

ANALISIS HAZARD GEMPA DKI JAKARTA METODE PROBABILISTIK DENGAN PEMODELAN SUMBER GEMPA 3 DIMENSI

Yunalia Muntafi¹, Widodo², Lalu Makrup³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

Email: yunalia@uii.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

Email: widodo355@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

Email: lalumakruf@yahoo.com

ABSTRACT

History records that Jakarta as the capital of Indonesia ever rocked by a devastating earthquake in 1699, 1780, 1883 and 1903, resulting in loss of physical, mental and material. The existence of several active faults around Jakarta potentially be the source of the earthquake that shook Jakarta. Therefore, the analysis of seismic hazard for Jakarta area is needed. The study was conducted by the method of Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) with 3D modeling of seismic source and latest attenuation equations (Next Generation Attenuation) in accordance with the method used in the manufacture of the latest earthquake map (Earthquake Hazard Map of Indonesia 2010). The aims of this research are to (1) conduct hazard analysis seismic probabilistic as a reference value of the intensity of the hazard seismicity, (2) analyze deagragasi as early determinant of modification recording time history seismic acceleration corresponding to Jakarta bedrock and (3) analyze the spectral matching which then carried the ground motion design for Jakarta. The results of seismic hazard analysis shows that maximum acceleration at bedrock (PGA) for the Jakarta area with 500-year return period amounted to 0.236 g still in the range of PGA Jakarta by Indonesian Earthquake Hazard Map of latest ISO 1726-2012 (0.20g-0.25g). This value is close to the value of the Hutapea's research results (2009), amounting to 0.239g. However, it is higher than the proposed PGA of Irsyam et al (2008) which amounted to 0.20g, and lower than the value of PGA on Indonesian earthquake map published by the USGS in which Jakarta was in the range of 0.245g - 0.326g. Based on the deagregation analysis, obtained two sets of real-time earthquake data, namely time history of Kocaeli earthquake in 1999 and Landers earthquake in 1992 to present megathrust and shallow crustal earthquake source, then by spectral matching analysis, obtained two synthetic ground motions for each seismic source mechanisms in the period of 0.2 sec and 1.0 sec for Jakarta.

Keywords: seismic hazard, total probability theorem, NGA attenuation, synthetic ground motion

PENDAHULUAN

Jakarta merupakan kota terbesar di pulau Jawa sekaligus menjadi Ibukota negara Indonesia, sehingga menjadi pusat aktivitas pemerintahan dan pembangunan struktur dan infrastruktur. Provinsi DKI Jakarta hampir belum pernah dihempas oleh sumber gempa. Namun dari berbagai katalog kejadian gempa yang ada, menunjukkan

bahwa daerah-daerah di sekitar Jakarta telah sering diguncang gempa.

Sejarah mencatat wilayah DKI Jakarta pernah diguncang gempa dahsyat, antara lain pada tahun 1699, 1780, 1883, dan 1903. Adanya beberapa sesar aktif di sekitar Jakarta berpotensi menjadi sumber gempa yang menggoyang Ibukota. Intensitas gempa yang kian

meningkat di zona patahan aktif di sepanjang pantai barat Sumatera memunculkan kekhawatiran bahwa potensi rambatan gempa dapat sewaktu-waktu menuju ke Ibukota. Kondisi tersebut menjadikan kota Jakarta sebagai salah satu kota di Indonesia yang cukup rawan terhadap gempa.

Menurut Hoedajanto (2009 dan 2010), kekhawatiran berkaitan dengan keamanan gedung dan bangunan sipil di Jakarta terhadap gempa maksimum tidak selalu disebabkan oleh peningkatan beban gempa desain saja. Apabila kecenderungan praktek konstruksi yang terdatakan sekian jauh di seluruh Indonesiadan menjadi sebab utama banyaknya kehancuran bangunan akibat gempa juga merupakan karakteristik konstruksi di Jakarta, maka masalah yang dihadapi Jakarta sungguh sangat serius dan memerlukan solusi terpadu yang pragmatis, menyeluruh, dan sangat segera.

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan analisis hazard kegempaan di wilayah propinsi DKI Jakarta sebagai tinjauan ulang terhadap peraturan yang mengacu pada metode yang lebih representatif pada pembuatan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, mengingat Jakarta berpotensi terjadi guncangan, sehingga apabila ada skenario gempa tertentu maka akan menimbulkan kerugian yang sangat besar.

Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian sebagai berikut:

1. melakukan analisis hazard kegempaan probabilistik di wilayah provinsi DKI Jakarta sebagai acuan nilai intensitas hazard kegempaan,
2. melakukan analisis deagragasi sebagai awal penentu modifikasi rekaman riwayat waktu (*time histories*) percepatan gempa yang sesuai untuk batuan dasar DKI Jakarta.
3. melakukan analisis *spectral matching* yang kemudian dilakukan pembuatan *ground motion* untuk wilayah provinsi DKI Jakarta.

STUDI ANALISIS HAZARD GEMPA JAKARTA

Beberapa peneliti yang telah melakukan penelitian mengenai analisis hazard gempa wilayah Jakarta antara lain sebagai berikut ini.

1. Irsyam dkk (2007 dan 2008) melakukan penelitian dengan analisis *seismic hazard*. 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.
2. Rudianto (2008), melakukan penelitian mengenai seismo-tektmik dan PSHA untuk wilayah Jakarta dan menghasilkan nilai PGA sebesar 0,23g.
3. Delfebriyadi (2008), melakukan penelitian mengenai studi hazard kegempaan wilayah Banten dan DKI Jakarta. Hasil penelitian menunjukkan besar percepatan maksimum di batuan dasar periode ulang 475 tahun untuk kota Banten adalah 200 gal, dan hasil perhitungan dengan perioda ulang yang sama untuk DKI jakarta bernilai 180 gal.
4. Peta Gempa Indonesia yang dipublikasikan oleh USGS (2009) memperlihatkan Jakarta berada pada zona *Peak Ground Acceleration* (PGA) 0,245g – 0,326g.
5. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Pada peta ini, jakarta berada pada intensitas hazard gempa antara 0,20-0,25g. Namun, lebih mendekati angka 0,20g.

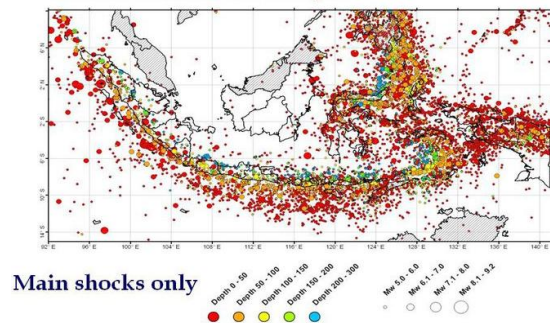
Hasil dari penelitian-penelitian tersebut telah banyak memberikan kontribusi khususnya di bidang ilmu pengetahuan kegempaan, karena penelitian-penelitian semacam itu masih sangat jarang dan perlu adanya penelitian berikutnya mengingat kondisi geologi dan pergerakan lempeng yang tidak pernah berhenti setiap tahunnya.

LANDASAN TEORI

Kejadian Gempa

Peristiwa gempa merupakan peristiwa dinamik yang berkaitan erat dengan gerakan plat tektonik. Gempa terjadi karena gerakan tiba-tiba dari lapisan kerak bumi yang saling bertumbukan, bergeser, atau saling

menyusup (*subduction*) sehingga mengalami rekahan atau patahan. Kejadian-kejadian gempa di Indonesia telah didokumentasikan pada katalog gempa nasional dan internasional. Peta seismisitas Indonesia dengan penggambaran gempa-gempa utama disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Seismisitas Indonesia dengan penggambaran gempa-gempa utama (sumber: Irsyam et al., 2010)

Gambar 1. menunjukkan bahwa kebanyakan gempa terjadi di daerah dimana pelat-pelat tektonik bertemu. Gerakan lempeng tektonik dari tahun ke tahun hingga suatu saat terjadi tumbukan yang mengakibatkan terjadinya getaran gempa semakin menambah pustaka katalog gempa.

Momen Magnitude Gempa

Besaran gempa biasa dinyatakan dalam istilah magnitude. Korelasi skala magnitude ke dalam skala momen magnitude untuk wilayah Indonesia dapat dilakukan menggunakan persamaan-persamaan yang diperkenalkan oleh Hendriyawan (2000):

$$M_w = 0.99M_B + 0.253 \quad (1)$$

$$M_w = 0.08M_S^2 + 0.04M_S + 3.01 \quad (2)$$

dengan:

M_w = Momen magnitude

M_B = Momen gelombang badan

M_S = Momen gelombang permukaan

Beberapa kriteria empiris juga telah diajukan oleh beberapa peneliti untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian gempa

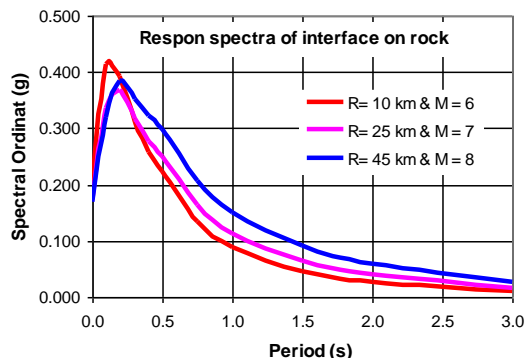
dependen, seperti Arabasz & Robinson (1976), Gardner & Knopoff (1974), dan Uhrhammer (1986).

Mekanisme Sumber Gempa

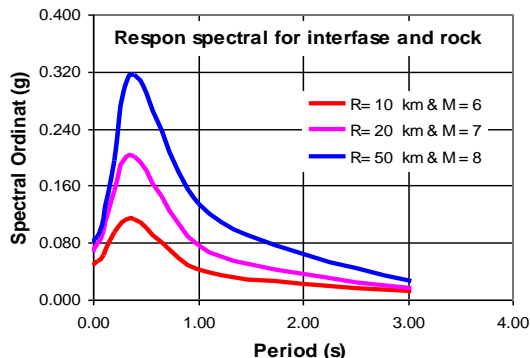
Pemodelan zona sumber gempa dapat dikelompokkan berdasarkan mekanisme kejadian gempunya. Ada dua jenis mekanisme sumber gempa yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu mekanisme sumber gempa subduksi (*subduction*) dan mekanisme sumber gempa *shallow crustal*.

Atenuasi Sumber Gempa

Beberapa tahun terakhir telah dikembangkan metoda analisis baru yang bisa mengakomodasi model atenuasi sumber gempa tiga dimensi (3-D). Fungsi atenuasi dari tahun ke tahun semakin berkembang, hingga akhirnya tersedia fungsi atenuasi terbaru *Next Generation Attenuation* (NGA). Model NGA diadopsi untuk atenuasi getaran gempa patahan dangkal. Spektra atenuasi yang digunakan untuk sumber gempa subduksi dan *shallow crustal* disajikan pada Gambar 2 dan 3.

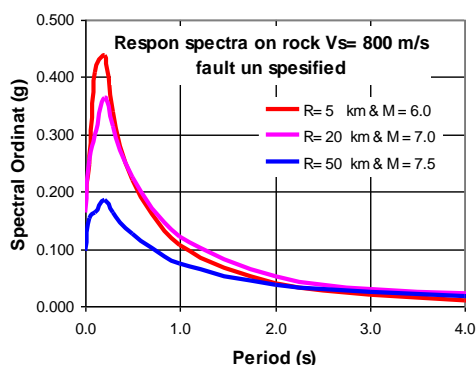


Spektra atenuasi Youngs et al. (1997)

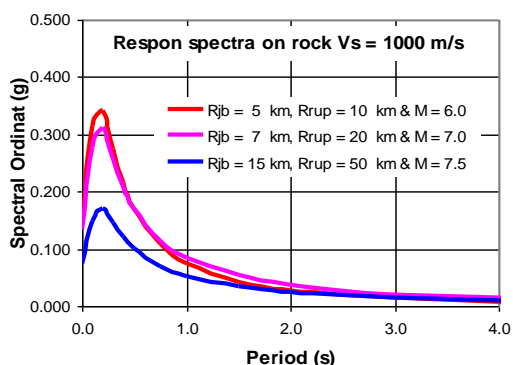


Spektra atenuasi Atkinson-Boore (2003)

Gambar 2. Spektra atenuasi untuk sumber gempa subduksi



Spektra atenuasi Atkinson-Boore (2006) NGA



Spektra atenuasi Chiou-Youngs (2006) NGA

Gambar 3. Spektra atenuasi untuk sumber gempa shallow crustal

Probabilistic Seismic Hazard Analysis

Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dikembangkan oleh McGuire (1976) berdasarkan konsep probailitas yang kemudian dikembangkan kembali oleh Cornell, dengan menggunakan dua variabel, yaitu magnitudo gempa M dan jarak hiposenter R yang diasumsikan sebagai variabel random bebas. Dalam pemilihan data ground motion/akselorogram diperlukan deagregasi untuk analisis respon dinamika tanah. Persamaan yang digunakan dalam proses deagregasi adalah sebagai berikut:

$$M_{controlling} = \frac{\sum M_i (\text{Kontribusikejadian/ tahun})}{\sum (\text{Kontribusikejadian/ tahun})} \quad (3)$$

$$R_{controlling} = \frac{\sum R_i (\text{Kontribusikejadian/ tahun})}{\sum (\text{Kontribusikejadian/ tahun})} \quad (4)$$

dengan:

M_i = besar magnitudo ke-i

R_i = besar jarak ke-i ke sumber gempa Gasparin dan Vanmarcke (1976) dalam Adnan, A., dkk (2006), mengusulkan metode pembuatan rekaman getaran sintetik berbasis teori vibrasi acak (*random vibration theorem*). Prosedur didasarkan pada kenyataan bahwa semua fungsi periodik dapat dijabarkan sebagai serangkaian gelombang sinusoidal ;

$$x(t) = A_0 + \sum_i A_i \cdot \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (5)$$

Amplitudo A_i berhubungan dengan (satu sisi) fungsi spektra kepadatan $G(\omega)$ menurut persamaan (6) berikut ini.

$$A_i = \sqrt{2 \int_0^{\omega_i} G(\omega_i) \cdot d\omega} \quad (6)$$

dengan:

A_o = amplitudo awal

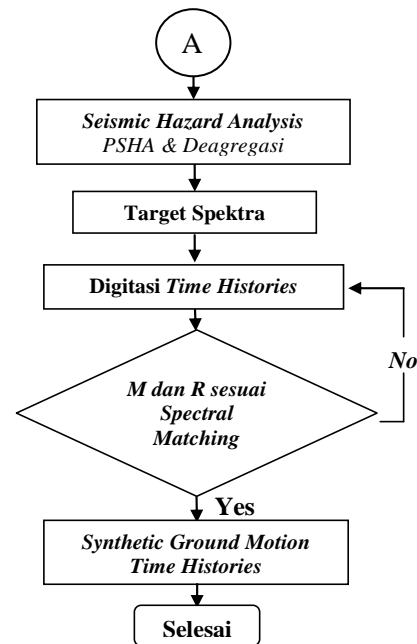
A_i = amplitudo ke-i

ϕ_i = sudut phase kontribusi sinusoidal ke-i
 $G(\omega)$ = fungsi spektra kepadatan

METODE PENELITIAN

Pada tahap analisis, langkah pertama adalah melakukan pengumpulan data seluruh kejadian gempa ($M \geq 5$ skala M_w) di wilayah DKI Jakarta dan sekitarnya selama rentang periode pengamatan tertentu, kemudian diseleksi dan diolah dengan rentang pengambilan data radius 500km. Analisis data gempa berdasarkan parameter *seismic hazard* dilakukan dengan bantuan *software Seismic Hazard Analysis Program (SHAP)*.

Tahap berikutnya adalah melakukan analisis *seismic hazard* dengan metode probabilitas total (*Probabilistic Seismic Hazard Anaysis, PSHA*) dengan bantuan *software SRModel*. Selanjutnya untuk melakukan analisis *spectral matching* sampai pada penentuan *ground motion* sintesis menggunakan *software SYNTH*. Hasil akhir penelitian adalah nilai percepatan maksimum di batuan dasar (PGA) beserta *synthetic ground motion* wilayah Jakarta. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 4.



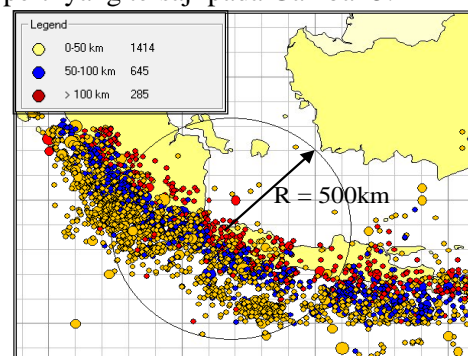
Gambar 4. Diagram alir penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

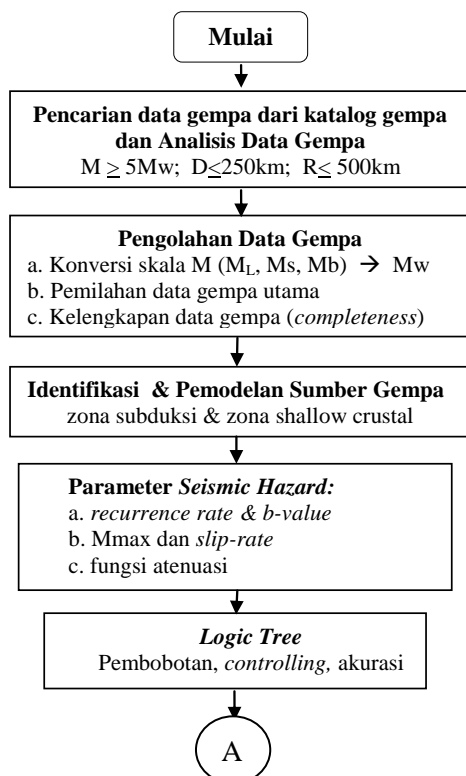
Pengumpulan Data Gempa

Data kejadian gempa pada penelitian ini diperoleh dari berbagai katalog gempa nasional maupun internasional, antara lain katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), *Advanced National Seismic System (ANSS)*, *National Earthquake Information Service (USGS)*, *SHAP*, dan *International Seismological Centre (ISC)*.

Dari proses pencarian tersebut diperoleh 4200 data gempa yang kemudian diplot ke dalam peta, hingga didapat daerah yang terkena pengaruh dalam radius 500km seperti yang tersaji pada Gambar 5.



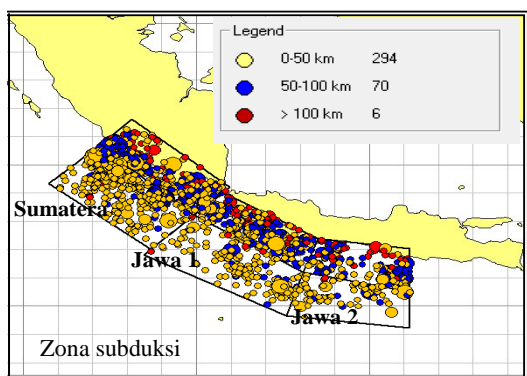
Gambar 5. Sebaran data gempa wilayah Jakarta dan sekitarnya



Analisis dependency

Analisis *dependency* dilakukan untuk memilah data gempa utama (*main shock*). Dalam studi ini, pemilihan data gempa utama dilakukan dengan menggunakan kriteria terhadap waktu (*time window*) dan jarak (*distance window*) dari Firmansjah (2000).

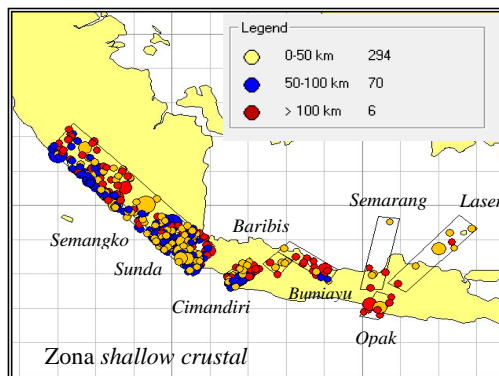
Hasil dari proses *dependency analysis* menunjukkan jumlah gempa utama yang diperoleh sebanyak 2565 kejadian gempa yang kemudian diplotkan pada peta untuk mendapatkan area-area sumber gempa yang dibuat berdasarkan sebaran sesar-sesar dan



data gempa historis yang pernah terjadi di sebaran sesar-sesar tersebut.

Pemodelan Sumber Gempa

Sumber-sumber gempa yang diperhitungkan dalam penelitian ini adalah *megathrust* dan *benioff* Sumatera, *megathrust* dan *benioff* Jawa, sesar Semangko, sesar Cimandiri, sesar Baribis, sesar Bumiayu, sesar Semarang, sesar Lasem, dan sesar Opak (Yogyakarta). Distribusi episenter gempa utama dan segmen-segmen model sumber gempa untuk zona subduksi dan zona transformasi (*shallow crustal*) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemodelan untuk zona Subduksi dan zona Transformasi/ShallowCrustal dengan momen magnitudo $5 > M_w > 8.5$ pada segmen Jawa

Parameter Seismic Hazard

Besar nilai *recurrence rate* gabungan beberapa area yang dihasilkan dari analisis frekuensi kejadian gempa dengan bantuan program SHAP disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Kedua tabel menunjukkan bahwa nilai *rate* pada masing-masing mekanisme sumber gempa bervariasi.

Tabel 1. *Recurrence rate* untuk sumber gempa subduksi

No	Subduksi	Mekanisme	Mean	α	β	Mag. max	Rate
1	Sumatera	<i>Megathrust</i>	5.34	11.44	2.08	8.5	2.82
		<i>Benioff</i>	5.37	11.23	2.03	8.5	2.95
2	Jawa 1	<i>Megathrust</i>	5.33	6.5	1.43	8.5	0.57
		<i>Benioff</i>	5.33	14.6	2.64	8.49	4.0
3	Jawa 2	<i>Megathrust</i>	5.34	4.29	1.07	8.5	0.34
		<i>Benioff</i>	5.31	13.51	2.61	8.48	1.59

Tabel 2. *Recurrence rate* untuk sumber gempa transformasi/*shallow crustal*

No	Sumber	Mekanisme	Mean	α	β	Mag. max	Rate
1	Sesar Semangko	<i>Strike Slip</i>	5.4	10.45	1.86	9.0	2.74
2	Sesar Sunda	<i>Strike Slip</i>	5.4	11.75	2.13	9.19	3.06
2	Sesar Cimandiri (Sukabumi)	<i>Reverse Fault</i>	5.26	14.9	3.07	6.8	0.65
3	Sesar Baribis	<i>Reverse Fault</i>	5.2	44.07	8.96	6.21	0.49
4	Sesar Bumiayu	<i>Reverse Fault</i>	5.29	15.19	3.2	6.8	0.44
5	Sesar Semarang	<i>Strike Slip</i>	5.18	7.42	1.82	6.8	0.18
6	Sesar Lasem	<i>Strike Slip</i>	5.41	1.86	0.84	6.8	0.1
7	Sesar Yogyakarta	<i>Strike Slip</i>	5.49	4.08	1.16	6.8	0.18

Logic Tree

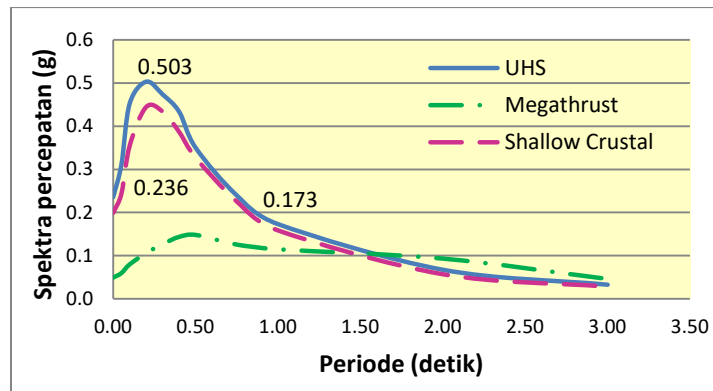
Pada studi ini, *logic tree* dibedakan untuk zona subduksi dan zona *shallow crustal*. *Recurrence model* dibedakan menjadi 2 macam, yaitu *characteristic model* dan *exponential model* dengan bobot masing-

masing 0,66 dan 0,34. Rentang magnitude maksimum yang digunakan yaitu $M_{max} + 0,25$ dengan bobot 0,2, M_{max} bobot 0,6 dan $M_{max} - 0,25$ dengan bobot 0,2.

Respon Spektra Desain

Respon Spektra desain merupakan respon

spektra di batuan dasar dari seluruh mekanisme sumber gempa untuk semua periode ulang yang dihasilkan dari hasil perhitungan *probabilistik seismic hazard*. Hasil perhitungan risiko gempa berupa respon spektra di batuan dasar dari semua mekanisme gempa untuk periode ulang 500 tahun seperti disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva respons spektra desain di batuan dasar periode ulang 500 tahun untuk DKI Jakarta

Nilai percepatan gempa di batuan dasar wilayah DKI Jakarta untuk *uniform hazard* didapat sebesar 0,236g. Mekanisme sumber gempa yang paling berpengaruh memberikan target spektra terbesar adalah *shallow crustal*.

Deagregasi

Hasil analisis deagregasi dengan bantuan *software SRModel* untuk periode ulang 500

tahun dengan $T=0.2$ detik dan $T=1.0$ detik disajikan pada Tabel 3 berikut.

Spectral matching analysis (SMA)

Dari hasil deagregasi dapat dicari data *time history* gempa yang sesuai dengan karakteristik suatu sumber gempa di sekitar lokasi studi. Data diperoleh dari hasil pencarian data *time history* pada katalog *peer berkeley*. Hasil pencarian didapat rekaman gempa seperti pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Deagregasi untuk periode ulang gempa 500 tahun

No	Zona	T = 0.2 detik		T = 1.0 detik	
		M	R (km)	M	R (km)
1	<i>Megathrust</i>	7.8	327.26	8.1	345.19
2	<i>Shallow Crustal</i>	7.1	170.27	7.3	177.01

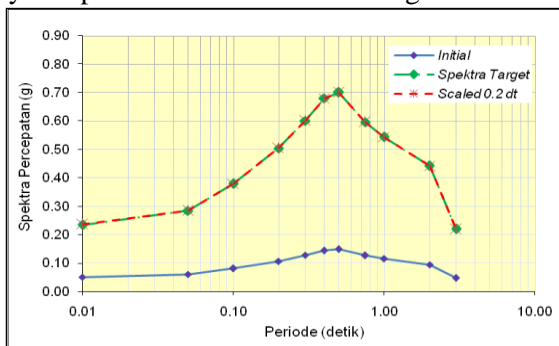
Tabel 4. Time histories yang digunakan dalam spectral matching

No.	Sumber Gempa	Rekaman TH	Kejadian	M (Mw)	R (km)	Stasiun	Sumber Data
1	<i>Megathrust</i>	NGA1152	Kocaeli, 1999	7.51	315.9	Bornova	ERD
2	<i>Shallow Crustal</i>	NGA856	Landers, 1992	7.28	146.9	Fountain Valley - Euclid	CDMG

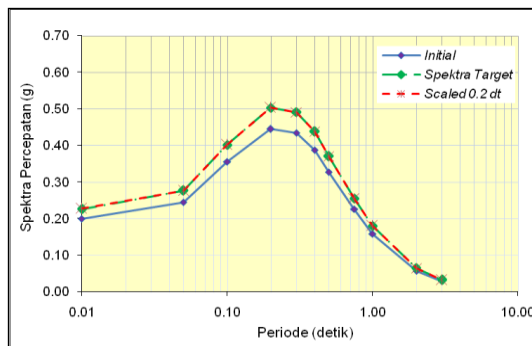
Digitasi Time-Histories

Penyekalaan *spectral acceleration* terhadap sumber gempa *all source* dilakukan berdasarkan hasil analisis spektra target, yaitu pada saat $T=0.2$ detik dengan $PGA=$

$0.503g$ dan pada $T=1.0$ detik dengan $PGA=0.173g$. *Spectral Matching Analysis* dilakukan dengan program SYNTHE, hasilnya disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

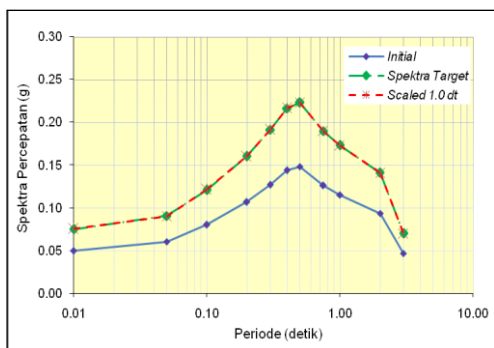


a). *Spectral matching Megathrust*

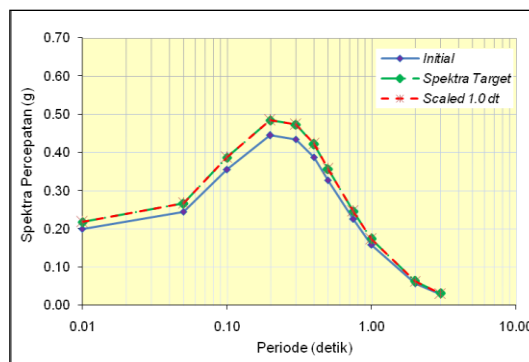


b). *Spectral matching Shallow Crustal*

Gambar 8. Spectral matching mekanisme gempa dengan $T=0.2$ detik



a). *Spectral matching Megathrust*



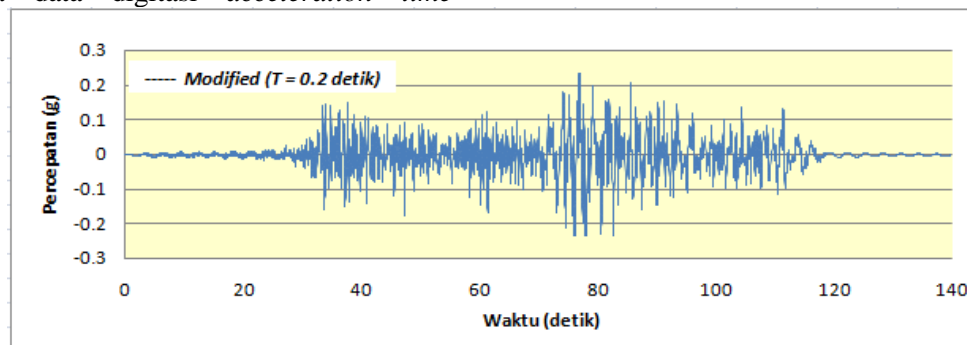
b). *Spectral matching Shallow Crustal*

Gambar 9. Spectral matching mekanisme gempa dengan $T=1.0$ detik

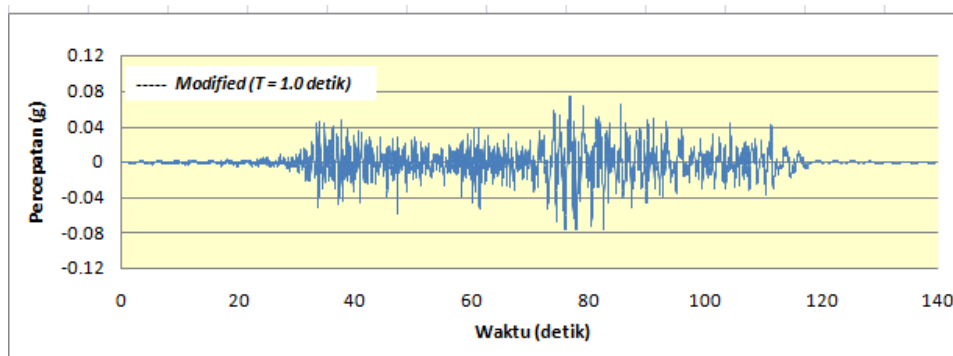
Desain Ground Motion

Ground motion design di lokasi studi digambarkan dalam *scaled time histories* berupa data digitasi *acceleration time*

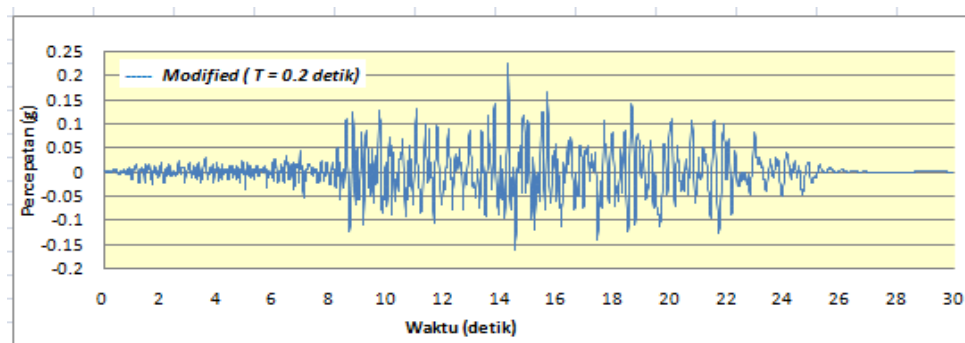
histories. Hasil *Ground motion design* untuk lokasi studi dan periode spektral dapat dilihat pada Gambar 10 sampai dengan Gambar 13.



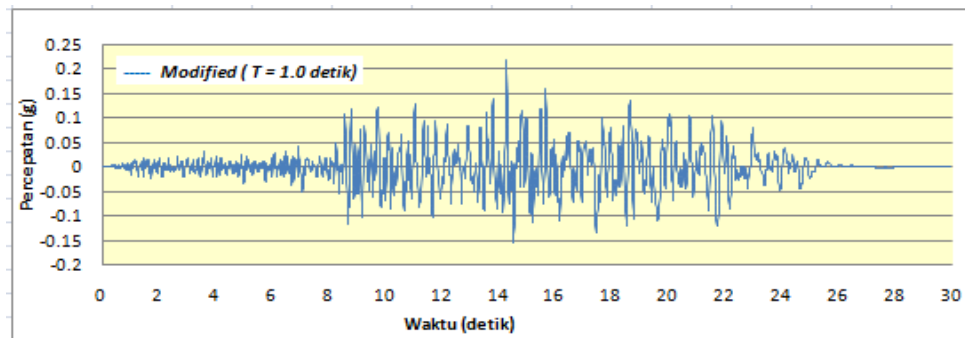
Gambar 10. *Ground motion* desain untuk mekanisme gempa *Megathrust* dengan $T=0.2$ detik



Gambar 11. *Ground motion* desain untuk mekanisme gempa *Megathrust* dengan $T=1.0$ detik



Gambar 12. *Ground motion* desain gempa *Shallow Crustal* dengan $T=0.2$ detik



Gambar 13. *Ground motion* desain gempa *Shallow Crustal* dengan $T=1.0$ detik

Gambar 10 sampai dengan Gambar 13 merupakan data *ground motion* desain dari hasil *spectral matching* untuk tiap mekanisme gempa (subduksi dan *shallow crustal*) pada $T=0.2$ detik dan $T=1.0$ detik. Dari gambar tersebut terlihat bahwa hasil nilai PGA untuk mekanisme gempa *shallow crustal* lebih besar daripada hasil nilai PGA *bedrock* pada mekanisme gempa subduksi *megathrust*.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat dirangkum dari hasil analisis dan kajian yang telah dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Hasil analisis hazard gempa wilayah DKI Jakarta pada periode ulang 500 tahun memberikan nilai PGA sebesar 0.236g untuk *uniform hazard*. Nilai tersebut berada pada rentang nilai PGA dalam Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 (0.20g-0.25g), mendekati nilai hasil penelitian Hutapea 2009 (0.239g).

- Namun, lebih tinggi dari hasil PGA usulan Irsyam dkk. 2008 (0.20g), dan lebih rendah dari nilai PGA peta gempa Indonesia yang dipublikasikan oleh USGS dimana Jakarta berada pada rentang 0.245g – 0.326g. Perbedaan tersebut lebih disebabkan oleh data-data ter-*update* yang diperoleh, pemilihan parameter seismik, serta pemodelan sumber gempa masing-masing peneliti.
2. Hasil deagregasi diperoleh rekaman percepatan gempa yang memiliki kemiripan seismotektonik dengan wilayah provinsi DKI Jakarta sebagai berikut ini.
 - a. Pada zona sumber gempa *megathrust* digunakan rekaman *time history* NGA1152, yaitu kejadian gempa Kocaeli tahun 1999.
 - b. Pada zona sumber gempa *shallow crustal* digunakan rekaman *time history* NGA856, yaitu kejadian gempa Landers tahun 1992.
 3. Hasil desain *ground motion* diperoleh dua *ground motion* sintesis untuk masing-masing mekanisme sumber gempa pada periode 0,2 detik dan 1,0 detik.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Atkinson, G.M., and Boore, D., (2003), *Empirical Ground-Motion Relations for Subduction-Zone Earthquake and Their Application to Cascadia and Other Regions*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.93, No.4, pp 1703-1729
- Adnan, A., Hendriawan, Marto, A., and Irsyam, M., (2006), *Development of Synthetic Time Histories at Bedrock for Kuala Lumpur*, Proceedings of The 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC 2006), 5-6 September 2006, Kuala Lumpur, Malaysia
- Chiou, B., and Youngs, R., (2008), A NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra: Earthquake Spectra, v.24, no.1.
- Firmansjah, J., and Irsyam, M., (2000), *Development of Attenuation Model and Engineering Practice Level Acceptance*, LAPI ITB Report for ARCO Bali North Inc., Terang Sirasun Development
- Gutenberg, B. and Richter, C. F., (1954), *Seismicity of The Earth*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Hoedajanto, D., (2010), Gempa dan Jakarta, Seminar dan Pameran HAKI 2010 “Perkembangan dan Kemajuan Konstruksi Indonesia”
- Hutapea, B.M., (2009), Analisis *Hazard* Gempa dan Usulan *Ground Motion* pada Batuan Dasar untuk Kota Jakarta. Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol.16 No.3 Desember 2009
- Irsyam, M., Hendriawan, Dangkoa, D.T., Kertapati, E., Hutapea, B.M., dan Sukamta, D., (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”
- Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyanto, S., Triyoso, W., Hilman, D., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M., (2010), Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, Bandung
- Kementrian Pekerjaan Umum, (2010), Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010, sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa. Jakarta
- McGuire, R.K., (2004), *Seismic Hazard and Risk Analysis*, Earthquake Engineering Research Institute, Boulder, Colorado
- Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., and Humphrey, J.R., (1997), *Strong Ground Motion Attenuation Relationships for*

Subduction Zone Earthquake.
Seismological Research Letter, Vol.68,
No.1, pp. 58-7