

ANALISIS RESPON SPEKTRA KOTA MANADO

Lanny Dian Kusuma Manaroinsong

Alumni Program Pascasarjana S2 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

H. Manalip, Sjachrul Balamba

Dosen Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi

ABSTRAK

Kota Manado merupakan salah satu daerah di Indonesia dengan kejadian gempa yang tinggi, sehingga aspek kegempaan perlu diperhitungkan secara seksama dalam pembangunan sarana dan prasarannya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, analisis probabilitas resiko gempa atau lebih dikenal dengan PSHA (Probability Seismic Hazard Analysis) menggunakan teori probabilitas total dilakukan dengan bantuan piranti lunak EZFRISK 7.52 agar diperoleh respon spektra permukaan untuk perioda panjang (1,0 detik) pada kondisi tanah keras, sedang dan lunak dengan probabilitas terlampaui 2 % dalam masa layan bangunan 50 tahun atau yang mewakili level hazard (potensi bahaya) gempa 2500 tahun. Sumber-sumber gempa yang berkontribusi terhadap Kota Manado dibatasi dalam radius 500 Km dari Kota Manado dengan Magnitudo ≥ 5 pada kedalaman ≤ 200 Km, dan kejadian gempa dari tahun 1905-2012.

Kata kunci: analisis probabilitas resiko gempa, PSHA, respon spektra.

Abstract

Manado city is one of the regions in Indonesia with a high incidence of earthquakes, so the seismic aspects need to be considered carefully in the construction of facilities and infrastructure. Based on these considerations, analysis of seismic hazard probability or better known as PSHA (Probability Seismic Hazard Analysis) using total probability theory done with the help of software EZ-FRISK 7.52 in order to obtain the surface response spectra for a long period (1.0 sec) in hard, moderate and soft soil conditions with probability exceeded 2% in the building service life of 50 years or which represent level of hazard (potential hazard) earthquake of 2500 years. Seismic sources that contribute to the city of Manado is limited in radius of 500 km from the city of Manado with magnitude ≥ 5 at depths ≤ 200 km, and seismic events of the years 1905-2012.

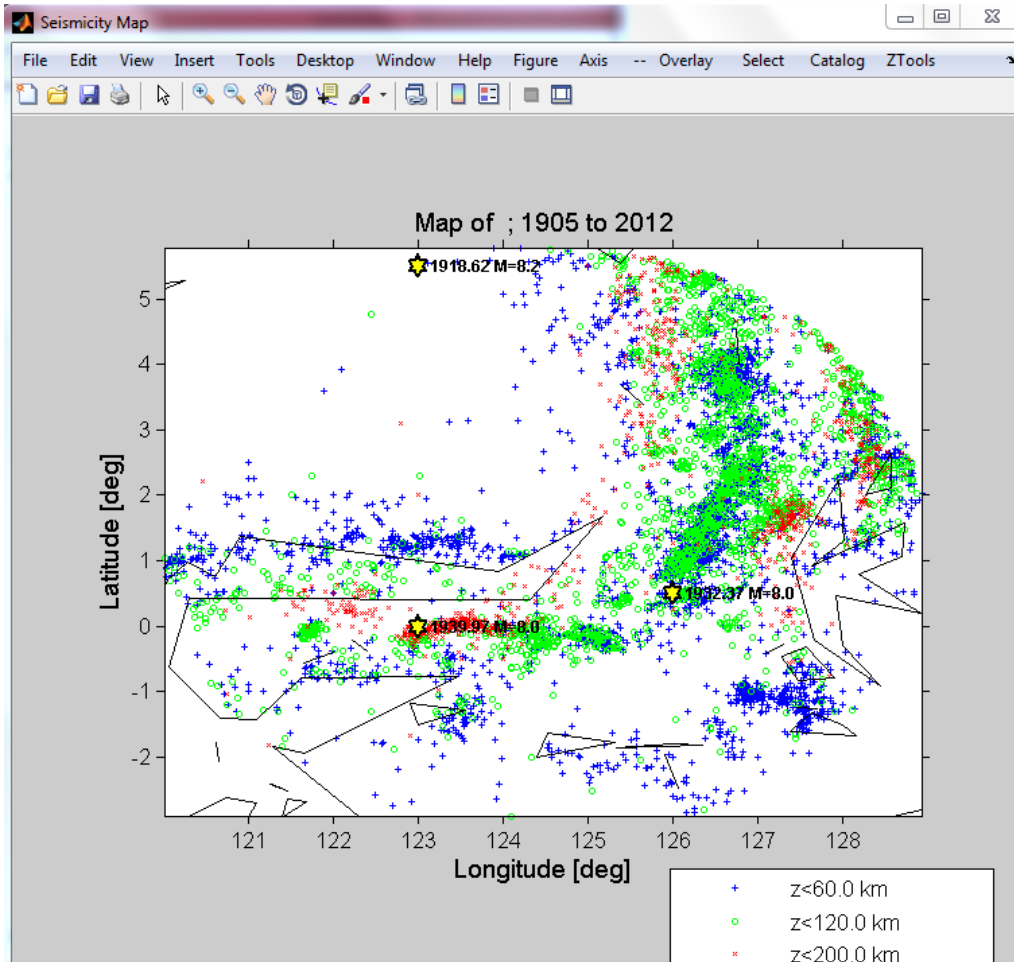
Keywords: analysis of seismic hazard probability, PSHA, response spectra.

PENDAHULUAN

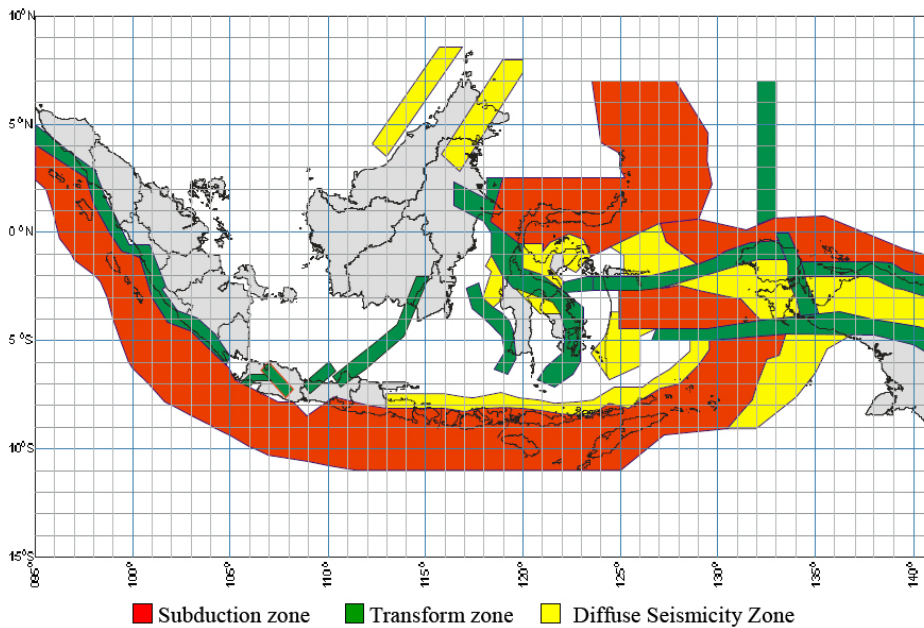
Kota Manado sebagai ibukota Propinsi Sulawesi Utara terletak pada $124^{\circ}50'$ BT dan $1^{\circ}29'$ LU. Data-data kejadian gempa yang diperoleh dari katalog gempa National Earthquake Information Centre-United States Geological Survey (NEIC-USGS), International Seismological Centre (ISC) dan Engdahl van der Hilst and Bulland 1998 (EHB), Advanced National Seismic System (ANSS) untuk periode 1905-2012 terdapat 6039 kejadian gempa yang meliputi 500 km dari pusat lingkaran $124^{\circ}50'$ BT dan $1^{\circ}29'$

LU pada kedalaman 0-200 km dengan magnituda lebih besar atau sama dengan 5.0. Data gempa tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Tingginya aktivitas gempa tersebut disebabkan letak Kota Manado yang berada pada zona subduksi (Gambar 2). Perhitungan maupun prediksi waktu, tempat, dan magnitude gempa hingga saat ini belum bisa dilakukan secara baik sehingga peran geoteknik kegempaan menjadi sangat penting untuk memberikan prediksi pergerakan tanah dalam perencanaan infrastruktur tahan gempa.



Gambar 1. Gempa yang terjadi sepanjang tahun 1905-2012 di Kota Manado dengan radius 500 Km dan kedalaman gempa 0-200 Km



Gambar 2. Zona sumber gempa di wilayah Indonesia (Sumber: Irsyam, 2004)

METODE PENELITIAN

Analisis respon spektra dilakukan menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Pengumpulan data gempa dari berbagai sumber yang akan dipakai dalam analisis respon spektra Kota Manado yakni data gempa dari Januari 1905 sampai dengan Desember 2012 yang dibatasi dengan magnituda (M_w) ≥ 5.0 , kedalaman ≤ 200 km dan radius ≤ 500 km dari kota Manado.
2. Pengolahan data gempa yakni konversi magnitudo, kelengkapan data gempa dengan metode Stepp, pemisahan gempa utama dan gempa ikutan yang dalam proses pemisahannya dilakukan dengan bantuan *software* Zmap (Wiemar, 2001) dan Matlab sebagai interfacenya.
3. Pemodelan sumber gempa. Berdasarkan kondisi tektonik di sekitar lokasi studi, zona sumber gempa yang mempengaruhi kota Manado dibagi menjadi tiga model sumber gempa yakni fault (patahan) hingga kedalaman 15 km, subduksi (zona Megathrust/*Interface*) hingga kedalaman 50 km, dan sumber gempa dengan kedalaman di atas 50 km dimodelkan sebagai sumber gempa intraslab/benioff. Parameter-parameter kegempaan seperti *slip rate*, *dip*, geometri dan magnituda maksimum yang digunakan dalam analisis ini didasarkan pada hasil-hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya (Tabel 1). Sumber gempa fault terjadi pada patahan-patahan yang telah terdefinisi dengan baik yakni Palu-Koro, Gorontalo, Sulu thrust, West Molucca sea dan East Molucca sea yang berkontribusi pada Kota Manado. Demikian pula untuk zona subduksi yang mempengaruhi sekitar lokasi studi diambil megathrust Sulawesi yang telah diteliti sebelumnya (Tabel 2).
4. Perhitungan nilai a dan b (a and b value) untuk sumber-sumber gempa dilakukan dengan cara mengambil data-data gempa historis yang ada, kemudian dilakukan analisis statistik dengan model Maximum Likelihood (Aki, 1965). Magnituda maksimum diambil dari hasil perhitungan yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya.
5. Fungsi Atenuasi
Ketidak-tersediaan data menurunkan suatu fungsi atenuasi di wilayah Indonesia, maka digunakan fungsi atenuasi yang diturunkan dari wilayah lain. Pemilihan fungsi atenuasi ini didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana fungsi atenuasi itu dibuat. Fungsi atenuasi yang digunakan umumnya sudah menggunakan *Next Generation Attenuation* (NGA), dimana atenuasi ini dalam pembuatannya menggunakan data gempa global (*worldwide data*). Dalam analisis studi ini, rumus atenuasi yang digunakan untuk masing-masing pemodelan sumber gempa sebagai berikut:
 - a. Pemodelan sumber gempa *fault*
 - (1) Boore-Atkinson (2008) NGA
 - (2) Campbell-Bozorgnia(2008) NGA
 - (3) Chiou dan Youngs (2008) NGA
 - b. Pemodelan sumber gempa subduksi *interface* (*Megathrust*)
 - (1) Youngs *et al* (1997) Subduction USGS 2008
 - (2). Atkinson dan Boore (2003) Interface USGS 2002
 - (3) Zhao *et al* (2006) USGS 2008
 - c. Pemodelan sumber gempa Benioff (*intraslab*):
 - (1) Atkinson-Boore (2003) Cascadia Intraslab USGS 2002
 - (2) Youngs *et al.*, (1997) Intraslab Rock USGS 2002
 - (3) Atkinson-Boore (2003) Worldwide Intraslab USGS 2002
6. Logic Tree
Pembuatan *logic tree* memungkinkan untuk penggunaan beberapa alternatif metode atau model dengan menentukan faktor bobot yang menggambarkan persentase kemungkinan keakuratan relatif suatu model terhadap model lainnya. Penjumlahan probabilitas dari

semua cabang yang dihubungkan dengan satu nodal tertentu nilainya harus sama dengan 1 (satu). Model *logic tree* yang dipakai disesuaikan dengan model sumber gempa yang digunakan seperti tampak pada gambar 4,5, dan 6.

7. Melakukan analisis probabilitas resiko gempa (PSHA) untuk mendapatkan percepatan maksimum dan repon spektra di batuan dasar untuk suatu periode ulang gempa 500 dan 2500 tahun. Dalam perhitungan ini menggunakan Teori Probabilitas Total. Teori ini mengasumsikan magnituda gempa M dan jarak R sebagai variabel acak independen yang menerus. Bentuk umum teori probabilitas total ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$H(a) = \sum v_i \iint P[A > a | m, r] f_{Mi}(m) f_{Ri}(r) Mi(r,m) drdm$$

dimana v_i adalah *annual rate* (dengan magnituda lebih tinggi dari nilai batas M_{oi}) pada sumber gempa I , $f_{Mi}(m)$ dan $f_{Ri}(r)$ berturut-turut adalah fungsi kepadatan probabilitas magnituda dan jarak. $P[A > a | m, r]$ adalah probabilitas sebuah gempa dengan magnituda m pada jarak r yang memberikan percepatan maksimum A di lokasi lebih tinggi dari a . Piranti lunak

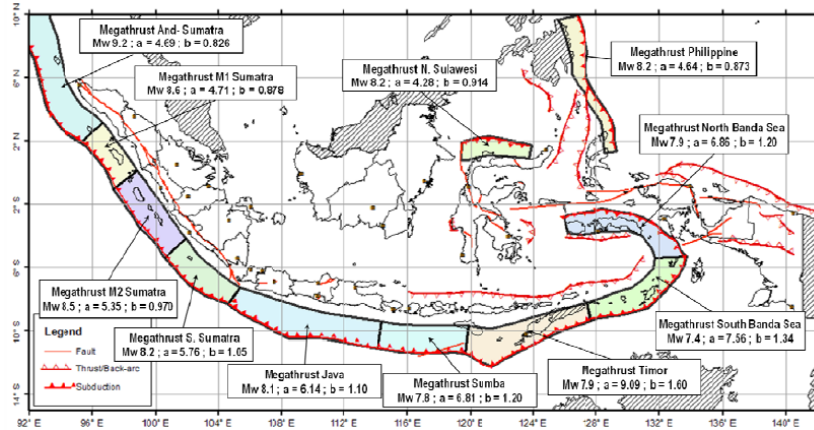
untuk analisis PSHA yang digunakan dalam studi ini adalah EZ-Frisk 7.52 (Risk Engineering, 2009).

8. Melakukan deagregasi untuk mendapatkan magnituda dan jarak yang dapat mewakili ketiga model sumber gempa untuk periode panjang $T=1,0$ detik.
9. Mencari data riwayat waktu percepatan dari gempa asli yang memiliki mekanisme, magnituda, dan jarak yang paling mendekati hasil deagregasi untuk pembuatan *ground motion* sintetik.
10. Melakukan *spectral matching*, yaitu memodifikasi data riwayat waktu dari tahap 9 agar spektranya mendekati spektra hasil analisis resiko gempa yang diperoleh pada tahap 7. Hasil akhir adalah riwayat waktu yang didapatkan kembali dari transformasi spektrum yang telah diskalakan atau disebut dengan riwayat waktu sintetik.
11. Melakukan analisis respon spektra Kota Manado atau *Site Response Study*, yaitu memilih data tanah yang ada sesuai kondisi tanah secara umum (keras, sedang, dan lunak) dari karakteristik ASCE 7-2010 serta memasukkan hasil *spectral matching* pada tahap 10 untuk mendapatkan respon spektra Kota Manado.

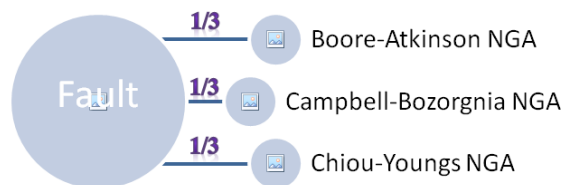
Tabel 1. Data dan parameter sumber gempa fault untuk Sulawesi dan sekitarnya

Fault		Slip-Rate		Sense Mechanism	Dip	Top	Bottom	L (km)	M _{max}
ID	Name	mm/yr	Weight						
50	Palu-Koro	30	0.25	Strike-slip	50	3	18	459	7.94
		35	0.5						
		44	0.25						
51	Poso	2	1	Strike-slip	90	3	18	55	6.93
52	Matano	37	0.5	Strike-slip	90	3	18	541	7.90
		44	0.5						
53	Lawanopo	25	1	Strike-slip	70	3	15	303	7.59
54	Walanae	2	1	Strike-slip	90	3	18	227	7.53
55	Gorontalo	11	1	Strike-slip	80	3	15	93	7.06
56	Batui thrust	2	1	Reverse-slip	40	3	18	48	7.06
57	Tolo thrust	9	0.5	Reverse-slip	25	3	20	220	7.94
		19	0.5						
58	Makassar thrust	4	0.5	Reverse-slip	25	3	20	72	7.46
		13	0.5						
59	Sulu thrust	10	1	Reverse-slip	45	3	18	72	7.19
60	West Molucca sea	13	1	Normal-slip	30	3	30	567	8.47
61	East Molucca sea	29	1	Normal-slip	40	3	30	730	8.47

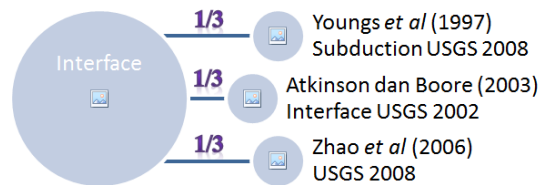
(sumber: Laporan Tim Gempa Indonesia 2010)



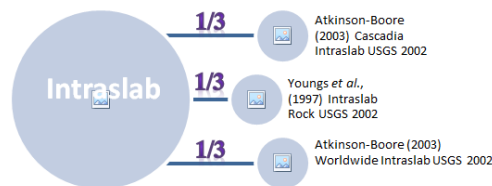
Gambar 3. Model segmentasi dan parameter sumber gempa subduksi Megathrust wilayah Indonesia (sumber: Laporan Tim Gempa Indonesia 2010)



Gambar 4. Model *logic Tree* untuk sumber gempa Fault



Gambar 5. Model *logic Tree* untuk sumber gempa Interface



Gambar 6. Model *logic Tree* untuk sumber gempa Intraslab

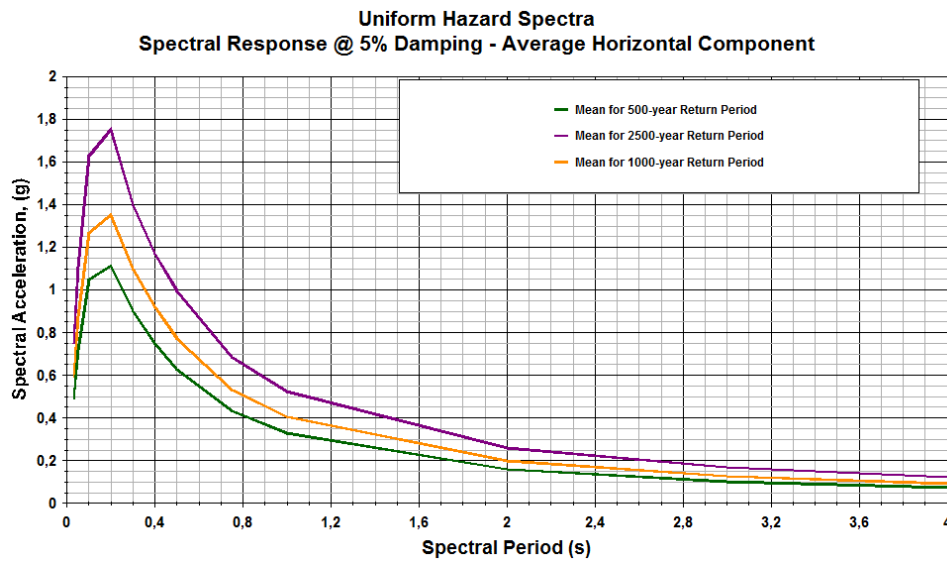
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis probabilitas resiko gempa (PSHA) Kota Manado berdasarkan nilai a-b parameter, magnituda maksimum dari masing-masing sumber gempa dan *logic tree*, diperoleh nilai PGA dan grafik UHS

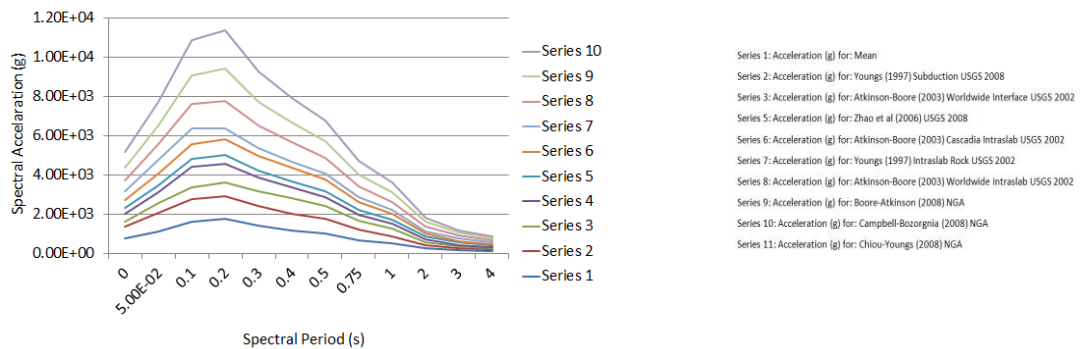
untuk periode ulang 500, 1000 dan 2500 tahun, grafik untuk masing-masing fungsi atenuasi dan deagregasi untuk $T=1,0$, serta grafik deterministik spektra. Keseluruhan hasil tersebut dapat dilihat pada tabel maupun gambar berikut ini.

Tabel 2. Nilai PGA Kota Manado untuk Berbagai Periode Ulang

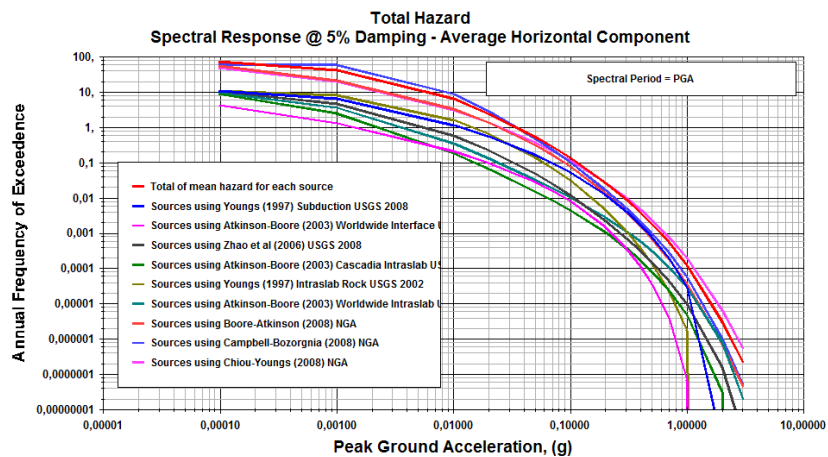
500 Tahun	1000 Tahun	2500 Tahun
0,4893 g	0,5929 g	0,7531 g



Gambar 7. UHS untuk periode ulang 500, 1000 dan 2500 tahun



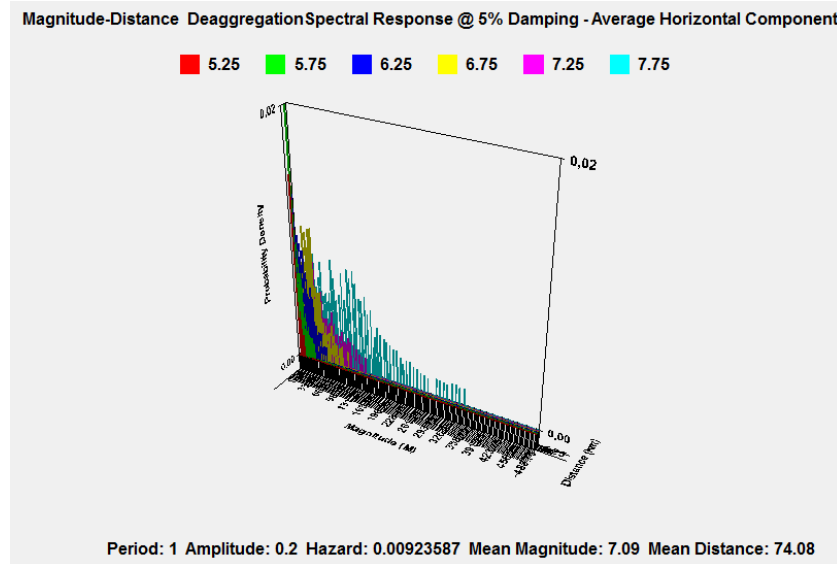
Gambar 8. UHS 2500 tahun untuk fungsi atenuasi



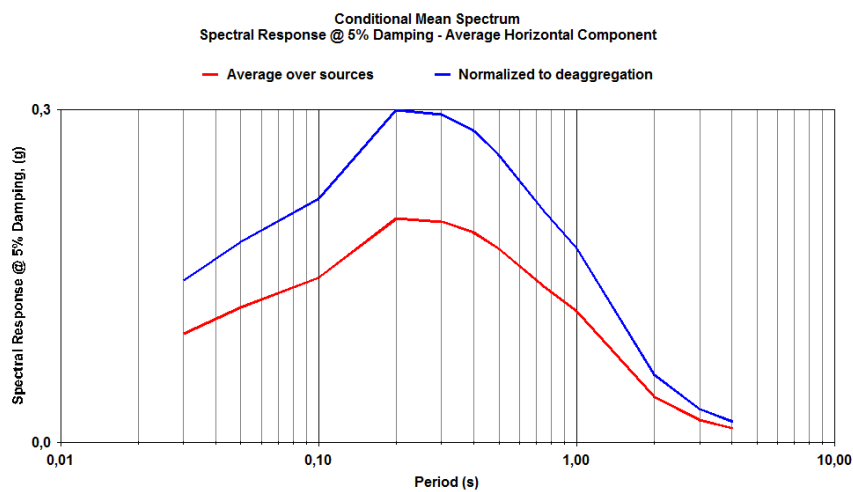
Gambar 9. Total Hazard Kota Manado

Tabel 3. Deagregasi yang mempengaruhi Kota Manado

Waktu (detik)	Hazard	Magnitudo	Jarak (Km)
1,0	0,0092	7,09	74,08



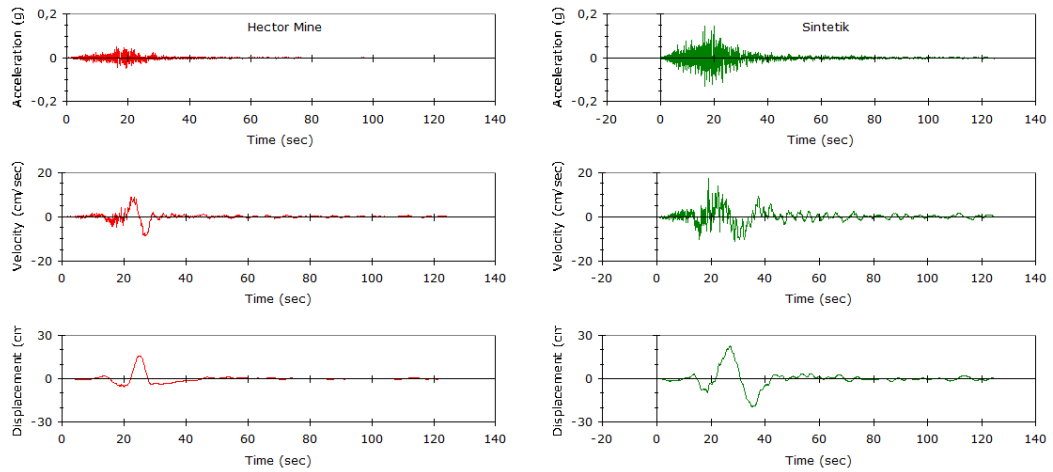
Gambar 10. Deagregasi yang mempengaruhi Kota Manado di T=1,0



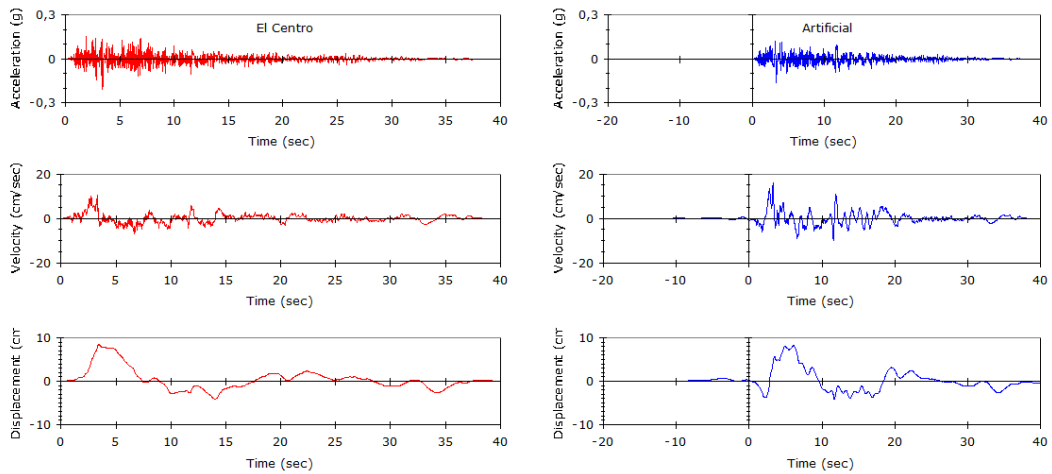
Gambar 11. Respon spektra hasil deagregasi pada T=1,0

Riwayat waktu berdasarkan deagregasi yang diperoleh melalui pencarian *time histories* pada database Pacific Earthquake Engineering Research Center merekomendasikan penggunaan riwayat waktu gempa Hector Mine 1999-10-16 pada stasiun USGS 3075 Forest Falls yang mendekati kondisi kota Manado sesuai hasil deagregasi. Sebagai pembandingan digunakan pula riwayat

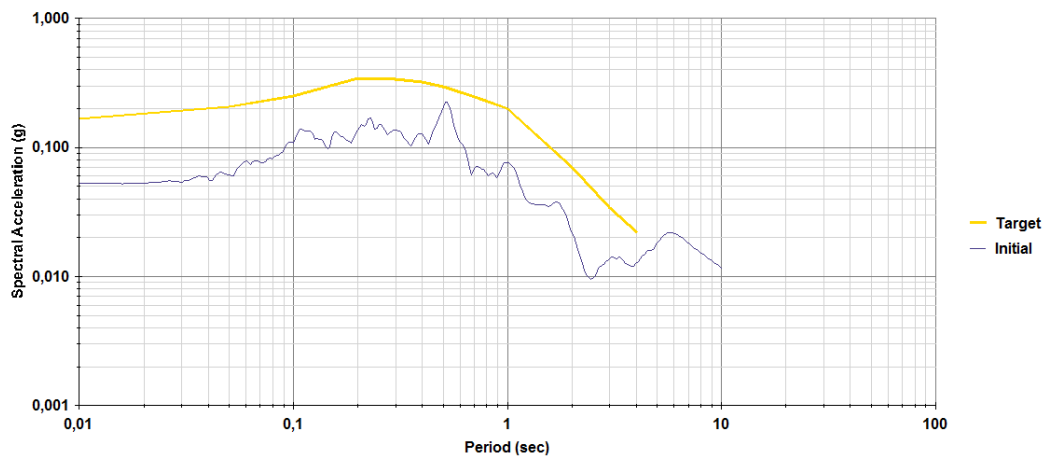
waktu gempa Imperial Valley 1940-5-19 pada stasiun El Centro USGS 117. Hasil analisis menunjukkan *time history El Centro* lebih mendekati target spektra kota Manado sehingga dijadikan input pada analisis respon spektra kota Manado. Hasil analisis berupa digitasi riwayat waktu sintetik dan target spektra nampak pada Gambar 12, 13, 14 dan 15.



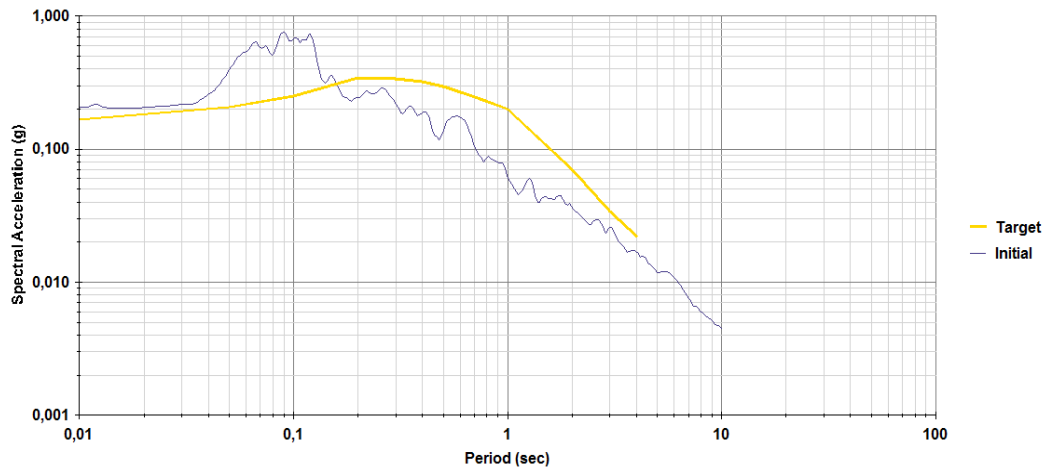
Gambar 12. Riwayat waktu Hector Mine dan sintetiknya.



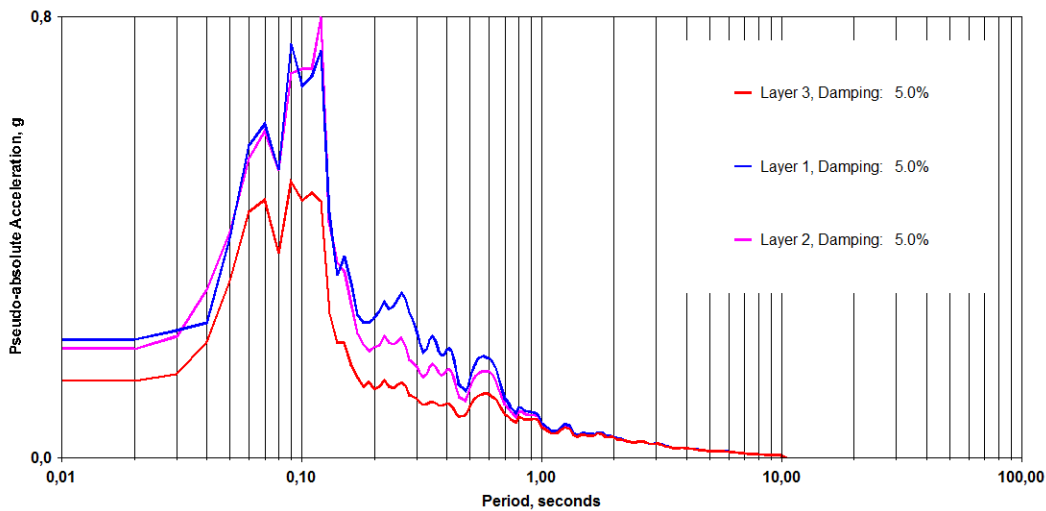
Gambar 13. Riwayat waktu Imperial Valley dan sintetiknya.



Gambar 14. Target spektra dengan time histories Hector Mine



Gambar 15. Target spektra dengan time histories Imperial Valley



Gambar 16. Respon Spektra Kota Manado

Analisis Respon Spektra Kota Manado

Hasil analisis respon spektra Kota Manado didasarkan pada target spektra untuk periode ulang 2500 tahun di $T=1,0$ detik sebagaimana yang disyaratkan oleh ASCE 7 2010 dengan metode *spectral matching* dan input *time histories* Imperial Valley 19 Mei 1040 stasiun El Centro nampak pada Gambar 16.

- Untuk tanah keras (SC) = 0,13464 g,
- Untuk tanah sedang (SD) = 0,19064 g
- Untuk tanah lunak (SE) = 0,2054 g

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Civil Engineers (ASCE) 7 Edition 2010, Chapters 20-22.

Atkinson, G.M., Boore, D.M. 2003. *Empirical Ground-Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Regions*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 4.

KESIMPULAN

Hasil analisis memberikan nilai respon spektra pada permukaan tanah sebagai berikut :

- Boore, D.M., and Atkinson G. M. 2006. *Boore-Atkinson provisional NGA empirical ground-motion model for the average horizontal component of PGA, PGV and SA at spektral periods of 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 3, 4, and 5 seconds*.
http://peer.berkeley.edu/products/Boore-Atkinson-NGA_11-13_06.html.
- Campbell, K.W., Bozorgnia, Y. 2006. *Campbell-Bozorgnia NGA Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and SA at Selected Spektral Periods Ranging from 0.01–10.Seconds Version 1.1*.
- Chiou, B S.-J.; Youngs, R.R. 2006. *Chiou and Youngs PEER-NGA Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of Peak Acceleration and Pseudo-Spektral Acceleration for Spektral Periods of 0.01 to 10 Seconds*. Interim Report for USGS Review.
- Irsyam, Masyhur. 2004. *Pengantar Dinamika Tanah dan Rekayasa Gempa*. Catatan Kuliah SI-7122, Program Pasca Sarjana Teknik Sipil, Bidang Pengutamaan Rekayasa Geoteknik , ITB, Bandung, Indonesia.
- Irsyam, Masyhur (2004), “*Pengantar Dinamika Struktur dan Rekayasa Gempa*”, Catatan Kuliah SI-5211, Program Pasca Sarjana Teknik Sipil, Bidang Pengutamaan Rekayasa Geoteknik , ITB, Bandung, Indonesia.
- Ishihara Kenji. 1996. *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*. Oxford University Press.
- Julian J. Bommer. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción – Chile. *Seismic Hazard Analysis For Engineering Design And Earthquake Loss Estimation*.
- National Academy Press. 1988. *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. Washington DC.
- NEHRP, Consultants Joint Venture A partnership of the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering. *Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-History Analyses*.
- Risk Engineering, 2011. *Software for Eartquake groundmotion estimation, user manual, background and theories, attenuation function*. USGS.
- Robin K. McGuire. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 85, No. 5, October 1995. *Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop*.
- Scordilis, E.M. Journal of Seismology.2006. 10: 225–236 DOI: 10.1007/s10950-006-9012-4. *Empirical global relations converting MS and mb to moment magnitude*.
- SNI-1726-2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum*.
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia*.
- Uniform Building Code*. 1997.
- Youngs, R.R., Chiou, S.-J., Silva, W.J., Humphrey, J.R. 1997. *Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes*. Seismological Research Letters, vol. 68, no. 1.