ANALISIS *HAZARD* GEMPA DAN *ISOSEISMAL* UNTUK WILAYAH JAWA-BALI-NTB

(SEISMIC HAZARD ANALYSIS AND ISOSEISMAL FOR JAVA-BALI-NTB)

Jimmi Nugraha[1*], Guntur Pasau[2,3], Bambang Sunardi[1], Sri Widiyantoro[3]
[1]Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa 1 No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat, 10720
[2]Universitas Sam Ratulangi, Bahu, Manado, 95115
[3]Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10/12, Bandung, 40132
**e-mail: jimmi.nugraha@gmail.com*

Naskah masuk: 20 September 2013; Naskah diperbaiki: 25 Agustus 2014; Naskah diterima: 10 September 2014

ABSTRAK

Jawa, Bali dan NTB merupakan wilayah rawan bencana gempa. Untuk meminimalisasi dampak bencana tersebut, upaya mitigasi perlu dilakukan secara optimal. Salah satunya melalui penelitian *hazard* kegempaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *hazard* gempa dan isoseismal daerah penelitian. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan dan pengolahan data gempa, pemodelan dan karakterisasi sumber gempa serta analisis *hazard* gempa dan *isoseismal*. Analisis *hazard* gempa dilakukan dengan menggunakan teori probabilitas total dan pemodelan sumber gempa tiga dimensi. Penelitian ini menggunakan katalog BMKG tahun 1903 – 2010, kedalaman 0 – 300 km dan Mw ≥ 5 serta data PGA yang tercatat di jaringan BMKG. Hasil analisis *hazard* gempa menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar Pulau Jawa, Bali dan NTB bervariasi dari 0,05 g - 0,5 g. Secara umum, rentang nilai percepatan tersebut relatif hampir sama dengan Peta Gempa Indonesia 2010. Kurva *hazard* gempa di beberapa kota besar di Pulau Jawa menunjukkan gempa dalam sangat berpengaruh di Kota Serang, Jakarta dan Surabaya. Sumber gempa sesar dominan mempengaruhi *hazard* di Kota Bandung, Yogyakarta dan Semarang. Analisis *isoseismal* gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dan 26 Juni 2010 menunjukkan daerah di selatan Pulau Jawa bagian barat mengalami guncangan yang cukup kuat sekitar VII – VIII MMI (0,25 g – 0,3 g) yang bersesuaian dengan peta *hazard* hasil *combine source.*

Kata kunci: analisis *hazard* gempa, *isoseismal*, PSHA, PGA, kurva *hazard.*

ABSTRACT

Java, Bali and NTB are earthquake prone areas. One mitigation efforts to minimize the disaster impact is carried out through seismic hazard research. The purpose of this study is to analyze the earthquake hazard and isoseismal for the study area. The stages of the research include the literature study, collecting and processing seismic data, seismic sources modeling and characterization, earthquake hazard and isoseismal analysis. Seismic hazard analysis for the 10% probability of exceedance in 50 years was carried out using the total probability theory and three dimensional earthquake source modeling. This study used BMKG catalog from 1903 – 2010, 0-300 km depth, Mw ≥ 5 and PGA data recorded at BMKG network. The results of this study shows the PGA values varied from 0.05 to 0.5 g. In general, the acceleration ranges relatively close to the Indonesian Earthquake Map 2010. Seismic hazard curves in some big cities in Java showed that the deep earthquake was very influential in Serang, Jakarta and Surabaya. The fault source dominant influence in Bandung, Yogyakarta and Semarang. Isoseismal analysis of Tasikmalaya earthquakes on September 2, 2009 and June 26, 2010 shows the area in the south western part of Java experience strong shocks around VII - VIII MMI (0.25 - 0.3 g) which corresponds to the hazard maps result of combine source.

Keywords: *seismic hazard analysis, isoseismal, PSHA, PGA, hazard curve*.

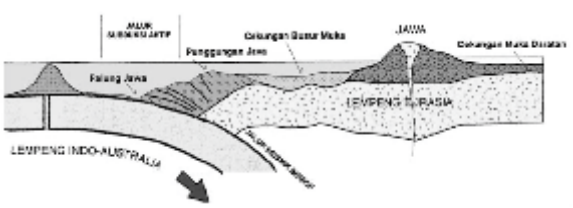
1. Pendahuluan

Tektonik wilayah Jawa dan sekitarnya dikontrol oleh penunjaman (subduksi) Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia yang membentuk sistim Busur Sunda di daerah *offshore* yang terdiri dari palung Jawa, punggungan Jawa, dan cekungan busur muka sebagaimana ditunjukkan Gambar 1 [1]. Seismisitas dari zona subduksi dipengaruhi oleh umur, komposisi dan kecepatan penunjaman dari lempeng subduksi [2]. Faktor-faktor ini akan mempengaruhi

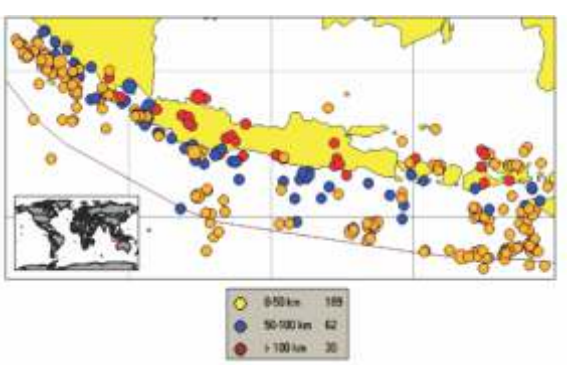
frekuensi dan magnitudo kejadian gempa sepanjang Busur Sunda. Beberapa karakteristik tektonik selain subduksi Sunda yang juga mempengaruhi seismisitas regional Jawa adalah sesar-sesar dan *normal faulting* di laut Jawa.

Dampak dari kondisi tektonik tersebut mengakibatkan daerah-daerah di sepanjang busur Sunda seperti Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara Barat (NTB) menjadi daerah dengan tingkat kerawanan gempa yang relatif tinggi. Selama 25 tahun terakhir, wilayah Jawa, Bali, NTB dan sekitarnya setidaknya pernah diguncang 39 kejadian gempa dengan magnitudo diatas 6 Skala Richter (SR) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 [3,4]. Dari data tersebut tampak bahwa wilayah Jawa, Bali dan NTB merupakan wilayah yang memiliki kerawanan yang tinggi terhadap bencana gempa. Tingginya tingkat kerawanan gempa di wilayah tersebut perlu mendapatkan perhatian khusus mengingat hingga sekarang gempa merupakan bencana yang belum dapat diprediksi baik waktu, kekuatan maupun tempat kejadiannya. Dengan demikian bencana gempa memiliki potensi menimbulkan korban, kerusakan dan kerugian dalam jumlah yang besar.

Untuk meminimalisasi dampak bencana gempa tersebut, upaya mitigasi perlu dilakukan secara dini dan optimal. Salah satu upaya mitigasi yang perlu dilakukan adalah dengan membuat peta *hazard* gempa yang bermanfaat dalam perencanaan bangunan tahan gempa, juga peta *hazard* yang menggambarkan efek gempa pada suatu lokasi yang akan membantu dalam rangka antisipasi dan minimalisasi korban jiwa maupun kerugian materi.



Gambar 1. Penampang melintang kondisi Geologi Pulau Jawa [1].



Gambar 2. Kejadian gempa dengan magnitude Mw > 6 di sekitar Jawa-Bali dan NTB [3,4].

Dalam upaya meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa, para peneliti terus berusaha mengembangkan metode-metode perhitungan *hazard* gempa, salah satunya dikenal dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analisis* (PSHA). PSHA dikembangkan berdasarkan teori probabilitas total yang dikemukakan oleh Cornell [5]. Metode ini terus mengalami perkembangan hingga sekarang menjadi salah satu metode yang cukup populer dan banyak dipergunakan [6]. Metode PSHA memiliki banyak kelebihan diantaranya memungkinkan memasukkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis. Faktor-faktor ketidakpastian dapat berupa ketidakpastian ukuran, lokasi maupun frekuensi kejadian gempa. Faktor-faktor ketidakpastian tersebut dapat diidentifikasi dan diperkirakan untuk selanjutnya digabungkan dengan metode pendekatan yang rasional di dalam PSHA guna memperoleh gambaran yang lebih lengkap tentang kejadian gempa. Keunggulan lain dari PSHA adalah mampu mengintegrasikan *hazard* dari suatu lokasi terhadap berbagai sumber gempa [6].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *hazard* gempa yang tercermin dalam nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk wilayah Jawa, Bali dan NTB pada kondisi P*eak Ground Acceleration* (PGA) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun atau setara dengan periode ulang gempa 475 tahun, membuat kurva *hazard* (*hazard curve*) untuk kota - kota besar di wilayah Jawa, Bali dan NTB serta melakukan analisis *isoseismal* beberapa kejadian gempa di wilayah Jawa. Penelitian *hazard* gempa untuk wilayah Indonesia sebelumnya telah dilakukan oleh Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010 [7]. Perbedaan penelitian kali ini adalah lebih spesifik menekankan untuk wilayah Jawa, Bali dan NTB serta penggunaan data penelitian yang berasal dari BMKG.

Analisis *Seismic Hazard*. Analisis *seismic hazard* dilakukan untuk memberikan estimasi kuantitif dari guncangan gempa pada suatu lokasi tertentu. Analisis ini dapat dilakukan secara deterministik (*Deterministic Seismic Hazard Analysis*), apabila suatu skenario gempa tertentu telah ditentukan, atau secara probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*), yang mempertimbangkan ketidakpastian dalam magnitudo, lokasi, dan waktu kejadian gempa [8].

Model Pengulangan (*Recurrence Model*). Model pengulangan (*recurrence model*) merupakan model yang menggambarkan distribusi frekuensi kejadian gempa-gempa kecil hingga gempa-gempa besar dari suatu sumber gempa. Model ini merupakan salah satu cara untuk menguji aktivitas kegempaan dari suatu daerah [9]. Model pengulangan tercermin dalam *frequency magnitudo distribution* dari kejadian gempa. Pertama kali diperkenalkan oleh Ishimoto dan

Iida [10] serta Gutenberg dan Richter [11] dengan persamaan:

$$\log N(m) = a - bM \quad \text{... (1)}$$

dengan;

a, b : konstanta real positif

N(m) : frekuensi terjadinya gempa dengan magnitudo M m persatuan waktu.

Magnitudo Maksimum dan *Slip Rate*. Magnitudo maksimum merupakan gambaran magnitudo gempa yang terbesar yang pernah terjadi diwilayah tersebut (*historic earthquake*), berdasarkan penelitian para ahli atau berdasarkan perhitungan geofisika serta berdasarkan kondisi tektonik dan pergeseran batuan suatu wilayah [6]. Sedangkan *slip rate* menggambarkan kecepatan pergerakan suatu zona sumber gempa relatif terhadap zona lainnya [12]. Besar dan arah *slip rate* salah satunya bisa didapatkan dengan menggunakan metode survei GPS.

Risiko Gempa. Risiko gempa adalah kemungkinan terlampauinya (*probability of exceedance)* suatu gempa dengan intensitas tertentu selama masa bangunan [13]. Nilai dari risiko gempa secara matematik dinyatakan dalam persamaan (2).

$$R_n = 1 - (1 - R_a)^n \quad \text{... (2)}$$

dengan,

R_n : risiko gempa.

R_a : risiko tahunan $1/T$.

T : periode ulang gempa.

N : masa guna bangunan.

Probabilistic Seismic Hazard Analysis. Metode PSHA dikembangkan oleh Cornell [5], [14], kemudian dilanjutkan oleh Merz dan Cornell [15]. Model dan konsep dari analisis ini tetap dipakai sampai sekarang, namun model dari analisis dan teknik perhitungannya yang terus dikembangkan oleh McGuire R. K. [16]. Teori ini mengasumsikan magnitudo gempa M dan jarak R sebagai variabel acak independen yang menerus [9]. Dalam bentuk umum teori probabilitas total ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P[I \geq i] = \iint_{r\ m} P[I \geq i | m \text{ dan } r] f_M(m) f_R(r)\, dm\, dr \quad \text{...(3)}$$

dengan;

fM : fungsi distribusi magnitudo.

fR : fungsi distribusi jarak hiposenter.

$P[I \quad i \mid m$ dan $r]$: probabilitas bersyarat dari intensitas I yang melampaui nilai i pada suatu lokasi yang ditinjau untuk kejadian gempa dengan magnitudo M dan jarak hiposenter R.

Intensitas Gempa. Efek dari sumber gempa dapat tercermin kedalam intensitas makroseismiknya. Intensitas gempa menunjukkan ukuran gempa secara kualitatif berdasarkan tingkatan pengaruh kejadian gempa terhadap fenomena alam di permukaan dan dirasakan oleh manusia, sarana infrastruktur dan lingkungan pada daerah tertentu. Intensitas dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat *strong ground motion* dan membandingkan pengaruh gempa di wilayah geografis yang berbeda-beda [12].

Peak Ground Acceleration. Percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah nilai percepatan tanah maksimum yang diukur selama gempa [17], biasanya diukur dengan alat yang disebut *accelerograph*. Metoda perhitungan PGA umumnya dengan menggunakan rumus baku sebagai berikut:

$$PGA = A_{max} \times CF \quad \text{... (4)}$$

PGA merupakan percepatan tanah maksimum, A_{max} adalah amplitude maksimum serta *CF* adalah faktor konversi berupa konstanta sebagai acuan untuk menentukan nilai dari satu *counts* satu amplitudo gelombang gempa. Nilai *CF* ini dapat diperoleh dari spesifikasi sensor yang digunakan dan ditentukan dengan persamaan berikut:

$$PGA = A_{max} \times CF \quad \text{... (5)}$$

dengan V_{pp} adalah *voltage peak to peak* (volt), resolusi dan sensitivitas masing-masing adalah resolusi dan sensitivitas dari akselerometer.

Peta *Isoseismal*. Informasi sebaran intensitas gempa biasa dipetakan dalam *isoseismal*. Dalam peta isoseismal, daerah-daerah yang memiliki nilai intensitas atau tingkat kerusakan yang sama dihubungkan oleh suatu garis i*soseismal*. Peta *isoseismal* dapat memperlihatkan atau menetapkan tempat-tempat atau daerah-daerah yang mempunyai tingkat kerusakan yang sama. Skala intensitas yang sering dipakai adalah *Modified Mercalli Intensity* (MMI), dengan rentang nilai dari I - XII.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gempa yang pernah terjadi disekitar Jawa, Bali dan NTB dari tahun 1903 - 2010 yang dikumpulkan dari katalog BMKG. Wilayah penelitian berada pada koordinat 104 BT - 117 BT dan 4 LS - 11 LS. Skala magnitudo minimum yang digunakan adalah Mw?5 dengan kedalaman maksimum 300 km. Peta isoseismal yang mencerminkan efek kejadian gempa di Jawa terhadap suatu lokasi diperoleh dari BMKG.

Penyeragaman Magnitudo. Data kejadian gempa yang dikumpulkan dari berbagai sumber umumnya menggunakan skala magnitudo yang berbeda (Ms,

ML, mb, Mw). Sebelum digunakan untuk analisis *hazard* gempa, magnitudo gempa yang berbeda-beda tersebut perlu diseragamkan dengan mengkonversi skala magnitudo yang ada ke dalam momen magnitudo (Mw). Dalam penelitian ini, hubungan empiris yang digunakan untuk penyeragaman magnitudo adalah persamaan yang diusulkan oleh Scordilis [18]:

$$M_w = 0.85mb + 1.03 \quad 5 \le mb \le 6.2 \quad \text{... (6)}$$
$$M_w = 0.67Ms + 2.07 \quad 3 \le Ms \le 6.1 \quad \text{... (7)}$$
$$M_w = 0.99Ms + 0.08 \quad 6.2 \le Ms \le 8.2 \quad \text{... (8)}$$

Pemisahan Gempa Utama. Proses pemisahan gempa utama (*mainshock*) dari gempa rintisan (*foreshock*) dan gempa susulan (*aftershock*) dilakukan menggunakan kriteria rentang waktu dan rentang jarak berdasarkan metode empiris yang diusulkan oleh Gardner dan Knopoff [19]. Pemisahan gempa utama dilakukan dengan bantuan *software* ZMAP [20].

Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa. Pemodelan sumber gempa yang dipergunakan dalam penelitian ini sama dengan yang dipergunakan dalam pembuatan Peta Gempa Indonesia 2010 [7]. Dalam penelitian ini, sumber-sumber gempa yang dipergunakan merujuk pada program *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dari USGS [21] dan diklasifikasikan dalam tiga jenis zona sumber gempa yaitu:

a. Sumber gempa sesar (*fault*), yaitu zona kejadian gempa yang terjadi pada patahan-patahan yang sudah terdefinisi dengan jelas, termasuk mekanisme, *slip rate*, dip, panjang patahan dan lokasinya [22].
b. Sumber gempa subduksi, yaitu zona kejadian gempa yang terjadi didekat batas pertemuan antara lempeng samudera yang menunjam masuk ke bawah lempeng benua. Model sumber gempa subduksi mempergunakan katalog gempa utama yang telah dihilangkan gempa pada daerah sesar dan gempa yang belum diketahui secara jelas sumbernya (sumber gempa *background*). Sumber gempa subduksi dibatasi hingga kedalaman 50 km. Gempa dengan kedalaman lebih dari 50 km akan diwakili oleh sumber gempa *deep background*.
c. **Sumber gempa background (*gridded seismicity*)**, yaitu sumber gempa yang belum diketahui secara jelas, tetapi pada tempat tersebut didapati adanya beberapa kejadian gempa. Model sumber gempa ini diklasifikasikan menjadi dua yaitu *shallow background* (kedalaman hingga 50 km) dan *deep background* (kedalaman lebih dari 50 km). Model sumber gempa *deep background* sendiri dibagi dalam empat interval yaitu kedalaman 50-100 km, 100-150 km, 150-200 km dan 200-300 km. Model sumber gempa *background* mempergunakan katalog gempa utama yang telah dihilangkan gempa-gempa akibat subduksi dan gempa-gempa pada daerah sesar.

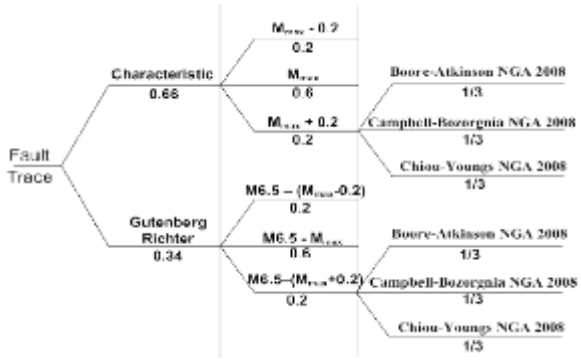
Penentuan Fungsi Atenuasi. Fungsi atenuasi yang digunakan di Indonesia masih mengacu pada fungsi atenuasi wilayah lain yang memiliki kemiripan kondisi tektonik dan geologi di Indonesia. Fungsi atenuasi yang dipergunakan dalam penelitian ini sedikit berbeda dengan fungsi atenuasi yang dipergunakan dalam Peta Gempa Indonesia 2010. Tabel 1 menunjukkan fungsi atenuasi yang dipergunakan dalam penelitian.

Pengelolaan Ketidakpastian (*Logic Tree*). Pengelolaan unsur ketidakpastian dilakukan menggunakan pendekatan *logic tree* yang menyediakan penggunaan model alternatif. Salah satunya adalah memberikan faktor pembobot yang diinterpretasikan sebagai kemungkinan relatif dari model untuk menjadi betul [9]. Pemakaian *logic tree* disesuaikan dengan model sumber gempa yang dipergunakan. Gambar 3 adalah salah satu contoh model *logic tree* yang digunakan untuk sumber gempa *shallow background*.

Analisis *Seismic Hazard*, PGA dan Isoseismal. Analisis seismik *hazard* dilakukan dengan bantuan program USGS-PSHA [21]. Pembuatan peta isoseismal suatu kejadian gempa memerlukan nilai-nilai PGA yang diperoleh dari pencataan jaringan accelerograph, yang selanjutnya dikonversi ke nilai intensitas skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) berdasarkan tabel dari Bolt, Bruce A. [23].

Tabel 1. Fungsi atenuasi yang digunakan dalam penelitian.

Model Sumber Gempa	Rumus Atenuasi
Shallow Background	1. Boore and Atkinson, 2008 2. Campbell & Bozorgnia, 2008 3. Chiou and Youngs, 2008
Deep Background	1. Atkinson and Boore, 2003 2. Youngs et al, 1997 3. Atkinson and Boore, 1995
Fault	1. Boore and Atkinson, 2007 2. Campbell & Bozorgnia, 2007 3. Chiou and Youngs, 2007
Subduction	1. Youngs et al, 1997 2. Atkinson & Boore, 1995 3. Zhao et al, 2006



Gambar 3. Logic tree untuk sumber gempa shallow background.

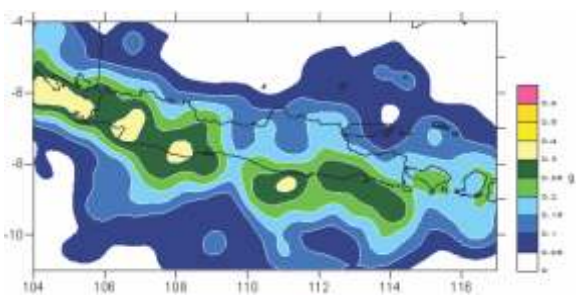
3. Hasil Dan Pembahasan

Peta *Hazard* Gempa Akibat *Background*. Hasil analisis hazard gempa akibat sumber gempa *background* berupa peta percepatan tanah maksimum untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai percepatan tanah di batuan dasar akibat sumber gempa *background* berkisar 0,05 g - 0,4 g. Nilai percepatan yang masih tinggi kemungkinan besar disebabkan oleh masih adanya sesar-sesar yang belum teridentifikasi dengan baik atau sudah teridentifikasi tetapi parameter-parameter yang dibutuhkan dalam input PSHA belum lengkap.

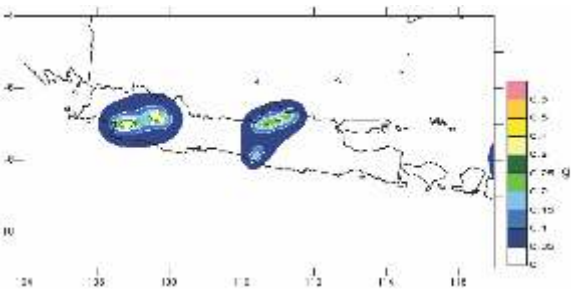
Peta Hazard Gempa Akibat *Fault*. Sesar-sesar yang digunakan sebagai sumber gempa dalam penelitian ini sudah teridentifikasi dengan baik dan memberikan nilai *hazard* yang cukup signifikan, antara lain Sesar Cimandiri, Lasem, Opak, dan Sesar Lembang. Peta percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk probabilitas terlampai 10% dalam 50 tahun akibat sumber gempa *fault* ditunjukkan pada Gambar 5. Peta percepatan tanah di batuan dasar akibat sumber gempa *fault* mempunyai rentang nilai 0,05 - 0,4 g.

Peta *Hazard* Gempa Akibat Subduksi. Peta percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun akibat sumber gempa subduksi ditunjukkan pada Gambar 6. Nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar akibat sumber gempa subduksi berkisar 0,05 g - 0,6 g. Sumber gempa subduksi memberikan pengaruh relatif signifikan pada jarak yang cukup jauh.

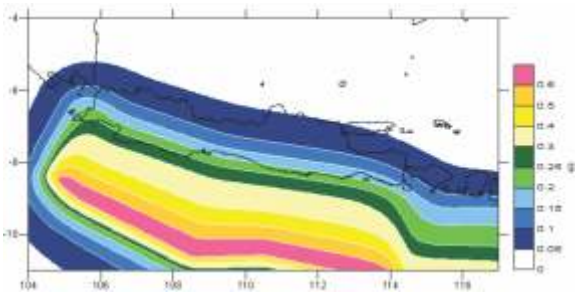
***Hazard* Gempa Hasil *Combine Source*.** Nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar wilayah Jawa, Bali dan NTB hasil dari kombinasi ketiga sumber gempa berkisar 0,05 g - 0,5 g (Gambar 7). Daerah-daerah yang mempunyai percepatan cukup tinggi adalah daerah-daerah yang dekat dengan sumber gempa sesar dan subduksi seperti daerah Jawa Barat dan Yogyakarta.



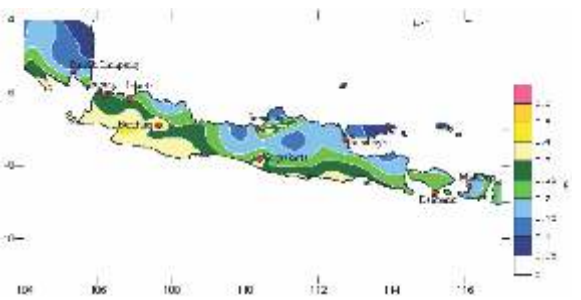
Gambar 4. Peta percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun akibat sumber gempa *background*.



Gambar 5. Peta percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun akibat sumber gempa *fault*.

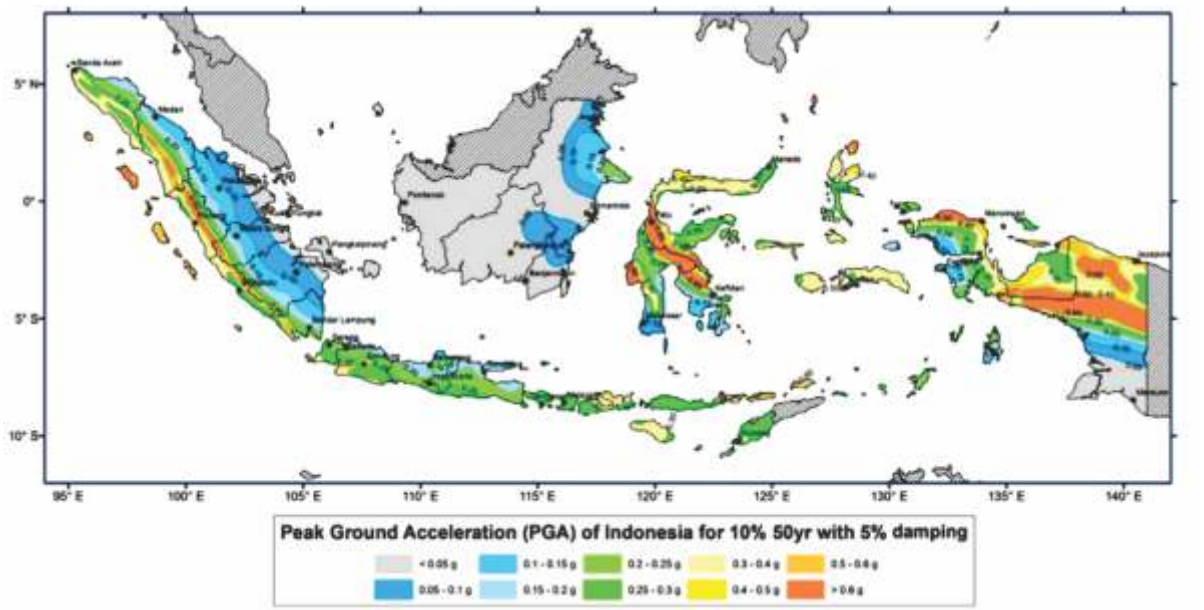


Gambar 6. Peta percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun akibat sumber gempa subduksi.



Gambar 7. Peta percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun hasil dari kombinasi ketiga sumber.

Perbandingan dengan Peta Gempa 2010.
Gambar 8 menunjukkan peta percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun hasil Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010 [7]. Nilai percepatan puncak di batuan dasar hasil penelitian berkisar 0,05 g - 0,5 g sementara nilai percepatan puncak di batuan dasar pada Peta Gempa Indonesia 2010 berkisar 0,1-0,5 g. Secara umum, rentang nilai percepatan puncak di batuan dasar hasil penelitian relatif hampir sama dengan Peta Gempa Indonesia 2010. Untuk daerah-daerah di sekitar sesar aktif, nilai percepatan puncak di batuan dasar hasil penelitian sama dengan Peta Gempa Indonesia 2010.



Gambar 8. Peta percepatan tanah maksimum di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun hasil Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010 [7].

Untuk wilayah Jawa Barat bagian selatan dan Banten, nilai percepatan di batuan dasar hasil penelitian sedikit lebih tinggi bila dibandingkan dengan Peta Gempa Indonesia 2010. Untuk wilayah Jawa Tengah bagian selatan dan DIY, nilai percepatan di batuan dasar hasil penelitian mendekati dengan Peta Gempa Indonesia 2010, sedangkan untuk wilayah Jawa Tengah bagian utara, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan Peta Gempa Indonesia 2010.

Untuk wilayah Jawa Timur bagian selatan, nilai percepatan di batuan dasar hasil penelitian sedikit lebih tinggi bila dibandingkan dengan Peta Gempa Indonesia 2010, sebaliknya untuk wilayah Jawa Timur bagian utara sedikit lebih rendah dibandingkan dengan Peta gempa Indonesia 2010. Untuk wilayah Bali bagian utara dan NTB bagian utara, hasil penelitian menunjukkan nilai percepatan puncak di batuan dasar sedikit lebih rendah dibandingkan dengan Peta Gempa Indonesia 2010.

Sedikit perbedaan hasil penelitian dengan Peta Gempa Indonesia 2010 dikarenakan penggunaan data gempa yang berbeda serta fungsi atenuasi untuk model sumber gempa subduksi dan *deep background* yang sedikit berbeda dengan yang dipergunakan dalam Peta Gempa Indonesia 2010.

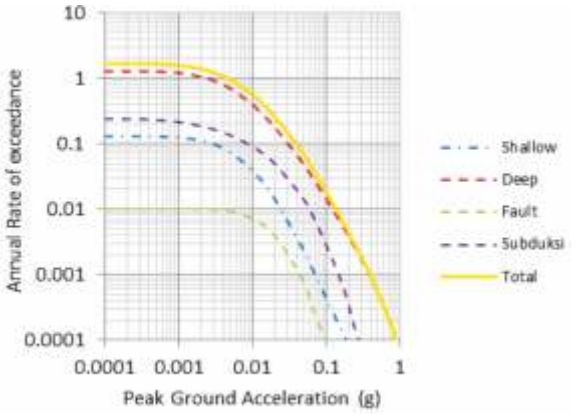
Kurva *Hazard* Gempa. Untuk mengetahui kontribusi masing-masing sumber gempa terhadap *hazard* gempa di beberapa kota besar di Pulau Jawa, Bali dan NTB, hasil *probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA) disajikan dalam bentuk kurva *hazard* gempa. Kurva *hazard* gempa merupakan hubungan antara laju kejadian pertahun (*annual rate of exceedance*) terhadap besar *hazard* gempa yang terjadi. Berikut kurva *hazard* dari beberapa Kota besar di Pulau Jawa, Bali dan NTB pada kondisi PGA untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun.

a. Serang, Banten
Sumber gempa yang mempunyai *hazard* terbesar untuk Kota Serang adalah sumber gempa deep *background* (Gambar 9). Gempa-gempa yang sering terjadi sebagian besar memiliki kedalaman 50-300 km.

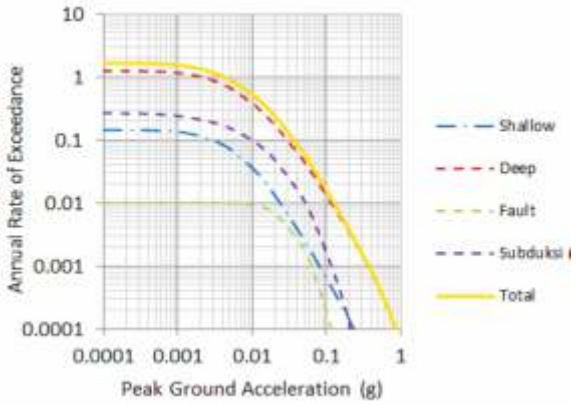
b. Jakarta
Gambar 10 menunjukkan kurva *hazard* gempa untuk Kota Jakarta. Sumber gempa yang mempunyai *hazard* terbesar untuk Kota Jakarta adalah sumber gempa *deep background* (gempa-gempa kedalaman 50-300 km), Sementara sumber gempa yang lain tidak memberikan *hazard* yang cukup signifikan.

c. Bandung
Untuk Kota Bandung, sumber gempa yang mempunyai *hazard* terbesar adalah sumber gempa *fault* sebagai akibat dari aktifitas sesar Lembang (Gambar 11). Sumber gempa yang lain yang juga memberikan *hazard* yang cukup signifikan adalah gempa *deep background* berupa gempa-gempa dengan kedalaman 50-300 km.

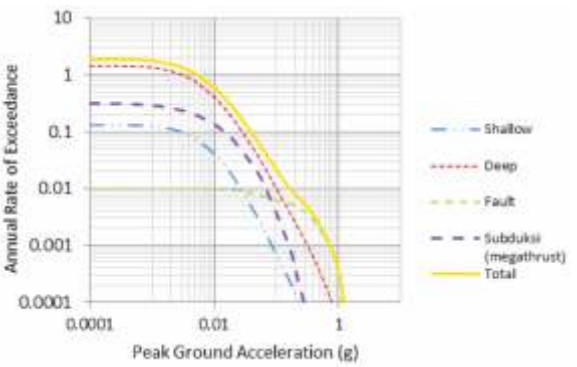
d. Yogyakarta
Sumber gempa yang mempunyai *hazard* terbesar untuk Kota Yogyakarta adalah sumber gempa *fault* sebagai akibat dari aktifitas Sesar Opak (Gambar 12). Sumber gempa lain yang juga memberikan *hazard* signifikan adalah gempa *deep background* (gempa-gempa kedalaman 50-300 km).



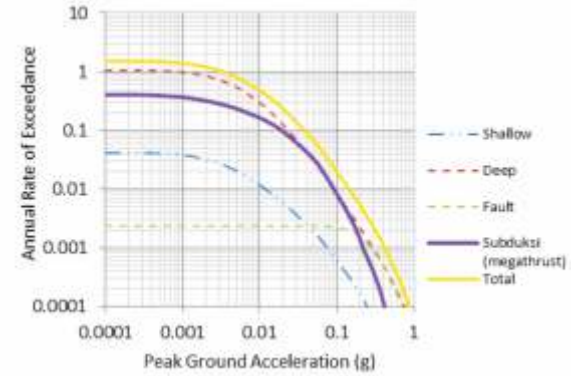
Gambar 9. Kurva *hazard* gempa pada kondisi PGA di batuan dasar Kota Serang, Banten.



Gambar 10. Kurva *hazard* gempa pada kondisi PGA di batuan dasar Kota Jakarta.



Gambar 11. Kurva *hazard* gempa pada kondisi PGA di batuan dasar Kota Bandung.



Gambar 12. Kurva *hazard* gempa pada kondisi PGA di batuan dasar Kota Yogyakarta.

e. Semarang

Sumber gempa yang mempunyai *hazard* terbesar untuk Kota Semarang adalah sumber gempa *fault* sebagai akibat dari aktifitas Sesar Lasem (Gambar 13). Sementara sumber gempa yang lain yang memberikan kontribusi *hazard* yang cukup signifikan adalah sumber gempa *deep background*.

f. Surabaya

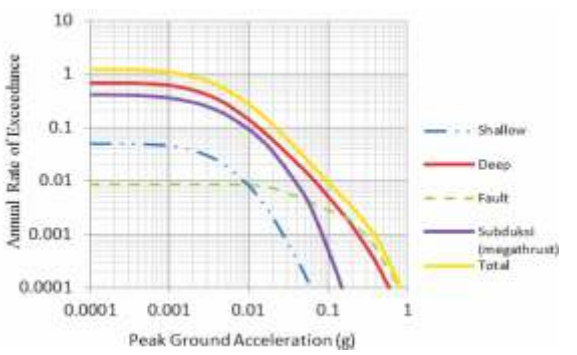
Sumber gempa yang memberikan kontribusi *hazard* terbesar untuk Kota Surabaya adalah *deep background* (Gambar 14). Percepatan tanah di batuan dasar untuk Kota Surabaya relatif lebih kecil dibandingkan dengan beberapa Kota besar lainnya di Pulau Jawa sehingga Kota Surabaya relatif lebih aman terhadap *hazard* gempa merusak.

g. Denpasar

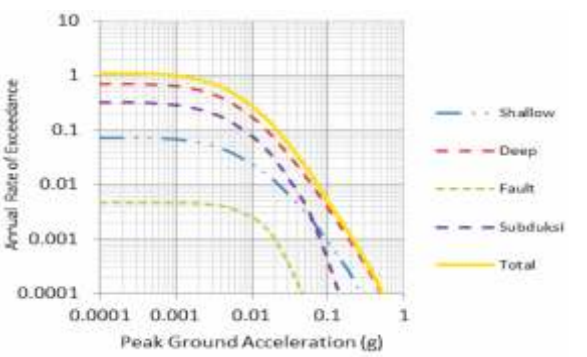
Sumber gempa yang memberikan kontribusi hazard terbesar adalah *deep background* (Gambar 15). Nilai dari *Peak Ground Acceleration* (PGA) dari kurva *hazard* yang dihasilkan untuk Kota Denpasar juga relatif kecil.

h. Mataram

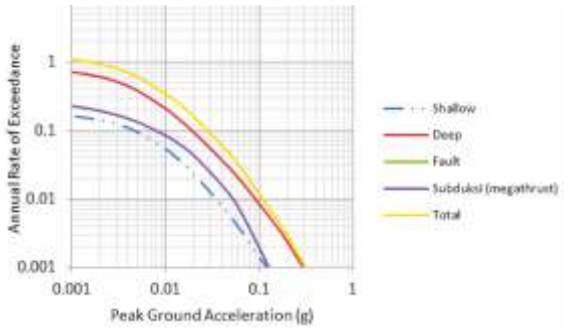
Sumber gempa yang memberikan kontribusi *hazard* terbesar untuk Kota Mataram adalah *shallow* dan *deep background* (Gambar 16). Sekalipun Kota Mataram relatif dekat dengan sumber gempa Flores *back arc* yang berada di sebelah utara, namun tidak memberikan pengaruh *hazard* yang signifikan.



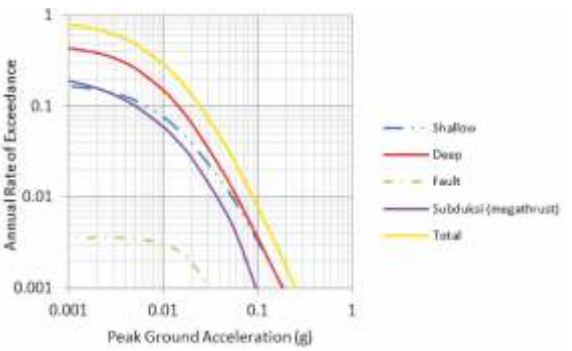
Gambar 13. Kurva *hazard* gempa pada kondisi PGA di batuan dasar Kota Semarang.



Gambar 14. Kurva *hazard* gempa pada kondisi PGA di batuan dasar Kota Surabaya.



Gambar 15. Kurva *hazard* gempa pada kondisi PGA di batuan dasar Kota Denpasar.



Gambar 16. Kurva *hazard* gempa pada kondisi PGA di batuan dasar Kota Mataram.

Peta Isoseismal

a. Gempa Tasikmalaya 2 September 2009

Peta *isoseismal* gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dengan magnitudo 7,3 SR yang dikeluarkan BMKG ditunjukkan pada Gambar 17 [24]. Daerah-daerah yang dekat dengan sumber gempa seperti Ciamis, Tasikmalaya, Garut dan Cianjur mengalami guncangan yang cukup kuat dengan intensitas VII-VIII MMI atau memiliki nilai percepatan rata-rata puncak 0,1 - 0,3 g sesuai dengan tabel konversi nilai PGA ke intensitas (MMI) [23]. Merujuk pada peta *hazard* akibat *combine source* teridentifikasi bahwa daerah-daerah di Jawa Barat bagian selatan seperti Ciamis, Tasikmalaya, Garut, Bandung dan Cianjur memiliki nilai percepatan puncak di batuan dasar yang relatif cukup tinggi (0,3 - 0,4 g) yang bersesuaian dengan isoseismal gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dimana daerah-daerah tersebut mengalami guncangan yang paling kuat.

Potensi terjadinya kerusakan bangunan di daerah yang berwarna merah pada peta isoseismal BMKG (Gambar 17) relatif lebih besar dibanding daerah-daerah lainnya. Daerah yang berwarna oranye mengalami guncangan dengan intensitas VI-VII MMI (0,06 - 0,15 g berdasarkan tabel konversi nilai PGA ke intensitas MMI [23]). Daerah yang berwarna kuning memiliki intensitas yang jauh lebih kecil yaitu IV-V MMI (0,015 - 0,04 g berdasarkan tabel konversi nilai PGA ke intensitas MMI [23]) dan daerah yang berwarna hijau memiliki intensitas II-III MMI sehingga kemungkinan tidak akan merasakan guncangan akibat gempa Tasikmalaya 2 September 2009 ini. Berdasarkan peta *isoseismal* gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dapat diketahui daerah mana saja yang berbahaya saat terjadinya gempa, sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu dasar untuk melakukan pertolongan atau evakuasi.

Berdasarkan peta *instrumental intensity* yang dikeluarkan oleh USGS sebagaimana terlihat pada Gambar 18 [25], daerah-daerah yang dekat dengan sumber gempa Tasikmalaya 2 September 2009 mempunyai intensitas VII-VIII. Daerah-daerah tersebut antara lain Ciamis, Tasikmalaya, Garut dan Cianjur. Dibandingkan peta *isoseismal* yang dikeluarkan oleh BMKG [24], tampak bahwa intensitas gempa yang dikeluarkan BMKG yang tercermin di dalam peta isoseismal (Gambar 17) di daerah-daerah yang dekat dengan sumber gempa hampir sama dengan *intrumental intensity* yang dikeluarkan oleh USGS. Sementara untuk daerah-daerah yang relatif lebih jauh dari sumber gempa intensitas gempa yang dikeluarkan oleh BMKG sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan *instrumental intensity* yang dikeluarkan oleh USGS [25].

b. Gempa Tasikmalaya 26 Juni 2010

Peta *isoseismal* untuk gempa Tasikmalaya 26 Juni 2010 dengan magnitudo 6,3 SR yang dikeluarkan BMKG seperti terlihat pada Gambar 19 [24]. Daerah yang paling dekat dengan sumber gempa (daerah yang berwarna merah) mempunyai intensitas sekitar VII-VIII MMI atau memiliki nilai percepatan rata-rata puncak 0,1 - 0,3 g sesuai dengan tabel konversi nilai PGA ke intensitas (MMI) [23]. Guncangan gempa cukup kuat dirasakan di daerah Tasikmalaya dan sekitarnya.

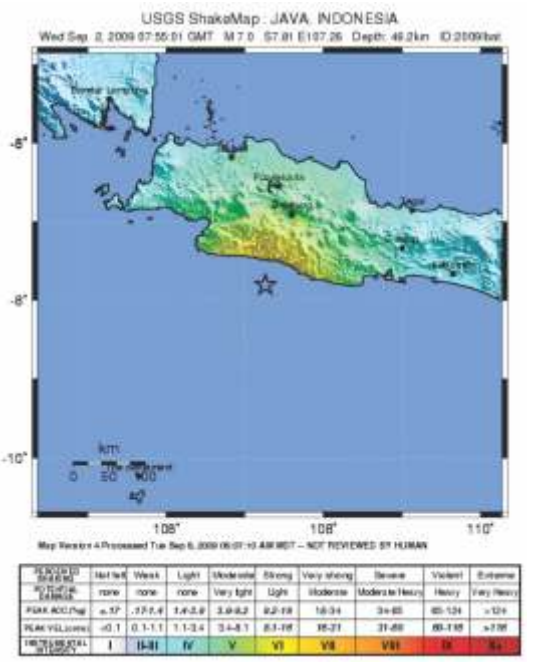
Merujuk pada peta *hazard* akibat *combine source* teridentifikasi bahwa daerah-daerah Tasikmalaya dan sekitarnya nilai percepatan puncak di batuan dasar yang relatif cukup tinggi (0,3 - 0,4 g). Potensi terjadinya kerusakan bangunan di lokasi ini relatif lebih besar dibandingkan daerah sekitarnya. Daerah yang berwarna oranye meliputi daerah Pangandaran, Ciamis dan Garut memiliki intensitas antara VI-VII MMI lebih kecil dari daerah Tasikmalaya sehingga daerah ini mengalami guncangan yang tidak terlalu besar. Daerah yang berwarna kuning memiliki intensitas yang jauh lebih kecil antara IV-V MMI bahkan untuk daerah yang berwarna hijau memiliki intensitas antara II-III sehingga kemungkinan tidak akan merasakan sama sekali adanya guncangan akibat gempa Tasikmalaya 26 Juni 2010 ini.

Berdasarkan peta *instrumental intensity* yang dikeluarkan oleh USGS (Gambar 20) [26], daerah-daerah yang dekat dengan sumber gempa mempunyai *instrumental intensity* sekitar V-VI atau memiliki *perceive shaking* menengah sampai kuat. Daerah-daerah tersebut antara lain Ciamis, Tasikmalaya dan Garut. Dibandingkan peta isoseismal yang dikeluarkan oleh BMKG tampak bahwa intensitas BMKG pada daerah-daerah yang dekat dengan sumber

gempa lebih tinggi dari *instrumental intensity* yang dikeluarkan oleh USGS.

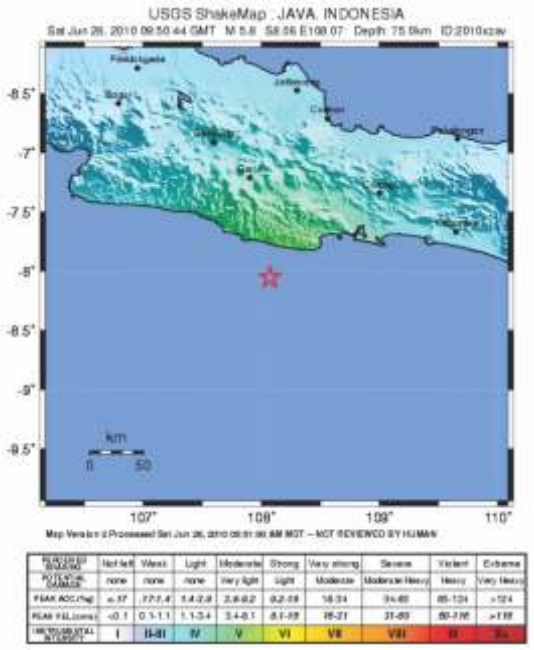
Berdasarkan peta *isoseismal* dua kejadian gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dan 26 Juni 2010, tampak bahwa daerah di selatan Pulau Jawa bagian barat mengalami guncangan yang cukup kuat sekitar VII - VIII MMI (0,25 g - 0,3 g). Hasil tersebut memiliki kesesuaian dengan peta *hazard* gempa hasil *combine source*.

Gambar 17. *Isoseismal* Gempa Tasikmalaya 2 September 2009 [24].



Gambar 18. *Instrumental Intensity* Gempa Tasikmalaya 2 September 2009 [25].

Gambar 19. *Isoseismal* Gempa Tasikmalaya 26 Juni 2010 [24].



Gambar 20. *Instrumental Intensity* Gempa Tasikmalaya 26 Juni 2010 [26].

4. Kesimpulan

Nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar Pulau Jawa, Bali dan NTB pada kondisi *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun berkisar 0,05 g - 0,5 g. Secara umum, rentang nilai percepatan tersebut relatif hampir sama dengan Peta Gempa Indonesia 2010.

Berdasarkan kurva *hazard* gempa diperoleh bahwa gempa *deep bakground* sangat berpengaruh terhadap beberapa kota besar di Pulau Jawa seperti Serang, Jakarta dan Surabaya. Selain itu sumber gempa sesar (*fault*) juga mempengaruhi *hazard* di beberapa kota besar seperti Bandung, Jogyakarta dan Semarang mengingat kota-kota tersebut letaknya sangat berdekatan dengan sumber gempa sesar.

Analisis *isoseismal* dua kejadian gempa Tasikmalaya 2 September 2009 dan 26 Juni 2010 menunjukkan daerah di selatan Pulau Jawa bagian barat mengalami guncangan yang cukup kuat sekitar VII - VIII MMI (0,25 g - 0,3 g) yang bersesuaian dengan peta *hazard* gempa hasil *combine source.*

Daftar Pustaka

[1] Katili, J.A. (1980). *Geotectonics of Indonesia: a Modernview*, Bandung: Departement of Geology, Bandung Institute of Technology.

[2] Ruff, L., & Kanamori, H. (1983), Seismic coupling and uncoupling at subduction zones, *Tectonophysics*, 99, 99-117.

[3] *(http://repogempa.bmkg.go.id/)*, diakses pada tanggal 15 Juli 2014.

[4] *(http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/)*, diakses pada tanggal 15 Juli 2014.

[5] Cornell, C.A. (1968), Engineering Seismic Risk Analysis,*Bulletin of the Seismological Society of America*, 58 (5), 1583-1606.

[6] Fauzi, U. J., (2011), P*eta Deagregasi Indonesia Berdasarkan Analisis Probabilitas Dengan Sumber Gempa Tiga Dimensi*, Tesis, Institut Teknologi Bandung.

[7] Masyhur Irsyam, Wayan Sengara, Fahmi Aldiamar, Sri Widiyantoro, Wahyu Triyoso, Danny Hilman, et. al. (2010), *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Laporan Penelitian, Bandung.

[8] Reiter, L. (1990), *Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights*, New York: Coloumbia University Press.

[9] Asrurifak, M. (2010), *Peta Respon Spektra Indonesia Untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Dengan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi Dalam Analisa Probabilitas*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.

[10] Ishimoto, M. and Iida, K., (1939), Observations sur les seismes enregistres par le microsismographe construit dernierement (1), *Bull. Earthquake Res. Inst*., 17, 443-478.

[11] Gutenberg, B., & Richter, C.F., (1944), Frequency of Earthquakes in California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.

[12] Mahesworo, R. P. (2008), *Usulan Ground Motion Untuk Empat Kota Besar Di Wilayah Sumatera Berdasarkan Hasil Analisis Seismic Hazard Menggunakan Model Sumber Gempa 3 Dimensi*, Tesis, Institut Teknologi Bandung.

[13] Aldiamar, F. (2007), *Analisa Risiko Gempa dan Pembuatan Respon Spektra Desain Untuk*

Jembatan Suramadu dengan Pemodelan Sumber Gempa 3D, Tesis, Institut Teknologi Bandung.

[14]Cornell, C.A. (1971), *Probabilistic analysis of damage to structures under seismic loads*, in Howells, D. A., Haigh, I.P., and Taylor, C., (eds), Dynamic Waves in Civil Engineering. John Wiley, London.

[15]Merz, H.A. & Cornell, C.A. (1973), Seismic Risk Analysis Base on Quadratic Magnitude-Frequency Law, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 63(6), 1999-2006.

[16]McGuire, R.K. (1976), F*ORTRAN computer program for seismic risk analysis*, U.S. Geol. Surv., Open-File Rept. 76-67.

[17](*http://www.opensha.org/glossary-intensityMeasure Type#PGA*), diakses pada tanggal 15 November 2013.

[18]Scordilis, E.M. (2006), Empirical Global Relations Converting M_S and M_b to Moment Magnitude, *Journal of Seismology*, 10, 225-236.

[19]Gardner, J. K., & Knopoff, L. (1974), Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, With Aftershocks Removed, Poissonian?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64, 1363-1367.

[20]Wiemer, S. (2001), A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP, *Seismological Research Letters*, 72(2), 373-382.

[21]Harmsen, S. (2010), *USGS Software for Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), United States of Geological Surveys (USGS).

[22]Hutapea, B.M. (2009), Analisis Hazard Gempa dan Usulan Ground Motion pada Batuan Dasar untuk Kota Jakarta, *Jurnal Teknik Sipi*l, Vol. 16 No. 3, 121-131.

[23]Bolt, Bruce A. (1993). *Earthquakes-New Revised and Expanded*, New York: W.H. Freeman and Co.

[24](*http://bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Geofisika/Seismologi_Teknik/*), diakses pada tanggal 15 Juli 2010.

[25](*http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/global/shake/2009lbat/download/intensity.jpg*), diakses pada tanggal 15 November 2013.

[26](*http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/global/shake/2010xzav/download/intensity.jpg*), diakses pada tanggal 15 November 2013.