

Usulan Ground Motion untuk Batuan Dasar Kota Jakarta dengan Periode Ulang Gempa 500 Tahun untuk Analisis *Site Specific Response Spectra*

Masyhur Irsyam, Hendriyawan, Donny T. Dangkoa¹, Engkon Kertapati², Bigman M. Hutapea³, Davy Sukamta⁴

Bab I PENDAHULUAN

Seperti beberapa kota besar di Indonesia, kota Jakarta termasuk salah satu daerah di Indonesia yang cukup rawan terhadap bahaya gempa. Sehingga pembangunan sarana dan prasarana di kota Jakarta terutama yang menyangkut hajat hidup orang banyak seperti bangunan-bangunan tingkat tinggi (*high-rise buildings*) harus betul-betul memperhitungkan aspek kegempaan. Jika bangunan tidak direncanakan dengan baik terhadap bahaya gempa, maka kerugian yang mungkin terjadi akan besar mengingat cukup tingginya resiko gempa di Jakarta.

Salah satu data kegempaan yang diperlukan dalam analisis kegempaan, yaitu analisis *site specific response spectra* dan *dynamic soil-structure interaction*, adalah data riwayat waktu percepatan *time-histories* (TH). Sampai saat ini, data riwayat waktu percepatan *strong motion* di batuan dasar masih sangat sedikit sehingga pada umumnya dalam analisis tersebut digunakan data TH gempa dari negara lain. Bahkan dalam SNI 03-1726-2002 direkomendasikan untuk menggunakan 4 buah akselerogram dari 4 gempa yang berbeda, yang salah satunya harus diambil dari data gempa Elcentro N-S (1940). Sedangkan pemakaian data TH yang diambil dari negara atau lokasi lain belum tentu sesuai diterapkan untuk semua lokasi atau kondisi di Indonesia.

Mengingat data TH memegang peranan yang penting untuk mendapatkan hasil analisis dinamik yang akurat, maka pemilihan data TH ini harus sesuai dengan kondisi geologi, seismologi dan target parameter pergerakan batuan dasar (*ground motion parameters*), seperti percepatan gempa maksimum, kandungan frekuensi, dan durasi. Makalah ini akan membahas mengenai pembuatan TH yang sesuai untuk batuan dasar kota Jakarta. Studi ini merupakan bagian dari studi yang menyeluruh dalam rangka pengusulan revisi peta gempa Indonesia dalam SNI 03-1726-2002 dan pembuatan *ground motion* untuk kota-kota besar di Indonesia.

Bab II METODOLOGI

Secara umum ada dua metode untuk mendapatkan data TH (USACE, 1999), yaitu: 1) menggunakan data TH yang pernah direkam didekat lokasi studi, dan 2) menggunakan data TH buatan (*artificial time histories*). Kelebihan metoda pertama adalah data yang digunakan dapat dianggap paling representatif untuk lokasi studi karena data tersebut berasal dari gempa alami yang diakibatkan oleh mekanisme gempa dan kondisi geologi di sekitar lokasi studi. Pada pendekatan ini data akselerogram cukup diskalakan dengan suatu faktor koreksi untuk menyesuaikan dengan hasil analisis hazard kegempaan di lokasi studi. Permasalahan yang timbul adalah hampir seluruh kota-kota besar di Indonesia tidak memiliki data TH yang representatif untuk digunakan dalam analisis kegempaan. Sehingga untuk kasus ini data TH didapatkan dengan menggunakan metoda kedua.

¹ Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

² Pusat Survei Geologi

³ Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia

⁴ Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia

Metoda kedua, yaitu menggunakan data TH buatan, dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu: 1) memodifikasi data TH yang sudah ada, dan 2) membuat data TH secara sintetik. Cara pertama umumnya dianggap lebih baik daripada cara kedua karena data riwayat percepatan yang dihasilkan akan memiliki karakteristik yang lebih mendekati gempa natural. Dalam studi ini, pembuatan TH dilakukan dengan memodifikasi data TH yang sudah ada sehingga diharapkan dapat merepresentasikan kondisi seismologi dan geologi kota DKI Jakarta.

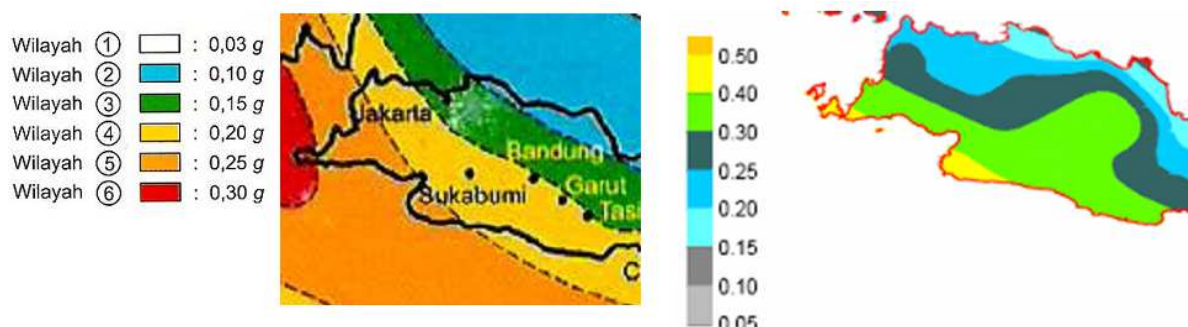
Secara umum prosedur untuk pembuatan data TH dengan metoda kedua adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis *seismic hazard* untuk mendapatkan percepatan maksimum dan *response spectra* di batuan dasar untuk suatu periode ulang gempa yang tertentu.
2. Melakukan analisis deagregasi untuk mendapatkan kombinasi magnituda dan jarak (M-R) yang paling mewakili dari suatu sumber gempa untuk periode struktur $T=0.2, 1.0, \text{ atau } 2.0$ detik.
3. Mencari data TH dari gempa natural yang memiliki mekanisme, magnituda, dan jarak yang paling mendekati hasil analisis deagregasi.
4. Melakukan analisis *spectral matching*, yaitu memodifikasi data TH dari Tahap 3 agar spektranya mendekati spektra dari hasil analisis *seismic hazard* dalam Tahap 1.

Bab III ANALISIS RESIKO GEMPA KOTA JAKARTA

Analisis *seismic hazard* untuk Indonesia bagian barat yang meliputi Pulau Sumatera dan Jawa telah dibuat oleh Irsyam dkk. (2007 dan 2008). Analisis *seismic hazard* yang telah dilakukan ini menjadi bagian dari studi yang menyeluruh yang melibatkan beberapa institusi dan asosiasi profesi. Berdasarkan hasil analisis *seismic hazard* tersebut percepatan gempa di batuan dasar (*peak ground acceleration/PGA*) Jakarta adalah sekitar 0.20g atau berada dalam rentang 0.20g-0.25g (Gambar 1). Nilai PGA ini relatif lebih besar dibandingkan nilai PGA dalam SNI 2002. Berdasarkan SNI 2002, Jakarta berada dalam Wilayah 3 dengan PGA sekitar 0.15g. Perbedaan ini salah satunya disebabkan karena model yang digunakan dalam studi ini sudah menggunakan model 3 dimensi yang lebih representatif dibandingkan model 2 dimensi yang digunakan pada saat pembuatan peta SNI 2002 dalam tahun 1998-2002.

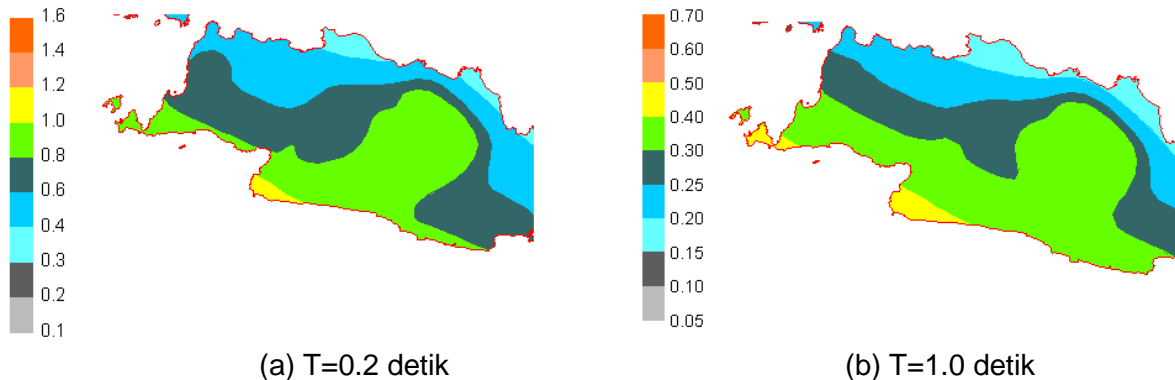
Selain peta percepatan maksimum di batuan dasar, Irsyam dkk. (2008) juga telah mengusulkan peta spektra percepatan untuk $T=0.2$ detik dan $T=1.0$ detik. Hal ini bertujuan untuk menyelaraskan dengan International Building Code 2000 (IBC 2000) yang sudah menggunakan peta spektra percepatan pada kedua periode tersebut dalam penentuan beban seismik. Peta spektra percepatan yang diusulkan oleh Irsyam dkk. (2008) untuk Jakarta dan sekitarnya dapat dilihat dalam Gambar 2.



(a) SNI 03-1726-2002

(b) Irsyam dkk. (2007, 2008)

Gambar 1. Peta hazard kegempaan Daerah Jawa Barat untuk periode ulang gempa 475 tahun



Gambar 2. Peta spektra percepatan untuk daerah Jawa Barat untuk periode ulang gempa 475 tahun (Irsyam dkk, 2008)

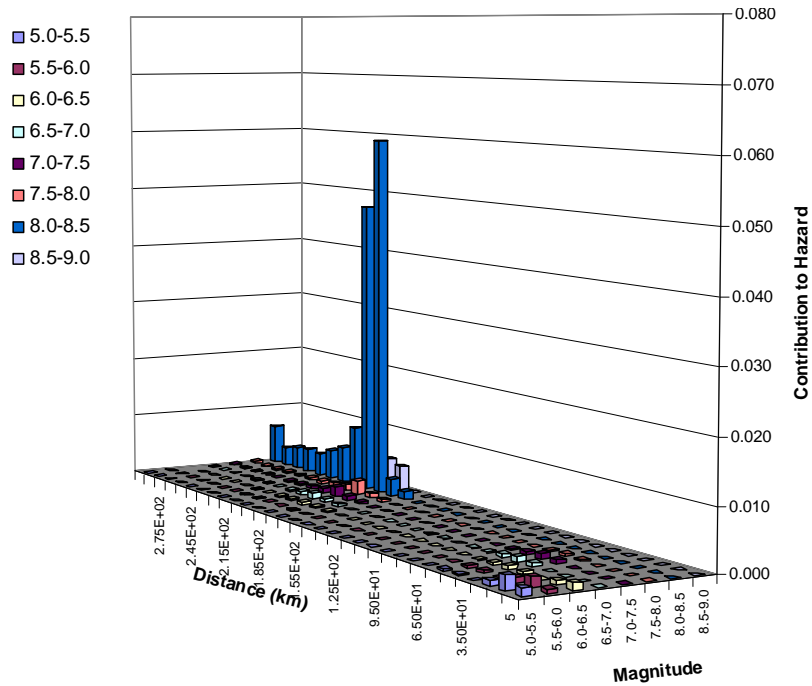
Bab IV ANALISIS DEAGREGASI

Untuk keperluan analisis lebih lanjut, dalam analisis *seismic hazard* dengan pendekatan probabilistik (probabilistic seismic hazard assessment/PSHA) pada umumnya diperlukan parameter gempa seperti magnituda dan jarak (M-R) yang bersesuaian dengan nilai spektra percepatan yang ditinjau (Trifunac, 1989). Parameter ini dapat diperoleh dengan menggunakan analisis deagregasi (McGuire, 1995).

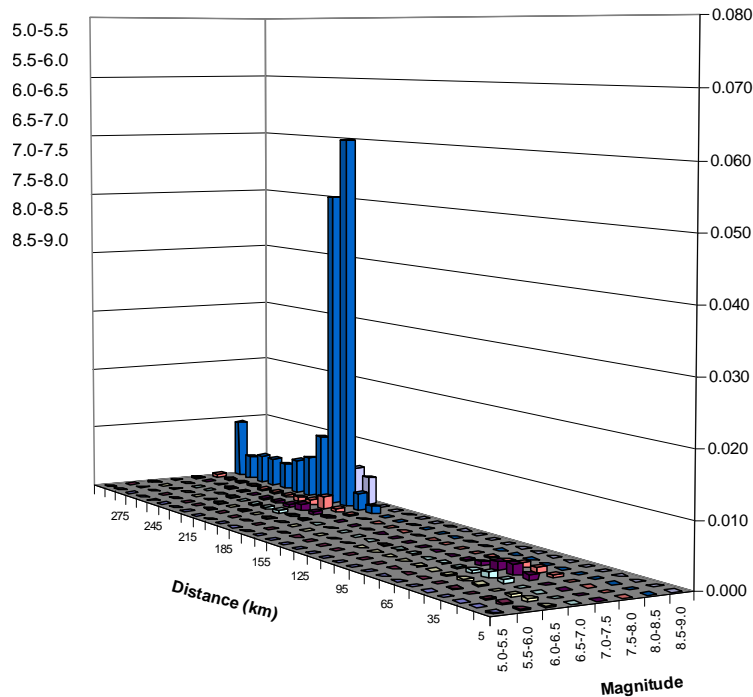
Dalam studi ini deagregasi dilakukan untuk T=0.2 detik dan T=1.0 detik guna menghitung magnituda dan jarak yang paling mewakili dari suatu mekanisme sumber gempa untuk periode ulang 500 tahun. Dua periode tersebut dipilih untuk mewakili nilai spektra percepatan pada periode pendek (*short period*) dan periode panjang (*long period*) karena keduanya direkomendasikan oleh USGS untuk pembuatan kurva respons spektra desain (Algermissen dan Singh, 1988, Dobry dkk., 2000). Hasil deagregasi untuk periode ulang 500 tahun dengan T=0.2 detik dan T=1.0 detik dapat dilihat dalam Gambar 3 dan Gambar 4, dan dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman hasil deagregasi untuk periode ulang gempa 500 tahun

Zona Sumber Gempa	T=0.2 detik		T=1.0 detik	
	M	R (km)	M	R (km)
Benioff	8.2	223	8.2	223
Megathrust	8.3	225	8.3	225
Shallow Crustal	6.7	57	7.2	64
Background	5.9	15	5.9	15



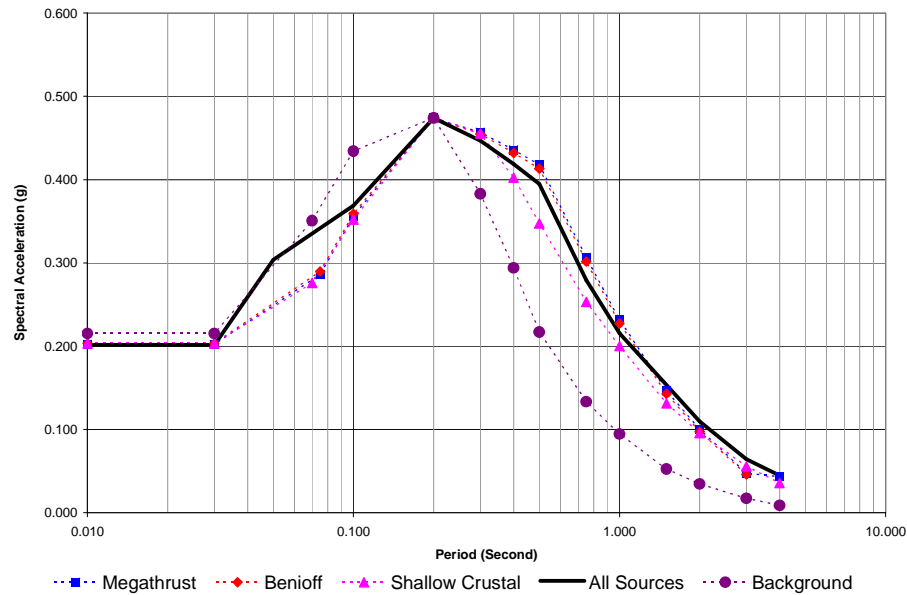
Gambar 3. Hasil deagregasi untuk nilai spektra percepatan untuk T=0.2 detik



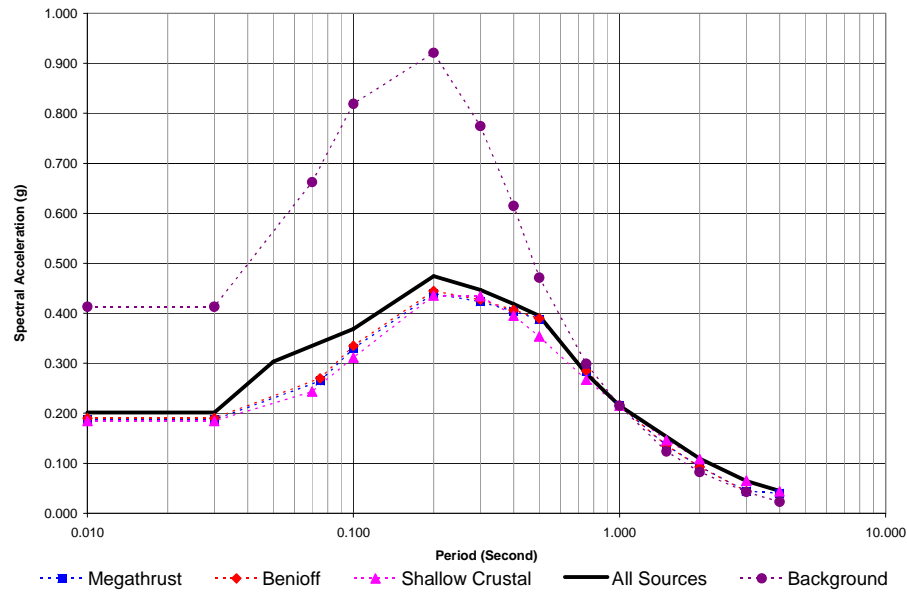
Gambar 4. Hasil deagregasi untuk nilai spektra percepatan untuk T=1.0 detik

Berdasarkan hasil deagregasi tersebut kemudian dihitung kembali respon spektra di batuan dasar untuk berbagai sumber/ mekanisme gempa dengan menggunakan fungsi atenuasi yang sesuai. Dalam studi ini digunakan fungsi atenuasi Youngs dkk. (1997) untuk mendapatkan respons spektra akibat sumber gempa subduksi dan fungsi atenuasi Sadigh dkk. (1997) untuk sumber gempa *shallow crustal* dan *background*. Hasil respons spektra dari berbagai fungsi tersebut kemudian diskalakan dengan nilai respons spektra

gabungan dari hasil analisis *seismic hazard* sebelumnya pada periode $T=0.2$ detik dan $T=1.0$ detik, seperti terlihat dalam Gambar 5 dan Gambar 6. Respons spektra yang sudah diskalakan tersebut dinamakan target spektra.



Gambar 5. Target respons spektra yang diskalakan pada $T=0.2$ detik



Gambar 6. Target respons spektra yang diskalakan pada $T=1.0$ detik

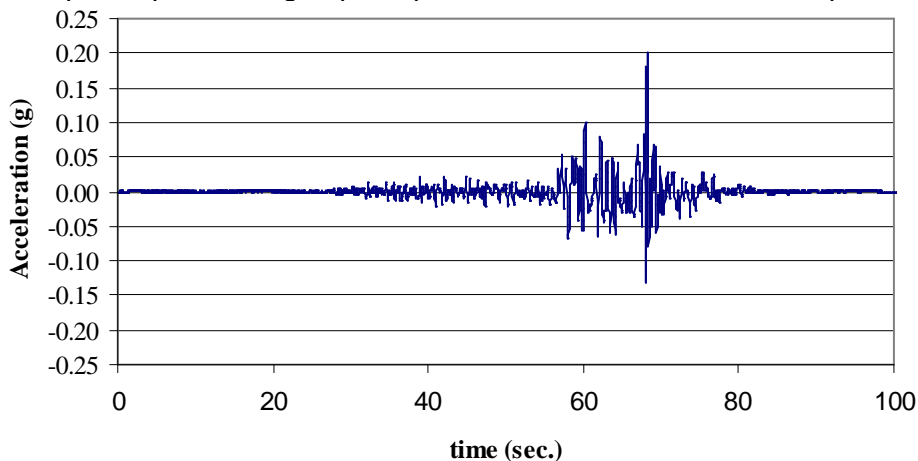
Bab V PEMBUATAN DATA DIGITASI TIME-HISTORIES

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. Time histories yang direkomendasikan dapat dilihat dalam Tabel 2.

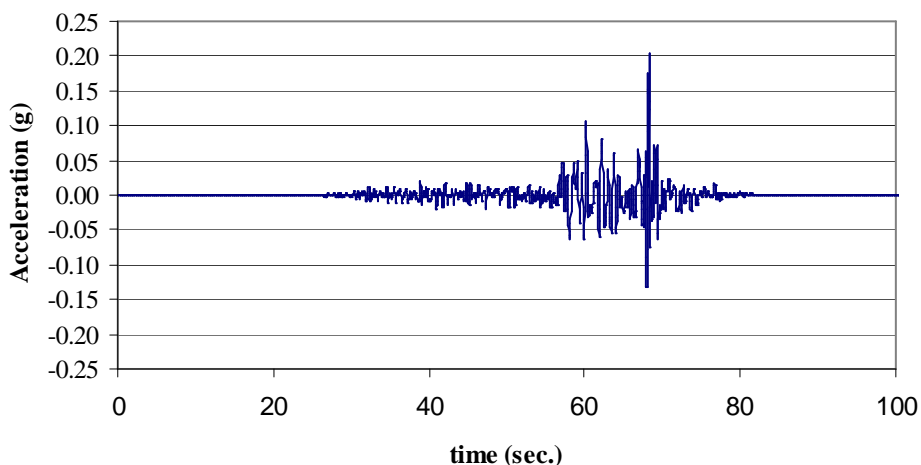
Tabel 2. *Time Histories* Yang Direkomendasikan

Sumber Gempa	Kejadian	Magnituda	Jarak (km)	Sumber Data
Megathrust zone	Kocaeli, 1999	7.5	227	ERD
Benioff zone				
Background zone	Mammoth Lakes, 1980	5.7	15	CDMG
Shallow crustal	Landers, 1992	7.3	69	CDMG

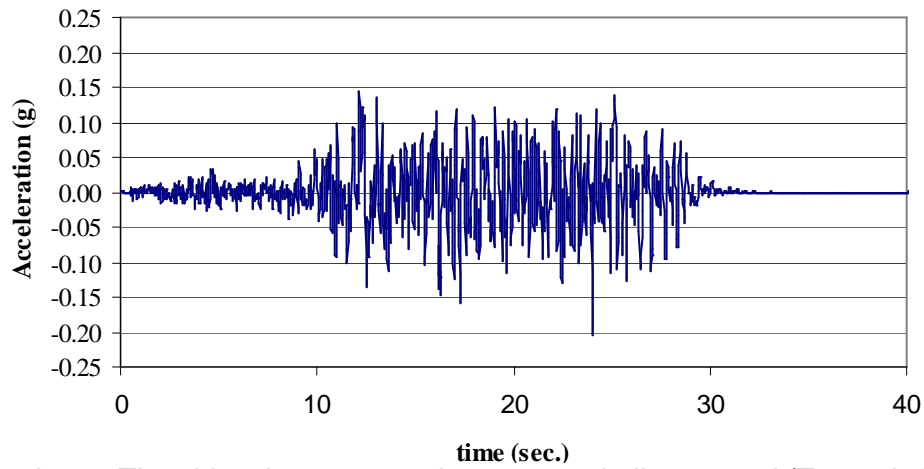
Data gempa yang dipilih tersebut kemudian dimodifikasi sehingga spektra dari gelombang gempa tersebut mendekati target spektra. Metoda ini dinamakan *spectrum matching analysis* (SMA). Dalam studi ini SMA dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) EZ-FRISK™ (Risk Engineering, 2005). Software ini sudah mengadopsi metoda time-dependent spectral matching yang dibuat oleh Norm Abrahamson (Abrahamson, 1998). Metoda ini merupakan hasil modifikasi dari riset sebelumnya yang telah dilakukan oleh Lilhanand dan Tseng (1987, 1988). Hasil SMA terhadap setiap sumber gempa dapat dilihat dalam Gambar 7 sampai Gambar 14.



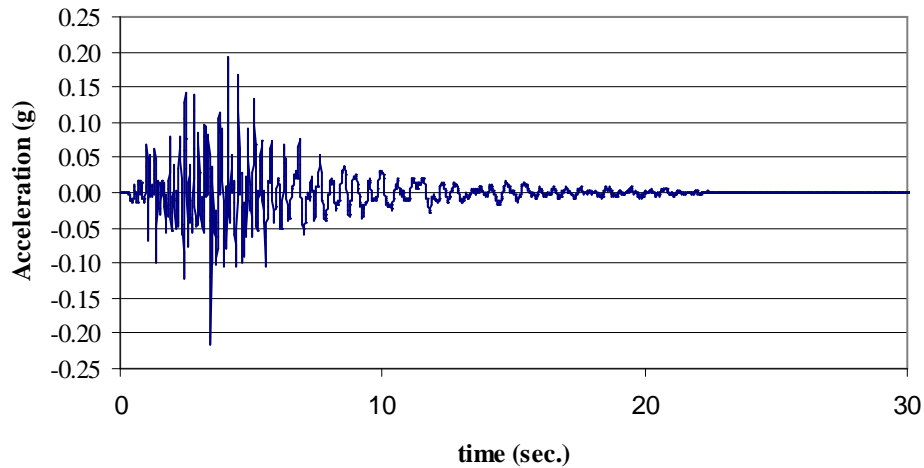
Gambar 7. Time-histories zona sumber gempa megathrust (T=0.2 detik)



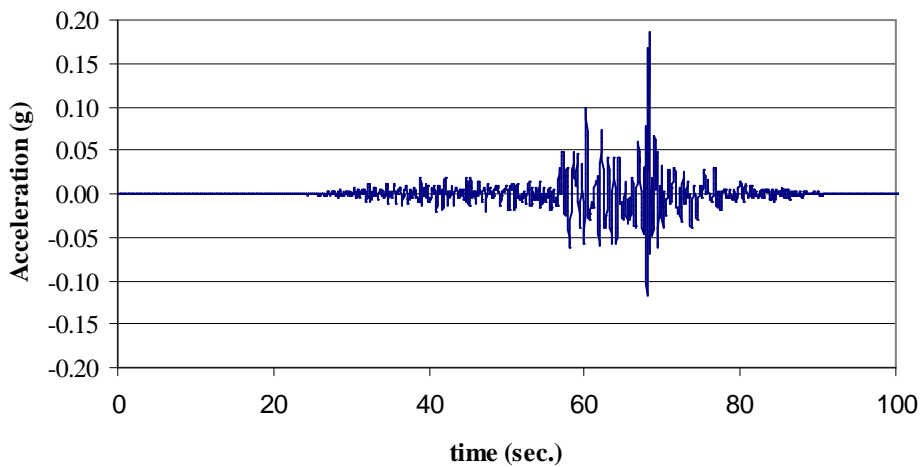
Gambar 8. Time-histories zona sumber gempa benioff (T=0.2 detik)



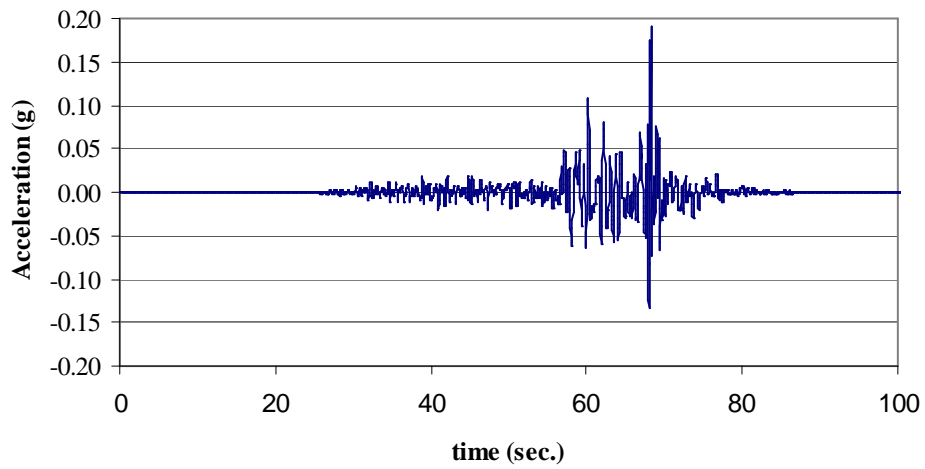
Gambar 9. Time-histories zona sumber gempa shallow crustal (T=0.2 detik)



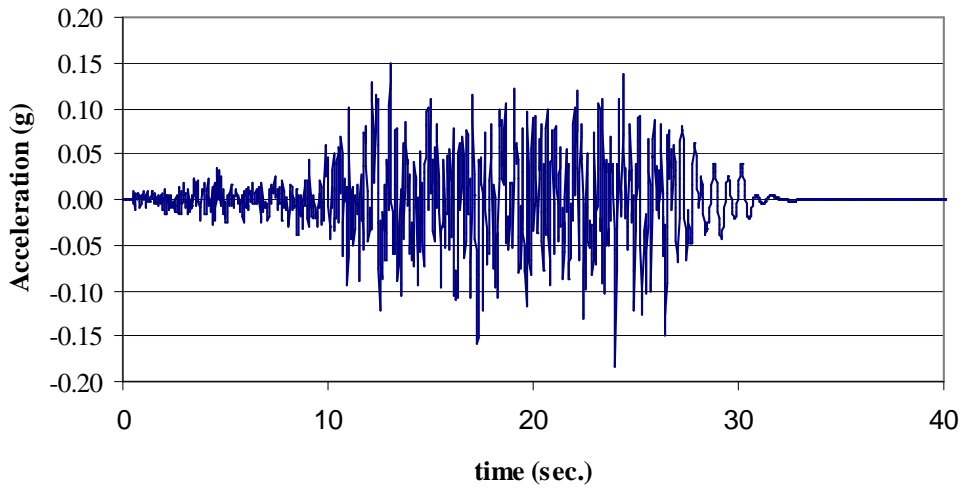
Gambar 10. Time-histories zona sumber gempa background (T=0.2 detik)



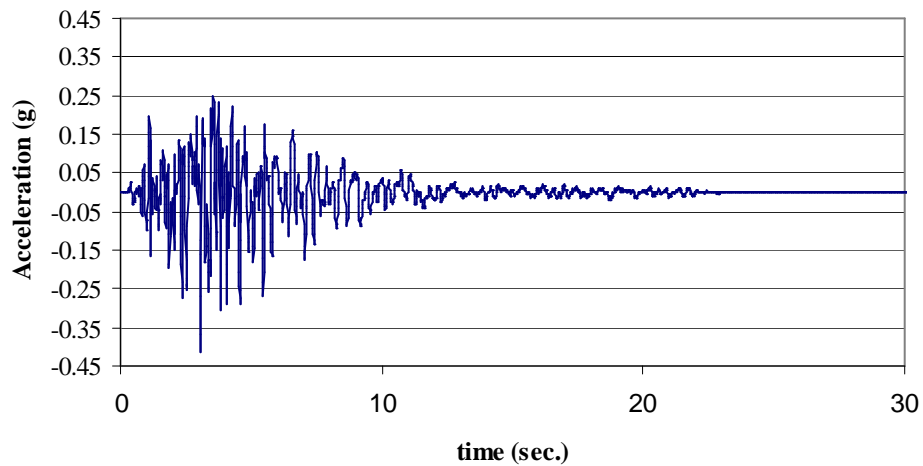
Gambar 11. Time-histories zona sumber gempa megathrust (T=1.0 detik)



Gambar 12. Time-histories zona sumber gempa benioff (T=1.0 detik)



Gambar 13. Time-histories zona sumber gempa shallow crustal (T=1.0 detik)



Gambar 14. Time-histories zona sumber gempa background (T=1.0 detik)

Bab VI KESIMPULAN

Analisis pembuatan data time histories yang representatif digunakan untuk kota Jakarta telah dilakukan dalam studi ini. Secara umum analisis tersebut terbagi menjadi empat (4) tahap, yaitu analisis *seismic hazard*, analisis deagregasi, pemilihan data time histories yang mendekati karakteristik hasil deagregasi, dan analisis *spectral matching*.

Analisis *seismic hazard* yang telah dilakukan oleh Irsyam dkk. (2007 dan 2008) dengan menggunakan model sumber gempa 3-D menunjukkan bahwa PGA di batuan dasar kota Jakarta adalah 0.2g. Nilai ini lebih tinggi dari nilai PGA di dalam SNI 03-1726-2002 yang nilainya 0.15g.

Berdasarkan hasil analisis deagregasi, tiga set data gempa aktual telah dipilih dalam studi ini untuk merepresentasikan gelombang gempa di batuan dasar akibat beberapa mekanisme yang berbeda. Data TH gempa Kocaeli 1999, gempa Mammoth Lakes 1980, dan gempa Landers 1992 dipilih untuk merepresentasikan sumber gempa megathrust dan benioff, sumber gempa background, dan sumber gempa shallow crustal.

Berdasarkan hasil analisis *spectral matching* terhadap response spectra yang telah diskalakan, maka diperoleh 8 *ground motion* untuk kota Jakarta yang dapat digunakan sebagai *input motion* dalam analisis *site specific response spectra*.

Bab VII REFERENSI

1. Abrahamson, N.A. (1998). Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH. PG&E Internal Report, February.
2. Algermissen, S.T. and Singh, J.P. (1988). Proceeding of USGS Workshop on New Generation Probabilistic Ground Motion Maps and Their Application to Building Codes. San Francisco C.A., November 29-30. Applications of Knowledge Produced in The National Earthquake Hazards Reduction Programs, U.S. Geological Survey Open File Report 88-13-b.
3. Dobry R., Borcherdt, R.D., Crouse, C.B., Idriss, I.M., Joyner, W.B., Martin, G.R., Power, M.S., Rinne, E.E., and Seed, R.B. (2000) New Site Coefficients and site Classification System Used in Recent Building Seismic Code Previous. Earthquake Spectra. Vol. 16, No 1: 41-67.
4. International Code Council. (2000). International Building Code 2000. International Code Council. International Conference of Building Officials. Whittier, CA, and others.
5. Lilhanand, K. and Tseng, W.S. (1987). Generation of Synthetic Time Histories Compatible with Multiple-Damping Response Spectra. SmiRT-9. Lausanne, K2/10.
6. Lilhanand, K. and Tseng, W.S. (1988). Development and Application of Realistic Earthquake Time Histories Compatible with Multiple Damping Response Spectra. 9th World Conf. Earth. Engineering, Tokyo, Japan. Vol. II: 819-824.
7. Masyhur I., Hendriyawan, Donny T.D., Engkon K.K., Drajat H., Bigman M.H., Teddy B., Petersen, M.D., (2007a). Usulan Revisi Peta Bencana Kegempaan Wilayah Indonesia Untuk Pulau Jawa. Prosiding Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. Puslitbang Air. Bandung.
8. Masyhur I., Donny T.D., Hendriyawan, Drajat H., Bigman M.H., Engkon K.K., Teddy B., Petersen, MD. (2008). Proposed Seismic Hazard Maps of Sumatra and Java Islands and Microzonation Study of Jakarta City, Indonesia. Journal of Earth System Science. Accepted 2008.
9. McGuire, R.K. (1995). Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 85: 1275-1284.

10. Risk Engineering (2005). EZ-FRISK, Software for Earthquake Ground Motion: User's Manual: Risk Engineering Inc.
11. Sadigh, K., et al. (1997). Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data. *Seismological Research Letter*, Vol. 68, No. 1.
12. Standar Nasional Indonesia (2002), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002), Badan Standardisasi Nasional.
13. Trifunac, M.D. (1989). Threshold Magnitudes Which Cause Ground Motion Exceeding the Values Expected during the Next 50 Years in a Metropolitan Area. *Geofizika*. Vol. 6: 1-12.
14. U.S. Army Corps of Engineers (1999). Response Spectra and Seismic Analysis for Concrete Hydraulic Structures. Engineer Manual 1110-2-6050. Washington, DC: Department of the Army.
15. Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., Humphrey, J.R. (1997). Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquake. *Seismological Research Letter*, Vol. 68, No. 1, 1997.