

ANALISIS RESIKO GEMPA DI BATUAN DASAR

Fahmi Aldiamar

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution No. 264, Ujungberung-Bandung
Email : fahdamar@yahoo.com
Diterima : 5 Nopember 2009; Disetujui : 21 Desember 2009

ABSTRAK

Peta percepatan gempa maksimum di batuan dasar Indonesia merupakan salah satu bagian dari Standar Nasional Indonesia tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung yang menggambarkan tingkat resiko kegempaan untuk wilayah Indonesia yang digunakan sebagai dasar perhitungan beban gempa pada struktur. Dengan banyaknya kejadian gempa-gempa besar dalam beberapa tahun terakhir ini yang tentu sangat mempengaruhi tingkat resiko kegempaan Indonesia. Untuk itu, dilakukan pembuatan peta percepatan gempa di Sumatera, Jawa-Sumba dan Kalimantan sebagai bagian dari analisa resiko gempa untuk seluruh Indonesia berdasarkan data-data terbaru dengan menggunakan permodelan sumber gempa 3D dan bantuan piranti lunak PSHA-07-USGS. Berdasarkan hasil analisis yang mengacu pada Unified Building Code 97 yaitu untuk periode ulang 475 tahun diperoleh rentang PGA maksimum untuk Sumatera yaitu 0.02-0.65g, Jawa-Sumba yaitu 0.02-0.65g dan Kalimantan yaitu 0.005-0.2g. Keseluruhan hasil menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan peta percepatan gempa yang terdapat di Standar Nasional Indonesia tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung. Hasil penelitian menunjukkan nilai yang cukup komparatif hanya di wilayah Sumatera dengan penelitian-penelitian lain yang belum lama ini dipublikasikan. Beberapa faktor yang sangat mempengaruhi hasil perhitungan antara lain : data gempa, permodelan sumber gempa dan pemilihan fungsi atenuasi.

Kata Kunci : *Analisis resiko gempa, peta percepatan gempa, batuan dasar, permodelan sumber gempa 3D, pemilihan fungsi atenuasi, sumber gempa*

ABSTRACT

Seismic hazard map in Indonesian bedrock was part of the Indonesian standard describing seismic hazard for Indonesia territory and used as one of significant load in structure design. Recent earthquake with big intensity surely can effect the seismic hazard in Indonesia. Therefore, seismic hazard map in Sumatera, Java-Sumba and Kalimantan was developed as part of seismic hazard analysis in Indonesia using the latest data, 3D seismic source model and PSHA-07-USGS software and publicized in this paper. The seismic hazard analysis was refer to Unified Building Code 97 and represent the 475 year return period seismic hazard map in Sumatera, Java-Sumba and Kalimantan. The result showed that maximum PGA for Sumatera ranges between 0.02-0.65g, Java-Sumba 0.02-0.65g and Kalimantan 0.005-0.2g. All result showed a larger value than seismic hazard map in the than Indonesian Standard (SNI 03-1726-2002). Comparison with the other studies showed a comparative result only in Sumatera, while in Java-Sumba and Kalimantan shown a disagree result. Some factors can affect the result, such as seismic data, seismic source model and attenuation function selection.

Keyword : *Seismic hazard analysis, seismic hazard map, bedrock, 3D seismic source model, attenuation function selection, seismic data*

PENDAHULUAN

Menurut Katili (1963) tektonik lempeng wilayah kepulauan Indonesia merupakan daerah pertemuan antara empat buah lempeng tektonik yaitu Hindia-Australia, Eurasia, Pasifik, dan Philipina dengan tatanan pertemuan lempeng seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Pertemuan antar lempeng tersebut menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki resiko mengalami gempa yang cukup tinggi.

Peta percepatan gempa di batuan dasar, periode ulang 475 tahun, SNI 03-1726-2002 merupakan salah satu standar desain yang digunakan untuk mengurangi kerugian struktur (gedung dan jembatan dengan umur bangunan 50 tahun) akibat gempa. Dengan berkembangnya teknologi dan adanya kejadian gempa-gempa baru dengan intensitas yang tinggi dalam beberapa tahun terakhir ini tentunya akan berpengaruh terhadap resiko kegempaan Indonesia, sehingga diperlukan kajian dan verifikasi terhadap peta tersebut.

Dalam makalah ini disampaikan hasil analisis dan pembuatan peta percepatan gempa di batuan dasar (pada kondisi batuan yang memiliki kecepatan gelombang geser 760m/det atau berada pada pertemuan batuan kuartar dan tersier) untuk wilayah Sumatera, Jawa-Sumba dan Kalimantan dengan menggunakan Teori Probabilistik Total dan bantuan perangkat lunak *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA-07-USGS).

Diharapkan makalah ini dapat memberikan gambaran tahapan analisis resiko gempa di batuan dasar dan hasil kajian terhadap peta gempa Indonesia (SNI 03-1726-2002).

KAJIAN PUSTAKA

Teori probabilitas total

Teori probabilitas total adalah salah satu teori yang biasa diterapkan dalam analisis resiko gempa. Rumus dasar Teori Probabilitas Total dari Mc Guire (1976) 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

Analisis resiko gempa probabilistik menggunakan beberapa parameter gempa yang ditentukan berdasarkan data kejadian gempa historis dan kondisi tektonik, yaitu:

1. a-b parameter, yang menunjukkan jumlah kejadian gempa per tahun untuk suatu nilai magnitudo tertentu pada suatu zona sumber gempa.
2. Magnitudo maksimum dan *slip rate* untuk tiap zona sumber gempa.
3. Fungsi atenuasi yang sesuai dengan mekanisme tiap zona sumber gempa.

Parameter a-b

Parameter a-b didapatkan dari *Guttenberg-Richter recurrent relationship*, di mana nilai b menunjukkan perbandingan probabilitas ukuran magnitudo gempa yang terjadi sehingga parameter ini juga dapat dikatakan sebagai parameter seismitas yang menggambarkan karakteristik tektonik kegempaan dari suatu daerah, sedangkan nilai a lebih menunjukkan karakteristik data pengamatan yang tergantung pada lamanya pengamatan dan tingkat seismitas suatu daerah. Konstanta a dan b didapat dari hasil regresi catatan gempa yang pernah terjadi pada sumber gempa.

Hubungan antara banyaknya kejadian gempa dan parameter a-b dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$\log N(m) = a - bm \text{ atau } \ln N(m) = \alpha - \beta m \quad \dots(2)$$

Keterangan :

$N(m)$ adalah banyaknya gempa dengan magnitudo lebih besar dari m yang terjadi pada periode tertentu, $\alpha = 2.303a$ dan $\beta = 2.303b$.

Magnitudo Maksimum

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 seismik seperti yang diberikan pada persamaan di bawah ini :

$$M_w = \frac{\log M_0}{1,5} - 10,7 \dots\dots\dots(3)$$

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

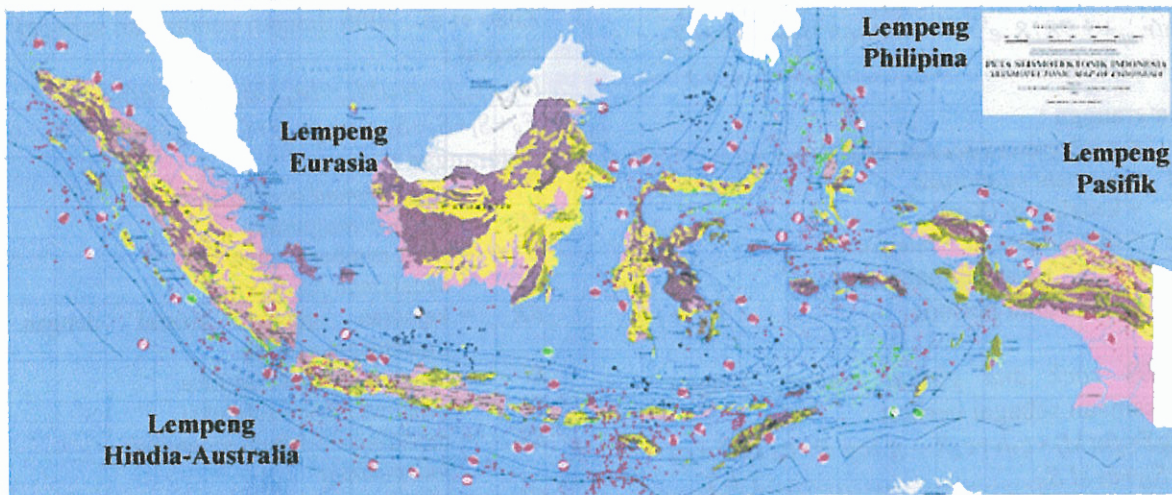
- M_0 = seismic moment (dyne-cm)
- μ = kekuatan runtuh material
- A = Area keruntuhan
- D = nilai rata-rata pergerakan lempeng

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

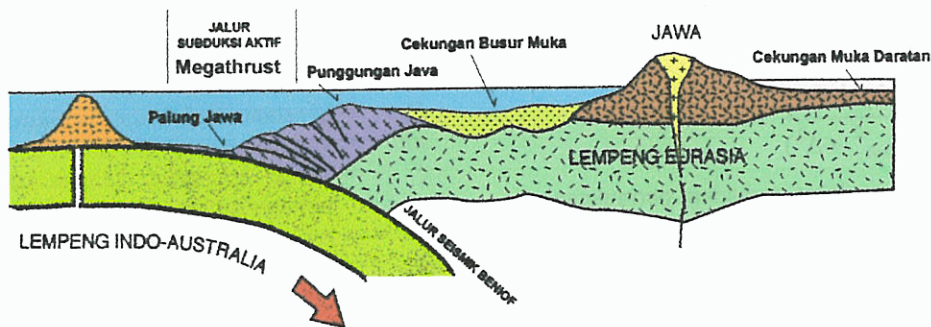
Fungsi Atenuasi

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. Tetapi hingga saat ini belum ada fungsi atenuasi yang dihasilkan untuk wilayah Indonesia, sehingga dalam analisis resiko gempa digunakan fungsi atenuasi yang diperoleh dari wilayah lain yang memiliki kemiripan tektonik dan geologi dengan wilayah Indonesia.

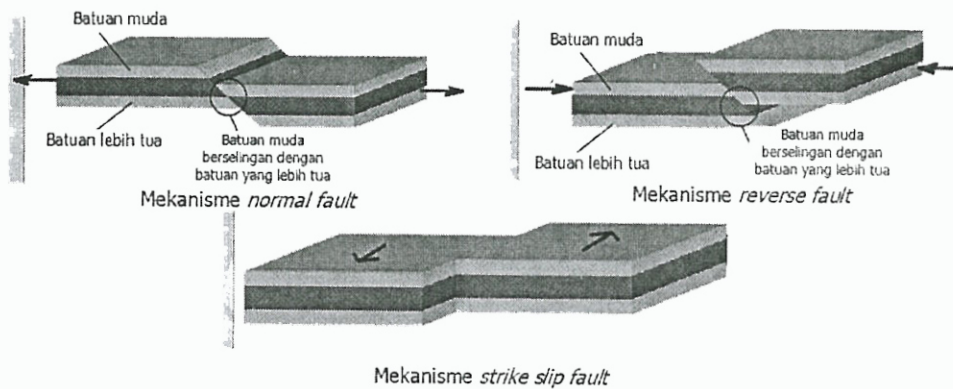
Dasar pemilihan fungsi atenuasi yang paling penting adalah berdasarkan mekanisme kejadian gempa, di mana secara umum dikategorikan dalam zona gempa subduksi (Megathrust dan Beniof) dengan mekanisme sumber gempa diperlihatkan pada Gambar 2, zona gempa patahan (*fault*) dengan mekanisme sumber gempa diperlihatkan pada Gambar 3 dan *diffuse seismicity* (sumber gempa yang belum teridentifikasi, dimasukkan dalam *background*).



Gambar 1. Peta seismotektonik Indonesia (Kertapati, 1998)



Gambar 2. Penampang melintang subduksi pulau Jawa (Katili, 1963)



Gambar 3. Mekanisme sumber gempa patahan (Katili, 1963)

Penentuan Fungsi Atenuasi

Penentuan persamaan attenuasi yang dipergunakan adalah mengacu kepada *software* yang dipergunakan, yaitu PSHA-07-USGS. Adapun persamaan attenuasi untuk masing-masing mekanisme gempa adalah sebagai berikut :

Subduksi Megathrust :

1. Geomatrix *subduction* (Youngs et al., 1997), dengan persamaan sebagai berikut :

$$\ln(y) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10-M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.7818 e^{0.55M}) + 0.00607H + 0.3846Z_T \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- y = peak ground acceleration
- M = moment magnitudo
- H = kedalaman (Km)
- Z_T = tipe sumber (0 = interface)
- r_{rup} = jarak terhadap patahan
- C = konstanta periode

2. AB03 *rock and global source*, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\log Y = f_n(M) + c_3 h + c_4 R - g \log R + c_5 sl S_c + c_6 sl S_D + c_7 sl S_E \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

- Y = peak ground acceleration
- M = moment magnitudo
- $f_n(M) = c_1 + c_2 M$
- h = focal depth (Km)
- $R = \sqrt{(D_{fault}^2 + \Delta^2)}$
- D_{fault} = jarak terdekat terhadap permukaan patahan (Km)
- $\Delta = 0,00724 \times 10^{0,537M}$
- S_c = 1 untuk tanah kelas C menurut *National Earthquake Hazards*

- Reduction Program*, = 0 untuk batuan
- S_D = 1 untuk tanah kelas D menurut *National Earthquake Hazards Reduction Program*, = 0 untuk batuan
- S_E = 1 untuk tanah kelas E menurut *National Earthquake Hazards Reduction Program*, = 0 untuk batuan
- g = $10^{(1.2-0.18M)}$ (interface)
- sl = $1-(f-1)$

3. Zhao et al., 2006 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\log_e(y_{i,j}) = aM_{wi} + bx_{i,j} - \log_e(r_{i,j}) + e(h-h_c)\delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log_e(x_{i,j}) + C_k + \xi_{i,j} + \eta_i \dots \dots (7)$$

Keterangan :

- y = peak ground acceleration
- M_w = moment magnitudo
- X = jarak sumber gempa (km)
- h = kedalaman focal (km)
- FR = kejadian gempa crustal dengan mekanisme *reverse*
- SI = kejadian gempa *interface*
- SS = kejadian gempa subduksi
- SSL = modifikasi diagram *magnitudo-independent*
- C_k = site-class term, SC I = batuan, SC II = tanah keras, SC III = tanah sedang, SC IV = tanah lunak
- H_c = konstanta kedalaman (=15km)
- Δh = variabel *dummy* (0 : $h < h_c$, 1 : $h \geq h_c$)
- ξ = *error intra-event* dengan nilai tengah nol dan standar deviasi sebesar σ
- η = *error inter-event* with dengan nilai tengah nol dan standar deviasi sebesar τ

Sesar dan shallow background :

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

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

.....(8)

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.
- ε = kesalahan acak (random error)
- σ_T = standar deviasi

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

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

.....(9)

Keterangan :

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

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

$$\ln(SA_{1130ij}) = c_1 + c_{1a}F_{RVi} + c_{1b}F_{NMi} + c_7(Z_{TORi} - 4) + c_2(M_i - 6) + \frac{c_2 - c_3}{c_n} \ln(1 + e^{c_n(c_M - M_i)}) + (c_4a - c_4) \ln \left(\sqrt{R^2 RUP_{ij} + c_{RB}^2} \right) + \left\{ c_{\gamma 1} + \frac{c_{\gamma 2}}{\cosh\left(\frac{M_i - c_{\gamma 3}}{0_{\max}}\right)} \right\} R_{RUPij} + c_9 \cos^2 \delta_i \tanh \left(\frac{R_{RUPij}}{2} \right) \tan^{-1} \left(\frac{W_i \cos \delta_i}{2(Z_{TORi} + 1)} \right) \frac{1}{\pi / 2} \left\{ 1 - \frac{R_{JBij}}{R_{RUPij} + 0,001} \right\} + \tau_{z_i}$$

.....(10)

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

.....(11)

Keterangan :

- R_{RUP} = jarak terdekat dengan bidang patahan
- R_{JB} = jarak bidang menurut Joyner-Boore
- W = panjang patahan

- Z_{TOR} = kedalaman patahan
- F_{RV} = 1 untuk $30^\circ \leq \lambda \leq 150^\circ$
- F_{NM} = 1 untuk $-120^\circ \leq \lambda \leq -60^\circ$
- λ = sudut yang bergantung pada mekanisme patahan
- V_{S30} = kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30m.
- τ = standar kesalahan inter-event
- σ = standar kesalahan intra-event

Deep background :

- Atkinson-Boore intraslab seismicity, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\log Y = fn(M) + c_3 h + c_4 R - g \log R + c_5 sl S_c + c_6 sl S_D + c_7 sl S_E$$

.....(12)

Keterangan :

- Y = peak ground acceleration
- M = moment magnitudo
- $fn(M)$ = $c_1 + c_2 M$
- h = focal depth (Km)
- $R = \sqrt{(D_{fault}^2 + \Delta^2)}$
- D_{fault} = jarak terdekat terhadap permukaan patahan (Km)
- $\Delta = 0.00724 \times 10^{0.537M}$
- S_c = 1 untuk tanah kelas C menurut National Earthquake Hazards Reduction Program, = 0 untuk batuan
- S_D = 1 untuk tanah kelas D menurut National Earthquake Hazards Reduction Program, = 0 untuk batuan
- S_E = 1 untuk tanah kelas E menurut National Earthquake Hazards Reduction Program, = 0 untuk batuan
- $g = 10^{(0.301 - 0.01M)}$ (intraslab)
- $sl = 1 - (f - 1)$

- Geomatrix slab seismicity rock (Youngs et al., 1997), dengan persamaan sebagai berikut :

$$\ln(y) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.7818 e^{0.55M}) + 0.00607H + 0.3846Z_T$$

.....(13)

Keterangan :

- y = peak ground acceleration
- M = moment magnitudo
- H = kedalaman (Km)
- Z_T = tipe sumber (1 = intraslab)
- r_{rup} = jarak terhadap patahan
- C = konstanta periode

HIPOTESIS

Analisa resiko gempa dengan permodelan sumber gempa 3D dan mempertimbangkan gempa besar 10 tahun terakhir dapat menghasilkan kenaikan nilai percepatan gempa maksimum.

METODOLOGI

Langkah-langkah kegiatan pembuatan peta percepatan gempa di batuan dasar adalah sebagai berikut :

- a. Pengumpulan katalog kejadian gempa di Indonesia (*The Preliminary Determination of Epicenters* (PDE), ANSS, *Significant Earthquake World wide* (NOAA) dan *National Earthquake Information Center* NIEC) dari situs-situs data center gempa dan database epicenter gempa menggunakan piranti lunak Arc Gis. 9.1
- b. Pengolahan data sumber gempa, meliputi :
 - Penyeragaman magnitudo gempa dari satuan lokal ke satuan momen magnitudo (M_w) dengan pembuatan persamaan konversi magnitudo.
 - Pemisahan gempa utama dan susulan untuk kebutuhan input analisis resiko gempa menggunakan bantuan piranti lunak SHAP.
- c. Identifikasi dan permodelan sumber gempa, yaitu klasifikasi sumber gempa dan mekanisme pembuatan area sumber gempa dengan bantuan piranti lunak Arc Gis.9.1
- d. Penentuan parameter resiko gempa untuk mendapatkan parameter yang dipergunakan sebagai input program PSHA.
- e. Penentuan persamaan atenuasi berdasarkan mekanisme sumber gempa.
- f. Analisis resiko gempa dan pembuatan peta percepatan gempa di batuan dasar

menggunakan piranti lunak PSHA-07-USGS.

HASIL DAN ANALISIS

Informasi mengenai gempa yang terjadi di seluruh Indonesia diperoleh dengan mengumpulkan katalog gempa dari berbagai sumber lembaga-lembaga internasional seperti *U.S. Geological Survey* (USGS), *The Preliminary Determination of Epicenters* (PDE), ANSS, *Significant Earthquake World wide* (NOAA) dan *National Earthquake Information Center* NIEC) dengan sebaran kejadian gempa diperlihatkan pada Gambar 44.

Pengolahan Data Gempa

Berdasarkan teori pengambilan sampel, maka data gempa yang dipergunakan adalah data yang lengkap selama kurun waktu pengamatan. Kurun waktu pengamatan yang dianggap lengkap dalam kajian gempa adalah dalam kurun waktu 1 tahun sebelum kajian, sehingga data katalog gempa yang dipergunakan dalam kajian ini adalah data kejadian gempa hingga tahun 2008.

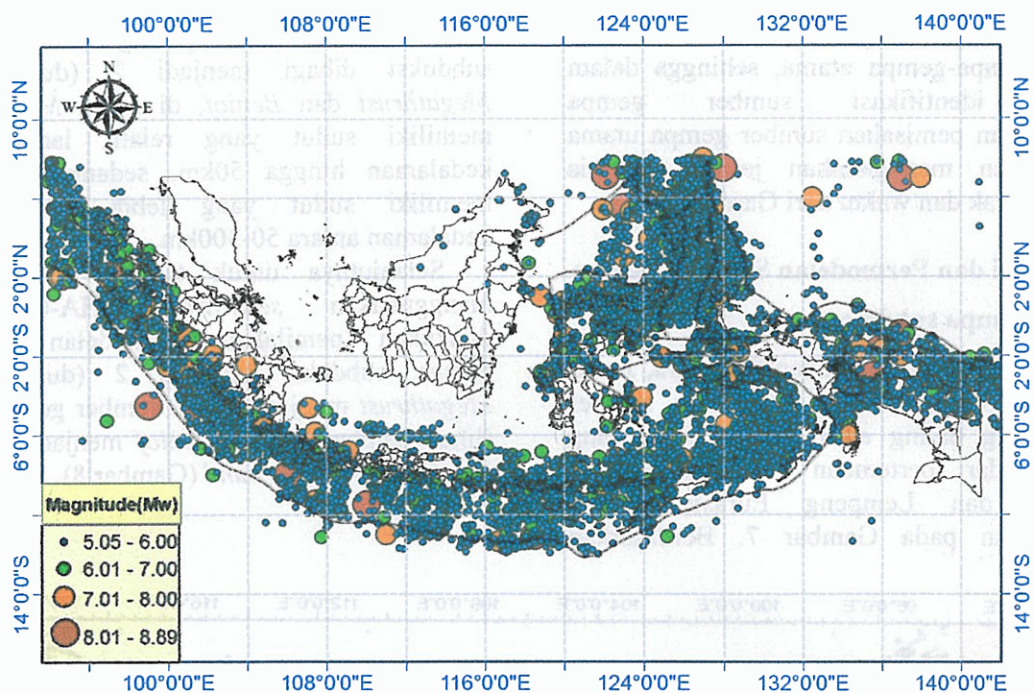
Sumber data sejarah kejadian gempa di Indonesia yang digunakan untuk analisis adalah dari PDE, ANSS, NOAA dan NIEC dari tahun 1897 sampai dengan tahun 2008.

Tahapan awal yang harus dilakukan adalah konversi skala intensitas gempa, yaitu magnitudo gelombang permukaan (m_s) dan magnitudo gelombang badan (m_b) kedalam momen magnitudo (m_w) untuk memperoleh skala magnitudo yang sama dan konsisten.

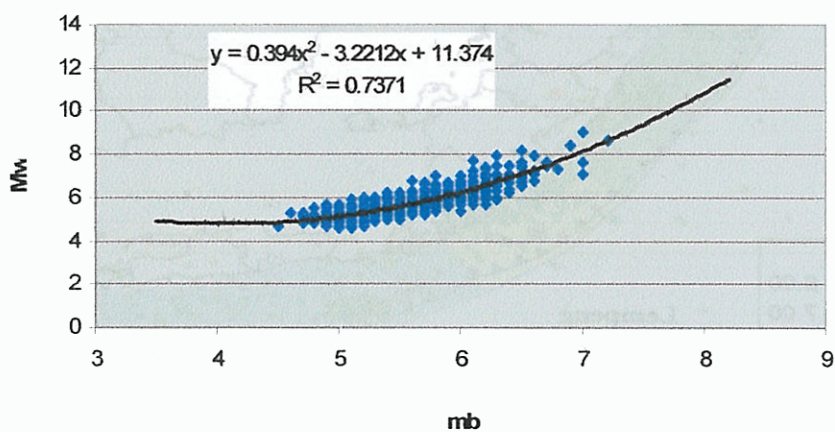
Berdasarkan hasil korelasi m_s , m_b , dan m_w seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 diperoleh persamaan berikut ini :

$$M_w = 0.0888m_s^2 - 0.2955m_s + 4.7135$$

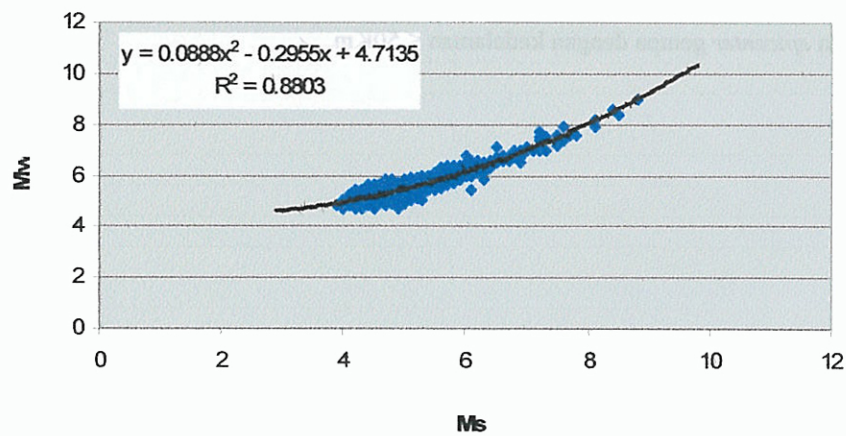
$$M_w = 0.394m_b^2 - 3.2212m_b + 11.347$$



Gambar 4. Data gempa seluruh Indonesia



Gambar 5. Korelasi ms, mb, dan mw



Gambar 6. Korelasi ms, mb, dan mw (lanjutan)

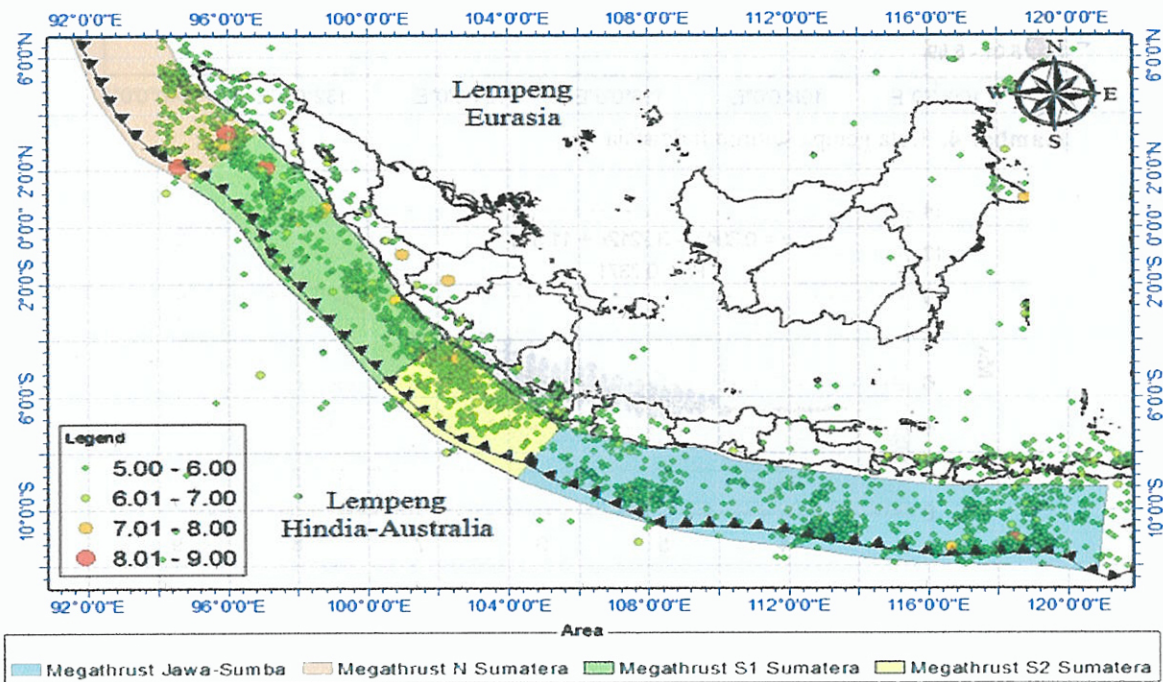
Data gempa yang akan dianalisis adalah sumber gempa-gempa utama, sehingga dalam tahapan identifikasi sumber gempa dipergunakan pemisahan sumber gempa utama dan susulan menggunakan jendela kriteria terhadap jarak dan waktu dari Gardner.

Identifikasi dan Permodelan Sumber Gempa Sumber gempa subduksi

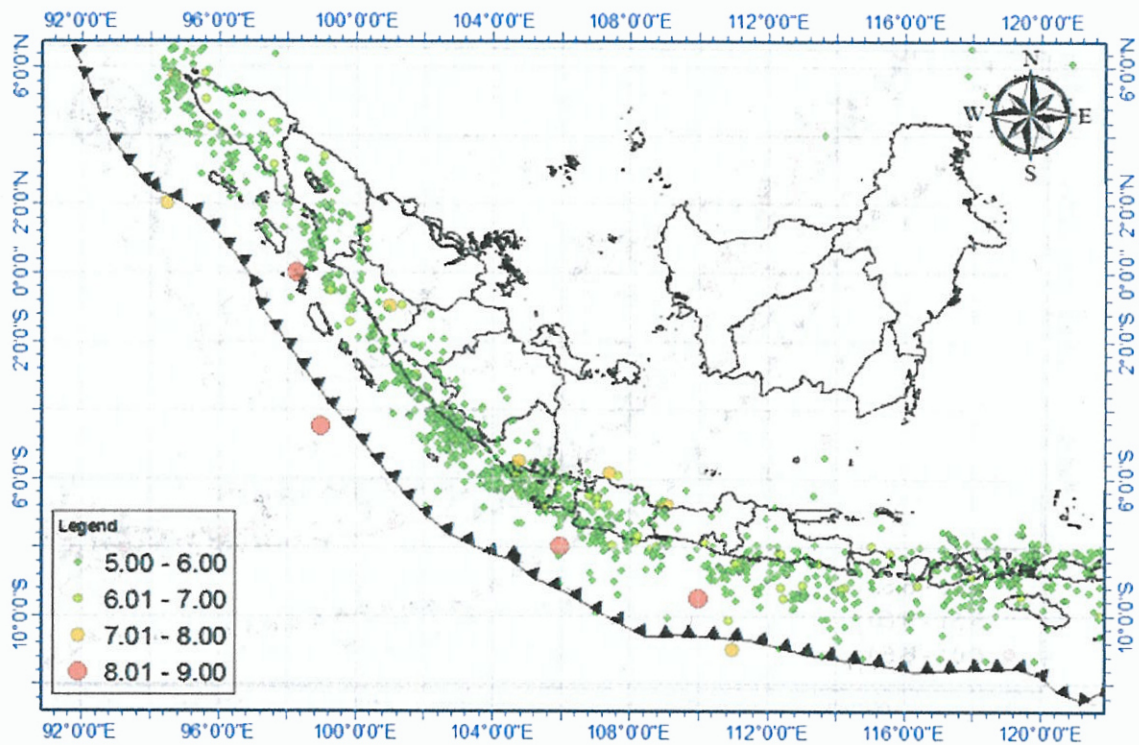
Zona subduksi Kepulauan Sumatera, Jawa-Sumba merupakan salah satu zona sumber gempa yang paling aktif di Indonesia yang terbentuk dari pertemuan Lempeng Hindia-Australia dan Lempeng Eurasia seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Berdasarkan

sudut dan kedalaman penunjamannya, zona subduksi dibagi menjadi 2 (dua) yaitu *Megathrust* dan *Beniof*, di mana *Megathrust* memiliki sudut yang relatif landai dan kedalaman hingga 50km, sedangkan *Beniof* memiliki sudut yang lebih curam dan kedalaman antara 50-300km.

Selanjutnya untuk tahapan permodelan menggunakan *software* PSHA-07-USGS, dilakukan pemilahan permodelan sumber gempa subduksi menjadi 2 (dua), yaitu *Megathrust* menjadi model sumber gempa area (lihat Gambar 7) dan *Beniof* menjadi sumber gempa *deep background* (Gambar 8).



Gambar 7. Zona subduksi Kepulauan Sumatera, Jawa-Sumba, Area *Megathrust* di Sumatera, Jawa-Sumba dan *epicenter* gempa dengan kedalaman ≤ 50 Km.

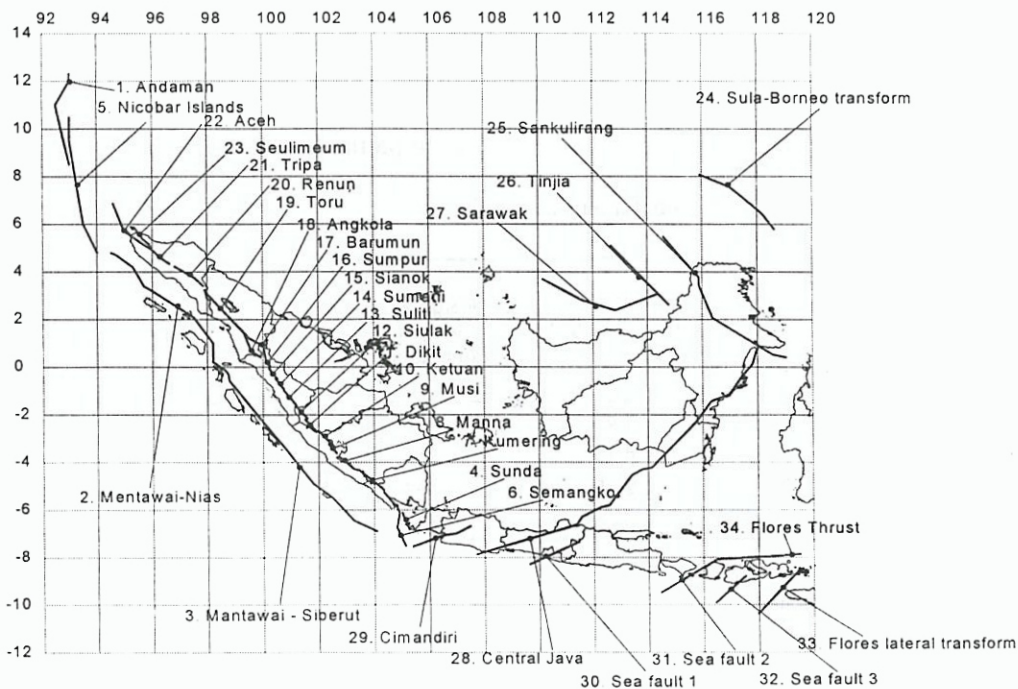


Gambar 8. Zona subduksi Kepulauan Sumatera, Jawa-Sumba dan sumber gempa *deep background* dengan *epicenter* gempa pada kedalaman antara 50-300Km.

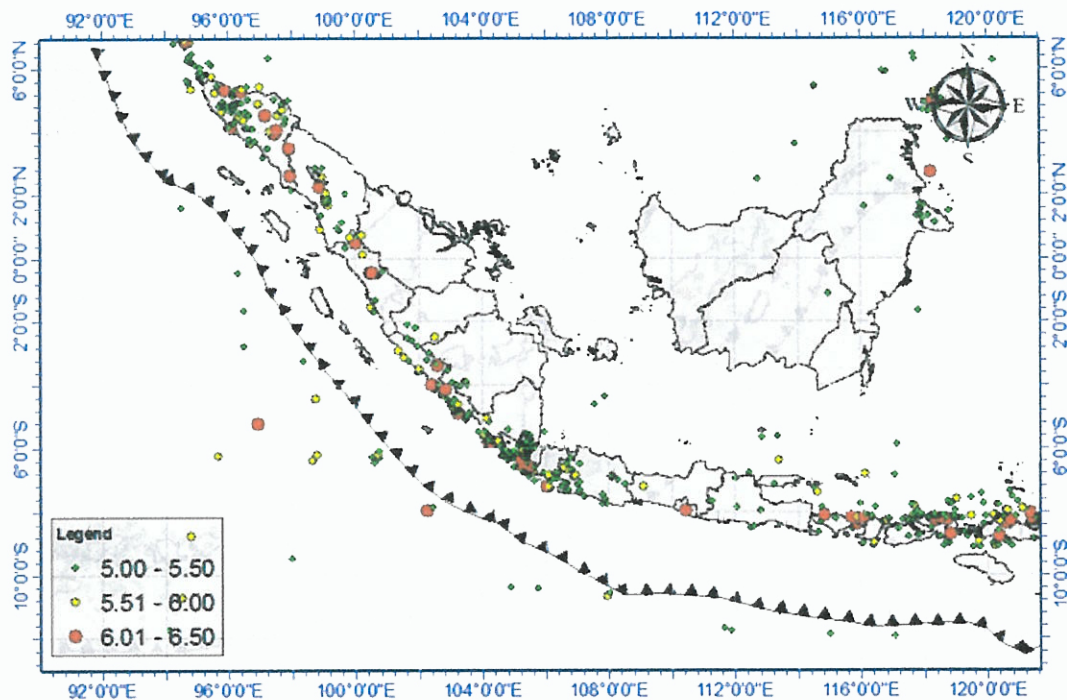
Sumber gempa sesar

Sumber gempa sesar di wilayah Sumatera-Jawa-Sumba dan Kalimantan dimodelkan menjadi 2 (dua), yaitu model sumber gempa garis yang dirujuk dari database U.S.

Geological Survey pada software EZFRISK yang diunduh bulan April 2009 (lihat Gambar 9) dan model sumber gempa *shallow background* (Gambar 10).



Gambar 9. Sumber gempa sesar di Sumatera, Jawa-Sumba dan Kalimantan (U.S. Geological Survey, 2009)



Gambar 10. Zona subduksi Kepulauan Sumatera, Jawa-Sumba dan sumber gempa *shallow background* dengan *epicenter* gempa pada kedalaman ≤ 50 Km.

Parameter Gempa

Parameter Megathrust Sumatera, Jawa-Sumba yang digunakan sebagai input dalam program PSHA-07-USGS dapat dilihat pada Tabel 1. $M_{w_{max}}$ yang dipergunakan adalah nilai maksimum yang didapatkan dari katalog PDE, ANSS, NOAA dan NIEC + 0.25 untuk mengakomodasi nilai ketidakpastian.

Parameter sesar Sumatera-Jawa-Sumba dan Kalimantan yang digunakan sebagai input dalam program PSHA-07-USGS dapat dilihat pada Tabel 2. Data M_w maksimum, tipe sesar, kedalaman dan pergerakan sesar mengacu pada database USGS yang terdapat pada software EZFRISK. Korelasi empiris M_w terhadap panjang sesar berdasarkan Wells and Coppersmith (1994) digunakan untuk mendapatkan panjang sesar.

Tabel 1. Parameter Gempa Megathrust Sumatera-Jawa-Sumba

No	Megathrust	$M_{w_{max}} + 0.25$ ***	Pergerakan lempeng (mm/tahun)	a	b
1.	Megathrust S1 Sumatera	8.85	57*	6.496	0.960
2.	Megathrust S2 Sumatera	8.15	60*	7.780	1.210
3.	Megathrust N Sumatera	9.25	52*	6.109	0.940
4.	Megathrust Jawa-Sumba	8.41	55**	7.396	1.100

Keterangan sumber :

* : Pergerakan lempeng dirujuk dari jurnal internasional (Natawidjaya, D, 2000)

** : Pergerakan lempeng dirujuk dari jurnal internasional (Irsyam, M, 2008)

*** : M_w maksimum dirujuk dari database katalog gempa PDE, ANSS, NOAA dan NIEC

Tabel 2. Parameter input sesar Sumatera, Jawa-Sumba dan Kalimantan (*U. S. Geological Survey, 2009*)

No	Sesar	Tipe Sesar	Mw maksimum	Kedalaman (km)	Sudut sesar (derajat)	Korelasi empiris panjang sesar (km) (Wells and Coppersmith, 1994)	Pergerakan sesar (mm/tahun)
Sumatera							
1	Andaman	<i>Strike slip</i>	7.5	12	90	90.16	12
2	Mentawai-Nias	<i>Strike slip</i>	7.2	12	90	55.98	15
3	Mantawai - Siberut Segment	<i>Strike slip</i>	7.2	12	90	55.98	10
5	Nicobar Islands	<i>Strike slip</i>	7.3	12	90	65.61	12
6	Semangko	<i>Strike slip</i>	7	12	90	40.74	6
7	Kumering	<i>Strike slip</i>	7.3	12	90	65.61	8
8	Manna	<i>Strike slip</i>	7.1	12	90	47.75	10
9	Musi	<i>Strike slip</i>	7	12	90	40.74	11
10	Ketuan	<i>Strike slip</i>	7.1	12	90	47.75	13
11	Dikit	<i>Strike slip</i>	6.9	12	90	34.75	15
12	Siulak	<i>Strike slip</i>	7	12	90	40.74	17
13	Suliti	<i>Strike slip</i>	7.1	12	90	47.75	17
14	Sumani	<i>Strike slip</i>	6.9	12	90	34.75	23
15	Sianok	<i>Strike slip</i>	7.1	12	90	47.75	23
16	Sumpur	<i>Strike slip</i>	6.7	12	90	25.29	23
17	Barumon	<i>Strike slip</i>	7.3	12	90	65.61	23
18	Angkola	<i>Strike slip</i>	7.4	12	90	76.91	23
19	Toru	<i>Strike slip</i>	7.1	12	90	47.75	23
20	Renun	<i>Strike slip</i>	7.5	12	90	90.16	23
21	Tripa	<i>Strike slip</i>	7.4	12	90	76.91	23
22	Aceh	<i>Strike slip</i>	7.5	12	90	90.16	23
23	Seulimeum	<i>Strike slip</i>	7.2	12	90	55.98	23
Kalimantan							
24	Sula-Borneo transform	<i>Strike slip</i>	7.3	15	90	65.61	3
25	Sankulirang	<i>Strike slip</i>	7.3	15	90	65.61	4
26	Tinjia	<i>Strike slip</i>	7.3	15	90	65.61	4
27	Sarawak	<i>Strike slip</i>	7.1	15	90	47.75	2
Jawa							
28	Central Java	<i>Strike slip</i>	6.8	15	90	29.65	0.2
29	Cimandiri	<i>Strike slip</i>	6.8	15	90	29.65	0.1
30	Sea sesar 1	<i>Strike slip</i>	6.8	15	90	29.65	0.1
Bali-Sumba							
31	Sea sesar 2	<i>Strike slip</i>	6.8	15	90	29.65	0.1
32	Sea sesar 3	<i>Strike slip</i>	6.8	15	90	29.65	0.1
33	Flores lateral transform	<i>Strike slip</i>	7.3	15	90	65.61	5
34	Flores Thrust	<i>Reverse</i>	8.1	30	30	233.88	39.53

Analisis Resiko Gempa

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

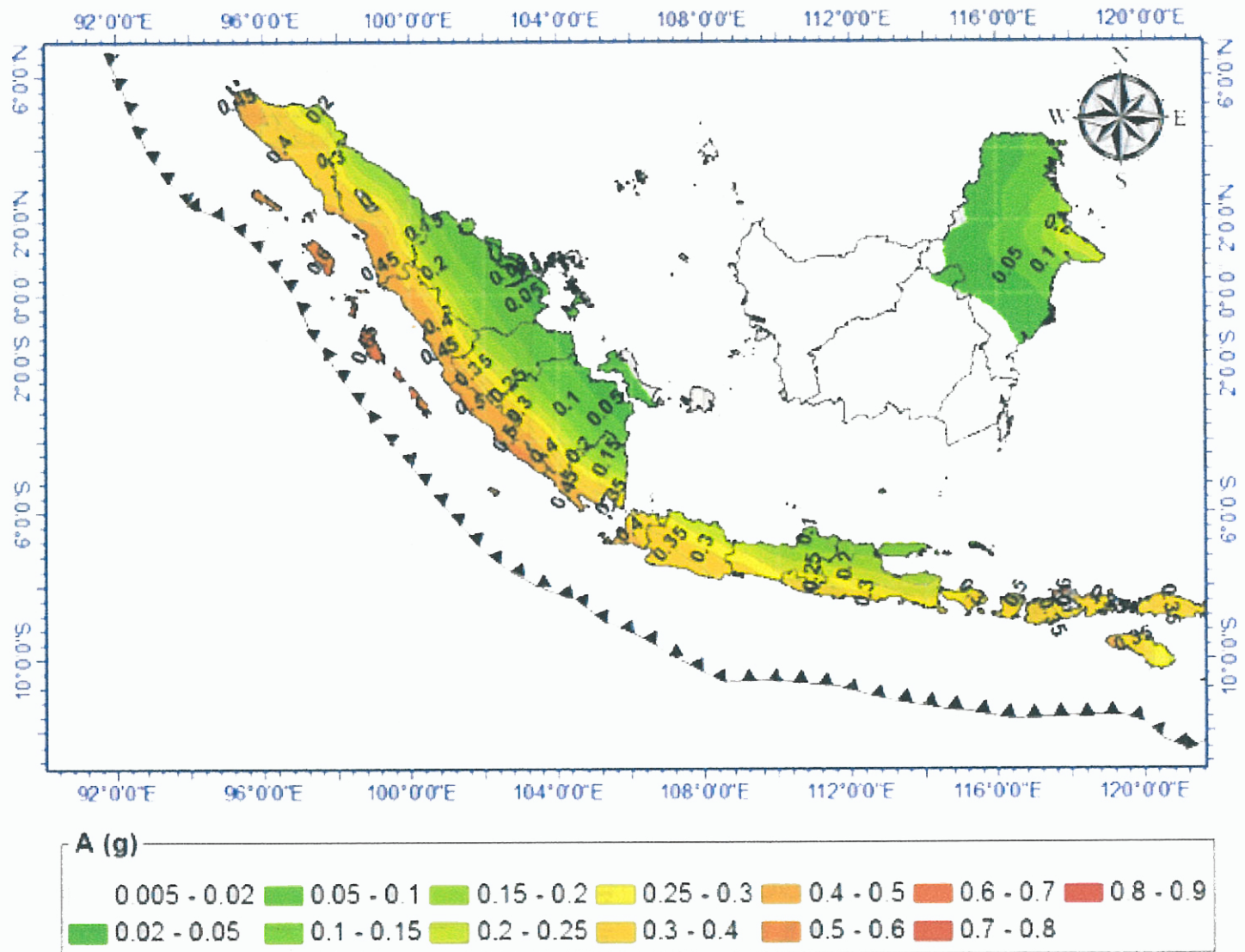
Secara umum analisis resiko gempa dapat dibagi dalam empat tahapan, yaitu :

1. Identifikasi dan karakterisasi sumber gempa.
2. Karakterisasi *earthquake recurrence* dari sumber gempa.
3. Perhitungan percepatan dari berbagai kemungkinan besaran gempa dan jarak terhadap suatu lokasi.
4. Penggabungan berbagai kombinasi dari ketidakpastian jarak kejadian gempa, besaran gempa dan percepatan yang dihasilkan untuk suatu periode ulang tertentu.

Periode ulang gempa yang akan ditinjau mengacu pada UBC 97, yaitu dengan nilai resiko gempa 10% dan umur bangunan desain 50 tahun (periode ulang = 475 tahun).

Berdasarkan hasil perhitungan parameter gempa untuk setiap zona sumber gempa seperti tersebut di atas yaitu Megathrust, sesar, *shallow background* dan *deep background* untuk Sumatera, Jawa-Sumba dan Kalimantan, maka diperoleh PGA (*Peak Ground Acceleration*) pada batuan dasar untuk periode ulang 475 tahun seperti diperlihatkan pada Gambar 11.

Pembagian zona dilakukan untuk kebutuhan perbandingan dengan mengakomodasi rentang percepatan maksimum pada peta-peta hasil penelitian sebelumnya, yaitu interval 0.05g untuk percepatan kurang dari 3g dan interval 0.1g untuk percepatan lebih dari 0.3g.

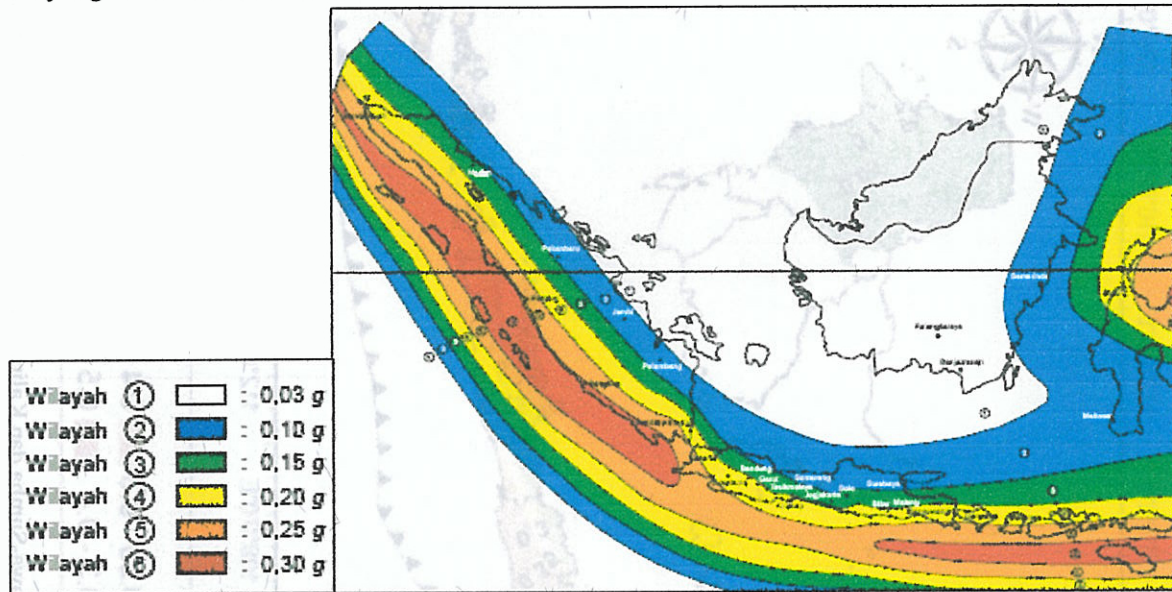


Gambar 11. Peta Percepatan gempa di batuan dasar Sumatera, Jawa-Sumba dan Kalimantan untuk periode ulang 475 tahun.

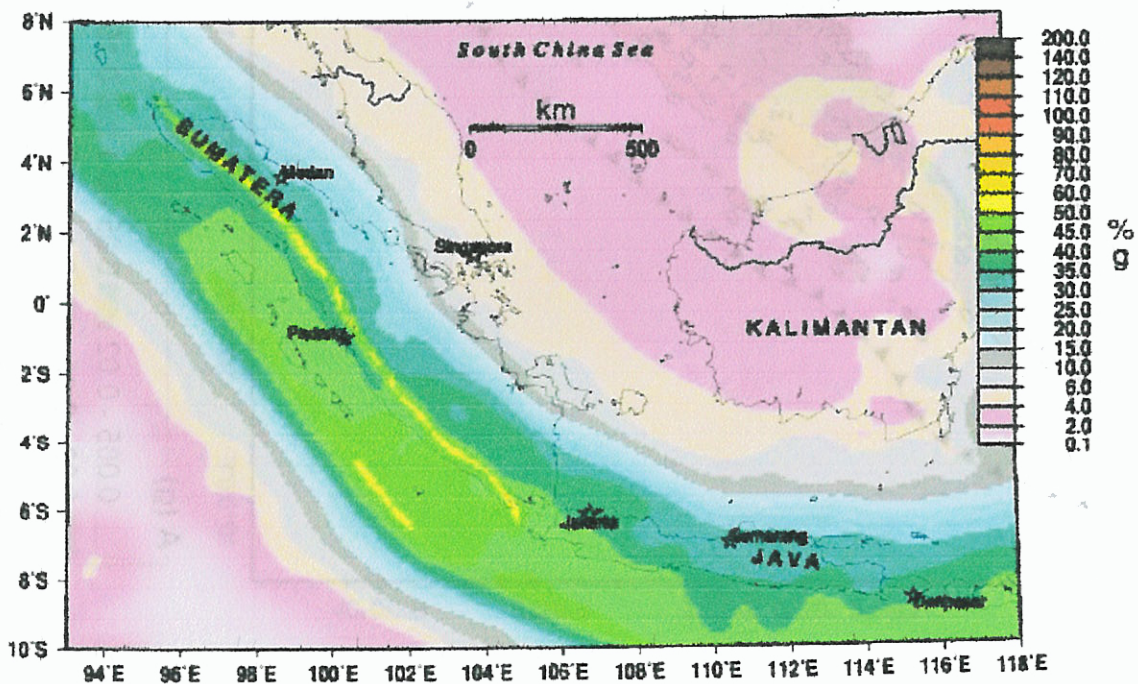
PEMBAHASAN

Perbandingan peta percepatan gempa di batuan dasar untuk periode ulang 475 tahun selanjutnya dilakukan untuk menguji hipotesis dan mengetahui kesesuaian hasil penelitian terhadap penelitian-penelitian lain yang belum lama ini dilakukan.

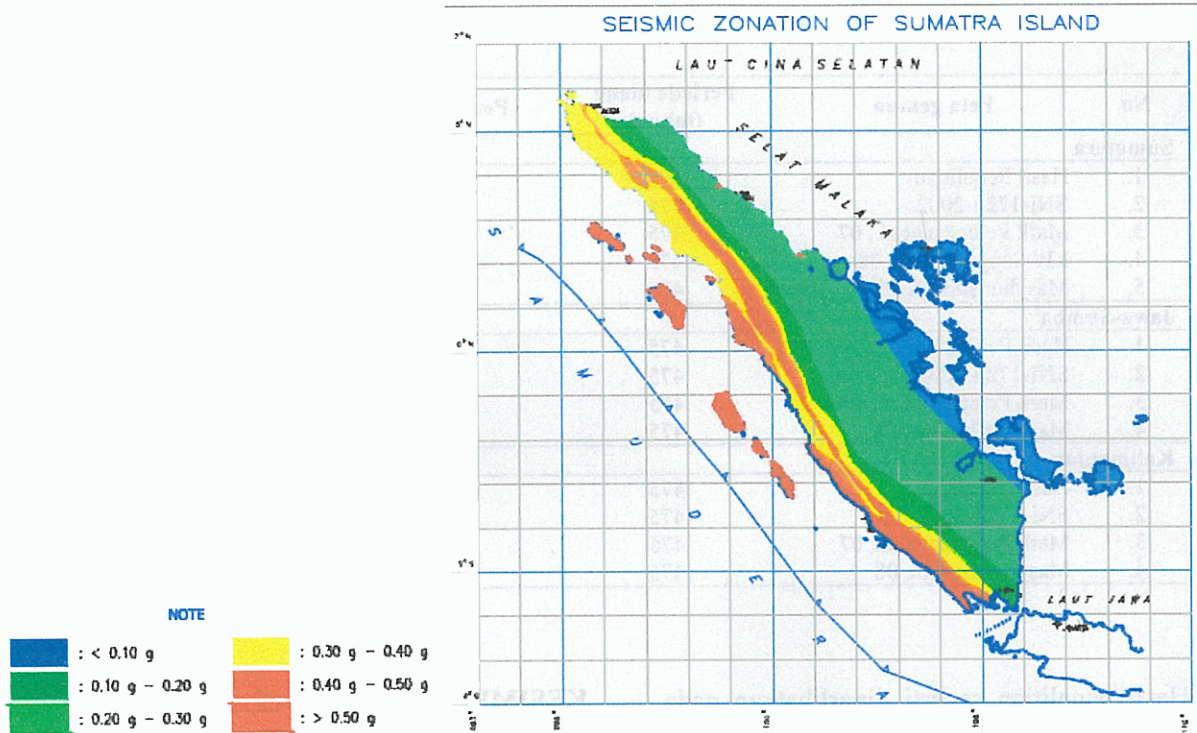
Peta yang dijadikan pembanding, yaitu peta percepatan gempa SNI 03-1726-2002, hasil publikasi Mark Petersen (2007), hasil publikasi I.W. Sengara (2008) dan hasil publikasi I. Masyhur. (2008) seperti diperlihatkan pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15.



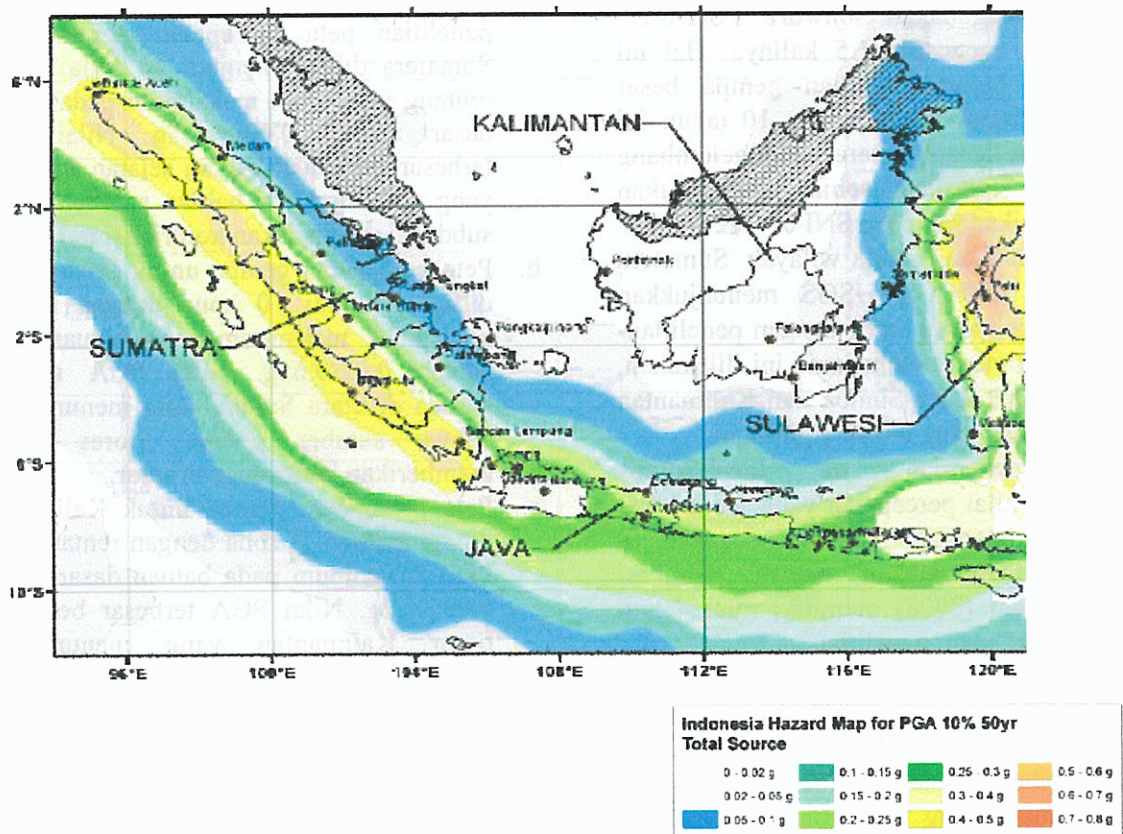
Gambar12. Peta percepatan gempa di batuan dasar, periode ulang 475 tahun (SNI 03-1726-2002)



Gambar 13. Peta percepatan gempa di batuan dasar, periode ulang 475 tahun (Mark Petersen et al., 2007)



Gambar 14. Peta percepatan gempa di batuan dasar, periode ulang 475 tahun (Sengara et al., 2008)



Gambar 15. Peta percepatan gempa di batuan dasar, periode ulang 475 tahun (Irsyam M., 2008)

Tabel 3. Perbandingan nilai PGA di Sumatera, Jawa-sumba dan Kalimantan

No	Peta gempa	Periode ulang (tahun)	Pembagian zona	Rentang nilai PGA (g)
Sumatera				
1.	Hasil Penelitian	475	10 zona	0.02-0.65
2.	SNI-1726-2002	475	6 zona	0.03-0.3
3.	Mark Petersen et al., 07	475	6 zona	0.1-0.6
4.	I W Sengara et al., 08	475	6 zona	0.1-0.5
5.	Masyhur Irsyam, 08	475	9 zona	0.02-0.6
Jawa-Sumba				
1.	Hasil Penelitian	475	10 zona	0.02-0.65
2.	SNI-1726-2002	475	5 zona	0.1-0.3
3.	Mark Petersen et al., 07	475	6 zona	0.15-0.45
4.	Masyhur Irsyam, 08	475	5 zona	0.1-0.4
Kalimantan				
1.	Hasil Penelitian	475	5 zona	0.005-0.2
2.	SNI-1726-2002	475	3 zona	0.003-0.15
3.	Mark Petersen et al., 07	475	4 zona	0.001-0.006
4.	Masyhur Irsyam, 08	475	10 zona	0-0.6

Hasil penelitian seperti diperlihatkan pada T menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai percepatan gempa maksimum antara peta gempa SNI 03-1726-2002 dan peta gempa hasil penelitian menggunakan *software* PSHA-07-USGS hingga mencapai 1.5 kalinya. Hal ini menunjukkan bahwa kejadian gempa besar yang terjadi dalam kurun waktu 10 tahun ini mengakibatkan kenaikan percepatan gelombang gempa yang signifikan sehingga diperlukan tinjauan/perbaikan terhadap SNI 03-1726-2002.

Hasil penelitian untuk wilayah Sumatera menggunakan PSHA-07-USGS menunjukkan nilai yang cukup komparatif dengan penelitian-penelitian lain yang belum lama ini dilakukan, sedangkan untuk Jawa-Sumba dan Kalimantan terjadi perbedaan yang cukup signifikan.

Hasil penelitian di Jawa-Sumba menunjukkan nilai percepatan yang lebih besar dibanding hasil penelitian lainnya, sedangkan di Kalimantan menunjukkan bahwa publikasi Masyhur Irsyam (2008) memiliki nilai 4 kali lebih besar dari hasil penelitian.

Hal ini menunjukkan bahwa faktor yang paling banyak mempengaruhi peta percepatan gempa adalah sumber data, permodelan sumber gempa (subduksi, sesar dan *background*) dan fungsi atenuasi yang dipergunakan sehingga diperlukan unifikasi sumber gempa untuk menghasilkan peta gempa yang dapat dipergunakan oleh semua pihak.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Berdasarkan kriteria tersebut hasil penelitian peta percepatan gempa untuk Sumatera dibagi menjadi 10 zona dengan rentang nilai PGA maksimum pada batuan dasar adalah 0.02g-0.65g. Nilai PGA terbesar berada di bagian selatan Sumatera yang menunjukkan bahwa sumber gempa subduksi memberikan kontribusi terbesar.
- Peta percepatan gempa untuk Jawa-Sumba dibagi menjadi 10 zona dengan rentang nilai PGA maksimum pada batuan dasar adalah 0.02-0.65g. Nilai PGA terbesar berada di utara Sumba yang menunjukkan bahwa sumber gempa Flores Thrust memberikan kontribusi terbesar.
- Peta percepatan gempa untuk Kalimantan dibagi menjadi 5 zona dengan rentang nilai PGA maksimum pada batuan dasar adalah 0.005-0.2g. Nilai PGA terbesar berada di timur Kalimantan yang menunjukkan bahwa sumber gempa di Sulawesi memberikan kontribusi terbesar.
- Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai percepatan gempa maksimum antara peta gempa SNI 03-1726-2002 dan peta gempa hasil penelitian menggunakan *software* PSHA-07-USGS mencapai 1.5 kalinya. Hal ini menunjukkan bahwa kejadian gempa besar yang terjadi

dalam kurun waktu 10 tahun ini mengakibatkan kenaikan percepatan gelombang gempa yang signifikan sehingga diperlukan tinjauan/perbaikan terhadap SNI 03-1726-2002.

- e. Hasil penelitian untuk wilayah Sumatera menggunakan PSHA-07-USGS menunjukkan nilai yang cukup komparatif dengan penelitian-penelitian lain yang belum lama ini dilakukan, sedangkan untuk Jawa-Sumba dan Kalimantan terjadi perbedaan yang cukup signifikan.

Saran

- a. Diperlukan tinjauan/perbaikan terhadap SNI 03-1726-2002.
- b. Diperlukan unifikasi sumber gempa untuk menghasilkan peta gempa yang dapat dipergunakan oleh semua pihak.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung*. SNI 03-1726. Jakarta : BSN.
- 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*. California : Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- Irsyam, Masyhur. 2008. *Usulan Revisi Peta Seismic Hazard Indonesia dengan Menggunakan Metode Probabilitas dan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi*. Bandung : HATTI.
- Katili, J.A. 1963. *Geologi*. Jakarta: Departemen Urusan Research Nasional.
- Kramer, Steven L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey : Prentice Hall, Inc.
- Kertapati, E.K. 1998. *Peta Seismotektonik Indonesia skala 1:5000000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G).
- McGuire, 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.
- Petersen, Mark et al. 2007. *Documentation for the Southeast Asia Seismic Hazard Map*. New York : U.S. Geological Survey.
- Sengara, I.W. et al. 2008. *Probabilistic seismic hazard mapping for Sumatera Island*, International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation. Jakarta : P3G.
- U.S. Geological Survey. 2009. Database fault di Indonesia <https://riskapplications.net/manage/DownloadSoftware?bookType=EZ-FRISK>. (Diakses bulan April 2009)
- U.S. Geological Survey. 2009. Katalog Gempa Indonesia <http://earthquake.usgs.gov/research/topics.php?areaID=13>, (diakses bulan April 2009).
- Wells, Donald L., and Coppersmith, Kevin J. 1994. *New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4, pp. 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, Vol. 68, No. 1, pp. 58-73.
- Zhao. John X, et. al. 2006. Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol 96 No. 3, June 2006 : pp 898 – 913.