

Deagregasi *Hazard* Kegempaan Provinsi Sumatera Barat

Delfebriyadi

Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang 25163

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

Abstrak

Suatu studi analisis hazard kegempaan dilakukan berdasarkan kriteria desain yang disyaratkan dalam SNI 03-1726-2002, yaitu untuk umur bangunan 50 tahun dan nilai probabilitas terlampaui 10%. Deagregasi hazard dibutuhkan dalam analisis hazard kegempaan untuk menetapkan kendali jarak dan magnitude gempa dalam periode ulang tertentu. Informasi jarak dan magnitude ini merupakan bagian informasi pemilihan kriteria riwayat waktu dengan karakteristik yang mendekati kondisi yang diinginkan. Analisis tersebut dilakukan berdasarkan teori probabilitas total dengan menggunakan pemodelan sumber gempa 2-D. Hasil akhir yang diperoleh adalah peta deagregasi hazard untuk wilayah provinsi Sumatera Barat dengan periode ulang 500 tahun.

Kata-kata Kunci: Teori probabilitas total, analisis hazard kegempaan, deagregasi hazard, riwayat waktu.

Abstract

Seismic hazard analysis for any site is performed based on SNI 03-1726-2002 implementing spectral hazard for 10% probability of exceedance in design time period of 50 year. Hazard deaggregation is required in seismic hazard analysis in order to determine the controlling magnitudes and distances for particular return periods of earthquakes. The values of these magnitude and distance give the information about a criteria of certain engineering decisions on predicting acceleration time history. The analysis was performed using the total probability theorem with 2D seismic source model. The final result of this study are deaggregation hazard maps of province West Sumatera for return period of 500 years.

Keywords: Total probability theorem, seismic hazard analysis, hazard deaggregation, time history.

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. Beberapa gempa bumi besar tercatat yang pernah melanda Aceh dan Sumatera Utara mengakibatkan porak-porandanya bangunan-bangunan serta menimbulkan gelombang tsunami yang datang beberapa saat kemudian, yang menyebabkan ribuan manusia meninggal seketika. Gempa Sumatera-Andaman ($M_w=9,0$) terjadi pada tanggal 26 Desember 2004, berjarak 259 km dari kota Banda Aceh. *Epicenter* gempa tersebut berada $3,316^\circ$ LU dan $95,854^\circ$ BT pada kedalaman 30 km di bawah dasar laut. Setahun setelah kejadian itu, 28 Maret 2005, terulang lagi gempa dengan *magnitude* (M_w) 8,7 yang berpusat di sekitar kepulauan Nias, pada koordinat $2,076^\circ$ LU dan $97,013^\circ$ BT dengan kedalaman 30 km di bawah dasar laut. Pertanyaan yang muncul setelah

kejadian-kejadian gempa tersebut adalah berhubungan dengan distribusi sumber gempa pada suatu wilayah serta seberapa besar dampak kerusakan terhadap bangunan yang diakibatkan oleh guncangan tanah itu.

Disebabkan oleh cukup tingginya potensi aktivitas seismik di wilayah pesisir barat pulau Sumatera ini, mengharuskan perencanaan bangunan dengan memperhitungkan 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.

Secara umum, properti dari guncangan tanah dipelajari dalam studi ini melalui analisis *hazard* kegempaan untuk daerah kajian Provinsi Sumatera Barat yang direfleksikan dalam peta deagregasi *hazard* kegempaan

untuk menjembatani kebutuhan pembangunan sarana infrastruktur dan potensi aktivitas seismik yang cukup tinggi pada wilayah ini.

2. Tinjauan Seismotektonik

Dalam kajiannya tentang *hazard* kegempaan, 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.

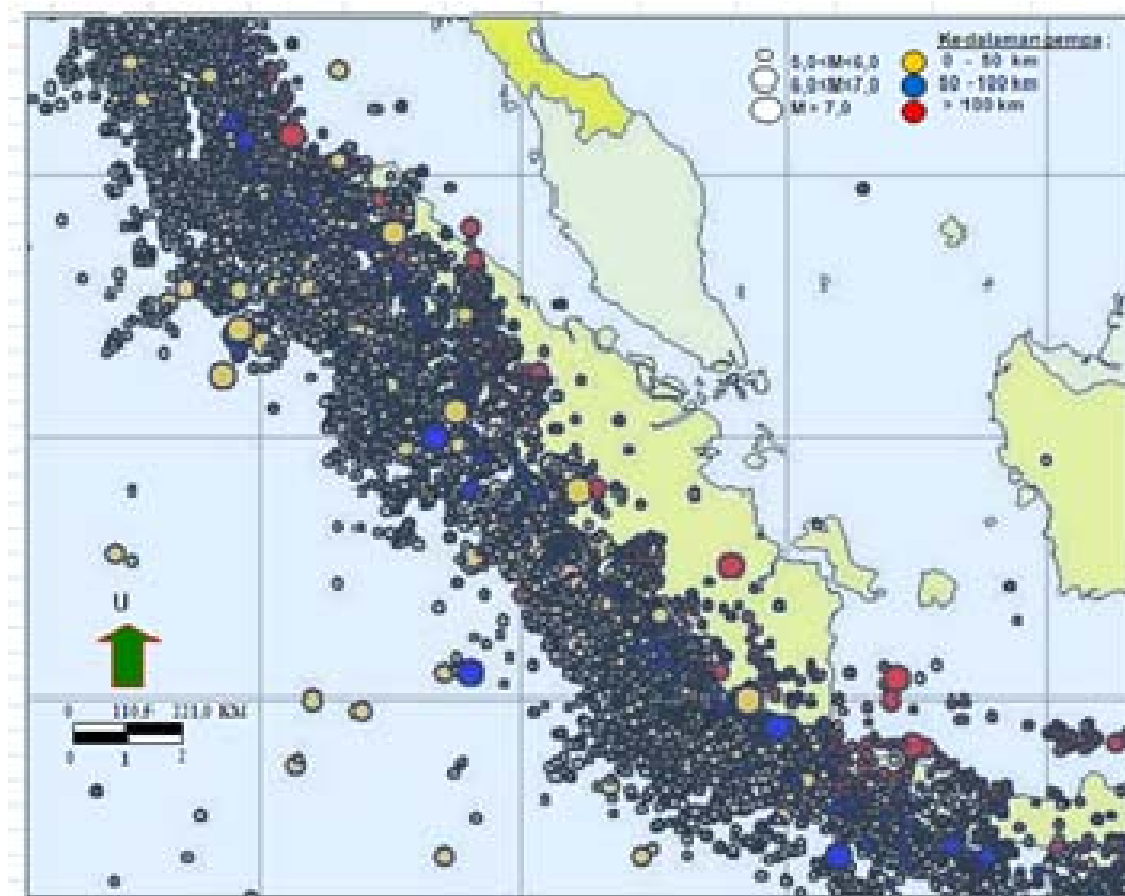
3. Parameter Hazard Kegempaan

Parameter *hazard* kegempaan dapat menunjukkan aktifitas kegempaan pada suatu wilayah. 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 parameter *a-b*, penentuan *magnitude* maksimum, 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 (**Gambar 1**), dan data gempa lengkap dengan *magnitude* lebih besar atau sama dengan 5 mulai tahun 1973 hingga 2007 dengan kedalaman gempa bumi maksimum 200 km.



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

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 patahan Sumatera 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.

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).

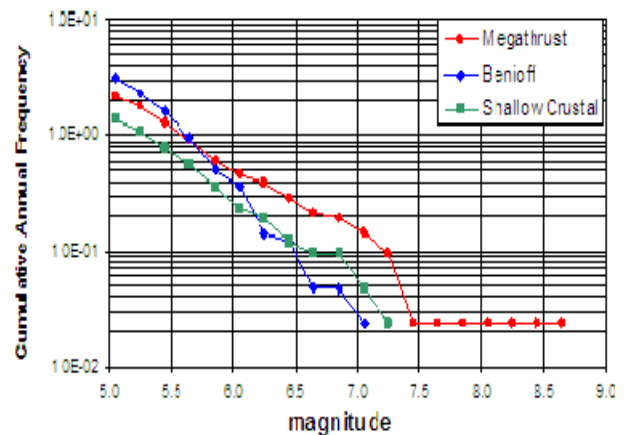
Pada zona gempa-gempa dangkal di sekitar subduksi Sumatera terhitung sejumlah 91 buah kejadian gempa utama dengan $M_w \geq 5,0$ dalam rentang mulai dari tahun 1973 hingga 2007. Kejadian gempa dengan *magnitude* terbesar ($M_w 9,0$) terjadi di wilayah perairan Aceh pada tanggal 26 Desember 2004, yang juga menimbulkan gelombang tsunami yang memporak-porandakan wilayah daratan di pesisir pantai wilayah Aceh dan sekitarnya. Dari 2 model perhitungan parameter *a-b* diatas, diperoleh nilai rata-rata *b-value* sebesar 0,64 untuk 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 hingga 2007. Kejadian gempa dengan *magnitude* terbesar ($M_w 7,0$) pada rentang tahun pengamatan itu juga terjadi di wilayah Aceh pada bulan April 1983. Nilai rata-rata sebesar 1,03 didapatkan untuk memperkirakan *b-value* pada zona ini.

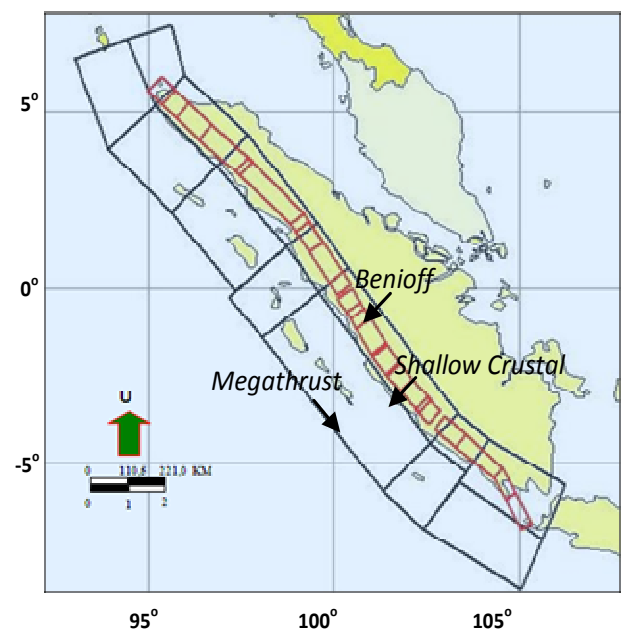
Zona patahan Sumatera tidak seproduktif zona subduksi Sumatera dalam menghasilkan gempa-gempa yang signifikan. Dalam zona ini diperoleh 58 buah kejadian gempa utama dengan $M_w \geq 5,0$ dalam rentang mulai dari tahun 1973 hingga 2007. Nilai *magnitude* terbesar pada rentang tahun pengamatan itu adalah $M_w 7,2$ dan nilai *b-value* diperkirakan sebesar 0,75 didapatkan dari perhitungan regresi.

Gambar 2 memperlihatkan distribusi data pengamatan kejadian gempa utama pada masing-masing segmen zona sumber gempa terhadap mekanisme gempanya. Nilai *rate* untuk masing zona sumber gempa dapat diketahui yaitu 2,17, 3,10 dan 1,38 untuk sumber gempa *megathrust*, *benioff* dan *shallow crustal* secara berturut-turut.

Pemodelan sumber gempa (**Gambar 3**) pada zona subduksi Sumatera dilakukan berdasarkan zona *rupture* pada perairan barat Sumatera (Briggs, 2007). *Magnitude* maksimum diambil berdasarkan kejadian gempa Aceh (2004) yaitu sebesar $M_w 9,0$. Sedangkan, pemodelan sumber gempa pada zona patahan Sumatera dilakukan dengan mengasumsikan kejadian gempa dengan *magnitude* maksimum $M_w 7,9$ dapat terjadi dimana saja di sepanjang patahan. Permodelan pada zona patahan ini mengikuti segmen-segmen patahan berdasarkan hasil penelitian Sieh dan Natawidjaja (2000).



Gambar 2. Frekuensi kejadian gempa kumulatif



Gambar 3. Pemodelan sumber gempa (Delfebriyadi, 2009)

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 *hazard* kegempaan 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*.

4. Analisis Hazard Kegempaan

Analisis *hazard* kegempaan 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 studi 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 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 D adalah variabel acak independen yang kontinu, maka probabilitas terlampaui dapat dituliskan dalam bentuk integrasi persamaan berikut:

$$P_{(a \geq a^*)} = \int_M \int_D P_{(a \geq a^*; m, d)} f_{M(m)} f_{D(d)} d d m \quad (1)$$

dimana :

f_M = fungsi distribusi dari *magnitude*

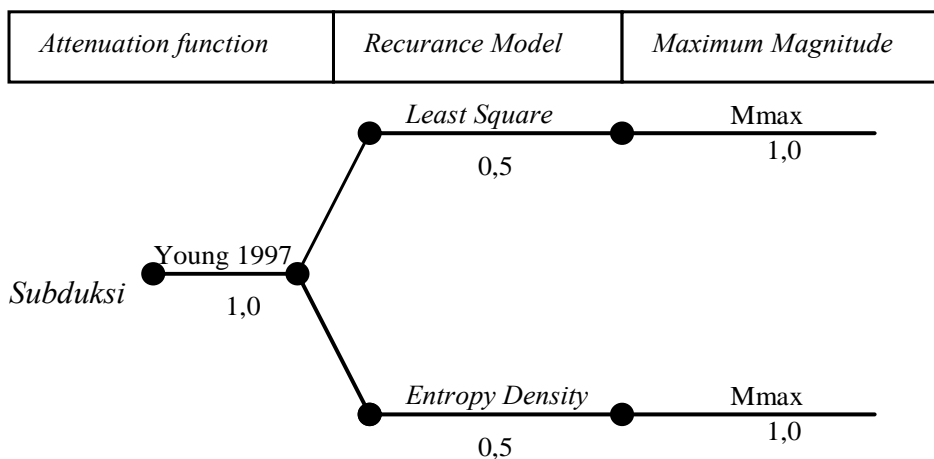
f_D = fungsi distribusi dari jarak

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

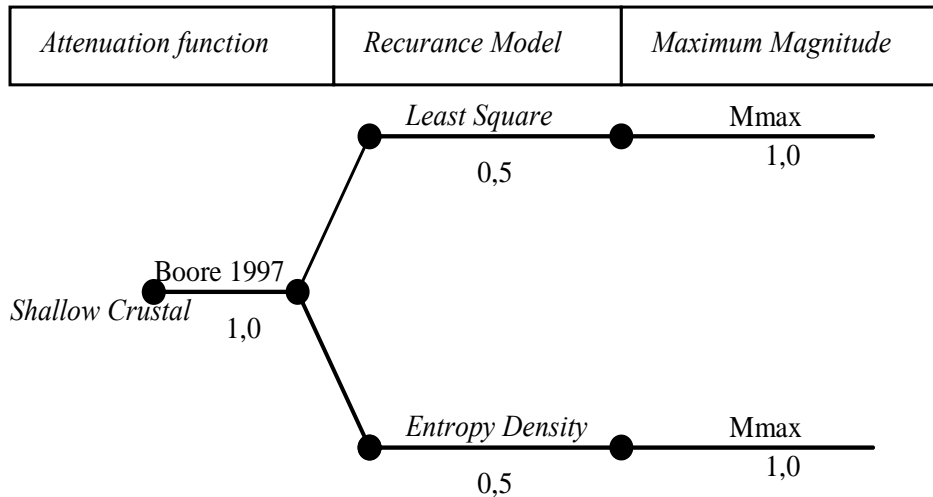
Jika *site* yang ditinjau berada dalam suatu daerah dengan beberapa sumber gempa (N_s) dimana setiap sumber memiliki *rate* untuk *threshold magnitude* sebesar $v = \exp[\alpha - \beta \cdot m_0]$, maka total kejadian gempa tahunan terlampaui untuk daerah tersebut adalah:

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

Periode ulang dari parameter guncangan tanah terlampaui adalah sebanding dengan perbandingan terbalik dari total kejadian gempa tahunan terlampaui. *Logic tree* digunakan untuk menentukan pembobotan pada masing-masing parameter yang dipergunakan dan untuk mengatasi nilai ketidak-pastian pada analisis *hazard* kegempaan 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 analisis. Pembobotan tiap parameter dari masing-masing sumber gempa ditetapkan dan terlihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4. Formulasi *logic tree* untuk sumber gempa Subduksi



Gambar 5. Formulasi *logic tree* untuk sumber gempa *Shallow Crustal*

Gambar 6 dan 7 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.

5. Analisis Deagregasi *Hazard* Kegempaan

Analisis untuk kemungkinan *magnitude* dan jarak dari *site* ke sumber gempa yang akan memberikan *hazard* terbesar pada *site* tidak terlihat dengan jelas dalam PSHA. Dengan deagregasi ini, maka PSHA menjadi lengkap dengan menambahkan informasi *magnitude* (M) dan jarak (D) yang dominan dan tunggal dalam desain gempa. Dengan satu *magnitude* (M) dan satu jarak dari *site* ke sumber gempa (D) yang dominan, *hazard* akibat gempa dapat diekspresikan dalam satu fungsi, secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Konsep ini ditujukan pada deagregasi seismik (McGuire, 1995) yang dapat memberikan gambaran umum tentang ukuran gempa dan jarak untuk sumber gempa tertentu, yang kemungkinan besar destruktif terhadap *site*.

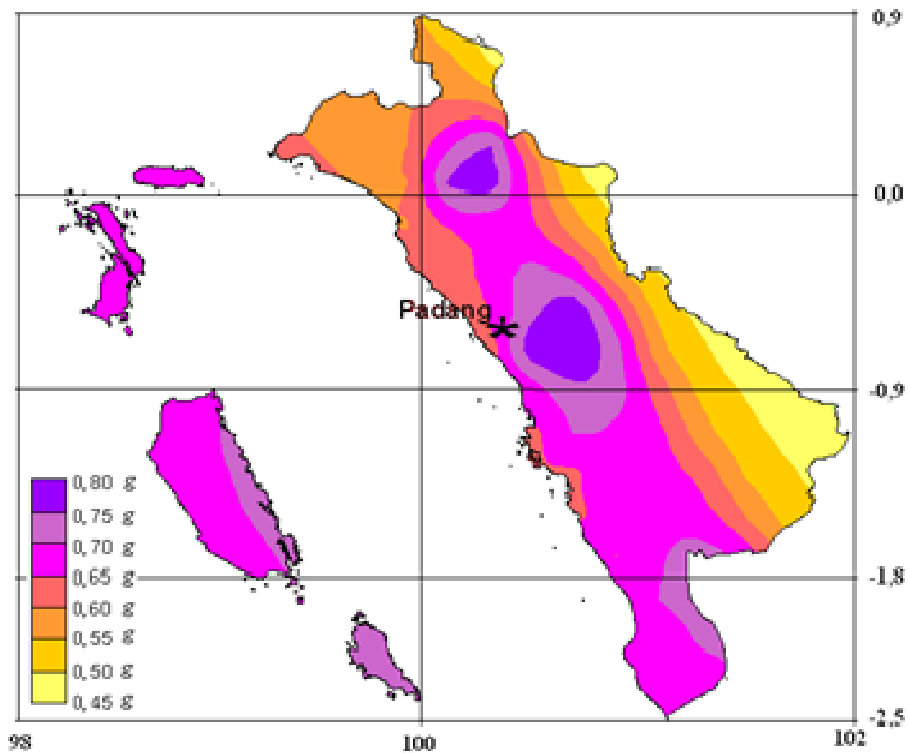
Deagregasi dapat dikarakterisasi dengan suatu rata-rata *magnitude* dan jarak. Nilai rata-rata ini adalah suatu fungsi periode ulang gempa terhadap periode spektral seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8. Dengan melakukan *plotting* seperti ini, maka perbedaan *hazard* dalam suatu bentang *magnitude* untuk suatu periode spektral akan dapat terlihat.

Gempa bumi yang dominan dalam memberikan kontribusi *hazard* terhadap wilayah Provinsi Sumatera Barat kemudian bisa dilihat dari peta deagregasi *hazard* seperti yang ditampilkan pada Gambar 9 hingga Gambar 14. Dengan mengacu kepada masing-masing pasangan gambar yang menunjukkan rata-rata nilai

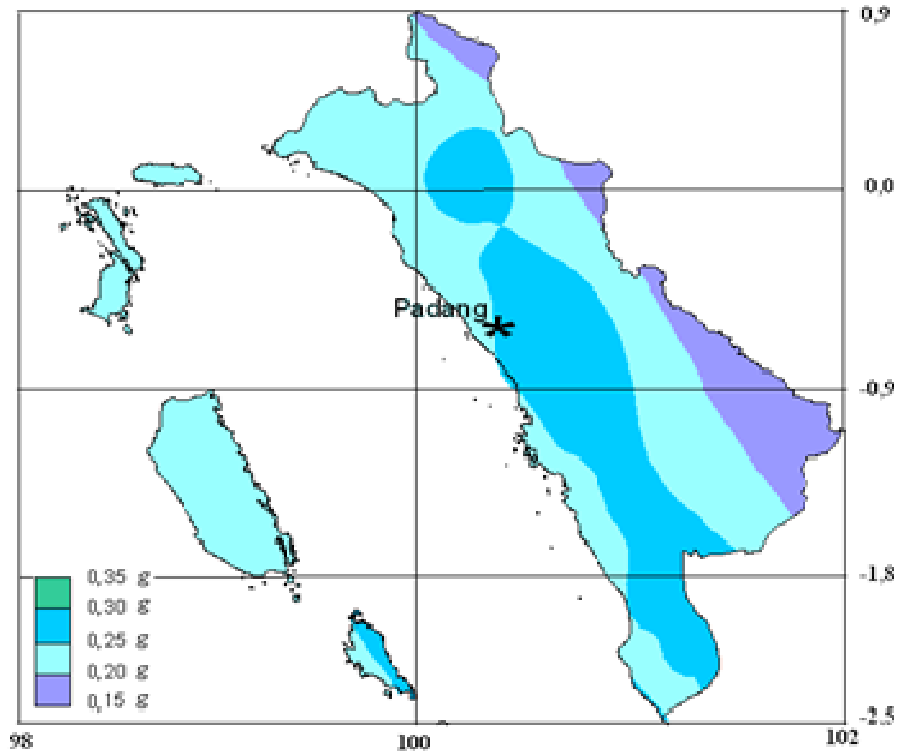
magnitude dan jarak *epicenter* ke sumber gempa tersebut, akan diperoleh informasi akan pemilihan data riwayat waktu gempa bumi dengan karakteristik berdasarkan kriteria jarak dan *magnitude* yang memberikan kemungkinan *hazard* terbesar pada *site* dimaksud. Kombinasi parameter jarak dan *magnitude* ini adalah dasar pertimbangan dalam mengambil rekaman data riwayat waktu kejadian gempa bumi yang pernah terjadi untuk digunakan selanjutnya dalam analisa performa respons struktur terhadap pembebanan gempa ataupun respons dari suatu deposit tanah terhadap pembebanan gempa.

6. Kesimpulan

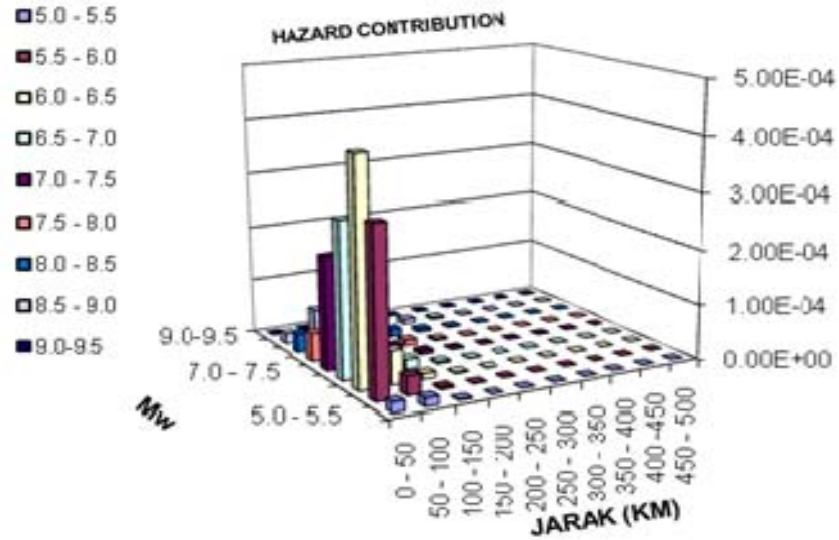
1. Indonesia telah mengimplementasikan peta *hazard* kegempaan kedalam peraturan perencanaan bangunan tahan gempa SNI 03-1726-2002, akan tetapi peta spektral percepatan dari beberapa periode spektral (sebagai contoh; T=0,2 detik dan T=1,0 detik) dapat dikembangkan untuk mengkondisikan peraturan-peraturan baru yang dikembangkan belakangan ini dalam cakupan internasional.
2. Informasi jarak *epicenter* sumber gempa dan *magnitude* gempa yang ditampilkan dalam suatu peta deagregasi *hazard* pada studi ini adalah merupakan bagian informasi penting dalam pemilihan karakteristik suatu data riwayat waktu gempa untuk suatu *site* di wilayah Provinsi Sumatera Barat.
3. Dengan berpedoman kepada masing-masing pasangan gambar yang menunjukkan rata-rata nilai *magnitude* dan jarak *epicenter* ke sumber gempa tersebut, akan diperoleh dasar pertimbangan dalam mengambil rekaman data riwayat waktu kejadian gempa bumi yang pernah terjadi untuk digunakan selanjutnya dalam analisa performa respons struktur ataupun respons dari suatu deposit tanah terhadap pembebanan gempa.



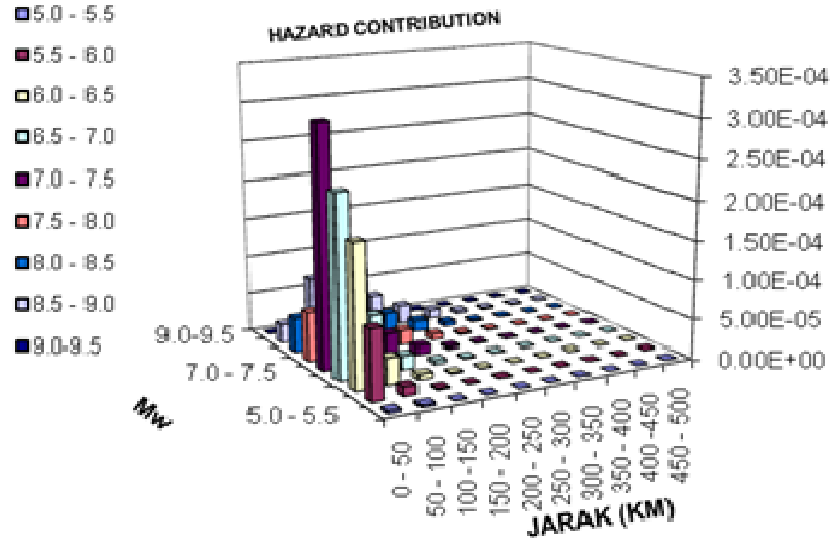
Gambar 6. Peta Spektral Percepatan periode 0,2 detik di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun wilayah Provinsi Sumatera Barat (Delfebriyadi, 2009)



Gambar 7. Peta Spektral Percepatan periode 1,0 detik di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun wilayah Provinsi Sumatera Barat (Delfebriyadi, 2009)

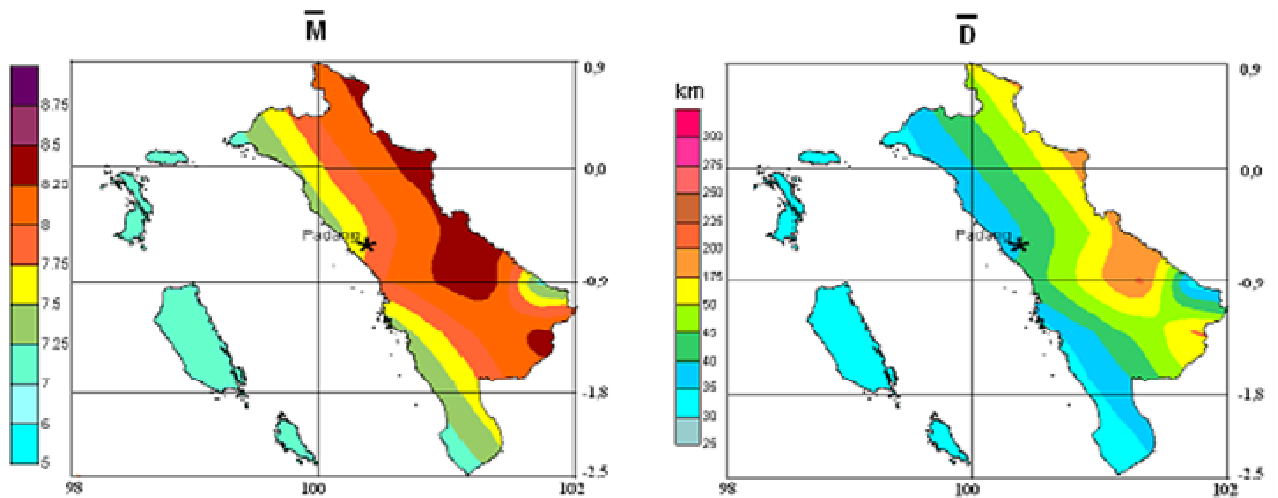


(a) T = 0,2 detik

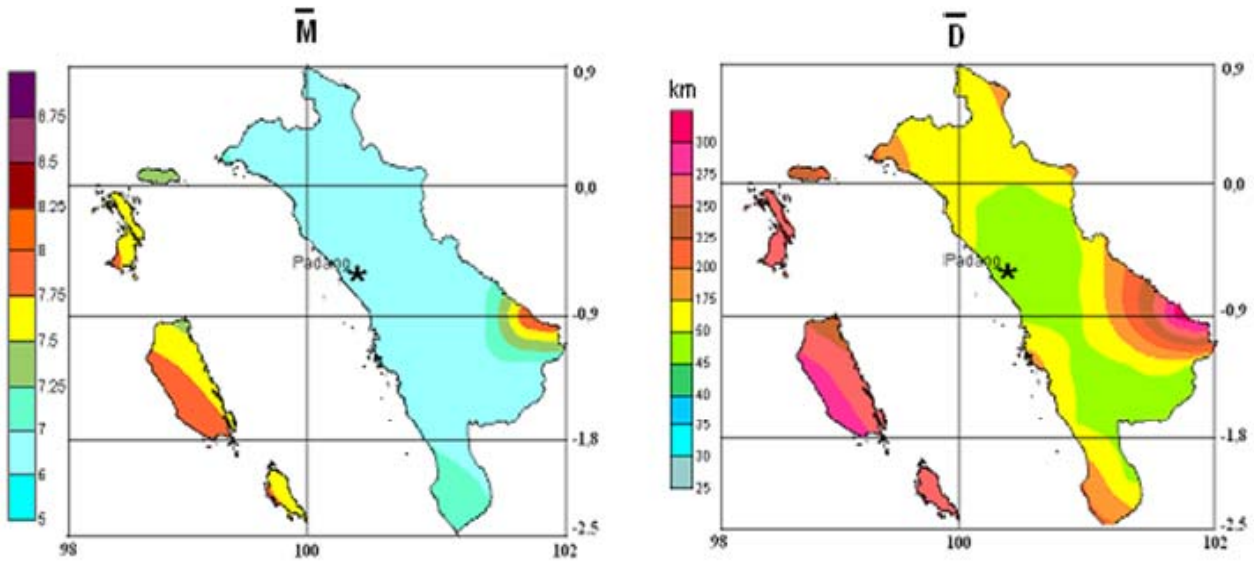


(b) T = 1,0 detik

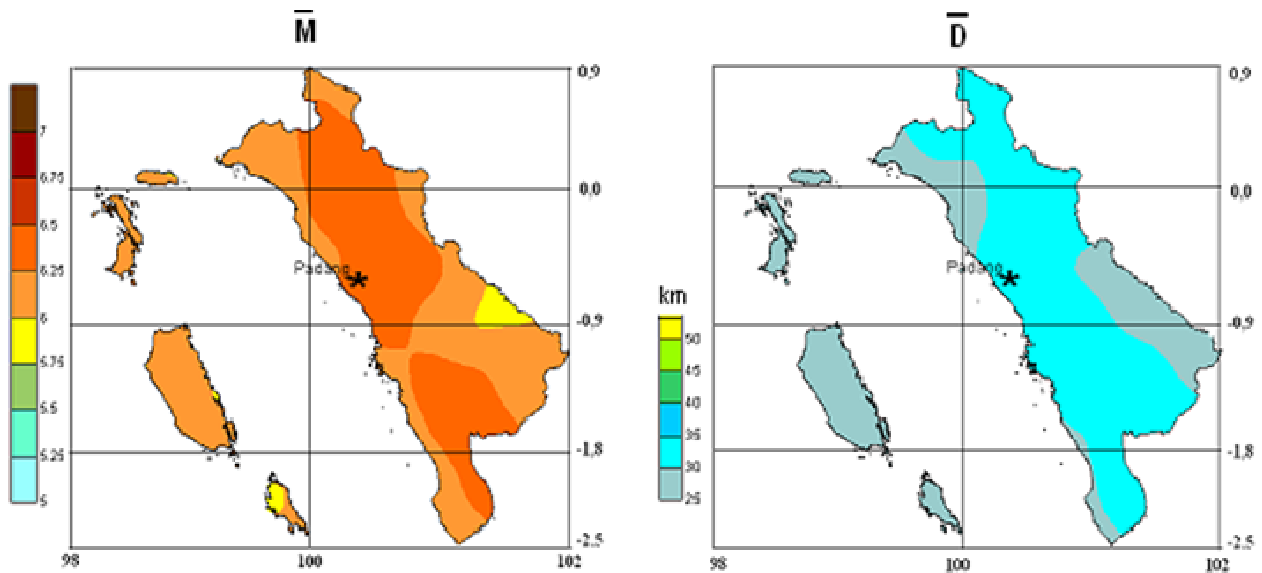
Gambar 8. Kontribusi *hazard* terhadap kota Padang dari sumber gempa subduksi dan *shallow-crustal* untuk periode ulang 500 tahun



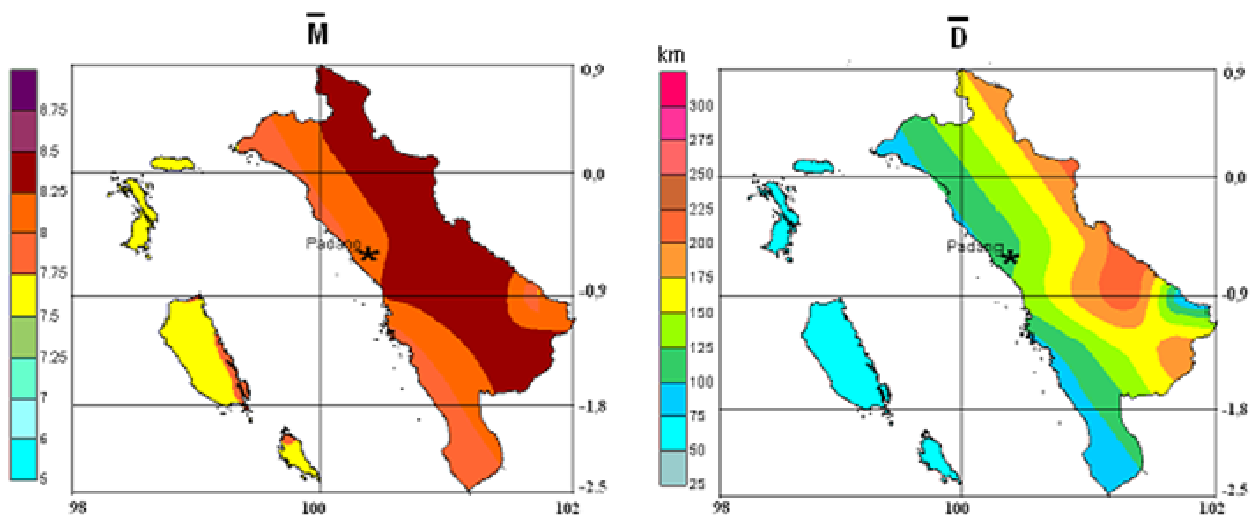
Gambar 9. Peta deagregasi *hazard* periode spektral 0,2 detik untuk sumber gempa zona *megathrust* pada periode ulang gempa 500 tahun



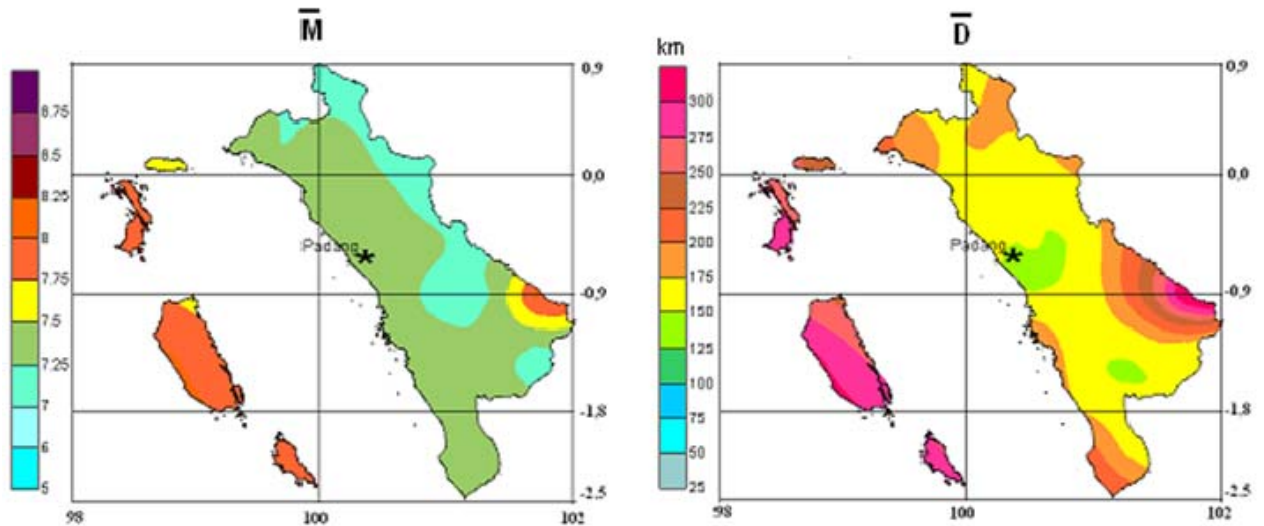
Gambar 10. Peta deagregasi *hazard* periode spektral 0,2 detik untuk sumber gempa zona *benioff* pada periode ulang gempa 500 tahun



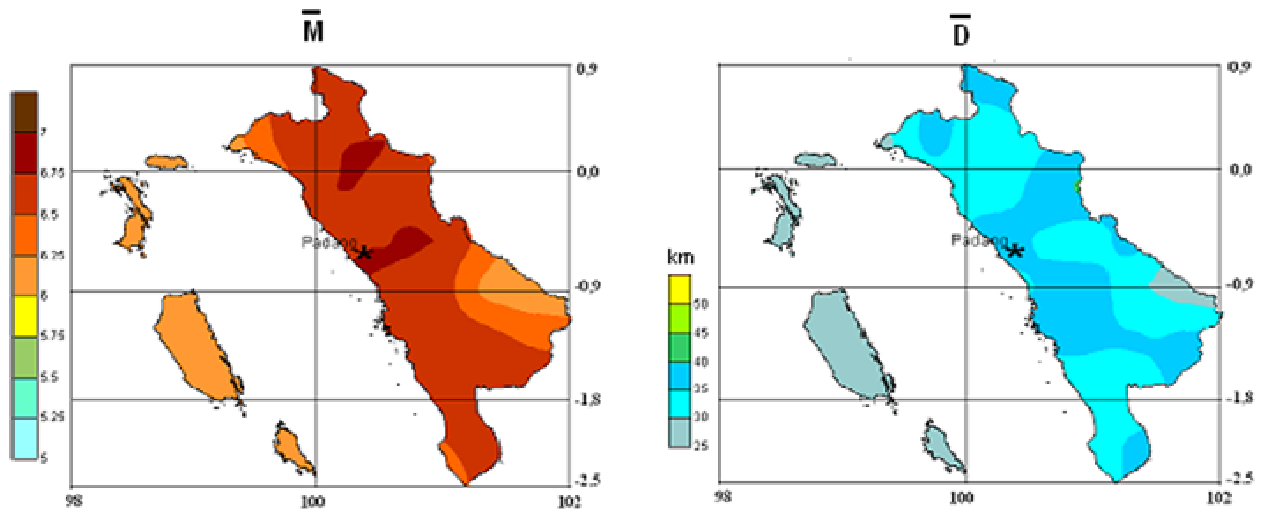
Gambar 11. Peta deagregasi *hazard* periode spektral 0,2 detik untuk sumber gempa zona *shallow crustal* pada periode ulang gempa 500 tahun



Gambar 12. Peta deagregasi *hazard* periode spektral 1,0 detik untuk sumber gempa zona *megathrust* pada periode ulang gempa 500 tahun



Gambar 13. Peta deagregasi *hazard* periode spektral 1,0 detik untuk sumber gempa zona *benioff* pada periode ulang gempa 500 tahun



Gambar 14. Peta deagregasi *hazard* periode spektral 1,0 detik untuk sumber gempa zona *shallow crustal* pada periode ulang gempa 500 tahun

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, R., 2007, Sumatra, Indonesia, Earthquakes, *EERI Newsletter*, Vol. 41, No. 10.
- Delfebriyadi, 2009, Peta Respons Spektrum Provinsi Sumatera Barat untuk Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa, *Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Bandung, Vol.16. No.2
- 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 dan Bulland, R., 1998, Global Teleseismic Earthquake Relocation with Improved Travel Times and Procedures for Depth Determination, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88.
- 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.
- International Seismological Centre, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk/Bull>, United Kingdom: International Seismological Center, Thatcham.
- McGuire, R., 1995, Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 85, No. 5, pp. 1275-1284.
- 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
- National Earthquake Information Center United States Geological Survey, <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>.
- 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.
- 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.