PERSAMAAN PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM GEMPA TEKTONIK UNTUK KAWASAN SUMATERA BARAT

Akmam

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Abstract

Characteristic of earthquake in a region can be studied through its physical characteristics, such as magnitude and earthquakes energy. Energy which is produced by earthquake can be predicted from magnitude. So far, a lot of research produces different equation to predict of earthquake energy that is depending on zone of earthquake occurred. The purpose of descriptive fundamental research was to find equation for ground acceleration which is presented by local magnitude earthquake for West Sumatra region. Data sounder for research were collected from BMG Padang Panjang which was recorded from 1982 to 2008. Data are analyzed by using least square inversion method. Equation ground acceleration is $\log a_{ac} = 0.451 I_o + 0.146 M_L + 0.744 \log \Delta - 2.644$, which local magnitude is $M_L = 0.413 I_o - 0.785 \log H + 5.334$ and intensity of the earthquake in the epicenter is $I_o = 1 + 3 \log (\Delta/H) + 0.01 (\Delta H)$.

Keywords : Equation, ground acceleration, magnitude, energy, tectonic earthquake

1. Pendahuluan

Penyusupan lempeng Indo-Australia pada lempeng Eurasia mengakibatkan Sumatera dan pesisir baratnya mudah mengalami deformasi dan rawan terhadap gempa bumi dan tsunami. Pergerakan lempeng Indo-Australia ke lempeng Euarasia menghasilkan sistem sesar Sumatera dan sesar Mentawai sehingga kawasan ini sangat menarik sebagai objek penelitian kegempaan dalam rangka meletakkan dasar pemikiran penanggulangan (mitigasi) bencana gempa kedepan. McCaffrey et. al. (1985) mengestimasi terdapatnya kerak benua sampai kedalaman (30-40) km dan adanya mekanisme pergerakan bidang sesar pada berbagai kedalaman pusat gempa di sepanjang busur Sumatera. Kemudian Posavec et. al. (1977) mengungkapkan bahwa zona sesar Sumatera didominasi oleh pergerakan lateral secara terus menerus lempeng Indo-Australia dan lempeng Sumatera. Curey et. al. (1977) meramalkan bahwa zona Benioff yang terdapat disepanjang busur Sumatera dapat berubah dengan cepat kedalaman dan bentuknya. Hal ini mencirikan bahwa struktur zona disepanjang busur sumatera sangat kompleks dan dinamis.

Begitu kompleks dan rumitnya tatanan tektonik dan banyaknya gempa bumi yang terjadi di Sumatera Barat dan pantai baratnya memunculkan pertanyaan yaitu bagaimana persamaan untuk menghitung dan berapa besar percepatan tanah maksimum yang dihasilkan oleh gempa tektonik pada aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia ke lempeng Eurasia. Hal ini mengacu kepada kenyataan bahwa efek yang ditimbulkan oleh gempa tektonik erat hubungannya dengan struktur litosfer dimana sumber gempa tersebut berada. Perbedaan struktur litosfer menyebabkan percepatan tanah maksimum yang berbeda pula. Perbedaan ini menyebabkan diperolehnya berbagai formula empiris, seperti formula Murphy dan O'Brein dalam Subardjo et. al (1998), Richter (1952), Kawashumi, dan lain sebagainya, digunakan untuk menentukan percepatan tanah maksimum berbagai daerah. Subardjo dan Piccanusa (1998) menemukan bahwa kesemua formula di atas tidak memberikan hasil yang sama.

Melihat pada kondisi di atas, muncul permasalahan baru bagaimana bentuk formula yang dapat digunakan untuk menentukan percepatan tanah maksimum daerah Sumatera Barat dan sekitarnya atau berapa besarkah koreksi harga konstanta yang terdapat pada setiap persamaan yang telah ditemukan para ahli sebelum ini yang cocok untuk menentukan parameter fisis sumber gempabumi di Sumatera Barat dan pesisir pantai baratnya. Persamaan baru ini perlu ditemukan dalam rangka memudahkan membuat ramalan periode ulang gempa dan tempat dimana gempa berikutnya akan terjadi.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1. Tektonik dan Kegempaan di Sumatera

Setiap wilayah tektonik memiliki ciri atau indikasi tertentu, baik batuan, mineralisasi, struktur maupun kegempaan. Kondisi lempeng tektonik untuk pulau Sumatera dan Mentawai seperti diperlihatkan Gambar 1.

Gambar 1. Kondisi subduksi lempeng Indo-Australia ke lempeng Eurasia (Danny : 1995)

Gambar 1. memperlihatkan bahwa struktur tektonik Sumatera yang sangat kompleks serta melibatkan lempeng Australia, Eurasia, dan masih banyak lagi lempeng-lempeng tektonik kecil lainnya yang menghasilkan pergerakan sesar di sepanjang pantai barat Sumatera bagian tengah dan utara.

Gambar 1. juga memperlihatkan bahwa gempa di pesisir barat Sumatera umumnya disebabkan sesar (patahan) naik (thrust fault) yang juga mungkin bercampur dengan gerakan "Sea floor spreading" (bukaan, rengkahan lantai samudra) di Andaman yang berlanjut menjadi sesar (Natawidjaya, 1995; McCann, 1987; M.T. Zen, 1987). Hal ini diperkuat oleh Diament, et. al, (1992), menyatakan bahwa *the geodynamic evolution of the western part of the Sunda arc is controlled by the change from frontal subduction of the Indo-Australian plate along Java to oblique subduction along Sumatra*.

2.2. Percepatan Tanah Maksimum

Percepatan tanah maksimum berkaitan dengan struktur batuan dan intensitas gempa. Percepatan tanah maksimum merupakan nilai terbesar percepatan tanah pada suatu wilayah akibat getaran gempabumi dalam periode tertentu. Percepatan tanah maksimum dapat diukur langsung menggunakan *accelegraf* atau *strongmotion* yang dipasang pada suatu tempat. Namun pemasangan jaringan pengukuran tersebut sampai di Sumatera Barat belum efektif, maka perlu kiranya dibuat suatu pendekatan untuk menghitung percepatan tanah maksimum tersebut.

Permasalahan yang akan dianalisa pada penelitian ini hubungan percepatan tanah maksimum dengan magnitudo lokal, intensitas, jarak dan kedalaman episenter sumber gempa bumi di Sumatera Barat. Magnitudo adalah skala kekuatan gempa (jumlah energi yang dipancarkan) pada sumbernya yang dinyatakan dengan skala Richter. Intensitas gempa adalah besarnya amplitudo getaran gempa pada suatu tempat yang berpengaruh terhadap makhluk hidup dan benda mati ditandai dengan skala kerusakan dengan skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*).

Murphy dan O'Brein dalam Subardjo, et. al. (1998) menuliskan persamaan empiris percepatan tanah maksimum pada suatu tempat dengan

$$\log \ddot{a}_{arc} = aI + bM - c \log \Delta + d \quad (1)$$

dimana $\ddot{a}_{arc}$ adalah percepatan tanah maksimum, I, intensitas gempa pada titik yang akan dianalisa, M, magnitudo gempa dan Δ , jarak episenter (km). Magnitudo dihitung dengan menggunakan hubungan empiris Vanek, et. al (1962) termodifikasi yaitu

$$M = p I_0 + q \log H + r \quad (2)$$

dimana I_0 intensitas gempa pada episenter, H, kedalaman episenter, sedangkan p,q, dan r adalah konstanta akan ditentukan dalam penelitian ini menggunakan metoda kuadrat terkecil. Kemudian intensitas gempa pada sumber gempa diprediksi menggunakan persamaan:

$$I_0 = \frac{(M - q \log H + r)}{p} \quad (3)$$

Sedangkan Richter (1952) merumuskan percepatan tanah maksimum dengan

$$\log \ddot{a}_{arc} = \frac{I}{3} + 0.5 \quad (4)$$

dimana $\log I = M_L - \log I_0$, M_L adalah magnitudo lokal dari suatu sumber gempa pada suatu tempat dan intensitas gempa maksimum pada episenter adalah

$$I_0 = P - Q \log \Delta$$

harga P dan Q adalah konstanta yang akan dihitung menggunakan metoda kuadrat terkecil.

3. METODE PENELITIAN

Data penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Panjang yang terekam dalam bentuk analog. Data yang akan digunakan adalah data gempa tektonik mulai tahun 1982 – 2008 untuk daerah penelitian $88.5^\circ \text{BT} - 102^\circ \text{BT}$ dan $3.5^\circ \text{LS} - 1^\circ \text{LU}$, dengan magnitudo gempa bumi lebih dari 4.0 skala Richter. Untuk mendapatkan harga konstanta, seperti p,q dan r pada persamaan (2) dan a,b,c dan d pada persamaan (1), digunakan metoda inversi kuadrat terkecil yaitu dengan mengkonvolusikan parameter fisis bumi (konstanta yang akan dicari) dengan parameter fisis gempa oleh Ali K (1985) sebagai berikut:

$$c_t = \sum_{i=0}^m f_s b_{i\Delta s} \quad (6)$$

dimana c_i menyatakan harga parameter hasil perhitungan, b_s menyatakan parameter fisis bumi dan f_s menyatakan parameter gempabumi (magnitudo gempa, percepatan tanah maksimum dan sebagainya). Bila d_i menyatakan harga parameter hasil pengamatan, maka beda harga pengamatan dengan harga perhitungan adalah :

$$I = \sum_{i=0}^{m \times n} (d_i - c_i)^2 + \sum_{i=0}^{m \times n} d_i + \sum_{s=0}^m f_s b_{ths} \quad (7)$$

Perbedaan harga pengamatan dengan harga perhitungan minimum, apabila harga differensial parsial persamaan (7) terhadap setiap koefisien persamaan parameter gempabumi sama dengan nol, dengan demikian diperoleh

$$\sum_{s=0}^m f_s \sum_{i=0}^{m \times n} b_{ths} b_{thi} + \sum_{i=0}^{m \times n} d_i b_{thi} = 0, \text{ untuk } i = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

dimana

$$\sum_{i=0}^{m \times n} b_{ths} b_{thi} = b_{ths} \text{ dan } \sum_{i=0}^{m \times n} d_i b_{thi} = g_i \quad (9)$$

dalam b_{ths} merupakan autokorelasi dari parameter fisis bumi dan g_i merupakan korelasi silang antara parameter fisis bumi dan harga parameter hasil pengamatan.

Kemudian persamaan di atas dimodifikasi berdasarkan metoda inversi least-square oleh Suparno (2008), sehingga diperoleh $\|G'G\| + \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{m \times n} (d_i - c_i)^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{m \times n} d_i^2$. Dalam bentuk notasi matriks dapat ditulis menjadi $G'G + I_0 m + G' d$, dimana dalam hal ini m adalah parameter inversi yang dalam kasus ini adalah p , q dan r atau a , b dan c , tergantung kepada permasalahan yang akan diselesaikan.

Untuk mendapatkan konstanta p , q , r dari persamaan (2) digunakan metoda kuadrat terkecil (*least square*). Berdasarkan persamaan (9), Akmam (2006) memodifikasi persamaan (2) menjadi:

$$\begin{aligned} M + r G + p I_0 + q \log H \\ M I_0 + r \sum_{i=0}^{m \times n} I_0 G + p \sum_{i=0}^{m \times n} I_0^2 G + q \sum_{i=0}^{m \times n} I_0 \log H \\ M \log H + r \log H + p \log H + q \log H^2 \end{aligned}$$

Kemudian bila $m = M - [M]$, $i_0 = I_0 - [I_0]$, dan $h = H - [H]$ yang merupakan deviasi terhadap nilai rata-rata, maka ketiga persamaan di atas dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} m i_0 + r \sum_{i=0}^{m \times n} m i_0 G + p \sum_{i=0}^{m \times n} i_0^2 G + q \sum_{i=0}^{m \times n} i_0 \log h \\ m \log h + r \log h + p \sum_{i=0}^{m \times n} i_0 \log h + q \sum_{i=0}^{m \times n} \log h^2 \end{aligned}$$

dengan metoda eliminasi, maka akan diperoleh harga p , q dan r .

Setelah harga konstanta p , q , dan r didapatkan, harga tersebut disubsitusikan ke persamaan (2) maka diperoleh formula untuk menghitung magnitudo sumber gempabumi khusus untuk Sumatera Barat dan pesisir pantai baratnya. Setelah harga konstan p , q , dan r diperoleh, pekerjaan berikutnya adalah menentukan harga konstanta a , b , c dan d dari persamaan (1). Harga konstanta ini juga diperoleh dengan menggunakan metoda kuadrat terkecil (*least square*). Dengan menggunakan penalaran yang sama dengan memperoleh konstanta p , q dan r pada persamaan (2) di atas, maka

diperoleh sistem persamaan untuk menentukan persamaan percepatan tanah maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \log \tilde{a}_{arc} &= a I_0 + b M_L + c \log \Delta + d \\ \log \tilde{a}_{arc} &= a I_0 + b M_L + c \log \Delta + d \\ \log \tilde{a}_{arc} &= a I_0 + b M_L + c \log \Delta + d \\ \log \tilde{a}_{arc} &= a I_0 + b M_L + c \log \Delta + d \\ \log \tilde{a}_{arc} &= a I_0 + b M_L + c \log \Delta + d \end{aligned}$$

dengan menggunakan penjabaran seperti penguraian persamaan (2), maka akan diperoleh 4 persamaan dengan 4 variabel yang belum diketahui besarnya. Dengan menyelesaikan sistem persamaan di atas, maka diperoleh harga konstanta a, b, c dan d. Kemudian harga konstanta yang diperoleh tersebut di subsitusikan ke dalam persamaan (1), sehingga diperoleh formula percepatan tanah maksimum khusus untuk wilayah Sumatera Barat dan pantai baratnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan analisa terhadap data gempa bumi dari tahun 1982 sampai dengan tahun 2005, dengan menggunakan pendekatan metoda inversi kuadrat terkecil (*least square*) berdasarkan persamaan $M = p I_0 + q \log H + r$, diperoleh harga konstanta $p = 0.413$, harga $q = -0.785$ dan harga $r = 5.334$, dengan demikian diperoleh persamaan magnitude local khusus untuk Sumatera Barat $M_L = 0.413 I_0 - 0.785 \log H + 5.334$ dengan intensitas gempa pada episenter $I_0 = I + 3 \log (\Delta/H) + 0.01 (\Delta/H)$.

Kemudian berdasarkan persamaan $\log \tilde{a}_{arc} = a I_0 + b M_L + c \log \Delta + d$, maka diperoleh harga konstanta $a = 0.451$, $b = 0.146$, $c = 0.744$ dan $d = -2.644$. Dengan demikian diperoleh persamaan tanah maksimum untuk daerah Sumatera Barat adalah $\log \tilde{a}_{ac} = 0.451 I_0 + 0.146 M_L + 0.744 \log \Delta - 2.644$. Hasil temuan di atas menunjukkan bahwa persamaan yang digunakan untuk menghitung percepatan tanah tidak dibuat secara global, tetapi harus dibuat formula lokal. Perbedaan formula ini diakibatkan oleh struktur geologi, jenis batuan untuk setiap daerah adalah berbeda. Formula ini yang diperoleh ini kiranya masih perlu dikoreksi dengan memasukkan sumber data dari berbagai stasion pencatat gempa. Berdasarkan formula yang diperoleh, maka dibuatlah distribusi kecepatan tanah di provinsi Sumatera Barat seperti terlihat pada lampiran.

Peta lampiran memperlihatkan bahwa harga percepatan tanah minimum sebesar 51.67 gal dan percepatan tanah maksimum sebesar 723.09 gal. Berdasarkan data percepatan tanah dan peta percepatan tanah Lampiran pada Gambar 2 dan 3, secara umum Sumatera Barat merupakan daerah yang berisiko tinggi terhadap bahaya gempabumi, karena hampir semua daerahnya memiliki percepatan tanah maksimum di atas 300 gal, hal ini sesuai dengan standar yang telah ditetapkan secara nasional. Untuk daerah di Sumatera Barat, yang memiliki harga percepatan tanah maksimum tertinggi adalah Kabupaten Solok yaitu sebesar 723.09 gal sedangkan daerah yang memiliki percepatan tanah maksimum terendah adalah Kota Payakumbuh yaitu sebesar 286.47 gal.

5. SIMPULAN DAN SARAN

Sesuai dengan tujuan penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa formula yang dapat digunakan untuk menghitung percepatan tanah oleh gempa khusus untuk daerah Sumatera Barat adalah: $\log \tilde{a}_{ac} = 0.451 I_0 + 0.146 M_L + 0.744 \log \Delta - 2.644$, dimana

magnitude lokal $M_L = 0.413 I_0 - 0.785 \log H + 5.334$, dan intensitas gempa pada episenter $I_0 = I + 3 \log (\bar{a}/H) + 0.01 (\bar{a} \dot{H} H)$.

Agar penelitian lebih berguna untuk selanjutnya perlu kiranya membuat pemetaan distribusi percepatan tanah maksimum untuk daerah Sumatera Barat. Kemudian formula yang didapatkan perlu dilanjutkan koreksi dengan menggunakan *accelegraf* atau *strongmotion*, yang mana pada penelitian ini belum dapat dilakukan karena ketiadaan peralatan.

6. ACUAN

Akmam, Letmi Dwiridal, Badrul Mustafa Kemal, 2006, *Studi Karakteristik Fisis Sumber Gempabumi di Wilayah Sumatera Barat*, FMIPA UNP Padang, Laporan Penelitian Fundamental Research Dikti.

Ali, K, 1985, *Maximum Likelihood Estimate of b Value in Formula $\log N = a + bM$ and its Confidence Limits*, Bulletin Earthquake, vol. 43, pp 345-358

Curry, J.R, G.G Shor Jr, R.W. Raitt and Henry, 1977, *Seismic Refraction and Reflection Studies of Crustal Structure of Eastren Sunda and Westren Sunda Arcs*, Jurnal of Geophysics Research, Vol. 82, 2479 - 2489

Diamant, M. C. Deplus, D. Dahrin, and M. T. Zen, Jr, H. Harjono, K. Karta, M. Gérard, O. Lassal, and A. Martin, J. Malod, 1992, (Abstrak), *Mentawai fault zone off Sumatra: A new key to the geodynamics of western Indonesia*, *Geology*: Vol. 20, No. 3, pp. 259–262,

McCaffray, R, P. Molnor, S.W. Roecher and Y.S. Joyodiwirjo, 1985, *Microearthquake Seismicity and Fault Plane Solution Related to Arc-Continent Collision in the Eastern Sunda-Arc, Indonesia*, Jurnal of Geophysics Research, Vol. 90, pp 4511 - 4528

Mc Cann, W.R. and K.R. Newcomb, 1987, *Seismic History and Seismotectonic of the Sunda Arc*, Jurnal of Geophysics Research, vol 92, 421-439

Natawidjaya, Danny H, 1995, *Gempa Tektonik Daerah Bukit Tinggi-Muarolabuh; Hubungan Segmantasi Sesar Aktif dengan Gempa Bumi tahun 1926 dan 1943*, Prosiding Hasil Penelitian Puslitbang Geoteknologi LIPI, pp 50 – 75

Richter, C.F and Gutenberg B. 1952, *Earthquake magnitude, Intensity, Energy and Acceleration*, Bulletem Seismology Society Amarica. Vol. 32, pp 163-191

Subardjo, Buha M. Simanjutak, C. Piccanusa, 1998, *Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempabumi Maluku dan Sekitarnya Periode 1900-1977*, Bulletem Meteorologi dan Geofisika, hal 1 – 17.

Supriyanto Suparno, 2008, *Komputasi untuk Sains dan Teknik*, Departemen Fisika-FMIPA, Universitas Indonesia, <http://supriyanto.fisika.ui.edu>.

Zen, M.T, 1987, *Seismicity of the Sumatra Fault Zones*, 6 th Regional Congress an Geology, Mineral and Energy Resources of Southaest Asia.

Lampiran 1. Peta Distribusi Percepatan Tanah oleh Gempa Tektonik di Kawasan Sumatera Barat dan Pesisir Pantainya

Gambar 2. Peta Kontur Percepatan Tanah Maksimum oleh Gempa Tektonik di Sumatra Barat Tahun 1982 - 2008

Gambar 3. Peta Kontur Percepatan Tanah Maksimum oleh Gempa Tektonik di Sumatra Barat Berdasarkan Kabupaten Tahun 1982 - 2008