

ANALISIS RISIKO GEMPA DI KOTA SURAKARTA DENGAN PENDEKATAN METODE GUMBEL

Unwanus Sa'adah¹⁾ Yusep Muslih Purwana²⁾ Noegroho Djarwanti³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

²⁾ Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

e-mail:¹⁾mektan.only@gmail.com, ²⁾ymuslih@yahoo.com³⁾noegroho_dj@yahoo.com

Abstract

Indonesia is a region which prone to earthquake because it is located between three world tectonic plates. Several large earthquakes occurred in Indonesia that made a lot of soil and structure damages that caused large of losses. To minimize structural damages can be held by designing with estimating seismic load. One of parameters that can be used in estimating seismic load is peak ground acceleration. Peak ground acceleration can be calculated by attenuation function in observation sites. This research used Attenuation Function of Boore et al (1997) and Youngs et al (1997) by considering shear wave velocity in observation sites. Attenuation Function analysis can be combined with probability analysis to result peak ground acceleration with specific annual period. Probability analysis in this research use Gumbel Methode. This research resulted peak ground acceleration in Surakarta City at 0,0985 gal for 500 years annual period and 0,1217 gal for 2500 years annual period.

Keywords: seismic hazard, attenuation, probability, Gumbel Methode, Surakarta City

Abstrak

Indonesia merupakan wilayah yang rawan gempa karena terletak di antara tiga lempeng tektonik dunia. Beberapa gempa besar kerap terjadi di Indonesia yang menimbulkan banyak kerusakan, baik berupa kerusakan tanah maupun kerusakan struktur yang mengakibatkan kerugian besar. Untuk meminimalkan kerusakan struktur, dapat diupayakan dengan perencanaan bangunan yang memperhitungkan gempa rencana. Dalam perhitungan gempa rencana, salah satu parameter yang biasanya dipakai adalah percepatan tanah puncak. Percepatan tanah puncak dapat dicari dengan menggunakan analisis Fungsi Atenuasi pada daerah yang akan ditinjau. Dalam penelitian ini digunakan Fungsi Atenuasi Boore et al. (1997) dan Youngs et al. (1997) dengan mempertimbangkan nilai cepat rambat gelombang geser pada lokasi yang ditinjau. Analisis Fungsi Atenuasi juga dapat disertai dengan analisis probabilitas untuk mendapatkan percepatan tanah puncak dengan kala ulang tertentu. Analisis probabilitas dalam penelitian ini menggunakan Metode Gumbel. Hasil penelitian menunjukkan percepatan tanah puncak di Kota Surakarta sebesar 0,0985 gal untuk kala ulang 500 tahun dan 0,1217 gal untuk kala ulang 2500 tahun.

Kata kunci: risikogempa, atenuasi, probabilitas, Metode Gumbel, Kota Surakarta

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan intensitas gempa yang cukup besar. Hal ini terjadi karena Indonesia terletak di antara tiga lempeng tektonik dunia yang masih aktif. Dalam sepuluh tahun terakhir, tercatat ada beberapa gempa besar yang terjadi di Indonesia, yaitu Gempa Aceh-Andaman yang diikuti Tsunami 2004 (M_w 9,2), Gempa Nias-Simelue 2005 (M_w 8,7), Gempa Yogyakarta 2006 (M_w 6,3), Gempa Pangandaran 2006 yang diikuti tsunami (M_w 6,8), Gempa Bengkulu 2007 (M_w 8,4 dan 7,9), Gempa Padang 2009 (M_w 7,6), Gempa Mentawai/Sumatera Barat 2010 (M_w 7,2) dan Gempa Simeulue-Aceh 2012 (M_w 8,9).

Gempa merupakan peristiwa alam yang tak dapat dicegah dan diprediksi secara akurat. Permasalahan yang timbul paska gempa biasanya berupa kerusakan-kerusakan pada tanah maupun pada struktur yang dapat mengakibatkan kerugian besar. Kerusakan pada struktur diakibatkan oleh gaya inersia yang diterima bangunan saat terjadi guncangan gempa. Kerusakan ini dapat dicegah dengan memperhitungkan beban gempa rencana saat proses perencanaan bangunan.

Salah satu parameter yang dibutuhkan dalam perencanaan bangunan adalah percepatan tanah puncak (*peak ground acceleration*). Untuk mencari percepatan tanah puncak pada suatu wilayah, dapat dilakukan dengan menggunakan analisis resiko gempa, yaitu analisis Fungsi Atenuasi. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan data riwayat gempa di sekitar lokasi yang ditinjau sekalipun pada lokasi tersebut tidak memiliki riwayat gempa. Karena gempa merupakan peristiwa yang tak dapat diprediksi, pada umumnya dalam analisis Fungsi Atenuasi jugadisertai analisis probabilitas untuk memperhitungkan besarnya kemungkinan gempa yang akan muncul.

METODE PENELITIAN

Dalam analisis Fungsi Atenuasi, ada beberapa fungsi yang telah dikembangkan. Fungsi-fungsi tersebut diturunkan berdasarkan riwayat gempa masa lalu. Selama ini, Fungsi Atenuasi yang umum digunakan dibedakan berdasarkan mekanisme gempa yang terjadi, apakah terjadi karena kerak dangkal (*shallow crustal fault*) atukah karena gempa yang terjadi di zona subduksi (*megathrust*).

Untuk gempa yang terjadi akibat kerak dangkal, biasanya menggunakan Fungsi Atenuasi dari Boore et al. (1997), Boore dan Atkinson (2008), Campbell dan Bozorgnia (2008) serta Chiou dan Youngs (2008). Sedangkan jika gempa terjadi pada zona subduksi, Fungsi Atenuasi yang digunakan biasanya adalah dari Youngs et al. (1997), Atkinson dan Boore (2003) serta Zhao et al. (2006). Namun pada penelitian ini, hanya akan digunakan Fungsi Atenuasi dari Boore et al. (1997) untuk gempa di kerak dangkal dan Fungsi Atenuasi Youngs et al. (1997) untuk gempa yang terjadi di zona subduksi. Sedangkan analisis probabilistik untuk memperhitungkan kemungkinan yang akan terjadi, digunakan metode Distribusi Gumbel dengan kala ulang 500 tahun dan 2500 tahun. Analisis ini dilakukan pada tujuh titik yang diambil secara acak di Kota Surakarta. Mula-mula, akan dicari nilai cepat rambat gelombang geser pada masing-masing titik *bore hole* dengan cara korelasi N_{SPT} tanah. Setelah diperoleh nilai cepat rambat gelombang geser tiap titik *bore hole*, akan dicari nilai cepat rambat gelombang geser rata-rata di wilayah Kota Surakarta dengan menggunakan rata-rata berbobot (*weight average*). Kemudian, barulah dicari percepatan gempa di batuan dasar dengan menggunakan Fungsi Atenuasi dengan kala ulang tertentu.

Analisis Probabilitas Metode Gumbel

Analisis probabilitas Metode Gumbel merupakan terorema probabilitas yang berkaitan dengan nilai ekstrim. Dengan menggunakan metode ini, akan diperoleh percepatan gempa di batuan dasar di Kota Surakarta dengan periode ulang tertentu. Dalam penelitian ini, dipakai periode ulang 500 tahun dan 2500 tahun. Pengaruh dari setiap kejadian gempa ditinjau dengan menggunakan persamaan Fungsi Atenuasi dengan berasumsi bahwa setiap kejadian gempa bersifat independen terhadap titik tersebut. Persamaan distribusi gempa menurut Gumbel adalah sebagai berikut.

$$G(M) = e^{(-\alpha e^{-\beta M})}; M \geq 0 \dots\dots\dots [1]$$

$$y = A + Bx \dots\dots\dots [2]$$

$$A = \frac{\sum y_j \cdot \sum x_j^2 - \sum x_j \sum (x_j \cdot y_j)}{n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2} \dots\dots\dots [3]$$

$$B = \frac{n \sum (x_j \cdot y_j) - \sum x_j \cdot \sum y_j}{n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2} \dots\dots\dots [4]$$

$$y_j = \ln(-\ln G(M)) = \ln\left(-\ln\left(\frac{j}{N+1}\right)\right) \dots\dots\dots [5]$$

$$a = \frac{\ln(T \cdot \alpha)}{\beta} \dots\dots\dots [6]$$

dimana :

- α = jumlah gempa rata-rata per tahun,
- β = parameter yang menyatakan hubungan antara distribusi gempa dengan magnitude
- M = momen magnitude gempa
- x = percepatan
- $x_j = a_j$ = percepatan gempa ke-j
- j = nomor urut kejadian
- N = selang waktu pengamatan

Fungsi Atenuasi

Fungsi Atenuasi merupakan fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas gerakan tanah setempat, magnitude gempa, dan jarak dari sumber gempa yang telah ada, seperti pada Gambar 1(a).

Faktor-faktor yang mempengaruhi fungsi atenuasi antara lain:

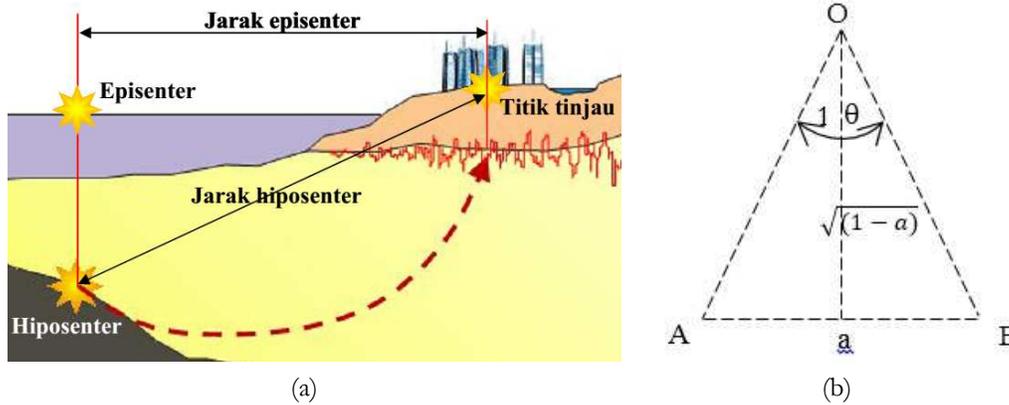
1. Mekanisme Gempa.

Pada umumnya gempa terjadi karena pergeseran lempeng tektonik yang tiba-tiba, sehingga mengakibatkan terlepasnya energi yang sangat besar. Pergeseran lempeng tektonik ini bisa terjadi pada zona *subduction* ataupun pada kerak dangkal. Gempa pada zona *subduction* biasanya mempunyai frekuensi yang berbeda dengan gempa pada kerak dangkal

2. Jarak Episenter.

Respon spektrum dari gempa yang tercatat pada batuan mempunyai bentuk yang berbeda tergantung jarak episenternya (*near, mid and far field*). Gempa *near field* memberikan respon tinggi pada periode yang rendah tapi mengecil secara drastis dengan bertambahnya periode. Sebaliknya, gempa *far field* pada periode rendah memberikan respon yang terlihat konstan hingga periode sekitar satu detik. Hal ini menunjukkan adanya perubahan frekuensi gempa dengan makin jauhnya daerah yang ditinjau ke episenter. Untuk menghitung jarak episenter, dapat meng-

gunakan Persamaan Haversine yang diusulkan oleh Sinnot. Perumusan tersebut dimodelkan dengan pemodelan bola sederhana seperti pada ilustrasi Gambar 1 (b).



Gambar 1. (a) Hubungan antara jarak episenter, hiposenter dan titik tinjau (Asrurifak, 2014) dan (b) pemodelan garis hubungan pusat bumi dengan titik tinjau.

Dalam ilustrasi pemodelan Gambar 1 (b), titik O merupakan center dari bumi, A dan B merupakan titik dalam lingkaran dan AOB membentuk sudut θ , secara sederhana dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$r = \cos^{-1}(\sin(\text{lat } 1) \times \sin(\text{lat } 2) + \cos(\text{lat } 1) \times \cos(\text{lat } 2) \times \cos(\text{long } 2 - \text{long } 1)) \times R \dots \dots \dots [7]$$

dimana:

R = Radius jari-jari bumi = 6.378,1 km.

3. Kondisi Tanah Lokal.

Kondisi tanah memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan respon suatu daerah terhadap gelombang gempa. Respon gempa yang tiba di batuan dasar bisa diperkuat, diperlemah atau berubah frekuensinya karena tersaringnya getaran berfrekuensi tinggi.

Seperti yang telah disinggung sebelumnya, di dalam penelitian ini digunakan Fungsi Atenuasi Boore et al. (1997) untuk gempa yang terjadi pada kerak dangkal. Sedangkan untuk gempa di zona *subduction* akan digunakan Fungsi Atenuasi Youngs et al. (1997).

1. Boore, Joyner dan Fumal (Boore, et al., 1997)

Fungsi Atenuasi ini diperoleh berdasarkan data rekam gempa yang terjadi di Amerika Utara bagian barat sebelum tahun 1981 dan di California (1989 Loma Prieta, 1992 Petrolia dan 1992 Landers). Persamaan Fungsi Atenuasi ini memperhitungkan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata pada kedalaman 30 m.

$$\ln Y = -0.313 + 0,527(M - 6) - 0,778 \ln r - 0,371 \ln \frac{V_s}{1396} \dots \dots \dots [8]$$

Dimana:

- M = momen magnitudo gempa $5,0 \leq M \leq 7,7$
- r = jarak hiposenter (km)
- r_{jb} = jarak episenter, $d \leq 80$ km
- V_s = Shear wave velocity (kecepatan gelombang geser rata-rata)

2. Youngs et. al (1997)

Fungsi atenuasi Youngs et al. dikembangkan berdasarkan data gempa subduksi, dengan magnitudo $M \geq 5$ dan jarak titik tinjau ke sumber gempa sejauh 10-500 km.

$$\ln Y = -0,6687 + 1,438 M - 2.329 \ln(R + 1,097e^{0,617M}) + 0,00648H + 0,3643Z_T \dots \dots \dots [9]$$

Dimana:

- M = momen magnitudo gempa $M \geq 5$
- r_{mp} = jarak episenter, dalam km

- H = kedalaman antara 10-500 km
 Z_T = tipe sumber gempa, 0 untuk *interface*, 1 untuk *interslab*
 $C_s + C_s M$ = standar deviasi (untuk $M \geq 8$, standar deviasi bernilai sama dengan $M = 8$)

3. Kecepatan Gelombang Geser (V_s)

Dalam analisis Fungsi Atenuasi dari Boore et al. (1997), diperlukan parameter kecepatan gelombang geser. Kecepatan gelombang geser dapat dicari dengan cara menggunakan rata-rata berbobot (*weight average*) pada titik yang ditinjau dengan menggunakan persamaan 10. Sedangkan percepatan gelombang geser pada masing-masing deposit tanah dicari dengan menggunakan korelasi N_{SPT} tanah berdasarkan Persamaan 11 dan Persamaan 12.

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum \bar{V}_{si}} \text{ (SNI 1726 tahun 2012)} \dots\dots\dots [10]$$

$$V_s = 350 * N^{0,314} \text{ (Imai dan Tonouchi, 1982)} \dots\dots\dots [11]$$

$$V_s = 85,3 * N^{0,341} \text{ (Ohta dan Gohto)} \dots\dots\dots [12]$$

Dimana:

- \bar{V}_s = Kecepatan gelombang geser rata-rata (m/s)
 d_i = Tebal tiap lapisan (m)
 v_{si} = Kecepatan gelombang geser pada lapisan i (m/s)

Boore et.al menyarankan nilai kecepatan gelombang geser pada klasifikasi situs disesuaikan pada pada Tabel 1.

Tabel 1. Kecepatan gelombang geser rata-rata

Kelas	V_s (m/s)
NEHRP site class B	1070
NEHRP site class C	520
NEHRP site class D	250
Rock	620
Soil	310

Sumber: Boore et. al, 1997

Sedangkan dalam menentukan kelas situs, digunakan Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Klasifikasi jenis tanah

Klasifikasi Jenis Tanah	\bar{V}_s	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air $w \geq 40\%$ dan kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. 2. Lempung sangat organik dan/ atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) 4. Lapisan lempung lunak medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 25$ kPa		

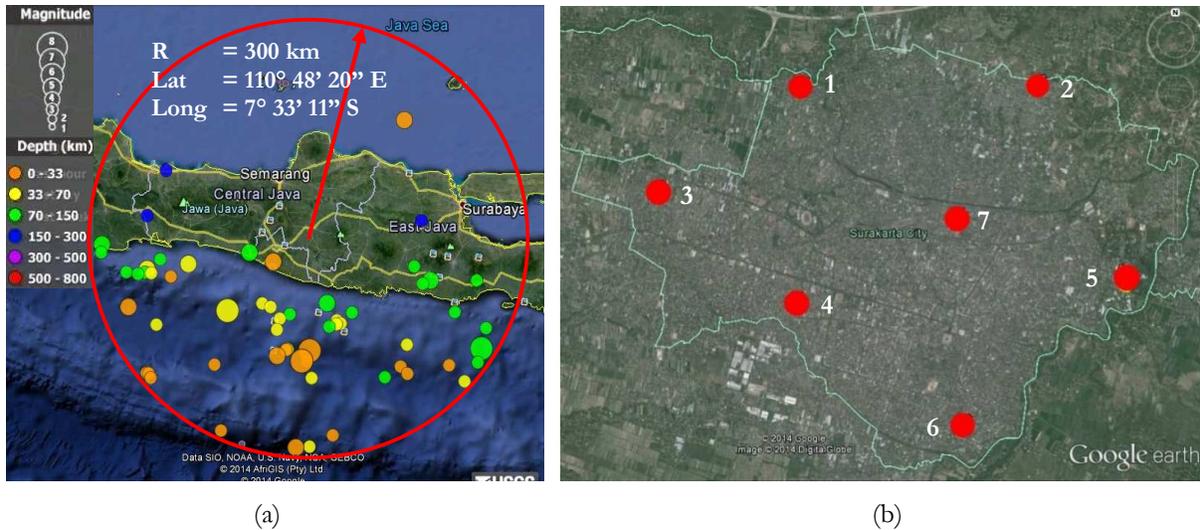
Sumber: SNI 1726: 2012

Pengumpulan Data Gempa

Pada penelitian ini, data gempa diambil dari katalog gempa *National Earthquake Information Center U.S. Geological Survey (USGS)*. Data tersebut dapat diunduh dari <http://earthquake.usgs.gov/earthquake/search>.

Berikut adalah input dalam pengambilan data rekam gempa dari situs USGS.

Rentang waktu : 01/01/1900 s/d 01/07/2014
 Kekuatan gempa : 5,0 – 9,0 SR
 Kedalaman gempa : 0 – 500 km
 Titik tinjau : 7° 33' 11" S dan 110° 48' 20" E
 Outsidecircularradius : 300 km



Gambar 2.(a) Output sebaran data rekam gempa dalam file *Google Earth* dan (b) sebaran acak titik tinjauan PGA di Kota Surakarta di *Google Earth*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis dengan menggunakan persamaan 10 sampai dengan 12, diperoleh nilai cepat rambat gelombang geser rata-rata Kota Surakarta sebesar 276,12 m/s. Dengan demikian, berdasarkan tabel 2, Kota Surakarta termasuk dalam klasifikasi jenis tanah sedang atau *NEHRP site class D* (Tabel 1). Boore et al. (1997) menyarankan nilai V_s untuk klasifikasi tanah sedang adalah 250 m/dt. Sehingga pada penelitian ini digunakan V_s 250 m/dt. Hasil analisis fungsi atenuasi dengan probabilitas kala ulang 500 tahun dan 2500 tahun disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis percepatan puncak gempa di batuan dasar

Periode Ulang	N	A	α	$-B$	β	a
500 tahun	51	0,5935	1,8104	-69,1423	69,1423	0,0985
2500 tahun	51	0,5935	1,8104	-69,1423	69,1423	0,1217

SIMPULAN

Cepat rambat gelombang geser di kota adalah 276,12 m/dt. Dengan demikian, Kota Surakarta termasuk dalam wilayah dengan klasifikasi jenis tanah sedang. Besarnya percepatan gempa di batuan dasar dengan Metode Gumbel untuk periode ulang 500 tahun di kota Surakarta adalah 0,0985 gal. Sedangkan untuk periode ulang 2500 tahun, diperoleh percepatan puncak sebesar 0,1217 gal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. M. Ridwan, Dipl. E. Eng, Litbang Pemukiman PU dan Raden Harya Dananjaya Hesti I, S. T, M. Eng yang telah berkenan berbagi ilmu kepada penulis.

REFERENSI

- Aldiamar, F., Ridwan, M., Asrurifak, M. & Irsyam, M., 2010. *Analisis dan Evaluasi Faktor Amplifikasi Percepatan Puncak Gempa di Permukaan Tanah*, s.l.: s.n.
- ASCE, 2010. *Minimum Design Loads for Building and Other Structure*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Asrurifak, M., 2014. *Peta Gempa Indonesia untuk Perencanaan Struktur Banguna Tahan Gempa*. Padang: Seminar HAKI-HATTI.

- Asrurifak, M., Irsyam, M. & Budiono, B., 2009. *Peta Hazard Sumatera di Permukaan untuk Berbagai Kondisi Tanah dengan Model Sumber Gempa 3D dan Faktor Amplifikasi Mengikuti IBC-2009*, Bali: PIT XII HATTI.
- Asrurifak, M. et al., 2010. *Peta Spektra Hazard Indonesia dengan Menggunakan Model Gridded Seismicity untuk Sumber Gempa Background*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Bandung, P. M. B. I. T., 2010. *Laporan Akhir Pendayagunaan Peta Mikrozonasi Gempa di DKI Jakarta*, Bandung: Pusat Mitigasi Bencana Institut Teknologi Bandung.
- Boore, D. M., Joyner, W. B. & Fumal, T. E., 1997. Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North America Earthquakes: A Summary of Recent Work. *Seismological Research Letters*, pp. 128-153.
- Boulanger, R. W. & Idriss, I. M., 2004. *Evaluating the Potential for Liquefaction or Cyclic Failure of Silts and Clays*, California: Department of Civil and Environmental Engineering, University of California.
- Budiono, A. D. A., 2011. *Evaluasi Peak Ground Acceleration untuk Peta Gempa Indonesia di Kota Padang*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Budiono, B., 2011. *Konsep SNI Gempa 1726-201X*. Semarang: HAKI.
- Das, B. M., 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. 7th penyunt. Stamford: Cengage Learning.
- Handayani, G., 2011. *Mitigasi Bencana Alam*. Bandung, Seminar Kontribusi Fisika 2011.
- Hutapea, B. M. & Mangape, I., 2009. Analisis Hazard Gempa dan Usulan Ground Motion pada Batuan Dasar untuk Kota Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, pp. 121-132.
- Ikhsan, R., 2011. *Analisis Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara*, Depok: Universitas Indonesia.
- Indonesia, T. R. P. G., 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Bandung: s.n.
- Irsyam, M. et al., 2008. *Usulan Ground Motion untuk Batuan Dasar Kota Jakarta dengan Periode Ulang 500 Tahun untuk Analisa Site Specific Response Spectra*, Jakarta: Seminar dan Pameran HAKI 2008.
- Jananda, A. S., Fadillah, P., Partono, W. & Hardiyati, S., 2014. Pengembangan Peta Kecepatan Gelombang Geser dan Peta Tahanan Penetrasi Standar di Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, III(1), pp. 167-176.
- Kramer, S. L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. London: Prentice Hall International.
- Kurnia, D., 2011. *Evaluasi Percepatan Gempa untuk Peta Gempa Indonesia di Kepulauan Mentawai*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pawirodikromo, W., 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- SNI, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non gedung*, s.l.: Bandar Standarisasi Nasional.
- Youngs, R. R., Chiou, S. J. & Humphrey, J. R., 1997. Strong Ground Motion Attenuation Relationship for Subduction Zone Earthquakes. *Seismological Research Letters*, pp. 58-73.
- Yunita, W., 2011. *Mikrozonasi Gempa Jakarta dengan Periode Ulang 500 Tahun*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.