

# Mapping of tsunami prone areas in coastal region of Kema, North Sulawesi

## Pemetaan daerah rawan tsunami di wilayah pesisir Kema, Sulawesi Utara

Slamet Suyitno Raharjo<sup>1\*</sup>, Gybert E. Mamuya<sup>2</sup>, and Lawrence J.L. Lumingas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Perairan, Program Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat Kleak, Manado 95115, Sulawesi Utara, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado

\* E-mail: stageof\_mdo@yahoo.com

**Abstract:** Kema coastal region is a coastal tourist area quite a lot of visitors especially during the holidays. Most of the population in this region is fishing. This region had experienced 4 meter tsunami on 6 September 1889 by an earthquake with a magnitude of 8.0 on the Richter scale in the Moluccas Sea epicenter position  $\pm 72$  km southeast of Kema. The earthquake caused a tsunami that has the potential to re-occur in the future. The purpose of this study was to calculate how much the maximum magnitude earthquakes likely to occur in the Moluccas Sea and map the run-up tsunami caused by the earthquake in Coastal Areas of Kema. Calculation of maximum magnitude and tsunami run-up using the relationship between the frequency and magnitude of the Gutenberg-Richter earthquake and Imamura tsunami software, then run up the tsunami mapped using GIS software. Generated that could potentially occur in the Moluccas Sea earthquake with a magnitude of 8.5 on the Richter scale can cause a tsunami to hit the coast Kema Beach area on 10 minutes after the earthquake, the tsunami run-up heights reached 13.9 meters. Mapping the tsunami run-up showed that the entire coastal region of Kema is tsunami prone areas©

**Keywords:** earthquake; Richter scale; tsunami; Kema; North Sulawesi.

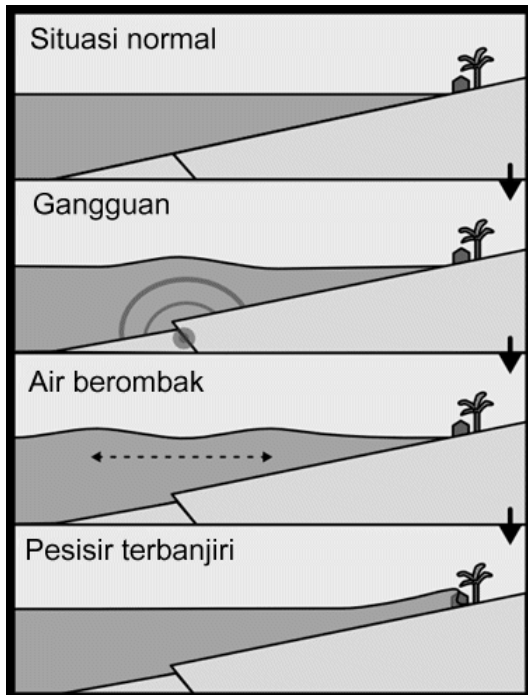
**Abstrak:** Wilayah pesisir Kema merupakan kawasan wisata pantai yang cukup banyak pengunjungnya terutama pada saat hari libur. Sebagian besar penduduk di wilayah ini adalah nelayan. Wilayah ini pernah mengalami tsunami 4 meter pada tanggal 6 September 1889 akibat gempa bumi dengan magnitudo 8,0 Skala Richter di Laut Maluku dengan posisi pusat gempa  $\pm 72$  km tenggara Kema. Gempa bumi yang menimbulkan tsunami ini berpotensi terulang kembali pada waktu yang akan datang. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menghitung berapa besar magnitudo maksimum gempa bumi yang berpeluang terjadi di Laut Maluku dan memetakan *run up* tsunami akibat gempa bumi tersebut di wilayah pesisir Kema. Perhitungan magnitudo maksimum dan *run up* tsunami menggunakan hubungan antara frekuensi dan magnitudo gempa bumi Gutenberg-Richter, serta software tsunami Imamura, yang kemudian *run up* tsunami dipetakan dengan menggunakan software GIS. Diharapkan bahwa di Laut Maluku berpotensi terjadi gempa bumi dengan magnitudo 8,5 Skala Richter yang dapat menimbulkan tsunami hingga melanda di pantai wilayah pesisir Kema pada menit ke 10 setelah kejadian gempa bumi, dengan ketinggian *run up* tsunami mencapai 13,9 meter. Pemetaan *run up* tsunami tersebut menunjukkan bahwa seluruh wilayah pesisir Kema adalah daerah rawan tsunami©

**Kata-kata kunci:** gempa bumi; skala Richter; tsunami; Kema; Sulawesi Utara.

## PENDAHULUAN

Istilah “tsunami” berasal dari kosa kata Jepang “tsu” yang berarti gelombang dan “nami” yang berarti pelabuhan, sehingga secara bebas, “tsunami” diartikan sebagai gelombang laut yang melanda pelabuhan atau daratan. Menjadi bagian bahasa dunia, setelah gempa besar 15 Juni 1896, yang menimbulkan tsunami besar melanda kota pelabuhan Sanriku (Jepang) dan menewaskan

270.000 orang serta merusak pantai barat Honshu sepanjang 280 km (Anonymous, 2004). Tsunami adalah serangkaian gelombang air laut yang disebabkan adanya gangguan di dasar laut yang menyebabkan perpindahan massa air laut yang sangat besar (Gambar 1), misalnya akibat letusan gunung api di dasar laut, longsor dasar laut, meteor yang jatuh ke laut, ledakan bom atom di laut, dan gempa bumi di dasar laut.

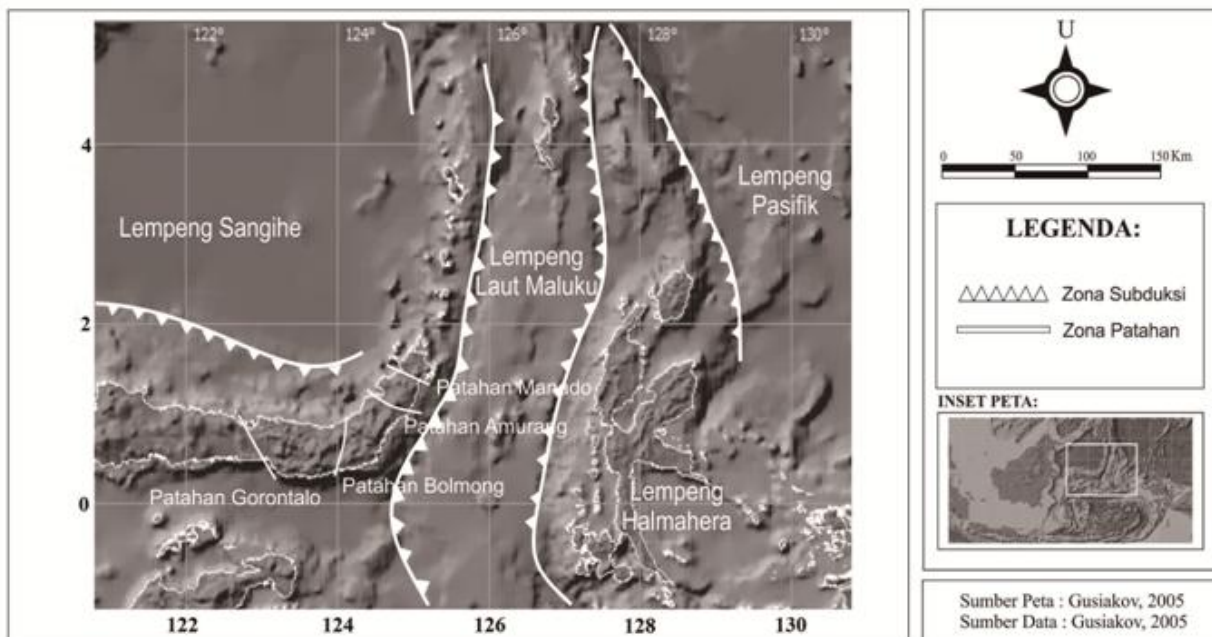


Gambar 1. Ilustrasi gangguan dasar laut yang menyebabkan tsunami (Foreman, 2005).

Data tsunami dunia antara 1900 s/d 2004 telah tercatat hampir 700 kali kejadian tsunami, dan lebih dari 90 % kejadian tsunami tersebut disebabkan oleh gempa bumi di dasar laut (Foreman, 2005). Tsunami dapat menyebabkan kerusakan besar ketika mereka memukul garis

pantai. Tsunami adalah gelombang besar yang hampir tidak ada hubungannya dengan pasang surut, sehingga istilah "gelombang pasang" benar-benar tidak sesuai untuk tsunami. Gelombang tsunami berbeda dari gelombang biasa yang dapat dilihat bergulir ke tepi danau atau di pantai yang disebabkan oleh angin lepas pantai. Gelombang tsunami di laut terbuka panjang gelombangnya bisa lebih dari 100 km atau kira-kira sepanjang 1000 lapangan sepak bola. Gelombang tsunami yang besar dapat melakukan perjalanan sangat cepat, sekitar 700 km/jam, tetapi amplitudonya hanya sekitar satu meter di laut terbuka. Ketika gelombang tsunami mencapai air dangkal dekat pantai, kecepatannya melambat dan energi geraknya berubah menjadi energi potensial massa air yang berupa amplitudo gelombang yang tinggi. Meskipun tsunami mungkin nyaris tak terlihat di laut lepas, ketika akhirnya mencapai pantai, tsunami dapat muncul sebagai serangkaian gelombang dengan kecepatan sekitar 40 km/jam dan ketinggian maksimum amplitudo hingga 30 meter (Gardiner, 2008).

Sulawesi Utara dan sekitarnya merupakan daerah dengan aktivitas seismik/ kegempaan yang cukup tinggi karena terdapat pada dua jalur pertemuan Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Pertemuan kedua lempengan tersebut menyebabkan adanya suatu zona subduksi yang terdapat di sebelah timur semenanjung Minahasa. Daerah zona subduksi tersebut adalah daerah penukiman lempeng



Gambar 2. Peta Tektonik Sulawesi Utara dan Sekitarnya (Gusiakov, 2005)

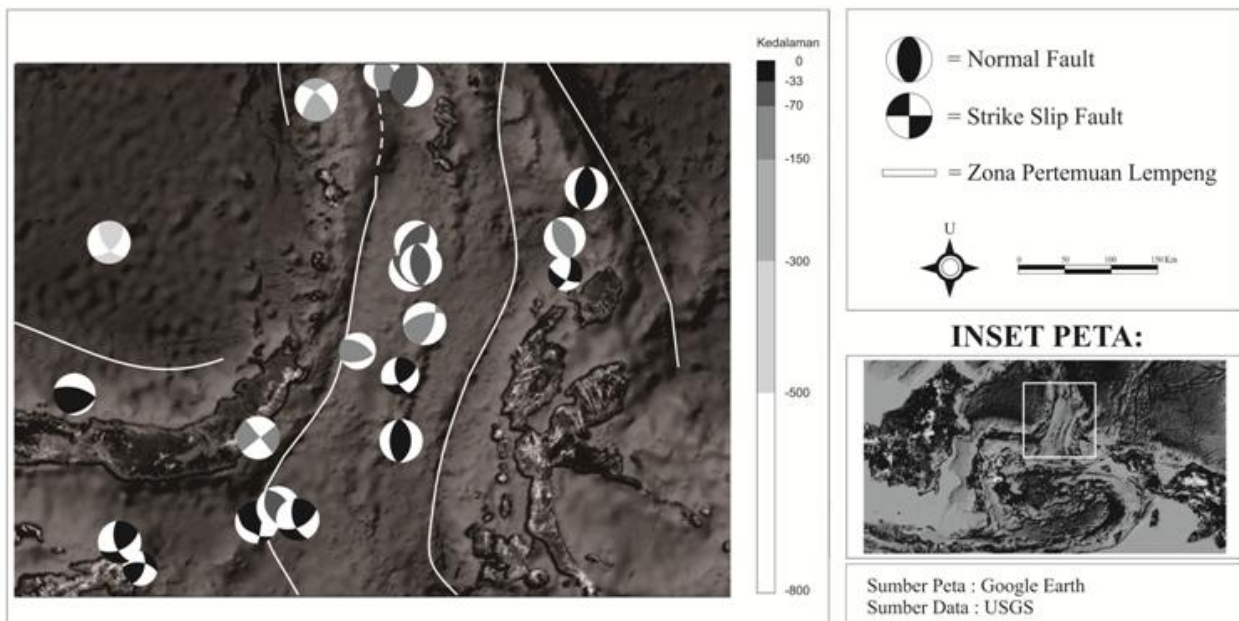
Laut Maluku dan di bawah busur Pulau Sulawesi dan di bawah Kepulauan Halmahera. Hal ini sangat rentan menimbulkan gempa bumi dengan kedalaman dangkal sampai dengan 70 km dan menengah sampai dengan 300 km (Gusiakov, 2005). Lempeng tektonik Halmahera dan lempeng tektonik Sangihe bergerak berlawanan arah, lempeng tektonik Halmahera bergerak ke barat dan lempeng tektonik Sangihe bergerak ke timur, keduanya menekan lempeng tektonik Laut Maluku (Gambar 2). Kondisi ini menyebabkan di Laut Maluku banyak terjadi gempa dangkal yang dapat menimbulkan tsunami (Puspita, 2009).

Data gempa bumi yang diamati Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika serta institusi pengamat gempa bumi di negara lain menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 40 tahun terakhir telah terjadi lebih dari 7000 gempa bumi dengan magnitudo  $\geq 3,0$  Skala Richter di Sulawesi Utara dan sekitarnya. Sebagian besar sebaran pusat gempa bumi tersebut terjadi di laut dan hampir 60 % di antaranya terjadi di Laut Maluku (Anonymous, 2007). Tetapi tidak semua gempa bumi di dasar laut dapat menyebabkan tsunami, tergantung pada jenis patahan dan mekanisme hiposenternya. Pada umumnya tsunami disebabkan oleh gempa bumi di dasar laut dengan patahan normal (gravity) atau reverse dan magnitudo  $\geq 7,0$  Skala Richter serta hiposenter pada kedalaman dangkal antara 0 s/d 80 km (Fauzi, 2004). Patahan di Laut Sulawesi dan Laut Maluku serta Teluk Tomini pada umumnya adalah patahan ‘gravity’ atau patahan normal

(Gambar 3), dengan sebagian besar gempa bumi yang terjadi adalah gempa dangkal. Jika terjadi gempa besar di daerah tersebut, maka berpotensi menimbulkan tsunami (Anonymous, 2013).

Wilayah pesisir Kema Kabupaten Minahasa Utara Provinsi Sulawesi Utara adalah daerah pantai yang berbentuk teluk dan menghadap ke arah Laut Maluku, dengan sebagian besar penduduknya adalah nelayan. Wilayah tersebut juga merupakan kawasan wisata pantai yang cukup banyak pengunjungnya terutama pada saat hari libur. Wilayah pesisir Kema ini pernah mengalami tsunami 4 meter pada tanggal 6 September 1889 akibat gempa bumi dengan magnitudo 8,0 Skala Richter di Laut Maluku dengan posisi pusat gempa  $1^{\circ}$  LS  $125,6^{\circ}$  BT (72 km tenggara Kema) (Gusiakov, 2005). Gempa bumi yang menimbulkan tsunami ini berpotensi terulang kembali pada waktu yang akan datang, untuk magnitudo 8,0 Skala Richter perioda ulangnya 150 tahun (Anonymous, 2004). Walaupun sampai sekarang belum ada negara yang bisa memprediksi kapan saat akan terjadi gempa bumi, namun karakteristik dan *run up* gelombang tsunami akibat gempa bumi dapat ditentukan berdasarkan parameter gempa bumi yang terjadi dengan menggunakan model penjalaran gelombang tsunami dari pusat gempa bumi ke daerah yang berpotensi terkena gelombang tsunami (Righi and Arcas, 2010).

Penelitian tentang *run up* gelombang tsunami akibat gempa bumi yang berpotensi terjadi di daerah Sulawesi Utara telah dilakukan oleh



Gambar 3. Peta historis mekanisme hiposenter daerah Laut Maluku dan sekitarnya (USGS)

beberapa institusi di Indonesia seperti BMKG, BNPB, LIPI dan lain-lain. Secara individu para peneliti juga telah melakukan hal yang sama, namun pada umumnya hasil penelitian tersebut belum menunjukkan secara detil berapa besar potensi tsunami untuk masing-masing wilayah di Sulawesi Utara, khususnya untuk wilayah pesisir Kema (Anonymous, 2007). Keadaan pesisir Kema yang berpotensi terkena tsunami lagi tersebut, menjadi motivasi penulis untuk melakukan penelitian dengan tujuan: menghitung besaran magnitudo gempa bumi yang berpeluang terjadi di Laut Maluku; menghitung waktu penjalaran gelombang tsunami mencapai pantai Kema; menghitung besaran *run up* gelombang tsunami di pantai Kema; dan memetakan sebaran genangan tsunami di wilayah pesisir Kema.

## MATERIAL DAN METODE

Data parameter gempa bumi di Laut Maluku dibatasi pada  $0^0 - 4^0$  LU dan  $125^0 - 128^0$  BT. Peta yang digunakan adalah Peta Lingkungan Pantai wilayah pesisir Kema, peta kedalaman Laut Maluku, dan peta Google Earth. Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dan diskriptif data survey ketinggian, serta data gempa bumi dan tsunami. Survey ketinggian tempat dilakukan beberapa titik yang mewakili jangkauan evakuasi masyarakat di wilayah pesisir Kema, dengan menggunakan alat ukur ketinggian altimeter Pauline yang memiliki ketelitian 0,5 meter.

Perhitungan magnitudo maksimum gempa bumi yang mungkin dapat terjadi di Laut Maluku dilakukan sebagai dasar untuk menghitung *run up* tsunami tertinggi yang dapat terjadi di wilayah pesisir Kema. Data parameter gempa bumi yang telah dikompilasi tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan jumlah kejadian gempa bumi untuk tiap magnitudo. Selanjutnya ditentukan hubungan antara jumlah atau frekuensi kejadian gempa bumi (N) dengan magnitudo gempa bumi (M) menggunakan metode empiris Gutenberg-Richter (1949), yang dirumuskan :

$$\log N = a - b M \quad (1)$$

di mana:

N adalah frekuensi (jumlah) gempa bumi

M adalah magnitudo gempa bumi dalam Skala Richter

a dan b adalah konstanta positif, a menunjukkan tingkat kerapuhan dan luasan suatu daerah.

Jika nilai a besar maka daerah yang diteliti luas dan banyak gempa bumi sehingga batuan di daerah tersebut rapuh sehingga mudah patah. Sedangkan nilai b menunjukkan tingkat aktivitas gempa bumi. Jika nilai b besar berarti daerah tersebut makin sering terjadi gempa bumi. Harga b tiap-tiap daerah tidak sama demikian juga untuk kedalaman pusat gempa bumi yang berbeda, oleh karena itu harga b dipakai sebagai acuan dalam banyak hal yang berhubungan dengan peramatan tektonik, harga b berkisar antara 0,5 s/d 1,5.

Nilai magnitudo gempa bumi yang diperoleh dipakai sebagai dasar untuk menghitung panjang patahan dan diameter tsunami. Well dan Coopersmith (1994) menghitung panjang patahan, lebar patahan, luas area patahan, dan pergeseran tanah untuk patahan normal (gravity) di daerah subduksi Pasifik dengan menggunakan hubungan dari magnitudo gempa yang ditunjukkan dengan persamaan :

$$\log (L) = 0,5 M - 2,01 \quad (2)$$

$$\log (W) = 0,35 M - 1,14 \quad (3)$$

$$\log (D) = 0,63 M - 4,45 \quad (4)$$

di mana:

M = magnitudo gempa bumi (Skala Richter)

L = panjang patahan

W = lebar patahan

D = pergeseran tanah

Perhitungan numerik untuk memperoleh hasil waktu tiba dan *run up* gelombang tsunami di pantai Kema digunakan software Tsunami 2 Imamura dengan input yaitu ; magnitudo gempa bumi, panjang patahan, lebar patahan, luas area patahan, dan pergeseran tanah. Dalam desain perhitungan numerik untuk gelombang panjang seperti badai dan tsunami, batas laut terbuka sebaiknya diatur di laut dalam di mana kondisi batas dapat akurat dan mudah diberikan. Teori linier atau nonlinier digunakan sesuai dengan tingkat nonlinier dari fenomena. Grid kasar yang digunakan di laut dalam dan grid halus berada di zona dekat pantai (Imamura, 2006).

Menurut Imamura (2006), secara umum kecepatan penjalaran gelombang tsunami dari pusat deformasi akibat gempa bumi dinyatakan :

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \sqrt{2gh_{max}} \quad (5)$$

di mana:

g = gravitasi

$h_{max}$  = kedalaman laut maksimum



$\Delta t$  dan  $\Delta x$  adalah panjang jaringan temporal dan spasial, dan  $h_{max}$  adalah maksimum.

Dalam masalah dua-dimensi dalam ruang (di lautan), tiga variabel bebas  $x$ ,  $y$  dan  $t$ , harus diambil menjadi pertimbangan. Diasumsikan bahwa  $t$  adalah konstan di setiap wilayah grid spasial yang berbeda panjang. *Run up* tsunami dipetakan menggunakan software GIS dengan peta dasar Peta Lingkungan Pantai Kema dan peta Google Earth, sehingga diperoleh peta daerah rawan tsunami di wilayah pesisir Kema.

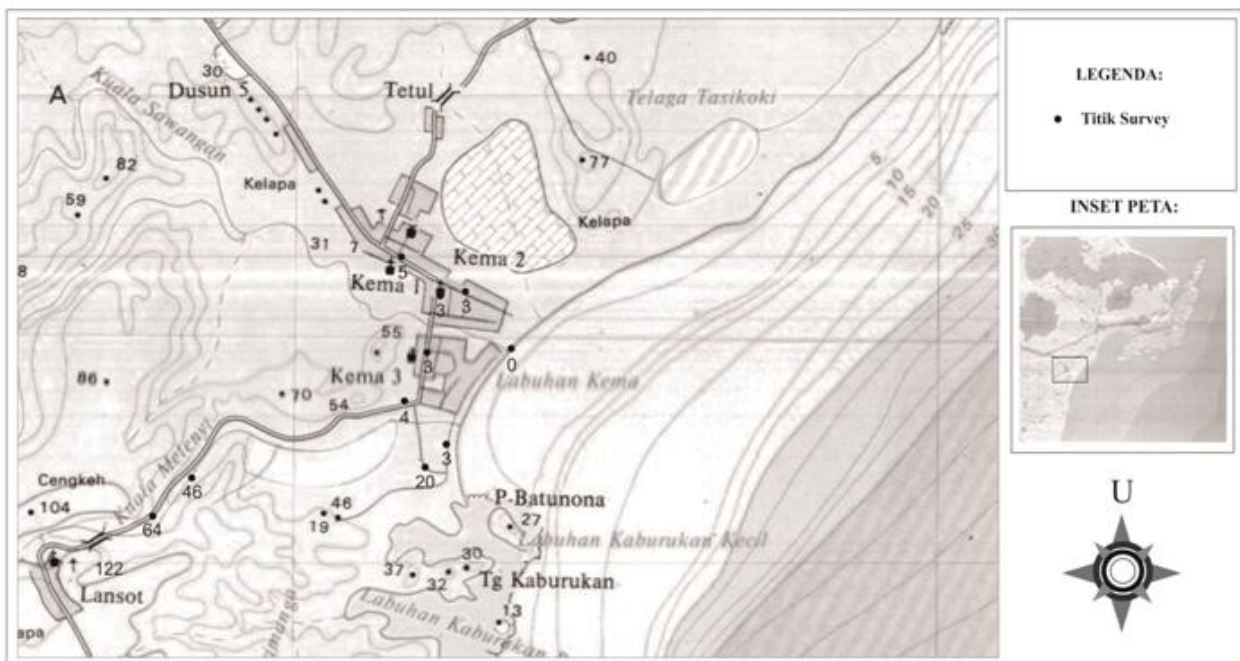
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran ketinggian beberapa titik di wilayah pesisir Kema ternyata tidak jauh berbeda dengan data ketinggian di Peta Lingkungan Pantai wilayah pesisir Kema yang diproduksi oleh Bakosurtanal (Gambar 4). Kompilasi data parameter gempa bumi dangkal di Laut Maluku periode tahun 1900 s/d 2012 diperoleh 1631 jumlah kejadian gempa bumi dengan magnitudo antara 5,0 hingga 8,3 Skala Richter (Tabel 1). Hubungan antara frekuensi gempa dengan magnitudo menggunakan regresi linier least square dihasilkan :  $\log(N) = 7,112 - 0,84 M$ , dari hubungan ini diperoleh magnitudo gempa bumi maksimum yang berpeluang terjadi di Laut Maluku adalah  $M = 8,5$  Skala Richter. Panjang patahan pada  $M = 8,5$  Skala

Tabel 1. Tabel magnitudo dan frekuensi gempa bumi di Laut Maluku untuk gempa bumi dangkal periode tahun 1900 – 2012

No.	Magnitudo (M)	frekuensi (N)
1	5,0-5,3	1057
2	5,4-5,7	380
3	5,8-6,1	128
4	6,2-6,5	31
5	6,6-6,9	12
6	7,0-7,3	11
7	7,4-7,7	7
8	7,8-8,1	3
9	8,2-8,5	2
		1631

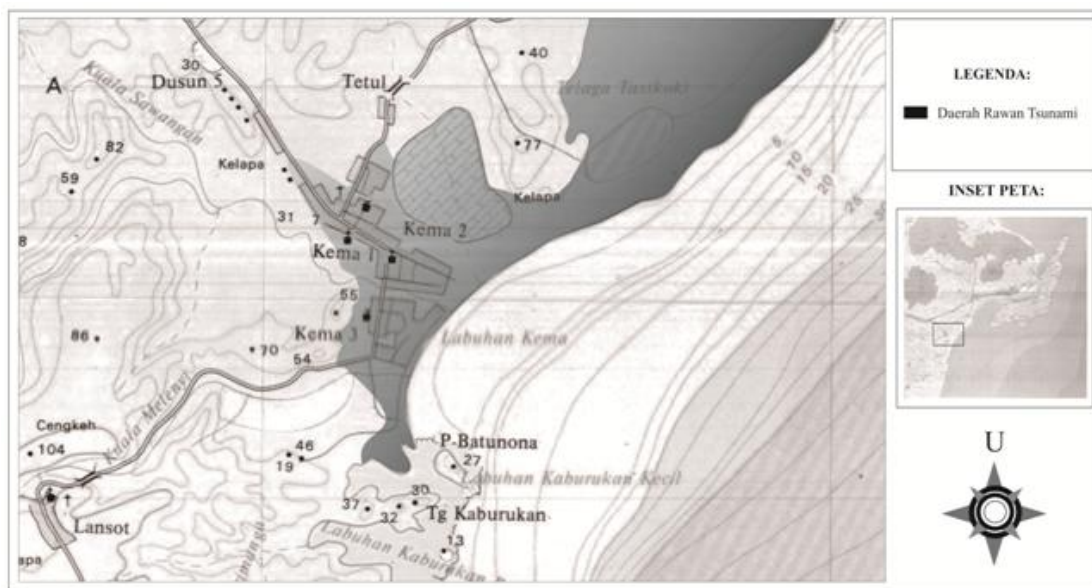
Richter adalah  $L = 173,78$  km. Lebar patahan pada  $M = 8,5$  Skala Richter adalah  $W = 68, 39$  km. Pergeseran permukaan tanah pada  $M = 8,5$  Skala Richter adalah  $D = 8, 03$  m. *Run up* tsunami di pantai Kema pada  $M = 8,5$  Skala Richter adalah = 13,9 m. Waktu tiba gelombang tsunami adalah menit ke 10 setelah kejadian gempa bumi. Kecepatan gelombang tsunami saat mencapai pantai = 45 km/ jam. Hasil perhitungan *run up* tsunami



Gambar 4. Peta survey ketinggian tempat di wilayah pesisir Kema (sumber: Peta Lingkungan Pantai Bakosurtanal)

akibat gempa bumi dengan magnitudo 8,5 Skala Richter yang mungkin terjadi di wilayah pesisir Kema tersebut di atas kemudian dipetakan menggunakan software GIS 10.0 dan peta dasar Peta Lingkungan Pantai wilayah pesisir Kema dan peta Google Earth, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 7. *Run up* tsunami di wilayah pesisir Kema jika terjadi gempa bumi dengan magnitudo 8,5 Skala Richter akan mencapai 13,9 m dan gelombang tsunami sampai di pantai Kema 10 menit setelah kejadian gempa bumi. Dilihat dari peta genangan di wilayah pesisir Kema yang rawan tsunami pada Gambar 5 dan Gambar 7, tampak bahwa seluruh wilayah pesisir Kema merupakan daerah rawan tsunami.

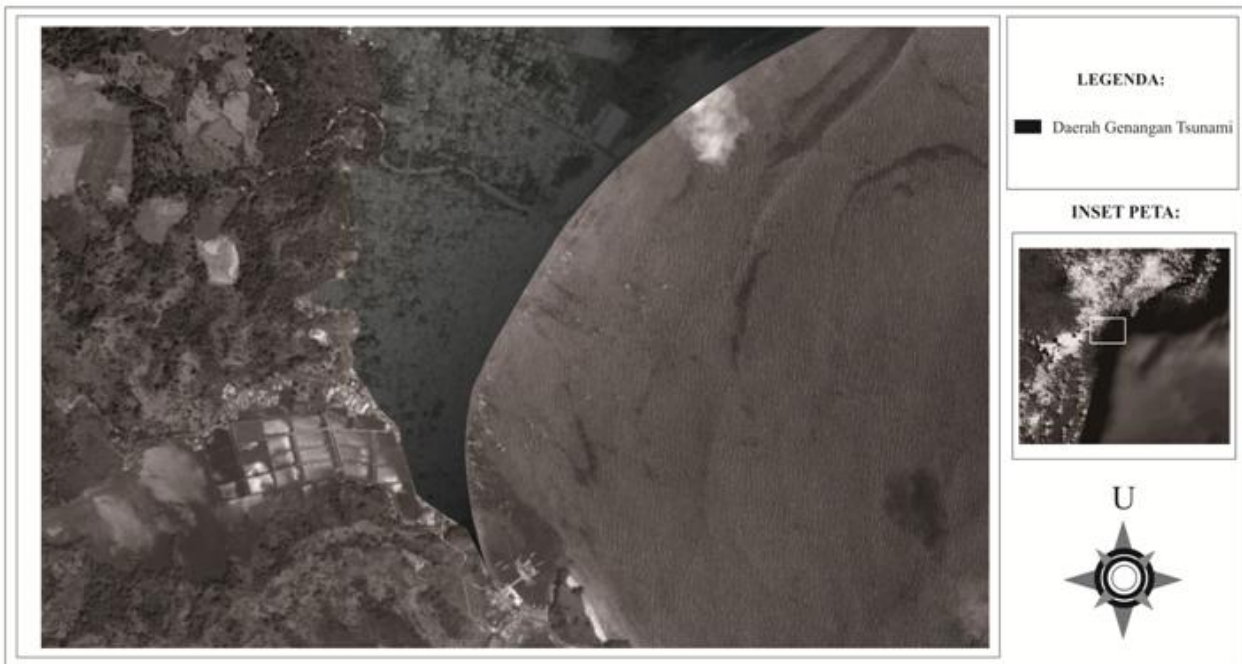
Hubungan antara frekuensi dengan magnitudo gempa bumi di Laut Maluku mendapatkan nilai a dan b yang cukup besar yaitu nilai  $a = 7,112$  dan nilai  $b = 0,84$ . Nilai b besar menyatakan bahwa kemiringan garis regresi cukup tajam (Gambar 8) dan mempunyai arti bahwa daerah Laut Maluku sering terjadi gempa bumi. Nilai a besar menyatakan bahwa rupture (tingkat kerapuhan sepanjang patahan) di daerah Laut Maluku meliputi daerah yang luas, dan terbukti dengan banyaknya kejadian gempa bumi di wilayah tersebut. Jika terjadi gempa bumi dengan magnitudo 8,5 Skala Richter, maka panjang patahan yang aktif adalah 173,78 km dan lebar patahan = 68,39 km. Hal ini sangat mungkin terjadi karena sesuai dengan



Gambar 5. Peta daerah rawan tsunami di wilayah pesisir Kema



Gambar 6. Wilayah pesisir Kema sebelum tsunami

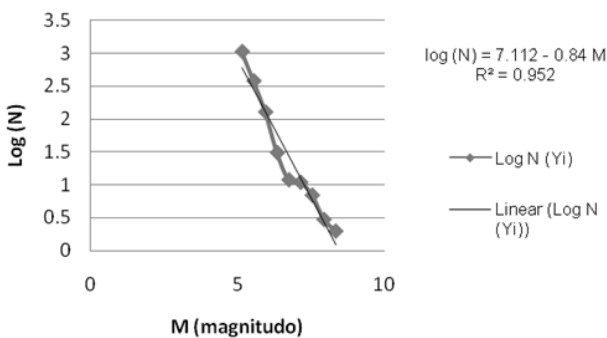


Gambar 7. Wilayah pesisir Kema jika terkena tsunami

besarnya nilai  $a$  yang menunjukkan daerah patahan yang luas di wilayah tersebut yang merupakan pusat tumbukan antar lempeng kerak bumi mikro Sangihe, Laut Maluku dan Halmahera yang mendapat tekanan dari lempeng kerak bumi makro Eurasia, Philipina dan Pasifik.

Prosedur baku penanganan tsunami berdasarkan surat keputusan Menko Kesra nomor 21/kep/menko/kesra/IX/2006, penanganan tsunami dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen struktur dan komponen kultur. Komponen struktur dilaksanakan oleh pemerintah pusat yang bertugas memasang peralatan sistim peringatan dini tsunami dengan menggunakan teknologi yang mutakhir dan telah teruji. Instansi pemerintah pusat yang memasang peralatan peringatan dini antara lain BMKG, BPPT, dan Bakosurtanal. Komponen kultur

dilaksanakan oleh pemerintah daerah yang bertugas memastikan bahwa peringatan dini sampai kepada masyarakat dan masyarakat bertindak sesuai dengan yang diinginkan. Peralatan peringatan dini tsunami dioperasikan oleh BMKG, BPPT, dan Bakosurtanal. Adapun warning tsunami dikeluarkan oleh BMKG selambat-lambatnya 5 menit setelah kejadian gempa. Peringatan dini tsunami tersebut dikirim oleh BMKG ke pemerintah daerah dan stakeholder lainnya seperti TNI/ POLRI, BNPB, Kominfo, dan lain-lain. Selanjutnya pemerintah daerah memutuskan apakah masyarakat harus dievakuasi atau tidak, dan masyarakat dapat bertindak untuk menyelamatkan diri dari tsunami (Anonymous, 2006). Prosedur baku peringatan dini tsunami yang dilakukan pemerintah seperti tersebut di atas tidak sesuai dengan kondisi wilayah pesisir Kema, karena jika menunggu warning dari BMKG 5 menit setelah gempa bumi, maka masyarakat akan terlambat untuk mengevakuasi diri. Jarak titik aman rata-rata dari rumah di pinggir pantai Kema adalah 2 km. Kalau seorang pelari cepat dapat menempuh 100 meter dalam 12 detik atau 2 km/menit, maka memerlukan waktu 4 menit untuk mencapai titik aman. Gelombang tsunami mencapai pantai dengan kecepatan 45 km/ jam atau  $\pm 1,25$  menit/km, sehingga masyarakat di wilayah pesisir Kema tidak akan bisa mengevakuasi diri dari tsunami jika menunggu peringatan dini tsunami dari BMKG.



Gambar 8. Wilayah pesisir Kema jika terkena tsunami

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa di Laut Maluku berpotensi terjadi gempa bumi dengan magnitudo 8,5 Skala Richter yang dapat menimbulkan tsunami hingga melanda di pantai wilayah pesisir Kema pada menit ke-10 setelah kejadian gempa bumi dengan ketinggian *run up* tsunami mencapai 13,9 m. Pemetaan *run up* tsunami tersebut menunjukkan bahwa seluruh wilayah pesisir Kema adalah daerah rawan tsunami.

Jika terjadi gempa bumi yang sangat kuat dan orang di wilayah pesisir Kema susah berdiri, maka masyarakat di wilayah tersebut disarankan segera lari ke tempat yang tinggi tanpa menunggu peringatan dini tsunami dari BMKG, kalau dalam waktu dua jam tidak ada tsunami segera kembali ke rumah masing-masing agar tidak dimasuki pencuri, dan pemerintah daerah setempat agar membangun 'shelter' penyelamat tsunami di wilayah tersebut.

## REFERENSI

- ANONYMOUS (2004) *Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Peta Bencana Alam di Indonesia*. Badan Meteorologi dan Geofisika.
- ANONYMOUS (2006) *SOP Tsunami Early Warning System*. Badan Meteorologi dan Geofisika.
- ANONYMOUS (2007) *Sejarah Bencana GempaBumi di Indonesia*. Badan Meteorologi dan Geofisika.
- ANONYMOUS (2013) *Historical Tecnic Moment Tensor*. USGS, Earthquake Hazard.
- FAUZI (2004) Daerah Rawan Gempabumi Tektonik di Indonesia. *Ajakan untuk monitoring bersama*.
- FOREMAN, A. (2005) *Tsunamis: Generation and Propagation*.
- GARDINER, L. (2008) *What Is a Tsunami*, NOAA.
- GUSIAKOV, V. K. (2005) *Tsunami Generation Potential of Different Tsunamigenic Regions in the Pacific*. *Marine Geology*, 215 (1-2), 3-9.
- GUTENBERG, B. and RICHTER, C. F. (1954) *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, pp.17 – 19, 2nd ed. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- IMAMURA, F. (2006) *Tsunami Modeling*. Asian Inst. Tech. (1993-1995) and Disaster Control Research Center, Tohoku University, Japan: Sendai.
- NANANG PUSPITA (2009) *Statistica Data of Tsunamigenic Earthquake in The Indonesian Region*.
- RIGHI, D. and ARCAS, D. (2010) *A Tsunami Forecast Model for Newport, Oregon*. NOAA OAR Special Report, PMEL Tsunami Forecast Series, 5.
- WELL, D.L. and COOPERSMITH, K. J. (1994) *New Empirical Relationships among Magnitudo, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*. *Bulletin Seismological Society of America*, 84(4), pp. 974-1002.

Diterima: 22 April 2013  
Disetujui: 29 April 2013