

Deformasi di Sumatera Barat Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002-2009 dan Dampak Kerusakan Lingkungan Akibat Gempa 30 September Tahun 2009

Riko Maiyudi^{1*}, Ikhwan Permana², Muhammad Ridholfi²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Institut Teknologi Bandung

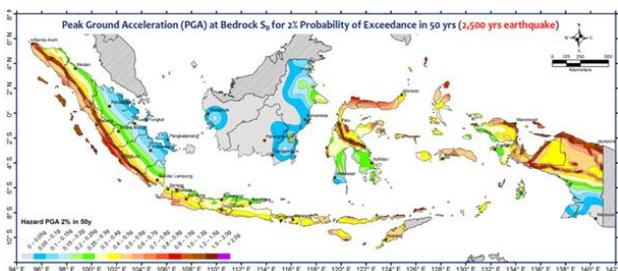
*rikomaiyudi@ft.unp.ac.id

Abstract. West Sumatra is a province located in an earthquake area. West Sumatra is located between the Eurasian Plate and Indo Australian plates. From 2002 until 2009, there were many earthquakes in the Sumatra region. In 2009 there was a major earthquake it caused many people dead, environmental damage and material losses in the West Sumatra. This is the reason for deformation studies in West Sumatra. The focus of the deformation study needed in West Sumatra is to mitigate future disasters. This deformation measurement is done by Geodetic GPS . The Geodetic GPS measurement data results are obtained from the Sumatra Array GPS data (SuGAR). The Geodetic GPS Measurement Data is then processed using software Gamit 10.5. From the results of data processing, there was accumulation of strains in 2002-2008 along the coast of central Sumatra which has the potential for earthquakes. And in 2009 on September 30 there was an earthquake that could be seen by a significant change in position during the pastoral era in the West Sumatra region. By studying as early as possible deformation in West Sumatra, it is expected that in the future the risk of environmental damage and losses due to earthquake disasters can be minimized.

Keywords: Deformation, Environmental Damage, Earthquakes

1. Pendahuluan

Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah yang rawan akan bencana gempa di Indonesia. Sumatera Barat masuk dalam zona merah bahaya gempa di Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari peta zonasi gempa di Indonesia pada gambar berikut ini [1].



Gambar 1. Peta Zonasi Bahaya Gempa di Indonesia

Pengamatan Gempa oleh *United States Geological Survey* (USGS) mencatat telah terjadi 20 gempa di

wilayah Sumatera dengan kekuatan di atas 6 Mw dari tahun 2002 – akhir tahun 2009. Daftar gempa tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. List gempa di Sumatera Tahun 2002 – 2009 [7]

No	Tanggal	Lokasi	Magnitudo
1	26 Desember 2004	Sebelah barat Laut Banda	9.1
2	28 Maret 2005	Sibolga	8.6
3	10 April 2005	Kepulauan Mentawai	6.7
4	5 Juli 2005	Nias	6.7
5	19 November 2005	Simeulue	6.5
6	11 Agustus 2006	Pulau Simeulue, Sibolga	6
7	6 Maret 2007	Padang	6.4

8	12 September 2007	Lepas pantai Bengkulu	8.4
9	13 September 2007	Kepulauan Mentawai	7.9
10	20 September 2007	Sumatera bagian selatan	6.7
11	25 Oktober 2007	Sumatera bagian selatan	6.8
12	20 Februari 2008	Simeulue	7.4
13	24 Februari 2008	Kepulauan Mentawai	6.5
14	25 Februari 2008	Kepulauan Mentawai	7.2
15	26 Februari 2008	Kepulauan Mentawai	6.6
16	26 Februari 2008	Kepulauan Mentawai	6.7
17	16 April 2009	Kepulauan Mentawai	6.3
18	16 Agustus 2009	Kepulauan Mentawai	6.7
19	30 September 2009	Padang	7.6
20	1 Oktober 2009	Sumatera Bagian Selatan	6.6

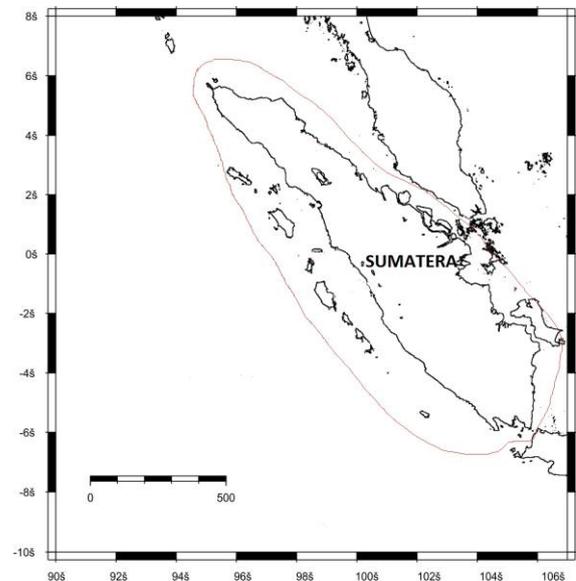
Dari 20 gempa yang terjadi, maka gempa pada tanggal 30 September 2009 merupakan salah satu gempa terbesar di Sumatera Barat dalam kurun waktu 2002 - 2009. Gempa ini bepusat di sekitar 60 km barat laut Kota Padang. Dari data BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), korban meninggal dunia 1.117 jiwa, korban luka berat 1.214 orang, luka ringan 1.688 orang, dan korban hilang 1 orang. Kerusakan rumah terdiri dari 135.448 rumah rusak berat, 65.380 rumah rusak sedang dan 78.604 rumah rusak ringan. [1]

Melihat dampak yang ditimbulkan akibat gempa tersebut maka diperlukan suatu kajian untuk menunjang upaya-upaya mitigasi bencana di wilayah Sumatera Barat. Salah satu kajian yang diperlukan tersebut adalah studi deformasi dari pergerakan lempeng tektonik serta aktivitas pergeseran dan regangannya. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode pengamatan menggunakan sistem GPS. Receiver GPS dipasang tersebar di sekitar jalur konvergensi lempeng. Metode ini dapat merekam data pergerakan dari titik-titik yang dipasang di permukaan bumi untuk mengetahui pergerakan lempeng tektonik sehingga didapatkan pola deformasi yang terjadi. Selain itu juga dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik pergeseran lempeng tektonik di daerah ini. Hasil analisis dari pola deformasi ini selanjutnya dapat digunakan sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi untuk wilayah Sumatera Barat dimasa mendatang

2. Metodologi

2.1 Wilayah Penelitian

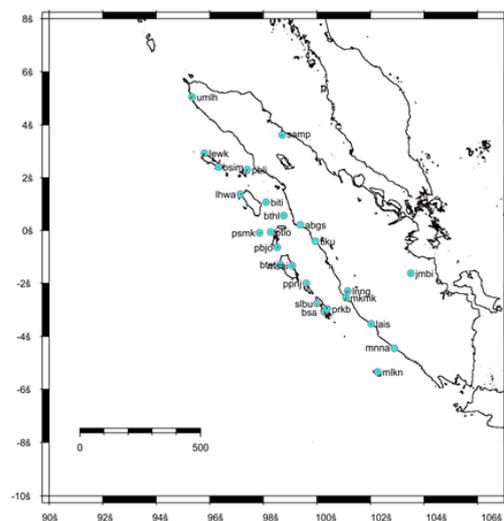
Penelitian ini pada dasarnya melakukan pengamatan di sepanjang pesisir pulau Sumatera. Adapun lokasi titik – titik berada di sepanjang pesisir pulau Sumatera. Peta geografis wilayah penelitian dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Peta Lokasi Geografi Pulau Sumatera

2.2 Data Pengamatan

Data pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data GPS SuGAR (Sumatran GPS Array) dari tahun 2002 sampai 2009. Stasiun SUGAR yang digunakan meliputi ABGS, BITI, BSAT, BSIM, BTET, BTHL, JMBI, LAIS, LEWK, LHWA, LNNG, MKMK, MLKN, MNNA, MSAI, PBJO, PBLI, PPNJ, PRKB, PSMK, SLBU, dan TIKU. Peta sebaran titik – titik pengamatan Sumatran GPS Array dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 Titik pengamatan SuGAR di Sumatera

Data titik ikat yang digunakan sebagai referensi pergerakan titik pengamatan antara lain titik ASPA, BAKO, CNMR, COCO, CUSV, DARW, DGAV, GUAM, GUAO, HYDE, IISC, KIT3, KOUC, KUNM, DAN LAE1. Titik ikat tersebut berdasarkan ITRF (International Terrestrial Reference Frame) tahun 2008..

2.3 Metodologi Penelitian

Analisis deformasi dapat dilakukan secara geometrik yaitu analisis regangan dengan hanya mengamati status geometri (ukuran dan dimensi) objek yang diamati. Data hasil pengamatan geodetik terhadap efek-efek respon suatu materi terhadap gaya yang bekerja padanya dapat membantu untuk menyusun suatu model matematik yang mewakili jenis deformasi. Analisis geometrik ini dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis [2], yaitu pergeseran dan regangan. Pergeseran, yaitu analisis yang menunjukkan perubahan posisi suatu benda dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari perataan data pengamatan pada kala berbeda. Untuk mengestimasi nilai pergeseran horizontal antar kala, secara matematis dapat dituliskan :

$$de = \text{komponen (e)t2} - \text{komponen (e)t1} \quad (1)$$

$$dn = \text{komponen (n)t2} - \text{komponen (n)t1} \quad (2)$$

dimana de merupakan besar dari pergeseran horizontal arah timur-barat antar kala, dn adalah besar dari pergeseran horizontal arah utara-selatan antar kala, sedangkan $(e)t1$ adalah harga komponen e pada kala pertama, $(e)t2$ adalah harga komponen e pada kala kedua, $(n)t1$ merupakan harga komponen n pada kala pertama dan $(n)t2$ adalah harga komponen n pada kala kedua.

Pergeseran horizontal adalah besar vektor pergeseran secara bidang horizontal. Sehingga arah pergeseran ditunjukkan oleh besarnya azimuth dari pergeseran titik-titik kerangka dasar deformasi tersebut.

$$ds = \sqrt{de^2 + dn^2} \quad (3)$$

$$\tan \alpha = \frac{de}{dn} \quad (4)$$

dimana ds adalah besar vektor pergeseran horizontal dan α merupakan azimuth pergeseran horizontal

Untuk standar deviasi pergeseran titik pengamatan antar kala secara matematis dapat dituliskan :

$$\text{Std } dr = \sqrt{\sigma(\text{komponen}(e)_{t2})^2 + \sigma(\text{komponen}(e)_{t1})^2} \quad (5)$$

Dimana $\text{Std } dr$ merupakan standar deviasi untuk pergeseran antar kala, $\sigma(\text{komponen}(e)_{t2})^2$ adalah nilai standar deviasi untuk pergeseran titik pengamatan antar kala dan $\sigma(\text{komponen}(e)_{t1})$ adalah standar deviasi untuk komponen e dan n pada kala pertama.

Begitu juga untuk standar deviasi komponen horizontal (n) dan komponen vertikal (u) menggunakan persamaan. Untuk mendapatkan vektor pergeseran digunakan fungsi kurva fitting dengan data hasil

pengolahan GPS. Fungsi kurva yang digunakan adalah fungsi linear (*Linear fitting*) yang berfungsi untuk menentukan pola pergeseran yang menggambarkan deret waktu (*time series*) dalam pengamatan. Hal ini penting untuk dapat mengetahui besarnya perubahan titik dalam arah Timur-Barat (E-W) dan Utara-Selatan Berikut adalah formula fungsi linear :

$$y(t) = ax + b \quad (6)$$

Dimana y dan x merupakan variabel, a dan b adalah parameter. Untuk menentukan nilai a dan b , maka dilakukan metode analisis kuadrat terkecil (*Least square adjustment*) berdasarkan rumus linear.

Strain adalah analisis yang menunjukkan perubahan posisi, bentuk dan ukuran suatu objek dengan menggunakan data pengamatan langsung Geodetik yang diperoleh dari pengamatan langsung lapangan. Hubungan fungsional antara pergeseran dan parameter deformasi dalam Strain adalah sebagai berikut [4] :

$$\epsilon_1 = \epsilon_{ee} \cos^2 \theta + 2 \epsilon_{ne} \sin \theta \cos \theta + \epsilon_{nn} \sin^2 \theta \quad (7)$$

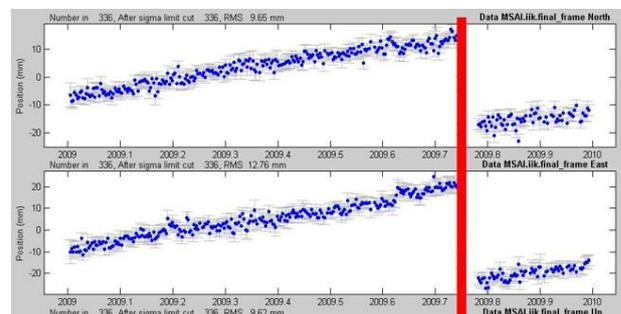
$$\epsilon_2 = \epsilon_{ee} \cos^2 (\theta + 90^\circ) + 2 \epsilon_{ne} \sin (\theta + 90^\circ) \cos (\theta + 90^\circ) + \epsilon_{nn} \sin^2 (\theta + 90^\circ) \quad (8)$$

$$\tan 2\theta = (2 \epsilon_{ne}) / (\epsilon_{ee} - \epsilon_{nn}) \quad (9)$$

di mana ϵ_1 adalah kuantitas yang menunjukkan nilai perpanjangan dan ϵ_2 adalah kuantitas yang menunjukkan nilai kompresi.

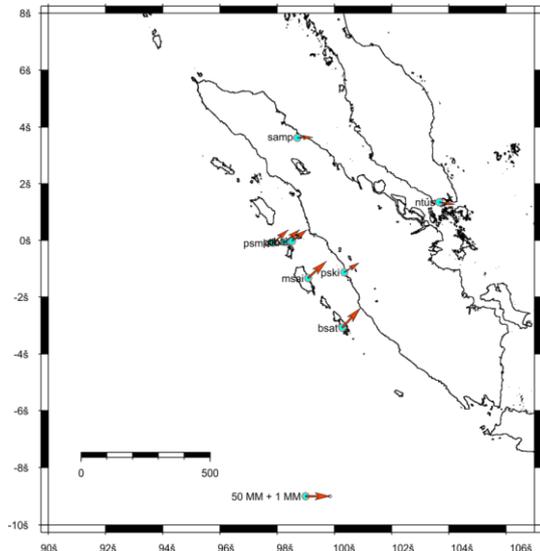
3. Hasil dan Pembahasan

Pada hasil pengolahan data, diperoleh time series salah satu stasiun pengamatan yang terpengaruh oleh gempa 30 September 2009 di Sumatera Barat yang ditandai oleh garis berwarna merah pada gambar berikut ini:

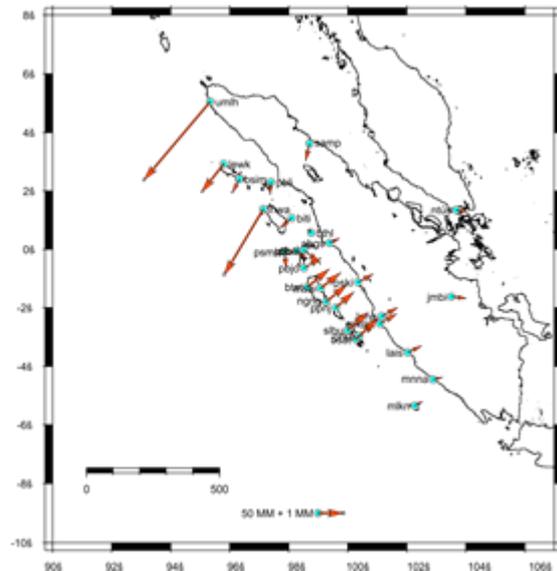


Gambar 4. Stasiun MSAI yang dipengaruhi oleh gempa 30 September 2009 di Sumatera Barat

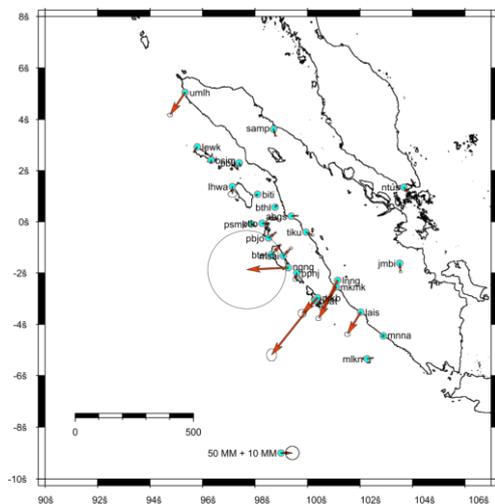
Vektor kecepatan masing masing stasiun yang dibagi dalam 5 periode yaitu tahun 2002 - 2004, 2005 - 2007, 2007 - 2008, April 2009 - 29 September 2009 dan oktober 2009 - Maret 2010 pada gambar 5, 6, 7, 8, 9 :



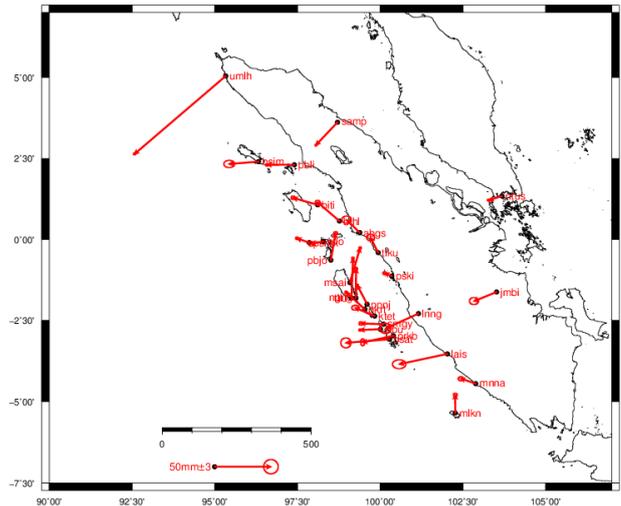
Gambar 5. Vektor Kecepatan periode 2002 – 2004



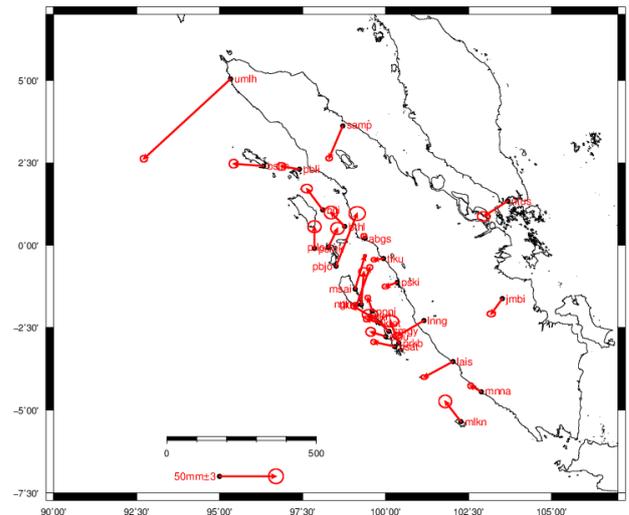
Gambar 6. Vektor Kecepatan periode 2005 – 2007



Gambar 7. Vektor Kecepatan periode 2007 – 2008



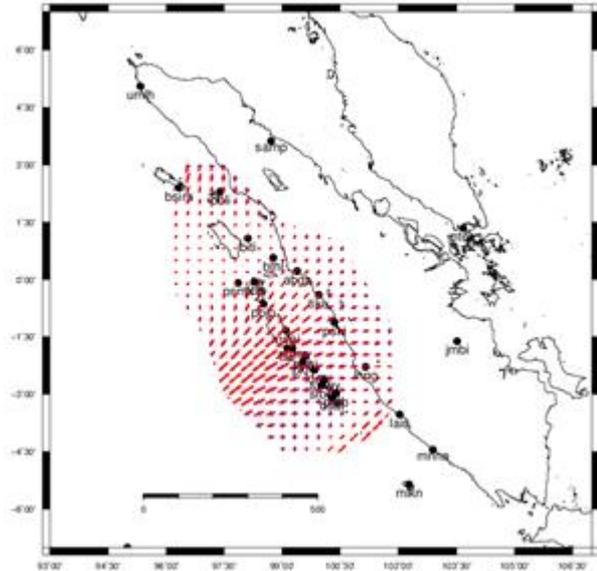
Gambar 8. Vektor Kecepatan periode April 2009 - 29 September 2009



Gambar 9. Vektor Kecepatan periode April 2009 - 29 September 2009

Pada gambar 5, 6, 7, 8 dapat disimpulkan bahwa vektor Kecepatan masing masing periode pengamatan menunjukkan pada Sumatera bagian tengah khususnya Sumatera Barat terjadi proses kompresi dimana terjadi akumulasi regangan diantara pertemuan 2 lempeng. Selain itu dapat terlihat bahwa titik-titik stasiun pengamatan di sekitar gempa yang berada di atas Lempeng Eurasia kembali bergerak ke arah timur laut akibat tekanan dari Lempeng Indo-Australia. Hal ini mengindikasikan kembali terjadinya proses *inter-seismic* setelah gempa yang terjadi tanggal 30 September 2009. Situasi ini tidak sesuai dengan teori dasar dimana pada satu siklus gempa bumi terdapat tahapan *inter-seismic*, *co-seismic*, dan *post-seismic*. Dengan kata lain, gempa 30 September 2009 dengan magnitude 7.6 dan kedalaman 81 km tidak mengalami tahap *post-seismic*. Hal ini disebabkan karena gempa ini berbeda dengan gempa yang biasa terjadi di Sumatera. Rangkaian gempa yang terjadi di Sumatera umumnya berada di dekat zona batas konvergen antara Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia dengan kedalaman tidak lebih dari 50 km. Sedangkan gempa 30 September 2009 berada pada Lempeng Indo-Australia yang menjam ke bawah

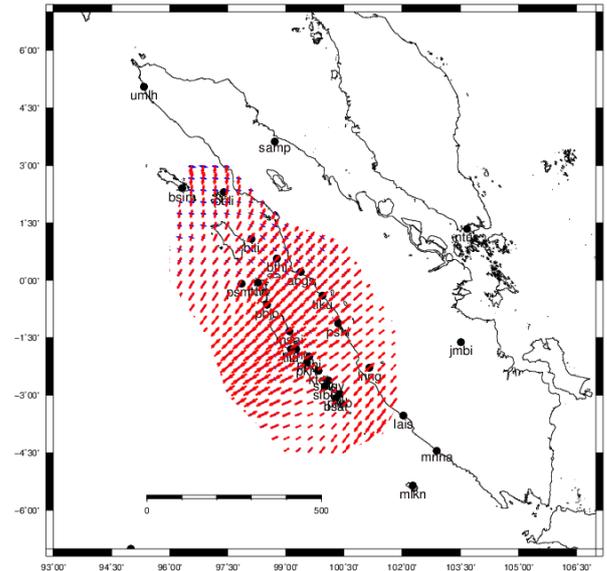
Lempeng Eurasia, sehingga gempa ini bukanlah gempa yang merobek jalur subduksi. Berikut ini gambar regangan setelah gempa Sumatera Barat 30 September 2009:



Gambar 10. Regangan di Sumatera Bagian Tengah Sebelum Gempa 30 September 2009

Pada gambar 10 dapat dilihat dibandingkan dengan *plotting* sebelum gempa, terlihat bahwa kembali adanya pola kompresi di daerah pesisir barat Pulau Sumatera bagian tengah, yaitu di sekitar Kepulauan Mentawai. Hal ini menunjukkan kembali adanya proses *inter-seismic* di daerah ini, seperti saat sebelum gempa terjadi.

Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa gempa yang terjadi pada tanggal 30 September 2009 tidak mempunyai proses *post-seismic*. Gempa tersebut tidak melepaskan semua akumulasi energi yang mengancam daerah ini, karena masih terdapatnya kompresi yang semakin kuat. Keadaan tersebut disebabkan karena gempa ini tidak terjadi pada pertemuan Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia, melainkan terjadi di patahan Lempeng Indo-Australia yang menujam ke bawah zona subduksi batas konvergen kedua lempeng. Hal ini sesuai dengan isi laporan McCloskey [4], bahwa gempa tersebut bukanlah gempa yang merobek jalur subduksi Sumatera yang dikhawatirkan selama ini karena tidak berada pada batas Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia. Gempa tersebut tidaklah cukup meringankan akumulasi energi pada *megathrust* segmen Mentawai. Hal ini mengindikasikan bahwa gempa besar berpotensi tsunami akibat pelepasan energi pada *megathrust* belum terjadi [3].



Gambar 11. Regangan di Sumatera Bagian Tengah Setelah Gempa 30 September 2009

Bahaya Kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh gempa yang terjadi di Sumatera Barat pada 30 September 2009 lebih berdampak besar dibandingkan dengan bencana alam lainnya. Pada saat gempa berlangsung terjadi beberapa peristiwa diantaranya: kerusakan bangunan, kebakaran, putusnya akses jalan, dan terjadinya tanah longsor, Berikut dokumentasi kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi tersebut :



Gambar 12. Kerusakan Bangunan Akibat Gempa 30 September 2009 di Sumatera Barat



Gambar 13. Kerusakan Lingkungan Longsor di Padang Pariaman yang menimbun kampung dan menelan korban jiwa (diambil dari foto udara)



Gambar 14. Kerusakan Lingkungan akibat kebakaran setelah terjadi gempa.

4. Kesimpulan

Pengolahan data pengamatan stasiun SuGAR untuk wilayah Sumatera bagian tengah menunjukkan kecepatan pergeseran dari titik-titik pengamatan cenderung bergerak ke arah timur laut, mengikuti arah pergerakan Lempeng Indo-australia. Hal ini disebabkan karena titik-titik pengamatan yang terletak pada Lempeng Eurasia mendapat tekanan yang lebih besar dari Lempeng Indo-Australia. Tekanan dari pertemuan dua lempeng ini mengindikasikan adanya akumulasi energi di daerah tersebut, sehingga menjadikannya sebagai daerah potensial gempa. Gempa 30 September 2009 tidak mempunyai tahap *post-seismic* karena tidak mengurangi distribusi regangan pola kompresi di sekitar daerah pusat gempa setelah gempa terjadi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mitigasi bencana dimasa yang akan datang, sehingga kerusakan lingkungan dan korban jiwa akibat gempa dapat diminimalisir.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Nasional Penganggulangan Bencana. *Laporan Harian Pusdalops BNPB*. Laporan Harian (2009).
- [2] Herisywaldi. *Analisis Deformasi Gunungapi Lokon berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2009-2011*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika (2011).
- [3] Madrinovella, Iktri., Widiyantoro, Sri., Meilano, Irwan. *Relokasi Hiposenter Gempa Padang* (2011).
- [4] McCloskey, J., Lange, D., Tilmann, F., Nalbant, S.S., Bell, A.F., Natawidjaja, D.H. and Rietbrock, A., (2010). *The September 2009 Padang Earthquake*. *Nature Geoscience*, 3 (2), 70-71. 2009 (2011).
- [5] Pusat Studi Gempabumi Nasional, *Peta Zonasi Peta Zonasi Bahaya Gempa di Indonesia* (2017),
- [6] The Big Picture Sumatra Earthquakes. *Documentation Photo*. Address http://www.boston.com/bigpicture/2009/10/2009_sumatra_earthquakes.html (2019).
- [7] United States Geological Survey. *Earthquakes*. Address: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/> (2019)