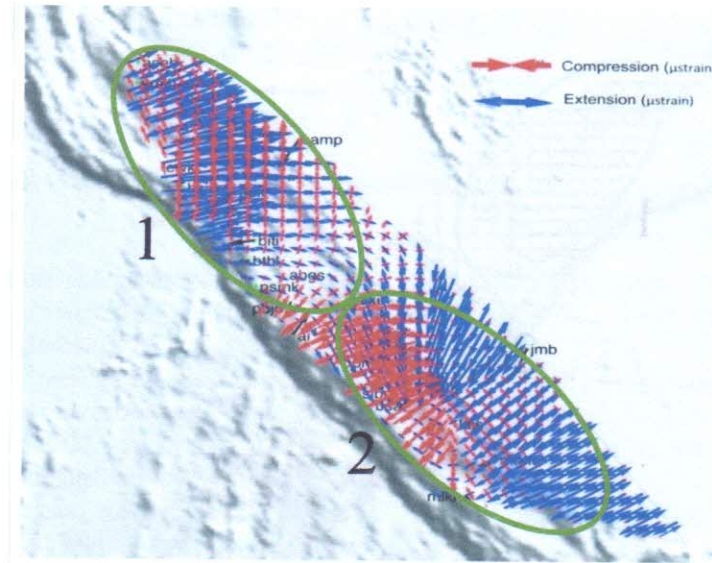
energi yang belum lepas dan potensial menjadi co-seismic. Lingkaran 2 menunjukkan adanya pola ekstensi, yaitu merupakan post-seismic gempa Nias 2005 $M_w = 8.6$. Pola ekstensi terlihat pada lingkaran 3, menunjukkan masih ada post-seismic gempa Padang 2007 $M_w = 6.4$. Pola kompresi yang ada di daerah Padang dan Kepulauan Mentawai menunjukkan adanya energi yang belum lepas dan potensial menjadi co-seismic.

Pola kompresi dan ekstensi yang ada tapi tidak terlihat pada hitungan regangan metode manual dikarenakan metode ini sangat tergantung pada pemilihan segmen segitiga yang dibuat untuk mendapatkan parameter deformasi.



Gambar 3.6 Regangan enam bulan kedua tahun 2007.

Lingkaran 1 menunjukkan adanya pola ekstensi, yaitu merupakan post-seismic gempa Aceh 2004 $M_w = 9.15$. Pola kompresi yang ada menunjukkan adanya energi yang belum lepas dan potensial menjadi co-seismic. Lingkaran 2 menunjukkan adanya pola ekstensi, yaitu merupakan post-seismic gempa Nias 2005 $M_w = 8.6$. Pola ekstensi yang terlihat berkurang pada enam bulan kedua tahun 2007 dikarenakan tidak adanya data stasiun BITI. Pola ekstensi terlihat pada lingkaran 2, menunjukkan masih ada post-seismic gempa Padang Maret 2007 $M_w = 6.4$. Lingkaran 3 menunjukkan adanya pola ekstensi, yaitu merupakan post-seismic gempa Bengkulu 12 September 2007 $M_w = 8.4$ dan gempa Kepulauan Mentawai 13 September 2007 $M_w = 7.9$.



Gambar 3.7 Regangan enam bulan pertama tahun 2008.

Lingkaran 1 menunjukkan adanya pola ekstensi, yaitu merupakan post-seismic gempa Aceh 2004 $M_w = 9.15$, gempa Nias 2005 $M_w = 8.6$, dan gempa Simeulue 20 Februari 2008 $M_w = 7.4$. Pola kompresi yang ada menunjukkan adanya energi yang belum lepas dan potensial menjadi co-seismic. Lingkaran 2 menunjukkan adanya pola ekstensi, yaitu merupakan post-seismic gempa Bengkulu 12 September 2007 $M_w = 8.4$, gempa Kepulauan Mentawai 13 September 2007 $M_w = 7.9$ dan 25 Februari 2008 $M_w = 7$. Pola kompresi yang ada menunjukkan adanya energi yang belum lepas dan potensial menjadi co-seismic.

di Sumatera mengindikasikan gempa September 2007 $M_w = 8.4$ adalah awal mula episode gempa patahan daerah Mentawai.

4 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai regangan di Sumatera ini adalah :

- Vektor pergeseran di Sumatera mengarah ke timur-laut yang mengindikasikan adanya inter-seismic dan ke barat-daya yang mengindikasikan adanya post-seismic.
- Distribusi regangan berupa ekstensi yang mengindikasikan adanya post-seismic tersebar secara merata dominan di zona tempat terjadinya gempa Aceh 2004, gempa Nias 2005, gempa Bengkulu 12 September 2007 dan gempa Kepulauan Mentawai 13 September 2007.
- Regangan tektonik di Sumatera masih dipengaruhi inter-seismic, ditunjukkan adanya pola kompresi.
- Berdasarkan pola regangan 2007-2008, di selatan Mentawai masih ada kompresi yang mengindikasikan gempa dimasa datang.

5 Daftar Pustaka

- [1] Bock, Y., L.Prawirodirdjo, J. F. Genrich, C. W. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S. S. O. Puntodewo & E. Calais, *Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements*, J. Geophys. Res., 108 (B8), 2367, doi:10.1029/2001JB000324, 2003.
- [2] Chlieh, Mohamed., J.P Avouac, K. Sieh, Danny H. Natawidjaja & John Galetzka, *Heterogeneous Coupling of the Sumatran Megathrust Constrained by Geodetic and Paleogeodetic Measurements*, J.
- [3] Konca, A.O., Vala Hjorleifsdottir, Teh-ru Alex Song, Jean-Philippe Avouac, Don V Helmberger, Chen Ji, Kerry Sieh, Richard Briggs & Aron Meltzner, *Rupture Kinematics of the 2005 M_w 8.6 Nias-Simeulue Earthquake from the Joint Inversion of Seismic and Geodetic Data*, Bulletin of the Seismological Society of America, 97(1A), pp.S307-S322, doi:1785/0120050632, 2007.
- [4] Konca, A.O., Jean-Philippe Avouac, Anthony Sladen, Aron J Meltzner, Kerry Sieh, Peng Fang, Zhenhong Li, John Galetzka, Jeff Genrich,

- Mohamed Chlieh, Danny H. Natawidjaja, Yehuda Bock, Eric J Fielding, Chen Ji & Don V. Helmberger, *Partial Rupture of a Locked Patch of the Sumatra Megathrust during the 2007 Earthquake Sequence*, *Nature* 07572, 456, doi:10.1038, 2008.
- [5] Sieh, Kerry., Danny H Natawidjaja, Aron J Meltzner, Chuan-Chou Shen, Hai Cheng, Kuei-Shu Li, Bambang W. Suwargadi, John Galetzka, Belle Philiposian & R Lawrence Edwards, *Earthquake Supercycles Inferred from Sea-Level Changes Recorded in the Corals of West Sumatra*, *Science* 322, 1674 (2008), doi:10.1126/Science.1163589.
- [6] Teza, G., Peşci., A. & Galgaro A., *Grid_strain and Grid_strain3 : Software Packages for Strain Field Computation in 2D and 3D Environments*, *International Journal of Computers & Geosciences* 34 (2008) 1142–1153, 2008.