

**ANALISIS SUMBER GEMPA BUMI PADA PROSES DEFORMASI KERAK BUMI  
YANG BERPOTENSI TSUNAMI 11 MARET 2011  
DI LEPAS PANTAI TIMUR PULAU HONSHU JEPANG**

**Handika Widiarto, Supardiono**

Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya  
email: dikawidiy@gmail.com

**Abstrak**

Jepang mengalami 20% gempa bumi terbesar di dunia karena secara geografis berada pada paparan pinggirannya lempeng benua. Gempa yang sering terjadi di Jepang ini membawa konsekuensi berbagai proses deformasi kerak bumi. Sebagian besar proses ini terjadi pada zona subduksi. Zona tersebut berada pada lantai samudera dengan berbagai mekanisme sumber gempa yang dapat diklasifikasikan menurut kategori korban jiwa yang ditimbulkan secara signifikan. Untuk menganalisis pengelompokan dari mekanisme sumber gempa dilakukan irisan vertikal dari data topografi dan batimetri pada area penelitian. Dalam penelitian ini, telah dilakukan kajian analisis deformasi berdasarkan bencana tsunami yang terjadi di Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 yang bertujuan untuk dapat menentukan mekanisme sumber gempa bumi yang berpotensi dapat menimbulkan tsunami serta dapat menentukan ketinggian run up tsunami dan validitasnya berdasarkan mekanisme sumber gempabumi. Hasil yang diperoleh melalui penelitian ini yaitu daerah kompresi dominan terletak pada bagian barat sekitar plate boundary pulau Honshu. Pada klasifikasi menurut besar magnitudo mainshock yaitu 9,0 SR, diperoleh nilai run up terendah adalah 1,41 meter di prefektur Ibaraki dan nilai run up tertinggi mencapai 20,88 meter tepatnya di daerah Miyako. Pada klasifikasi menurut luasan fault divided, diperoleh rata-rata nilai run up terendah yaitu 6,18 meter dan nilai rata-rata run up tertinggi mencapai 17,19 meter, berdasarkan skala Imamura maka dapat terjadi kerusakan yang signifikan. Tingkat ketinggian rata-rata run up terendah dan tertinggi saat aftershock dengan magnitudo 7,9, 7,7, dan 6,7 adalah 0,26 meter dan 0,48 meter. Berdasarkan skala Imamura, saat gelombang air laut turun drastis hingga mencapai normal saat aftershock maka tidak terjadi kerusakan secara signifikan.

**Kata Kunci:** Batimetri, run up, fault divided.

**Abstract**

Japan has 20% of biggest earthquake ever occurred in the world, Geographically, Japan is convergence track of ocean plate boundary. Earthquake that occurred in Japan has consequences of changes in deformation processes that often lead to disastrous earthquake. Most of these processes occurs in subduction zone. The subduction zone is located in ocean bottom with different mechanisms of earthquake sources that can be classified by casualties category, catastrophic significantly. To analyze the grouping from earthquake source mechanisms, vertical slice from topography and bathymetry data from observation area. In this case, has done the analysis of deformation process according of Japan tsunami disaster 11 March 2011 which aims to determine the tsunami potential from earthquake mechanism and highest run up and it's validity. The results of data processing, the dominant compression zone placed in westside plate boundary area of Honshu Island. From 9.0 M mainshock classification, obtained a lowest run up value is 1,41 m at Ibaraki Prefecture and the highest is 20,88 m at Miyako. From fault divided classification, obtained the average of lowest run up value is 6,18 m and the average of highest run up value is 17,19 m. According to Imamura scale, these could be damaged significantly. The average heights of run up level the lowest and highest when the aftershock with 7.9, 7.7, and 6.7 M is 0,26 and 0,48 meters. According to Imamura scale when the water reaches normal level, damaged does not occurs significantly.

**Keywords:** bathymetry, run up, fault divided.

**PENDAHULUAN**

Jepang terletak di salah satu daerah yang paling aktif untuk gempa bumi, berada pada persimpangan lempeng tektonik sehingga sering terjadi gempa maupun tsunami. Kejadian yang terakhir terjadi pada tanggal 11 Maret

2011, gempa bumi yang diikuti oleh tsunami di wilayah Tohoku, bagian timur Pulau Honshu, Jepang. Episenter gempa berada pada 38,322°LU 142,369°LS. Gempa yang berkekuatan 9.0 Skala Richter tersebut merupakan kejadian gempa dan tsunami yang paling parah yang pernah mengguncang Jepang dalam kurun waktu 140

tahun (USGS). Gempa ini terjadi akibat hasil dari thrust faulting di dekat pertemuan zona subduksi antara lempeng Pasifik dengan lempeng Amerika Utara.

Lokasi, kedalaman, dan mekanisme fokus kejadian gempa 11 Maret ini konsisten dengan kejadian-kejadian patahan yang saling mendorong yang terjadi akibat subduksi di sepanjang perbatasan lempeng. Kejadian gempa ini kemudian mengakibatkan kerak bumi di wilayah Jepang terus bergerak secara aktif dan dinamis (Alfred Wegener, 1960). Hal ini dibuktikan dengan bergesernya Pulau Honshu sejauh 2,5 meter ke arah timur.

Untuk menganalisis pengelompokan dari mekanisme sumber gempa, maka akan menentukan daerah kompresi serta pengaruh magnitudo dan slip dari kejadian gempa Jepang yang berpotensi menimbulkan tsunami. Dalam hal ini dilakukan analisis deformasi yang terjadi pada tiap-tiap kejadian gempa untuk kategori merusak atau tidak. Kemudian dilakukan analisis deformasi permukaan untuk mengetahui besar perpindahan yang terjadi akibat gempa tersebut. Deformasi yang terjadi direpresentasikan sebagai besar slip yang dapat dihitung dari momen seismik (Hanks dan Kanamori, 1979).

$$M_0 = \mu A S \quad (1)$$

Karena data yang tercatat biasanya adalah magnitudo momen, maka momen seismik dapat dihitung dengan persamaan Wells dan Coppersmith dibawah:

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 6,07 \quad (2)$$

Untuk panjang dan lebar dari deformasi dapat ditentukan dari daerah distribusi gempa utama (mainshock), gempa-gempa kecil sebelum gempa utama (foreshock), dan gempa-gempa susulan (aftershock). Secara empiris panjang, lebar dan slip fault dapat ditentukan dengan melakukan interpolasi berdasarkan persamaan persamaan Papazachos, et al. (2004) sebagai berikut:

- a. Panjang sesar (L)  
 $\log L = -2,42 + (0,58 * M_w) \quad (3)$
- b. Lebar sesar (W)  
 $\log W = -1,61 + (0,41 * M_w) \quad (4)$
- c. Pergeseran Maksimal (MD)  
 $\log MD = -1,38 + (1,02 * \log L) \quad (5)$
- d. Pergeseran Rata-rata (AD)  
 $\log AD = -1,43 + (0,88 * \log L) \quad (6)$

Dengan bantuan software Tsunami Display Program, perhitungan parameter sumber gempa tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai *run up* (ketinggian gelombang vertikal maksimum di atas permukaan laut).

## METODE

Penelitian ini berbasis simulasi komputer dengan menggunakan software *Tsunami Display Program* berisi modul untuk menjalankan aplikasi *Tsunami L-2008*. Software ini mensimulasikan topografi daerah yang

dilengkapi dengan parameter tsunami, penyelesaian data batimetri serta analisis *run up*. Sebagai langkah pertama, menentukan episenter gempa bawah laut signifikan di timur pulau Honshu (> 6,5 SR). Data diolah dengan menggunakan metode klasifikasi Magnitudo dan metode *fault divided*. Klasifikasi Magnitudo bertujuan untuk menganalisis distribusi besar gelombang tsunami berdasarkan magnitudo dan *slip* yang telah dihitung. Pengolahan data dengan metode *fault divided* mengasumsikan bahwa running data dengan menggunakan luasan standar dianggap tidak mewakili *run up* tsunami yang valid pada lokasi pengamatan. Sehingga dilakukan pembagian pada sesar utama menjadi beberapa bagian (*subfault*), yang diasumsikan dapat mewakili momen gaya yang dihasilkan oleh sesar utama..

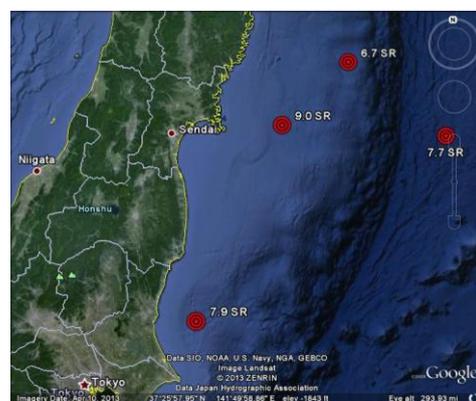
Sebagai langkah validasi, maka nilai *run up* hasil klasifikasi Magnitudo dan *fault divided* akan dibandingkan dengan referensi jurnal-jurnal ilmiah yang sebelumnya telah meneliti kasus ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah data nilai *run up* gelombang tsunami yang terjadi di Jepang terutama di Pulau Honshu dan sekitarnya baik yang didapat dari hasil running menggunakan skenario dengan klasifikasi besaran magnitudo mainshock dan aftershock.

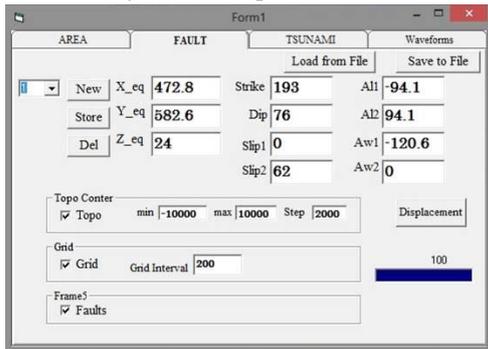
### Pemodelan Berdasarkan Magnitudo

Klasifikasi berdasarkan *mainshock* ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh magnitudo dan slip terhadap ketinggian *run up* yang dihasilkan. Data gempa aftershock yang digunakan berkekuatan lebih dari 6,5 SR dan waktu maksimum 60 menit setelah *mainshock*. Parameter gempa bumi yang digunakan adalah parameter dari data USGS yang telah valid. Selanjutnya akan dihitung nilai  $X_{eq}$ ,  $Y_{eq}$ ,  $M_w$ , luas fault dan slip.



**Gambar 1.** Episenter Mainshock dan Aftershock sebagai skenario pemodelan tsunami

Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam software *L-2008*. Setelah mendapatkan hasil perhitungan parameter gempa bumi, hasilnya akan diinput dalam software



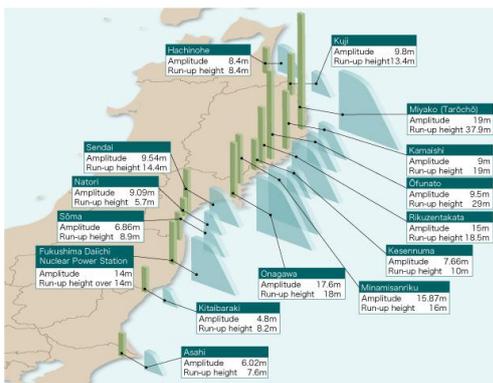
**Gambar 2.** Tampilan menu untuk menginput hasil perhitungan pada Magnitudo 9.0 SR

Hasil dari perhitungan diatas akan muncul *maximum tsunami heights map* yang menampilkan topografi, tinggi gelombang maksimum serta daerah-daerah yang terdampak tsunami yang diplot sehingga akan menghasilkan nilai seperti berikut:

No	Longitude	Latitude	Run-up	Amplitude
1	141.17349	37.16903	4.15909	1
2	141.17349	37.52837	11.95162	1
3	141.17349	37.88771	14.57750	1
4	141.05949	38.15721	10.35471	1
5	141.54449	38.23688	13.82838	1
6	141.68650	38.56146	20.88342	1
7	141.57850	39.32080	17.52698	1
8	142.19950	39.32506	8.21296	1
9	141.02550	37.22340	10.70277	1
10	142.19950	39.72931	2.48894	1
11	142.19950	40.04373	1.03914	1
12	141.05949	36.85461	1.41845	1
13				

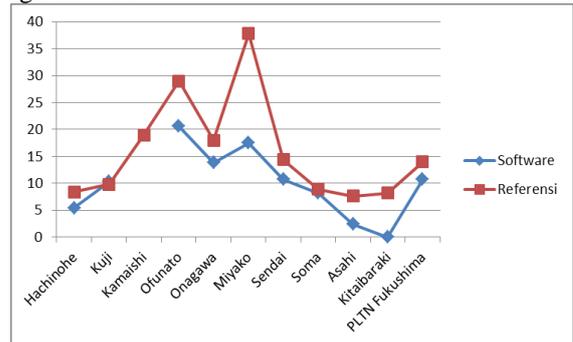
**Gambar 3.** Nilai Run Up pada plotting daerah yang paling terdampak tsunami, magnitudo gempa 9,0 SR.

Sebagai langkah validasi, maka nilai run up hasil keluaran software akan dibandingkan dengan referensi jurnal-jurnal ilmiah yang sebelumnya telah meneliti kasus ini.



**Gambar 4.** Peta run up sebagai langkah validasi hasil keluaran software.

Dari nilai *run up* pada tabel, maka grafik kesesuaian antara output software dengan referensi akan tampak sebagai berikut:

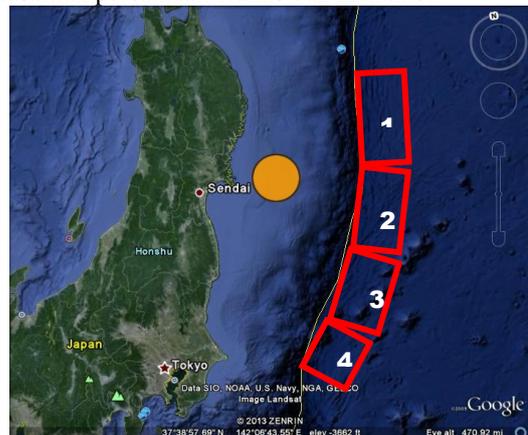


**Gambar 5.** Grafik kesesuaian hasil pemodelan klasifikasi Magnitudo dengan referensi.

Grafik diatas adalah pola distribusi run up hasil software dengan referensi. Dimulai dari gelombang 5 meter yang berada di Kota Hachinohe kemudian sama-sama naik secara signifikan hingga 30 meter. Gelombang tertinggi ada pada kota Miyako yaitu setinggi 37,8 meter namun software membaca hanya 14 meter saja. Setelah itu terlihat bahwa baik output software maupun referensi membentuk pola garis yang sama.

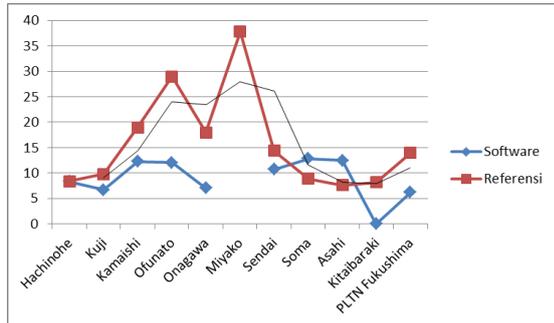
### Pemodelan Berdasarkan Klasifikasi Subfault

Untuk membuat skenario pemodelan tsunami yang dapat menghasilkan nilai *run up* yang akurat, maka disini juga menggunakan klasifikasi *subfault* dengan mengasumsikan *fault divided*. *Fault divided* diperlukan karena sebagai penutup keterbatasan software dalam mengolah luasan *fault* dan untuk memberikan informasi momen gaya seismik yang terdampak pada koordinat yang diamati dan berada pada posisi berhadapan dengan arah strike dari fault. Dapat dikatakan bahwa untuk mencari kemungkinan skenario pemodelan adalah, mencari kombinasi *slip* dari episenter. Misalnya, prioritas kombinasi skenario untuk Kota Sendai adalah sesar nomor 2 pada gambar. Setelah itu, parameter lain seperti, kedalaman, dip dan parameter lainnya akan mengikuti berdasarkan persamaan Hanks dan Kanamori.



**Gambar 6.** Luasan *fault divided* di sekitar *Plate Boundary* untuk skenario pemodelan tsunami.

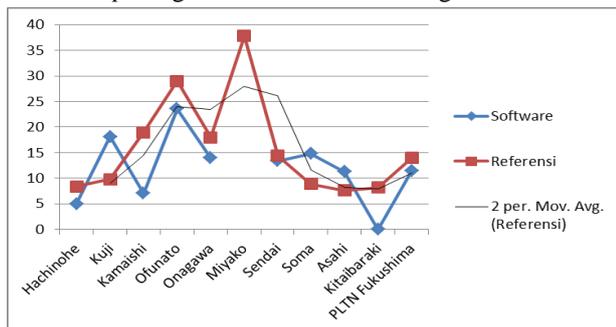
Maka akan memanipulasi nilai panjang dan lebar *fault* namun mempertahankan nilai  $M_0$  karena nilai  $M_0$  yang digunakan hanya magnitudo *mainshock*. Tujuannya adalah mendapatkan nilai *slip* yang sesuai agar nilai *Run Up* yang ditampilkan sama dengan referensi.



**Gambar 7.** Grafik kesesuaian berdasarkan pembagian *fault divided* pada subfault 1 dengan referensi

Subfault 1, dengan koordinat:  $39^{\circ}47'77''$ ,  $144^{\circ}4'44''$ , pada 10 titik pengamatan, hanya 2 titik yang tidak terplot oleh software yaitu pada Kota Miyako dan Kitaibaraki. Walau besar *run up* antara software dan referensi kurang akurat, namun pola garis tetap membentuk pola yang sama. Hasil nilai *run up* hasil plotting pada subfault 1, tampak bahwa *run up* terendah adalah 5,02 m yaitu sekitar kota Kuji di Prefektur Iwate. Dan *run up* tertinggi 18,19 m berada pada kota Miyako.

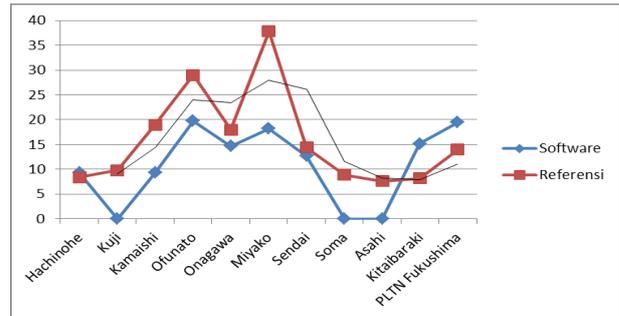
Pada pemodelan subfault 2 dengan koordinat  $37^{\circ}47'77''$ ,  $143^{\circ}38'54''$ , untuk grafik kesesuaian antara nilai *run up* dengan referensi adalah sebagai berikut:



**Gambar 8.** Grafik kesesuaian hasil software berdasarkan pembagian *fault divided* pada subfault 2 dengan referensi

Di 10 titik pengamatan, Kota Miyako juga tidak terplot oleh software. Pada subfault ini, pola grafik dari hasil validasi antara *run up* hasil pemodelan dan referensi menunjukkan pola yang mendekati. Hasil nilai *run up* hasil plotting pada subfault 2, tampak bahwa *run up* terendah adalah 6,28 m yaitu sekitar kota Kitaibaraki. Dan *run up* tertinggi 14,37 m berada pada prefektur Miyagi.

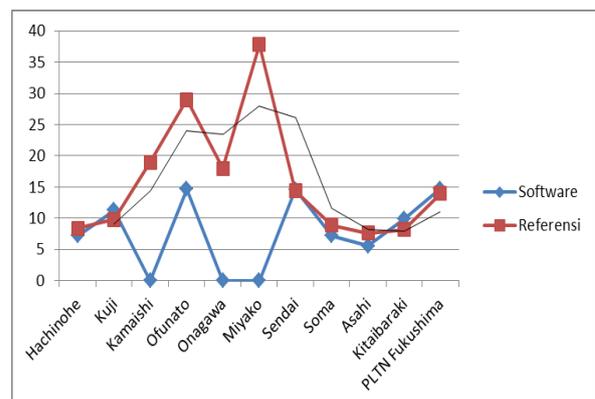
Pada pemodelan subfault 3, dengan koordinat  $35^{\circ}55'5''$ ,  $142^{\circ}28'41''$  untuk grafik kesesuaian antara nilai *run up* dengan referensi adalah sebagai berikut:



**Gambar 9.** Grafik kesesuaian serta nilai gradien dan error antara hasil software berdasarkan pembagian *fault divided* pada subfault 3 dengan referensi

Subfault ini, terdapat 3 titik yang tidak terplot oleh software yaitu Kota Kuji, Soma dan Asahi. Ketinggian *run up* pada Kota Miyako pun kurang akurat, namun secara keseluruhan, pola garis tetap membentuk pola yang hampir sama walaupun berbeda nilai ketinggian *run up*. Nilai *run up* hasil plotting pada subfault 3, tampak bahwa *run up* terendah adalah 7,94 m yaitu sebelah tenggara Prefektur Fukushima. Dan *run up* tertinggi hingga 20,32 m berada pada prefektur Ibaraki.

Pada pemodelan subfault 4 dengan koordinat  $33^{\circ}38'57''$ ,  $141^{\circ}40'43''$ , untuk grafik kesesuaian antara nilai *run up* dengan referensi adalah sebagai berikut:



**Gambar 10.** Grafik kesesuaian serta nilai gradien dan error antara hasil software berdasarkan pembagian *fault divided* pada subfault 3 dengan referensi

Kota Kamaishi, Onagawa dan Miyako tidak terplot oleh software, namun jika terplot, pola garis akan membentuk pola yang presisi. Karena di 7 titik yang lain, nilai *run up* semuanya mendekati.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan yaitu pada analisis distribusi gempa untuk 4 daerah di wilayah timur pulau Honshu, maka kompresi yang paling dominan adalah bagian barat dari plate boundary sekitar pulau Honshu. Pada klasifikasi menurut besar magnitudo

mainshock yaitu 9,0 SR, diperoleh slip sebesar 62 m menghasilkan nilai run up terendah adalah 1,41 m di prefektur Ibaraki dan nilai run up tertinggi mencapai 20,88 m tepatnya di daerah Miyako. Pada klasifikasi menurut luasan fault divided, diperoleh slip rata-rata sebesar 58,5 m rata-rata nilai run up terendah yaitu 6,18 m nilai rata-rata run up tertinggi mencapai 17,19 m. Berdasarkan skala Imamura, maka jelas terjadi kerusakan yang signifikan di daerah yang terdampak oleh run up tertinggi. Tingkat ketinggian rata-rata run up terendah dan tertinggi saat aftershock dengan magnitudo 7,9, 7,7, dan 6,7 adalah 0,26 m dan 0,48 m. Berdasarkan skala Imamura jadi dapat dinyatakan bahwa gelombang air laut turun drastis hingga mencapai normal saat aftershock sehingga tidak menimbulkan kerusakan yang signifikan.

### **Saran**

Diperlukan variasi luasan fault divided lebih banyak pada plate boundary sepanjang Pulau Honshu untuk mendapatkan besar slip agar nilai run up dapat sesuai yang kita inginkan serta diperlukan data batimetri dengan resolusi yang lebih tinggi agar hasil simulasi tsunami lebih akurat.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Hanks, Thomas C, Hiroo Kanamori. 1979. "Moment Magnitude Scale" *Journal of Geophysical Research* 84 (B5): 2348–2350. Retrieved 2007-10-06.

Miller, Russel and The Editors of Time. 1990. "Life Books Planets Earth" Continents in Collision. Amsterdam: Time – Life Books.

Nakamura, M. 2006. "Source fault model of the 1771 Yaeyama Tsunami- Southern Ryukyu island Japan Inferred from Numerical Simulation" and 2009. "Tsunami Numerical Simulation" *International Journal of Pure Appl. Geophysics*, 163, 41-54 and *Journal of Ryukyu University*. Vol. 17, No. 1, 18-22.

..... 2009. "Tsunami Numerical Simulation" *Journal of Ryukyu University*. Vol. 17, No. 1, 18-22.

Oreskes, Naomi (ed). 2003. "Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth". *Journal of Westview Physical Agents*, ISBN 0813341329.

Papazachos, B.C., Scordilis, E.M., Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C.B., and Karakaisis, G.F., 2004." Global Relations between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes". *Bulletin of Geophysics Soc. Greece*, Vol. XXXVI. Proceedings of the 10 International Congress, Thessaloniki, April 2004<sup>Th</sup>.

Setyonegoro, W. 2011. "Tsunami Numerical Simulation Applied to Tsunami Early Warning System Along Sumatra Region". *Jurnal Meteorologi dan Geofisika BMKG*. Wiko Setyonegoro. Vol.12.No.1, Hal : 21 -32, Mei 2011.

....., 2011. "Source Analysis of Earthquake on Deformation Processing of Earth Crust Causing Tsunami Potential on a Java Island". *Jurnal Meteorologi dan Geofisika BMKG*, Vol. 7, No. 4, 241-248.

..... 2011. "Pengaruh Profil Kedalaman Lautan Pada Penjalaran Tsunami (Studi Kasus : Gempabumi Aceh 11 April 2012)". *Jurnal edisi ke-8 Prosiding Seminar Scientific Jurnal Club*, Vol. 7, Hal 105 – 110.

Watts, P. Epstein, W. 2011. "The Tohoku Tsunami: Tsunami Hazard and Risk Assesment". *Journal of Lloyd's Register*. Vol. 6.

Wei, D., Seno. T. 1993. "Tectonic Setting and Evolution of Japan Region". *Journal of Nuclear Waste Management Organization of Japan*, Vol. 6, 29-32.

Wells, D.L., dan Coppersmith, K.J.. 1994. "New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, and Surface Displacements". *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 84, p. 974–1002.