

Peta Respons Spektrum Provinsi Sumatera Barat untuk Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa

Delfebriyadi

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau-Manis Padang, Sumatera Barat.

E-mail: delfebri@ft.unand.ac.id

Abstrak

Gempa aceh pada bulan Desember 2004 silam telah membuktikan zona sumber gempa subduksi Sumatera mampu menghasilkan magnitude M_w 9,0 yang hampir setara dengan kejadian gempa pada zona subduksi di sekitar kepulauan Mentawai pada tahun 1883. Berdasarkan pertimbangan itu, dilakukan studi analisis hazard kegempaan pada wilayah Provinsi Sumatera Barat berdasarkan kriteria desain yang disyaratkan dalam SNI-1726-2002, yaitu untuk umur bangunan 50 tahun dan nilai kemungkinan terlampaui 10%. Analisa tersebut dilakukan berdasarkan teori probabilitas total dengan memanfaatkan perangkat lunak EQRISK yang dimodifikasi dan menggunakan pemodelan sumber gempa 2-D berdasarkan kajian seismotektonik dan identifikasi regional fault. Respons spektra desain di permukaan tanah diperkirakan berdasarkan faktor amplifikasi yang mengacu pada NEHRP 1997 berdasarkan spektra percepatan di batuan dasar untuk periode 0,2 detik dan 1,0 detik. Hasil akhir yang diperoleh adalah peta spektral percepatan pada lapisan batuan dasar di wilayah Provinsi Sumatera Barat dan respons spektra desain permukaan tanah dengan periode ulang 500 tahun.

Kata-kata Kunci: Teori probabilitas total, respons spektra.

Abstract

The big earthquake event acted in Desember, 2004, shows that the subduction zone of the Sumatran trench is able to produce the magnitude 9,0 which is almost equal with the magnitude of the big earthquake event on Mentawai island in 1883. Therefore, a seismic hazard analysis was conducted on area of province West Sumatera to evaluate the significant code which develops based on SNI-1726-2002, that implements spectral hazard for 10 % probability of exceedance in building life time period of 50 years. The analyses were carried out using 2-D earthquake source model and the seismic hazard analysis software named EQRISK that is based on the total probability theorem. The design response spectrum on site ground surface are approximated by the amplification factor of NEHRP 1997 codes on spectral periods of 0,2 second and 1,0 second. The final result of this study are the spectral acceleration maps on the bedrock of province West Sumatera, and the design response spectrum on site ground surface for return period of 500 years.

Keywords: Total probability theorem response spectrum.

1. Pendahuluan

Letak geografis wilayah Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama; lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Philipina, menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki potensi aktivitas seismik cukup tinggi dan rawan terhadap bahaya gempa. Disebabkan oleh tingginya aktivitas seismik tersebut, maka dalam perencanaan bangunan di Indonesia harus diperhitungkan aspek-aspek kegempaan, disamping tinjauan aspek-aspek pembebanan lainnya. Perkiraan besarnya beban atau percepatan gempa yang handal dalam perencanaan masih dapat dikaji secara lebih

mendalam, mengingat sangat penting dan berpengaruhnya hal tersebut baik melingkupi aspek keamanan maupun efisiensi suatu desain bangunan, tanpa meninggalkan atau bahkan memungkinkan dapat melengkapi atau mengevaluasi peraturan-peraturan standar yang ada.

Makalah ini memaparkan hasil studi terhadap pengaruh peningkatan aktivitas seismik yang terjadi di Sumatera yang direfleksikan dalam peta respons spektrum daerah kajian Sumatera Barat untuk menjembatani kebutuhan pembangunan sarana infrastruktur dan potensi aktivitas seismik yang cukup tinggi pada wilayah ini.

2. Tinjauan Seismotektonik

Dalam kajiannya tentang resiko gempa, perlu diidentifikasi secara geologi dan seismologi adanya beberapa zona sumber gempa aktif yang memiliki potensi dan kontribusi seismik signifikan terhadap wilayah Provinsi Sumatera Barat seperti zona subduksi Sumatera dan zona patahan Semangko.

Zona patahan Semangko merupakan jalur patahan yang terbentuk akibat tabrakan Lempeng Indo Australia yang bergerak dengan kecepatan relatif 50 hingga 60 mm/tahun terhadap lempeng Eurasia yang relatif diam. Keberadaan patahan ini juga berpotensi untuk menyebabkan sejumlah gempa bumi dangkal yang bersifat merusak.

3. Parameter Hazard Kegempaan

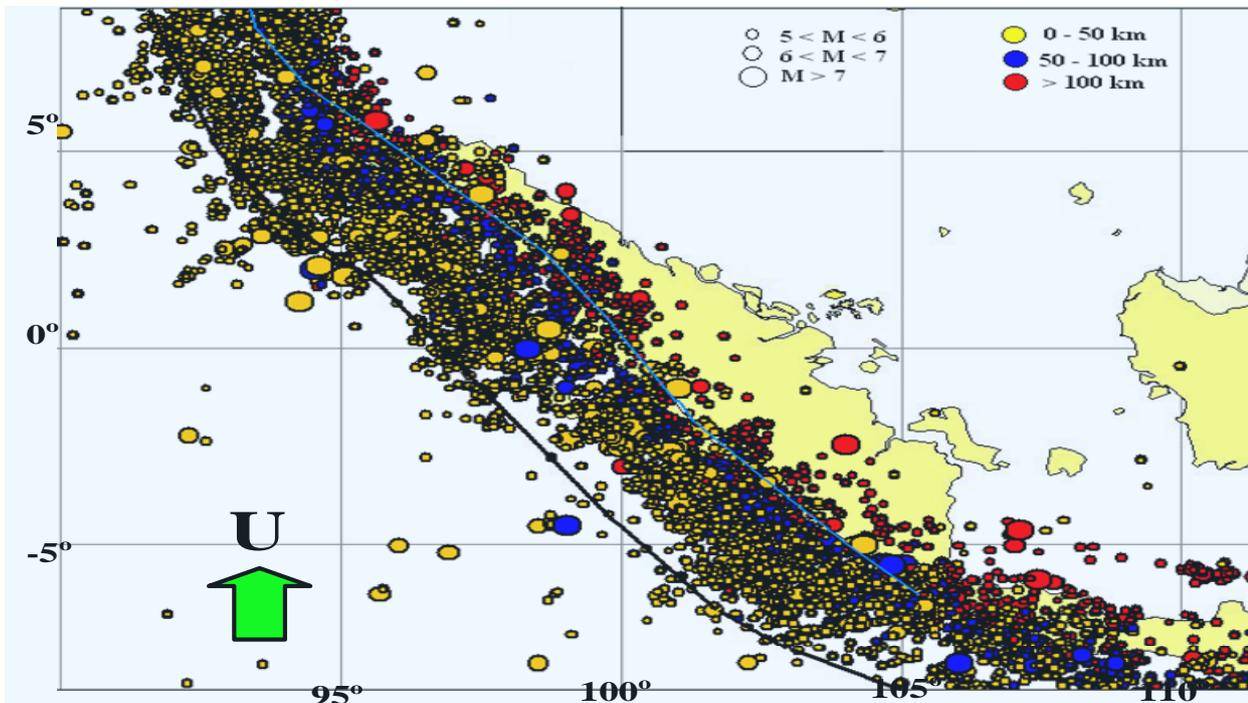
Parameter *hazard* kegempaan dapat menunjukkan aktifitas kegempaan pada suatu wilayah. Parameter *hazard* kegempaan yang digunakan dalam analisis *hazard* kegempaan meliputi: *recurrence rate*, magnitudo maksimum, *slip rate* dan fungsi atenuasi. Sebelum melakukan analisis *hazard* kegempaan, terlebih dahulu perlu dilakukan evaluasi terhadap seluruh data kejadian gempa yang pernah terjadi. Selanjutnya dilakukan pengolahan data gempa, pembuatan model zona sumber gempa, perhitungan *b-value* dan *annual rate*, penentuan magnitudo maksimum dan *slip rate*, serta pemilihan fungsi atenuasi.

3.1 Pengumpulan dan pengolahan data gempa

Data-data kejadian gempa historis diperoleh dari data *preliminary National Earthquake Information Centre-USGS* (NEIC-USGS), *International Seismological Centre* (ISC) dan EHB (Engdahl, van der Hilst and Buland, 1998) untuk periode 1900-2007. Data-data yang berasal dari katalog gempa tersebut perlu dikoreksi dan diproses dengan menggunakan prinsip-prinsip statistik sebelum digunakan dalam analisis untuk mengurangi bias dan mendapatkan hasil yang optimal. Pemisahan kejadian gempa utama dan gempa susulan dilakukan dengan menggunakan kriteria empiris yang diajukan oleh Gardner dan Knopoff (1974). Untuk analisis kelengkapan data gempa digunakan metoda yang diusulkan oleh Stepp (1973). Kejadian gempa dari gabungan katalog tersebut meliputi area mulai 90° BT hingga 112° BT dan 10° LU hingga 8° LS, dan data gempa lengkap dengan magnitudo lebih besar atau sama dengan 5 mulai tahun 1973 hingga 2007.

3.2 Zona sumber gempa dan pemodelannya

Pada studi ini, zona sumber gempa terbagi atas zona gempa-gempa dangkal dan gempa-gempa dalam di sekitar subduksi Sumatera serta zona seismisitas rendah di daratan pulau Sumatera. Data kejadian gempa yang dianggap berpengaruh pada seismisitas di suatu lokasi dalam wilayah kajian diambil dalam suatu zona gempa yang berada pada bentang radius 500 km dari lokasi kajian.



Gambar 1. Sebaran sumber gempa periode 1900-2007 (gabungan katalog NEIC, ISC dan EHB)

Pemodelan zona sumber gempa ditentukan dengan menganalisa sudut penunjaman pertemuan lempeng yang ditujukan untuk memisahkan sumber gempa yang berbeda jenis mekanismenya yang terletak pada area yang sama. Pola penyebaran titik-titik *hypocenter* gempa di sepanjang pola tektonik dapat diperkirakan dengan membagi zona sumber gempa tersebut menjadi beberapa segmen dan mengambil potongan melintang distribusi epicenter sumber gempa pada setiap segmen tersebut.

Parameter a-b didapatkan dari pengelompokan data berdasarkan area sumber gempa dan jenis mekanismenya, dan ditentukan dengan menggunakan model *Gutenberg-Richter recurrent relationship* (Gutenberg dan Richter, 1944) dan dengan model *Maximum Entropy Principle* (Dong et al., 1984).

Pada zona gempa-gempa dangkal di sekitar subduksi Sumatera terhitung sejumlah 91 buah kejadian gempa utama dengan $M_w \geq 5,0$ dalam rentang mulai dari tahun 1973. Kejadian gempa dengan magnitudo terbesar ($M9,0$) terjadi wilayah perairan Aceh pada tanggal 26 Desember 2004, yang juga menimbulkan gelombang tsunami yang memporak-porandakan wilayah daratan di pesisir pantai wilayah Aceh dan sekitarnya. Nilai rata-rata sebesar 0,64 didapatkan untuk memperkirakan *b-value* pada zona ini.

Untuk zona gempa-gempa dalam di sekitar subduksi Sumatera didapatkan sejumlah 130 buah kejadian gempa utama dengan $M_w \geq 5,0$ dalam rentang mulai dari tahun 1973. Kejadian gempa dengan magnitudo terbesar ($M7,0$) pada rentang tahun pengamatan itu juga terjadi wilayah Aceh pada bulan April 1983. Nilai rata-rata sebesar 1,03 didapatkan untuk memperkirakan *b-value* pada zona ini.

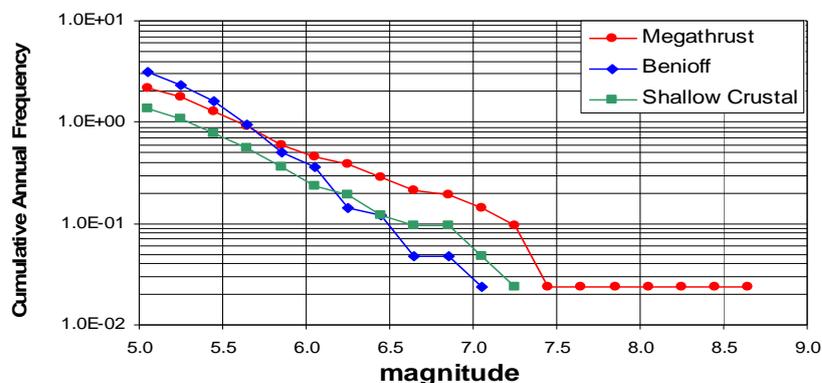
Zona patahan Sumatera tidak seproduktif zona subduksi Sumatera dalam menghasilkan gempa-gempa yang signifikan. Dalam zona ini diperoleh 58 buah kejadian gempa utama dengan $M_w \geq 5,0$ dalam rentang mulai dari tahun 1973. Nilai magnitudo terbesar pada rentang tahun pengamatan itu adalah $M7,2$ dan nilai *b-*

value diperkirakan sebesar 0,75 didapatkan dari perhitungan regresi.

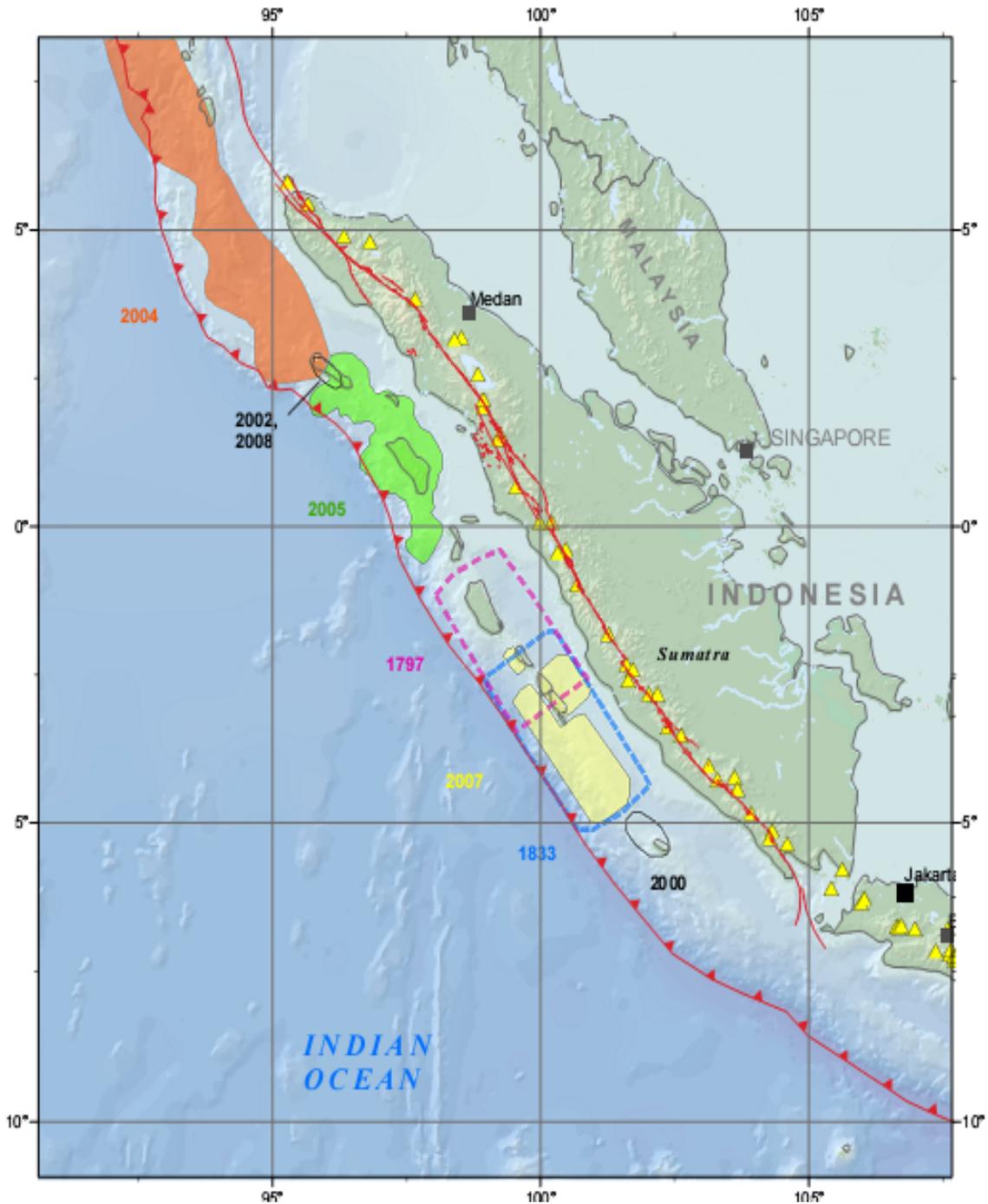
Pemodelan pada zona subduksi Sumatera dilakukan berdasarkan zona *rupture* pada perairan barat Sumatera pada kejadian-kejadian gempa utama dan gempa susulan di tahun 1797, 1833, dan bentang pengamatan tahun 2000 sampai 2008. Magnitudo maksimum diambil berdasarkan kejadian gempa Aceh (2004) yaitu sebesar $M9,0$. Sedangkan, pemodelan pada zona patahan Sumatera dilakukan dengan mengasumsikan kejadian gempa dengan $M7,9$ dapat terjadi dimana saja di sepanjang patahan. Permodelan pada zona patahan ini mengikuti segmen-segmen patahan berdasarkan hasil penelitian Sieh dan Natawidjaja (2000). Untuk memodelkan sumber gempa yang tidak terdefinisi dalam peta gempa maupun sumber gempa yang tercantum dalam peta gempa dengan magnitudo yang relatif kecil, dipergunakan model grid berdasarkan pada nilai *rate* kejadian gempa yang diperhalus (*spatially smoothed seismicity*) dengan menggunakan model 2D dalam bentang radius 25 km dari tiap titik-titik lokasi tinjauan. Nilai magnitudo maksimum untuk gempa-gempa dangkal ini diambil sebesar $M6,5$ dan nilai *b-value* diperkirakan sebesar 0,7.

3.3 Fungsi atenuasi

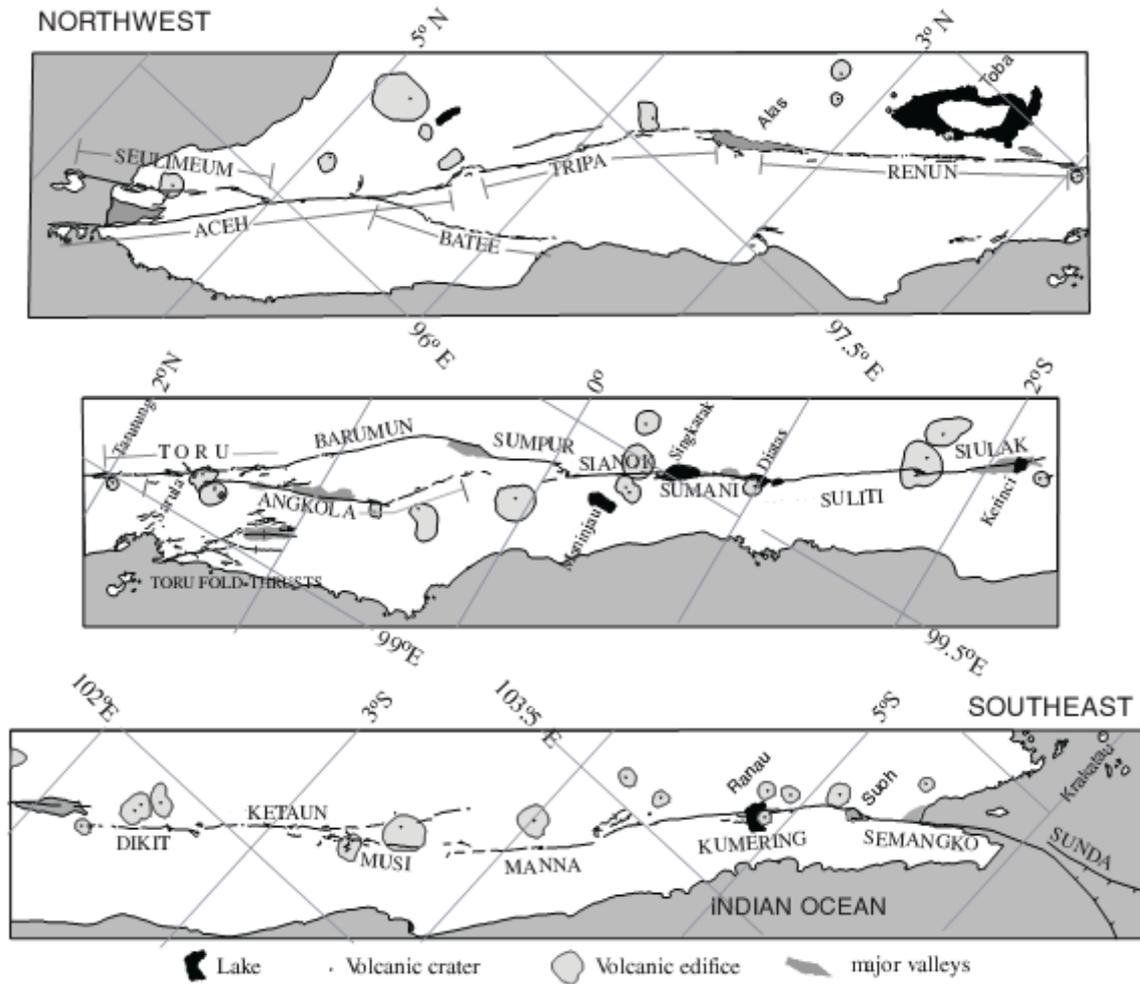
Beberapa fungsi atenuasi telah dipublikasikan oleh sejumlah peneliti berdasarkan rekaman percepatan gempa yang pernah terjadi dan kondisi *site* kajiannya. Akan tetapi, hingga saat ini belum ada fungsi atenuasi yang penelitiannya dikhususkan pada kondisi geologi dan seismotektonik untuk wilayah Indonesia, sehingga dalam analisis resiko gempa yang dilakukan, digunakan fungsi atenuasi yang diperoleh dari wilayah lain yang memiliki kemiripan tektonik dan geologi dengan wilayah Indonesia. Fungsi atenuasi yang dipakai pada studi ini adalah persamaan yang dikemukakan oleh Young et al (1997) untuk jenis sumber gempa pada area subduksi dan persamaan yang dikemukakan oleh Boore et al (1997) untuk jenis gempa *strike slip* pada area *shallow crustal*.



Gambar 2. Frekuensi kejadian gempa kumulatif



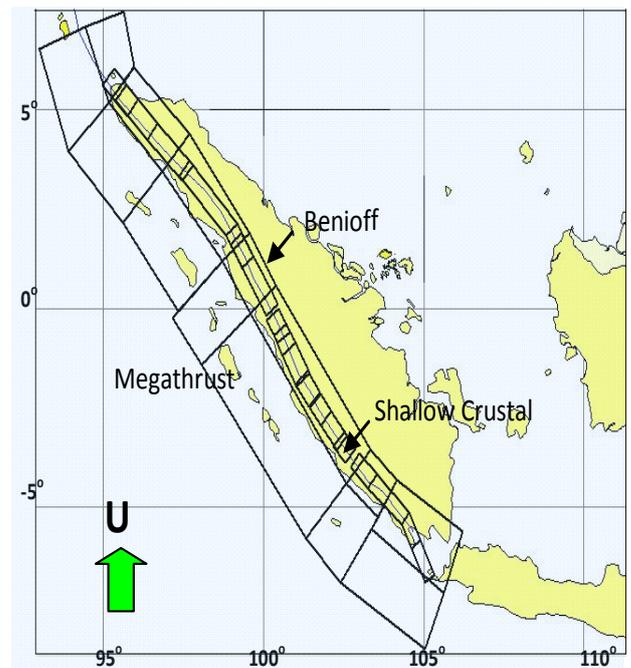
Gambar 3. Zona *rupture* pada perairan barat Sumatera: 1797, 1833, dan 2000-2008 (Briggs, Rich, 2007)



Gambar 4. Segmentasi pada patahan Sumatera (Sih dan Natawidjaja, 2000)

Tabel 1. Pembagian segmen pada patahan Sumatera dan nilai *slip-ratenya*

Segmen	<i>Slip rate</i>		<i>Slip rate</i> (mm/tahun)
	(mm/tahun)	Segmen	
Sunda	11	Sumani	11
Semangko	11	Sianok	11
Kumering	11	Sumpur/ Barumun	23
Manna	11	Toru	27
Musi	11	Renun	27
Ketaun	11	Tripa	27
Dikit	11	Aceh	27
Siulak	11	Seulimeum	27
Suliti	11		



Gambar 5. Pemodelan sumber gempa

4. Analisis Resiko Gempa

Analisis resiko gempa dimulai dengan mengembangkan model matematik yang akan digunakan untuk memperkirakan kemungkinan kejadian gempa dalam *level* skala *magnitude* atau intensitas tertentu pada interval periode ulang untuk suatu daerah tertentu. Analisis ini menghasilkan parameter desain seismik seperti percepatan maksimum dan kecepatan maksimum yang dapat terlampaui untuk probabilitas serta periode ulang tertentu. Pada makalah ini, percepatan gempa di batuan dasar diperoleh dari hasil analisis yang dilakukan dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) menggunakan program EQRISK (McGuire, 1976) yang telah dimodifikasi.

Probabilitas bahwa suatu *ground motion* a melebihi suatu nilai tertentu a^* dihitung untuk sebuah potensi gempa pada satu lokasi sumber gempa tertentu dan kemudian dikalikan dengan probabilitas bahwa suatu gempa dengan *magnitude* tertentu akan terjadi pada lokasi tersebut. Perhitungan tersebut dilakukan sebanyak beberapa kali hingga semua kemungkinan *magnitude* dan lokasi kejadian sumber gempa terpenuhi. Dengan mengasumsikan bahwa *magnitude* M dan jarak R adalah variabel acak yang independen, maka probabilitas terlampaui dapat dituliskan dalam bentuk integrasi persamaan berikut:

$$P_{(a \geq a^*)} = \int_M \int_R \{P_{(a \geq a^*; m, r)} \cdot f_M(m) f_R(r)\} dr dm \tag{1}$$

Dimana:

f_M = fungsi distribusi dari *magnitude*.

f_R = fungsi distribusi dari jarak.

$P(a \geq a^*; m, r)$ = probabilitas berkondisi dari intensitas a yang sama atau lebih besar dari intensitas a^* di suatu lokasi dengan kekuatan gempa M dan jarak sumber R yang diperoleh dari fungsi atenuasi.

Jika *site* yang ditinjau berada dalam suatu daerah dengan beberapa sumber gempa (N_s) dimana setiap sumber gempa memiliki *rate* untuk *threshold magnitude* yang terlampaui sebesar $v = \exp[\alpha - \beta \cdot m_0]$, maka total kejadian gempa terlampaui untuk daerah tersebut adalah:

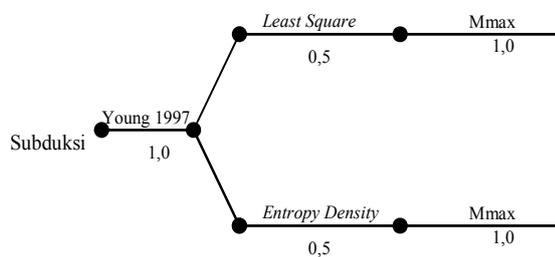
$$\lambda(a \geq a^*) = \sum_{i=1}^{N_s} v_i \cdot P(a \geq a^*) \tag{2}$$

Periode ulang dari parameter gerakan tanah terlampaui adalah sebanding dengan perbandingan terbalik dari kejadian gempa tahunan. Hasil akhir dari PSHA diekspresikan dalam bentuk parameter-parameter probabilitas terlampaui gerakan tanah $M \geq m$ untuk suatu periode desain ($P_{(t \text{ tahun})} = 1 - e^{-\lambda(M) \cdot t}$), kejadian gempa tahunan ($\lambda_{(M)}$) dan periode ulang desain (T_R).

Logic tree digunakan untuk menentukan pembobotan pada masing-masing parameter yang dipergunakan dan untuk mengatasi nilai ketidak-pastian pada analisis resiko gempa dengan menggunakan metode probabilitas. Untuk kasus ini digunakan distribusi *magnitude* dengan metode *least square* dan *maximum entropy density*, dan satu nilai *magnitude* maksimum dari masing-masing sumber gempa yang dipertimbangkan untuk kebutuhan analisa. Pembobotan tiap parameter dari masing-masing sumber gempa ditetapkan dan terlihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.

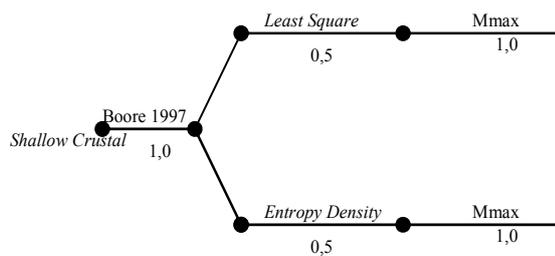
Pada awalnya, percepatan tanah puncak (PGA) lebih sering digunakan untuk mengukur parameter gerakan tanah dalam analisis resiko gempa untuk berbagai tujuan untuk mengkarakterisir potensial kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi. Akan tetapi, PGA kadang kala tidak memberikan korelasi yang baik terhadap ukuran potensi kerusakan akibat gempa bumi, sehingga saat ini mulai dialihkan pada alternatif penggunaan besaran frekuensi yang lainnya sebagai pengukuran.

Attenuation function	Recurrence Model	Maximum Magnitude
----------------------	------------------	-------------------



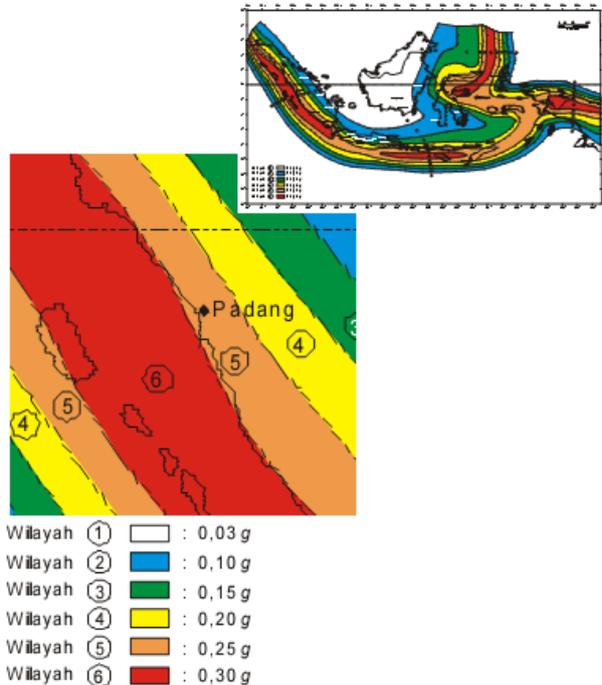
Gambar 6. Formulasi Logic tree untuk sumber gempa Subduksi

Attenuation function	Recurrence Model	Maximum Magnitude
----------------------	------------------	-------------------

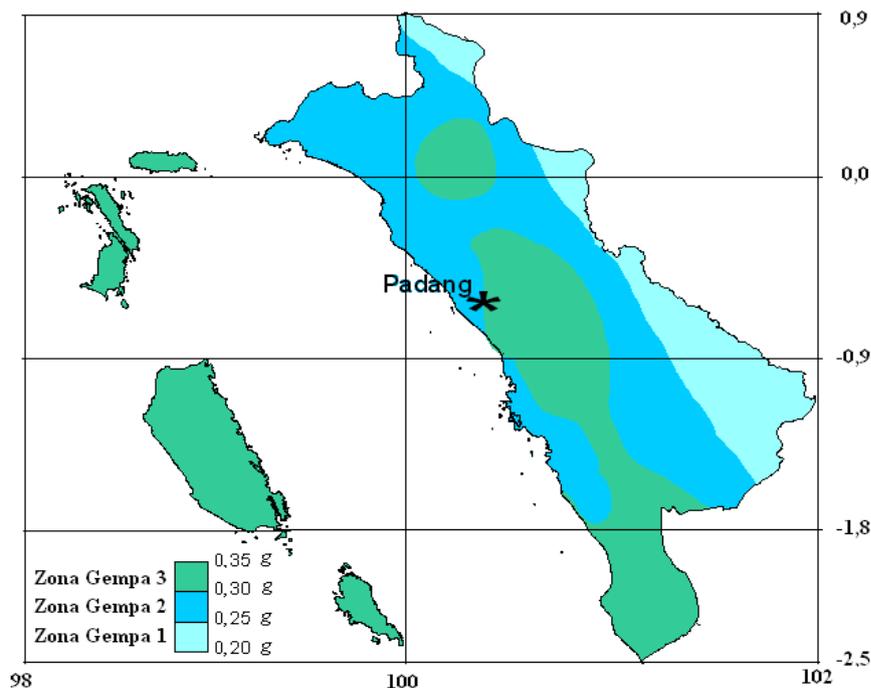


Gambar 7. Formulasi Logic tree untuk sumber gempa Shallow Crustal

Gambar 9, 10 dan 11 berturut merupakan hasil dari analisis *hazard* kegempaan berdasarkan studi yang telah dilakukan dengan menggunakan bantuan program EQRISK yang telah dimodifikasi yang ditampilkan ke dalam bentuk peta spektral percepatan dengan periode spektral yang beragam.



Gambar 8. Peta Percepatan maksimum di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun di wilayah propinsi Sumatera Barat (SKSNI-1726-2002)



Gambar 9. Peta percepatan maksimum di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun wilayah propinsi Sumatera Barat

5. Respon Spektra di Permukaan Tanah

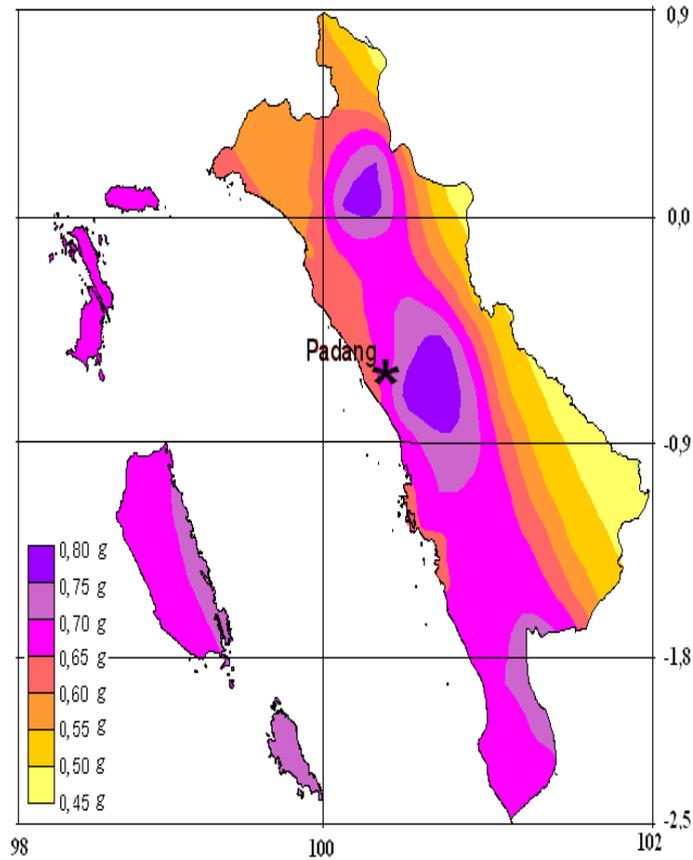
5.1 Kondisi tanah lokal

Kondisi tanah lokal diklasifikasikan berdasarkan parameter kecepatan gelombang geser rata-rata (V_s), N_{-SPT} ataupun kuat geser niralir rata-rata (S_u) pada tanah hingga kedalaman 30 m dari permukaan tanah dan dianalisis menurut 3 (tiga) kelas tanah, yaitu:

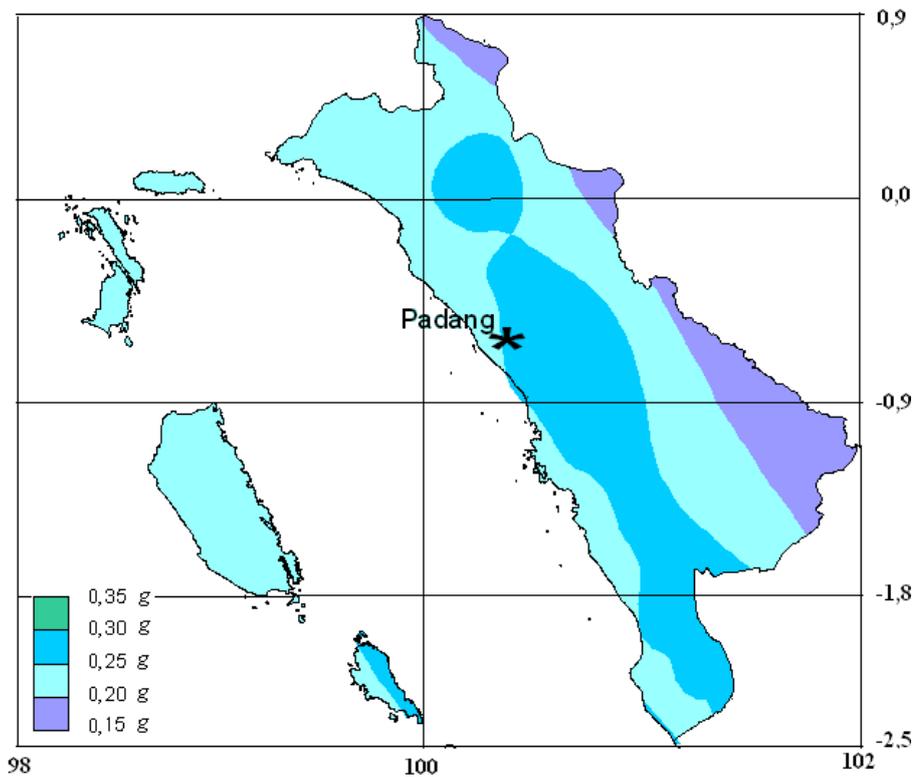
1. Batuan lunak atau tanah keras (*very dense soil and soft rock*). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser $360 \text{ m/dt} < v_s \leq 760 \text{ m/dt}$, atau $N_{-SPT} > 50$, atau $S_u \geq 100 \text{ kpa}$.
2. Tanah sedang (*stiff soil profile*). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser sebesar $180 < v_s \leq 360 \text{ m/dt}$, atau $15 \leq N_{-SPT} \leq 50$, atau $50 \text{ kpa} \leq S_u \leq 100 \text{ kpa}$.
3. Tanah lunak (*soft soil profile*). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser sebesar $v_s \leq 180 \text{ m/dt}$, atau lempung dengan indeks plastisitas (PI) $> 20\%$, $w \geq 40\%$, atau $S_u < 25 \text{ kpa}$.

5.2. Respons spektra desain

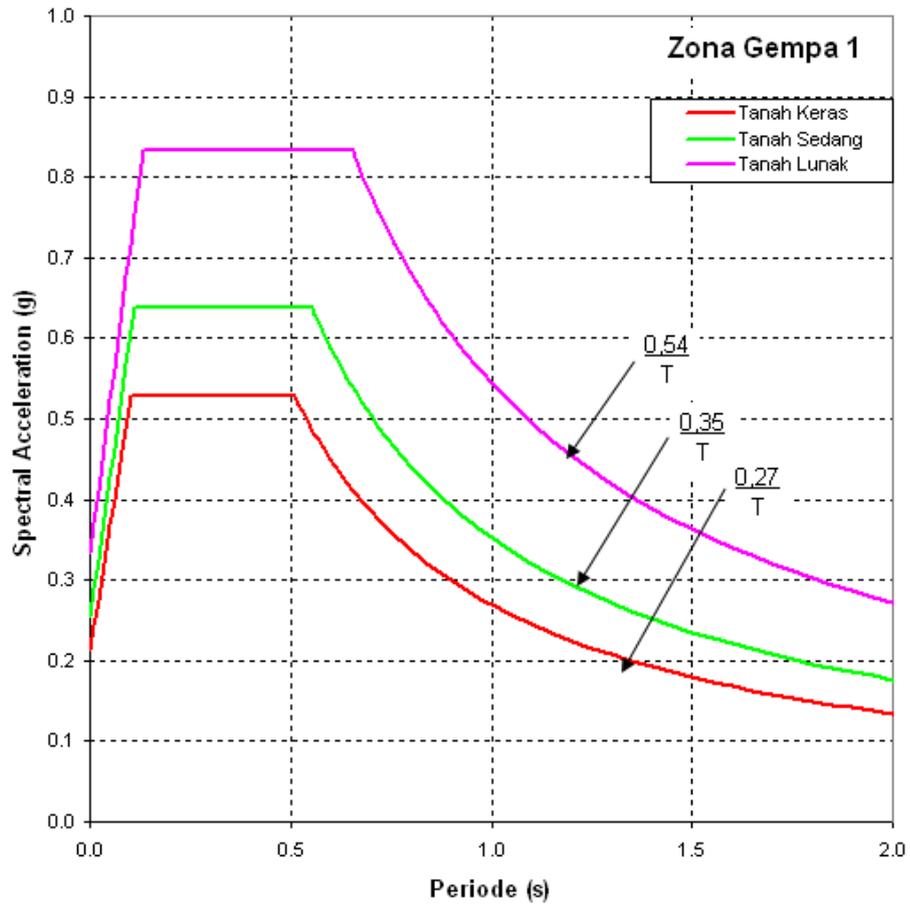
Respons spektra desain di permukaan tanah diperkirakan berdasarkan faktor amplifikasi yang mengacu pada rekomendasi peraturan NEHRP 1997 yang ditentukan berdasarkan spektral percepatan di batuan dasar untuk periode 0,2 detik dan 1,0 detik. Pembagian zona gempa ditetapkan berdasarkan bentang nilai percepatan tanah puncak yang bisa dilihat pada Gambar 9.



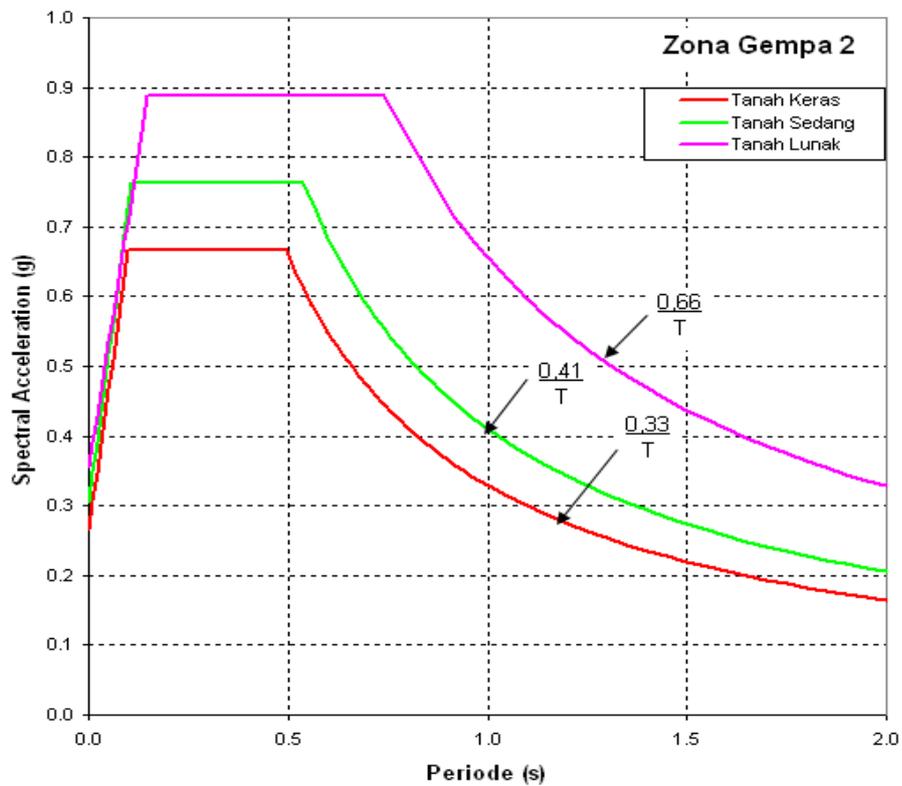
Gambar 10. Peta spektral percepatan periode 0,2 detik di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun wilayah propinsi Sumatera Barat



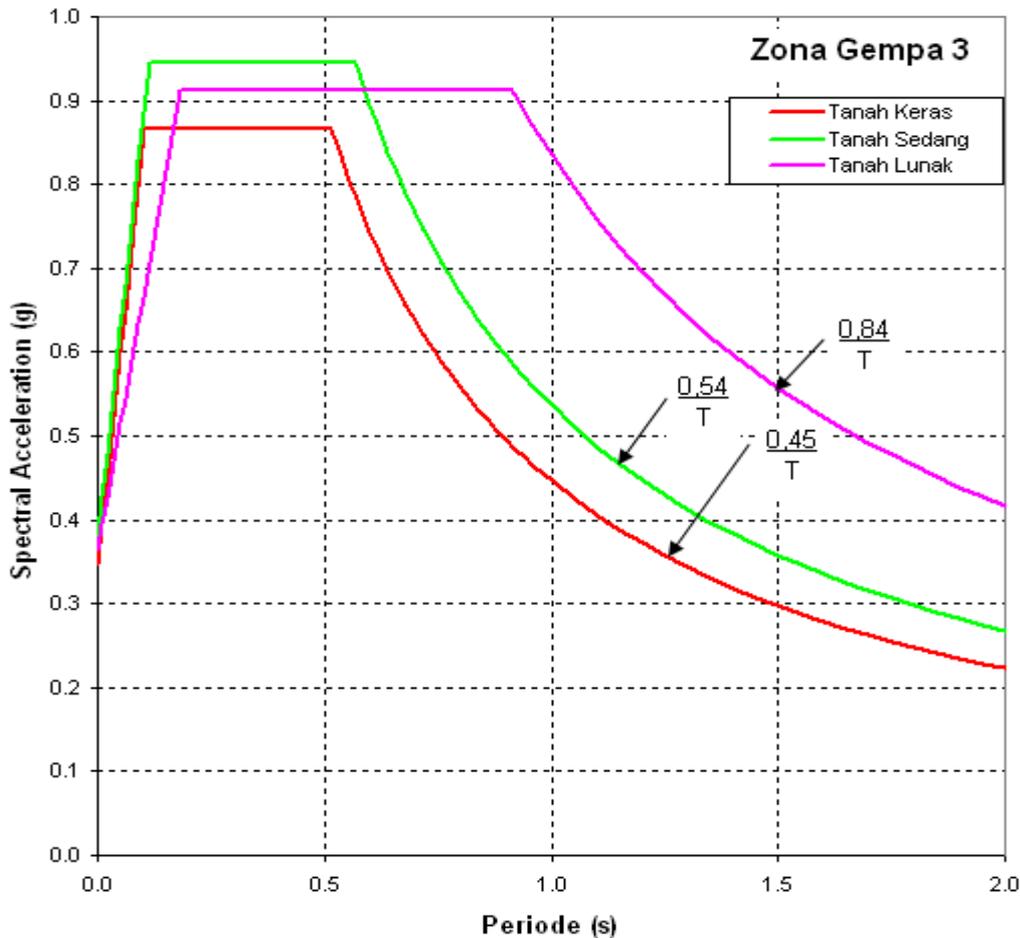
Gambar 11. Peta spektral percepatan periode 1,0 detik di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun wilayah propinsi Sumatera Barat



Gambar 12. Respons spektra percepatan desain zona gempa 1 untuk periode ulang 500 tahun



Gambar 13. Respons spektra percepatan desain zona gempa 2 untuk periode ulang 500 tahun



Gambar 14. Respons spektra percepatan desain zona gempa 3 untuk periode ulang 500 tahun

6. Kesimpulan

Dari hasil analisa *hazard* kegempaan yang telah dikerjakan, terdapat kenaikan tingkat seismisitas pada wilayah propinsi Sumatera Barat jika dibandingkan dengan tingkat seismisitas pada peta gempa SNI-1726-2002. Perbandingan ini bisa dilihat pada peta sebaran nilai percepatan maksimum di batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun di wilayah tersebut (**Gambar 8** dan **Gambar 9**).

Peta spektral percepatan dari beberapa periode spektral perlu dikembangkan untuk mengkondisikan peraturan-peraturan baru yang dikembangkan belakangan ini dalam cakupan internasional.

Daftar Pustaka

- Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E., 1997, *Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work*, Seismological Research Letters 68, 128–153.
- Briggs, Rich, 2007, *2007 Sumatra, Indonesia, Earthquakes*, EERI Newsletter, Vol. 41, No. 10.
- Dong, W.M., Bao, A.B., Shah, H.C., 1984, *Use of Maximum Entropy Principle in Earthquake Recurrence Relationship*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 74, No. 2, pp. 725-737.
- Engdahl, E.R., Van der Hilst and Bulland, R., 1998, *Global Teleseismic Earthquake Relocation With Improved Travel Times and Procedures for Depth Determination*, Bulletin of the Seismological Society of America, 88.
- Federal Emergency Management Agency, 1997, *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Buildings and Other Structures*, Washington, DC: Part 1, Provisions, FEMA 302, Prepared by Building Seismic Safety Council, 337 p.
- Gardner, J.K., Knopoff, L., 1974, *Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with After-Shocks Removed, Poissonian ?*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 64, No. 5, pp. 1363-1367.

- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1944, *Frequency of Earthquakes in California*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 34, No. 4, pp. 185–188.
- McGuire, R., 1976, *Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis*, Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- National Earthquake Information Center, 2005, *Magnitude 9.0 off the West Coast of Northern Sumatra - Sunday December 26, 2004 at 00:58:53 Coordinated Universal Time*, United States Geological Survey, February 15th
- Sieh, K., Natawidjaja, D., 2000, Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia: *Journal of Geophysical Research*, 105, 28295–28326.
- Standar Nasional Indonesia, 2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*, Badan Standardisasi Nasional.
- Stepp, J.C., 1973, *Analysis of the Completeness of the Earthquake Hazard Sample in the Puget Sound Area*, NOAA Technical Report, ERL 267-ESL 30, Boulder, CO, pp. 16-28.
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J., 1994, *New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*, Bulletin of the Seismological Society of America 84, 974-1002.
- 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 68, 58–73.

