

ESTIMASI DURASI, ARAH DAN PANJANG *RUPTURE* SERTA LOKASI-LOKASI GEMPA SUSULAN MENGGUNAKAN PERHITUNGAN CEPAT

Madlazim

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Surabaya
(UNESA) Jl. Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia.

e-mail: lazim@fisikaunesa.net

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengestimasi durasi *rupture* gempabumi yang terjadi di lautan Hindia (Aceh, Mentawai dan Jawa) yang selama ini dikenal rawan terjadi tsunami yang diakibatkan gempabumi. Kedua, untuk mengestimasi arah *rupture* dan lokasi-lokasi terjadinya gempa susulan. Estimasi durasi *rupture* gempabumi dikerjakan dengan menggunakan prosedur langsung, yaitu (1) memfilter seismogram kecepatan komponen vertikal yang direkam oleh jaringan IRIS-DMC dengan menggunakan filter Butterworth pada frekuensi tinggi (1 – 5 Hz), (2) melakukan *picking* waktu kedatangan gelombang P secara otomatis, (3) menentukan *root mean square* (RMS) dari amplitudo, (4) mengukur keterlambatan waktu kedatangan gelombang P pada 90% ($T_{0,9}$), pada 80% ($T_{0,8}$), pada 50% ($T_{0,5}$) dan pada 20% amplitudo ($T_{0,2}$), dan (5) menghitung dan menampilkan hasil perhitungan durasi *rupture* secara cepat. Berdasarkan hasil analisis dalam riset ini dapat diketahui bahwa durasi *rupture* gempabumi dapat diestimasi secara cepat ($\pm 0,5$ menit setelah gempa bumi terjadi) dan akurat. Selain itu, didapatkan informasi bahwa durasi *rupture* gempabumi memberikan informasi ekstra, yaitu jika durasi *rupture* gempabumi lebih besar atau sama dengan 50 detik, gempabumi tersebut berpotensi menimbulkan gempa bumi. Bahkan untuk gempabumi dengan tipe *faulting*-nya *strike-slip* bisa berpotensi menimbulkan tsunami jika durasi *rupture*-nya lebih besar dari 50 detik. Durasi *rupture* juga memberi informasi tentang arah dan panjang *rupture*, sehingga lokasi-lokasi yang berpeluang terjadi gempa bumi susulan dapat diestimasi.

Kata kunci: Perhitungan cepat, durasi *rupture*, arah dan panjang *rupture*, peringatan dini tsunami.

1. Latar Belakang

Peringatan dini tsunami yang efektif untuk gempabumi yang terjadi di dekat garis pantai membutuhkan waktu sekitar 3 – 10 menit setelah *origin time* (OT) gempabumi untuk mengumumkan apakah gempa bumi tersebut berpotensi terjadi tsunami atau tidak. Beberapa lembaga seismologi dunia seperti Japan Meteorology Agency (JMA), the Indonesian tsunami early warning system (Ina-TEWS) dan West Coast and Alaska (WCATWC), Pasific (PTWC) Tsunami Warning Centres pertama kali mengidentifikasi gempabumi-gempabumi yang berpotensi menimbulkan tsunami berdasarkan parameter-parameter gempabumi seperti lokasi, kedalaman dan magnitudo yang ditentukan secara cepat. JMA mengumumkan peringatan dini tsunami untuk masyarakat Jepang sekitar 3 menit setelah OT untuk gempabumi yang menimbulkan tsunami dengan ketinggian 0,5 meter atau lebih. Ina-TEWS mengumumkan peringatan dini tsunami sekitar 5 menit setelah OT. WCATWC dan PTWC mengeluarkan peringatan dini tsunami sekitar 5 – 10 menit setelah OT untuk gempa bumi dangkal yang terjadi di bawah laut Amerika Utara dan Pasifik dengan magnitudo (M_w) $\geq 7,5$ (Hirshorn and Weinstein, 2009).

Data gempabumi telah menunjukkan bahwa walaupun kriteria tersebut sudah terpenuhi, tetapi tidak semua gempa bumi tersebut dapat menimbulkan tsunami. Beberapa gempa bumi dengan magnitudo kurang dari 7 bisa menimbulkan tsunami. Ina-TEWS pernah mengeluarkan peringatan dini tsunami setelah 5 menit setelah OT untuk gempabumi 25 Oktober 2010 yang terjadi di Mentawai, tetapi satu jam kemudian peringatan tersebut dicabut.

Padahal, ratusan warga Kepulauan Mentawai sebenarnya tengah bergelut dengan maut.

Kinerja peringatan dini tsunami perlu terus diperbaiki (Kumar *et al.*, 2010). Perbaikan kinerja antara lain bisa menggunakan parameter selain yang digunakan sebagai indikator potensi tsunami selama ini. Yaitu parameter gempabumi yang telah memiliki pengaruh yang lebih kuat sebagai penyebab terjadinya tsunami. Lomax dan Michelini (2009b; 2011) telah menemukan bahwa parameter panjang *rupture* dari suatu gempa bumi merupakan parameter yang paling dominan sebagai penyebab tsunami. Dalam seismologi, telah diketahui bahwa panjang *rupture* sebanding dengan durasi *rupture* gempa bumi tersebut, sehingga durasi *rupture* gempa bumi bisa digunakan untuk peringatan dini dari tsunami (Geist dan Yoshioka, 1996; Geist and Parsons, 2005; Olson and Allen, 2005). Dengan menggunakan parameter durasi *rupture* ini, dalam rentang waktu yang sangat singkat, setelah gempa bumi terjadi, peringatan dini tsunami ini sudah bisa diumumkan. Yang menjadi tantangan adalah bagaimana mengestimasi durasi *rupture* gempabumi secara cepat dan akurat? Penulis telah berhasil mengestimasi durasi *rupture* gempabumi secara cepat dan akurat dalam waktu sekitar 0,5 menit setelah seismogram vertical gempabumi tersedia.

2. Mekanisme Tsunami dan Durasi Rupture

Tsunami dapat dibangkitkan oleh gempabumi yang terjadi di bawah dasar laut. Tsunami jenis ini paling sering terjadi. Tsunami juga bisa disebabkan oleh letusan gunung api di bawah laut (jarang terjadi), tanah longsor di dasar

laut (jarang terjadi) dan jatuhnya komet/meteorit besar di laut, belum pernah terjadi, tetapi terjadi dalam sebuah film (Rais, 2006). Pada pembahasan ini dibatasi bahwa tsunami yang terjadi disebabkan oleh gempabumi tektonik.

Energi elastik yang tersimpan di dalam bumi dilepaskan ketika terjadi gempa bumi dan selanjutnya energi ini ditransfer menjadi gelombang tsunami. Gelombang tsunami yang dipicu oleh gempabumi merupakan bahaya ikutan yang dapat menghancurkan dan menghanyutkan bangunan-bangunan di tepi pantai. Dengan demikian, setelah terjadi gempabumi kemudian apakah gempabumi tersebut dapat memicu terjadinya tsunami atau tidak sangat tergantung pada besar energi dan karakteristik dari sumber gempa bumi tersebut. Gambar 1 menunjukkan bahwa tsunami dipicu oleh gempa bumi yang terjadi di dasar laut yang memiliki mekanisme fokal *reverse*, dimana salah satu blok sesar bergerak ke atas sehingga air terdorong ke atas dengan kecepatan sekitar 800 km/jam.

Rupture gempa bumi dipengaruhi oleh energi yang dilepaskan oleh sumber gempa bumi tersebut. Dalam teori seismologi, energi yang dilepaskan oleh sumber gempa bumi diilustrasikan sebagai momen seismik (M_0) yang mengakibatkan terbentuknya luas dan rata-rata panjang slip dari *rupture*. *Rupture* yang diakibatkan oleh energi sumber gempa bumi tersebut bisa dinyatakan dalam variabel panjang (L), lebar (W) dan jarak slip (D) dari *rupture*. Hubungan antara M_0 dengan L , W dan D dinyatakan oleh persamaan:

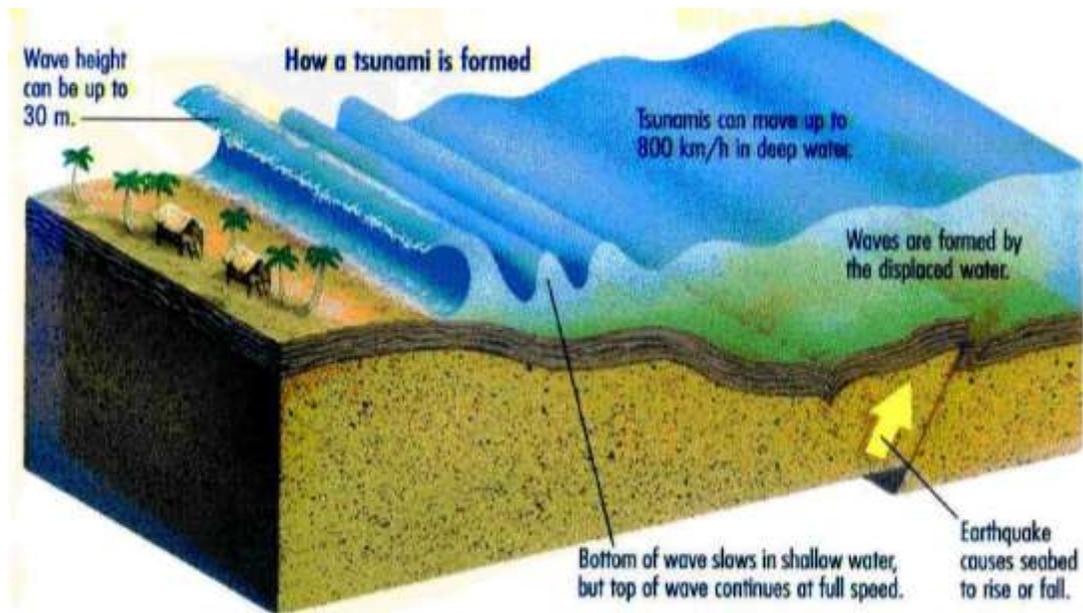
$$M_0 = GLWD \quad (1)$$

dengan parameter G merupakan modulus geser di pusat sumber gempa bumi. Telah ditemukan oleh Lomax dan Michelini (2009b; 2011) bahwa parameter L dari *rupture* merupakan parameter yang paling dominan pengaruhnya terhadap terjadinya tsunami. Lomax and Michelini (2009b; 2011) juga telah menemukan hubungan antara L dan durasi *rupture* yang bisa dinyatakan bahwa durasi *rupture* sebanding dengan panjang *rupture*. Untuk mengukur panjang *rupture* diperlukan metode yang kompleks dan membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama, sehingga tidak layak digunakan untuk peringatan dini tsunami. Sedangkan untuk mengestimasi durasi *rupture* bisa dilakukan dengan cara menganalisis seismogram-seismogram grup gelombang P yang dominan dari seismogram frekuensi tinggi dari gempa-gempa bumi.

Gelombang seismik P adalah sinyal pertama dari suatu gempa bumi yang diterima oleh stasiun perekam. Pengalaman telah menunjukkan bahwa seismogram frekuensi tinggi (periode < 1 s) mengandung sinyal-sinyal utama dari gelombang P yang dipancarkan secara langsung dari *rupture* dengan sedikit interferensi dari gelombang yang terpantul pada permukaan bumi yang disebut fase sP. Dengan demikian, dalam rekaman gelombang P frekuensi tinggi terdapat sekitar setelah 2 - 10 menit setelah even yang memberikan informasi tentang awal sampai akhir dari proses *rupture* (Lomax and Michelini, 2005). Dengan asumsi bahwa kecepatan *rupture* suatu gempa bumi besar adalah konstan sepanjang permukaan sesar. Asumsi ini memberi konsekuensi untuk gempa bumi besar kecepatan, rata-rata slip dan lebar *rupture* sama untuk semua even, sehingga hanya panjang *rupture*

(L) saja yang memberi pengaruh yang paling dominan terhadap proses *rupture*. Panjang *rupture* ini berhubungan secara langsung dengan parameter durasi *rupture* dari gelombang P utama (T_{dur}). Hubungan ini dapat dinyatakan T_{dur} sebanding dengan L/v_r , dengan v_r adalah kecepatan *rupture* yang sebanding dengan kecepatan gelombang S. Dalam penelitian ini, digunakan nilai v_s pada kedalaman sekitar 2 km di bawah permukaan laut adalah 3,1 km/detik (Madlazim *et al.*, 2010a). Sedangkan

dalam Seismologi, telah diketahui bahwa v_r sebanding dengan z^q (z : kedalaman dan q : koefisien yang bernilai positif), sehingga hubungan L dan z bisa menyatakan bahwa T_{dur} sebanding dengan L/z^q (Lomax and Michelini, 2011). Persamaan ini memberi ilustrasi bahwa T_{dur} memberi informasi penting tentang L dan z , yang terpenting adalah semakin besar T_{dur} , semakin besar L dan semakin kecil z . Dua kondisi ini merupakan karakteristik dari kriteria potensi tsunami.



Gambar 1. Mekanisme tsunami yang dipicu oleh gempa bumi (Rais, 2006) .

3. Metode Estimasi Durasi *Rutur*

Seismogram frekuensi tinggi mengandung kelompok gelombang P yang lebih banyak jumlahnya, sehingga pencarian durasi *rupture* gempabumi yang diwakili oleh kelompok gelombang P memenuhi syarat representatif dalam mengestimasi durasi *rupture* dari suatu

gempa bumi (Lomax, A. and Michelini, 2009a).

Algoritma yang digunakan untuk mengestimasi durasi *rupture* adalah: (1) menyediakan seismogram komponen vertikal dari kecepatan gerakan tanah dalam format SAC (Goldstein and Snoko, 2005) sebagai *raw data*; (2)

menerapkan 4-pole dan filter *band-pass* Butterworth 1 – 5 Hz untuk mendapatkan seismogram rekaman kecepatan pada HF untuk masing-masing stasiun; (3) mengkonversi seismogram HF tersebut menjadi *velocity-squared envelopes* untuk mendapatkan *rms* amplitudo; (4) melakukan *picking* atas *arrival time* dari gelombang P secara otomatis pada seismogram HF tersebut; (5) mengukur delay waktu setelah kedatangan gelombang P untuk 90% ($T^{0,9}$), 80% ($T^{0,8}$), 50% ($T^{0,5}$) dan 20% ($T^{0,2}$) dari nilai puncaknya; dan (6) menghitung durasi *rupture*, T_{dur} untuk stasiun tersebut dengan menggunakan persamaan:

$$T_{dur} = (1-w) T^{0,9} + w T^{0,2}.$$

(2)

dengan,

$$w = [(T^{0,8} + T^{0,5})/2 - 20]/40 \text{ s}$$

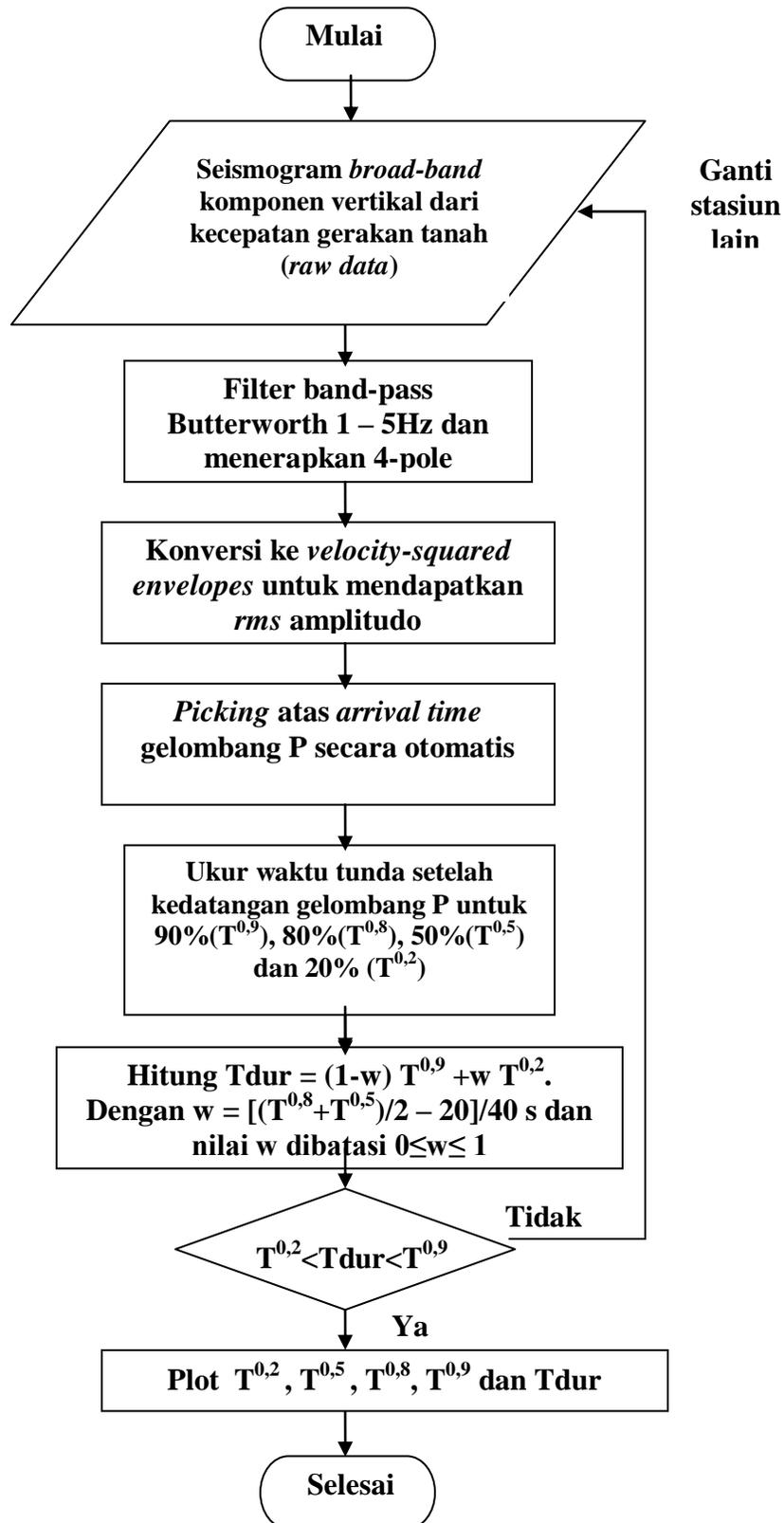
(3)

dan nilai w dibatasi $0 \leq w \leq 1$ (Lomax & Michelini, 2009a); (7) plot $T^{0,2}$, $T^{0,5}$, $T^{0,8}$, $T^{0,9}$ dan T_{dur} pada seismogram.

Untuk masing-masing gempa bumi, telah digunakan enam sampai 15 stasiun seismik yang merekam seismogram vertikal yang memiliki GCD mulai 2° hingga 30° (lokal hingga regional). Algoritma tersebut dipaparkan dalam bentuk diagram alir (Gambar 2).

Algoritma pada gambar 3 diimplementasikan ke dalam *software* SeisGram2k (Lomax and Michelini, 2009a) untuk mendapatkan seismogram frekuensi tinggi yang menggunakan filter *band-pass Butterworth* 1 – 5 Hz, *velocity-squared envelopes* untuk mendapatkan *rms* amplitudo, melakukan *picking arrival time* dari gelombang P secara otomatis, mendapatkan $T^{0,9}$, $T^{0,8}$, $T^{0,5}$ dan $T^{0,2}$ dari *rms* amplitudo dan menghitung T_{dur} .

Seismogram *broad-band* komponen vertikal dari kecepatan gerakan tanah (*raw data*) yang digunakan untuk mengestimasi durasi *rupture* diunduh dari jaringan kerja IRIS-DMC. Jaringan tersebut masing-masing memiliki stasiun-stasiun seismik yang tersebar di seluruh Indonesia dan dunia



Gambar 2. Bagan alir metodologi estimasi durasi *rupture* gempa bumi. (Madlazim, 2011a,b)

4. Metode Estimasi Arah dan panjang Rupture

Untuk mengestimasi arah *rupture* digunakan sinyal periode pendek yang telah direkam oleh dua pasang stasiun. Masing-masing pasangan stasiun berjarak sama atau hampir sama dari episenter, tetapi kedua stasiun berada pada posisi (azimut) yang berlawanan terhadap episenter. Kemudian sinyal-sinyal tersebut difilter dengan menggunakan Butterworth frekuensi tinggi, 1 – 5 Hz.

Sebagai contoh, untuk mengestimasi arah durasi *rupture* dari gempa bumi Aceh, 26 Desember 2004 digunakan pasangan stasiun yang berjarak hampir sama dengan episenternya, yaitu PALK dan COCO serta pasangan ABKT dan WRAB.

Untuk gempa bumi Mentawai menggunakan pasangan stasiun KURK dan TAU serta pasangan MCQ dan KIV. Sedangkan untuk gempa bumi di Jawa menggunakan pasangan stasiun MBAR dan AFI serta pasangan stasiun MSEY dan HNR. Masing-masing pasangan stasiun diestimasi dulu durasi *rupture*-nya kemudian dibandingkan dengan durasi *rupture* dari sinyal yang direkam oleh stasiun pasangannya. Bila durasi *rupture* sinyal yang direkam oleh stasiun lebih kecil dari sinyal yang direkam oleh stasiun pasangannya, maka bisa diinterpretasikan bahwa arah *rupture* menuju ke stasiun tersebut (<http://alomax.free.fr/posters/sasia/rupture/rupture.html>).



Gambar 3. Distribusi stasiun yang digunakan untuk mengestimasi arah *rupture* (bintang) dan titik merah adalah episenter gempa bumi Aceh, Mentawai dan Jawa).

5. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Hasil estimasi cepat durasi rupture gempa bumi Aceh, 26 Desember 2004

No.	Nama Stasiun	Jarak (°)	Azimuth (°)	Tdur (s)
1	ABKT	48,83	319	447
2	WRAB	44,20	123	572
3	PALK	15,71	285	460
4	COCO	15,41	176	553

Durasi *rupture* sinyal dari stasiun ABKT lebih kecil (Tabel 1) dibandingkan sinyal yang direkam oleh stasiun WRAB dan durasi *rupture* sinyal dari PALK lebih kecil dibandingkan durasi rupture yang direkam oleh COCO. Stasiun ABKT dan PALK berada pada posisi barat laut

(NNW) dari episenter. Sehingga bisa diinterpretasikan bahwa arah *rupture* mengarah ke barat laut. Hasil ini didukung oleh lokasi-lokasi gempa susulan dari gempa bumi Mentawai tersebut (Gb. 4).

Tabel 2. hasil estimasi cepat durasi rupture gempa bumi Mentawai, 25 Oktober 2010

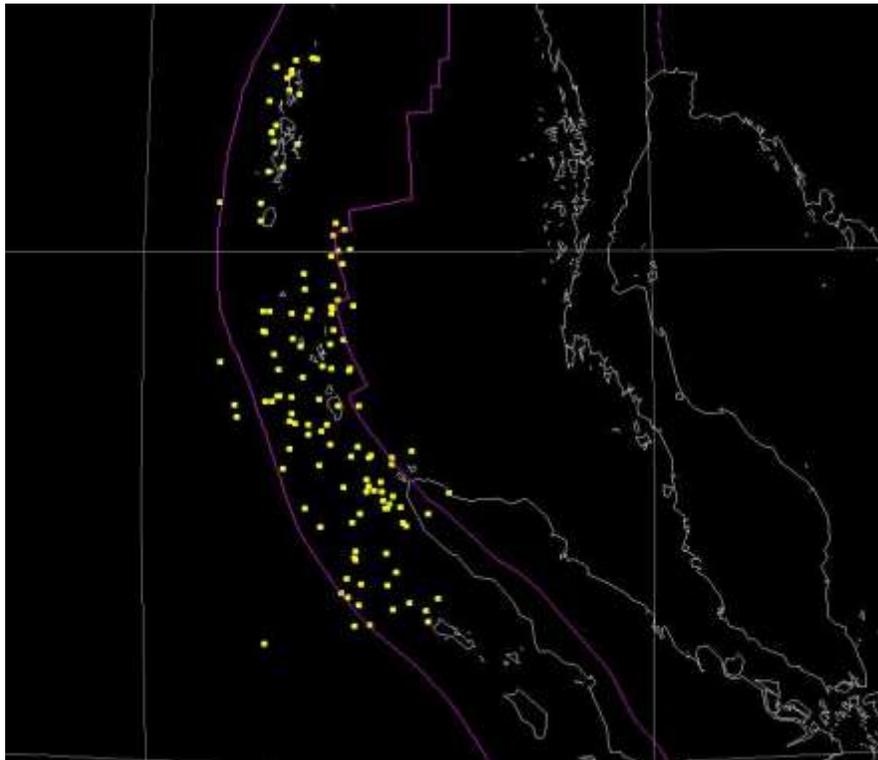
No.	Nama Stasiun	Jarak (°)	Azimuth (°)	Tdur (s)
1	MCQ	69,51	147	193
2	KIV	69,72	319	94
3	KURK	57,05	343	120
4	TAU	57,39	140	139

Dua stasiun yang berada pada posisi di sebelah barat laut dari episenter gempa bumi Mentawai (KIV dan KURK) merekam sinyal yang durasi rupturenya lebih kecil (Tabel 2) dibandingkan sinyal yang direkam oleh pasangannya masing-masing (MCQ dan TAU). Maka dapat disimpulkan bahwa arah *rupture* dari gempa bumi Mentawai ke Barat Laut (NNW).

Dua stasiun yang berada pada posisi di sebelah Timur dari episenter (HNR dan AFI) merekam sinyal yang durasi *rupture*-nya lebih kecil (Tabel 3) dibandingkan dengan sinyal yang direkam oleh pasangannya masing-masing (MSEY dan MBAR). Maka dapat disimpulkan bahwa arah *rupture* dari gempa bumi Jawa tersebut ke arah Timur.

Tabel 3. hasil estimasi cepat durasi rupture gempa bumi Jawa, 17 Juli 2006

No.	Nama Stasiun	Jarak ($^{\circ}$)	Azimuth ($^{\circ}$)	Tdur (s)
1	MSEY	51,71	271	242
2	HNR	51,80	94	168
3	MBAR	76,75	271	181
4	AFI	78,98	102	127



Gambar 4. Lokasi gempa susulan (kuning) dari gempa utama do Aceh, 26 Desember 2004.

6. Kesimpulan

Durasi *rupture* memberikan informasi lebih terhadap informasi peluang terjadinya tsunami. Jika gempabumi terjadi dengan durasi rupture lebih besar dari 50 detik, maka gempa bumi tersebut berpotensi menimbulkan tsunami. Semakin lama durasi *rupture* suatu gempabumi, maka berarti gempabumi tersebut semakin panjang *rupture*-nya. Durasi *rupture* juga

memberi informasi tentang arah dan panjang *rupture*, sehingga lokasi-lokasi yang berpotensi terjadi gempa bumi susulan dapat diestimasi secara lebih cepat dan bisa segera diumumkan kepada masyarakat.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada IRIS DMC (<http://www.iris.edu>) yang telah menyediakan akses seismogram yang

digunakan dalam penelitian ini. Lebih lanjut, saya juga berterima kasih kepada Anthony Lomax yang telah memberi pemahaman dan bimbingan perhitungan durasi *rupture* secara cepat dengan menggunakan software SeisGram2k (<http://alomax.free.fr/software.html>).

Referensi

1. Aydan, O., 2008. Seismic and tsunami hazard potential in Indonesia with a spatcial emphasis on Sumatra island, *Journal of The School of Marine Science ans Technology, Tokai University*, 6 (3), 19-38.
2. Madlazim, Bagus Jaya Santosa, Jonathan M. Lees and Widya Utama, 2010. Earthquake Source Parameters at Sumatran Fault Zone: Identification of the Activated Fault Plane, *Cent. Eur. J. Geosci.*,2(4),2010.DOI:10.2478/v10085-010-0016-5.
3. Madlazim, 2011a. CMT, Fault Plane and Rupture Duration for Earthquakes in Sumatra and Possibility of its Implementation for Tsunami Early Warning System, PhD Program of Technology Sepuluh Nopember Institute (ITS) Surabaya. Dissertation.
4. Madlazim, 2011b. TOWARD INDONESIAN TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM BY USING RAPID RUPTURE DURATIONS CALCULATION, *INTERNATIONAL JOURNAL SCIENCE OF TSUNAMI HAZARDS*, 4(30).
5. Baeda, A. Y., 2011. Seismic and Tsunami Hazard Potential in Sulawesi Island, Indonesia, *Journal of International Development and Cooperation*, Vol. 17, No. 1, 2011, pp. 17-30.
6. Brune, S., Babeyko, A.Y., Ladage, S., and Sobolev, S. V., 2010. Landslide tsunami hazard in the Indonesian Sunda Arc, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 589–604.
7. Kruger, F. and Ohrnberger, M., 2005. Tracking the rupture of the Mw 9.3 Sumatra earthquake over 1150 km at teleseismic distance, *Nature*, 435, 937–939, doi:10.1038/nature03696.
8. Lay, T., Kanamori, H., Ammon, C. J., Nettles, M., Ward, S. N., Aster, R. C., Beck, S. L., Bilek, S. L., Brudzinski, M. R., Butler, R., DeShon, H. R., Ekstrom, G., Satake, K. and Sipkin, S., 2005. The great Sumatra- Andaman earthquake of 26 December 2004, *Science*, 308, 1127–1133.
9. Ishii, M., Shearer, P. M., Houston, H., and Vidale, J. E., 2005. Extent, duration and speed of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake imaged by the Hi-Net array, *Nature*, 435, 933–936, 2005.
10. Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Hilman, D., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., Ridwan, M., 2010. Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, Bandung.
11. Pribadi, S., 2008. Indonesia Tsunami Early Warning System for

Disaster Mitigation,
الندوة الدولية عن إدارة الكوارث

12. Lomax, A., Michelini, A. & Piatanesi, A., 2007. An energy-duration procedure for rapid determination of earthquake magnitude and tsunamigenic potential, *Geophys. J. Int.*, 170, 1195–1209, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03469.x.
13. Lomax, A. & Michelini, A., 2009a. Mwpd: a duration-amplitude procedure for rapid determination of earthquake magnitude and tsunamigenic potential from P waveforms, *Geophys. J. Int.*, 176, 200–214, doi:10.1111/j.1365-246X.2008.03974.x.
14. Lomax, A. & Michelini, A., 2009b. Tsunami early warning using earthquake rupture duration, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L09306, doi:10.1029/2009GL037223.
15. Lomax, A. and A. Michelini, 2011. Tsunami early warning using earthquake rupture duration and P-wave dominant period: the importance of length and depth of faulting, *Geophys. J. Int.* 185, 283-291, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04916.x.
16. Hara, T., 2007. Measurement of the duration of high-frequency energy radiation and its application to determination of the magnitudes of large shallow earthquakes, *Earth Planets Space*, 59, 227–231.
17. Okal, E.A., 1988. Seismic parameters controlling far-field tsunami amplitudes: a review, *Nat. Hazards*, 1, 67–96.
18. Geist, E. and Yoshioka, S., 1996. Source Parameters Controlling the Generation and Propagation of Potential Local Tsunamis, *Natural Hazards* 13: 151-177.
19. Gomez, J.M., Madariaga, R., Walpersdorf, A., and Chalard, E., 2000. The 1996 Earthquakes in Sulawesi, Indonesia, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 3, pp. 739–751.
20. Bilek, S. L. and Lay, T., 1999. Rigidity variations with depth along interplate megathrust faults in subduction zones, *NATURE*, Vol. 400, 29 July 1999, www.nature.com.
21. Geist, E.L. & Bilek, S.L., 2001. Effect of depth-dependent shear modulus on tsunami generation along subduction zones, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1315–1318, doi:10.1029/2000GL012385.
22. Nakamura, Y., 1988. On the urgent earthquake detection and alarm system (UrEDAS), in *Proc. of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo-Kyoto, Japan.