

# ANALISIS DAN EVALUASI FAKTOR AMPLIFIKASI PERCEPATAN PUNCAK GEMPA DI PERMUKAAN TANAH (ANALYSIS AND EVALUATION OF PEAK GROUND ACCELERATION AMPLIFICATION FACTOR ON GROUND SURFACE)

Fahmi Aldiamar<sup>1</sup>, M Ridwan<sup>2</sup>, M. Asrurifak<sup>3</sup>, Masyhur Irsyam<sup>3</sup>

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan<sup>1</sup>, Pusat Litbang Pemukiman<sup>2</sup>, Institut Teknologi Bandung<sup>3</sup>

Jl. A.H. Nasution No. 264, Bandung, 40294<sup>1</sup>, Jl. Panyawungan Cileunyi Wetan

Kab. Bandung 403939<sup>2</sup>, Jl. Ganesha No.10, Bandung 40132<sup>3</sup>

Email : fahdamar@yahoo.com<sup>1</sup>, eqofi@yahoo.com<sup>2</sup>, m\_asrurifak@yahoo.com<sup>3</sup>, masyhur@bdg.centrin.net.id<sup>3</sup>

Diterima : 14 September 2010 ; Disetujui : 10 Desember 2010

## ABSTRAK

Perencanaan infrastruktur tahan gempa, umumnya memerlukan data percepatan di permukaan tanah. Saat ini American Society of Civil Engineers (ASCE) 07-2010 memberikan faktor amplifikasi untuk kebutuhan perencanaan bangunan tahan gempa sehingga perencana bisa mendapatkan percepatan di permukaan dengan mengalikan nilai percepatan Peta Gempa Indonesia 2010 dengan faktor amplifikasi tersebut. Untuk mengetahui kesesuaian faktor amplifikasi tersebut terhadap analisis seismic hazard menggunakan piranti lunak PSHA-07-USGS maka dilakukan kajian dengan analisis grid di Sumatera menggunakan variasi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) yang mewakili Klasifikasi jenis tanah ASCE 07-10 untuk tanah sangat padat dan batuan lunak ( $S_c$ ), tanah sedang ( $S_D$ ) dan tanah lunak ( $S_E$ ). Perbandingan faktor amplifikasi antara hasil analisis dan ASCE 07-2010 terhadap 2 (dua) tinjauan periode (PGA dan 0.2 detik) menunjukkan bahwa untuk site  $S_c$  dan  $S_D$ , hasil analisis menunjukkan hasil yang cukup mendekati ASCE 07-2010. Untuk site  $S_E$  dan periode  $T= 1$  detik, untuk permodelan dengan  $V_{S_{30}} < 175$  m/detik diperoleh deviasi yang cukup besar antara analisis dan ASCE 07-2010. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan permodelan, yaitu hanya dapat menggunakan persamaan atenuasi tertentu yang hanya mewakili sumber gempa sesar. Untuk mendapatkan faktor amplifikasi yang baik disarankan untuk melakukan analisis respon dinamik spesifik berdasarkan kondisi tanah lokal yang sesuai dengan klasifikasi ASCE-07-2010.

**Kata Kunci :** Analisis seismic hazard, faktor amplifikasi, percepatan puncak di permukaan, respon spektra di permukaan.

## ABSTRACT

Earthquake resistant infrastructure planning, generally require the acceleration data at ground level. Currently, the American Society of Civil Engineers (ASCE) 07-2010 provides amplification factor for earthquake resistant building design needs so that planners can get the acceleration of the surface by multiplying the value of the acceleration of Indonesian Earthquake Maps 2010 with the amplification factor. To evaluate the amplification factor with the seismic hazard analysis using software USGS PSHA-07, evaluation using grid analysis in Sumatra was done using variations of shear wave velocity ( $V_s$ ) which represents the ASCE 07-10 sites classification for very dense soil and soft rock ( $S_c$ ), the soil medium ( $S_D$ ) and soft soil ( $S_E$ ). According to the amplification factor comparison between analysis result and the ASCE 07-2010 at two reviewed period (PGA and 0.2 sec), the  $S_c$  and  $S_D$  site results show a close amplification factor to ASCE 07-2010. While large deviation occur between analysis and

ASCE 07-2010 at  $S_E$  site and period  $T = 1\text{sec}$  with  $V_{S30} < 175\text{m/sec}$ . The large deviation probably caused by modeling limitation which only can used specified attenuation function that represent fault zone only. To gain the good quality amplification factor, it is advice to do specific dynamic response analysis using local soil condition according to ASCE-07-2010 classification.

**Keyword:** Seismic hazard analysis, amplification factor, peak surface acceleration, surface spectrum response.

## PENDAHULUAN

Sejak diberlakukannya peta gempa Indonesia pada tahun 2002, telah terjadi gempa besar di Indonesia, antara lain gempa Aceh disertai tsunami tahun 2004 ( $M_w = 9,2$ ), Gempa Nias tahun 2005 ( $M_w = 8,7$ ), Gempa Jogja tahun 2006 ( $M_w = 6,3$ ), Gempa Tasik tahun 2009 ( $M_w = 7,4$ ) dan terakhir Gempa Padang tahun 2009 ( $M_w = 7,6$ ). Kejadian gempa tersebut menunjukkan perlunya kajian potensi bencana gempa bumi yang akan dihadapi di masa depan.

Analisis *seismic hazard* dengan metode probabilitas total dilakukan oleh Tim Revisi Peta Gempa Indonesia untuk merevisi peta gempa Indonesia tahun 2002 menggunakan pendekatan probabilitas, sehingga dihasilkan peta PGA dan spektra percepatan untuk perioda pendek (0.2 detik) dan perioda 1.0 detik dengan kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun, 10% dalam 100 tahun, dan 2% dalam 50 tahun atau yang mewakili tiga level *hazard* (potensi bahaya) gempa 500, 1000 dan 2500 tahun di batuan dasar ( $S_B$ ).

Perencanaan infrastruktur tahan gempa, umumnya memerlukan data percepatan di permukaan tanah. Saat ini *American Society of Civil Engineers* (ASCE 2010) memberikan faktor amplifikasi untuk kebutuhan perencanaan bangunan tahan gempa sehingga perencana bisa mendapatkan percepatan dipermukaan dengan mengalikan nilai percepatan Peta Gempa Indonesia 2010 dengan faktor amplifikasi tersebut.

Pada makalah ini dilakukan analisis *seismic hazard* menggunakan piranti lunak PSHA-07-USGS di Sumatera menggunakan variasi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) yang mewakili

Klasifikasi jenis tanah ASCE 07-10 untuk tanah sangat padat dan batuan lunak ( $S_C$ ), tanah sedang ( $S_D$ ) dan tanah lunak ( $S_E$ ) untuk mendapatkan faktor amplifikasi berdasarkan analisis dan kesesuaiannya terhadap faktor amplifikasi ASCE 07-10.

## KAJIAN PUSTAKA

### Teori probabilitas total

Teori probabilitas total adalah salah satu teori yang biasa diterapkan dalam analisis *seismic hazard*. Rumus dasar Teori Probabilitas Total dari Mc Guire (1976) dan Kramer (1996) adalah sebagai berikut :

$$P [ I \geq i ] = \int \int P [ I \geq i ; m, r ] \cdot f_M(m) \cdot f_R(r) \cdot dm \cdot dr \quad \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$P [ I \geq i ; m, r ]$  = probabilitas dengan Intensitas  $I$  yang lebih besar atau sama dengan Intensitas  $i$  pada suatu lokasi dengan magnitudo  $m$  dan jarak  $r$ .

$f_M$  = fungsi probabilitas dari Magnitudo

$f_R$  = fungsi probabilitas dari jarak sumber

Nilai  $I$  untuk kekuatan gempa  $m$  dan jarak  $r$  ditentukan berdasarkan fungsi attenuasi yang akan digunakan.

### Parameter sumber gempa dan data input

Analisis *seismic hazard* probabilistik dan pembuatan data guncangan gempa sintetik membutuhkan data-data parameter input sebagai berikut :

1. Magnitudo maksimum dan laju geser (*slip rate*) untuk tiap zona sumber gempa.

2. Fungsi atenuasi yang sesuai dengan mekanisme tiap zona sumber gempa yang mengakomodasi kecepatan gelombang geser lapisan tanah setebal 30 m ( $V_{S30}$ ).
3. Klasifikasi jenis tanah didasarkan kecepatan gelombang geser lapisan tanah setebal 30 m ( $V_{S30}$ ).

### Magnitudo Maksimum dan *slip rate*

Magnitudo maksimum pada suatu sumber gempa tertentu menggambarkan magnitudo gempa terbesar yang diperkirakan dapat terjadi. Nilai ini dapat ditentukan secara geofisik yaitu dengan menggunakan besaran momen seismic seperti yang diberikan pada persamaan di bawah ini :

$$M_w = \frac{\log M_0}{1,5} - 10,7 \dots\dots\dots(2)$$

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- $M_0$  = seismic moment (dyne-cm)
- $\mu$  = kekuatan runtuh material
- A = Area keruntuhan
- D = nilai rata-rata pergerakan lempeng

Magnitudo maksimum dapat pula ditentukan menggunakan katalog gempa atau hasil yang telah ditentukan oleh peneliti terdahulu.

Laju geser Sumatera yang digunakan dalam penelitian ini diambil berdasarkan data Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010 dengan parameter input seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

### Klasifikasi jenis tanah

Untuk mendapatkan percepatan maksimum dan respon spektra di permukaan tanah di suatu lokasi tinjauan, terlebih dahulu perlu diklasifikasikan situsnya (jenis tanah).

Klasifikasi jenis tanah harus ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan definisi pada Tabel 2 yang didasarkan pada

korelasi dengan hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium.

### Penentuan Percepatan Puncak di Permukaan Tanah

Besarnya percepatan puncak di permukaan tanah ditentukan dengan mengalikan faktor amplifikasi percepatan ( $F_{PGA}$ ) dengan besar percepatan puncak di batuan dasar yang diperoleh dari Peta Gempa Indonesia 2010. Besarnya  $F_{PGA}$  tergantung dari Klasifikasi jenis tanah yang didasarkan pada Tabel 2. Nilai  $F_{PGA}$  ditentukan dari Tabel 3.

### Penentuan Respon Spektra di Permukaan Tanah

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal (SDOF) pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi pada periode pendek ( $T=0.2$  detik) dan periode 1.0 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi percepatan yang mewakili getaran periode 1.0 detik ( $F_v$ ).

Tabel 4 dan Tabel 5 memberikan nilai-nilai  $F_a$  dan  $F_v$  tersebut untuk berbagai Klasifikasi jenis tanah sesuai Tabel 2.

### Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi telah banyak berkembang dalam kurun waktu dua dekade terakhir. Hal ini dipicu oleh tersedianya data-data *strong motion* dari kejadian-kejadian gempa yang terjadi.

Hingga saat ini belum ada fungsi atenuasi yang dihasilkan untuk wilayah Indonesia, sehingga dalam analisis *seismic hazard* digunakan fungsi atenuasi yang diperoleh dari

wilayah lain yang memiliki kemiripan tektonik dan geologi dengan wilayah Indonesia.

### Penentuan Fungsi Atenuasi

Dasar pemilihan fungsi atenuasi pada penelitian ini adalah fungsi atenuasi yang digunakan dalam pembuatan Peta Gempa Indonesia 2010 dan mengakomodasi kecepatan gelombang geser lapisan tanah

dengan ketebalan 30 m ( $V_{s30}$ ). Berdasarkan hasil tinjauan terhadap persamaan atenuasi untuk sumber gempa subduksi, sesar dan *background*, diketahui bahwa hanya persamaan atenuasi untuk sumber gempa sesar yang memenuhi kriteria tersebut (lihat Tabel 6), sehingga untuk selanjutnya persamaan tersebut yang digunakan dalam analisis.

Tabel 1. Parameter sumber gempa sesar Sumatera

No	Nama sesar	Tipe sesar	Mmax desain	Width (km)	Top (km)	Bottom (km)	dip (derajat)	sliprate (mm/tahun)
1	Aceh	Strike slip	7.7	17.00	3.00	20	90	2
2	Seulimeum	Strike slip	7.5	17.00	3.00	20	90	2.5
3	Tripa	Strike slip	7.7	17.00	3.00	20	90	6
4	Renun	Strike slip	7.8	17.00	3.00	20	90	27
5	Toru	Strike slip	7.4	17.00	3.00	20	90	24
6	Angkola	Strike slip	7.6	17.00	3.00	20	90	19
7	Barumun	Strike slip	7.5	17.00	3.00	20	90	4
8	Sumpur	Strike slip	6.9	17.00	3.00	20	90	23
9	Sianok	Strike slip	7.3	17.00	3.00	20	90	23
10	Sumani	Strike slip	7.2	17.00	3.00	20	90	23
11	Suliti	Strike slip	7.4	17.00	3.00	20	90	23
12	Siulak	Strike slip	7.2	17.00	3.00	20	90	23
13	Dikit	Strike slip	7.2	17.00	3.00	20	90	11
14	Ketaun	Strike slip	7.3	17.00	3.00	20	90	11
15	Musi	Strike slip	7.2	17.00	3.00	20	90	11
16	Manna	Strike slip	7.3	17.00	3.00	20	90	11
17	Kumering	Strike slip	7.6	17.00	3.00	20	90	11
18	Semangko	Strike slip	7.2	17.00	3.00	20	90	5
19	Sunda	Strike slip	7.6	17.00	3.00	20	90	5

Sumber : Natawidjaja (2000) dan Tim Revisi Peta Gempa Indonesia (2010)

**Tabel 2.** Klasifikasi jenis tanah dari korelasi penyelidikan lapangan dan laboratorium

Klasifikasi jenis tanah	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
S <sub>A</sub> (Batuan Keras)	> 1500	N/A	N/A
S <sub>B</sub> (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
S <sub>C</sub> (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
S <sub>D</sub> (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
S <sub>E</sub> (Tanah Lunak)	< 175	<15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40</math> persen, dan Kuat geser niralir <math>\bar{s}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>			
S <sub>F</sub> (Tanah Khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan Indeks Plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>s_u &lt; 50</math> kPa</li> </ul>		

Sumber : ASCE (2010)

Keterangan: N/A = tidak tersedia

**Tabel 3.** Nilai faktor amplifikasi  $F_{PGA}$  untuk nilai percepatan puncak di permukaan tanah

Klasifikasi jenis tanah	$S_{PGA}$				
	$PGA \leq 0.1$	$PGA = 0.2$	$PGA = 0.3$	$PGA = 0.4$	$PGA \geq 0.5$
S <sub>C</sub> (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
S <sub>D</sub> (Tanah Sedang)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
S <sub>E</sub> (Tanah Lunak)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
S <sub>F</sub> (Tanah Khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : ASCE (2010)

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linear

Keterangan:

$S_{PGA}$  = Nilai percepatan puncak di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik

**Tabel 4.** Nilai faktor amplifikasi untuk periode pendek ( $F_a$ )

Klasifikasi Jenis Tanah	$S_s$				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
$S_C$ (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
$S_D$ (Tanah Sedang)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
$S_E$ (Tanah Lunak)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
$S_F$ (Tanah Khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : ASCE (2010)

**Catatan :** Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linear

Keterangan:

$S_s$  = Nilai percepatan puncak di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk periode pendek ( $T=0.2$  detik) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik

**Tabel 5.** Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ )

Klasifikasi Jenis Tanah	$S_1$				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
$S_C$ (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
$S_D$ (Tanah Sedang)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
$S_E$ (Tanah Lunak)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
$S_F$ (Tanah Khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : ASCE (2010)

**Catatan :** Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linear

Keterangan:

$S_1$  = Nilai percepatan puncak di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk periode 1.0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik

**Tabel 6.** Pemilihan persamaan atenuasi

No	Mekanisme	Persamaan atenuasi	Mengakomodasi kecepatan gelombang geser lapisan tanah dengan ketebalan 30 m ( $V_{s30}$ )
1	Subduksi (Megathrust)	Geomatrix <i>subduction</i> (Youngs et al., 1997)	Tidak
		AB03 <i>rock and global source</i> (Atkinson, G.M., Boore, D.M. (2003))	Tidak
		Zhao et al. (2006)	Tidak
2	Sesar dan <i>shallow background</i>	Boore-Atkinson NGA (2006)	Ya
		Campbell-Bozorgnia NGA (2006)	Ya
		Chiou-Youngs NGA (2006)	Ya
3	<i>Deep background</i>	(Youngs et al., 1997) <i>Intraslab Rock</i> USGS 2002	Tidak
		Atkinson-Boore (2003) <i>Cascadia Intraslab</i>	Tidak
		Atkinson-Boore (2003) <i>Worldwide Intraslab</i>	Tidak

Sumber gempa sesar :

1. Boore-Atkinson NGA (Boore 2006) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(r_{jb}, M) + F_s(V_{30}, r_{jb}, M) + \varepsilon \sigma_T \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

- $Y$  = spectral acceleration (g)
- $F_M$  = konversi skala magnitudo
- $F_D$  = konversi skala jarak
- $r_{jb}$  = jarak (km)
- $F_s$  = faktor amplifikasi
- $V_{30}$  = kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30m.
- $\varepsilon$  = kesalahan acak (random error)
- $\sigma_T$  = standar deviasi

2. Campbell-Bozorgnia NGA (Campbell 2006) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\ln Y = c_1 + f_1(M_W) + c_4 \ln \sqrt{f_2(M_W, r_{seis}, S)} + f_3(F) + f_4(S) + f_5(HW, F, M_W, r_{seis}) + \varepsilon \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- $Y$  = spectral acceleration (g)
- $c$  = konstanta periode
- $M_W$  = momen magnitudo
- $r_{seis}$  = jarak terdekat terhadap sesar
- $F$  = klasifikasi tipe sesar
- $S$  = klasifikasi tipe jenis tanah/batuan
- $\varepsilon$  = kesalahan acak (random error)

3. Chiou-Youngs NGA (Chiou 2006) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\ln(SA_{1130ij}) = c_1 + c_{1a} F_{RVi} + c_{1b} F_{NMI} + c_7(Z_{TORi} - 4) + c_2(M_i - 6) + \frac{c_2 - c_3}{c_n} \ln(1 + e^{c_n(c_n M_i)}) + (c_4 a - c_4) \ln \left( \sqrt{R^2 RUP_{ij} + c_{RB}^2} \right) + \left\{ c_{\gamma 1} + \frac{c_{\gamma 2}}{\cosh\left(\frac{M_i - c_{\gamma 3}}{0_{max}}\right)} \right\} R_{RUPij} + c_9 \cos^2 \delta_i \tanh\left(\frac{R_{RUPij}}{2}\right) \tan^{-1}\left(\frac{W_i \cos \delta_i}{2(Z_{TORi} + 1)}\right) \frac{1}{\pi/2} \left\{ 1 - \frac{R_{JBij}}{R_{RUPij} + 0,001} \right\} + \tau z_{ij} \dots \dots \dots (6)$$

$$\ln(SA_{ij}) = \ln(SA_{1130ij}) + \phi_1 \left( \ln\left(\frac{V_{S30ij}}{1130}\right), 0 \right)_{min} + \phi_2 \left\{ e^{\phi_3 \left( (V_{S30ij}, 1130)_{min} - 360 \right)} - e^{\phi_3 (1130 - 360)} \right\} \ln\left(\frac{SA_{1130ij} + \phi_4}{\phi_4}\right) + \sigma z_{ij} \dots \dots (7)$$

Keterangan :

- $R_{RUP}$  = jarak terdekat dengan bidang sesar
- $R_{JB}$  = jarak bidang menurut Joyner-Boore
- $W$  = panjang sesar
- $Z_{TOR}$  = kedalaman sesar
- $F_{RV}$  = 1 untuk  $30^\circ \leq \lambda \leq 150^\circ$
- $F_{NM}$  = 1 untuk  $-120^\circ \leq \lambda \leq -60^\circ$
- $\lambda$  = sudut yang bergantung pada mekanisme sesar
- $V_{S30}$  = kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30m.
- $\tau$  = standar kesalahan inter-event
- $\sigma$  = standar kesalahan intra-event

## METODOLOGI

Langkah-langkah analisis dan evaluasi faktor amplifikasi percepatan puncak di permukaan tanah adalah sebagai berikut :

1. Analisis *seismic hazard* dengan input ( $V_{S30}$ ) sebagai berikut:
  - a. Tanah sangat padat dan batuan lunak ( $S_C$ ) dengan variasi nilai  $V_{S30}$  :
    - Batas atas ( $S_C$ ) dengan  $V_{S30}=750\text{m/detik}$ ,
    - Nilai rata-rata ( $S_C$ ) dengan  $V_{S30}=550\text{m/detik}$ ,
    - Batas bawah ( $S_C$ ) dengan  $V_{S30}=350\text{m/detik}$ ,
  - b. Tanah sedang ( $S_D$ ) variasi nilai  $V_{S30}$ :
    - Batas atas ( $S_D$ ) dengan  $V_{S30}=350\text{m/detik}$ ,
    - Nilai rata-rata ( $S_D$ ) dengan  $V_{S30}=262,5\text{m/detik}$ ,
    - Batas bawah ( $S_D$ ) dengan  $V_{S30}=175\text{m/detik}$ ,
  - c. Tanah lunak ( $S_E$ ) dengan  $V_{S30} = 100\text{m/detik}$ .
2. Analisis *seismic hazard* untuk masing-masing kecepatan gelombang geser dilakukan menggunakan piranti lunak PSHA-07-USGS dengan batasan area kajian kepulauan Sumatera dengan batas longitude ( $94 \text{ s.d } 107^\circ$ ) dan latitude ( $7 \text{ s.d } 8,5^\circ$ ) menggunakan analisis grid dengan spasi  $0,1$  derajat.
3. Evaluasi hasil analisis dan kesesuaian dengan faktor amplifikasi ASCE 07-2010.

## HASIL DAN ANALISIS

Analisis *seismic hazard* dilakukan dengan menggunakan teori probabilitas total dari Mc Guire 1976 seperti yang sudah dibahas sebelumnya dan menggunakan software PSHA-07-USGS.

Periode ulang gempa yang akan ditinjau yaitu dengan nilai resiko gempa 10% dan umur bangunan desain 50 tahun (periode ulang = 475 tahun).

Hasil analisis *seismic hazard* di Sumatera menunjukkan faktor amplifikasi PGA, periode pendek ( $T=0,2$  detik) dan periode 1 detik untuk periode ulang 475 tahun dengan sebaran data seperti diperlihatkan pada Gambar 1 hingga Gambar 3.

Sebaran data tersebut diurutkan berdasarkan nilai percepatan puncak untuk masing-masing periode tinjauan (PGA,  $T= 0,2$  detik dan  $T=1$  detik) dan faktor amplifikasi yang dihasilkan dari pembagian antara masing-masing kecepatan gelombang geser dengan nilai batas kecepatan gelombang geser di klasifikasi jenis batuan ( $S_B$ ), yaitu  $\bar{v}_s = 760$  (m/detik).

## PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan perbandingan yang setara antara hasil penelitian dengan ASCE 07-2010, maka dilakukan simplifikasi dengan memplotkan nilai-nilai batas percepatan hasil analisis berdasarkan kriteria ASCE 07-2010.

Perbandingan faktor amplifikasi PGA antara analisis dengan ASCE 07-2010 seperti diperlihatkan pada Gambar 4 dan Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai tengah  $S_C$  dan  $S_D$  mendekati nilai yang direkomendasikan ASCE 07-2010 dengan rentang deviasi sebesar -5.83 hingga 10.00%. Analisis pada nilai tengah  $S_E$  menunjukkan perbedaan yang sangat besar terutama pada PGA 0.2-0.4g dengan rentang deviasi 24.71 hingga 74.77%.

Perbandingan faktor amplifikasi periode pendek ( $T=0,2$  detik) antara analisis dengan ASCE 07-2010 seperti diperlihatkan pada Gambar 5 dan Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai tengah  $S_C$  dan  $S_D$  mendekati nilai yang direkomendasikan ASCE 07-2010 dengan rentang deviasi sebesar -18.00 hingga 13.00%. Analisis pada nilai tengah  $S_E$  menunjukkan perbedaan yang lebih besar dengan rentang deviasi -30 hingga 19%.

Perbandingan faktor amplifikasi periode  $T=1$  detik antara analisis dengan ASCE 07-2010 seperti diperlihatkan pada Gambar 6 dan Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai tengah  $S_C$

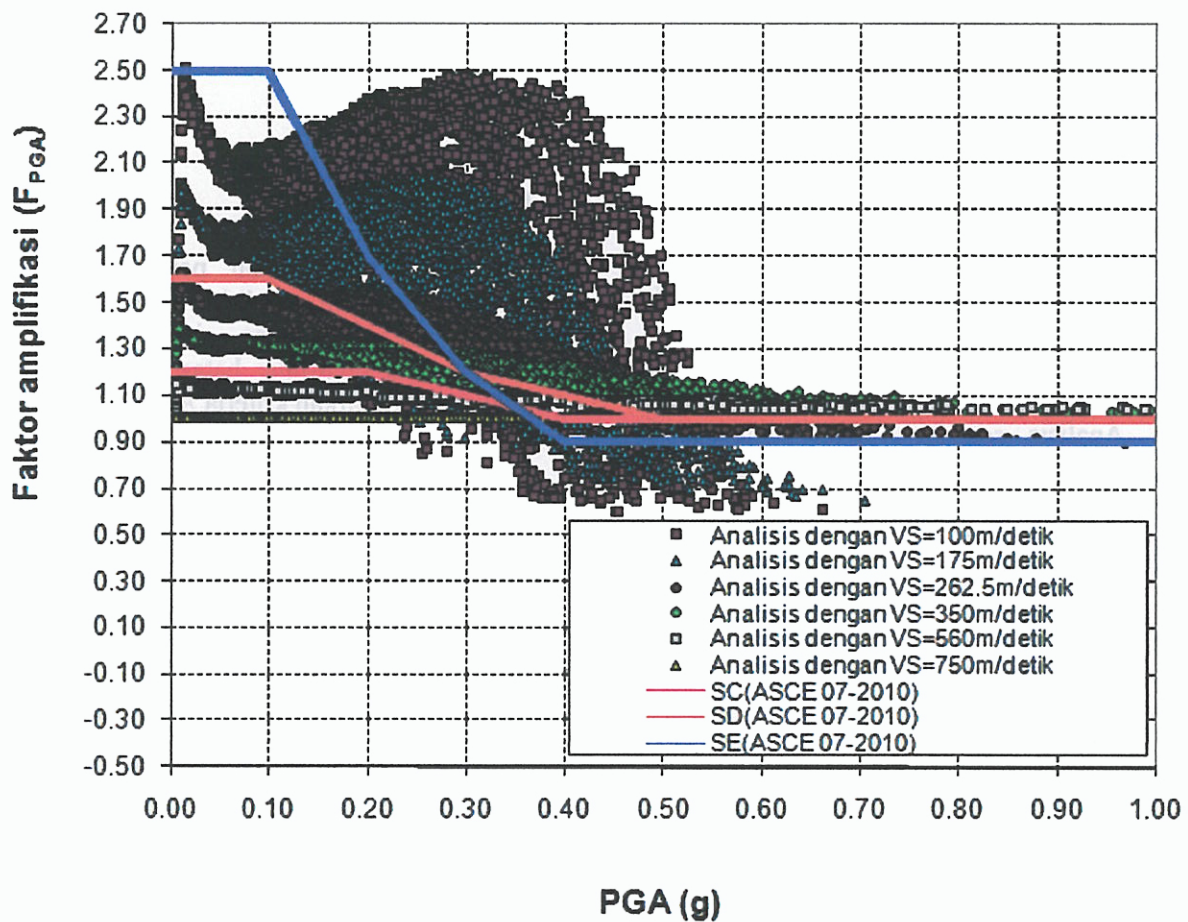


dan  $S_D$  memiliki perbedaan yang cukup besar dengan nilai yang direkomendasikan ASCE 07-2010 dengan rentang deviasi sebesar -22.00 hingga 25.00%. Analisis pada nilai tengah  $S_E$  menunjukkan perbedaan yang lebih besar dengan rentang deviasi 38 hingga 78%.

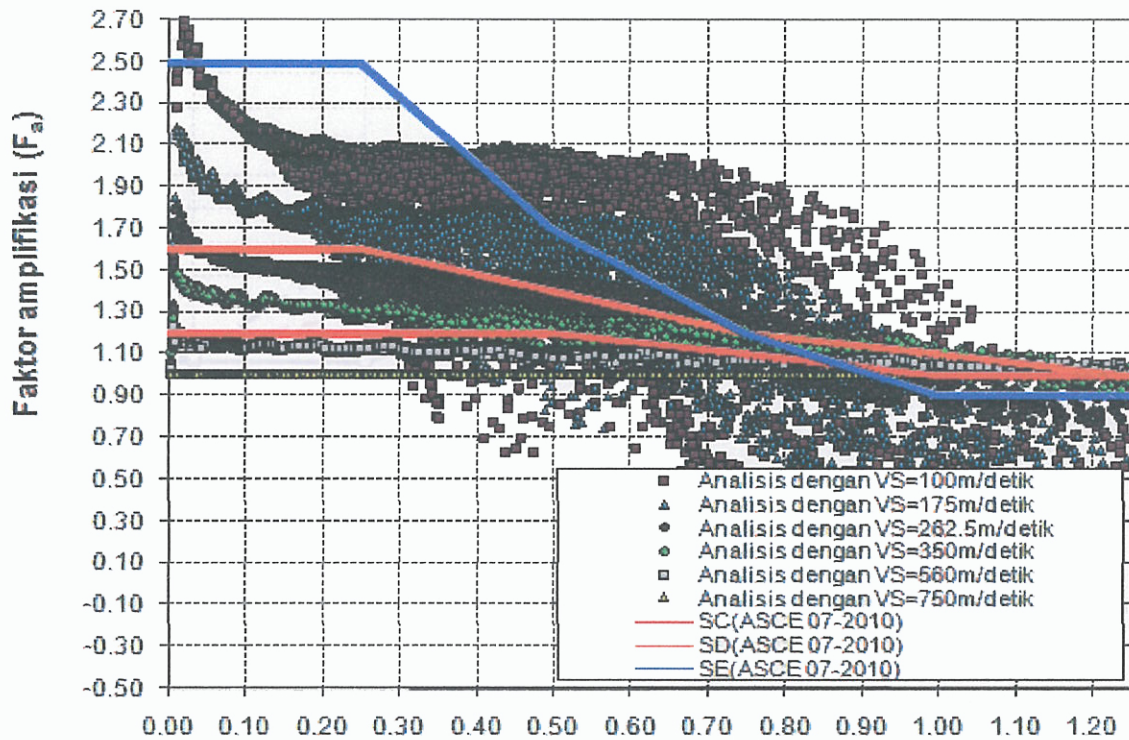
Perbandingan faktor amplifikasi antara hasil analisis dan ASCE 07-2010 terhadap 2 (dua) tinjauan periode (PGA dan 0.2 detik) menunjukkan bahwa untuk site  $S_C$  dan  $S_D$ , hasil analisis menunjukkan hasil yang cukup

mendekati ASCE 07-2010. Untuk site  $S_E$  disarankan untuk melakukan analisis respon dinamik spesifik, mengingat deviasi yang cukup besar antara analisis dan ASCE 07-2010.

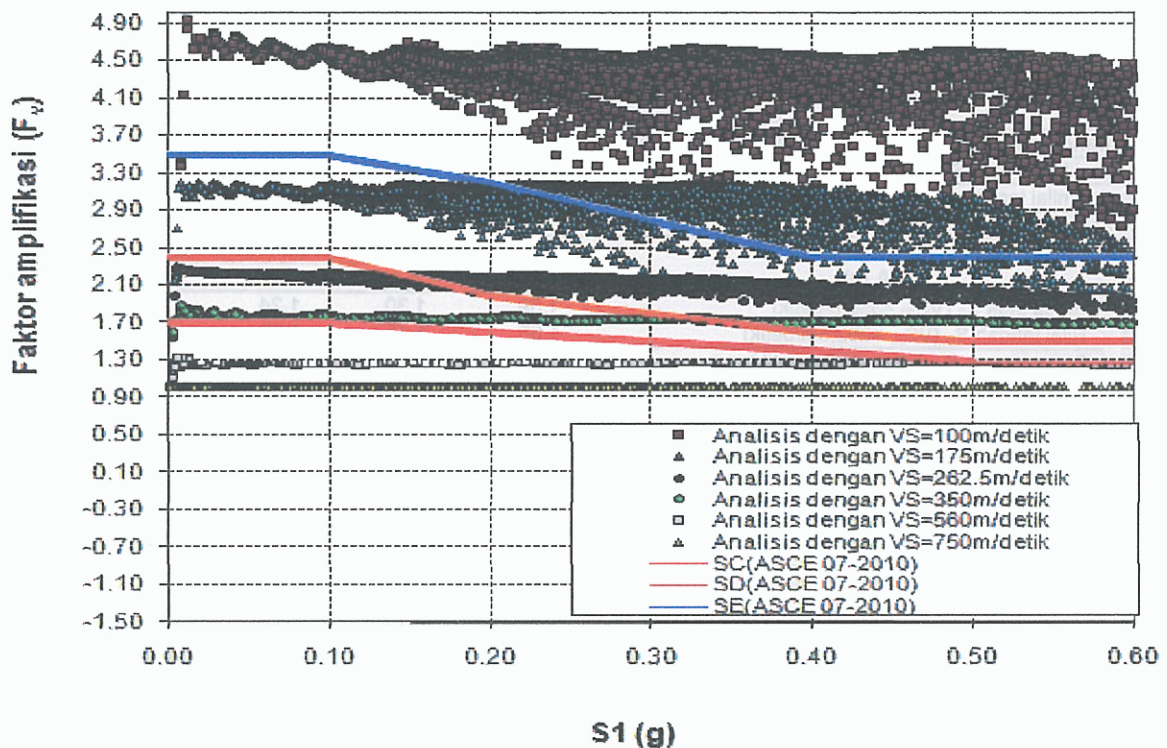
Demikian pula untuk periode  $T=1$  detik, untuk hasil uji lapangan dengan  $V_{S30} < 175$  m/detik disarankan untuk melakukan analisis respon dinamik spesifik mengingat kemungkinan deviasi yang cukup besar tersebut dipengaruhi oleh persamaan atenuasi yang dipergunakan.



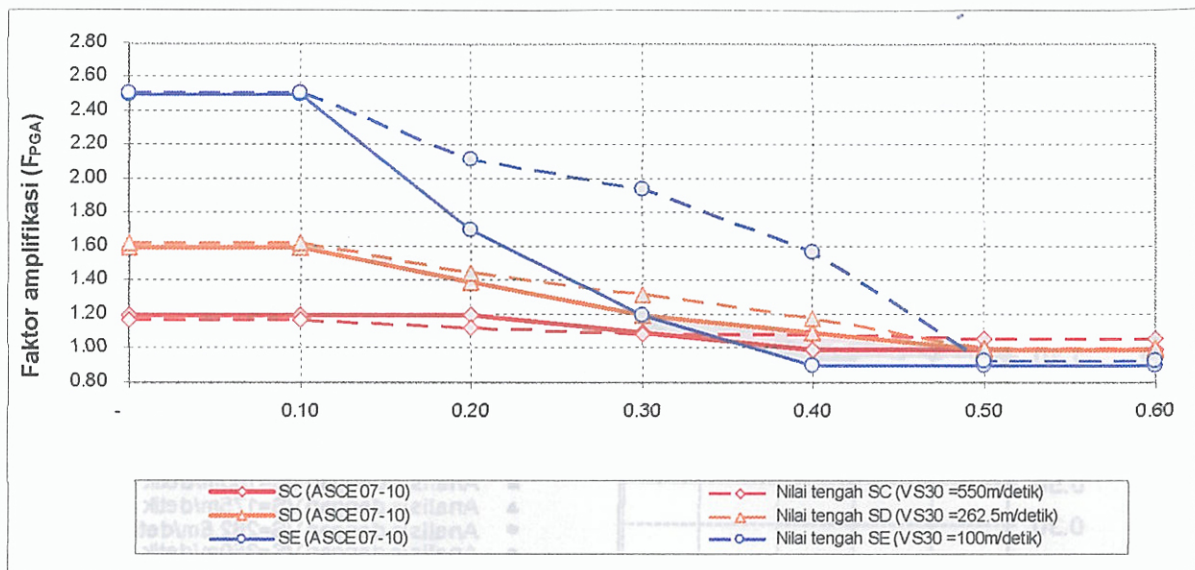
**Gambar 1.** Kurva perbandingan faktor amplifikasi PGA antara ASCE 07-2010 dengan sebaran data hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun



Gambar 2. Kurva perbandingan faktor amplifikasi periode pendek ( $T=0.2$  detik) antara ASCE 07-2010 dengan sebaran data hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun



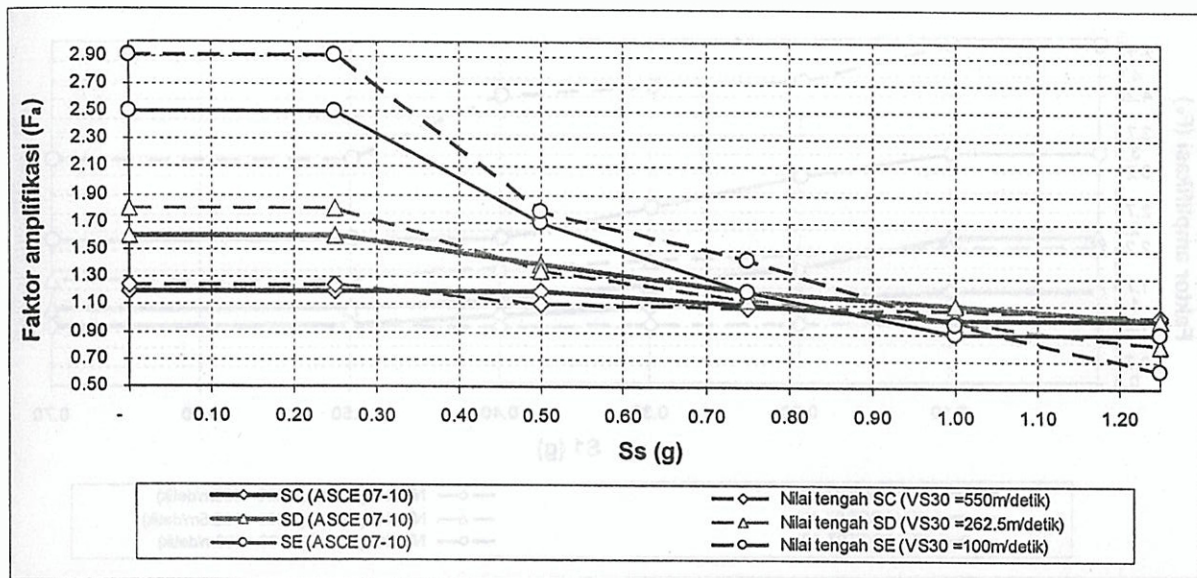
Gambar 3. Kurva perbandingan faktor amplifikasi periode  $T=1$  detik antara ASCE 07-2010 dengan sebaran data hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun



Gambar 4. Kurva perbandingan faktor amplifikasi PGA antara ASCE 07-2010 dengan simplifikasi hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun

Tabel 7. Perbandingan nilai faktor amplifikasi antara ASCE 07-2010 dengan hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun pada setiap rentang PGA

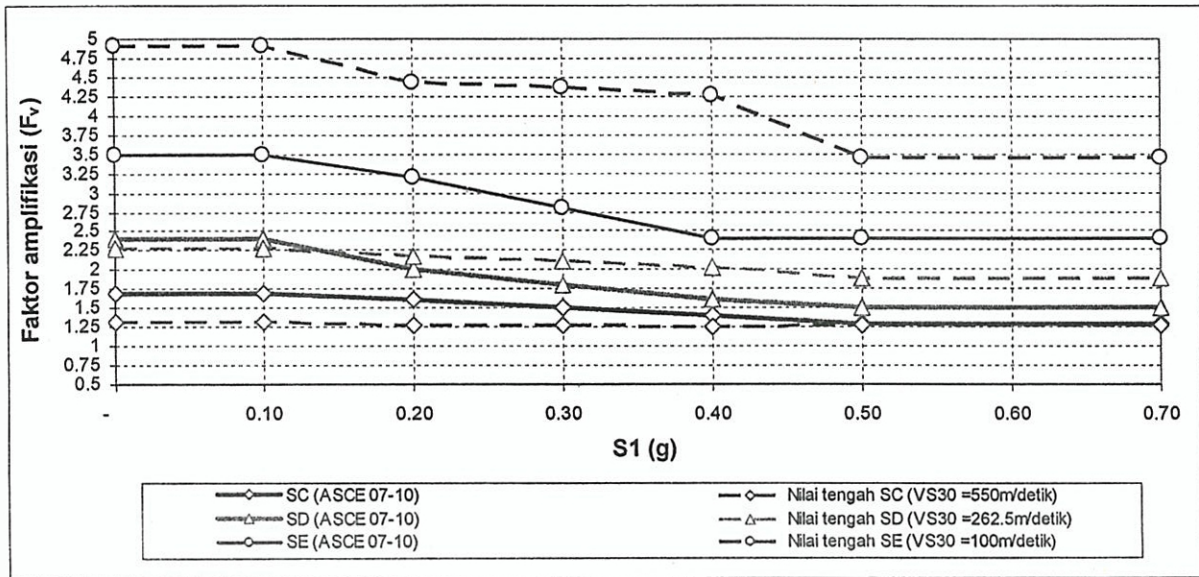
PGA (g)		Faktor amplifikasi (F <sub>PGA</sub> )				
		≤ 0.1	0.2	0.3	0.4	≥ 0.5
Analisis	Batas atas S <sub>C</sub> (VS <sub>30</sub> =750m/detik)	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
	Nilai tengah S <sub>C</sub> (VS <sub>30</sub> =550m/detik)	1.18	1.13	1.09	1.09	1.06
	Batas bawah S <sub>C</sub> (VS <sub>30</sub> =350m/detik)	1.39	1.30	1.24	1.19	1.08
S <sub>C</sub> (ASCE 07-10)		1.20	1.20	1.10	1.00	1.00
<b>Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10</b>		<b>Deviasi (%)</b>				
Deviasi batas atas S <sub>C</sub> terhadap (ASCE 07-10)		-15.83	-16.67	-9.09	0.00	0.00
Deviasi nilai tengah S <sub>C</sub> terhadap (ASCE 07-10)		-1.67	-5.83	-0.91	9.00	6.00
Deviasi batas bawah S <sub>C</sub> terhadap (ASCE 07-10)		15.83	8.33	12.73	19.00	8.00
PGA (g)		Faktor amplifikasi (F <sub>PGA</sub> )				
		≤ 0.1	0.2	0.3	0.4	≥ 0.5
Analisis	Batas atas S <sub>D</sub> (VS <sub>30</sub> =350m/detik)	1.39	1.30	1.24	1.19	1.08
	Nilai tengah S <sub>D</sub> (VS <sub>30</sub> =262.5m/detik)	1.63	1.45	1.32	1.18	1.00
	Batas bawah S <sub>D</sub> (VS <sub>30</sub> =175m/detik)	2.02	1.82	1.59	1.24	0.81
S <sub>D</sub> (ASCE 07-10)		1.60	1.40	1.20	1.10	1.00
<b>Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10</b>		<b>Deviasi (%)</b>				
Deviasi batas atas S <sub>D</sub> terhadap (ASCE 07-10)		-13.13	-7.14	3.33	8.18	8.00
Deviasi nilai tengah S <sub>D</sub> terhadap (ASCE 07-10)		1.87	3.57	10.00	7.27	0.00
Deviasi batas bawah S <sub>D</sub> terhadap (ASCE 07-10)		26.25	30.00	32.50	12.73	-19.00
PGA (g)		Faktor amplifikasi (F <sub>PGA</sub> )				
		≤ 0.1	0.2	0.3	0.4	≥ 0.5
Analisis	Batas atas S <sub>E</sub> (VS <sub>30</sub> =175m/detik)	2.02	1.82	1.59	1.24	0.81
	Nilai tengah S <sub>E</sub> (VS <sub>30</sub> =100m/detik)	2.51	2.12	1.95	1.57	0.93
S <sub>E</sub> (ASCE 07-10)		2.50	1.70	1.20	0.90	0.90
<b>Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10</b>		<b>Deviasi (%)</b>				
Deviasi batas atas S <sub>E</sub> terhadap (ASCE 07-10)		-19.20	7.06	32.50	37.78	-10.00
Deviasi nilai tengah S <sub>E</sub> terhadap (ASCE 07-10)		0.40	24.71	62.50	74.44	3.33



Gambar 5. Kurva perbandingan faktor amplifikasi periode pendek ( $T=0.2$  detik) antara ASCE 07-2010 dengan simplifikasi hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun

Tabel 8. Perbandingan nilai faktor amplifikasi antara ASCE 07-2010 dengan hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun pada setiap rentang  $S_s$

		Faktor amplifikasi ( $F_a$ )				
		$\leq 0.25$	0.5	0.75	1.00	$\geq 1.25$
Analisis	Batas atas $S_c$ ( $VS_{30}=750\text{m/detik}$ )	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
	Nilai tengah $S_c$ ( $VS_{30}=550\text{m/detik}$ )	1.24	1.10	1.08	1.07	1.03
	Batas bawah $S_c$ ( $VS_{30}=350\text{m/detik}$ )	1.48	1.26	1.14	1.06	0.95
Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10		Deviasi (%)				
$S_c$ (ASCE 07-10)		1.20	1.20	1.10	1.00	1.00
Deviasi batas atas $S_c$ terhadap (ASCE 07-10)		-16.00	-17.00	-9.00	0.00	0.00
Deviasi nilai tengah $S_c$ terhadap (ASCE 07-10)		3.00	-8.00	-2.00	7.00	3.00
Deviasi batas bawah $S_c$ terhadap (ASCE 07-10)		23.00	5.00	4.00	6.00	-5.00
		Faktor amplifikasi ( $F_a$ )				
		$\leq 0.25$	0.5	0.75	1.00	$\geq 1.25$
Analisis	Batas atas $S_D$ ( $VS_{30}=350\text{m/detik}$ )	1.48	1.26	1.14	1.06	0.95
	Nilai tengah $S_D$ ( $VS_{30}=262.5\text{m/detik}$ )	1.80	1.35	1.14	0.97	0.82
	Batas bawah $S_D$ ( $VS_{30}=175\text{m/detik}$ )	2.19	1.56	1.08	0.90	0.56
$S_D$ (ASCE 07-10)		1.60	1.40	1.20	1.10	1.00
Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10		Deviasi (%)				
Deviasi batas atas $S_D$ terhadap (ASCE 07-10)		-8.00	-10.00	-5.00	-4.00	-5.00
Deviasi nilai tengah $S_D$ terhadap (ASCE 07-10)		13.00	-4.00	-5.00	-12.00	-18.00
Deviasi batas bawah $S_D$ terhadap (ASCE 07-10)		37.00	11.00	-10.00	-18.00	-44.00
		Faktor amplifikasi ( $F_a$ )				
		$\leq 0.25$	0.5	0.75	1.00	$\geq 1.25$
Analisis	Batas atas $S_E$ ( $VS_{30}=175\text{m/detik}$ )	2.19	1.56	1.08	0.90	0.56
	Nilai tengah $S_E$ ( $VS_{30}=100\text{m/detik}$ )	2.90	1.78	1.43	0.97	0.63
$S_E$ (ASCE 07-10)		2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10		Deviasi (%)				
Deviasi batas atas $S_E$ terhadap (ASCE 07-10)		-12	-8	-10	0	-38
Deviasi nilai tengah $S_E$ terhadap (ASCE 07-10)		16	5	19	8	-30



Gambar 6. Kurva perbandingan faktor amplifikasi periode  $T=1$  detik antara ASCE 07-2010 dengan simplifikasi hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun

Tabel 9. Perbandingan nilai faktor amplifikasi antara ASCE 07-2010 dengan hasil analisis untuk periode ulang 475 tahun pada setiap rentang  $S_1$

		faktor amplifikasi ( $F_v$ )				
		$\leq 0.1$	0.2	0.3	0.4	$\geq 0.5$
Analisis	Batas atas $S_C$ ( $VS_{30}=750\text{m/detik}$ )	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
	Nilai tengah $S_C$ ( $VS_{30}=550\text{m/detik}$ )	1.32	1.27	1.27	1.25	1.26
	Batas bawah $S_C$ ( $VS_{30}=350\text{m/detik}$ )	1.88	1.75	1.74	1.71	1.68
	$S_C$ (ASCE 07-10)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10						
Deviasi (%)						
Deviasi batas atas $S_C$ terhadap (ASCE 07-10)		-41	-37	-33	-28	-22
Deviasi nilai tengah $S_C$ terhadap (ASCE 07-10)		-22	-21	-15	-11	-3
Deviasi batas bawah $S_C$ terhadap (ASCE 07-10)		11	9	16	22	29
		faktor amplifikasi ( $F_v$ )				
		$\leq 0.1$	0.2	0.3	0.4	$\geq 0.5$
Analisis	Batas atas $S_D$ ( $VS_{30}=350\text{m/detik}$ )	1.88	1.75	1.74	1.71	1.68
	Nilai tengah $S_D$ ( $VS_{30}=262.5\text{m/detik}$ )	2.28	2.16	2.11	2.02	1.87
	Batas bawah $S_D$ ( $VS_{30}=175\text{m/detik}$ )	3.2	3.07	3.04	2.87	2.22
	$S_D$ (ASCE 07-10)	2.4	2	1.8	1.6	1.5
Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10						
Deviasi (%)						
Deviasi batas atas $S_D$ terhadap (ASCE 07-10)		-22	-13	-3	7	12
Deviasi nilai tengah $S_D$ terhadap (ASCE 07-10)		-5	8	17	26	25
Deviasi batas bawah $S_D$ terhadap (ASCE 07-10)		33	54	69	79	48
		faktor amplifikasi ( $F_v$ )				
		$\leq 0.1$	0.2	0.3	0.4	$\geq 0.5$
Analisis	Batas atas $S_E$ ( $VS_{30}=175\text{m/detik}$ )	3.2	3.07	3.04	2.87	2.22
	Nilai tengah $S_E$ ( $VS_{30}=100\text{m/detik}$ )	4.92	4.43	4.38	4.27	3.44
	$S_E$ (ASCE 07-10)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Perbandingan antara hasil analisis dan ASCE 07-10						
Deviasi (%)						
Deviasi batas atas $S_E$ terhadap (ASCE 07-10)		-9	-4	9	20	-7
Deviasi nilai tengah $S_E$ terhadap (ASCE 07-10)		41	38	56	78	43

Perbandingan faktor amplifikasi PGA antara analisis dengan ASCE 07-2010 :

- Analisis nilai tengah  $S_c$  dan  $S_D$  menunjukkan hasil yang mendekati nilai rekomendasi ASCE 07-2010 dengan rentang deviasi sebesar -5,83 hingga 10,00%.
- Analisis pada nilai tengah  $S_E$  menunjukkan perbedaan yang sangat besar terutama pada PGA 0,2-0,4g dengan rentang deviasi 24,71 hingga 74,77%.

Perbandingan faktor amplifikasi periode pendek ( $T=0.2$  detik) antara analisis dengan ASCE 07-2010 :

- Analisis nilai tengah  $S_c$  dan  $S_D$  menunjukkan hasil yang mendekati nilai rekomendasi ASCE 07-2010 dengan rentang deviasi sebesar -18,00 hingga 13,00%.
- Analisis pada nilai tengah  $S_E$  menunjukkan perbedaan yang lebih besar dengan rentang deviasi -30.00 hingga 19.00%.

Perbandingan faktor amplifikasi  $T=1$  detik antara analisis dengan ASCE 07-2010 :

- Analisis nilai tengah  $S_c$  dan  $S_D$  memiliki perbedaan yang cukup besar dengan nilai yang direkomendasikan ASCE 07-2010 dengan rentang deviasi sebesar -22.00 hingga 25.00%.
- Analisis pada nilai tengah  $S_E$  menunjukkan perbedaan yang lebih besar dengan rentang deviasi 38.00 hingga 78.00%.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

- a. Analisis yang dilakukan pada makalah ini hanya menggunakan persamaan atenuasi sesar atau *Next Generation Attenuation* (NGA) yang mengakomodasi kecepatan gelombang geser lapisan tanah dengan ketebalan 30 m ( $V_{s30}$ ), sehingga faktor amplifikasi yang dihasilkan tidak mencerminkan faktor amplifikasi sesungguhnya yang mengakomodasi

seluruh sumber gempa (subduksi, sesar dan *background*) dan jenis tanah lokal.

- b. Perbedaan hasil analisis dan ASCE 07-2010 kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan permodelan yang dapat dilakukan, yaitu hanya dapat menggunakan persamaan atenuasi sesar atau *Next Generation Attenuation* (NGA).

### Saran

- a. Untuk mendapatkan faktor amplifikasi yang baik, disarankan untuk melakukan analisis respon dinamik spesifik, dengan melakukan pengujian lapangan (SPT dan  $V_s$ ) yang mewakili jenis tanah  $S_c$ ,  $S_D$  dan  $S_E$ .
- b. Untuk mengetahui faktor amplifikasi sesungguhnya di lapangan, maka perlu dilakukan pemasangan *accelerometer* di batuan dasar dan di permukaan tanah dengan klasifikasi jenis tanah sesuai dengan kategori ASCE-07-2010 dan memantau data percepatan yang terbaca pada kedua alat tersebut untuk mendapatkan faktor amplifikasi sesungguhnya yang terjadi akibat gempa.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers (ASCE). 2010. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. *American Society of Civil Engineers*, No.7: ISBN 978-0-7844-1115-5.
- 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, pp 1703-1729.
- Boore, David M., and Atkinson Gail M. 2006. *Boore-Atkinson provisional NGA empirical ground-motion model for the average horizontal component of PGA, PGV and SA at spectral periods of 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 3, 4, and 5 seconds, v 1.7 (October, 2006)*. Pacific Earthquake

- Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- Campbell, Kenneth W., and Bozorgnia, Yousef. 2006. *Campbell-Bozorgnia NGA Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and SA at Selected Spectral Periods Ranging from 0.01–10.0 Seconds (Version 1.1)*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- Chiou, Brian S.J., and Youngs, Robert 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*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- Kramer, Steven L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall, Inc.
- Mc Guire, R.K. 1976. *FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Analysis*. US Geological Survey Open File Report, pp. 67-76.
- Natawidjaja, Danny. 2000. Neotectonic: of the Sumatran fault. Indonesia: *Journal of Geophysical Research*. Vol.105, No.B12: 28,295-28,326. December 10, 2000.
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. BNPB, AIFDR, RISTEK, DPU, ITB, BMKG, LIPI, ESDM, [http://www.preventionweb.net/files/14654\\_AIFDR.pdf](http://www.preventionweb.net/files/14654_AIFDR.pdf). (accessed February 20, 2011).
- 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, pp. 58-73.
- Zhao. John X, Jian Zhang, Akihiro Asano, Yuki Ohno, Taishi Oouchi, Toshimasa Takahashi, Hiroshi Ogawa, Kojiro Irikura, Hong K. Thio, Paul G. Somerville, Yasuhiro Fukushima, and Yoshimitsu Fukushima. 2006. Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period by, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol 96 No. 3, pp 898-913, June 2006, DOI: 10.1785/0120050122