

ZONASI DAERAH BAHAYA KEGEMPAAN DENGAN PENDEKATAN *PEAK GROUND ACCELERATION* (PGA)

Edy Irwansyah¹, Edi Winarko²

¹School of Computer Science, Universitas Bina Nusantara, Jakarta
Jl. K.H. Syahdan No. 9, Palmerah, Jakarta Barat 11480, Telepon : 021-534-5830, Fax : 021-530-0244
E-mail : edirwan@binus.ac.id

²Program Pascasarjana Ilmu Komputer, Universitas Gadjah Mada
Gedung SIC Lantai 3, FMIPA UGM, Sekip Utara, Bulak Sumur, Yogyakarta 55281, Telepon : 0274-555-133,
E-mail : ewinarko@ugm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menyusun zonasi daerah bahaya kegempaan pada infrastruktur bangunan di kota Banda Aceh menggunakan pendekatan nilai peak ground acceleration (PGA) dari fungsi atenuasi global dan lokal. PGA dihitung menggunakan fungsi atenuasi yang menggambarkan korelasi antara intensitas gerakan tanah setempat, magnitude gempa dan jarak dari sumber gempa. Data yang digunakan bersumber dari katalog gempa merusak badan meteorologi, klimatologi dan geofisika rentang tahun 1973 – 2011. Metode penelitian terdiri dari enam tahapan yaitu pembuatan grid, perhitungan jarak dari sumber gempa ke centroid grid, perhitungan nilai PGA, pengembangan aplikasi komputer, plotting nilai PGA di centroid grid, dan penyusunan zona bahaya kegempaan dengan algoritma kriging. Kesimpulan penelitian adalah bahwa fungsi atenuasi global yang dikembangkan oleh Youngs et al, 1997 dapat diaplikasikan dengan baik untuk menghitung nilai PGA di Kota Banda Aceh. Kota Banda Aceh secara mikro dapat dibagi dalam dalam tiga zona bahaya kegempaan yaitu zona bahaya kegempaan rendah dengan nilai PGA 0.8767 gals hingga 0.8780 gals, zona bahaya kegempaan menengah dengan nilai PGA 0.8781 gals hingga 0.8793 dan zona bahaya kegempaan tinggi dengan nilai PGA 0.8794 gals hingga 0.8806 gals

Kata Kunci: zonasi, bahaya kegempaan, peak ground acceleration

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia dengan tingkat intensitas kegempaan yang tinggi. Katalog United States Geological Survey (USGS) mencatat empat kejadian gempa besar di Indonesia yaitu gempa Banda (8,5 Mw) tahun 1983, gempa Sumatera –Andaman Islands (9,1 Mw) tahun 2004, gempa Sumatera Utara/Nias (8,6 Mw) tahun 2005 (USGS, 2009) dan gempa Pantai Barat Sumatera (8,6 Mw) tahun 2012 (USGS, 2012). Intensitas kegempaan yang tinggi menjadi karakter utama tektonik kepulauan Indonesia yang terletak diantara tiga lempeng utama yaitu lempeng Eurasia di utara, lempeng Indo-Australia di selatan dan lempeng Pasifik di timur laut.

Gempa dengan intensitas dan magnitude tertentu sebagai respon atas pergerakan lempeng dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur fisik dan korban jiwa. Kerusakan infrastruktur fisik yang paling dominan akibat gempa adalah kerusakan pada unit bangunan baik yang diakibatkan oleh buruknya kualitas konstruksi (internal) maupun sebagai akibat kondisi lingkungan (eksternal) dimana bangunan tersebut berdiri. Jumlah kerusakan bangunan yang signifikan tercatat di kota Banda Aceh sebagai dampak dari gempa Sumatera –Andaman Islands tahun 2004 dengan angka kerusakan total bangunan mencapai 35 persen dari keseluruhan bangunan yang ada (Irwansyah, 2010). Kondisi yang sama juga terjadi di beberapa kota sebagai dampak dari gempa yang berbeda seperti kerusakan total pada 140.000 unit bangunan akibat gempa bumi Bantul-Yogyakarta tahun 2006 (Miura et al, 2005). Korban jiwa terbanyak sebagai akibat gempa bumi yang disertai oleh tsunami, tercatat di Provinsi Nanggroe Aceh Darusalam (NAD) dan Sumatera Utara pada kejadian gempa Sumatera Desember tahun 2004 dengan jumlah korban mencapai 110.229 jiwa meninggal, 12.123 jiwa hilang dan 703.518 jiwa lainnya terpaksa mengungsi (Bappenas, 2005).

Studi penilaian kerusakan bangunan akibat gempa yang dilakukan oleh (Irwansyah, 2010) di kota Banda Aceh menyimpulkan bahwa kerusakan bangunan menunjukkan pola spasial tertentu yang berarah baratdaya-timur laut relatif sejajar dengan garis pantai. Pada kasus gempa, pola kerusakan bangunan sangat ditentukan oleh faktor kegempaan itu sendiri dan kondisi lingkungan dimana bangunan tersebut berdiri. Faktor kegempaan hubungannya dengan dampak yang ditimbulkan, dapat dikaji melalui melalui hubungan fungsi atenuasi (attenuation relationship) dimana fungsi ini merupakan salah satu komponen kunci penilaian bahaya kegempaan

(Megawati dan Pan, 2010). Penilaian bahaya kegempaan hubungannya dengan kerusakan infrastruktur bangunan dapat dilakukan dengan pendekatan nilai akselerasi di bantuan dasar atau peak ground acceleration (PGA).

Dalam rangka penilaian bahaya kegempaan khususnya di kota Banda Aceh, penelitian ini bertujuan menyusun zonasi daerah bahaya kegempaan terhadap infrastruktur bangunan menggunakan pendekatan perhitungan nilai PGA yang diadopsi dari fungsi atenuasi global Youngs, 1979, dan fungsi atenuasi lokal yang diadopsi dari Megawati et al, 2005. Informasi hasil penilaian bahaya kegempaan di perkotaan saat ini sangat dibutuhkan dalam rangka perencanaan untuk mewujudkan kota dengan infrastruktur fisik tahan gempa dan meminimalisir jumlah korban jiwa pada suatu kejadian gempa.

2. GEMPA DAN FUNGSI ATENUASI

Gempa adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempabumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik (BMKG, 2010). Gempa bumi dengan *magnitude* cukup besar ($> 5,9$ Mw) mampu merusakkan bangunan melalui dua cara, yaitu dengan cara langsung dari getaran yang memberikan efek gaya horisontal, dan secara tidak langsung melalui *liquefaction* (Kramer, 1996). Menurut Villavarde, 2009, penyebab terjadinya gempa bumi dapat disebabkan oleh (a) *tectonic force* yang berkaitan erat dengan pembentukan patahan (*fault*), interaksi antar lempeng pembentuk kulit bumi, (b) gempa vulkanik yang berkaitan dengan aktivitas gunung api (c) Jatuhan atau runtuhnya massa batuan/tanah yang berukuran besar (d) ledakan konvensional dan nuklir serta (e) dampak tumbukan meteorit.

Informasi mengenai karakteristik PGA akibat gempa, dapat diperoleh melalui rekaman kejadian gempa pada masa yang lalu. Perikaman *ground acceleration* dimungkinkan untuk mengekstraksi karakteristik utama dari rekaman *ground motion* seperti peak ground velocity, peak ground displacement, *ground motion duration* dan PGA (Villavarde, 2009). Percepatan gempa (*ground velocity*) dapat dihitung sebagai percepatan di batuan dasar (*ground acceleration*) maupun percepatan gempa dipermukaan tanah. Nilai PGA dapat dihitung dengan mempergunakan fungsi atenuasi. Fungsi atenuasi adalah suatu fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas gerakan tanah setempat (*a*), *Magnitude* Gempa (*M*), serta jarak dari suatu titik dalam daerah sumber gempa (*r*). Para ahli telah banyak merumuskan fungsi atenuasi dimana fungsi atenuasi yang berlaku di suatu tempat belum tentu berlaku di tempat yang lain, karena fungsi atenuasi sangat tergantung pada kondisi alam di suatu tempat. Pemilihan fungsi atenuasi didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana fungsi atenuasi tersebut dikembangkan (Irsyam et al, 2010).

Saat ini berbagai fungsi atenuasi telah ada baik fungsi untuk sumber gempa dangkal, sumber gempa *deep background* dan fungsi atenuasi untuk sumber gempa akibat penunjaman (*subduction earthquake*) sebagaimana yang telah dipublikasikan oleh (Youngs et al, 1997; Gregor et al, 2002; Atkinson and Boore, 2003; Campbell, 2003; Petersen et al, 2004; Lin and Lee, 2008; Megawati dan Pan, 2010).

Youngs et al, 1997 mengusulkan sebuah fungsi atenuasi regresi dengan menggunakan katalog data gempa bumi antar lempeng dengan variasi *magnitude* 5 – 8.2 yang terekam pada daerah penunjaman di daerah Alaska, Chile, Cascadia, Japan, Mexico, Peru dan kepulauan Solomon. Fungsi atenuasi ini di modifikasi oleh Petersen et al, 2004 dengan membandingkan nilai hasil observasi dan yang di prediksi dengan menggunakan data katalog gempa bumi tahun 1991 hingga 2001 di daerah yang luas mencakup New Ireland, New Britain, Kamchatca, Santa Cruz Is, Peru, Kurile Is, Jepang dan juga Sumatera. Modifikasi fungsi atenuasi dilakukan terutama pada kasus dengan sumber gempa yang berjarak lebih dari 200 Km dengan *magnitude* gempa 6.8 – 8.3 Mw.

Gregor et al (2002), mengembangkan sebuah fungsi atenuasi untuk dari *subduction* di Cascadia dari fungsi yang sama sebagaimana yang diusulkan oleh Young et al (1997) menggunakan model *stochastic finite-fault ground motion* dari Silva et al (1990) dengan variasi pada *magnitude* tinggi dari 8.0 – 9.0 Mw. Keuntungan dari menggunakan model tersebut adalah bahwa tidak seperti hubungan atenuasi empiris, yang membutuhkan sampel lapangan dan geometri yang didasarkan pada serangkaian data *strong-motion* yang tersedia, efek *finite-fault* seperti propagasi rupture, arah dan sumber ke geometri site, dengan model *stochastic finite-fault* dapat secara sistematis dihitung.

Metode regresi kemiripan maksimum dengan *moment magnitude* 5.0 – 8.3 Mw dari berbagai daerah *subduction* di dunia seperti Alaska, Japan, Mexico and Central America digunakan oleh Atkinson and Boore, 2003 untuk mengembangkan fungsi atenuasi. Hasil analisa variabilitas regional dari amplitud *ground motion* menggunakan basisdata global yang tersedia mendukung fakta bahwa terdapat perbedaan secara signifikan antar regional sebagaimana yang ditunjukkan oleh perbedaan amplitud pada lebih dari dua faktor antara area Cascadia dan daerah Jepang. Model ini hanya menggunakan jarak terdekat dari sumber gempa pada jarak 10 – 500 Km sebagaimana yang digunakan oleh (Youngs et al, 1997) dan (Gregor et al 2002).

Pada tahun yang sama (Campbell, 2003), menggunakan model gabungan empiris yang menggunakan nilai estimasi ground motion baik yang stochastic maupun teoritis untuk mengembangkan tipikal model regresi untuk dapat diimplementasikan di zona bagian timur Amerika Utara (ENA) menggunakan model relasi yang sebelumnya telah dikembangkan menggunakan data data kegempaan bagian barat Amerika Utara (WNA). Fungsi atenuasi Campbell, 2003 dikembangkan terutama untuk gempa dengan variasi magnitudo 5.0 – 7.5 dengan jarak garis lurus terdekat lokasi terhadap sumber gempa adalah pada 1 – 1000 Km.

Lin and Lee, 2008, dengan referensi dari fungsi atenuasi sebelumnya yang dikembangkan oleh Crouse, 1991 dan Youngs et al, 1997, mengembangkan model fungsi atenuasi regresi lainnya menggunakan rekaman pergerakan gempa di batuan dasar pada daerah *subduction* antar lempeng di Timur Laut Taiwan dan daerah lainnya dari nilai magnitudo rendah sekitar 4.1 hingga 8.7 pada Skala Richter. Penggunaan nilai magnitudo rendah (< 5.0 Mw) ini merupakan sesuatu yang berbeda dari fungsi atenuasi yang telah dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya.

Pengembangan fungsi atenuasi lokal terbaru dilakukan oleh Megawati and Pan, 2010 dari fungsi atenuasi yang dikembangkan oleh Megawati et al, 2004 berupa regresi sintesis pergerakan batuan dasar di zona gempa bumi akibat *subduction* antar lempeng di wilayah pantai barat Sumatera menggunakan model finite fault kinematic sebagaimana yang diadopsi dari Gregor et al, 2002. Validasi model ini dilakukan menggunakan data megathrust Sumatera yang mencakup gempa dengan kekuatan sangat besar hingga 9.0 Mw.

3. METODE PENELITIAN

Data penelitian bersumber dari katalog gempa badan meteorologi, klimatologi dan geofisika (BMKG) dengan daya rusak (> 5.0 Mw) dalam rentang tahun 1973 – 2011 (39 Tahun) pada radius 500 Km dari kota Banda Aceh. Atribut data terdiri dari tanggal dan jam kejadian gempa, koordinat titik gempa serta kedalaman dan kekuatan/magnitudo gempa.

Pengolahan data dalam penelitian terdiri dari enam tahapan yaitu (1) pembuatan grid, (2) perhitungan jarak dari sumber gempa ke centroid grid, (3) Pengembangan aplikasi komputer, (4) perhitungan nilai PGA, (5) Plotting nilai PGA di masing masing centroid grid dan (6) penyusunan zona bahaya kegempaan dengan algoritma kriging.

Grid berukuran 1 km x 1 km persegi dengan total 225 grid meliputi seluruh wilayah kota Banda Aceh dan sekitarnya. Masing masing grid selanjutnya ditentukan titik pusat nya (centroid).

Jarak dari sumber gempa ke centroid grid dihitung dengan cara perbandingan antara koordinat sumber gempa dan koordinat centroid grid dengan persamaan sebagai berikut:

$$D = \sqrt{(A_{\text{long}} - B_{\text{long}})^2 + (A_{\text{lat}} - B_{\text{lat}})^2} \quad (1)$$

Dimana D adalah jarak sumber gempa ke centroid (Km); A_{long} koordinat longitudinal sumber gempa; B_{long} merupakan koordinat longitudinal centroid grid; A_{lat} sebagai koordinat latitude sumber gempa dan B_{lat} merupakan koordinat latitude dari centroid grid

Perhitungan nilai PGA dilakukan dengan dua fungsi atenuasi global yang diadopsi dari Youngs et al, 1997 dan fungsi atenuasi lokal dari Megawati et al, 2005. Persamaan dari fungsi atenuasi Youngs dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\ln(\text{PGA}) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10-M)^3 + C_3 \ln(r_{\text{rup}} + 1.7818e^{0.554M}) + 0.0060H + 0.3846Z_r \quad (2)$$

Dimana PGA adalah nilai *peak ground acceleration* (gals); M adalah nilai magnitudo gempa (Skala Richter); r_{rup} adalah jarak horizontal dari sumber gempa ke centroid grid; H merupakan kedalaman pusat gempa (Km); Z_r adalah jenis dari sumber gempa (0 untuk interface dan 1 untuk intraslab) dan C_1, C_2, C_3 yang merupakan koefisien regresi dari fungsi tersebut (C_1 dan C_2 bernilai 0 dan $C_3 = -2.552$)

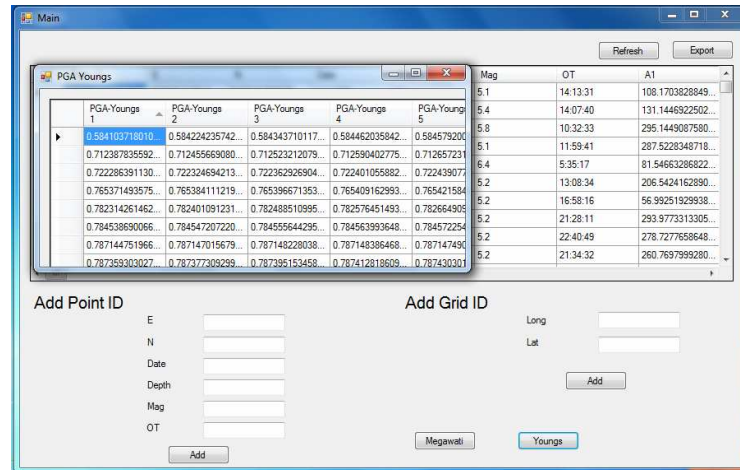
Adapun persamaan untuk fungsi atenuasi lokal dari Megawati et al, 2005 dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\ln(\text{PGA}) = \alpha_0 + \alpha_1 M + \alpha_2 M^2 + \alpha_3 \ln(R) + \alpha_4 R + \alpha_5 H + \epsilon H \quad (3)$$

Dimana PGA merupakan nilai *peak ground acceleration* (gals); M adalah nilai magnitudo gempa (Skala Richter); R adalah jarak horizontal dari sumber gempa ke centroid; H merupakan kedalaman pusat gempa (Km). Variasi PGA sangat ditentukan oleh nilai ϵH yang merupakan nilai acak dari parameter sumber ($\epsilon H = 0.4413$); α_3 merepresentasikan nilai rata rata atenuasi geometris ($\alpha_3 = -1$); α_4 merupakan koefisien atenuasi anelastik

($\alpha_4 = -0.001548$) dan nilai koefisien lainnya yaitu $\alpha_0 = -7.198$, $\alpha_1 = 2.3691$, $\alpha_2 = -0.013856$ dan koefisien $\alpha_5 = 0.08909$.

Perhitungan jarak maupun nilai PGA untuk keseluruhan grid dilakukan dengan aplikasi komputer yang dikembangkan khusus dalam penelitian ini. Aplikasi dibangun menggunakan bahasa pemrograman Visual C dengan basisdata yang terhubung ke perangkat lunak Ms. Excel. Tampilan layar aplikasi adalah sebagaimana dapat dilihat pada GAMBAR 1.



Gambar 1. Aplikasi Untuk Menghitung Jarak dan Nilai PGA Secara Otomatis.
Aplikasi dimungkinkan untuk menambahkan sumber gempa dan grid

Tahapan selanjutnya adalah plotting nilai rata rata PGA pada masing masing grid menggunakan perangkat lunak ArcMap dan penyusunan zonasi dengan algoritma Kriging. Persamaan Kriging disusun oleh kombinasi linier dari :

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) \quad (4)$$

Kriging menghitung estimator terbaik dari nilai linier $\hat{Z}(x_0)$ yang didasarkan pada model stokastik ketergantungan spasial yang diukur baik dengan variogram $\gamma(x, y)$ atau dengan ekspektasi $\mu(x) = E[Z(x)]$ dan fungsi kovarians $c(x, y)$ dari suatu bilangan acak. Nilai interpolasi kriging dihitung dengan persamaan:

$$\hat{Z}(x_0) = \begin{pmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_n \end{pmatrix}' \begin{pmatrix} c(x_1, x_1) & \cdots & c(x_1, x_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c(x_n, x_1) & \cdots & c(x_n, x_n) \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} c(x_1, x_0) \\ \vdots \\ c(x_n, x_0) \end{pmatrix} \quad (5)$$

Dimana $Z(x_0)$ adalah nilai interpolasi kriging dan $c(x, y)$ adalah nilai fungsi kovarians.

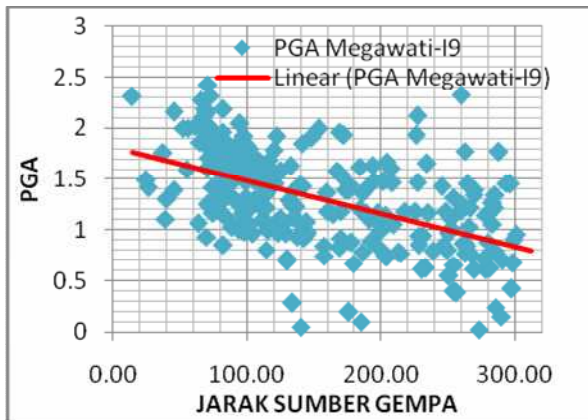
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ground Acceleration dengan Fungsi Atenuasi

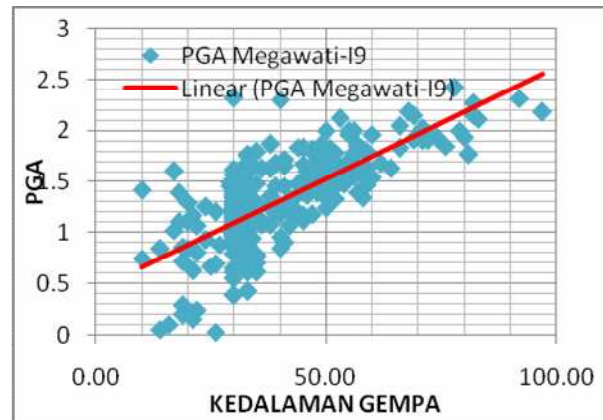
PGA di daerah penelitian dihitung menggunakan fungsi atenuasi yang diadopsi dari (Youngs et al, 1997) untuk mewakili fungsi atenuasi global dan fungsi atenuasi Megawati et al, 2005 mewakili fungsi atenuasi lokal. Fungsi atenuasi lokal yang digunakan telah divalidasi dengan menggunakan kejadian gempa Sumatera tahun 2004 yang juga merupakan salah satu rangkaian data dalam penelitian ini. Penggunaan dua fungsi atenuasi berbeda dalam penelitian ini dimaksudkan untuk melihat perbedaan dan kesesuaian data dan hasil untuk mencapai tujuan penelitian.

Untuk melihat konsistensi data dengan nilai PGA yang dihasilkan, dilakukan plotting untuk mengetahui hubungan regresi antara nilai PGA yang dihasilkan terhadap jarak sumber gempa dan nilai kedalaman gempa untuk kedua fungsi atenuasi. Penggunaan fungsi atenuasi lokal dimana hubungan antara nilai PGA dengan jarak sumber gempa menunjukkan distribusi data yang tersebar dengan perbedaan nilai maksimum dan minimum yang besar walaupun masih menunjukkan hubungan berkurangnya nilai PGA linier terhadap bertambahnya jarak

lokasi pengukuran terhadap sumber gempa (GAMBAR 2) . Grafik hubungan PGA dan kedalaman gempa menunjukkan distribusi data yang inkonsisten dimana distribusi data menunjukkan bahwa gempa kedalaman besar menghasilkan PGA dengan nilai yang juga besar (GAMBAR 3). Fakta ini membutuhkan pengkajian ulang khususnya untuk perhitungan PGA dengan rangkaian data besar pada lingkup gempa merusak.



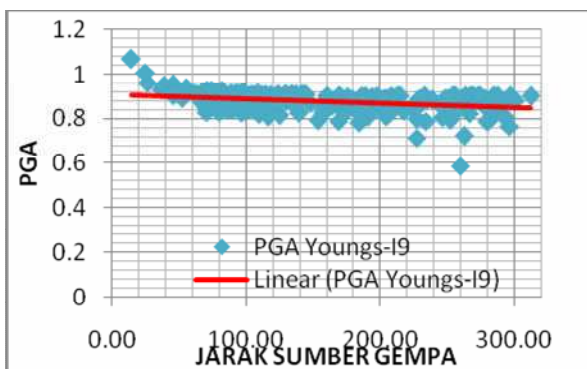
GAMBAR 2. Grafik Hubungan Antara Nilai PGA dengan Jarak Dari Sumber Gempa (Fungsi Atenuasi Megawati et al, 2005)



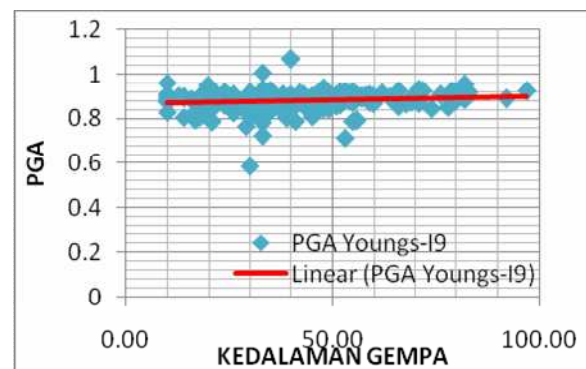
GAMBAR 3. Grafik Hubungan Antara Nilai PGA dengan Kedalaman Gempa (Fungsi Atenuasi Megawati et al, 2005)

Plotting data hasil perhitungan yang menggunakan fungsi atenuasi (Youngs et al, 1997) menggambarkan hubungan antara nilai PGA dengan jarak sumber gempa dengan distribusi data menyebar dengan perbedaan yang kecil antara nilai maksimum dan minimum serta menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara berkurangnya nilai PGA linier terhadap bertambahnya jarak lokasi pengukuran terhadap sumber gempa (GAMBAR 4).

Plotting hubungan PGA dan kedalaman gempa juga menggambarkan data yang terdistribusi secara konsisten, dimana grafik menunjukkan pertambahan kedalaman gempa linier dengan nilai PGA yang semakin kecil (GAMBAR 5). Konsistensi hubungan ini merupakan fakta yang kuat bahwa penggunaan fungsi atenuasi global sebagaimana yang dihasilkan oleh Youngs et al, 1997, dapat diaplikasikan dengan baik pada kondisi lokal (Kota Banda Aceh) yang tatanan tektoniknya mungkin berbeda dengan kondisi dimana model itu dikembangkan.



GAMBAR 4. Grafik Hubungan Antara Nilai PGA dengan Jarak Dari Sumber Gempa (Fungsi Atenuasi Young et al, 1997)

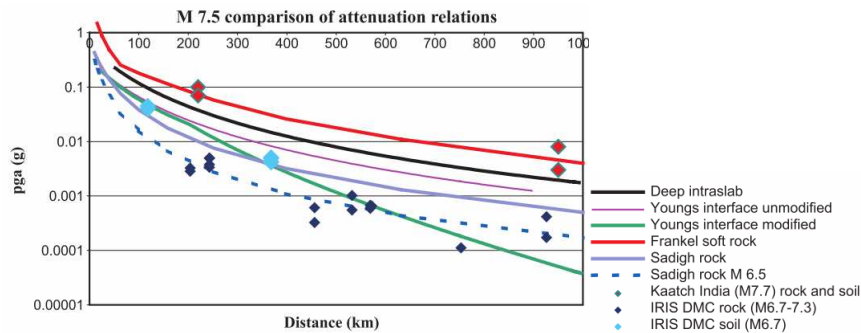


GAMBAR 5. Grafik Hubungan Antara Nilai PGA dengan Kedalaman Gempa (Fungsi Atenuasi Youngs et al, 1997)

Validitas hasil perhitungan nilai PGA dengan fungsi atenuasi global juga didukung oleh model yang dikembangkan oleh Petersen et al, 2004 yang menggunakan katalog gempa Sumatera dengan berbagai fungsi atenuasi global maupun regional. Hubungan linier yang dihasilkan oleh model (GAMBAR 6) similar dengan hubungan PGA dan jarak dari sumber gempa yang dihasilkan dalam penelitian ini (GAMBAR 4).

Peak Ground Acceleration di Kota Banda Aceh

Nilai PGA yang dihitung dengan fungsi atenuasi global bervariasi dengan nilai minimum 0.8767 gals dan nilai maksimum 0.8806 gals dengan nilai rata-rata 0.87858 gals. PGA yang dihitung dengan fungsi atenuasi lokal memiliki nilai yang bervariasi dengan nilai minimum 1.23758 gals dan nilai maksimum 1.27293 gals dengan nilai rata-rata 1.25568 gals. Nilai PGA yang dihasilkan dari dua fungsi atenuasi menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan selisih rata-rata 0.37710 gals. Nilai PGA global cenderung memiliki nilai yang lebih rendah dibanding nilai PGA yang dihasilkan dari fungsi atenuasi lokal (TABEL 1)



GAMBAR 6. Model hubungan PGA dan Jarak dari Sumber gempa dari fungsi Atenuasi yang Berbeda (Petersen et al, 2004)

Balendra and Li, 2008 dalam penelitiannya melakukan dua metode yang berbeda yaitu menghitung PGA dari fungsi atenuasi yang diadopsi dari Megawati et al, 2005 menggunakan data kejadian Gempa Sumatera 2004 dan melakukan pengukuran langsung. Nilai PGA yang dihasilkan dari perhitungan adalah 1.11 gals dan nilai yang dihasilkan dari pengukuran adalah 0.3 gals. Nilai PGA hasil pengukuran ini sedikit lebih tinggi dibanding hasil yang publikasikan BSN, 2002 dimana kota Banda Aceh memiliki nilai PGA dalam *range* nilai 0.2 gals hingga 0.25 gals dan lebih rendah dari hasil pengukuran lapangan oleh Sengara, 2008 di distrik Meuraxa Kota Banda Aceh menggunakan *cone penetration test* dengan nilai antara 0.325 gals hingga 0.4 gal.

Irsyam et al, 2008 dalam usulan perbaikan peta bahaya kegempaan Sumatera dan Jawa menggunakan fungsi atenuasi Youngs et al, 1997 dan fault source model 3-dimension (3D) menghasilkan nilai PGA 0.6 hingga 0.7 gals untuk Kota Banda Aceh dan sekitarnya. Usulan perbaikan nilai ini didasarkan pada kejadian gempa Sumatera tahun 2004, gempa Nias tahun 2005 dan gempa Jogja tahun 2006.

Perbedaan dan selisih nilai PGA baik yang dihitung dengan atenuasi lokal dan global serta nilai yang dihasilkan oleh peneliti sebelumnya serta selisih dari berbagai metode adalah sebagaimana dapat dilihat pada TABEL 1.

TABEL 1. Nilai PGA rata-rata yang dihitung dengan fungsi atenuasi Global (Youngs et al, 1997) dan Lokal (Megawati et al, 2005) serta selisihnya dari perhitungan dan pengukuran oleh Balendra & Li (2008)

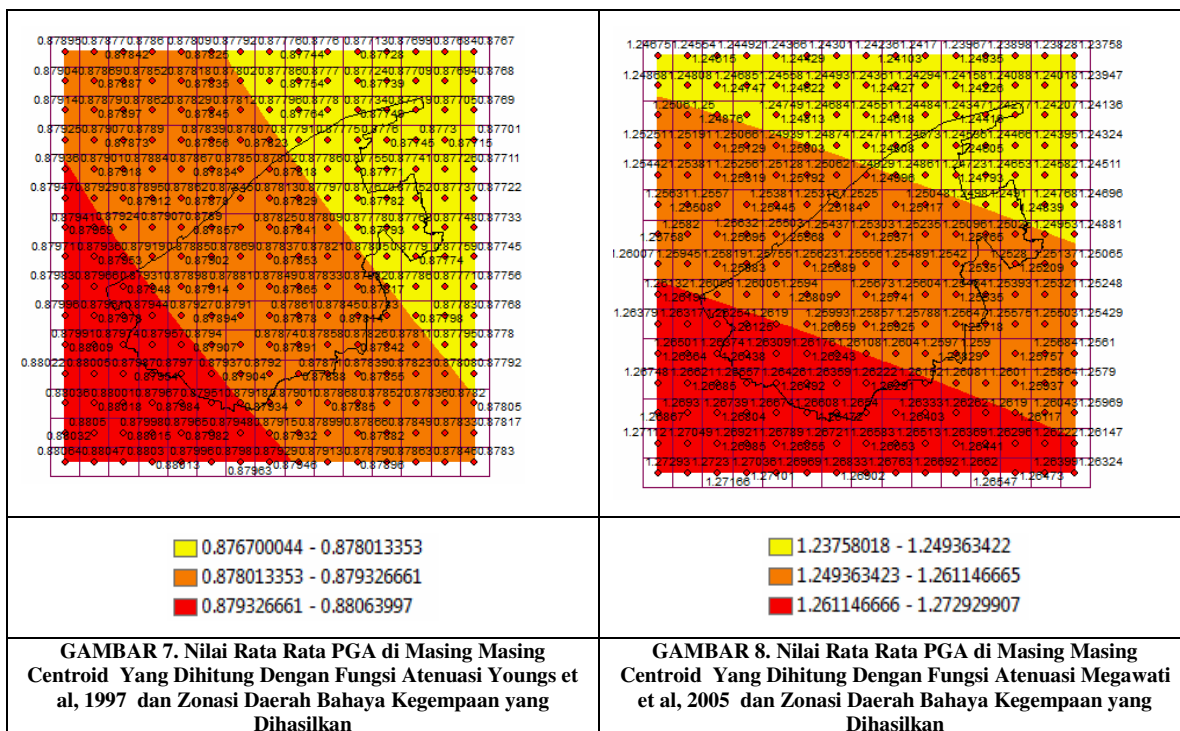
Fungsi Atenuasi yang Diadopsi	Nilai PGA-Megawati et al (2005)	Nilai PGA-Youngs et al (1997)	Selisih Megawati et al (2005) dan Youngs (1997)	Selisih Megawati et al (2005) dan Balendra & Li (2008) - Di Hitung	Selisih Megawati et al (2005) dan Balendra & Li (2008) - Di Ukur	Selisih Youngs et al (1997) dan Balendra & Li (2008) - Dihitung	Selisih Youngs et al (1997) dan Balendra & Li (2008) - Diukur
PGA Minimum	1.23758	0.87670	0.36087	0.12758	0.93758	0.23330	0.57670
PGA Maksimum	1.27293	0.88064	0.39229	0.16293	0.97293	0.22936	0.58064
PGA Rata Rata	1.25568	0.87858	0.37710	0.14568	0.95568	0.23142	0.57858

Perbedaan hasil perhitungan nilai PGA dari dua fungsi atenuasi global dan lokal juga direpresentasikan oleh Lin and Lee, 2008 dalam penelitian bahaya kegempaan yang dilakukan di Taiwan. Lin and Lee, 2008 menggunakan fungsi atenuasi dari (Crouse, 1991) dan (Youngs et al, 1997) sebagai referensi untuk fungsi atenuasi global. Pada penelitian tersebut terdapat perbedaan hasil dimana para peneliti mencatat bahwa penggunaan fungsi atenuasi untuk menghitung nilai PGA, nilai yang diprediksi lebih tinggi dibanding nilai yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan atenuasi sebelumnya dan lebih rendah dibanding menggunakan persamaan atenuasi yang digunakan secara global khususnya pada zona gempa bumi akibat subduction.

Zonasi Bahaya Kegempaan di Kota Banda Aceh

Kota Banda Aceh dan sekitarnya sesuai dengan hasil perhitungan PGA dari rangkaian data kegempaan 39 tahun, secara mikro dapat dibagi dalam tiga zona bahaya kegempaan yang berbeda untuk masing masing fungsi atenuasi yang digunakan. Zonasi yang di dihasilkan dari fungsi atenuasi Youngs et al, 1997, kota Banda Aceh dapat dibagi dalam zona bahaya kegempaan rendah (low hazard) dengan nilai PGA 0.8767 gals hingga 0.8780 gals, zona bahaya kegempaan menengah (medium hazard) dengan nilai PGA 0.8781 gals hingga 0.8793 dan zona bahaya kegempaan tinggi (high hazard) dengan nilai PGA 0.8794 gals hingga 0.8806 gals. Distribusi spasial masing masing klas zona bahaya kegempaan tersebut sebagaimana dapat dilihat pada GAMBAR 7.

Sebagaimana zonasi dari fungsi atenuasi Youngs et al, 1997, zonasi yang dihasilkan fungsi atenuasi Megawati et al, 2008, kota Banda Aceh juga dapat dibagi dalam tiga zona bahaya yaitu zona rendah bahaya kegempaan (low hazard) dengan range nilai PGA 1.2375 gals hingga 1.2493 gals, zona menengah bahaya kegempaan (medium hazard) dengan range nilai PGA 1.2494 gals hingga 1.2611 dan zona tinggi bahaya kegempaan (high hazard) dengan nilai PGA 1.2612 gals hingga 1.2729 gals. Distribusi spasial masing masing klas zona bahaya kegempaan tersebut sebagaimana dapat dilihat pada GAMBAR 8.



Secara lebih detail dan menggunakan data hasil survey lapangan, (Sengara, 2008) melakukan zonasi mikro daerah bahaya kegempaan khusus di kecamatan Meuraxa, Kota Banda Aceh dan membagi kecamatan tersebut kedalam tiga zona yaitu hard soil, medium soil dan soft soil masing masing dengan nilai PGA dengan 0.325 gals, 0.325 gals hingga 0.375 gals dan 0.375 gals hingga 0.40 gals. Secara spasial, zonasi yang diusulkan ini berada dalam zona bahaya kegempaan menengah pada zonasi yang dibuat dengan menggunakan perhitungan dari fungsi atenuasi Youngs et al, 1997 maupun menggunakan fungsi atenuasi dari Megawati et al, 2005.

5. KESIMPULAN

Fungsi atenuasi global yang dikembangkan oleh Youngs et al, 1997 dapat diaplikasikan dengan baik untuk menghitung nilai peak ground acceleration (PGA) di kota Banda Aceh menggunakan data kegempaan Sumatera. Fungsi atenuasi dari (Megawati et al, 2005) membutuhkan pengkajian ulang untuk diaplikasikan terutama untuk data kegempaan Sumatera khususnya pada gempa tipe merusak.

Nilai PGA di kota Banda Aceh yang di hitung menggunakan fungsi atenuasi global bervariasi dengan nilai minimum 0.8767 gals dan nilai maksimum 0.8806 gals dengan nilai rata rata 0.87858 gals. Terdapat perbedaan hasil antara nilai PGA yang dihitung dengan fungsi atenuasi lokal dan global dengan selisih 0.37710 gals.

Kota Banda Aceh secara mikro dapat dibagi dalam dalam tiga zona bahaya kegempaan yaitu zona bahaya kegempaan rendah (low hazard) dengan nilai PGA 0.8767 gals hingga 0.8780 gals, zona bahaya kegempaan menengah (medium hazard) dengan nilai PGA 0.8781 gals hingga 0.8793 dan zona bahaya kegempaan tinggi (high hazard) dengan nilai PGA 0.8794 gals hingga 0.8806 gals

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. *Society*, 93(4), 1703-1729.
- Badan Standarisasi Nasional (2002). Standar Nasional Indonesia-Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002).
- Balendra, T., & Li, Z. (2008). Seismic Hazard of Singapore and Malaysia. *Earthquake*, 57-63.
- Campbell, K. W. (2003). Prediction of Strong Ground Motion Using the Hybrid Empirical Method and Its Use in the Development of Ground-Motion (Attenuation) Relations in Eastern North America. *Society*, 93(3), 1012-1033.
- Indonesia. State Ministry for National Planning Development Agency/BAPPENAS. (2005). Preliminary damage and loss assessment-the December 26, 2004 natural disaster. Jakarta: Government Printer.
- Gregor, N. J., Silva, W. J., Wong, I. G., & Youngs, R. R. (2002). Ground-Motion Attenuation Relationships for Cascadia Subduction Zone Megathrust Earthquakes Based on a Stochastic Finite-Fault Model. *Society*, 92(5), 1923-1932.
- Irsyam, M., Dangkua, D. T., Hendriyawan., Hoedajanto. D., Hutapea.B.M., Kertapati, E.K., Boen. T., Petersen. M.D. (2008). Proposed seismic hazard maps of Sumatra and Java islands and microzonation study of Jakarta city Indonesia. *Journal Earth System Science*, (November), 865-878.
- Irwansyah. E.(2010). Building Damage Assessment Using Remote Sensing, Aerial Photograph and GIS Data: Case Study in Banda Aceh After Sumatera Earthquake 204. Proceeding The 11th Seminar on Intelligent Technology and Its Application-SITIA 2010. Vol 11, pp.57.
- Kramer. S.L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Lin, P.-S., & Lee, C.-T. (2008). Ground-Motion Attenuation Relationships for Subduction-Zone Earthquakes in Northeastern Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(1), 220-240. doi:10.1785/0120060002
- Miura, H., Wijeyewickrema, A. & Inoue, S. (2005). Evaluation of Tsunami Damage in the Eastern Part of Sri Lanka due to the 2004 Sumatra Earthquake using High-Resolution Satellite Images. Proceeding of the 3rd International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster Response [Online]. Available: http://ares.tu.chiba-u.jp/workshop/ChibaRS2005/Paper_Miura.pdf [Sep.13, 2005]
- Megawati K, Pan TC, Koketsu K.(2005). Response spectral attenuation relationships for Sumatran-subduction earthquakes and the seismic hazard implications to Singapore and Kuala Lumpur. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.25, No.1, pp11-25.
- Megawati, K., & Pan, T.-chien. (2010). Ground-motion attenuation relationship for the Sumatran megathrust earthquakes. *Earthquake*. 827-845. doi:10.1002/eqe
- Petersen, M. D., Dewey, J., Hartzell, S., Mueller, C., Harmsen, S., Frankel, A. D., & Rukstales, K. (2004). Probabilistic seismic hazard analysis for Sumatra , Indonesia and across the Southern Malaysian Peninsula. *Tectonophysics*, 390, 141-158. doi:10.1016/j.tecto.2004.03.026
- Sengara I.W. (2008). Seismic Hazard And Microzonation For A District In Banda Aceh City Post 2004 Great Sumatra Earthquake. Proceeding 14Th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China
- United States Geological Survey/USGS. (2009). Historic World Earthquakes [Online]. Available: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical_country.php#indonesia. [November 23th, 2009]
- United States Geological Survey/USGS. (2012). Magnitude 8.6 - OFF THE WEST COAST OF NORTHERN SUMATRA. [Online]. Available: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/usc000905e.php>. [May 13th, 2012]
- Villaverde. R. (2009). Fundamental Concepts of Earthquake Engineering, CRC Press-Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA
- Youngs et al. (1997). Strong ground motion attenuation relationship for subduction zone earthquake.pdf. (n.d.).