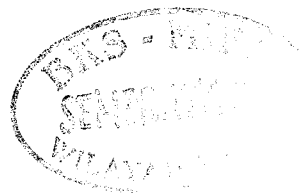


# FORMULA PERCEPATAN TANAH GEMPA TEKTONIK UNTUK SUMATERA BARAT

MILIK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG	
DITERIMA TGL. :	21-9-2006
SUMBER HARGA :	Hadiah
KOLEKSI :	KI
NO. INVENTARIS :	197/K/2006 f2/2/
KLASIFIKASI :	551.220 989.8 FOR 80



MILIK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG  
ISLAM TERDAFTAR

PERUSAHAAN :  
JURUSAN :  
Oleh :  
TANGGAL :

MILIK PERPUSTAKAAN  
UNIV. NEGERI PADANG

Akmam  
Letmi Dwridal  
Badrul Mustafa Kemal  
Hasan Basri

KEPALA

Disampaikan pada Seminar SEMIRATA BKS PTN  
Indonesia Bagian Barat 10 - 11 Juli 2006  
Kampus Universitas Andalas Padang  
Tahun 2006

MILIK PERPUSTAKAAN  
UNIV. NEGERI PADANG

# FORMULA PERCEPATAN TANAH GEMPA TEKTONIK UNTUK SUMATERA BARAT

Oleh:

Akmam\*, Letmi Dwridal\*, Badrul Mustafa Kemal\*\*, Hasan Basri\*\*\*

---

## ABSTRAK

Penyusupan lempeng Indo-Australia ke lempeng Eurasia menyebabkan terbentuknya zona deformasi aktif di kepulauan Mentawai dan pulau Sumatera. Akibatnya daerah Sumatera Barat merupakan zona rawan terhadap gempa tektonik dan vulkanik. Perilaku kegempaan pada suatu daerah dapat dipelajari melalui karakteristik fisis sumber gempabumi antara lain melalui magnitudo, energi gempa dan percepatan tanah.

Untuk itu dilakukan penelitian deskriptif yang merupakan penelitian dasar yang bertujuan untuk menentukan formula menghitung percepatan tanah maksimum oleh gempa tektonik daerah Sumatera Barat. Data penelitian ini adalah sekunder yaitu catatan gempa di Sumatera Barat tahun 1900 sampai dengan tahun 2005 yang tersedia di BMG Padang Panjang. Data diolah menggunakan metoda kuadrat terkecil. Berdasarkan diperoleh formula untuk menghitung percepatan tanah untuk daerah Sumatera barat yaitu  $\log \alpha = 0.421 I + 0.146 M_L + 0.746 \log \Delta - 2.844$ , dimana magnitudo lokal  $M_L = 0.415 I_0 - 0.795 \log H + 3.334$ , dan intensitas gempa pada episenter  $I_0 = I + 3 \log (\Delta r/H) + 0.01(\Delta - H)$ .

Kata Kunci: Formula, karakteristik, percepatan tanah, gempa tektonik

---

\*) Dosen Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

\*\*) Dosen Geofisika Teknik Sipil Universitas Andalas

\*\*\*) Staf Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Padang

## Pendahuluan

Tatanan tektonik Sumatera Barat merupakan tatanan yang menarik untuk dikaji, karena penyusupan lempeng Indo-Australia ke lempeng Eurasia mengakibatkan Sumatera dan pesisir baratnya mudah mengalami deformasi dan rawan terhadap gempa bumi dan tsunami. Pergerakan lempeng di Indo-Australia sistem sesar Sumatera dan sesar Mentawai, menyebabkan 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. (1989) meramalkan bahwa zona Benioff yang terdapat di sepanjang busur Sumatera dapat berubah dengan cepat kedalamannya dan bentuknya. Hal ini menandakan bahwa struktur zona di sepanjang busur Sumatera sangat kompleks dan dinamis.

Begitu kompleks dan rumitnya tatanan tektonik dan banyaknya gempabumi yang terjadi di Sumatera Barat dan pantai baratnya memunculkan pertanyaan yaitu bagaimana karakteristik fisis sumber gempabumi yang disebabkan oleh aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia ke lempeng Eurasia.

Karakteristik sumber gempa tektonik pada zona penyusupan seperti di Sumatera Barat dan pantai baratnya dapat dipelajari melalui percepatan tanah maksimum oleh gempa.

Efek yang ditimbulkan oleh gempa tektonik erat hubungannya dengan struktur litosfer dimana sumber gempa tersebut. Perbedaan struktur litosfer menyebabkan percepatan tanah maksimum yang berbeda pula. Perbedaan ini menyebabkan diperolehnya berbagai formula empiris, seperti formula Murphy dan O'Brein, Richter, Kawashumi, Donovan, Esteva 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.

---

\*) Dosen Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

\*\*) Dosen Geofisika Teknik Sipil Universitas Andalas

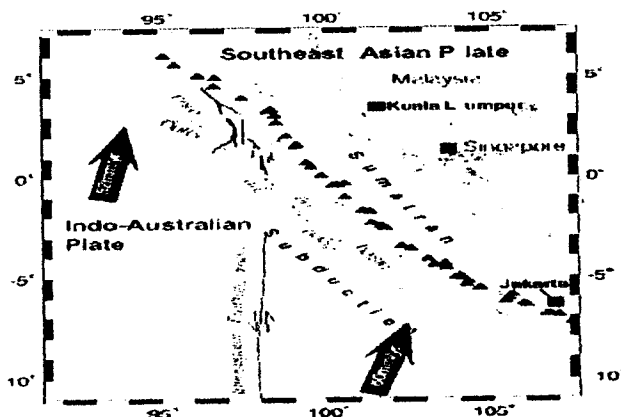
\*\*\*) Staf Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Padang

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 setiap formula-formula yang telah ditemukan para ahli sebelum ini yang cocok untuk menentukan parameter fisis sumber gempa bumi di Sumatera Barat dan pesisir pantai baratnya. Formula baru ini perlu ditemukan dalam rangka memudahkan membuat ramalan periode ulang gempa dan tempat dimana gempa berikutnya akan terjadi.

## KAJIAN PUSTAKA

### a. 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 Asia

Gambar 1 memperlihatkan bahwa struktur tektonik Sumatera yang sangat kompleks serta melibatkan lempeng Australia, Sunda, 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, rekahan lantai samudra) di Andaman yang berlanjut menjadi sesar (Natawidjaya: 1995, McCann : 1987) Hal ini

\*) Dosen Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

\*\*\*) Dosen Geofisika Teknik Sipil Universitas Andalas

\*\*\*) Staf Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Padang

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.*

#### b. 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 karakteristik hubungan magnitudo, intensitas, jarak dan kedalaman episenter sumber gempabumi. 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

$$\log v = aI + bM - c \log \Delta + d \quad (1)$$

dimana  $v$  adalah percepatan tanah maksimum,  $I$ , intensitas gempa pada titik yang akan dianalisa,  $M$ , magnitudo gempa dan  $\Delta$ , 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:

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

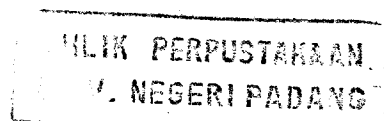
Sedangkan Richter (1952) merumuskan percepatan tanah maksimum dengan

---

\*) Dosen Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

\*\*) Dosen Geofisika Teknik Sipil Universitas Andalas

\*\*\*) Staf Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Padang



$$\log v = \frac{I}{3} - 0.5 \quad (4)$$

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

$$I_0 = P - Q \log \Delta \quad (5)$$

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

### Metode Penelitian

Data penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika Padangpanjang yang terekam dalam bentuk analog. Data yang akan digunakan adalah data gempa tektonik mulai tahun 1905 – 2005 untuk daerah penelitian  $88.5^{\circ} \text{BT} - 102^{\circ} \text{BT}$  dan  $B1^{\circ} \text{LU} - 3.5^{\circ} \text{LS}$ , dengan magnitudo gempabumi lebih dari 4.0 skala Richter.

Karakteristik fisis sumber gempabumi diestimasi dari bentuk respon bumi terhadap gangguan yang diterimanya. Respon bumi tersebut dapat dilihat dari bentuk persamaan respon, seperti persamaan magnitudo, persamaan percepatan tanah maksimum. Untuk mendapatkan harga konstanta, seperti p,q dan r pada persamaan Murphy dan O'Brein dan a,b,c dan d dan pada persamaan Richter, digunakan metoda kuadrat terkecil yaitu dengan mengkonvolusikan parameter fisis bumi (konstanta yang akan dicari) dengan parameter fisis gempa sebagai berikut:

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

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

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

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

---

\*) Dosen Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

\*\*) Dosen Geofisika Teknik Sipil Universitas Andalas

\*\*\*) Staf Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Padang

$$\sum_{s=0}^m f_s \sum_{t=0}^{m+n} b_{t-s} b_{t-i} = \sum_{t=0}^{m+n} d_t b_{t-i}, \text{ untuk } i = 0, 1, 2 \dots \quad (8)$$

dimana

$$\sum_{t=0}^{m+n} b_{t-s} b_{t-i} = \phi_{i-s} \text{ dan } \sum_{t=0}^{m+n} d_t b_{t-i} = g_i \quad (9)$$

dalam  $\phi_i$  merupakan autokorelasi dari parameter fisis bumi dan  $g_i$  merupakan korelasi silang antara parameter fisis bumi dan harga parameter hasil pengamatan.

Untuk menentukan konstanta  $p, q, r$  dari persamaan (2) digunakan metoda kuadrat terkecil (*least square*). Berdasarkan persamaan (7), maka persamaan (2) dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} \sum M &= \Delta r + p \sum I_0 + q \sum \log H \\ \sum MI_0 &= r \sum I_0 + p \sum I_0^2 + q \sum I_0 \log H \\ \sum M \log H &= r \sum \log H + p \sum I_0 \log H + q \sum \log H^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \sum mi_0 &= r \sum mi_0 + p \sum i_0^2 + q \sum i_0 \log h \\ \sum m \log h &= r \sum \log h + p \sum i_0 \log h + q \sum \log h^2 \end{aligned}$$

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 diperolehlah formula untuk menghitung magnitudo sumber gempa bumi 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  $a, b$  dan  $c$  pada persamaan (1) di atas, diperolehlah sistem persamaan untuk menentukan persamaan percepatan tanah maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \log v &= aI + bM - c \log \Delta + d \\ \sum I \log v &= a \sum I^2 + b \sum MI - c \sum I \log \Delta + d \sum I \\ \sum M \log v &= a \sum IM + b \sum M^2 - c \sum M \log \Delta + d \sum M \end{aligned}$$

\*) Dosen Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang  
 \*\*) Dosen Geofisika Teknik Sipil Universitas Andalas  
 \*\*\*) Staf Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Padang

197/K/2006-f 2 (2)

551.220.959.8

$$\sum \log v^2 = a \sum I \log v + b \sum M \log v - c \sum \log \Delta \log v + d \sum \log v$$

$$\sum \log \Delta \log v = a \sum I \log \Delta + b \sum M \log \Delta - c \sum \log \Delta^2 + d \sum \log \Delta$$

dengan menggunakan penjabaran seperti penguraian persamaan (4), 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 substitusikan ke dalam persamaan (3), sehingga diperoleh formula percepatan tanah maksimum khusus untuk wilayah Sumatera Barat dan pantai baratnya.

### Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan analisa terhadap data gempa bumi dari tahun 1900 sampai dengan tahun 2005, dengan menggunakan pendekatan kuadrat terkecil (*least square*) berdasarkan persamaan  $M = p I_0 + q \log H + r$ , maka diperoleh harga konstanta  $p = 0.415$ , harga  $q = -0.795$  dan harga  $r = 3.334$ , dengan demikian diperoleh persamaan magnitude local khusus untuk Sumatera Barat yaitu:

$$M_L = 0.415 I_0 - 0.795 \log H + 3.334$$

dengan intensitas gempa pada episenter  $I_0 = I + 3 \log (\Delta/H) + 0.01 (\Delta - H)$ .

Kemudian berdasarkan persamaan  $\log \alpha = aI + bM - c \log \Delta + d$ , maka diperoleh harga konstanta  $a = 0.421$ ,  $b = 0.146$ ,  $c = 0.746$  dan  $d = -2.884$ , sehingga diperoleh persamaan percepatan tanah khusus untuk Sumatera Barat sebagai berikut:

$$\log \alpha = 0.421 I + 0.146 M_L + 0.746 \log \Delta - 2.844.$$

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.

### 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:  $\log \alpha = 0.421 I + 0.146 M_L + 0.746 \log \Delta - 2.844$ , dimana magnitude lokal  $M_L = 0.415 I_0 - 0.795 \log H + 3.334$ , dan intensitas gempa pada episenter  $I_0 = I + 3 \log (\Delta/H) + 0.01 (\Delta - H)$ .

\*) Dosen Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

\*\*) Dosen Geofisika Teknik Sipil Universitas Andalas

\*\*\*) Staf Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Padang



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.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 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 Arces*, 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 Indonesi*, 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 Solusion Related to Arc-Conitnent 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
- Posavec, M. D. Taylor, th van euwen and A Spector, 1973, *Tectonic Controls of Volcanism and Complex Movement Alang the Sumatran Fault System*, Geology Sociaty Malaysia, Bulletin, pp 43- 60
- Richter, C.F and Gutenberg B. 1952, *Earthquake magnitude, Intensity, Energy and Acceleration*, Bulletin Seismology Sociaty Amarica. Vol. 32, pp 163-191
- Subardjo, Buha M. Simanjutak, C. Piccanusa, 1998, *Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempabumi Maluka dan Sekitarnya Periode 1900-1977*, Bulletin Meteorologi dan Geofiiska, hal 1 - 17.
- Vanek, J, A. Zatopek, V. Karnik, N.V. Kondorskaya. Y.V. Riznicheko, E.F. Saveresey, N.V. Shabulen, 1962, *Standardization of Magnitude Scales*, Bullten Academic USSR Geophysics Survey, England Transl. no. 108 - 111
- Zen, M.T, 1987, *Seismicity of the Sumatra Fault Zones*, 6 th Regional Conggres an Geology, Mineral and Energy Resources of Southaest Asia.

PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG

\*) Dosen Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang  
 \*\*) Dosen Geofisika Teknik Sipil Universitas Andalas  
 \*\*\*) Staf Badan Meteorologi dan Geofisika Padang Padang