

Studi Bahaya Seismik dengan Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* di Kabupaten Mentawai

Riska Wulan Dari, Dwi Pujiastuti*

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 04 Oktober 2021
Direvisi: 21 Oktober 2021
Diterima: 10 November 2021

Kata kunci:

Hazard seismik
Kabupaten Mentawai
PGA
PSHA
Seismisitas

Keywords:

Hazard seismic
Mentawai Regency
PGA
PSHA
Seismicity

Penulis Korespondensi:

Dwi Pujiastuti
Email: dwipujiastuti@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Kabupaten Mentawai terletak pada zona subduksi Lempeng Hindia Australia dan Lempeng Eurasia sehingga memiliki resiko bahaya gempa bumi tinggi. Dilakukan penelitian untuk mengetahui mikrozonasi daerah dengan bahaya gempa bumi tinggi menggunakan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. Data gempa yaitu gempa bumi dalam rentang tahun 1900-2019 yang diperoleh dari BMKG, ISC, dan USGS. Dilakukan pemisahan gempa utama dan susulan menggunakan metode Gardner dan Knopoff. Besar *a-value* dan *b-value* dicari menggunakan metode *maximum likelihood*. Nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dicari menggunakan fungsi atenuasi berdasarkan sumber gempa dengan bobot ketidakpastian *logic tree*. Hasil penelitian menunjukkan *b-value* sebesar 0,747 dan *a-value* sebesar 6,19. Nilai *b-value* tinggi menunjukkan bahwa Kabupaten Mentawai memiliki tegangan/*stress* batuan yang rendah sehingga gempa bumi dengan magnitudo kecil mudah dilepaskan. Besar *a-value* tinggi menunjukkan Kabupaten Mentawai memiliki seismisitas tinggi. Nilai PGA berkisar 0,4-0,7 gal untuk keseluruhan Kabupaten Mentawai. Nilai PGA untuk masing-masing pulau yaitu 0,5-0,7 gal di Pulau Siberut, 0,4-0,6 gal di Pulau Sipora, 0,4-0,5 gal di Pulau Pagai Utara, dan 0,6-0,7 gal di Pulau Pagai Selatan. Berdasarkan nilai PGA maka didapatkan bahwa Kabupaten Mentawai memiliki tingkat bahaya gempa bumi sedang secara keseluruhan dan tinggi pada daerah Siberut Utara dan Pagai Selatan karena berada pada segmentasi aktif *megathrust*.

*Mentawai Regency is located in the subduction zone of the Australian Indian Plate and the Eurasian Plate, so it has a risk of earthquake hazard. A study was conducted to determine the microzonation of areas with earthquake hazards using the Probabilistic Seismic Hazard Analysis method. Earthquake data are earthquakes in the 1900-2019 range obtained from BMKG, ISC, and USGS. The distribution of the main and aftershocks using the Gardner and Knopoff method. The magnitude of *a-value* and *b-value* is sought using the maximum likelihood method. The maximum ground vibration value (PGA) is sought using a function based on the earthquake source with a logic tree uncertainty weight. The results showed a *b-value* of 0.747 and an *a-value* of 6.19. A high *b-value* indicates that Mentawai Regency has low rock stress so that earthquakes with small magnitudes are easily conveyed to the surface. A large *a-value* also indicates that Mentawai Regency has high seismicity. PGA values range from 0.4 to 0.7 gal for the entire Mentawai Regency. The PGA values for each island are 0.5-0.7 gal on Siberut Island, 0.4-0.6 gal on Sipora Island, 0.4-0.5 on North Pagai Island, and, 0.6-0.6 gal for each island. 0.7 for South Pagai Island. Based on the PGA value, it is found that the Regency has a moderate and high level of earthquake hazard in the North Siberut and South Pagai areas because they are in the megathrust active segmentation.*

Copyright © 2021 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Salah satu lokasi subduksi lempeng di Indonesia yaitu bagian barat Pulau Sumatera sampai keselatan Jawa, Bali, dan Lombok. Lempeng Hindia Australia menunjam Lempeng Eurasia mengakibatkan Pulau Sumatera memiliki sumber gempa berupa subduksi Mentawai, sesar Sumatera, dan sesar Mentawai (Djoko dkk., 2016). Pergerakan lempeng yang saling bertumbukan akan menyebabkan terjadinya pemampatan energi yang terus meningkat sampai batas tekanan kunci atau *coefficient friction* dan apabila tekanan tersebut melebihi batas maka dapat menyebabkan terjadinya gempa bumi. Salah satu daerah di Sumatera yang sering diguncang gempa bumi yaitu Kabupaten Mentawai karena berada pada zona subduksi lempeng dan juga terdapat sesar pada bagian timur yang memanjang dari Siberut, Sipora, Pagai hingga Pulau Enggano dinamakan Sesar Mentawai (Sih dan Natawidjaja, 2000). Berdasarkan penelitian Konca dkk. (2008) di Segmen Mentawai diperkirakan masih tersisa kekuatan gempa sebesar 8,8 M_w bagian bawah Pulau Siberut, Sipora, dan Pagai Utara yang menjadi sumber gempa-tsunami dimasa akan datang sehingga diperlukan rencana mitigasi bencana untuk daerah Kabupaten Mentawai. Langkah awal mitigasi bencana gempa bumi dengan mengamati tingkat bahaya gempa terlebih dahulu dan kemudian melakukan perencanaan mitigasi seperti evakuasi dan perencanaan infrastruktur tahan gempa.

Studi bahaya gempa bumi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA) dan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) (PusGeN, 2010). Metode DSHA dan PSHA merupakan metode untuk mengetahui mikrozonasi bahaya gempa bumi dengan menganalisis sumber, mekanisme, dan parameter gempa bumi sehingga menghasilkan percepatan gerakan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) dalam satuan *Gravitational Acceleration* (gal). Analisis metode DSHA tidak memperhitungkan ketidakpastian dan dilakukan terhadap satu sumber gempa bumi yang telah ditentukan. Ketidakpastian dapat berupa ketidakpastian ukuran, lokasi, dan frekuensi gempa bumi yang mempengaruhi nilai parameter dalam analisis. Kabupaten Mentawai memiliki tiga sumber gempa yaitu subduksi *megathrust*, sesar Mentawai, dan sumber gempa *background*. Sumber gempa *background* merupakan gempa bumi yang tidak teridentifikasi sebagai gempa sesar atau subduksi namun terjadi gempa bumi pada daerah tersebut. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode PSHA dengan memperhitungkan probabilitas ketidakpastian dengan bobot angka dari berbagai sumber gempa di Kabupaten Mentawai untuk mendapatkan gambaran lebih lengkap dalam kejadian gempa bumi.

PSHA menggunakan ketidakpastian dalam analisis seperti ukuran, lokasi, dan frekuensi gempa bumi. Langkah awal dalam PSHA yaitu *declustering*, kejadian gempa bumi yang tercatat pada seismograf berupa gempa utama/*mainshock*/independen dan gempa rintisan (*foreshock*) sebelum gempa utama serta gempa susulan (*aftershock*) setelah gempa utama yang dinamakan gempa dependen (Wiemer dan Wyss, 1994). Gempa bumi utama yang berpotensi merusak akan dicari menggunakan model empirik dari Gardner dan Knopoff (1974). Parameter gempa *a-value* dan *b-value* akan dicari berdasarkan data hasil *declustering* menggunakan persamaan *maximum likelihood*. Besar *a-value* menunjukkan keaktifan seismik yang tergantung periode pengamatan, luas daerah pengamatan, dan tingkat seismisitas. Besar *b-value* adalah parameter tektonik yang tergantung kepada tingkat tegangan struktur medium penjalaran gelombang seismik. Nilai PGA akan dicari menggunakan rumus fungsi atenuasi yang disesuaikan dengan mekanisme sumber gempa. Indonesia belum memiliki data persediaan percepatan tanah yang lengkap sehingga akan digunakan fungsi atenuasi dari wilayah lain yang memiliki kondisi geografis sama. Fungsi atenuasi yang digunakan sebagian besar merupakan *Next Generation Attenuation* (NGA) yang pembuatannya menggunakan data gempa global (PusGeN, 2010). *Logic tree* berupa kerangka cabang dengan nilai bobot ketidakpastian yang disesuaikan dengan sumber gempa untuk menentukan persamaan gerakan tanah. Pemakaian *logic tree* dalam PSHA sangat diperlukan karena adanya faktor ketidakpastian dalam analisis data. Hasil analisis PSHA akan memberikan nilai PGA yang dapat menggambarkan gerakan tanah saat terjadi guncangan akibat gempa bumi.

Santoso dkk. (2011) telah melakukan penelitian studi *hazard* Pulau Sumatera metode PSHA dan diperoleh nilai PGA berkisar antara 0,0-0,2 gal untuk daerah luar segmen *megathrust* dan mencapai 0,6 gal untuk daerah di bagian dalam segmen *megathrust* yaitu Nias, Siberut, dan Pagai. Nilai PGA mencapai 0,6 gal menunjukkan tingginya bahaya gempa bumi di Kabupaten Mentawai sehingga diperlukannya zonasi lebih detail pada setiap Pulau di Kabupaten Mentawai untuk mengetahui daerah dengan resiko bahaya gempa tinggi. Secara umum tingkat kerusakan dapat diamati

berdasarkan kerusakan lingkungan, bangunan, geologi, dan percepatan tanah. Faktor yang merupakan sumber kerusakan dinyatakan dalam parameter percepatan tanah maksimum, sehingga data nilai PGA suatu daerah menjadi penting diamati untuk menggambarkan tingkat bahaya gempa bumi di daerah tersebut. Mengetahui nilai PGA suatu wilayah maka dapat diketahui tingkat bahaya gempa bumi, semakin besar nilai PGA maka semakin tinggi tingkat bahaya gempa bumi.

Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan tingkat bahaya akibat gempa bumi di Kabupaten Mentawai berdasarkan PGA. Penelitian ini akan mengamati berbagai parameter gempa yang memengaruhi tingkat gerakan tanah akibat gempa dengan memperhitungkan ketidakpastian menggunakan pembobotan *logic tree*, menentukan *a-value* dan *b-value* untuk mengamati seismisitas di Kabupaten Mentawai, dan mengamati tingkat bahaya gempa berdasarkan nilai PGA yang diperoleh dari fungsi atenuasi.

II. METODE

Penelitian bahaya gempa untuk Kabupaten Mentawai menggunakan data sekunder gempa bumi dengan magnitudo gempa besar dari 3, kedalaman maksimum 300 km, dan radius 300 km yang diperoleh dari katalog gempa BMKG, ISC, dan USGS dalam rentang tahun 1900-2019. Parameter gempa yang akan digunakan yaitu longitude, latitude, magnitudo, kedalaman, dan waktu kejadian.

2.1 Teknik Penelitian

2.1.1 Konversi Satuan Gempa

Data gempa yang dikumpulkan akan disamakan satuannya menjadi magnitudo momen (M_w) sesuai pada Tabel 1 untuk memudahkan dalam pengolahan data.

Konversi	Range Data
$M_w = 0,6061M_s + 2,476$	$2,8 \leq M_s \leq 6,1$
$M_w = 0,9239M_s + 0,5671$	$6,2 \leq M_s \leq 8,7$
$M_w = 1,0107M_b + 0,0801$	$3,2 \leq M_b \leq 8,2$

(PusGeN, 2017)

2.1.2 Pengolahan Data Gempa

Data gempa yang sudah disamakan satuannya akan dilakukan *declustering* menggunakan metode Gardner dan Knopoff (1974) dengan membuat plot durasi gempa (T) dan jarak (L) sebagai fungsi dari magnitudo (M) dan parameter gempa. Dimana $a1$ dan $b1$ merupakan parameter gempa berdasarkan plot durasi gempa, serta $a2$ dan $b2$ merupakan parameter gempa berdasarkan plot jarak. *Declustering* dilakukan menggunakan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

$$\text{Log } L = a2M + b2 \quad (1)$$

$$\text{Log } L = a2M + b2 \quad (2)$$

Data gempa yang sudah *declustering* akan dicari nilai *a-value* dan *b-value* berdasarkan metode *maximum likelihood* Persamaan (3) dan Persamaan (4),

$$b = \frac{\text{Log } e}{M - M_0} \quad (3)$$

$$a = \text{Log } N + \text{Log}(b \ln 10) + M_0 b \quad (4)$$

dimana b merupakan parameter gempa, M merupakan nilai magnitudo rata-rata, M_0 merupakan nilai magnitudo minimum, dan e merupakan bilangan natural ($\log e = 0,4343$). Nilai a merupakan indeks kegempaan yang menunjukkan tingkat aktivitas suatu kegempaan dalam rentang kurun waktu tertentu dan N merupakan frekuensi kejadian gempa.

Nilai PGA dicari dengan memasukkan data hasil *declustering* serta *a-value* dan *b-value* menggunakan *software* PSHA USGS. PGA didapatkan berdasarkan fungsi atenuasi sesuai sumber gempa pada Tabel 2.

Tabel 2 Fungsi atenuasi

Sumber gempa bumi	Rumus fungsi atenuasi
<i>Shallow Background</i>	1. Boore and Atkinson, 2008 2. Campbell and Borzognia, 2008 3. Chiou and Youngs, 2008
<i>Deep Background</i>	1. Atkinson and Boore, 1995 2. Young et al, 1997 3. Atkinson and Boore, 2006
Sesar	1. Boore-Atkinson, NGA 2007 2. Campbell and Bozorgnia, 2006 3. Chiou and Youngs, 2006
Subduksi	1. Young et al, 1997 2. Atkinson and Boore, 2003 3. Zhao et al , 2006

2.1.3 Pemetaan

Hasil PGA yang telah diperoleh akan dibuat pemetaan menggunakan *Software Arc View* dengan memasukkan data longitude, latitude, dan PGA untuk daerah disetiap Pulau Kabupaten Mentawai. Berdasarkan nilai PGA juga dapat diamati tingkat bahaya gempa bumi sesuai tingkat bahaya gempa bumi oleh (BNPB, 2012) pada Tabel 3.

Tabel 3 Klasifikasi bahaya gempa bumi BNPB No. 2 Tahun 2012

Tingkat resiko		
Rendah	Sedang	Tinggi
PGA <0,2501 gal	0,2501 <PGA> 0,70 gal	PGA>0,70 gal

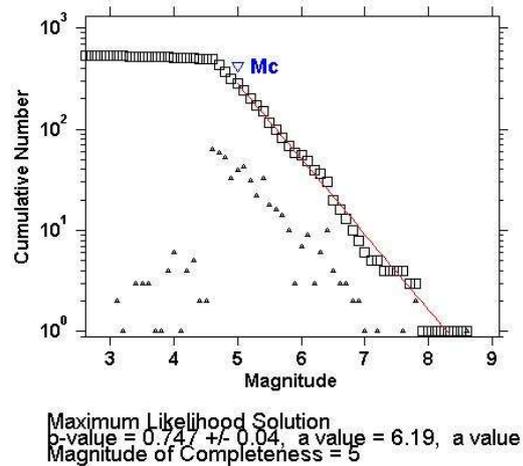
2.1.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengamati nilai PGA dan pemetaan zona bahaya gempa. Semakin tinggi nilai PGA menunjukkan lokasi tersebut memiliki bahaya gempa yang tinggi. Bahaya gempa juga berdasarkan kondisi seismisitas *a-value* dan *b-value* semakin tinggi nilai tersebut maka seismisitas di Kabupaten Mentawai semakin tinggi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 *Declustering* dan Seismisitas

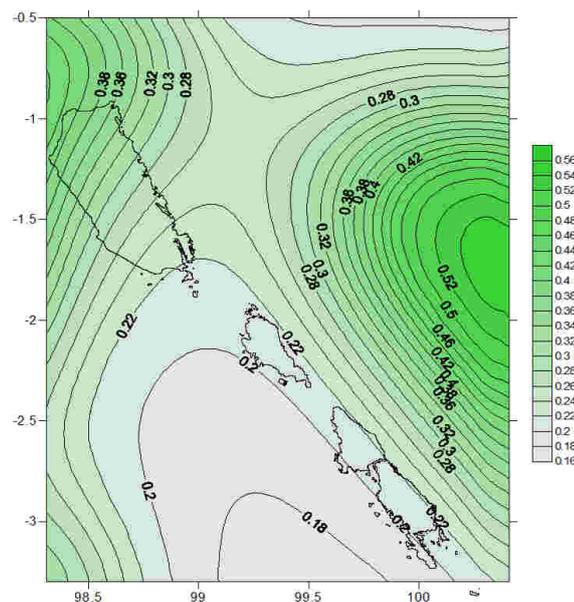
Gempa bumi yang sudah dikumpulkan dilakukan pemisahan gempa utama dan susulan (*declustering*) dari 1.989 data gempa bumi diperoleh gempa utama sebanyak 524 kejadian. Hasil menunjukkan bahwa gempa bumi utama berkisar 26,34% dari keseluruhan kejadian gempa bumi sehingga dapat disimpulkan bahwa gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Mentawai didominasi gempa rintisan dan susulan. Gambar 1 menunjukkan bagaimana seismisitas di Kabupaten Mentawai. Besar *b-value* yaitu 0,747 mendekati 1 menandakan bahwa frekuensi kejadian gempa bumi termasuk tinggi (Schorlemmer dkk., 2004). Besar *a-value* menunjukkan tingkat kegempaan di suatu daerah, semakin tinggi nilai *a-value* maka aktivitas kegempaan semakin tinggi (Rohadi dkk., 2014). Nilai *a-value* yang diperoleh sebesar 6,19 menandakan aktivitas seismik di Kabupaten Mentawai sangat tinggi karena terdapat sumber gempa subduksi dan Sesar Mentawai pada daerah tersebut sehingga rawan terjadi gempa bumi. Besar *b-value* yaitu 0,747 menunjukkan gradien frekuensi kejadian gempa bumi tinggi pada magnitudo kecil. Nilai *b-value* memiliki korelasi dengan tingkat *stress* batuan pada suatu daerah. Artinya jika *b-value* tinggi menunjukkan batuan bersifat rapuh dengan *stress* yang rendah dan sebaliknya, *b-value* yang rendah menunjukkan *stress* batuan yang tinggi sehingga gempa dengan magnitudo kecil sulit dilepaskan (Kulhanek, 2005). Akibat gempa kecil tidak dilepaskan maka energi yang terkumpul semakin besar dan apabila melebihi batas dapat mengakibatkan gempa bumi dengan magnitudo besar yang berpotensi merusak.



Gambar 1 *b-value*

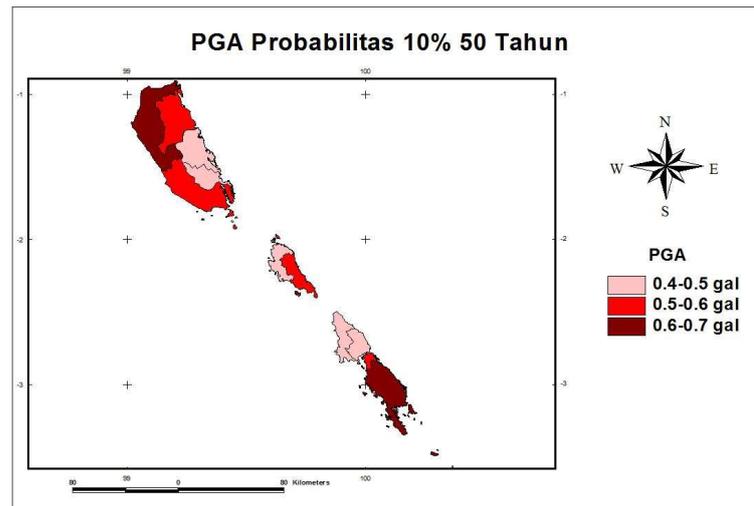
3.2 PGA Kabupaten Mentawai

Berdasarkan Gambar 2 daerah dengan kontur lebih padat yaitu bagian utara dan timur Kabupaten Mentawai menunjukkan daerah tersebut sering mengalami gempa bumi *background* dengan nilai PGA berkisar 0,16-0,4 gal. Bagian barat Pulau Sipora dan Pulau Pagai memiliki gempa *background* yang sedikit karena didominasi oleh gempa subduksi *megathrust*.



Gambar 2 Nilai PGA sumber gempa *background*

Setelah dilakukan perhitungan nilai PGA berdasarkan fungsi atenuasi disesuaikan dengan sumber gempa *background*, sesar, dan subduksi diperoleh nilai PGA secara keseluruhan di Kabupaten Mentawai. Gambar 3 menunjukkan nilai PGA berkisar 0,4-0,7 gal. Nilai PGA untuk masing-masing Pulau di Kabupaten Mentawai yaitu berkisar 0,5-0,7 gal di Pulau Siberut, 0,4-0,6 gal di Pulau Sipora, 0,4-0,5 gal di Pulau Pagai Utara dan 0,6-0,7 gal di Pulau Pagai Selatan. Probabilitas 10% 50 tahun menunjukkan bahwa kemungkinan kejadian gempa bumi untuk PGA tersebut terjadi dengan periode ulang 500 tahun. Hasil nilai PGA juga diamati untuk setiap daerah di Kabupaten Mentawai yang ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 3 Pemetaan PGA Kabupaten Mentawai

Tabel 4 Nilai PGA untuk setiap daerah di Kabupaten Mentawai

Kecamatan	Desa	Nilai PGA (gal)
Siberut Utara	Togilite	0,64-0,66
	Sigapokna	0,59-0,60
	Simalegi	0,77-0,78
	Simatalu	0,68-0,71
	Simukop	0,68-0,75
Siberut Barat	Sagullubek	0,56-0,60
	Katurei	0,56-0,60
	Muara Siberut	0,54-0,55
	Maileppet	0,56-0,58
Siberut Selatan	Saibi	0,56-0,58
	Silaoinan	0,56-0,58
	Sirilogui	0,56-0,58
Siberut Timur	Molancan	0,59-0,60
	Sikabalu	0,61-0,63
Sipora Utara	Tuapejat	0,49-0,53
	Goosoinan	0,54-0,56
	Betumonga	0,52-0,55
Sipora Selatan	Sioban-Mara	0,52-0,55
	Nemnemleleu	0,52-0,55
	Beriolou	0,50-0,52
	Bosua	0,46-0,50
Pagai Utara	Pagai Utara	0,4-0,5
Sikakap	Sikakap	0,4-0,6
Pagai Selatan	Pagai Selatan	0,6-0,7

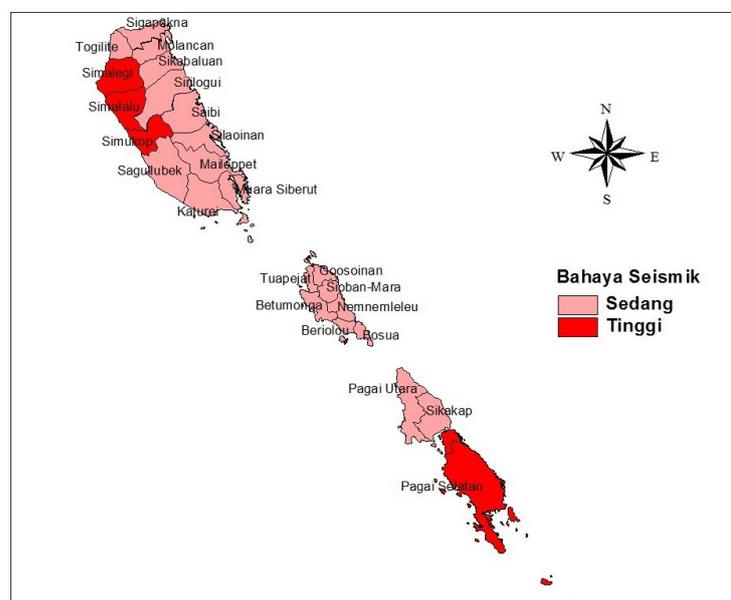
Pemetaan Pulau Siberut menunjukkan bahwa daerah pesisir Simalegi memiliki PGA yang tinggi 0,77-0,78 gal diikuti oleh Simukop 0,68-0,75 gal, Simatalu 0,68-0,71 gal dan Tolige 0,64-0,65 gal. Daerah dengan PGA kecil didapatkan bagian Siberut Tengah dengan rentang nilai PGA 0,50-0,58 gal. Nilai PGA untuk Pulau Sipora menunjukkan daerah dengan PGA tinggi yaitu Goosoinan, Sioban-Mara, dan Nemnemleleu dengan rentang PGA 0,52-0,56 gal. Daerah dengan PGA kecil di Pulau Sipora dimiliki daerah Bosua dan Tuapejat. Pulau Pagai memiliki PGA yang sama pada semua daerah yaitu berkisar 0,4-0,7 gal.

Daerah dengan PGA tinggi menunjukkan batuan pada daerah tersebut lebih renggang dengan densitas kecil sehingga jika terjadi gempa bumi gelombang seismik akan lebih mudah menjalar menyebabkan guncangan lebih kuat. Nilai PGA tinggi menunjukkan daerah tersebut berada dekat dengan titik episenter gempa bumi. Pulau Siberut berada pada segmentasi *megathrust*-Siberut

sehingga rawan terjadi gempa bumi terutama daerah pesisir seperti Simalegi, Simatalu dan Simukop. Nilai PGA tinggi pada Pulau Pagai Selatan juga diakibatkan gempa bumi tahun 2010 dengan kekuatan 7,7 M_w . Guncangan kuat gempa bumi tersebut menyebabkan bebatuan mengalami deformasi sehingga batuan tidak serapat sebelumnya dan lebih rawan guncangan saat terjadi gempa dimasa yang akan datang.

3.3 Bahaya Seismik Kabupaten Mentawai

Berdasarkan Tabel 3 dalam BNPB (2012) tingkat bahaya dapat diamati berdasarkan nilai PGA. Daerah dengan rentang PGA 0,2501-0,7 gal termasuk daerah dengan tingkat bahaya sedang dan daerah dengan PGA besar dari 0,7 gal memiliki tingkat bahaya tinggi. Kabupaten Mentawai memiliki rentang PGA 0,4-0,7 gal dan beberapa daerah memiliki nilai PGA besar dari 0,7 gal sehingga Kabupaten Mentawai memiliki tingkat bahaya/hazard gempa sedang hingga tinggi. Kabupaten Mentawai memiliki nilai PGA terkecil yaitu 0,4 gal sehingga semua daerah memiliki bahaya gempa bumi sedang dan bahaya tinggi di Kabupaten Mentawai terdapat pada daerah dengan PGA besar dari 0,7 gal yaitu Simalegi, Simukop, Simatalu dan Pulau Pagai Selatan. Gambar 4 menunjukkan zonasi tingkat bahaya seismik untuk Kabupaten Mentawai.



Gambar 4 Zonasi bahaya seismik

Nilai PGA yang tinggi menandakan bahwa daerah tersebut akan mengalami guncangan dan kerusakan lebih parah dari daerah dengan PGA rendah sehingga dapat dibuat infrastruktur yang lebih kuat pada daerah tersebut. Nilai PGA tinggi menunjukkan bahwa lapisan batuan lebih tipis dan apabila terjadi gempa bumi akan menyebabkan guncangan lebih cepat. Namun daerah dengan PGA rendah tidak selalu aman dari bencana gempa bumi karena masih terdapat pengaruh lain yang dapat menyebabkan resiko gempa bumi seperti jenis batuan, letak episenter dan historisis.

IV. KESIMPULAN

Seismisitas di Kabupaten Mentawai termasuk tinggi dengan *a-value* 6,19 dan *b-value* 0,747. Nilai PGA berkisar 0,4-0,7 gal menandakan bahwa Kabupaten Mentawai memiliki tingkat guncangan tanah yang kuat saat terjadi gempa bumi sehingga sangat beresiko mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi. Secara umum Kabupaten Mentawai memiliki tingkat bahaya gempa sedang hingga tinggi. Daerah dengan tingkat bahaya tinggi di Kabupaten Mentawai dimiliki oleh Pagai Selatan dan Siberut Utara terutama untuk daerah Simalegi, Simatalu, dan Simukop.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada USGS yang sudah menyediakan *software* untuk pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- BNPB. (2012), *Peraturan Badan Kepala Nasional Penanggulangan Bencana No. 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Resiko Bencana*, Indonesia.
- Djoko, S., Hilman, D., Syamsidik, Wintorojati, D. and Zubir, Z. (2016), *Sejarah Bencana Gempa Di Sumatera: Edisi Pertama*, edited by Djaenuderadjat, E., First., Jakarta.
- Indonesia, T.R.P.G. (2010), “Ringkasan hasil studi tim revisi peta gempa Indonesia 2010”, *Jakarta: BNPB, AIFDR, RISTEK, DPU, ITB, BMKG, LIPI, ESDM*.
- Konca, A.O., Avouac, J.-P., Sladen, A., Meltzner, A.J., Sieh, K., Fang, P., Li, Z., *et al.* (2008), “Partial rupture of a locked patch of the Sumatra megathrust during the 2007 earthquake sequence”, *Nature*, Nature Publishing Group, Vol. 456 No. 7222, pp. 631–635.
- Kulhanek, O. (2005), “Seminar on b-value”, *Dept. of Geophysics, Charles University, Prague*, Citeseer, pp. 10–190.
- Rohadi, S., Grandis, H. and Ratag, M.A. (2014), “Studi Variasi Spatial Seismisitas Zona Subduksi Jawa”, *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, Vol. 8 No. 1.
- Santoso, E., Widiyantoro, S. and Sukanta, I.N. (2011), “Studi hazard seismik dan hubungannya dengan intensitas seismik di pulau sumatera dan sekitarnya”, *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, Vol. 12 No. 2.
- Schorlemmer, D., Wiemer, S. and Wyss, M. (2004), “Earthquake statistics at Parkfield: 1. Stationarity of b values”, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Wiley Online Library, Vol. 109 No. B12.
- Sieh, K. and Natawidjaja, D. (2000), “Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia”, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Wiley Online Library, Vol. 105 No. B12, pp. 28295–28326.
- Wiemer, S. and Wyss, M. (1994), “Seismic quiescence before the Landers (M= 7.5) and Big Bear (M= 6.5) 1992 earthquakes”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, The Seismological Society of America, Vol. 84 No. 3, pp. 900–916.