# RESPONS SPEKTRA WILAYAH BUKITTINGGI UNTUK STUDI PERENCANAAN JEMBATAN *CABLE STAYED* NGARAI SIANOK

# Delfebriyadi

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas Email :delfebri @ ft.unand.ac.id

# ABSTRAK

Peraturan perencanaan teknik jembatan Bridge Management System (BMS) mensyaratkan kriteria umur rencana desain untuk jembatan khusus sebesar 100 tahun. Dengan mengakomodasi International Building Code 2006, maka untuk umur rencana desain 100 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 2% didapatkan perioda ulang gempa desain jembatan sebesar 4950 tahun. Berdasarkan kriteria itu, dilakukan studi analisis hazard kegempaan dengan melakukan suatu teknik analisis resiko gempa terhadap wilayah kota Bukittinggi dengan menerapkan teori probabilitas total dengan memanfaatkan perangkat lunak EQRISK yang telah 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 IBC 2006 berdasarkan spektra percepatan di batuan dasar untuk periode 0,2 detik dan 1,0 detik. Hasil akhir yang diperoleh adalah respons spekra percepatan desain permukaan tanah di lokasi kajian untuk periode ulang 4950 tahun.

Kata-kata kunci : teori probabilitas total, respons spektra

# 1. PENDAHULUAN

Koto Gadang, yang terletak di sebelah barat Bukittinggi, sangat potensial akan potensi kepariwisataannya. Untuk sampai ke kota tersebut, masih harus mengaksesnya melalui daerah Padang Luar akibat kendala kondisi geografis berupa lembah-lembah yang dalam dan lebar. Maka, dibutuhkan pembangunan jenis jembatan berbentang panjang yang akan membentang melintasi Ngarai Sianok sehingga dapat mempersingkat akses transportasi wilayah Bukittinggi – Koto Gadang.

Jembatan *cable stayed* sangat ideal untuk jembatan bentang menengah dan panjang, yang membutuhkan suatu ruang bebas yang lebar dibawah gelagar dan antar pilar-pilarnya, melewati jurang yang dalam dan lebar ataupun jembatan penyeberangan dengan kondisi setempat yang tidak memungkinkan untuk menggunakan jembatan konvensional. Secara teknis, alternatif teknologi ini merupakan suatu konsep yang menguntungkan untuk diterapkan pada pembangunan jembatan yang menghubungkan kota Bukit tinggi dan Koto Gadang tersebut.

Berdasarkan kriteria umur rencana peraturan perencanaan teknik jembatan *Bridge Management System* (BMS), maka jenis jembatan tersebut termasuk kategori 1.2.3.ii, yaitu jembatan khusus yang ditentukan oleh yang berwenang sebagai jembatan luar biasa penting bagi perekonomian atau jembatan yang strategis, sehingga umur rencana desain jembatan tersebut adalah 100 tahun. Mengakomodasi *International Building Code* 2006, maka untuk umur rencana desain 100 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 2% didapatkan perioda ulang gempa untuk desain jembatan adalah 4950 tahun.

Peta-peta gempa yang telah terpublikasi di tahun 1999 dan 2002 menggunakan umur rencana desain 50 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 5%. Sehingga perlu dilakukan analisis resiko gempa dan pembuatan respons spektra desain pada lokasi jembatan ini untuk mengakomodasi ketidaktersediaannya peta gempa Indonesia yang memenuhi kriteria desain yang disyaratkan dalam *Bridge Management System* dan *International Building Code* 2006.

# 2. TINJAUAN SEISMOTEKTONIK

Dalam kajiannya tentang resiko gempa, perlu diidentifikasikan secara geologi dan seismologi adanya beberapa zona sumber gempa aktif yang memiliki potensi dan kontribusi seismik signifikan terhadap wilayah kota Bukittinggi 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*, magnitude 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 magnitude 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 (NEIC-USGS), Centre-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 magnitude 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. 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 disepanjang 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 meng-gunakan model *Guttenberg-Richter recurrent relationship* (Gutenberg dan Richter, 1944) dan dengan model *Maximum Entropy Principle* (Dong et al., 1984).





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

Pada zona gempa-gempa dangkal di sekitar subduksi Sumatera terhitung sejumlah 91 buah kejadian gempa utama dengan  $M_w > 5,0$  dalam rentang mulai dari tahun 1973. Kejadian gempa dengan magnitude 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 *bvalue* pada zona ini.

Untuk zona gempa-gempa dalam di sekitar subduksi Sumatera didapatkan sejumlah 130 buah kejadian gempa utama dengan  $M_w > 5,0$  dalam rentang mulai dari tahun 1973. Kejadian gempa dengan magnitude 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 gempagempa yang signifikan. Dalam zona ini diperoleh 58 buah kejadian gempa utama dengan  $M_w > 5,0$  dalam rentang mulai dari tahun 1973. Nilai magnitude terbesar pada rentang tahun pengamatan itu adalah M7,2 dan nilai *b-value* diperkirakan sebesar 0,75 didapatkan dari perhitungan regresi.



Gambar 2. Frekuensi kejadian gempa kumulatif

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. Magnituda 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 magnitude 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 magnitude maksimum untuk gempa-gempa dangkal ini diambil sebesar M6,5 dan nilai b-value diperkirakan sebesar 0,7.



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



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

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

Segmen	<i>Slip rate</i> (mm/tahun)	Segmen	<i>Slip rate</i> (mm/tahun)
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

#### 3.3 Fungsi Atenuasi

Beberapa fungsi ateunasi telah dipublikasikan oleh sejumlah peneliti berdasarkan rekaman percepatan gempa yang pernah terjadi dan kondisi *site* lokasi 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 R.R.Young et al (1997) untuk jenis sumber gempa pada area subduksi dan persamaan yang dikemukakan oleh R.R. Boore et al (1997) untuk jenis gempa *strike slip* pada area *shallow crustal*.

#### 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 menggunakan program EQRISK yang telah dimodifikasi.

Probabilitas bahwa suatu ground motion **a** melebihi suatu nilai tertentu  $\mathbf{a}^*$  dihitung untuk suatu potensi gempa pada suatu lokasi sumber gempa tertentu dan kemudian dikalikan dengan probabilitas bahwa suatu gempa dengan magnitude tertentu akan terjadi pada lokasi tersebut. Dengan mengasumsikan bahwa magnitude M dan jarak R adalah variabel acak independen yang kontinus, maka probabilitas terlampaui dapat dituliskan dalam bentuk integrasi persamaan berikut :

$$P_{(a \ge a^*)} = \int_M \int_R P_{(a \ge a^*;m,r)} f_{M(m)} f_{R(r)} dr dm \dots 1$$

dimana :

 $f_M =$  fungsi distribusi dari magnituda.

 $f_R$  = fungsi distribusi dari jarak.

 $P(a \ge a^*; m, r) =$  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 ateunasi.

Jika site yang ditinjau berada dalam suatu daerah dengan beberapa sumber gempa (N<sub>s</sub>) dimana setiap sumber memiliki *rate* untuk *threshold magnitude* sebesar  $v = \exp[\alpha - \beta . m_o]$ , maka total kejadian gempa terlampaui untuk daerah tersebut adalah ;

Periode ulang dari parameter gerakan tanah terlampaui adalah sebanding dengan perbandingan

ISSN: 0854-8471

dari PSHA diekspresikan dalam bentuk parameterparameter probabilitas terlampaui gerakan tanah  $M \ge m$  untuk suatu periode desain ( $P_{(t \ tahun)} = 1 - e^{\lambda(M) \cdot t}$ ), 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 untuk mengatasi nilai ketidak-pastian pada analisis resiko gempa dengan menggunakan metode probabilitas.



Gambar 7. Formulasi Logic tree untuk sumber gempa Shallow Crustal

Gambar 8 memperlihatkan hasil perhitungan resiko gempa berupa spektral percepatan (SA) di batuan dasar pada lokasi kajian untuk suatu periode ulang pada beberapa perioda spektral. Untuk periode ulang 4950 tahun di wilayah Bukittinggi didapatkan *peak ground acceleration* (PGA) di batuan dasar sebesar 0,57g, SA untuk T= 0,2 detik sebesar 1,30g, dan SA untuk T= 1,0 detik sebesar 0,56g.



Gambar 8. Spektral percepatan di batuan dasar pada lokasi kajian untuk periode ulang tertentu

### 5. RESPONS SPEKTRA DI PERMUKAAN TANAH

# 5.1. Kondisi Tanah Lokal

Kondisi tanah lokal dapat diklasifikasikan berdasarkan parameter kecepatan gelombang geser rata-rata ( $V_S$ ),  $N_{-SPT}$  atau  $S_u$  pada tanah hingga kedalaman 10 feet dari permukaan tanah dan dianalisis menurut 3 (tiga) kelas tanah, yaitu:

- 1. Site class C (very dense soil and soft rock). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser 1200 ft/dt <  $v_s \le 2500$  ft/dt, atau N-<sub>SPT</sub> > 50, atau S<sub>u</sub>  $\ge 2000$  psf.
- Site class D (stiff soil profile). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser sebesar 600 ft/dt < v<sub>s</sub> ≤ 1200 ft/dt, atau 15 ≤ N-<sub>SPT</sub> ≤ 50, atau 1000 psf ≤ Su ≤ 2000 psf.
- Site class E (soft soil profile). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser sebesar v<sub>s</sub> ≤ 600 ft/dt, atau lempung dengan PI > 20, w ≥ 40%, atau S<sub>u</sub> < 1000 psf.</li>

#### 5.2. Respons Spektra Desain

Respons spektra desain di permukaan tanah diperkirakan berdasarkan faktor amplifikasi yang mengacu pada IBC 2006 berdasarkan spektra percepatan di batuan dasar untuk periode 0,2 detik dan 1,0 detik.



Bukittinggi untuk periode ulang 4950 tahun

# 6. KESIMPULAN

- 1. Percepatan tanah puncak di lapisan batuan dasar dengan periode ulang 4950 tahun untuk wilayah Bukittinggi adalah sebesar 0.57g.
- Respons spektra desain di permukaan lokasi jembatan dengan periode ulang 4950 tahun untuk *site class* C memberikan percepatan desain sebesar 1.3g untuk periode singkat (0.2 detik), sedangkan untuk periode 1 detik didapatkan percepatan desain sebesar 0.73g.
- Respons spektra desain di permukaan lokasi jembatan dengan periode ulang 4950 tahun untuk *site class* D memberikan percepatan desain sebesar 1.3g untuk periode singkat (0.2 detik), sedangkan untuk periode 1 detik didapatkan percepatan desain sebesar 0.84g.
- Respons spektra desain di permukaan lokasi jembatan dengan periode ulang 4950 tahun untuk *site class* E memberikan percepatan desain sebesar 1.2g untuk periode singkat (0.2 detik), sedangkan untuk periode 1 detik didapatkan percepatan desain sebesar 1.2g.

# DAFTAR PUSTAKA

- Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E., 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, 1997.
- Bridge Management System (BMS), *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*, Jilid 1, Departemen Pekerjaan Umum.
- 3. Briggs, Rich, 2007 Sumatra, Indonesia, Earthquakes, EERI Newsletter, V 41, N 10, 2007.
- 4. Delfebriyadi, Analisis dan Desain Struktur Atas Jembatan Cable Stayed Ngarai Sianok, Tugas Akhir, Jurusan Sipil Universitas Andalas, 2004.

- Dong, W. M., Bao, A. B., Shah, H. C., Use of Maximum Entropy Principle in Earthquake Recurrence Relationship, Bulletin of the Seimological Society of America, Vol. 74, No. 2, pp. 725-737, 1984.
- Gardner, J.K., Knopoff, L., Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks removed, Poissonian ?, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 64, No. 5, pp. 1363-1367, 1974.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., Frequency of Earthquakes in California, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 34, No. 4, pp. 185–188, 1944.
- 8. International Building Code (IBC), 2006 Edition.
- McGuire, R., Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis, Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey, 1976.
- Sieh, K., Natawidjaja, D., Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia, Journal of Geophysical Research, 105, 28295–28326, 2000.
- Stepp, J.C., 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, 1973.
- Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., Humphrey, J.R., Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes, Seismological Research Letters 68, 58–73, 1997.