

PENENTUAN KURVA RESPON SPECTRA GEMPA UNTUK WILAYAH JAKARTA

Andri Budiadi dan Ambar Susanto¹

Abstract

Probability Seismic Hazard Analysis (PSHA) has been applied in order to find the spectral response of the earthquake in Jakarta Region. All the possibilities of movement of the land as the result of the earthquake had analyzed integrated. N-value of SPT, Peak ground acceleration and others seismologists data had been used.

The research shown that the Peak Acceleration of the Base Rock at Jakarta region is 0.185 g. The result according to a probability of 10% of the design-age of 50 years at 500 years of period time.

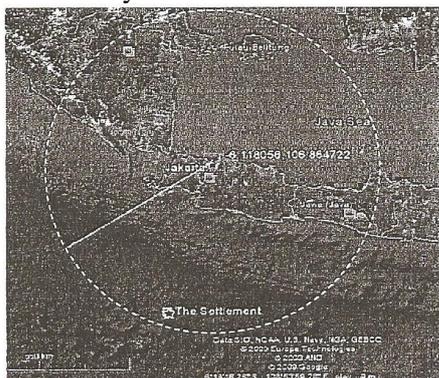
According to the result, the researchers propose the Acceleration of the peak soil at about 0.330 g for Jakarta Region.

Kata kunci:

Kurva Respon Spectra, wilayah gempa, Percepatan Puncak Batuan Dasar, Analisa Probabilitas

PENDAHULUAN

Tulisan ini membahas cara penentuan kurva respon spektra suatu wilayah gempa. Untuk menentukan kurva tersebut suatu contoh wilayah gempa harus diambil. Hal ini disebabkan data-data untuk analisa gempa suatu wilayah gempa akan digunakan untuk analisa wilayah gempa tersebut. Dengan mengetahui respon spektra suatu wilayah gempa maka akan teridentifikasi potensi bahaya gempa di sekitar wilayah tersebut.



Gambar 1. Peta Lokasi Wilayah Gempa Jakarta

Potensi bahaya gempa ini meliputi patahan lapisan kulit akibat dorongan yang sangat besar dan zona *beniof* di wilayah sekitar Jakarta yaitu meliputi zona subdaksi antara Jawa dan Sumatra.

Analisa dilakukan dengan cara probabilitas bahaya gempa. Data mengenai percepatan tanah puncak dan data seismi-

stas lain dikumpulkan untuk memperoleh potensi bahaya gempa dan analisa respon secara spesifik. Hasil dari analisa ini adalah dalam bentuk nilai probabilitas percepatan puncak horizontal pada dasar bantuan untuk berbagai periode ulang. Setiap sumber gempa dibuat model dan penurunannya, kemudian digunakan untuk menampilkan setiap zona sumber gempa terhadap percepatan probabilitas total.

Tujuan dari analisa ini adalah menentukan percepatan puncak batuan dasar pada wilayah gempa yang ditinjau didasarkan pada catatan-catatan gempa di wilayah tersebut. Di samping itu analisa ini juga bertujuan menentukan percepatan tanah puncak di wilayah gempa yang ditinjau yang berhubungan dengan data tanah. Dengan percepatan tanah puncak tersebut maka respon spektra wilayah tersebut dapat ditentukan. Respon spektra ini dapat dibandingkan dengan respon spektra dari suatu kode gempa.

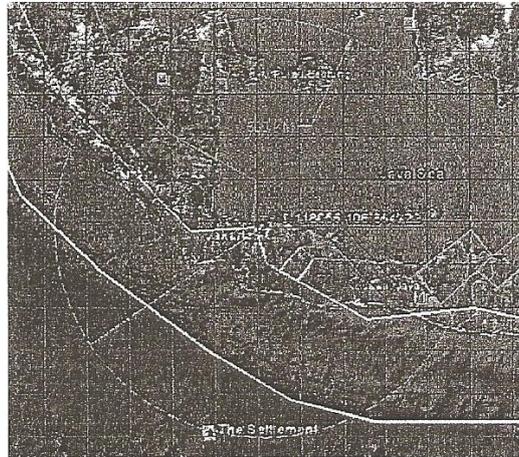
METODOLOGI

Berdasarkan kondisi geologis dan sejarahnya sumber gempa untuk wilayah Jakarta dapat dibagi menjadi zona subdaksi dan zona lapisan kulit dangkal. Zona tipe sumber sub-daksi berasal dari lempeng Australia di bawah lempeng Eurasia, yang disebut dengan istilah Lengkungan Indonesia. Cekungan ini berada di sekitar se-latan Sumatra dan Pulau Jawa dengan

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung

subdaksi berawal dari lautan Hindia. Dari profil titik refleksi pusat gempa di atas tanah (*hypo-center*) dapat dilihat bahwa subdaksi pusat gempa adalah dari utara ke selatan. Hal ini ditandai dengan kecenderungan bahwa keda-laman pusat gempa

(*epicenter*) bertambah dari Selatan ke Utara. Berdasarkan kondisi ini, dapat diestimasikan bahwa gempa di wilayah Jakarta dengan mekanisme subdaksi disebabkan oleh aktifitas cekungan Indonesia.



Gambar 2 Distribusi Gempa Sekitar Jakarta

Dari pusat-pusat gempa yang berada pada radius 500 km dari Jakarta, zona sumber lapisan kulit dangkal yang memberi pengaruh terhadap kegempaan wilayah Jakarta terdiri dari: Patahan Semangko yang melewati Selat Sunda, Merak-Ujungkulon, Bogor-Puncak-Cianjur, Sukabumi- Padararang, Bandung, Purwakarta, Maja-langka-Kuningan dan Patahan Garut Tasik-malaya-Ciamis. Semua patahan gempa tersebut mengakibatkan terjadinya gempa yang meresahkan penduduk Jakarta.

Probabilitas Bahaya Gempa.

Analisa probabilitas bahaya gempa (PSHA) adalah evaluasi terhadap frekuensi tahunan dari tingkat pergerakan tanah kejadian pada suatu lokasi. Hasil dari PSHA adalah kurva bahaya gempa melukiskan pergerakan tanah puncak terhadap frekuensi tahunan dari tingkat pergerakan tanah yang melampaui atau pergerakan tanah puncak terhadap periode perulangan gempa. PSHA mengintegrasikan semua kemungkinan pergerakan tanah akibat gempa pada suatu lokasi dari semua kemungkinan sumber gempa yang merupakan perwakilan lengkap dari bahaya di suatu lokasi. Dasar perumusan PSHA digeneralisasi mengguna-

kan teori probabilitas total seperti persamaan sebagai berikut.

$$P(Y>y)= \sum V_i \iint P(Y)>y | M, R) f_{M,R}(m,r) dm \dots \dots \dots (1)$$

Dimana Y dan y adalah pergerakan tanah, M dan m adalah magnitudo, R dan r adalah jarak, Vi kecepatan gempa untuk sumber i_t dan penjumlahan adalah terhadap semua sumber. Jika magnitudo dan jarak diasumsikan secara *statistic independent* (mandiri secara statistik), maka persamaan di atas menjadi :

$$P(Y>y)= \sum V_i \iint P(Y)>y | M, R) f_M(m) f_R(r) dm dr \dots \dots \dots (2)$$

Pusat gempa diasumsikan menjadi terbagi merata dengan seragam di dalam sumber. Asumsi ini digunakan untuk menentukan fungsi kepadatan probabilitas pada jarak f_r(r). Fungsi kepadatan probabilitas dari *magnitude* f_m(m) untuk setiap sumber akan ditentukan oleh magnitudo minimum dan maksimum pada lokasi yang bersangkutan dan nilai β dari Guttenberg Richter model kejadian gempa menggunakan distri-

busi ekponensial yang dipotong. Persamaan kepadatan probabilitas dari *magnitude* $f_m(m)$ adalah :

$$f_m(m) = \frac{\beta e^{-\beta(m-M_o)}}{1 - e^{-\beta(M_{max}-M_o)}} \dots\dots\dots(3)$$

dimana M_o adalah *magnitude* gempa terkecil yang digunakan dalam analisa. Dengan memberikan besaran dan jarak sumber, tingkat pergerakan tanah pada lokasi dapat ditentukan dengan fungsi pelemahan. Probabilitas bahwa tingkat pergerakan tanah tersebut akan melampaui dapat dihitung dengan asumsi bahwa tingkat tanah adalah terdistribusi secara normal dengan dasar logaritma.

Analisa Probabilitas Bahaya Gempa (PSHA)

Dengan mengaplikasikan cara analitis diatas, PSHA dilakukan dengan menggunakan modifikasi sebuah program Komputer yang disebut EQRISK untuk mengevaluasi bahaya gempa dengan opsi untuk menggunakan fungsi pelemahan yang sesuai. Untuk memverifikasi hasilnya, persamaan bahaya gempa dihitung secara numerik dengan menggunakan program MATLAB yang menggunakan fungsi probabilitas kepadatan diskrit. Tingkat percepatan puncak batuan dasar (PBA) yang berhubungan dengan berbagai periode ulang beserta kontribusi zona sumber gempa terhadap percepatan probabilitas diperoleh dari kedua analisa seperti ditunjukkan pada tabel sebagai berikut. Tabel berikut menampilkan PBA dari kedua analisa untuk beberapa nilai periode ulang. Disini dapat dilihat bahwa kedua analisa memberikan hasil yang menyerupai/hampir sama. Untuk periode ulang 500 tahun nilai PBA adalah 0,185 g. Angka ini akan digunakan untuk merumuskan respon spektra berdasarkan suatu peraturan gempa, misalnya SNI atau UBC.

Tabel 1 Hasil Analisa Probabilitas Gempa (MHI, 2009).

| Periode Ulang Gempa(Tahunan) | Percepatan Puncak Batuan Dasar (g) | |
|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| | EQRISK | Integrasi numerik |
| 100 | 0,106 | 0,106 |
| 200 | 0,136 | 0,138 |
| 500 | 0,185 | 0,191 |
| 800 | 0,214 | 0,224 |
| 1000 | 0,228 | 0,241 |

Penentuan Respon Spektra Wilayah Jakarta

Klasifikasi tanah oleh suatu peraturan gempa, seperti UBC 1997 mendefinisikan kecepatan rambatan suatu gelombang pada suatu jenis tanah ($S_{A,B,\dots}$) misalnya untuk batuan keras $\bar{V} > 1500m/dt$.

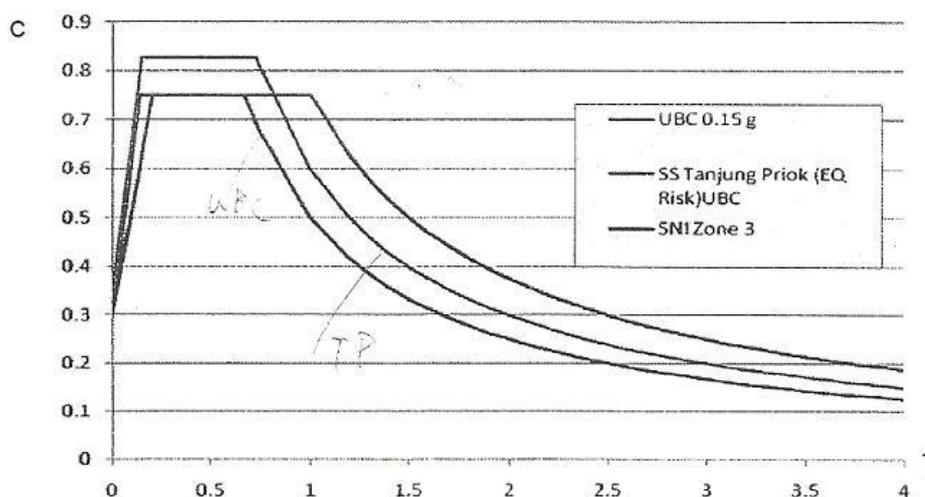
Nilai rata-rat SPT tanah (\bar{N}) adalah

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan adanya ketebalan lapisan tanah (mm) N_i , nilai N pada lapisan yang ditinjau, untuk menentukan klasifikasi tanah tentu saja data lapangan berupa nilai SPT tanah N wilayah Jakarta harus ditentukan terlebih dahulu. Tabel berikut menunjukkan konstanta yang digunakan untuk membentuk respon spectra wilayah Jakarta berdasarkan pada UBC (*Uniform Building Code*). Respon spektra wilayah Jakarta ditampilkan pada gambar berikut bersama-sama dengan respon spectra yang disarankan oleh SNI untuk wilayah Jakarta (zone 3). Dapat dilihat bahwa koefisien gempa C dari analisa ini untuk wilayah Jakarta lebih besar dari nilai yang disarankan oleh SNI untuk wilayah 3 dengan nilai periode alami kurang dari 0,723 detik. Tetapi untuk struktur dengan periode alami lebih besar dari 0,8 detik, nilai spektra untuk wilayah Jakarta lebih kecil dari nilai yang disarankan oleh SNI.

Tabel 2 Nilai Spektra Wilayah Jakarta

| Respon spektra untuk tanah lunak | Ao(g) | Am(g) | Ar(g) | To(sec) | Tc(sec) |
|----------------------------------|-------|-------|-------|---------|---------|
| SNI Zone 3 | 0.300 | 0.750 | 0.750 | 0.200 | 1.000 |
| UBC 0.15 g | 0.300 | 0.750 | 0.500 | 0.133 | 0.667 |
| Tanjung Priok | 0.828 | 0.828 | 0.599 | 0.145 | 0.723 |



Gambar 3 Respon Spektra Bentuk Normal

ANALISA

Nilai percepatan puncak batuan dasar (PBA, *Peak Base Rock Acceleration*) untuk suatu wilayah dengan periode ulang rata-rata didefinisikan dengan melakukan analisa probabilitas bahaya gempa (PSHA). Analisa ini dilakukan dengan menggunakan fungsi penguatan gempa yang sesuai.

Data-data Gempa

Analisa bahaya gempa memerlukan data gempa-gempa yang terjadi disekitar wilayah Jakarta untuk periode waktu tertentu. Data-data ini bisa diperoleh dari *National Earthquake Information Centre-United States Geological Survey* (NEIC-USGS) serta Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG-Indonesia).

Analisa Data Gempa

Semua data gempa kemudian dianalisa dengan menggunakan cara statistika sebelum digunakan pada analisa bahaya gempa. Prosedur ini dilakukan untuk mengurangi kesalahan sistematis dan mendapatkan hasil yang benar. Caranya adalah: pertama mengkonversi besaran gempa. Karena gempa di Indonesia dicatat dengan menggunakan peralatan yang berbeda yang mencatat gempa dengan ukuran yang berbeda pula. Peralatan ada yang mengguna-

kan gelombang permukaan(Ms) dan ada yang menggunakan besaran skala Richter local (MI), besaran badan gelombang (mb) atau besaran momen (Mw). Firmansyah (1999) menyatakan hubungan antara besaran-besaran tersebut dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_s = 1,33 m_b - 1,98 \dots\dots\dots(5)$$

dan

$$M_w = 1,10 M_s - 0,64 \dots\dots\dots(6)$$

Tahap berikutnya adalah menganalisa ketergantungan dari gempa yang terjadi. Analisa bahaya gempa pada PSHA didasarkan pada gempa tersendiri (*independent*). Kejadian-kejadian yang tergantung seperti getaran sebelum dan sesudah gempa harus diidentifikasi sebelum resiko gempa dapat diperkirakan. Penggabungan dari kejadian-kejadian yang tergantung pada analisa bahaya gempa telah diketahui menghasilkan penambahan kecil pada perkiraan bahaya gempa. Tahap terakhir adalah menganalisa kelengkapan data gempa. Pengetahuan mengenai riwayat gempa dan homogenitas data gempa adalah kunci utama pada evaluasi interval terjadinya kembali dan evaluasi bahaya gempa. Riwayat gempa yang dicatat adalah lebih lengkap untuk gempa besar dari pada gempa kecil. Hal ini dise-

babkan lokasi dan jumlah stasiun pencatat gempa dan kepadatan penduduk.

PEMBAHASAN

Pembahasan mengenai penentuan kurva respon spectra gempa untuk wilayah Jakarta dilakukan dengan membahas model sumber gempa kemudian dilanjutkan dengan fungsi pelemahan. Dari kedua bahasan tersebut dibuat model kejadian gempa gempa untuk menentukan besaran gempa (*magnitude*) maksimum.

Model Sumber Gempa

Berdasarkan data bahwa fungsi penguatan berkurang sangat signifikan pada jarak 500 km atau lebih, zona sumber gempa yang memberikan kontribusi terhadap suatu wilayah gempa. Sehingga sumber gempa dibatasi sampai radius 500 km. Sumber gempa diluar radius 500 km tidak signifikan mempengaruhi percepatan puncak probabilistik. Sumber gempa adalah zona subdaksi di selatan Jakarta dan lapisan kulit dangkal di sekitar Jakarta. Sumber gempa yang berhubungan dengan zona subdaksin dibagi menjadi zona dorongan yang sangat kuat (*megatrust*) dan *benioff*. Gempa yang terjadi pada kedalaman kurang dari 70 km dipertimbangkan sebagai zona *megatrust* dan dimodelkan sebagai luasan rektilinear yang ditempatkan pada rata-rata kedalaman 35 km. Gempa yang terjadi pada kedalaman antara 70 dan 200 km dipertimbangkan menjadi zona *benioff* dan dimodelkan sebagai area rekrilinear yang ditempatkan pada kedalaman 135 km. Zona gempa pada lapisan kulit dangkal adalah patahan yang berhubungan dengan sistem desakan lengkung dan punggung Flores. Kejadian-kejadian gempa pada kedalaman lebih dari 200 km tidak signifikan pada analisa ini.

Fungsi Pelemahan

Salah satu faktor kritis pada analisa bahaya gempa adalah penentuan hubungan fungsi pelemahan. Fungsi pelemahan untuk wilayah Indonesia belum dibuat karena kurangnya data gempa untuk mengembangkan rumus pelemahan. Fungsi pelemahan yang sesuai dengan mekanisme yang mungkin terjadi di Jakarta digunakan untuk

analisa ini. Karena banyak ketidakpastian pada kondisi (lokal) suatu lokasi adalah bijaksana untuk menggunakan relasi perlemahan untuk mengestimasi pergerakan tanah yang diharapkan pada lapisan batuan dasar. Tetapi kebanyakan peneliti mengambil rumus untuk mengestimasi gerakan tanah pada permukaan, dimana sangat konservatif untuk diaplikasikan pada lapisan batuan dasar. Karena hanya ada beberapa hubungan perlemahan yang diambil dari lapisan batuan dasar yang sebenarnya, faktor koreksi ditentukan untuk kondisi tanah yang berbeda.

Selain pendekatan empiris, gerakan tanah pada suatu lokasi dapat ditentukan dengan menggunakan model seismologi untuk menghasilkan pergerakan tanah tiruan/buatan yang mempertimbangkan data lapangan dan pengaruh jalur. Pendekatan teoritis lebih membutuhkan usaha, khususnya dalam menentukan dan mengatur parameter-parameter yang diperlukan dalam perhitungan. Tetapi, pendekatan empiris lebih sederhana dan memberi hasil yang memuaskan dalam mengestimasi pergerakan tanah.

Ada beberapa fungsi pelemahan yang dapat diambil dalam dua dekade terakhir. Kebanyakan diambil dari daerah tertentu dimana percepatan tanah puncak yang dicatat telah tersedia. Akibat ketiadaan data percepatan puncak batuan dasar (PBA), untuk menentukan fungsi pelemahan, maka tidak ada fungsi pelemahan yang dikembangkan secara khusus untuk wilayah-wilayah di Indonesia. Satu-satunya cara adalah dengan mengambil fungsi pelemahan yang diambil dari daerah lain, yang mirip dengan wilayah di Indonesia secara tektonis dan geologis. Adalah penting bahwa pemilihan didasarkan pada mekanisme gempa, yang dikategorikan secara umum menjadi zona gempa subdaksi dan gempa lapisan kulit dangkal.

Model Kejadian Gempa.

Persamaan terjadinya kembali suatu gempa menyatakan jumlah gempa per tahun sebagai suatu fungsi besaran (*magnitude*) gempa. Hal ini telah diselidiki oleh Richter-

Gutenberg bahwa gempa umumnya mengikuti suatu frekuensi empiris – pembagian distribusi sebagai persamaan:

$$\text{Log } N(m) = a - b.M \dots\dots\dots(7)$$

Beberapa peneliti seperti Dong, Weichert dan Kijko dan Sellevoll (1989) telah mengusulkan metode yang lain untuk meminimalisir bias. Metode-metode ini telah mempertimbangkan hubungan antara data gempa dari interval waktu ketika data-data gempa adalah homogen. Pada studi ini, parameter bahaya gempa dihitung dengan menggunakan metode Kijko dan Sellevoll (metode KS,1989). Metode ini adalah pengembangan dari perkiraan kemiripan maksimum dari parameter bahaya gempa terhadap kasus dari data campuran yang berisi kejadian sejarah dan penyelidikan lengkap terkini. Data gempa yang tersedia biasanya terdiri dari 2 tipe informasi, yaitu penyelidikan gempa makro dari kejadian-kejadian gempa utama yang terjadi selama periode beberapa ratus tahun, dan data lengkap peralatan untuk periode waktu yang relative pendek. Metode yang umum untuk mengestimasi parameter aktifitas gempa tidak cukup untuk data tipe ini. Karena ketidaklengkapan data dari gempa makro atau karena kesulitan mengestimasi pertumbuhan ketidaklengkapan data pada

waktu awalnya, metode Weichert Dong tidak selalu tersedia.

Tabel 3 Parameter Bahaya Gempa berdasarkan Kijko dan Sellevoll (1989, 1992)

| Sumber | b | Beta | Lamda (rata-rata/tahun) |
|---------------------|------|------|-------------------------|
| Interface Sumatra 1 | 0.72 | 1.71 | 0.42 |
| Interslab Sumatra 1 | 0.90 | 2.13 | 1.35 |
| Interface Sumatra 2 | 1.08 | 2.54 | 0.18 |
| Interslab Sumatra 2 | 0.85 | 2.01 | 0.69 |
| Interface Jawa 1 | 0.55 | 1.31 | 0.28 |
| Interslab Jawa 1 | 1.00 | 2.36 | 1.34 |
| Interface Jawa 2 | 0.38 | 0.90 | 0.25 |
| Interslab Jawa 2 | 1.01 | 2.37 | 0.55 |
| Semangko | 0.91 | 2.15 | 0.23 |
| Sukabumi | 1.21 | 2.85 | 0.20 |
| Bumiayu | 1.44 | 3.39 | 0.06 |

Besaran Gempa (Magnitude) Maksimum

Besaran gempa maksimum menyatkan magnitudo terbesar yang dapat diprediksi terjadi pada setiap data gempa pada suatu periode waktu tertentu. Meskipun banyak ketidakpastian mungkin terjadi dalam mengestimasi magnitudo maksimum, magnitudo maksimum untuk setiap sumber gempa telah diestimasi secara tersendiri dengan menggunakan catatan data riwayat gempa perhitungan tektonis. Firmansyah & Irsyam (1999) menentukan besaran gempa maksimum untuk setiap zona sumber gempa.

Tabel 4 Besaran Gempa Maksimum untuk setiap Zona Sumber gempa

| Zona Sumber Gempa | Mmax |
|---------------------|------|
| Sumatera subduction | 8.8 |
| Jawa subduction | 8.2 |
| Sumatera Fault | 7.6 |
| Sukabumi Fault | 7.6 |
| Bumiayu Fault | 6.0 |

KESIMPULAN

PSHA dan analisa respon untuk wilayah Jakarta telah dipresentasikan oleh MHI Ltd(2009). Dari analisa tersebut diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. PBA untuk wilayah Jakarta dapat diambil 0,185 g. Percepatan ini berhubungan dengan 10 % probabilitas untuk dilampaui pada umur rencana (*life time*) 50 tahun (Periode ulang 500 tahun).

- b. Karena Jakarta memiliki tipe tanah yang lunak, percepatan tanah puncak (PGA) disarankan 0,330 g untuk wilayah Jakarta.
- c. Respon spektra untuk wilayah Jakarta adalah seperti yang disarankan digunakan untuk perencanaan bangunan-bangunan yang ada di wilayah tersebut. Nilai koefisien gempa untuk beberapa periode dari struktur ditampilkan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 5 Nilai Koefisien Gempa Untuk Beberapa Periode

| T(detik) | C | T(detik) | C |
|----------|-------|----------|-------|
| 0.145 | 0.828 | 0.9 | 0.664 |
| 0.5 | 0.828 | 1.0 | 0.599 |
| 0.723 | 0.828 | 1.1 | 0.545 |
| 0.75 | 0.799 | 1.2 | 0.499 |
| 0.8 | 0.749 | | |

DAFTAR PUSTAKA

BSN 2002, *Peraturan Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung* (SNI 03 -1726-2002)

Firmansyah, J and Irsyam, M, 1999, *Development of Seismic Hazard Map Indonesia*, Prosiding Seminar Nasional Kegempaan, Bandung.

Kijko, A and Sellvoll, M.A, 1989, *Estimation of Earthquake Hazard*

Parameters from Incomplete Data Files. Bulletin of The Seismological Society of America, Vol.79.

Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Ltd. 2009. *Seismic Hazard and Site Response Analysis*.

Uniform Building Code (1997) Vol. 2., Structural Engineering Design Provisions, International Conference Building Officials, Whittier.