

PROPOSED SYNTHETIC GROUND MOTION OF YOGYAKARTA REGION

USULAN GETARAN TANAH SINTETIK WILAYAH YOGYAKARTA

Mochamad Teguh¹⁾ dan Budi Purwono²⁾

^{1) 2)} Program Magister Rekayasa Kegempaan, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584.

E-mail: m.teguh@uii.ac.id

ABSTRACT

This research proposes synthetic ground motion of Yogyakarta region including probabilistically seismic hazard in bedrock in order to define seismic response spectra for the return period of 500 years as a target of recorded spectra. Seismic record of synthetic ground motion was selected based on its similarity of the distance, whilst the magnitude was determined by utilizing a disaggregation analysis. The data used in seismic occurrences with the depth lesser or equal to 200 km was recorded in the seismic catalog up to the year of 2008. The earthquake source in the radius of 500 km of Yogyakarta region was identified and modified as subduction zone (megathrust and benioff) and transformation zone (shallow crustal and back arc), respectively. Three recorded data comprising the 1985 Coalinga-01 Earthquake, the 1983 Borah Peak Earthquake, and the 1984 Morgan Hill Earthquake at every zone of benioff, megathrust, and shallow crustal were selected and modified to determine the spectra at each period of 0,2 and 1,0 seconds as close as targeted. The seismicity parameters determination of earthquake source was carried out by the Least Square Method. The bedrock acceleration spectra of Yogyakarta region was subsequently estimated using related equations as functions of Young's attenuation and Campbell and Bozorgnia for subduction and transformation zones. The result based on Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) shows that acceleration spectra of bedrock of Yogyakarta region for the return period of 500 years are 0,285g, 0,575g, and 0,200g for each period of the peak ground acceleration (PGA) of 0,2 and 1,0 seconds, respectively. The results are importantly utilized for the dynamic analysis of earthquake resistant multi-story buildings.

Keywords: Probabilistic Seismic Hazard Analysis, synthetic ground motion, earthquake, dynamic analysis, response spectra

ABSTRAK

Penelitian ini mengusulkan getaran tanah sintetik wilayah Yogyakarta termasuk gangguan kegempaan secara probabilistik pada batuan dasar untuk menentukan spektra respon gempa untuk periode ulang 500 tahun sebagai target pencatatan spektra. Catatan gempa pada getaran tanah sintetik dipilih berdasarkan kesamaan jaraknya, sementara besarnya ditentukan dengan menggunakan suatu analisis disagregasi. Data yang digunakan dalam kejadian gempa dengan kedalaman terdangkal atau sama dengan 200 km tercatat dalam katalog gempa hingga tahun 2008. Sumber gempa dalam radius 500 km dari wilayah Yogyakarta teridentifikasi dan termodifikasi secara berurutan sebagai subduksi daerah subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan daerah transformasi (*shallow crustal* dan *back arc*). Tiga data tercatat terdiri dari gempa Coalinga-01 tahun 1985, gempa Borah Peak tahun 1983, dan gempa Morgan Hill tahun 1984 pada setiap daerah *benioff*, *megathrust*, dan *shallow crustal* dipilih dan dimodifikasi untuk menentukan spektra setiap periode 0,2 dan 1,0 detik untuk sedekat mungkin yang ditargetkan. Penentuan parameter-parameter kegempaan sumber gempa dilakukan dengan *Least Square Method*. Spektra percepatan batuan dasar wilayah Yogyakarta diestimasi menggunakan persamaan terkait sebagai fungsi-fungsi peredaman Young's dan Campbell dan Bozorgnia untuk wilayah subduksi dan transformasi. Berdasarkan hasil *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) memperlihatkan bahwa spektra percepatan batuan dasar wilayah Yogyakarta untuk periode ulang 500 tahunan secara berurutan adalah 0,285g, 0,575g, dan 0,200g untuk masing-masing periode dari peak ground acceleration (PGA) 0,2 dan 1,0 detik. Hasil tersebut sangat bermanfaat untuk analisis dinamik pada bangunan-bangunan bertingkat tahan gempa.

Kata-kata kunci: Probabilistic Seismic Hazard Analysis, getaran tanah sintetik, gempa, analisis dinamik, respon spektra

LATAR BELAKANG

Yogyakarta termasuk daerah dengan aktivitas kegempaan yang cukup tinggi karena secara geografis terletak di sebelah utara pertemuan antara lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Aktivitas subduksi yang terjadi pada pertemuan lempeng di lautan tersebut mengaktifkan patahan-patahan yang ada di daratan dan menimbulkan gempa dangkal yang membesar ke arah utara. Gempa Yogyakarta 2006 lalu telah memberikan pelajaran berharga tentang *hazard* gempa yang ada di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya.

Gempa merupakan bencana alam yang tidak dapat dihindari melainkan harus dihadapi, diantisipasi, dan disikapi dengan taktis, strategis, dan bijaksana. Untuk mengantisipasinya diperlukan analisis *hazard* kegempaan untuk menentukan nilai kebutuhan (*demand*) beban gempa yang harus diperhitungkan secara realistis terhadap desain struktur bangunan. Sebagai salah satu negara di dunia dengan tingkat intensitas kegempaan tinggi, Indonesia memperhitungkan *hazard* kegempaan melalui pemberlakuan peraturan ketahanan gempa untuk struktur bangunan. Peraturan terbaru yang diberlakukan adalah Standar Perencanaan Ketahanan

Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002). Peraturan tersebut masih mengacu *Universal Building Code (UBC)* 1997 yang sejak tahun 2000 telah diperbarui dengan *International Building Code (IBC)*. Namun hingga saat ini SNI 03-1726-2002 belum menyesuaikan dengan standar baru tersebut. Studi *hazard* kegempaan oleh Malau (2008), Irsyam dkk. (2007), dan Elnashai dkk. (2007) pasca pemberlakuan SNI 03-1726-2002 menunjukkan nilai percepatan puncak batuan dasar melebihi ketentuan dalam peraturan tersebut. Beberapa faktor penting untuk dipertimbangkan didalam memperbaharui peraturan ini, yaitu teknik perhitungan dengan sistem 3 dimensi, peningkatan intensitas gempa pasca pemberlakuan SNI 2002, dan nilai percepatan batuan dasar (S_B) di wilayah Yogyakarta (zona gempa 3) dianggap terlalu kecil dibandingkan penelitian terbaru (Irsyam dkk. 2007, Petersen dkk. 2008, Elnashai dkk. 2007) pasca gempa 2006. Implikasi dari kurang-tepatan dalam penentuan nilai percepatan batuan dasar karena tidak memperhitungkan kondisi tanah setempat dapat berakibat struktur bangunan mengalami kerusakan serius pada saat gempa.

Indonesia hingga saat ini belum memiliki rekaman percepatan getaran gempa (akselerogram) sendiri sebagai acuan pokok di

dalam analisis dinamik suatu bangunan bertingkat. Peta zonasi kegempaan Indonesia telah diterbitkan dalam SNI 03-1726-2010 (Irsyam, dkk., 2010), namun kelengkapan secara detail tentang standar baru tersebut belum dipublikasikan, sehingga standar ini belum sepenuhnya (secara parsial) dapat digunakan pedoman dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Atas dasar kondisi ini, Indonesia masih menggunakan data akselerogram gempa dari negara lain. Padahal pemakaian data akselerogram yang diambil dari negara atau lokasi lain belum tentu sesuai dengan kondisi di Indonesia, termasuk wilayah Yogyakarta. Pemilihan akselerogram harus didasarkan pada kondisi geologi, seismologi dan parameter pergerakan batuan dasar (*ground motion parameters*) seperti percepatan maksimum, kandungan frekuensi, dan durasi (Irsyam dkk., 2008). Akselerogram sangat penting digunakan dalam analisis beban dinamik akibat gempa pada perencanaan struktur tahan gempa (Naumoski, 1985).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rekaman riwayat waktu percepatan gempa yang sesuai seismotektonik wilayah Yogyakarta dengan modifikasi rekaman gempa natural di luar negeri. Rekaman gempa natural dipilih berdasarkan kemiripan magnituda dan jarak gempa yang paling potensial terjadi di wilayah Yogyakarta. Rekaman gempa sintetik diperoleh dengan memodifikasi spektra rekaman gempa natural, sehingga mendekati spektra hasil analisis probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis/PSHA*), (Teguh dkk., 2010).

METODE PENELITIAN

Studi bahaya kegempaan ini dilakukan di wilayah Yogyakarta dengan mengambil titik referensi pada 110°22'30" Bujur Timur dan 7°48'00" Lintang Selatan. Data kejadian gempa yang mempengaruhi wilayah studi dikumpulkan sampai dengan tahun 2008. Gempa yang diperhitungkan dalam analisis ini adalah kejadian gempa dalam radius 500 km dari titik referensi dengan kedalaman sama dengan atau kurang dari 200 km.

Gambar 1 menunjukkan *flow chart* pentahapan penelitian ini. Dalam *flow chart* tersebut digambarkan penggunaan beberapa *software* yang dipergunakan dalam setiap langkah perhitungan. Data peristiwa gempa diperoleh dari katalog gempa yang diterbitkan USGS dan BMKG. Untuk mengurangi bias dan mendapatkan hasil yang baik, maka sebelum data tersebut digunakan dalam *PSHA* data gempa yang diperoleh diproses dengan menggunakan prinsip-prinsip statistik. Proses yang dilakukan meliputi pemisahan gempa utama dan gempa ikutan serta analisis kelengkapan data gempa. Pemisahan kedua data gempa ini dilakukan untuk mendapatkan kejadian gempa independen. Identifikasi kejadian gempa dependen dilakukan dengan kriteria empiris yang diajukan oleh beberapa ahli seperti Arabasz & Robinson (1976), Gardner & Knopoff (1974), dan Uhrhammer (1986), (lihat Kramer, 1996).

Kriteria berhubungan dengan *fault rupture* yang didasarkan atas suatu rentang waktu dan jarak tertentu dari suatu kejadian gempa utama dalam suatu rangkaian kejadian gempa. Disebut gempa susulan jika gempa berada dalam rentang waktu (*time windows*) dan jarak (*distance windows*) yang dihitung menurut kriteria empiris tertentu seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Periode katalog gempa disebut lengkap dengan mengplotkan frekuensi kejadian gempa independen dengan rentang magnituda tertentu terhadap waktu dihitung dari waktu pengamatan terakhir ke belakang. Frekuensi kejadian gempa (N) selama selang waktu tertentu dibagi dengan (T). Dengan menganggap *seismic rate* konstan untuk rentang waktu yang lama, maka menurunnya frekuensi kejadian gempa pada grafik secara signifikan menunjukkan batas katalog gempa tidak lengkap.

Parameter sumber gempa yang digunakan dalam analisis *PSHA* ditentukan berdasarkan data kejadian historis gempa dan kondisi tektonis sumber gempa, meliputi parameter a - b , magnituda maksimum, geometri, dan *slip rate* untuk tiap zona sumber gempa, serta fungsi atenuasi yang sesuai. Parameter a - b diper-

oleh dari *Gutenberg-Richter recurrent relationship* dengan b merupakan parameter karakteristik tektonik kegempaan suatu lokasi dan a menunjukkan tingkat seismisitasnya. Magnituda maksimum menggunakan momen seismik (M_w) yang telah ditentukan oleh para peneliti terdahulu. Bentuk geometri sumber gempa dan *slip rate* didasarkan pada penelitian dan pendapat para ahli geologi dan geofisika *PSHA* menggunakan teori probabilistik total yang memperhitungkan ketidakpastian parameter meliputi magnituda, jarak, dan intensitas terlampaui. Dengan menjumlah seluruh probabilitas terjadinya percepatan maksimum terlampaui dengan seluruh kemungkinan jarak dan magnituda, maka diperoleh nilai probabilitas tahunan terlampauinya nilai percepatan maksimum tertentu pada lokasi tinjauan. Periode ulang kejadian gempa dengan percepatan tertentu merupakan kebalikan dari probabilitas tahunan terlampauinya nilai percepatan maksimum tertentu. Percepatan maksimum batuan dasar dengan beberapa periode ulang yang dihasilkan dari analisis kemudian diplot dalam kurva *hazard* kegempaan.

Sumber gempa paling berpengaruh ditentukan dengan melakukan proses deagregasi dimana jumlah rerata kejadian tahunan diekspresikan sebagai fungsi magnituda dan/atau jarak. Berdasarkan hasil deagregasi tersebut kemudian dihitung kembali respon spektra di batuan dasar untuk berbagai sumber/mekanisme gempa dengan menggunakan fungsi atenuasi yang sesuai. Hasil respons spektra dari berbagai fungsi tersebut kemudian diskalakan dengan nilai respons spektra gabungan dari hasil analisis *seismic hazard* sebelumnya.

Berdasarkan hasil analisis deagregasi, tiga (3) set *time-histories* dari data gempa natural yang pernah terjadi sebelumnya dipilih untuk merepresentasikan perbedaan mekanisme sumber gempa *megathrust*, *benioff*, *shallow crustal*, dan *background*. Pemilihan didasarkan atas karakteristik suatu sumber gempa seperti mekanisme, magnituda, dan jarak yang paling mendekati hasil deagregasi (Widodo, 2000).

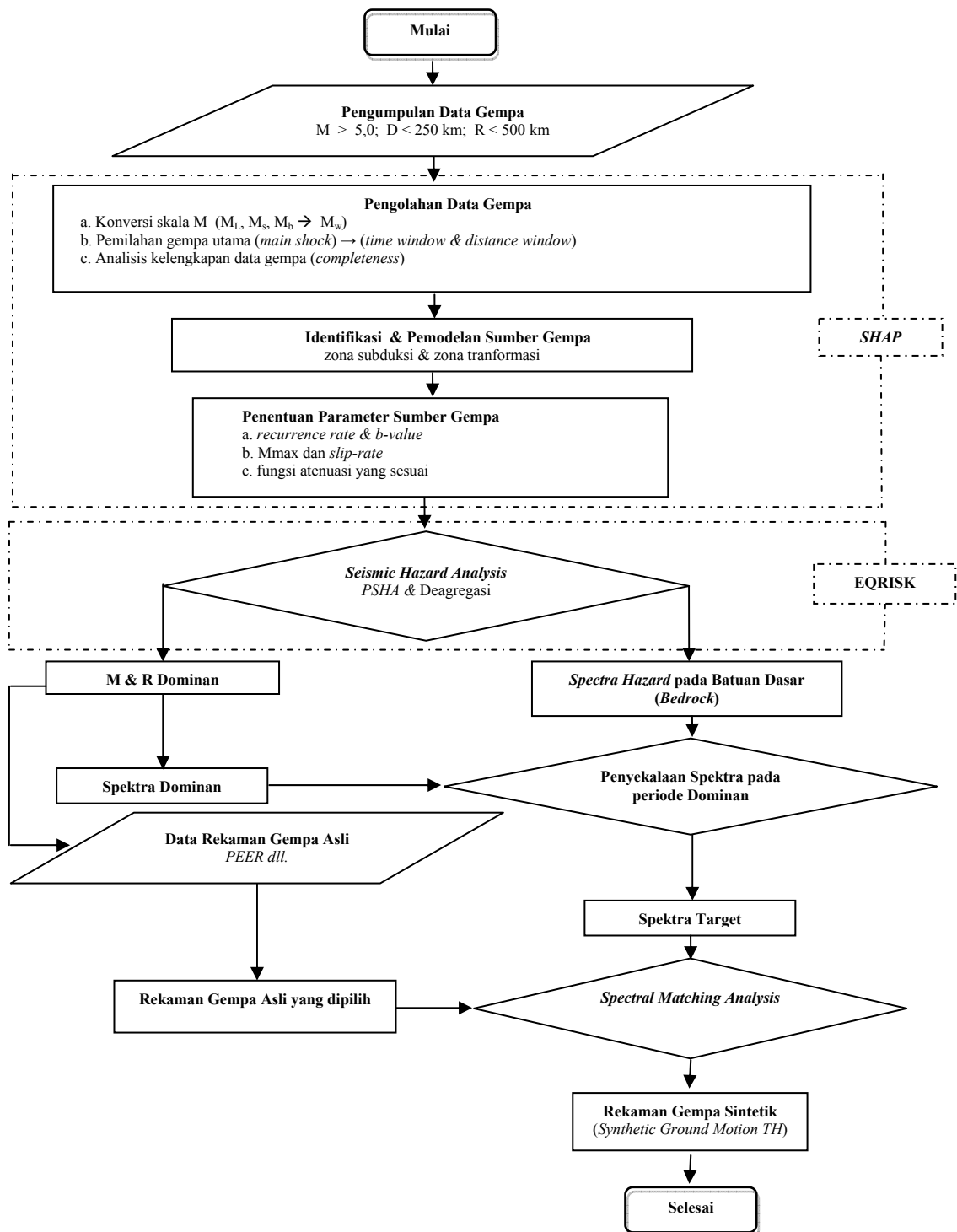
Data rekaman gempa yang dipilih kemudian dimodifikasi, sehingga spektranya mendekati target spektra. Karakteristik getaran gempa rencana direpresentasikan sebagai spektra percepatan (*uniform hazard spectrum/UHS*) yang diperoleh dari hasil *PSHA*. Spektra gempa rencana dimodifikasi agar mendekati spektra target menggunakan pendekatan *spectrum-matching*. Prosedur didasarkan pada minimalisasi perbedaan skala antara respon spektra gempa dengan spektra target secara *least square*. Metodologi yang diusulkan ini dirumuskan dalam Persamaan sebagai "difference" yang rata-rata skala target perbedaannya dievaluasi secara integral sebagai berikut ;

$$|\text{Difference}| = \int_{T_A}^{T_B} [\alpha S_a^{\text{actual}}(T) - S_a^{\text{target}}(T)]^2 dT \quad (1)$$

dengan catatan S_a^{target} dan S_a^{actual} adalah respon spektra percepatan target dan spektra aktual percepatan rekaman. α , T , T_A dan T_B adalah faktor skala, periode osilator (*SDOF*), periode terendah dan tertinggi skala.

Untuk meminimalkan perbedaan, maka differensial pertama dari fungsi perbedaan (*difference*) faktor skala sekecil mungkin (mendekati nol) dengan mendefinisikan faktor skala (α) pada bentuk diskrit sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} \min|\text{Difference}| &\Rightarrow \frac{d|\text{Difference}|}{d\alpha} = 0 \\ &\Rightarrow \alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{actual}}(T) S_a^{\text{target}}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{actual}}(T)^2)} \quad (2) \end{aligned}$$



Gambar 1. Tahapan alur penelitian.

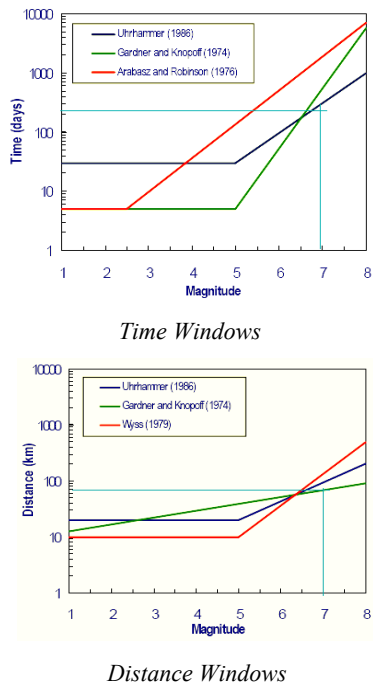
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber gempa di Pulau Jawa dan sekitarnya yang mempengaruhi *hazard* kegempaan Yogyakarta dapat dikelompokkan menjadi sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) serta transformasi (*shallow crustal* dan *back arc*). Gempa subduksi yang mempengaruhi kegempaan Yogyakarta berasal zona pertemuan lempeng tektonik Eurasia dan Indo-Australia yang terjadi di sebelah selatan Pulau Jawa dengan magnituda maksimal diperkirakan 8,5 *M_w*. Zona subduksi Pulau Jawa dibagi menjadi 3 (tiga) segmen ditunjukkan Gambar 1.

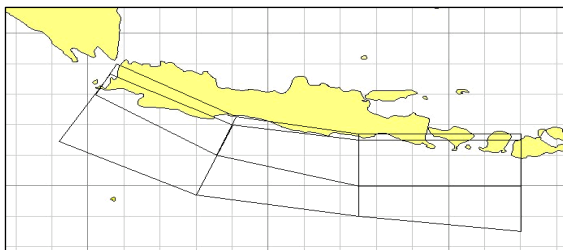
Gempa yang terjadi di sekitar pertemuan lempeng dengan hiposenter sampai dengan 50 km dianggap merupakan sumber gempa *megathrust* dan selain itu sumber gempa *benioff*. Perhitungan parameter seismik zona subduksi untuk menentukan nilai β dan *rate* dilakukan menggunakan metode *least square*. Hasil rekapitulasi perhitungan parameter seismik ditampilkan dalam Tabel 1.

Gempa transformasi dapat diidentifikasi dari zona patahan yang ada di sekitar lokasi tinjauan. Sumber gempa zona transformasi berupa sesar aktif di Pulau Jawa telah dilakukan Kertapati dkk. (2006). Berdasarkan penelitian tersebut, maka zona se-

sar aktif yang potensial menimbulkan gempa di sekitar Kota Yogyakarta (dalam radius 60 km) adalah Sesar Opak. Penentuan zona sumber dalam radius 60 km dilakukan dengan pertimbangan bahwa gempa yang berasal dari sumber patahan aktif hanya berpotensi merusak dalam radius tersebut.



Gambar 2. Kriteria untuk mengidentifikasi kejadian dependen (Irsyam dkk., 2007)



Gambar 1. Pemodelan zona sumber gempa subduksi Pulau Jawa.

Sesar Opak diperkirakan Kertapati (2006) merupakan bagian/segmen dari *Tertiary Melange Fault* yang membentang mulai dari Parangtritis sampai dengan Balikpapan di Kalimantan Selatan. Bagian/segmen *Tertiary Melange Fault* yang disebut Sesar Opak membentang dari Parangtritis sampai Prambanan (Gambar 2). Dengan mekanisme sesar *strike-slip* dengan dimensi diperkirakan memiliki luas runtuh diperkirakan $\approx 200 \text{ km}^2$ dengan panjang dan lebar masing-masing 19,44 km dan 9,90 km (Elnashai dkk., 2007).

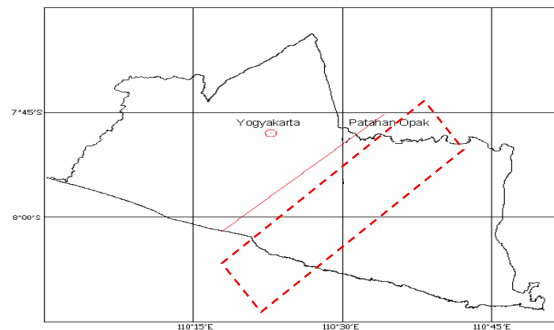
Gempa tahun 1867 dan 2006 memiliki mekanisme sama dan merupakan gempa terbesar pada Sesar Opak, sehingga periode ulang gempa ($T\text{-max}$) diperkirakan 139 tahun dengan magnituda maksimum sebesar 6,3 M_w . Berdasarkan asumsi $b = 1$ ($\beta = 2,303$), maka diperoleh nilai parameter a adalah 4,157 dan $rate$ -nya adalah 0,144 ($M_0=5$).

Perhitungan *PSHA* digunakan *software* EQRISK hasil modifikasi dari Hendriyawan (2005). Persamaan atenuasi yang digunakan adalah fungsi atenuasi Youngs dkk. (1997) untuk sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan Campbell (2003) untuk sumber gempa transformasi (*shallow crustal*). Kur-

va *hazard* kegempaan (*seismic hazard curve*) masing-masing pada periode spektra percepatan 0,2 detik, dan 1,0 detik ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Rekapitulasi parameter seismik sumber gempa subduksi Pulau Jawa

Zona Sumber Gempa	Segmen	$M\text{-Max}$	β	Rate	Depth (km)
Benioff	Jawa 1	8,5	3,07	2,10	78,00
	Jawa 2	8,5	2,27	1,18	78,00
	Jawa 3	8,5	1,81	0,82	78,00
Megathrust	Jawa 1	8,5	2,17	1,77	33,00
	Jawa 2	8,5	2,22	1,05	33,00
	Jawa 3	8,5	3,01	1,35	33,00



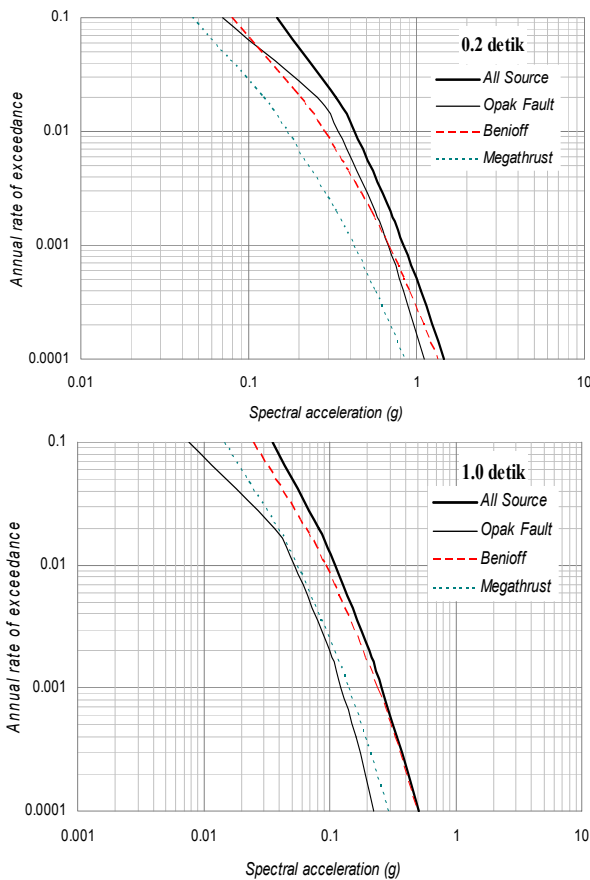
Gambar 2. Lokasi Patahan Opak.

Hasil perhitungan *PSHA* menunjukkan *hazard* kegempaan untuk Yogyakarta pada periode spektra pendek (0,2 detik) lebih banyak dipengaruhi oleh kontribusi sumber gempa *shallow crustal* (Sesar Opak) sedangkan pada periode spektra panjang (1,0 detik) didominasi pengaruh zona sumber gempa *benioff*. Hal ini terjadi karena karakteristik gempa subduksi dan berbeda terutama kandungan frekuensi getaran yang ditimbulkannya. Dapat disimpulkan bahwa bangunan tinggi (periode getar panjang) yang berada di Kota Yogyakarta lebih rentan terhadap ancaman gempa dari sumber *benioff* dan sebaliknya bangunan rendah lebih rentan dengan gempa yang dihasilkan oleh Sesar Opak.

Nilai percepatan (PGA) gempa kala ulang 500 tahun untuk Yogyakarta hasil analisis sebesar 0,387g. Hasil studi ini lebih besar dari SNI 2002 sebesar 0,15g dan hasil studi sebelumnya sebesar 0,20g oleh Irsyam dkk. (2007 dan 2008a), 0,25g oleh Petersen dkk. (2007) dan 0,30g oleh Petersen dkk. (2008). Namun masih sedikit lebih kecil dari penelitian Haifani (2008) yang menentukan nilai PGA Kota Yogyakarta sebesar 0,49g pada periode ulang gempa yang sama.

Nilai spektra percepatan pada periode 0,2 detik dan 1,0 detik pada studi ini menghasilkan nilai 0,645g dan 0,205g. Nilai yang diperoleh tersebut hampir sama dengan hasil studi Malau (2008) yang memperoleh 0,700g (spektra periode 0,2 detik) dan 0,299g (spektra periode 1,0 detik). Penelitian Petersen dkk. (2008) yang menentukan nilai sebesar 0,25g untuk wilayah Kota Yogyakarta belum mempertimbangkan Sesar Opak, sehingga angka yang diperoleh setara dengan hasil analisis zona *benioff* pada penelitian ini yaitu sebesar 0,264g.

Analisis deagregasi untuk menentukan magnituda (M) dan jarak (R) yang paling besar kontribusinya *hazard* kegempaan dilakukan terhadap UHS hasil PSHA pada periode ulang 500 tahun (UHS 500) masing-masing untuk periode spektra pendek ($T = 0.2$ detik) dan periode panjang ($T = 1.0$ detik). Hasil analisis deagregasi ditunjukkan dalam Tabel 2.



Gambar 3. Kurva *hazard* kegempaan wilayah Yogyakarta pada periode spektra 0,2 detik dan 1,0 detik.

Tabel 2. Rangkuman hasil deagregasi untuk periode ulang 500 tahun

Zona Sumber Gempa	T = 0.1 detik		T = 1.0 detik	
	M	R (km)	M	R (km)
<i>Benioff</i>	5.8	34	6.4	54
<i>Megathrust</i>	6.2	64	6.9	93
<i>Shallow Crustal (Sesar Opak)</i>	6.3	15	6.3	15

Dengan memakai fungsi atenuasi Youngs dkk. (1997) untuk sumber gempa subduksi dan Campbell dan Bozorgnia (2003) untuk *shallow crustal* kemudian ditentukan respon spektra batuan dasar masing-masing sumber gempa. Respon spektra masing-masing zona sumber selanjutnya diskala dengan nilai respon spektra hasil PSHA pada periode $T = 0,2$ detik dan $T = 1,0$ detik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

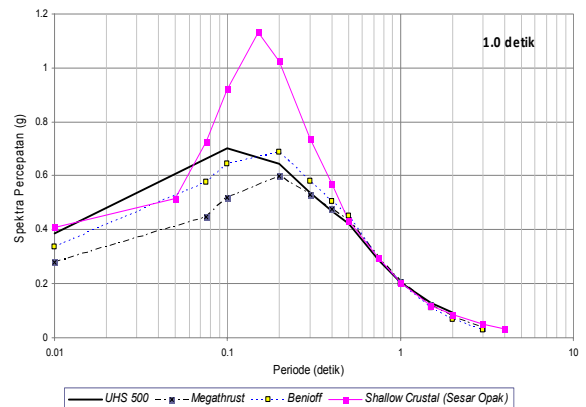
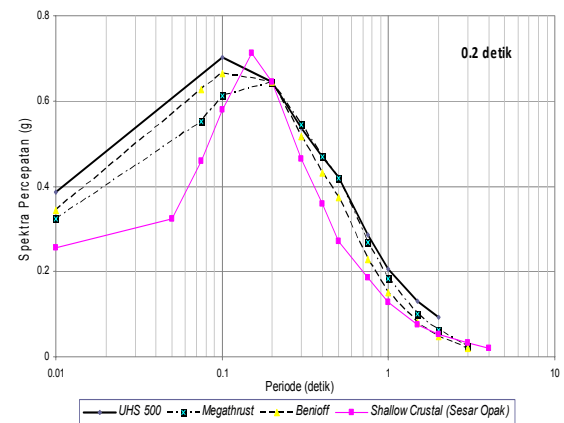
Berdasarkan penyelusuran data rekaman pada NGA database (www.peer.berkeley.edu/nga) dipilih masing-masing satu komponen rekaman riwayat waktu percepatan gempa dari 3 (tiga) set rekaman gempa natural untuk merepresentasikan mekanisme

sumber gempa *megathrust*, *benioff*, dan *shallow crustal* (Tabel 3).

Modifikasi dilakukan pada rekaman yang dipilih untuk merepresentasikan masing-masing zona sumber gempa. Gambar 5 sampai Gambar 7 memperlihatkan rekaman hasil modifikasinya pada periode spektra 0,2 detik (*modified 0.2*) dan 1,0 detik (*modified 1.0*) untuk masing zona sumber gempa.

Tabel 3. Rekaman percepatan gempa yang dipilih

Zona Sumber Gempa	Rekaman Riwayat Waktu Percepatan				
	Peristiwa	Stasiun/Komponen	M	R (km)	Sumber Data
<i>Benioff</i>	Coalinga-01 1983-05-02	Parkfield/ H- PG5000	6.4	54	CDMG
<i>Megathrust</i>	Borah Peak 1983-10-28	TAN- 719/ TAN 260	6.9	95	CDMG
<i>Shallow Crustal</i>	Morgan Hill 1984-04-24	Halls Valley/ HVR 240	6.2	4	CDMG



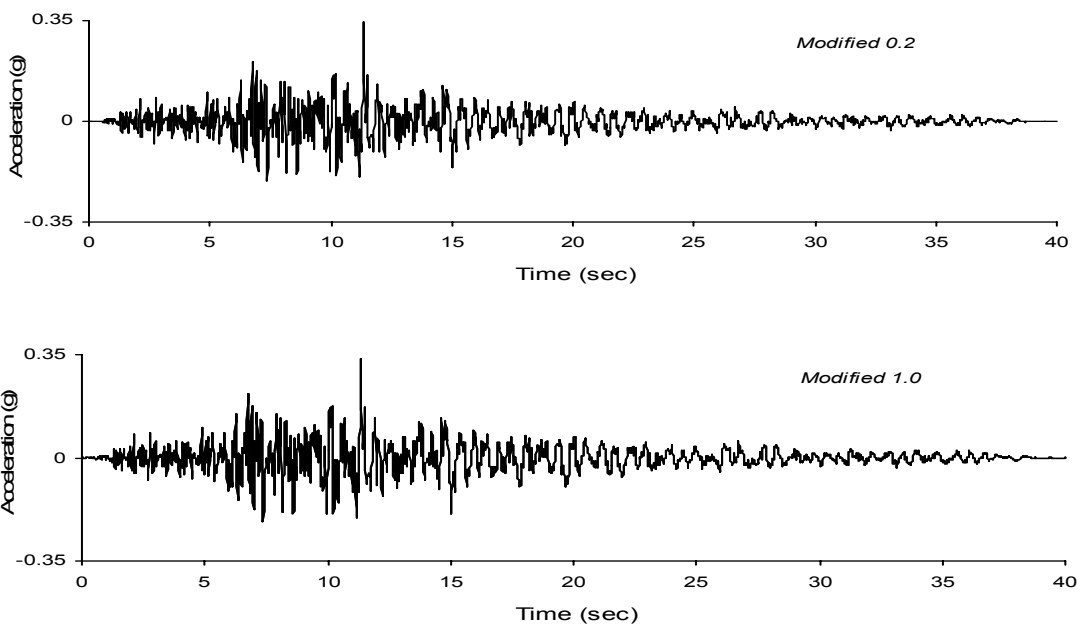
Gambar 4. Spektra target masing-masing zona sumber gempa

KESIMPULAN

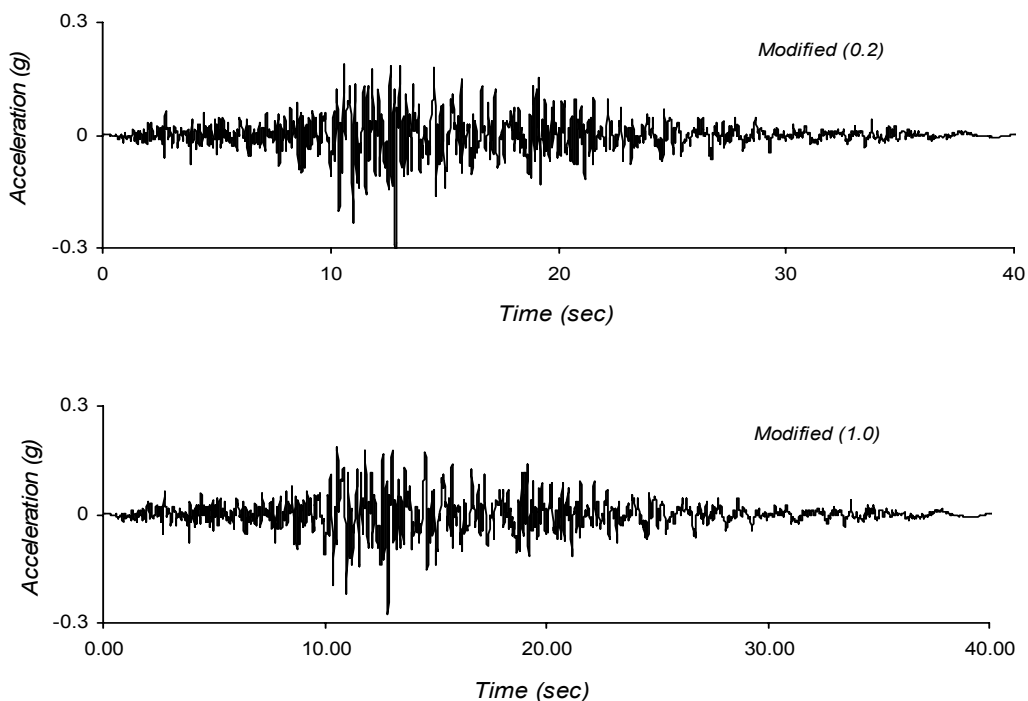
Dari uraian hasil dan pembahasan sebelumnya dapat diambil kesimpulan penting sebagaimana diuraikan berikut ini.

- Intensitas bahaya kegempaan Kota Yogyakarta berdasarkan analisis probabilistik (PSHA) pada kala ulang gempa 500 tahun dan 2500 tahun adalah 0,387g, 0,645g, dan 0,205g serta 0,559g, 1,000g, dan 0,344g masing-masing pada periode spektra percepatan PGA, 0,1 detik, 0,2 detik, dan 1,0 detik.

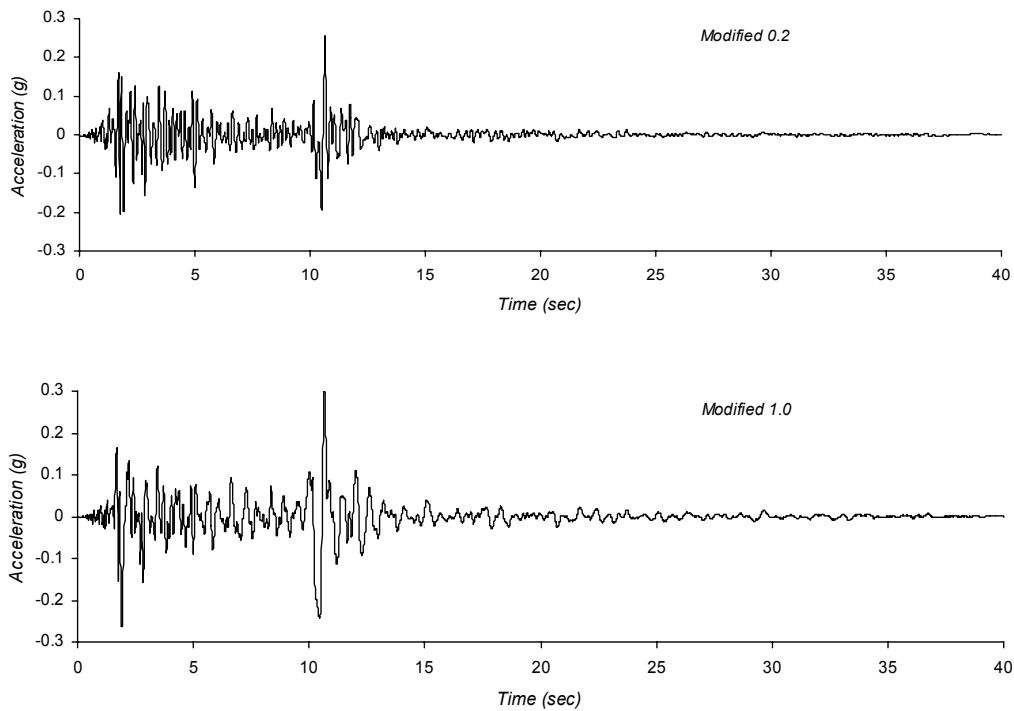
- b. Hasil perhitungan PSHA studi dan penelitian lain pasca diberlakukannya SNI 03-1726-2002 menghasilkan nilai spektra percepatan yang lebih besar sehingga perlu dilakukan perbaikan peraturan pembebanan gempa bangunan disesuaikan dengan perkembangan pengetahuan rekayasa kegempaan.
- c. Untuk memperoleh karakteristik kejadian gempa secara baik perlu data rekaman percepatan sehingga perlu segera dilakukan pemasangan akselerograf terutama pada wilayah rawan gempa.



Gambar 5. Rekaman modifikasi sumber gempa *benioff*.



Gambar 6. Rekaman modifikasi sumber gempa *megathrust*.



Gambar 7. Rekaman modifikasi sumber gempa *shallow crustal*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM), Direktorat Pendidikan Tinggi, Kemdiknas yang telah mendanai seluruh kegiatan penelitian ini melalui Penelitian Hibah Bersaing Tahun 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y. (2003). "Updated Near-Source Ground-Motion (Attenuation) Relations for the Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration and Acceleration Response Spectra." *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 1, pp. 314-331.
- Elnashai A., Kim J.G, Yun G.J, & Sidharta J. (2007). "The Reconnaissance Report of Yogyakarta Earthquake of May 27th 2006." *MAE Center Report No. 07-02*, Mid-America Earthquake Center.
- Hendriyawan, Adnan, Azlan, Aminaton Marto, Masyhur Irsyam (2005). "The Development of Software for Seismic Hazard". *Seminar Kejuruteraan Awam (SEPKA)*, Universiti Teknologi Malaysia, 5-6 Juli.
- International Code Council (2006). *International Building Code*. ICC, USA.
- Irsyam, Masyhur, Drajat Hoedajanto, Engkon K. Kertapati, Teddy Boen, Mark D. Petersen, Donny T. Dangkoa, M. Asrurifak (2007). "Usulan Revisi Peta Hazard Kegempaan Wilayah Indonesia untuk Pulau Jawa". *Prosiding Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air*, Puslitbang Air, Bandung.
- Irsyam, Masyhur, Hendriyawan, Donny T. Dangkoa, Engkon Kertapati, Bigman M. Hutapea, Davy Sukamta (2008). "Usulan Ground Motion untuk Batuan Dasar Kota Jakarta dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun untuk Analisis Site Specific Response Spectra." *Seminar dan Pameran HAKI 2008 "Pengaruh Gempa dan Angin terhadap Struktur"*.
- Kertapati, E. K., Setiawan, J. H., Marjiyono (2006). "Revisi Potensi Sumber-sumber Gempa di Indonesia." *Seminar Konstruksi Indonesia di Millenium ke-3*, 22-23 Agustus 2006, Jakarta.
- Kramer, Steven L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Printice Hall, New Jersey A.
- Malau, Herland A. (2008). "Studi Karakteristik Getaran Gempa di Yogyakarta untuk Mengembangkan Kriteria Design Seismik di Yogyakarta." Tugas Akhir, tidak dipublikasikan. Bandung: Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.
- McGuire, R. K., (1976). *FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Calculations*, US. Geol. Surv. Open-File Rep. 76-67, p 90.
- Naumoski, N., (1985). *Program SYNTH - Generation of artificial accelerograms compatible with a target spectrum*, Mc Master Earthquake Engineering Software Library, Dept. of Civil Engin. and Eng. Mech., McMaster Univ., Hamilton, Canada.
- Petersen, M.D., Harmsen, S., Mueller, C., Haller, K., Dewey, J., Luco, N., Crone, A., Lidke, D., and Rukstales, K. (2008). "Probabilistic Seismic Hazard for the Southeast Asia". *International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation*, Jakarta 14-15 April.
- SNI 03-1726-2002 (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Teguh, M., Purwono, B., Purwoko, A. (2010). "Pengembangan Getaran Tanah Sintetik Untuk Wilayah Yogyakarta." *Laporan Hasil Penelitian E-DPPM-610*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Widodo (2000). *Respon Dinamik Struktur Elastik*. UII Press. Yogyakarta.
- Youngs, R.R., S.-J. Chiou, W.J. Silva, and J.R. Humphrey (1997). *Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes*. *Seismological Research Letters*, 68, 58-73.