

## **PEMETAAN PERCEPATAN GETARAN TANAH MAKSIMUM MENGGUNAKAN PENDEKATAN PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS (PSHA) DI KABUPATEN KEPAHANG PROVINSI BENGKULU**

*Arif Ismul Hadi*<sup>1\*</sup> dan *Kirbani Sri Brotopuspito*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Bengkulu, Bengkulu

<sup>2</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

\* Korespondensi penulis, Email: ismulhadi@yahoo.com

### **Abstract**

*This study aims to analyze and map the peak ground acceleration using the approach of Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) in the area. Earthquake catalog data obtained from BMKG, ISC and USGS began in 1914 until 2014. Declustering process using ZMAP ver.6 software. Identification and modeling of the seismic source uses three models of seismic sources: (1) to subduction earthquake source, (2) the source of the earthquake fault and (3) the source of the quake background. Parameters a-value and b-value is obtained by the Gutenberg-Richter recurrence law and maximum likelihood method, whereas the determination of the attenuation function and logic tree refers to the Revision Team of Indonesia Earthquake 2010. Peak ground acceleration values obtained using USGS-PSHA-07 software. The results showed that the value of the peak ground acceleration in the Kepahiang District for probability exceeded 10% and 2% in the 50 year design life of the building is 0.15 – 0.8 g and 0.25 – 1.3 g. Areas that are the red zone is the Ujan Mas Sub-district, Kepahiang Sub-district, Tebat Karai Sub-district, Seberang Musi Sub-district and Bermani Ilir Sub-district, while the regions are relatively safe from the red zone is the Merigi Sub-district, Kabawetan Sub-district and Muara Kemumu Sub-district. Red zone is an area adjacent to the Sumatran Fault of Musi Segment.*

**Keywords:** *peak ground acceleration, PSHA, red zone and Sumatran Fault of Musi Segment.*

### **Abstrak**

*Penelitian ini bertujuan menganalisis dan memetakan percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan pendekatan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) di daerah tersebut. Data katalog gempa berasal dari BMKG, ISC dan USGS selama rentang waktu tahun 1914 hingga 2014. Proses pemisahan gempa utama dari gempa-gempa ikutan digunakan software ZMAP ver.6. Identifikasi dan pemodelan terhadap sumber gempa menggunakan tiga model sumber gempa yaitu untuk sumber gempa subduksi, sumber gempa sesar dan sumber gempa background. Parameter a dan b-value diperoleh berdasarkan hukum perulangan Gutenberg-Richter dan metode maximum likelihood, sedangkan penentuan fungsi atenuasi dan logic tree mengacu kepada Tim Revisi Gempa Indonesia 2010. Nilai percepatan getaran tanah maksimum diperoleh dengan menggunakan program USGS-PSHA-07. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai percepatan getaran tanah maksimum di daerah Kabupaten Kepahiang untuk probabilitas terlampaui 10% dan 2% dalam 50 tahun umur rencana bangunan adalah 0,15 – 0,8 g dan 0,25 – 1,3 g. Daerah-daerah yang merupakan zona merah adalah Kecamatan Ujan Mas, Kecamatan Kepahiang, Kecamatan Tebat Karai, Kecamatan Bermani Ilir dan Kecamatan Seberang Musi, sedangkan daerah-daerah yang relatif aman dari zona merah adalah Kecamatan Merigi, Kecamatan Kabawetan, dan Kecamatan Muara Kemumu. Zona merah merupakan daerah yang berdekatan dengan Sesar Sumatra Segmen Musi.*

**Kata Kunci:** *percepatan getaran tanah maksimum, PSHA, zona merah dan Sesar Sumatra Segmen Musi.*

## Pendahuluan

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu daerah di Pulau Sumatra bagian selatan yang rawan terhadap guncangan gempa bumi. Kondisi ini disebabkan karena Provinsi Bengkulu merupakan jalur pertemuan lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia. Selain itu, Provinsi Bengkulu juga merupakan daerah yang dilalui jalur Sesar Sumatra. Menurut Murjaya [1], energi tektonik kumulatif dan nilai *strain rate* paling besar terjadi di zona selatan yaitu di sekitar wilayah Provinsi Bengkulu. Energi tektonik dan nilai *strain rate* yang besar berimplikasi pada gerakan tenaga luncuran *slab* menjadi mudah memicu terjadinya patahan (*fracture*). Keadaan ini menyebabkan material menjadi lebih mudah *fracture* dan menyebabkan material menjadi relatif kurang elastis. Hal ini berimplikasi juga pada aktivitas kegempaan yang tinggi dibandingkan dengan daerah lain di Pulau Sumatra. Lempeng tektonik Indo-Australia bergerak ke arah utara dan lempeng Eurasia bergerak ke arah selatan [2]. Pergerakan lempeng tektonik Indo-Australia di Pulau Sumatra ini sebesar 50 – 60 mm/tahun [3]. Diduga sistem sesar ini terjadi akibat gaya kompresi yang berarah utara – selatan [4]. Konsekuensi dari pergerakan lempeng tersebut menyebabkan Sesar Sumatra terbagi menjadi 19 segmen utama dengan panjang tiap segmen 35 – 200 km [5].

Salah satu segmen Sesar Sumatra yang ada di Provinsi Bengkulu adalah Segmen Musi yang melintasi Kabupaten Kepahiang. Berdasarkan data kegempaan tahun 1971 s.d. 2011 pada koordinat  $2^{\circ}$  LS –  $3^{\circ}$  LS dan  $102^{\circ}$  BT –  $103^{\circ}$  BT di sekitar Sesar Sumatra Segmen Musi telah terjadi gempa dangkal yang merusak dengan  $M_w \geq 5$  sebanyak 12 kali kejadian [6]. Daerah di sekitar sesar umumnya dekat permukiman penduduk, sehingga dalam perancangan bangunan dan infrastruktur di daerah ini sangat perlu memperhatikan beban gempa dan akan memberikan biaya pembangunan jauh lebih tinggi dari daerah lainnya [7].

Kabupaten Kepahiang merupakan daerah yang baru berkembang, sehingga memerlukan peta yang menggambarkan tingkat kerawanan terhadap guncangan gempa bumi. Salah satu peta yang dapat menggambarkan tingkat kerawanan terhadap guncangan gempa bumi tersebut adalah peta percepatan getaran tanah maksimum. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan memetakan percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan pendekatan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu. Peta percepatan getaran tanah maksimum ini merupakan salah satu pedoman rencana tata ruang dan wilayah (RTRW) dan dapat memberikan rekomendasi dalam penempatan bangunan permukiman dan bangunan vital lainnya pada daerah yang potensi percepatan getaran tanahnya rendah.

Percepatan getaran tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah yang terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempa bumi [8]. Analisis dan perhitungan percepatan getaran tanah maksimum dapat diperoleh melalui pendekatan teori probabilitas total. Teori probabilitas total dalam metode PSHA merupakan salah satu teori yang biasa diterapkan dalam analisis risiko gempa [9]. Asumsi pada metode PSHA adalah magnitudo gempa  $m$  dan jarak  $r$  sebagai variabel acak independen yang menerus [10]. Dalam bentuk umum teorema probabilitas total dinyatakan [11]:

$$P[Y > y^*] = \iint P[Y > y^* | m, r] f_M(m) f_R(r) dm dr \quad (1)$$

dengan  $P[Y > y^* | m, r]$  merupakan probabilitas gempa dengan magnitudo  $m$  pada jarak  $r$  yang memberikan percepatan maksimum  $Y$  di lokasi lebih tinggi dari  $y$ ,  $f_M(m)$  merupakan probabilitas fungsi kerapatan magnitudo dan  $f_R(R)$  merupakan fungsi kerapatan jarak.

Perumusan PSHA pada dasarnya berkaitan dengan estimasi tingkat kejadian yang diharapkan [12]. Pada analisa PSHA harus diketahui berapa besar kekuatan maksimalnya di setiap sumber gempa atau setiap segmen, kapan gempa yang terakhir dan berapa lama periode atau frekuensi alamiah dari kejadian gempanya dengan memperhitungkan kemungkinan terlampauinya suatu gempa tertentu (risiko gempa). Besarnya risiko gempa tahunan untuk kejadian gempa dapat diperoleh dari model Poisson [11]:

$$P[N \geq 1] = 1 - e^{-\lambda_m t} \quad (2)$$

Prediksi besar guncangan di satu lokasi merupakan penjumlahan besar guncangan yang terjadi dari semua sumber gempa di sekitar lokasi. Untuk pengaruh sumber gempa subduksi adalah radius ~ 500 km dari lokasi penelitian, dengan asumsi bahwa kejadian-kejadian gempa yang terjadi di luar jarak tersebut tidak memberikan kontribusi yang berarti dan untuk sumber patahan (*shallow crustal fault*) daerah pengaruhnya adalah radius ~ 200 km [13].

#### Pengumpulan Data dari Katalog Gempa

Data yang digunakan dalam penelitian berasal dari katalog gempa Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) [14] untuk kejadian gempa tahun 2008 s.d. 2014, *International Sismological Centre* (ISC) [15] untuk gempa tahun 1914 s.d. 1972 dan *United States of Geological Surveys* (USGS) [16] untuk gempa tahun 1973 s.d. 2014. Data katalog gempa diambil pada koordinat  $9^\circ \text{LS} - 1^\circ \text{LU}$  dan  $98^\circ \text{BT} - 109^\circ \text{BT}$ . Skala magnitudo minimal yang digunakan adalah  $M_w \geq 5$  dengan kedalaman 0 – 50 km (gempa dangkal) dan kedalaman 50 – 300 km (gempa menengah), dengan asumsi bahwa kejadian gempa di bawah 300 km (gempa dalam) tidak memberikan kontribusi dalam analisis PSHA. Distribusi gempa di sekitar lokasi penelitian dengan

$M_w \geq 5$  dengan kedalaman 0 – 300 km ditampilkan pada Gambar 1 dan  $M_w$  sebagai fungsi waktu kejadian untuk gempa dangkal dan menengah ditampilkan pada Gambar 2.

#### Konversi Skala Magnitudo

Data yang diperoleh dalam katalog gempa masih belum seragam magnitudonya. Untuk pengolahan data dalam analisis risiko gempa, skala magnitudo-magnitudo tersebut perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala magnitudo yang sama. Pada penelitian ini skala magnitudo yang digunakan berupa magnitudo momen ( $M_w$ ). Magnitudo momen merupakan besaran magnitudo gempa yang konsisten dalam menunjukkan besar kekuatan gempa [17]. Korelasi konversi antara beberapa skala magnitudo untuk wilayah Indonesia adalah sebagai berikut [18]:

$$M_w = 0,143M_s^2 - 1,051M_s + 7,285, \quad (3)$$

$$M_w = 0,114m_b^2 - 0,556m_b + 5,560, \quad (4)$$

$$M_w = 0,787M_E + 1,537, \quad (5)$$

$$m_b = 0,125M_L^2 - 0,389M_L + 3,513, \quad (6)$$

$$M_L = 0,717M_D + 1,003, \quad (7)$$

dengan  $M_s$  (magnitudo gelombang permukaan),  $M_b$  (magnitudo gelombang badan),  $M_E$  (magnitudo energi),  $M_L$  (magnitudo lokal/(Richter) dan  $M_D$  (magnitudo *displacement*).

#### Sortir Gempa Utama

Sortir gempa dalam analisis sesimik *hazard* merupakan proses pemisahan antara gempa utama (*mainshock*) dari gempa-gempa ikutan (*foreshock* dan *aftershock*) [19]. Kriteria empiris untuk mengidentifikasi kejadian gempa utama berdasarkan suatu rentang waktu dan jarak tertentu dari satu kejadian gempa besar [10]. Pada penelitian ini menggunakan

kriteria empiris yang diusulkan oleh [20] dan dalam proses pemisahannya menggunakan *software* ZMAP ver. 6 [21].

### Penentuan Parameter-Parameter Input untuk Masing-Masing Sumber Gempa

Parameter-parameter input yang digunakan untuk identifikasi dan pemodelan terhadap sumber gempa dan mekanismenya meliputi lokasi, dimensi, jenis mekanisme sumber gempa dan tingkat aktifitasnya berdasarkan data gempa dari katalog dan penelitian-penelitian para ahli sebelumnya [19] dan [10]. Pada penelitian ini menggunakan tiga model sumber gempa yaitu: (1) sumber gempa subduksi, (2) sumber gempa sesar dan (3) sumber gempa *background*.

Untuk subduksi berasal dari pengaruh sumber gempa *Megathrust* Siberut (Mid-2 Sumatra) dan *Southern Sumatra*. Sumber gempa sesar berasal dari pengaruh Sesar Sumatra Segmen Barumon, Sumpur, Sianok, Sumani, Suliti, Siulak, Dikit, Ketaun, Musi, Manna, Kumering, Semangko dan Sunda. Untuk sumber gempa *background* berasal dari katalog gempa BMKG, ISC dan USGS pada luasan  $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ .

### Penentuan Parameter $a$ dan $b$ -value

Parameter  $a$  dan  $b$ -value dalam analisis seismik *hazard* digunakan untuk menggambarkan frekuensi kejadian gempa dari suatu sumber gempa. Berdasarkan hukum *recurrence* (perulangan) Gutenberg - Richter, jumlah kumulatif dari kejadian gempa lebih besar dari atau sama dengan magnitudo  $m$  ditentukan oleh persamaan [22]:

$$\lambda_m = a - bm, \quad (8)$$

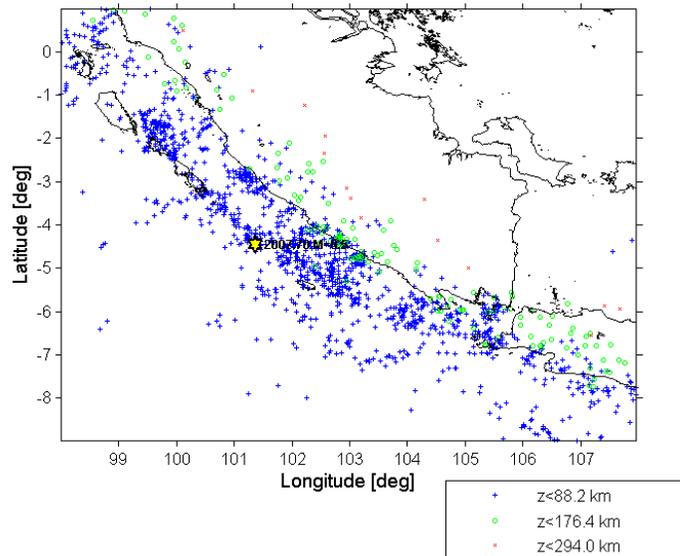
dengan  $a$  dan  $b$  merupakan nilai konstanta yang menggambarkan masing-masing aktivitas dan kemiringan. Konstanta-konstanta ini dapat dihitung dengan analisis kuadrat terkecil regresi linier. Apabila  $a$ -value besar, maka tingkat seismisitasnya tinggi dan apabila  $b$ -value meningkat, maka jumlah gempabumi besar akan berkurang dibandingkan dengan jumlah magnitudo kecil [23]. Penentuan parameter  $b$ -value dengan menggunakan metode *maximum likelihood* akan memberikan hasil yang lebih stabil [24]. Parameter  $b$ -value dengan metode *maximum likelihood* dapat dihitung dengan [25]:

$$b = \frac{\log_{10} e}{M - M_i}, \quad (9)$$

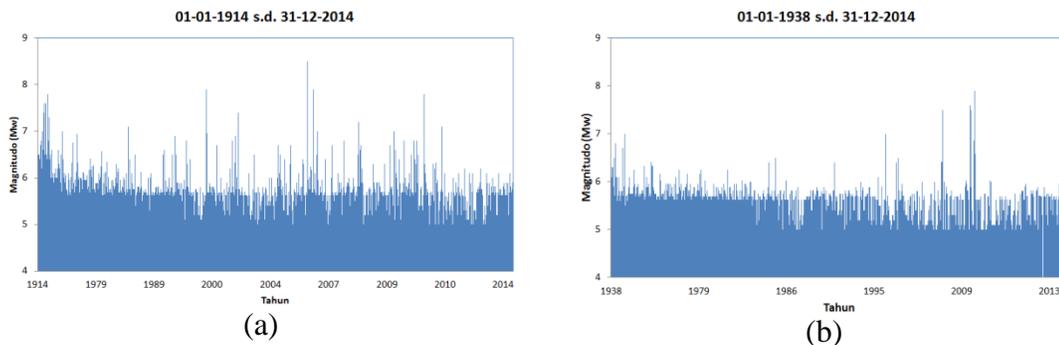
dengan  $M$  merupakan nilai tengah dari data magnitudo yang lebih besar dari  $M_i$ , minimum magnitudo yang diterapkan untuk model ini harus pada minimum *magnitude completeness* yang ada pada daerah pengamatan. Hasil perhitungan  $a$  dan  $b$ -value untuk sumber gempa subduksi dilakukan dengan cara mengambil data historis yang berada di daerah *Megathrust* untuk kemudian dianalisis statistik dengan model *maximum likelihood* [24].

### Penentuan Fungsi Atenuasi

Berdasarkan mekanisme yang mendasari penurunan atenuasi, secara umum model fungsi atenuasi dibagi menjadi tiga kategori [24] yaitu: (1) model atenuasi yang diturunkan pada zona-zona subduksi, (2) model atenuasi yang diturunkan pada zona-zona *transform fault* dan (3) model atenuasi yang diturunkan hanya berdasarkan batasan kedalaman fokus gempa. Menurut Tim Revisi Gempa Indonesia 2010,



Gambar 1. Distribusi gempa di sekitar lokasi penelitian dengan  $M_w \geq 5$  dengan kedalaman 0- 300 km dari katalog gempa BMKG, ISC dan USGS



Gambar 2. Magnitudo ( $M_w$ ) sebagai fungsi waktu kejadian dari katalog gempa BMKG, ISC dan USGS untuk gempa dangkal (a) dan untuk gempa menengah (b)

data pencatatan *accelerograph* yang selama ini dan yang ada adalah data percepatan (*ground motion*) yang berada di permukaan tanah, sedangkan data tanah sebagai tempat *accelerograph* tersebut berada belum diketahui kondisi geologinya, sehingga sampai saat ini belum dapat dibuat dan diverifikasi atenuasi yang digunakan untuk wilayah Indonesia. Berdasarkan kondisi tersebut, pemakaian fungsi atenuasi di Indonesia masih mengacu kepada fungsi atenuasi dari wilayah lain yang mempunyai kemiripan kondisi geologi dan tektonik dari

wilayah tersebut [10]. Fungsi Atenuasi yang digunakan tersebut sudah menggunakan fungsi atenuasi *Next Generation Attenuation* (NGA) yang mana dalam pembuatannya sudah menggunakan data gempa global (*worldwide data*). Rumus fungsi atenuasi yang digunakan dalam penelitian ini mengacu kepada fungsi atenuasi yang digunakan oleh Tim Revisi Gempa Indonesia 2010 baik untuk sumber gempa *shallow crustal* (model sumber *fault* dan *shallow background*), sumber gempa subduksi *interface* (*Megathrust*) maupun

untuk sumber gempa *Benioff* (*deep interslab*).

### Penggunaan *Logic Tree*

*Logic tree* digunakan untuk mengatasi ketidakpastian parameter dalam perhitungan analisis seismik *hazard*. Pendekatan dengan menggunakan *logic tree* memungkinkan untuk memilih beberapa alternatif metode atau model dengan menentukan faktor bobot yang menggambarkan persentase kemungkinan keakuratan relatif suatu model terhadap model lainnya. Model *logic tree* merupakan rangkaian nodal (*node*) yang direpresentasikan sebagai titik yang mana model dispesifikan dan cabang yang merepresentasikan model yang berbeda yang dispesifikan pada tiap *node*. Penjumlahan probabilitas dari semua cabang yang dihubungkan dengan satu *node* tertentu nilainya harus sama dengan satu [10].

### Penentuan Nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum

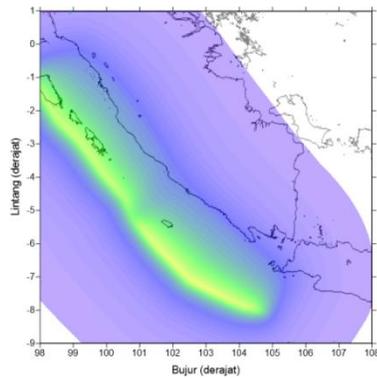
Untuk menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum digunakan analisis seismik *hazard* dengan bantuan program USGS-PSHA-07 [26]. Analisis seismik *hazard* dimodelkan untuk masing-masing sumber gempa karena pengaruh subduksi, sesar maupun gempa *background*. Hasil akhir dari analisis seismik *hazard* ini berupa peta percepatan getaran tanah maksimum di batuan dasar untuk daerah penelitian dengan probabilitas terlampaui 10% dan 2% dalam 50 tahun umur rencana bangunan (periode ulang gempa 475 tahun dan 2475 tahun) dengan spasi grid  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ .

### Hasil dan Pembahasan

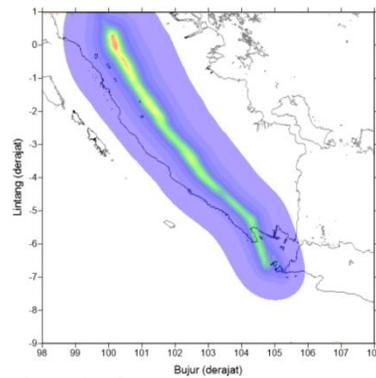
Pusat daerah penelitian tertetak di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu pada koordinat geografis  $101^\circ 55' 19''$  BT s.d.  $103^\circ 01' 29''$  BT dan  $02^\circ 43' 07''$  LS s.d.  $03^\circ 46' 48''$  LS. Untuk memperoleh nilai percepatan getaran tanah maksimum

di pusat daerah penelitian, maka diambil daerah luasan dengan radius  $\sim 500$  km yaitu pada koordinat geografis  $9^\circ$  LS s.d.  $1^\circ$  LU dan  $98^\circ$  BT s.d.  $109^\circ$  BT (Pulau Sumatra bagian selatan) dengan skala magnitudo  $\geq 5$  pada kedalaman gempa dangkal sampai menengah. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan bantuan program USGS-PSHA-07 diperoleh nilai percepatan getaran tanah maksimum di batuan dasar yang dipengaruhi oleh sumber gempa subduksi, sumber gempa sesar, sumber gempa *background* dan sumber gabungan (semua sumber gempa) di daerah penelitian dengan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun umur rencana bangunan pada daerah luasan tersebut. Nilai percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh masing-masing sumber gempa akan berkontribusi terhadap besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum di daerah tersebut. Nilai percepatan getaran maksimum akan semakin mengecil sesuai dengan jarak dari sumber gempanya.

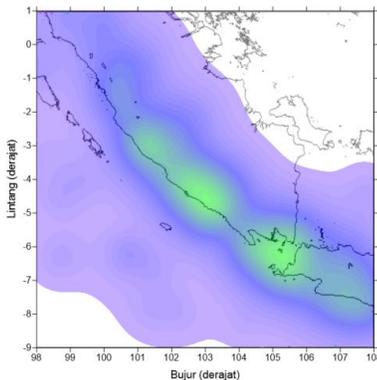
Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh sumber gempa subduksi di Pulau Sumatra bagian selatan dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 7. Pengaruh besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum di daerah ini khususnya berasal dari subduksi pada kejadian gempa *Megathrust* di segmen Siberut (mid-2 Sumatra) dan di segmen *southern* Sumatra yang terletak di sebelah barat Pulau Sumatra. Besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum akibat pengaruh subduksi mencapai 0,56 g untuk probabilitas terlampaui 10% dan 1,05 g untuk probabilitas terlampaui 2%. Pengaruh besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum di daerah sesar berasal dari Sesar Sumatra yang dilalui oleh segmen Barumun, Sumpur, Sianok, Sumani, Suliti, Siulak, Dikit, Kataun, Musi, Manna, Kumering, Semangko dan Sunda. Besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum akibat pengaruh sesar pada segmen-segmen



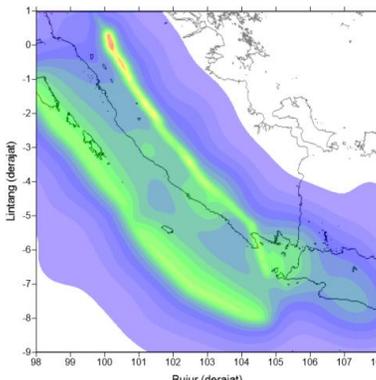
Gambar 3. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh sumber gempa subduksi dengan probabilitas terlampaui 10% di Pulau Sumatra bagian selatan



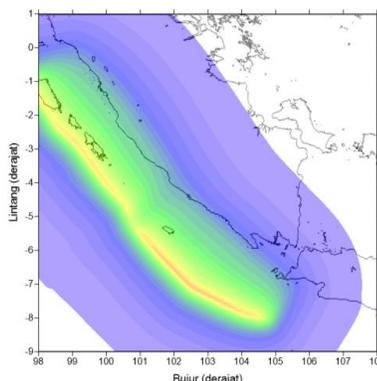
Gambar 4. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh sumber gempa sesar aktif dengan probabilitas terlampaui 10% di Pulau Sumatra bagian selatan



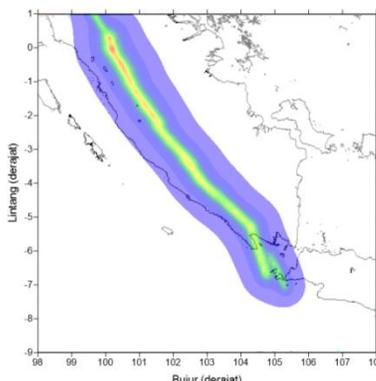
Gambar 5. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh sumber gempa background dengan probabilitas terlampaui 10% di Pulau Sumatra bagian selatan



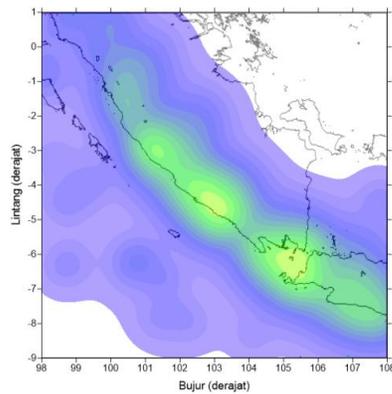
Gambar 6. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh semua sumber gempa dengan probabilitas terlampaui 10% di Pulau Sumatra bagian selatan



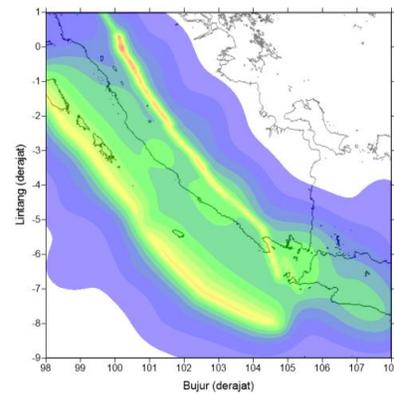
Gambar 7. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh sumber gempa subduksi dengan probabilitas terlampaui 2% di Pulau Sumatra bagian selatan



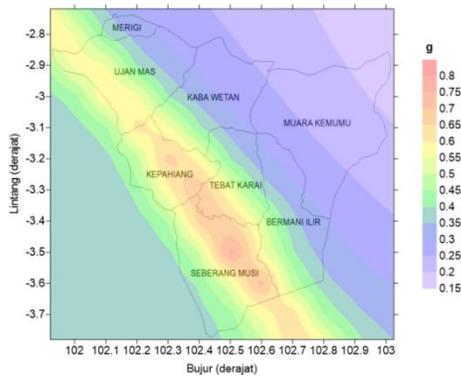
Gambar 8. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh sumber gempa sesar aktif dengan probabilitas terlampaui 2% di Pulau Sumatra bagian selatan



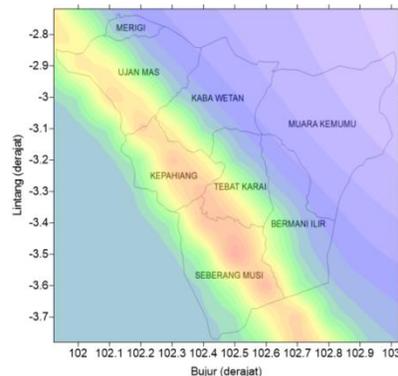
Gambar 9. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh sumber gempa *background* dengan probabilitas terlampaui 2% di Pulau Sumatra bagian selatan



Gambar 10. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh semua sumber gempa dengan probabilitas terlampaui 2% di Pulau Sumatra bagian selatan



Gambar 11. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh semua sumber gempa dengan probabilitas terlampaui 10% di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu



Gambar 12. Peta percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh semua sumber gempa dengan probabilitas terlampaui 2% di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu

tersebut mencapai 1,2 g untuk probabilitas terlampaui 10% (Gambar 4) dan 1,6 g untuk probabilitas terlampaui 2% (Gambar 8). Besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum akibat sumber gempa *background* banyak dipengaruhi oleh kejadian gempa historis di tepi pantai sepanjang Provinsi Bengkulu hingga Provinsi Lampung. Nilai percepatan getaran tanah maksimum akibat pengaruh sumber gempa *background* dapat mencapai 0,46 g untuk probabilitas terlampaui 10% (Gambar 5) dan 0,7 g untuk probabilitas terlampaui 2% (Gambar 9).

Pengaruh semua sumber gempa merupakan gabungan dari pengaruh sumber gempa subduksi, sumber gempa di daerah sesar dan sumber gempa *background*. Besarnya nilai percepatan getaran tanah maksimum akibat pengaruh semua sumber gempa ini dapat mencapai 1,2 g untuk probabilitas terlampaui 10% (Gambar 6) dan 1,6 untuk probabilitas terlampaui 2% (Gambar 10). Nilai percepatan getaran maksimum yang diperoleh dari hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010 [10]. Untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun umur

rencana bangunan nilai percepatan getaran maksimum akibat semua sumber gempa di daerah subduksi Segmen Siberut (mid-2 Sumatra) dan di Segmen *Southern* Sumatra adalah 0,4 – 0,5 g [10], 0,4 – 0,6 g [27] dan 0,3 – 0,5 g [28], sedangkan pada penelitian ini adalah 0,4 – 0,6 g. Untuk daerah di sekitar Sesar Sumatra nilai percepatan getaran tanah maksimumnya adalah 0,5 – > 0,6 g [10], 0,5 – 1 g [28] dan 0,4 – 0,7 g [27], sedangkan hasil penelitian ini adalah 0,5 – 1,2 g.

Untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun umur rencana bangunan, hasil penelitian [10] dan [7], nilai percepatan getaran tanah maksimum pada daerah subduksi Segmen Siberut (mid-2 Sumatra) dan di Segmen *Southern* Sumatra adalah 0,8 – 1,0 g dan [27] sebesar 0,7 – 1,0 g. Pada penelitian ini diperoleh nilai percepatan getaran maksimumnya juga sebesar 0,7 – 1,0 g. Pada daerah di sekitar Sesar Sumatra diperoleh nilai percepatan getaran tanah maksimum 0,6 – 1,0 g [10] dan [7] dan 0,7 – 1,0 g [27], sedangkan pada penelitian adalah 0,6 – 1,6 g. Perbedaan nilai percepatan getaran maksimum yang dihasilkan dari beberapa peneliti sebelumnya dapat disebabkan oleh penggunaan data katalog gempa yang berbeda waktunya maupun parameter input lainnya. [10] dan [7] menggunakan katalog gempa mulai tahun 1900 hingga 2009, sedangkan pada penelitian ini menggunakan katalog gempa mulai tahun 1914 hingga 2014.

Hasil analisis seismik *hazard* di daerah Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu menunjukkan bahwa nilai percepatan getaran tanah maksimum yang tinggi terletak pada wilayah yang berada dekat dengan daerah patahan (sesar). Nilai percepatan getaran tanah maksimum dari pengaruh semua sumber gempa dengan probabilitas terlampaui 10% di daerah ini adalah mulai 0,15 – 0,8 g (Gambar 11) dan untuk probabilitas terlampaui 2% adalah

mulai 0,25 – 1,3 g (Gambar 12). Menurut Petersen *et al.* [29], nilai percepatan getaran tanah maksimum di daerah ini dengan probabilitas terlampaui 10% sekitar 0,6 g. Nilai percepatan getaran tanah maksimum akan mengecil sesuai dengan jarak yang semakin jauh dari keberadaan Sesar Sumatra Segmen Musi. Rata-rata kejadian gempa di Segmen Musi ini adalah  $6,1 \times 10^{-3}$  kejadian/tahun dan merupakan yang tertinggi di antara segmen Sesar Sumatra di Provinsi Bengkulu [5]. Menurut USGS [16], pada tanggal 15 Desember 1979 telah terjadi gempa dengan  $M_s = 6,6$  pada koordinat  $3,299^\circ$  LS dan  $102,712^\circ$  BT dengan kedalaman 33 km di sekitar Segmen Musi. Gempa ini menyebabkan hampir 500 rumah hancur dan terbentuknya rekahan-rekahan berarah baratdaya–tenggara dengan panjang 25 m dan lebar 30 cm [30].

Keberadaan Sesar Sumatra Segmen Musi berarah baratlaut–tenggara dan merupakan sesar geser mengangan/dekstral [5]. Berdasarkan peta administrasi Kabupaten Kepahiang, daerah yang paling berbahaya adalah daerah yang berdekatan dengan Sesar Sumatra Segmen Musi yang merupakan zona merah. Daerah-daerah tersebut adalah Kecamatan Ujan Mas, Kecamatan Kepahiang, Kecamatan Tebat Karai, Kecamatan Bermani Ilir dan Kecamatan Seberang Musi, sedangkan daerah-daerah yang relatif aman dari zona merah adalah Kecamatan Merigi, Kecamatan Kabawetan dan Kecamatan Muara Kemumu. Untuk meminimalisir kerusakan bangunan dan korban jiwa, pada daerah-daerah tersebut dalam perencanaan pembangunan dan infrastruktur harus memperhatikan beban gempa serta menempatkan bangunan vital lainnya pada daerah yang mempunyai potensi percepatan getaran tanahnya rendah.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa nilai percepatan getaran tanah maksimum di daerah Kabupaten Kepahiang untuk probabilitas terlampaui 10% dan 2% dalam 50 tahun umur rencana bangunan (periode ulang gempa 475 tahun dan 2475 tahun) adalah 0,15 – 0,8 g dan 0,25 – 1,3 g. Daerah-daerah yang merupakan zona merah adalah Kecamatan Ujan Mas, Kecamatan Kepahiang, Kecamatan Tebat Karai, Kecamatan Bermani Ilir dan Kecamatan Seberang Musi, sedangkan daerah-daerah yang relatif aman dari zona merah adalah Kecamatan Merigi, Kecamatan Kabawetan, dan Kecamatan Muara Kemumu. Zona merah merupakan daerah yang berdekatan dengan Sesar Sumatra Segmen Musi.

Untuk meminimalisir kerusakan bangunan dan korban jiwa, bagi instansi terkait dan masyarakat disarankan dalam merencanakan bangunan harus memperhatikan beban gempa serta menempatkan bangunan pada daerah yang mempunyai potensi percepatan getaran tanahnya rendah.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Rosmiyati A. Bella atas program *interface*-nya untuk *software* USGS-PSHA-07.

### Daftar Pustaka

- [1] Murjaya, J., Zonasi Energi Tektonik Daerah Subduksi Berdasarkan Bentuk Kerutan (Buckling) Searah Busur (Studi Kasus: Wilayah Sumatra), *Disertasi S-3*, Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2011.
- [2] Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J.F., Stevens, C.W., McCaffrey, R., Subarya, C., Puntodewo, S.S.O. and Calais, E., Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements, *Journal of Geophysical Research* 108: doi: 10.1029/2001JB000324. issn: 0148-0227, 2003.
- [3] Petersen, M.D., Harmsen, S., Mueller, C., Haller, K., Dewey, J., Luco, N., Crone, A., Lidke, D. and Rukstales, K., *Documentation for the Southeast Asia Seismic Hazard Maps*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2007.
- [4] Gafoer, S., Amin, T.C. and Pardede, *Geology of Bengkulu Quadrangle, Sumatra*, Department of Mines and Energy, Directorate General of Geology and Mineral Resources, Geological Research and Development Centre, Bandung, 2012.
- [5] Sieh, K. and Natawidjaja, D., Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, **105** (B12): 28,295-28,326, 2000.
- [6] Hadi, A.I., Suhendra, dan Manik, O.O., Pemetaan Gempa Bumi Berdasarkan Tingkat Keaktifan Gempa Di Provinsi Bengkulu Periode 1971-2011, *Prosiding Semirata BKS PTN Barat*, Bandar Lampung, 10 – 12 Mei 2013. hal.: 269–272, 2013.
- [7] Fauzi, U.J., Peta Deagregasi Indonesia Berdasarkan Analisis Probabilitas dengan Sumber Gempa Tiga Dimensi, *Tesis S - 2*, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.
- [8] Brotopuspito, K.S., Prasetya, T. dan Widigdo, F.M., Percepatan Getaran Tanah Maksimum Daerah Istimewa Yogyakarta 1943-2006, *J. Geofisika*, **1** (1): 19–22, 2006.
- [9] Aldiamar, F., Analisis Resiko Gempa di Batuan Dasar. *Jurnal Jalan – Jembatan*, **26** (3): 213-229, 2009.
- [10] Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Hilman, D., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., Ridwan, M., *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*,

- Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung, 2010.
- [11] Kramer, S.L., *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, USA, 1996.
- [12] Gupta, I.D., Probabilistic Seismic Hazard Analysis Method for Mapping of Spectral Amplitudes and Other Design Specific Quantities to Estimate the Earthquake Effects on Man-Made Structures, *ISET Journal of Earthquake Technology*, **44**: 127–167, 2007.
- [13] Hutapea, B.M. dan Mangape, I., Analisis Hazard Gempa dan Usulan *Ground Motion* pada Batuan Dasar untuk Kota Jakarta, *Jurnal Teknik Sipil (Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil)*, **16** (3): 121–132, 2009.
- [14] BMKG, [http://inatews.bmkg.go.id/new/query\\_gempa\\_isu.php](http://inatews.bmkg.go.id/new/query_gempa_isu.php). Diakses tanggal 20 Agustus 2015, 2015.
- [15] ISC, <http://www.isc.ac.uk/iscgem/download.php>. Diakses tanggal 9 Juli 2015, 2015.
- [16] USGS, <http://earthquake.usgs.gov/earthquaks/search/>. Diakses tanggal 9 Juli 2015, 2015.
- [17] Hanks, T.C. and Kanamori, H. A., Moment Magnitude Scale. *Journal of Geophysical Research*, **82**: 2981-2987, 1979.
- [18] Asrurifak, M., Irsyam, M., Budiono, B., Triyoso, W. and Hendriyawan, Development of Spectral Hazard Map for Indonesia with Return Period of 2500 Years using Probabilistic Method, *J. Civil Engineering Dimension*, **12** (1): 52–62, 2010.
- [19] Pasau, G. dan Tanauma, A., Pemodelan Sumber Gempa di Wilayah Sulawesi Utara sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Ilmiah Sains*, **11** (2): 203–209, 2011.
- [20] Gardner, J.K. dan Knopoff, L., Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian?. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **64**: 1363–1367, 1974.
- [21] Wiemer, S. A., Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP, *Seismological Research Letters*, **72** (2): 373–382, 2001.
- [22] Gutenberg, B. and Richter, C.F., Frequency of Earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **34** (4): 1985–1988, 1944.
- [23] Thant, M., Delineation of Strong Ground Motion by Using Aftershocks Data, Seismicity and Geological Information for Southern Yogyakarta Depression Area, Indonesia. *Ph.D. Thesis*, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University, Yogyakarta, 2008.
- [24] Asrurifak, M., Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilitas. *Disertasi S-3*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2010.
- [25] Aki, K., Maximum Likelihood Estimate of  $b$  in the formula  $N = a - bm$  and its Confidence Limits. *Bulletin Earthquake Research Institute*, **43**: 237–239, 1965.
- [26] Harmsen, S., *USGS Software for Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*, United States of Geological Surveys, Reston, Virginia, 2007.
- [27] Irsyam, M., Dangkua, D.T., Hendriyawan, Hoedajanto, D., Huapea, B.M., Kertapati, E.K., Boen, T and Petersen, M.D., Proposed Seismic Hazard Maps of Sumatra and Java Islands and Microzonation Study of Jakarta City, Indonesia, *J. Earth Syst. Sci.*, **117** (S2): 865 – 878, 2008.
- [28] Petersen, M.D., Dewey, J. and Hartzel, S., Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Sumatra, Indonesia and

- Across the Southern Malaysian Peninsula, *Tectonophysics*, **390**: 141-158, 2004.
- [29] Petersen, M.D., Harmsen, S., Mueller, C., Haller, K., Dewey, J., Luco, N., Crone, A., Rukstales, K. and Lidke, D., *New USGS Southeast Asia Seismic Hazard Maps*, The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, October 12 – 17, 2008, Beijing, China, 2008.
- [30] Sukmono, S., Analisis Fraktal Mekanika Kegempaan Sistem Sesar Sumatra, *Disertasi S-3*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1997.