

Pemilihan dan Pen-skala-an Rekaman Akselerogram Gempa Nyata agar Sesuai dengan Spektrum Respons SNI 1726-2012

Dicky Imam Wahjudi^{1,*}

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, ITS, Surabaya

Koresponden*, Email: dickyimamwt73@gmail.com

| Info Artikel | Abstract |
|--|---|
| Diajukan 27 Nopember 2017 Diperbaiki 6 Desember 2017 Disetujui 7 Desember 2017 | <p><i>The need in performing an analysis to calculate the nonlinear response of buildings due to earthquake by using time history records of ground motion acceleration is increasingly becoming a compelling demand in the design nowadays. The most urgent problem to be addressed in this regard is to choose an accelerogram record that fits conditions prescribed by building code and soil types under specific site conditions. In the literature there are known several sources of time history strong ground motions, among others are, artificial records that match the design response spectrum, synthetic records derived from the seismological model, and accelerogram records obtained from real earthquake events. In this text, it will be presented a procedure for selecting and scaling the ground acceleration data recorded from real earthquakes to provide results that match the design acceleration response spectrum as determined by SNI 1726-2012. It will be presented within: a brief description of the fundamental theory in determining the appropriate response spectrum, the scale factor limits, as well as several other determining parameters. For example, it will be submitted here an adjustment on five earthquake accelerograms so that they match the acceleration response spectrum of the design earthquake for the city of Jakarta hard soil and Yogyakarta soft soil.</i></p> |
| <p>Keywords: time history, accelerogram, building code, response spectrum, scale factor.</p> | <p>Abstrak Kebutuhan pada analisis perhitungan respons nonlinier bangunan terhadap gempa dengan memakai rekaman percepatan tanah riwayat waktu semakin menjadi tuntutan di dalam desain pada saat ini. Masalah yang paling mendesak untuk dipenuhi di dalam hal ini adalah menentukan pilihan pada rekaman akselerogram yang sesuai dengan syarat-syarat yang sudah ditentukan menurut peraturan bangunan dan jenis tanah pada suatu kondisi situs yang spesifik. Di dalam kepustakaan dikenal beberapa sumber akselerogram riwayat waktu, antara lain rekaman gerakan tanah tiruan yang sesuai dengan spektrum respons desain, rekaman sintetik yang diperoleh dari model seismologi, dan rekaman akselerogram yang diperoleh dari kejadian gempa yang nyata. Di dalam naskah ini akan disampaikan suatu tata langkah untuk memilih dan men-skala-kan data akselerogram gerakan tanah oleh gempa nyata agar memberikan hasil yang sesuai dengan spektrum respons percepatan desain sebagai yang ditentukan oleh SNI 1726-2012. Di dalamnya akan disampaikan secara ringkas mengenai teori dasar pada penentuan spektrum respons yang sesuai, penetapan batas-batas faktor skala, serta beberapa parameter penentu lainnya. Sebagai contoh akan disampaikan di sini penyesuaian pada lima rekaman akselerogram gempa sehingga cocok dengan spektrum respons percepatan gempa desain untuk kota Jakarta tanah keras dan Yogyakarta tanah lunak.</p> |
| <p>Kata kunci: riwayat waktu, akselerogram, peraturan bangunan, spektrum respons, faktor skala.</p> | |

1. Pendahuluan

Peraturan perencanaan bangunan tahan gempa biasanya menetapkan pengaruh gerakan tanah gempa sebagai grafik spektrum respons percepatan, baik yang berasal dari nilai-nilai spektrum yang dihitung dari akselerogram gempa nyata yang disesuaikan, rekaman gempa tiruan (*artificial*) yang sepadan dengan spektrum desain, atau rekaman gerakan tanah sintetik yang diperoleh dari suatu model seismologi tertentu. Sejak dimantapkannya metoda PBSD (*Performance Based Seismic Design*) atau PBEE (*Performance Based Earthquake Engineering*) pada 1995, maka semakin dirasakan perlunya memakai catatan riwayat waktu dari

akselerogram kejadian yang nyata untuk mempelajari perilaku respons bangunan-bangunan terhadap gempa [1]. Sampai di sini dijumpai sulitnya mendapatkan rekaman akselerogram yang sesuai dengan spektrum respons desain yang telah ditetapkan oleh peraturan bangunan (*building codes*), sehingga dipandang perlu untuk men-skala-kan rekaman akselerogram yang nyata agar sesuai (*matched*) dengannya [2]. Apa lagi dengan melihat perkembangan yang terjadi sekarang, dengan semakin bertambah banyaknya data rekaman yang berhasil di catat dari kejadian-kejadian gempa yang nyata, tetapi juga sulitnya memberikan input yang tepat dari suatu skenario gempa yang lengkap, seperti magnitudo,

mekanisme patahan, letak situs, disamping kondisi geologi, maka penggunaan akselerogram nyata yang disesuaikan semakin menjadi pilihan yang lebih mudah dilakukan di dalam bidang pengkajian maupun pengujian respons bangunan terhadap gempa, baik linier maupun nonlinier [3]. Di dalam hal ini, Penulis telah mencoba menerapkan pen-skala-an rekaman riwayat waktu akselerogram gempa Kobe, 16 Januari 1995, untuk menganalisis perilaku respons *nonlinear time history* (NLTH) pada suatu sistem rangka pemikul momen beton bertulang bertingkat 10 yang terletak di kota Bandung[4].

Penyesuaian besaran-besaran spektrum dengan akselerogram nyata, baik di dalam ranah waktu maupun frekwensi, dapat dilakukan menurut cara-cara berikut ini: (a) nilai-nilai spektrum percepatan secara sederhana di-skala-kan ke atas dan ke bawah secara seragam, (b) gerakan tanah nyata di *filter* kan di dalam ranah frekwensi dengan nilai perbandingan antara nilai spektralnya dengan nilai spektrum desain yang ditargetkan, dan (c) penambahan dan pengurangan gelombang-gelombang kecil (*elementary wavelets*) pada rekaman yang sebenarnya agar diperoleh hasil yang mendekati spektrum desain yang ditargetkan [5]. Beberapa pokok aturan dalam memilih dan men-skala-kan akselerogram telah dijabarkan [6].

2. Metodologi

a. Pemilihan Rekaman

Dari beberapa gempa dipilih rekaman yang menghasilkan gambaran tentang ciri-ciri gerakan tanahnya, yaitu magnitudo, jaraknya ke pusat getaran, dan klasifikasi situs. Pemilihan dilakukan biasanya lebih ditekankan pada upaya untuk memperoleh rekaman-rekaman yang sesuai/sepadan dengan spektrum respons daripada terhadap parameter-parameter seismologinya. Karenanya, rekaman-rekaman tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan pada besaran-besaran dari suatu gerakan tanah kuat, seperti percepatan tanah puncak (PGA=*peak ground acceleration*), kecepatan tanah puncak (PGV=*peak ground velocity*), dan durasi yang sesuai dengan spektrum respons desainnya.

Gerakan tanah riwayat waktu suatu gempa memberikan gambaran tentang intensitas, suatu ukuran yang berhubungan dengan aras (*level*) kebencanaan tertentu (yaitu periode ulang), yang akan menggambarkan magnitudo, jarak ke pusat gempa, kondisi situs, dan beberapa parameter yang menentukan sifat-sifat karakteristik gerakan tanahnya. Pemilihan rekaman dengan magnitudo yang sesuai perlu diperhatikan karena magnitudo sangat besar pengaruhnya pada kandungan frekwensi dan durasi dari gerakan tanah.

Walaupun gempa di Indonesia, khususnya di P. Jawa, yang berasal dari mekanisme subduksi berbeda dengan gempa-gempa di Amerika Utara yang berasal dari mekanisme patahan (*fault*), tetapi untuk contoh pemakaian di bawah tetap digunakan rekaman gempa-gempa tersebut, karena rekaman akselerogram gempa di Indonesia masih sulit diperoleh.

b. Pen-skala-an Gerakan Tanah

Dikenal dua cara untuk memodifikasi suatu rekaman riwayat waktu agar sesuai dengan spektrum respons desain, yaitu: (a) pen-skala-an di dalam ranah waktu, dan (b) pen-skala-an di dalam ranah frekwensi. Prosedur pen-skala-an di dalam ranah waktu dilakukan agar didapatkan kwadrat selisih yang minimum antara spektrum respons gerakan tanah dengan spektrum target (*minimum least squares method*), yaitu:

$$|\text{Selisih}| = \int_{T_B}^{T_A} [r S_a^{\text{aktual}}(T) - S_a^{\text{target}}(T)]^2 dT \quad (1)$$

dimana:

S_a^{aktual} = spektrum respons per-cepatan gempa aktual

S_a^{target} = spektrum respons per-cepatan gempa target

= faktor skala

T = periode osilator

T_B = periode batas bawah pen-skala-an

T_A = periode batas atas pen-skala-an

Dengan mendiferensiasikan persamaan (1) sekali terhadap dan kemudian menyamakannya dengan 0 (nol), maka akan didapatkan faktor skala:

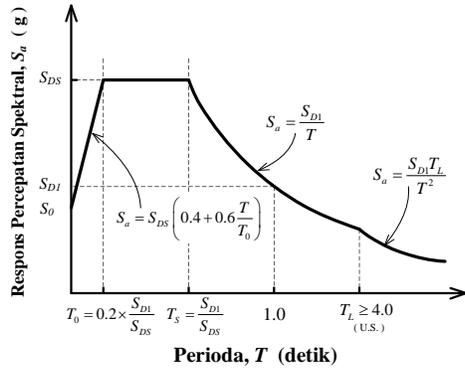
$$r = \frac{\sum_{T=T_B}^{T_A} (S_a^{\text{aktual}} - S_a^{\text{target}})^2}{\sum_{T=T_B}^{T_A} (S_a^{\text{aktual}})^2} \quad (2)$$

c. Spektrum Respons Target

Spektrum respons adalah sebaran nilai-nilai besaran respons struktur SDOF (*single degree of freedom* = sistem berderajat kebebasan tunggal), yang terdiri dari besaran-besaran perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*), pada berbagai nilai periode. Cara perhitungan untuk mendapatkan spektrum respons telah diterangkan pada banyak pembahasan di dalam buku-buku teks rekayasa gempa yang standar [7].

SNI 1726-2012 telah menetapkan cara penentuan beban gempa untuk bangunan gedung yang berada di dalam wilayah Indonesia sebagai grafik spektrum respons percepatan desain seperti yang disampaikan pada Bab 4 peraturan [8].

Grafik yang dimaksudkan adalah sebagai yang disampaikan pada Gambar 1 dari peraturan, dan yang diperlihatkan lagi pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum respons percepatan desain menurut SNI 1726-2012.

Dari Gambar 1, S_o , S_{D1} , S_{DS} , T_0 dan T_s adalah parameter-parameter percepatan gempa yang nilainya dihitung berdasarkan uraian pada Bab 6 peraturan serta dengan memperhatikan Gambar 9, 10, dan 11 SNI 1726-2012.



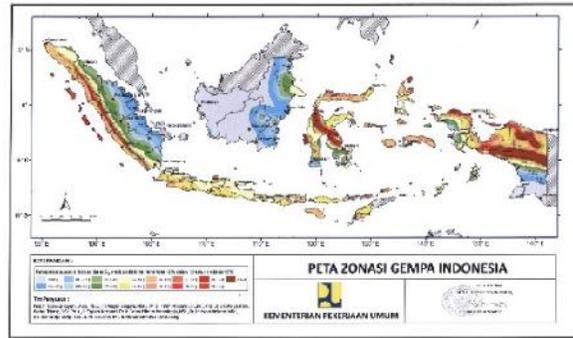
Gambar 2. Parameter S_s menurut Gambar 9 SNI 1726-2012.

Hasil grafik spektrum respons percepatan gempa desain untuk kota Jakarta disampaikan pada Gambar 5, sedangkan untuk kota Yogyakarta disampaikan pada Gambar 6. Selanjutnya, Gambar 5 dan 6 akan menjadi spektrum respons target penyesuaian dari beberapa akselerogram gempa nyata yang akan disebutkan dalam ulasan rekaman gempa nyata.

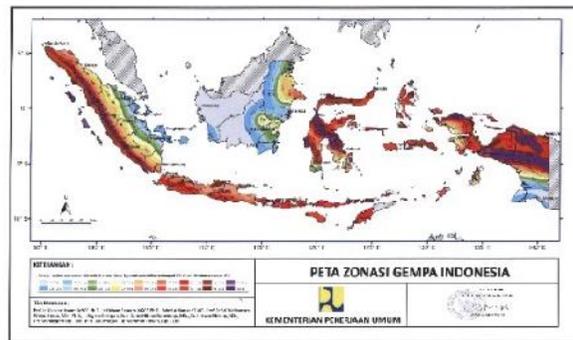
d. Rekaman Gempa Nyata

Lima rekaman gempa yang diambil dari internet [9] akan disesuaikan dengan spektrum respons desain Jakarta, yaitu: (1) Chi-Chi, Taiwan, 20 September 1999, Stasiun: TCU045, Komponen: Horizontal/Longitudinal, (2) El Centro, A.S., 18 Mei 1940, Stasiun: USGS No. 117, Kom-ponen: Horizontal/U-S, (3) Kocaeli, Turki, 17 Agustus 1999, Stasiun: Yarimca (KOERI330), Komponen: Hori-

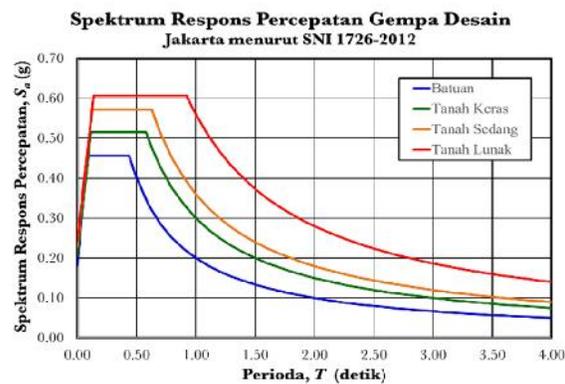
zontal/180°, (4) Northridge, A.S., 17 Januari 1994, Stasiun: CDMG 24278, Komponen: Horizontal/90°, dan – (5) Taft, A.S., 21 Juli 1952, Stasiun: Taft Lincoln School Tunnel, Komponen: Horizontal/B69U.



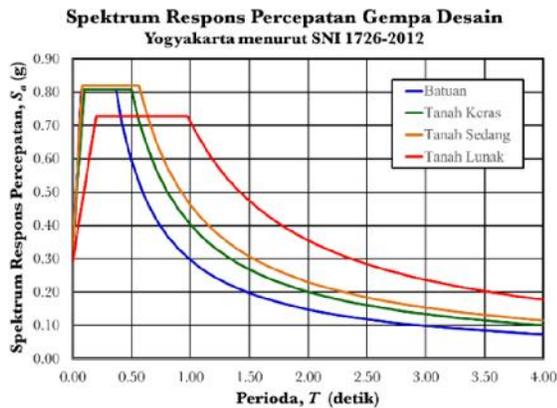
Gambar 3. Parameter S_1 menurut Gambar 10 SNI 1726-2012.



Gambar 4. Parameter PGA menurut Gambar 10 SNI 1726-2012.

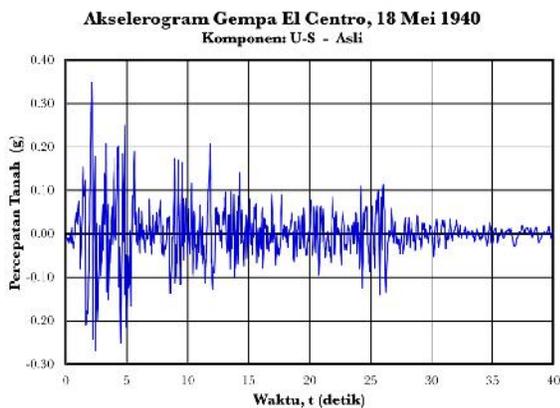


Gambar 5. Spektrum respons percepatan desain untuk Jakarta dihitung dengan SNI 1726-2012.



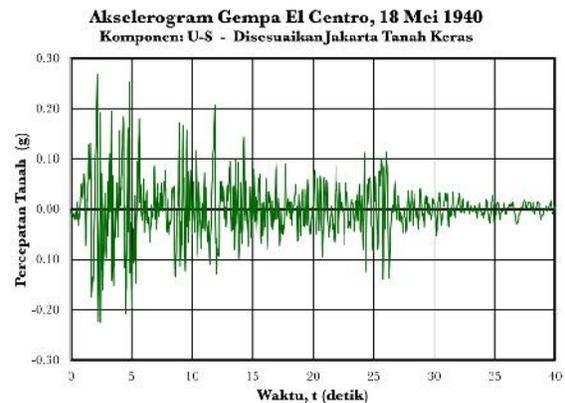
Gambar 6. Spektrum respons percepatan desain untuk Yogyakarta dihitung dengan SNI 1726-2012.

Pen-skala-an spektrum respons gempa dihitung pada osilator elastik dengan beban kelima gempa sebagai disebutkan di atas secara satu persatu untuk mendapatkan rekaman yang paling sesuai dengan spektrum respons target yang sudah ditentukan. Ambil asumsi redaman 5%. Prosedur pen-skala-an dipakai untuk menyesuaikan masing-masing komponen rekaman dengan spektrum target pada rentang perioda yang ditentukan, sebut saja: $T = 0.05$ s/d. 4.0 detik. Nilai β dari persamaan (2) kemudian dapat dihitung. Nilai β yang lebih kecil dari 1/20 atau lebih besar dari 20 dianggap salah dan tidak dipakai.

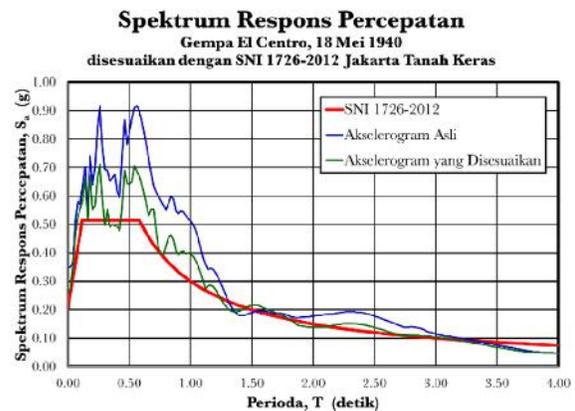


Gambar 7. Rekaman asli akselerogram gempa El Centro, 18 Mei 1940, U-S.

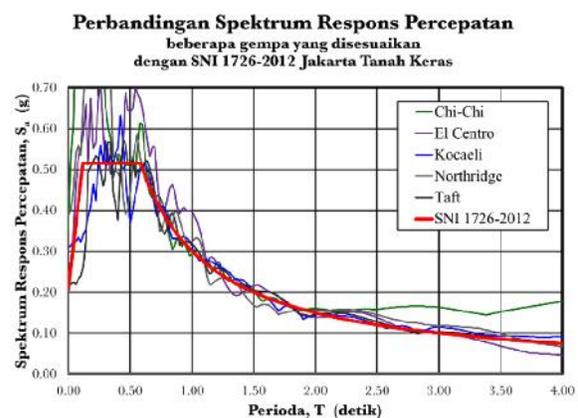
Gempa El Centro, yang akselerogram aslinya seperti terlihat pada Gambar 7, setelah disesuaikan terhadap spektrum respons desain Jakarta, akan menjadi seperti pada Gambar 8. Sedangkan grafik spektrum respons yang dihasilkan disampaikan pada Gambar 9 untuk gempa El Centro saja, dan pada Gambar 10 untuk keseluruhan kelima gempa.



Gambar 8. Rekaman akselerogram gempa El Centro, 18 Mei 1940, yang disesuaikan.



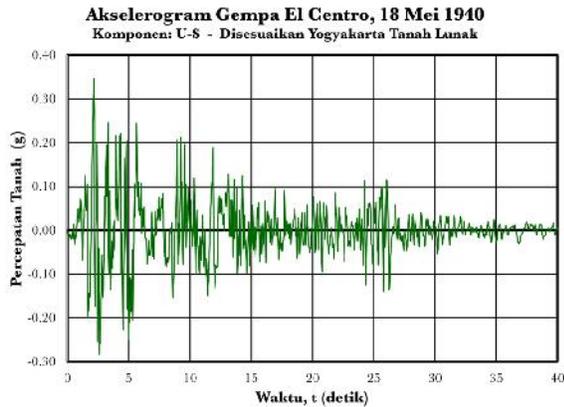
Gambar 9. Perbandingan antara spektrum respons gempa El Centro, 18 Mei 1940, yang asli dengan yang disesuaikan untuk kota Jakarta tanah keras.



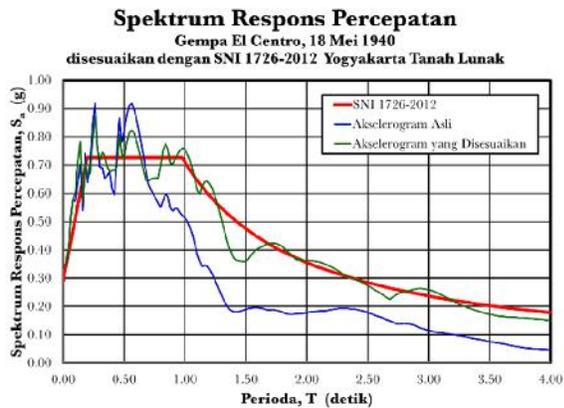
Gambar 10. Spektrum respons 5 akselerogram gempa yang disesuaikan untuk kota Jakarta.

Gempa El Centro yang sama bila disesuaikan dengan spektrum desain Yogyakarta tanah lunak, maka akan di-

hasilkan rekaman akselerogram yang berbeda dari Gambar 8. Rekaman hasil penyesuaiannya adalah sebagai yang ditunjukkan pada Gambar 11, sedangkan perbandingan spektrum respons antara akselerogram gempa asli dengan yang sesudah disesuaikan disampaikan pada Gambar 12.



Gambar 11. Rekaman akselerogram gempa El Centro, 18 Mei 1940, yang disesuaikan dengan spektrum respons desain untuk Yogyakarta tanah lunak.



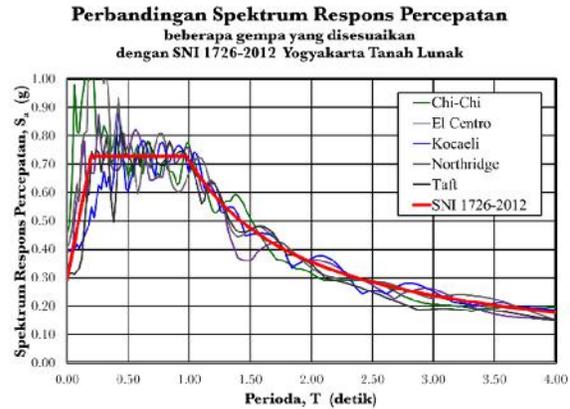
Gambar 12. Perbandingan antara spektrum respons gempa El Centro, 18 Mei 1940, yang asli dengan yang disesuaikan untuk kota Yogyakarta tanah lunak.

Hasil perbandingan spektrum respons dari kelima akselerogram yang sudah disesuaikan dengan spektrum respons desain untuk Yogyakarta disampaikan pada Gambar 13.

3. Hasil dan Pembahasan

Suatu cara untuk memilih dan men-skala-kan rekaman riwayat waktu akselerogram gempa yang nyata agar sesuai dengan spektrum respons percepatan gempa desain menurut SNI 1726-2012 telah dilakukan dengan mencakup rentang periode: $T = 0.05$ s/d. 4.0 detik [8]. Kemudian analisis

spektrum respons diterapkan pada akselerogram yang sudah disesuaikan tersebut maka dihasilkanlah grafik spektrum respons yang lebih mendekati/sesuai dengan spektrum respons desain sebagai target.



Gambar 13. Spektrum respons 5 gempa yang disesuaikan untuk kota Yogyakarta tanah lunak.

Sebagai ilustrasi, di dalam tulisan ini digunakan 2 (dua) kelas tanah yang berbeda, yaitu Tanah Keras untuk Jakarta, dan Tanah Lunak untuk Yogyakarta. Juga, di dalam tulisan ini digunakan 5 (lima) rekaman akselerogram gempa yang berbeda. Pemilihan gempa dengan pengelompokan karakteristik kebencanaan, seperti magnitudo, jarak ke pusat gempa, kondisi situs, dan durasi, tidak bisa dilakukan, mengingat akselerogram gempa asli untuk Indonesia masih sangat sukar diperoleh. Contoh-contoh akselerogram yang dipakai di dalam tulisan ini adalah berasal dari gempa-gempa di luar Indonesia, sedangkan karakteristik gempa-gempa tersebut berbeda dengan gempa Indonesia. Sebagai contoh, gempa di Indonesia, khususnya di P. Jawa ditimbulkan oleh suatu proses subduksi, sedangkan gempa di A.S. berasal dari proses patahan atau sesar (*fault*).

Sebagai gambaran pemakaian faktor skala yang berbeda, dapat diperlihatkan spektrum respons gempa El Centro, masing-masing pada Jakarta tanah keras (Gambar 9) dan Yogyakarta tanah lunak (Gambar 12). Untuk Jakarta, El Centro agak ‘terlalu keras’, sehingga perlu diperlunak. Sedangkan bila dibandingkan dengan Yogyakarta tanah lunak, gempa El Centro ‘terlalu lemah’, sehingga penyesuaian yang dilakukan telah menghasilkan akselerogram dengan respons yang lebih kuat.

Tulisan ini mendukung persyaratan di dalam Pasal 6.10 SNI 1726-2012 yaitu mengenai prosedur desain seismik dengan gerak tanah yang spesifik situs. Di dalam 6.10.1.1 disebutkan, bahwa suatu spektrum respons gempa pada batuan dasar diperlukan untuk suatu analisis spektrum respons yang spesifik situs. Spektrum respons gempa pada batuan

dasar ini harus dikembangkan dengan menggunakan prosedur yang disebutkan menurut Pasal 6.8 atau 6.10.2 dengan asumsi kelas situs SB (batuan), atau SA (batuan keras) tetapi dengan koefisien-koefisien situs yang sudah di justifikasi. Disebutkan, bahwa diperlukan paling sedikit 5 (lima) rekaman atau simulasi riwayat waktu percepatan gerakan tanah horizontal yang dipilih dari beberapa kejadian gempa dengan magnitudo dan jarak sumber gempa yang secara konsisten mengendalikan gerak tanah gempa. Masing-masing riwayat waktu yang dipilih harus di-skala-kan, sehingga spektrum responsnya secara rata-rata dekat dengan level spektrum respons gempa batuan yang signifikan dari respons struktur bangunan yang didesain.

4. Simpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada uraian di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Suatu cara untuk memilih dan men-skala-kan rekaman riwayat waktu akselerogram gempa yang nyata agar sesuai dengan spektrum respons percepatan gempa desain menurut SNI 1726-2012 telah dilakukan dengan mencakup rentang perioda: $T = 0.05$ s/d. 4.0 detik. Kemudian analisis spektrum respons diterapkan pada akselerogram yang sudah disesuaikan tersebut maka dihasilkanlah grafik spektrum respons yang lebih mendekati/sesuai dengan spektrum respons desain sebagai target.
- b. Setidaknya diperlukan 5 (lima) rekaman atau simulasi riwayat waktu percepatan gerakan tanah horizontal yang dipilih dari beberapa kejadian gempa dengan magnitudo dan jarak sumber gempa yang secara konsisten mengendalikan gerak tanah gempa. Masing-masing riwayat waktu yang dipilih harus di-skala-kan, sehingga spektrum responsnya secara rata-rata dekat dengan level spektrum respons gempa batuan yang signifikan dari respons struktur bangunan yang di-desain

Daftar Pustaka

- [1] Federal Emergency Management Agency, "Performance Based Sismic Design of Buildings-An Action Plan for Future Studies," Berkeley, 1996.
- [2] M. Lew and F. Naeim, "Use of Design Spectrum-Compatible Time Histories in Analysis of Structures," in *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, 1996.
- [3] N. A. Abrahamson, "Non-stationary Spectral Matching," *Seismological Res. Lett.*, vol. 63, no. 1, p. 30, 1992.
- [4] D. I. Wahyudi, P. Suprobo, and H. Sugihardjo, "Desain SRPMK Beton Bertulang Bertingkat Sepuluh

dan Analisis Respons Non Liniernya terhadap Pembebanan Gempa," in *Seminar Nasional Aplikasi Wilayah 2016*, 2016, pp. C1–C8.

- [5] Y. M. Fahjan, "Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms to Fit the Turkish Design," *Tek. Dergi*, vol. 19, no. 3, pp. 4423–4444, 2008.
- [6] A. Whittaker *et al.*, "Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-History Analyses," *Grant/Contract Reports - 11-917-15*, 2011.
- [7] B. Mohraz and F. Sadek, "Earthquake Ground Motion and Response Spectra," in *The Seismic Design Handbook*, Boston, MA: Springer US, 2001, pp. 47–124.
- [8] Badan Standarisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012)," Jakarta, 2012.
- [9] "Pacific Earthquake Engineering Research Center - PEER," 2006. [Online]. Available: <http://peer.berkeley.edu/>.