

## ***Site Response Analysis Gedung Asrama LPMP Sumbar dari Input Motion Conditional Mean Spectrum (CMS) Menggunakan Software NERA***

**Merley Misriani**

Civil Engineering Department, Politeknik Negeri Padang, Kampus Unand Limau Manis, Padang,  
25163, Indonesia

E-mail : merlymisriani@yahoo.com

### ***ABSTRACT***

*In the design of earthquake resistant building structures, site response analysis is performed for the proposed dormitory building of LPMP Sumbar. In this research, earthquake wave propagation analysis from bedrock to surface layer (Site Response Analysis/ SRA) was conducted. SRA is based on probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) previously conducted and refers to the uniform hazard spectra for 10% probability of exceedence in 50 years (475 years return period) or 2% probability of exceedence in 50 years (2475 years return period). The prediction of the structure response is determined by selecting the ground motion that matches several spectral targets and the ground motion is then used as input in dynamic analysis. The required data are soil stratification and shear wave velocity parameters obtained from empirical correlation to drilling result data and N-SPT test. Ground motion synthetic bedrock used for earthquake wave propagation is obtained from previous research that adopted the Conditional Mean Spectrum (CMS) statistical approach so that the ground motion produced on the surface matches the prediction of actual structural response problem. SRA is based on the theory of single-dimensional wave propagation in time domain using Non-linear Earthquake Response Analysis/NERA program. The results of this analysis are shown in the form of historical time acceleration graph, peak base acceleration (PBA), amplification factor and response spectra on the surface for the return period of 475 years and 2475 years. These data are used as inputs for the determination of earthquake load on buildings in dynamic structure analysis.*

**Keywords:** *Site Response Analysis, Peak Base Acceleration, Amplification Factor, Respons Spectra, NERA*

## 1. PENDAHULUAN

Gedung Asrama LPMP Sumbar terletak di Komplek Perguruan Tinggi Universitas Negeri Padang Air Tawar Padang, dengan luas lahan  $\pm 1.500 \text{ m}^2$  dan dibangun 5 lantai serta satu lantai dack yang dapat menampung pengunjung  $\pm 500$  orang per harinya. Lokasi ini terletak dekat dengan pesisir pantai air tawar Padang. Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa untuk gedung asrama 5 lantai ini perlu sekali dilakukan analisis struktur dinamis. Tujuan umum dari analisa struktur dinamis adalah untuk memprediksi respons dari struktur terhadap pengaruh *ground motion* yang memiliki *Spectral Acceleration* ( $S_a$ ) pada periode tertentu berdasarkan tingkat kemungkinan terlampaui (PE) 10% masa layan bangunan 50 tahun setara dengan 475 tahun periode ulang gempa dan tingkat kemungkinan terlampaui (PE) 2% masa layan bangunan 50 tahun setara dengan 2475 tahun periode ulang gempa.

Prediksi respons struktur ditentukan dengan memilih *ground motion* yang cocok dengan beberapa target spektra dan nantinya *ground motion* tersebut digunakan sebagai *input* dalam analisis dinamis.



Gambar 1. Gedung Asrama 5 lantai LPMP Sumbar

Studi pengembangan *ground motion synthetic* berdasarkan metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) model sumber gempa 3D dengan mengadopsi pendekatan *Conditional Mean Spectrum* (CMS) kota Padang Sumatera Barat (Merly, 2011). Studi ini dikembangkan dalam mendapatkan *ground motion* di batuan dasar yang cocok dengan target spektra. Dalam analisa struktur dinamis, *input motion* yang digunakan adalah *ground motion* dipermukaan tanah. Berhubung wilayah kota

Padang khususnya daerah Air tawar belum memiliki *ground motion* dipermukaan, maka dari itu penelitian ini akan menganalisis perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke lapisan permukaan tanah. Studi ini disebut dengan *Site Response Analysis* (SRA) dengan menggunakan *input motion* di batuan dasar yang telah dikembangkan berdasarkan metode *Probabilitas Seismic Hazard Analysis* (PSHA) sumber gempa 3 dimensi dengan mengadopsi pendekatan statistik *Conditional Means Spectrum* (CMS).

Tujuan dilakukan penelitian ini antara lain untuk mengetahui respons deposit tanah permukaan akibat *motion* di batuan dasar, mendapatkan percepatan maksimum gempa dipermukaan (*peak surface acceleration/PBA*), mendapatkan faktor amplifikasi, mendapatkan respon spectra dipermukaan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

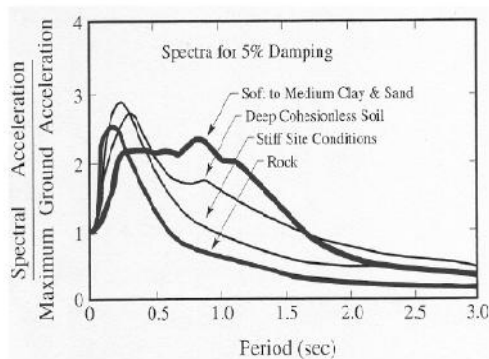
*Ground motion* akan lebih tepat digambarkan dalam bentuk *acceleration time histories*. *Acceleration time histories* dapat digunakan untuk menentukan *ground motion* desain spesifik dilokasi studi (*site specific design ground motion*) yang menggambarkan respon tanah dipermukaan akibat perambatan gelombang gempa. *Acceleration time histories* diperoleh dari pencatatan instrumentasi dilokasi tinjau. Pada kenyataannya, data *acceleration time histories* di Indonesia masih sangat kurang dan lebih banyak berupa informasi mengenai lokasi episenter gempa, magnitude, kedalaman dan mekanisme gempa. Guna mengatasi hal ini, *acceleration time histories* dapat diperoleh dari metode alternatif sebagai berikut :

- a. Menggunakan catatan *time histories* dari daerah yang memiliki kondisi geologi dan seismologi serupa dengan lokasi studi
- b. Menggunakan catatan *time histories* dari lokasi lain yang kemudian di *match*-kan dengan target spektra batuan dasar (percepatan maksimum dan periode)

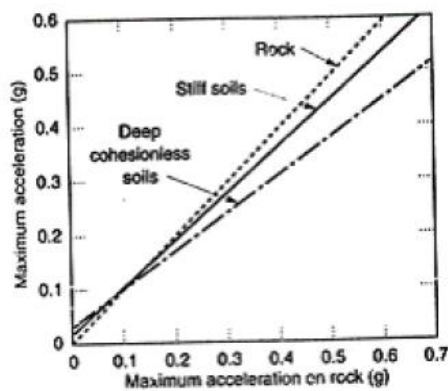
Membuat *motion* gempa sintetik yang disesuaikan terhadap kondisi geologi dan seismologi lokasi studi.

Kondisi tanah seperti jenis lapisan tanah dan tebal lapisan tanah akan sangat mempengaruhi besar percepatan maksimum

dan respon spectra yang terjadi dipermukaan. Hal tersebut dapat terlihat dari terjadinya variasi perubahan amplifikasi yang dipengaruhi oleh jenis tanah (Gambar 2) dan adanya pengaruh yang signifikan oleh jenis tanah terhadap bentuk respon spectra (Gambar 3). Jenis tanah lempung dan pasir dengan konsistensi soft-medium terlihat mengalami rentang periode yang lebih lama dibandingkan rentang jenis tanah lainnya.



**Gambar 2.** Pengaruh jenis tanah terhadap perubahan percepatan (Kramer,S.L,1996)



**Gambar 3.** Pengaruh jenis tanah terhadap bentuk respon spectra (Seed et al)

Teori perambatan gelombang geser 1-dimensi dikemukakan pertama kali oleh Kanai (1951) dan dikembangkan lebih lanjut oleh Lysmer, Seed, dan Schanbel (1972). Perambatan vertikal gelombang geser adalah perambatan gelombang yang hanya akan menyebabkan perpindahan dalam arah horizontal. Analisis dengan model gelombang 1-dimensi ini dapat dilakukan dengan metode linier-ekivalen.

Sifat dan penyebaran kerusakan akibat gempa terutama dipengaruhi oleh respons

tanah terhadap beban siklik. Respons tanah ini ditentukan oleh parameter tanah, dalam hal ini adalah parameter dinamik tanah. Parameter dinamik yang digunakan dalam analisis respons dinamik tanah adalah modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ ) dan damping ( $\xi$ ).

Parameter dinamik tanah dapat ditentukan dengan tes lapangan atau tes laboratorium. Tes lapangan dibagi dua, yaitu *low-strain test* (*seismic refecton test, seismic refraction test, seismic cross hole test, seismic down-hole/up-hole test*) dan *high-strain test* (*standard penetration test, cone penetration test, dilatometer test, dan pressuremeter test*). Sebagaimana tes lapangan, tes laboratorium juga dibagi menjadi *low-strain test* (*resonant column test, ultrasonic pulse test, piezoelectric bender element test*) dan *high-strain test* (*cyclic triaxial test, cyclic direct simple shear test, cyclic torsional shear test*). Beberapa korelasi empiris berikut ini dapat dipergunakan sebagai korelasi antara parameter dinamik tanah dengan nilai N-SPT.

**Tabel 1.** Korelasi empiris parameter dinamik tanah dengan nilai N-SPT.

Referensi	Korelasi
Seed et al (1983)	$G_{max} = 6220 N$ (kPa)
Seed et al (1984)	$G_{max} = 1000 K_{2max}(\sigma'_m)^{0,5}$ $(psf) K_{2max} = 20(N_1)60^{0,34}$
Seed et al (1986)	$G_{max} = 35 \times 1000 (N)60^{0,34}$ $(\sigma'_o)^{0,4} (lb/ft^2)$
Imai dan Tonouchi (1982)	$G_{max} = 325 (N)60^{0,68}$ (ksf) $V_s = 350 (N)60^{0,314}$ (fps)
Sykora dan Stokoe (1983)	$V_s = 350 (N)60^{0,27}$ (fps)

**Tabel 2.** Korelasi empiris parameter dinamik tanah dengan nilai  $S_u$

Referensi	Korelasi	Keterangan
Seed dan Idriss (1970)	$G_{max} = 1000$ to $3000 S_u$	
Hara et al (1974)	$G_{max} = 516 S_u$	$G_{max}$ dan $S_u$ dalam $kg/cm^2$
Arango (1978)	$G_{max} = 1790 S_u$ $G_{max} = 1163 S_u$ $G_{max} = 813 S_u$	Hasil test UCS Hasil test UU Hasil test Cu
Anderson et al (1978)	$G_{max} = 1200$ to $1800 S_u$	
Locat dan Beausejour (1987)	$G_{max} = 0,379 \cdot S_u^{1,05}$	$G_{max}$ dalam MPa dan $S_u$ dalam kPa
Paolini et al (1989)	$G_{max} = 500$ to $600 S_u$	Hasil test UU dan lab. Vane Shear
Bouckovalas et al (1989)	$G_{max} = 800 S_u$ $G_{max} = 1800 S_u$	Hasil insitu Vane Shear Hasil test UU

**Tabel 3.** Korelasi empiris parameter dinamik tanah dengan nilai  $N_{SPT}$  pada lempung.

Referensi	Korelasi $G_{max}$ (kPA)	Korelasi $V_s$ (m/s)	Koefisien Korelasi
Ohsaki & Iwasaki (1973)	$G_{max} = 11500 \cdot N^{0,8}$		0,888
Ohta dan Goto (1978)		$V_s = 85,3 \cdot N^{0,341}$	0,72
Imai dan Tonouchi (1982)	$G_{max} = 14070 \cdot N^{0,68}$	$V_s = 96,9 \cdot N^{0,314}$	0,867 0,868

Faktor amplifikasi tanah adalah rasio intensitas maksimum gerakan tanah permukaan terhadap intensitas maksimum gerakan di batuan dasar yang biasanya diambil pada batuan singkapan (*outcrop*). Faktor ini tergantung pada tingkat kekakuan batuan dasar, dimana semakin kaku batuan

dasar maka semakin besar faktor amplifikasi yang terjadi.

### 3. METODOLOGI

Secara garis besar ada dua tahap penelitian, tahap pengumpulan data tanah dan data *input motion* di batuan dasar. Data tanah digunakan untuk bahan analisis dengan menggunakan data sekunder dari hasil penyelidikan tanah bor mesin di lokasi Gedung Asrama LPMP Sumbar ini. Data tanah diolah manual untuk mendapatkan profil lapisan tanah dan kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari korelasi empiris terhadap data hasil pemboran dan uji N-SPT.

Data *input motion* di batuan dasar sebagai sumber gempa didapat dari hasil penelitian sebelumnya, dimana hasil penelitian tersebut diperoleh *ground motion synthetic* yang dikembangkan berdasarkan metode pendekatan statistic *Conditional Mean Spectrum/CMS* (Misriani, 2017). Selanjutnya, tahap analisis perambatan gelombang gempa yang dilakukan dengan program komputer NERA (Bardet dan Tobita, 2001). Program ini menerapkan pendekatan domain waktu sifat tanah non linier dimana modulus gesernya turunan fungsi dari peningkatan regangan, sedangkan redaman meningkat sebagai fungsi dari regangan yang meningkat. Analisis perambatan gelombang gempa menggunakan program ini mengindikasikan nilai percepatan maksimum untuk periode ulang gempa 475 tahun dan 2475 tahun.

### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

SRA memerlukan data parameter dinamis tanah dari lapisan batuan dasar ( $S_B$ ) dan input ground motions gelombang gempa mewakili lapisan yang memiliki konten amplitud, durasi dan frekuensi. Stratifikasi tanah dan parameter dinamis tanah pada lokasi ini ditentukan berdasarkan pada data hasil pengeboran dengan kedalaman 40 m dari lapisan permukaan. Parameter dinamis tanah yang diperlukan dalam analisis perambatan gelombang geser adalah Kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan Modulus Geser Dinamik ( $G_{max}$ ). Modulus Geser Dinamik Maksimum ( $G_{max}$ ) biasanya dikorelasikan dengan Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ). Besarnya kecepatan gelombang

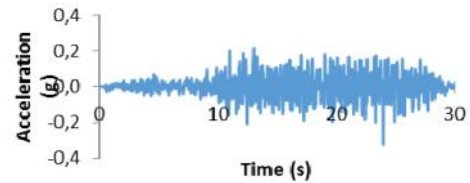
geser atau modulus geser dinamik dapat ditentukan berdasarkan korelasi empiris dengan menggunakan data pengujian lapangan N-SPT.

Data hasil pengukuran tersebut kemudian dievaluasi kembali untuk keperluan analisis. Data hasil pengukuran tersebut kemudian digunakan sebagai data primer dalam analisis perambatan gelombang geser dari batuan dasar ke permukaan tanah.

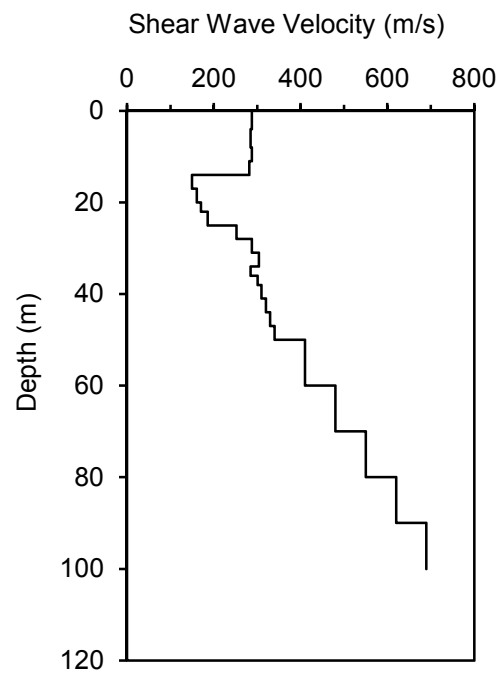
Variasi kecepatan gelombang geser dengan kedalaman diestimasi berdasarkan pengujian SPT dengan menggunakan korelasi empiris Imai dan Tonouchi (1982) yang sudah terlampir.

**Tabel 4.** Tipe profile tanah yang digunakan pada SRA.

No Lapis	Depth (m)	Jenis tanah
1	0 - 2	Pasir
2	2 - 4	Pasir
3	4 - 6	Pasir
4	6 - 8	Pasir
5	8 - 11	Pasir
6	11 - 14	Pasir
7	14 - 17	Pasir
8	17 - 18	Lempung
9	18 - 20	Lempung
10	20 - 22	Lempung
11	22 - 25	Lempung
12	25 - 28	Lempung
13	28 - 31	Lempung
14	31 - 34	Lempung
15	34 - 36	Lempung
16	36 - 38	Pasir
17	38 - 40	Pasir

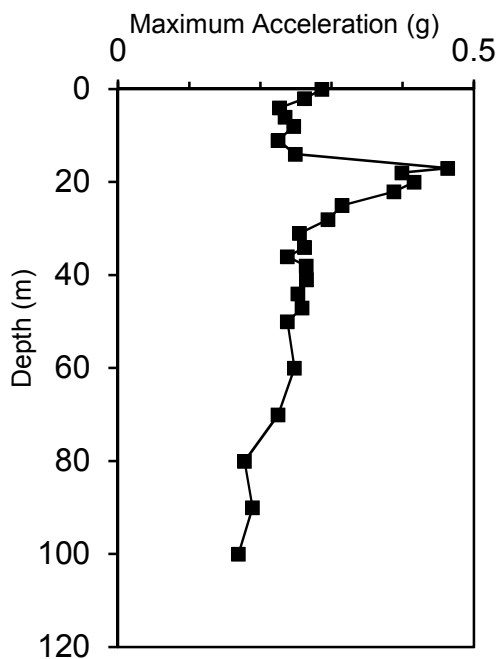


**Gambar 4.** Kecepatan gelombang geser vs Kedalaman Tanah

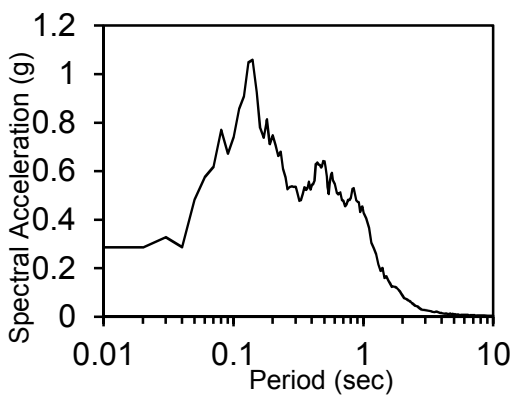


**Gambar 5.** Salah satu Input motion CMS di batuan dasar Periode Ulang gempa 475 tahun ( $a_{max} = 0.32g$  periode target 0.2 detik)

Input motion CMS batuan dasar berasal dari 5 pencatatan sumber gempa sehingga diperoleh 20 sumber gempa dari seluruh dunia untuk masing-masing periode target spectra (PGA, 0.2 detik, 1.0 detik dan 2.0 detik).



**Gambar 6.** Percepatan maksimum gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan periode 0.2 detik PE 475 tahun

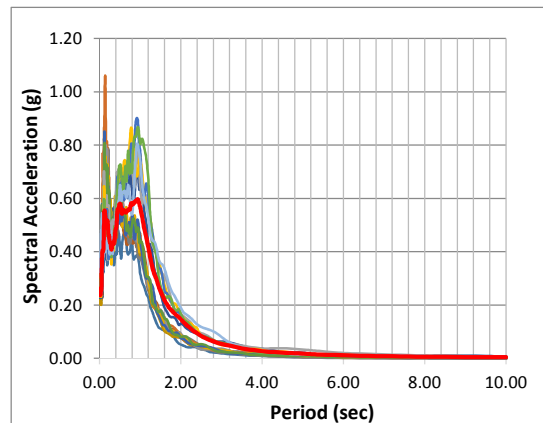


**Gambar 7.** Spectra Acceleration dari batuan dasar ke permukaan periode 0.2 detik PE 475 tahun

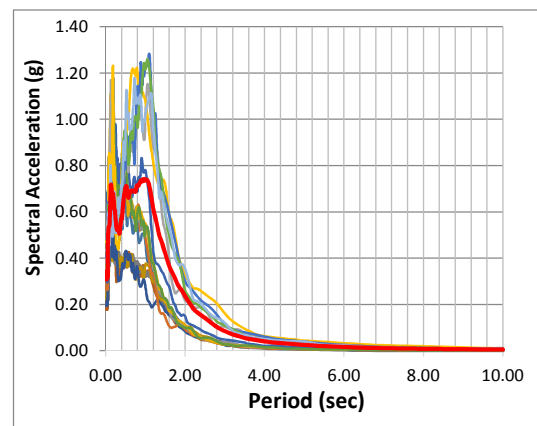
Pilihan lain dalam memilih target spectrum yang cocok dengan prediksi masalah respon struktur dalam analisis perambatan gelombang gempa berdasarkan Uniform Hazard Spectra (UHS) adalah dengan mengadopsi pendekatan statistic Conditional Mean Spectrum, CMS (Misriani, 2011). Prosedur CMS ini dihitung berdasarkan pada periode yang di targetkan. Perhitungan Spectra Acceleration (Sa) dengan pendekatan ini menggunakan metode Probablistic Seismic Hazard Analysis

(PSHA). Tujuan metode CMS ini adalah untuk memperoleh data percepatan gempa yang cocok dengan periode yang ditargetkan.

*Site Response Analysis* dilakukan menggunakan data percepatan gempa terpilih yang cocok dengan perhitungan CMS pada periode yang ditargetkan  $T = 0.2$  detik seperti yang terlihat pada gambar 8 dan gambar 9.

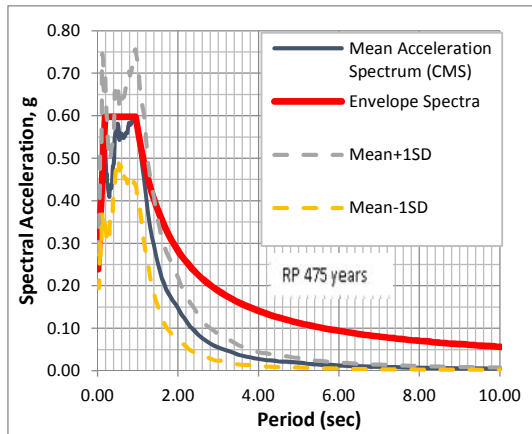


**Gambar 8.** Spektra percepatan dengan menggunakan input motion CMS periode target 0.2 detik untuk periode ulang gempa 475 th

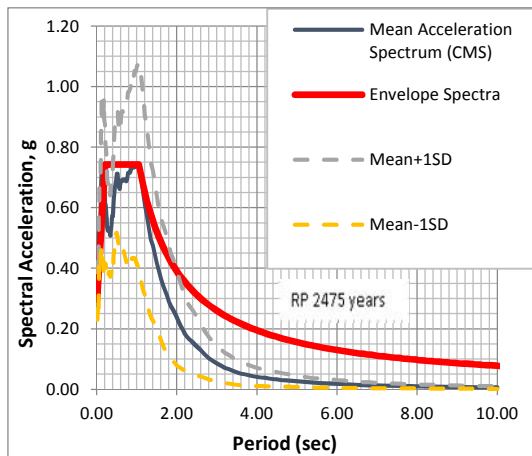


**Gambar 9.** Spektra percepatan dengan menggunakan input motion CMS periode target 0.2 detik untuk periode ulang gempa 2475 th

Spektra percepatan yang diperoleh pada lapisan permukaan tanah yang sesuai dengan kondisi *mean*, *mean+1SD* dan selubung spectra dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11.



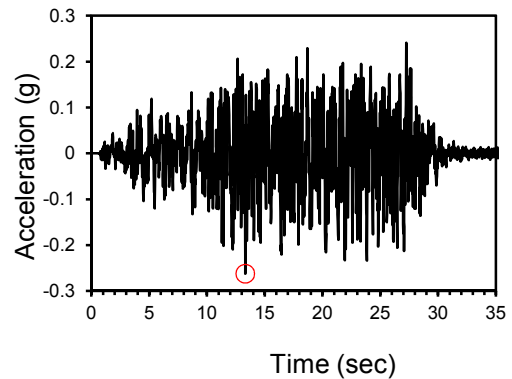
**Gambar 10.** Selubung spektra percepatan di lapisan permukaan menggunakan input motion CMS untuk periode ulang gempa 475 th



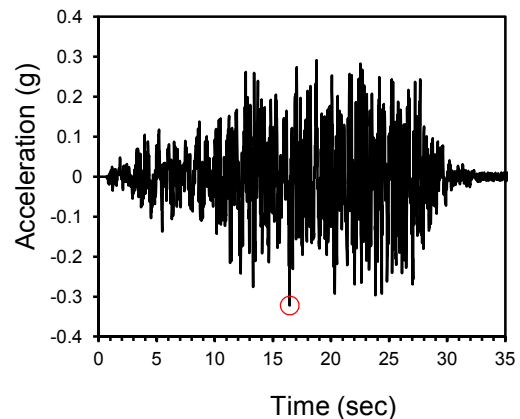
**Gambar 11.** Selubung spektra percepatan di lapisan permukaan menggunakan input motion CMS untuk periode ulang gempa 2475 th

Hasil dari penelitian ini juga berupa time history percepatan gempa dipermukaan tanah yang disertakan dengan nilai percepatan maksimum permukaan pada periode target spektra PGA, 0.2 detik, 1.0 detik dan 2.0 detik untuk periode ulang gempa 475 tahun dan 2475 tahun.

Berikut ditampilkan time history/ ground motion di permukaan tanah periode target spektra 0.2 detik periode ulang gempa 475 tahun dan 2475 tahun.

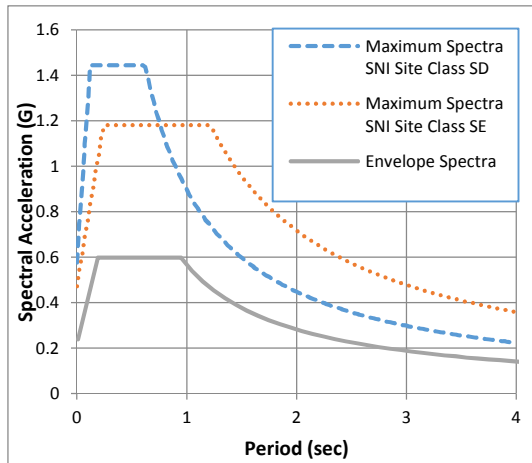


**Gambar 12.** Ground motion di permukaan tanah periode target 0.2 detik periode ulang gempa 475 tahun ( $a_{max} = 0.262g$ )

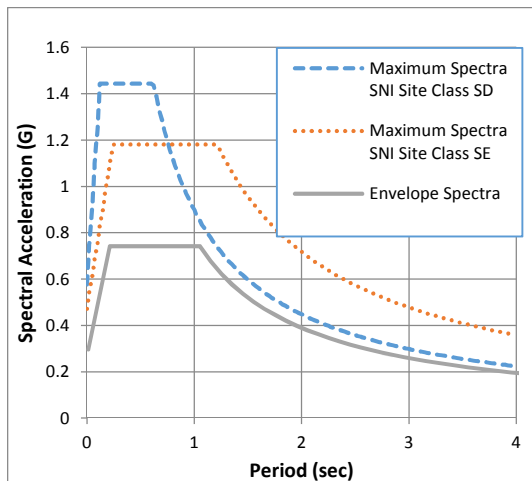


**Gambar 13.** Ground motion di permukaan tanah periode target 0.2 detik periode ulang gempa 2475 tahun ( $a_{max} = 0.322g$ )

Perbandingan antara rekomendasi respons spectra percepatan desain untuk lokasi kajian yang dihasilkan pada penelitian ini dengan standar yang berlaku SNI 1726-2012 terlampir pada gambar dibawah ini. Dimana klasifikasi tanah yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah klasifikasi jenis Tanah sedang ( $S_D$ ). Klasifikasi jenis tanah tersebut diperoleh dari nilai rata-rata kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan N-SPT untuk setiap kedalaman tanah.



**Gambar 14.** Perbandingan respons spectra desain CMS antara hasil penelitian berdasarkan nilai *average* dan standar yang berlaku SNI 1726-2012 (Periode ulang gempa 475)



**Gambar 15.** Perbandingan respons spectra desain CMS antara hasil penelitian berdasarkan nilai *average* dan standar yang berlaku SNI 1726-2012 (Periode ulang gempa 2475)

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa perambatan gelombang gempa dari batuan dasar menuju lapisan permukaan tanah berbeda-beda pada setiap lokasi di muka bumi. Hal ini dipengaruhi oleh Faktor Amplifikasi/ pembesaran yang merupakan faktor guncangan gempa yang sampai ke permukaan tanah. Dimana faktor ini tergantung dari kedalaman lapisan tanah keras, klasifikasi tanah dan berat volume tanahnya.

Selain itu juga dipengaruhi oleh karakteristik dan jenis gempa yang terjadi yang ditunjukkan dengan semakin cepat dan

rapatnya durasi atau *time history* dari gempa tersebut.

Hasil dari penelitian ini juga memberikan rekomendasi respon spektra desain untuk lokasi kajian di Gedung Asrama LPMP Sumbar pada wilayah 4 kelas tanah sedang ( $S_D$ ) berdasarkan tingkat kemungkinan terlampaui 10% masa layan bangunan 50 tahun (setara dengan periode ulang gempa 475 tahun) dan tingkat kemungkinan terlampaui 2% masa layan bangunan 50 tahun (setara dengan periode ulang gempa 2475 tahun).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anbazhagan P., Sitharam T.G., Divya. (2007). Site Response Analysis Based On Site Specific Soil, Properties Using Geotechnical and Geophysical Tests : Correlations Between  $G_{max}$  and  $N_{60}$ . *Fifth International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Paper No. 1286 June 25-28, 2007. Baker, J.W. (2010) : The Conditional Mean Spectrum : A Tool For Ground Motion Selection, *ASCE Journal of Structural Engineering (in press)*, Department of Civil & Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, USA.
- Bardet, J., P., Tobita, T, (2001), NERA A Computer Program for Non-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits, Department of Civil Engineering, University of Southern California.
- C.B. Crouse. Site Response Analysis and its Link to Structural Analysis, Design, and Code Requirements. URS Corporation.
- Gloria M.Estrada. (2010). Analysis of Earthquake Site Response and Site Classification For Seismic Design Practice. *Fifth International Conference on Recent Advanced in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. May 24-29, 2010. Colombia.
- Gokce Tonuk., Atilla Ansal., dkk. (2014). Site Specific response analysis for



- performance based design earthquake characteristics. *Bulletin Earthquake Engineering (2014) 12* :1091-1105. Istanbul, Turkey.
- Kramer., Steven L.1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Practice Hall, NJ.
- Misriani. M (2011). Studi Pengembangan Ground Motion Synthetic Berdasarkan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis Sumber Gempa 3D dengan Mengadopsi Pendekatan Conditional Mean Spectrum Kota Padang Sumatera Barat (Indonesia). Thesis ITB Bandung.
- Misriani.,M. (2016). Pengembangan Ground Motion Synthetic Berdasarkan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis Model Sumber Gempa 3d Teluk Bayur Kota Padang (Indonesia). *National Conference of Applied Sciences, Engineering, Business and Information Technology*. Politeknik Negeri Padang, 15-16 oktober 2016.
- Misriani.,M. (2017). Site Specific Response Analysis (SSRA) Kampus UNP Air Tawar (Kota Padang). *Jurnal Rekayasa Sipil Politeknik Negeri Padang, Vol XIV No.1 April, 2017*. Padang.
- Misriani.,M. (2017). Site Specific Response Analysis Kota Padang dari Input Motion Conditional Mean Spectrum (CMS) Menggunakan Software NERA. *Jurnal Rekayasa Sipil Politeknik Negeri Padang, Vol XIV No.2 Oktober, 2017*. Padang.
- Sengara I.W. (2012). Investigation on Risk-Targeted Seismic Design Criteria for a High-rise Building in Jakarta-Indonesia. 15 WCEE. Lisboa 2012.
- Sengara I.W., Sukamta D., Sumiartha P. (2008) Site Response Analysis For Seismic Design of a 48-Storey Tower Building in Jakarta. *International Conference On Earthquake Engineering and Disaster Mitigation*, April 14-15, 2008. Jakarta.
- Sengara I.W., Addifa., Mulia A. (2015). Seismic Time-History Ground Motions for a Specific Site In Jakarta. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering) 77:1* (2015) 127-136.
- Zheng, W., Petersen, M.M, dkk. (2010). Site Specific Response Analysis In The New Madrid Seismic Zone. *Fifth International Conference on Recent Advanced in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics an Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss*, May 24-29, 2010, San Diego California.