

Analisis Kecocokan Nilai Percepatan Tanah Kota Padang Panjang-Bukittinggi Berdasarkan Perhitungan Secara Empiris dengan Data Percepatan Tanah dari Akselerograf yang Terpasang Di Stasiun Padang Panjang

Violina Oktaviani, Dwi Pujiastuti

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel	ABSTRAK
<p>Histori Artikel:</p> <p>Diajukan: 9 Oktober 2019 Direvisi: 17 Oktober 2019 Diterima: 23 Oktober 2019</p>	<p>Telah dilakukan perhitungan nilai percepatan tanah Kota Padang Panjang-Bukittinggi menggunakan data gempa bumi dari Segmen Sianok dan sekitarnya. Perhitungan dilakukan dengan persamaan empiris yang divalidasi dengan data percepatan tanah dari akselerograf yang terpasang di Stasiun Padang Panjang. Rumusan empiris yang digunakan adalah Mc. Guire, Fukushima-Tanaka, Esteva, Donovan, dan Kanai. Hasil validasi menunjukkan bahwa rumusan Esteva merupakan rumusan paling cocok digunakan untuk Kota Padang Panjang-Bukittinggi dengan persentase kesalahan rata-rata sebesar 73%, sedangkan 4 rumusan lainnya mempunyai persentase kesalahan rata-rata masing-masing Mc. Guire 581%, Fukushima-Tanaka 79%, Donovan 514%, dan Kanai 191%.</p>
<p>Kata kunci:</p> <p>gempa bumi percepatan tanah akselerograf rumusan empiris</p>	
<p>Keywords:</p> <p>Earthquake land acceleration accelerograph empirical equation</p>	
<p>Penulis Korespondensi:</p> <p>Violina Oktaviani Email: violina.oktaviany@gmail.com</p>	<p><i>The calculation peak ground acceleration (PGA) of Padang Panjang-Bukittinggi using the earthquake data from the Sianok Segment and its surroundings. Calculations are carried out from several empirical equations which are validated with ground acceleration data from accelerographs installed at Padang Panjang Station. Empirical formulations were use Mc. Guire, Fukushima-Tanaka, Esteva, Donovan, dan Kanai. Validation results show that the Esteva formula is the most suitable formula for the City of Padang Panjang-Bukittinggi with the average error percentage of 73%, while the other 4 formulas have an average error percentage of each Mc. Guire 581%, Fukushima-Tanaka 79%, Donovan 514%, dan Kanai 191%.</i></p>

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Kota Padang Panjang merupakan salah satu kota di Sumatera Barat yang mempunyai tingkat resiko tinggi terhadap fenomena alam bencana gempa bumi sesar aktif Sumatera yang sewaktu-waktu dapat menimbulkan bencana gempa bumi. Berdasarkan data katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) gempa bumi tektonik besar pernah terjadi di daerah ini pada tahun 1926 dan 1943 (Edwiza, 2008).

Kota Bukittinggi merupakan salah satu Kota di Provinsi Sumatera Barat yang berada di kawasan rawan bencana gerakan tanah/longsor, letusan gunung berapi, gempa bumi, kebakaran, dan banjir. Kota Bukittinggi tumbuh dan berkembang di sepanjang jalur patahan aktif Sumatera yang lebih dikenal dengan Ngarai Sianok. Diperkirakan patahan ini bergeser 11 cm/tahun. Kota ini juga dikelilingi oleh dua buah gunung berapi, yaitu Gunung Singgalang dan Gunung Merapi (Firmansyah, 2019).

Gempa bumi dengan kekuatan yang besar akan berdampak pada kerusakan bangunan. Salah satu faktor yang dapat menentukan besar kecilnya kerusakan tersebut adalah percepatan tanah maksimum atau Peak Ground Acceleration (PGA) (Edwiza, 2008). Nilai percepatan tanah yang dibutuhkan untuk menentukan kekuatan bangunan yang akan dibangun adalah percepatan tanah maksimum (Sunarjo dkk, 2010). Pemetaan nilai percepatan tanah maksimum akan menjadi informasi penting dalam menunjang pembangunan tata ruang dan wilayah di daerah-daerah rawan gempa (Kapojos dkk, 2015).

Nilai percepatan tanah dapat diketahui melalui dua cara yaitu pengukuran menggunakan alat ukur percepatan tanah atau akselerograf dan pendekatan pemodelan (Linkemer, 2008). Pengukuran percepatan tanah menggunakan alat dapat dihitung secara langsung, namun cara ini sering terkendala akibat keterbatasan jaringan akselerograf baik dari segi ketersediaan alat, cakupan waktu, dan wilayah, maka diperlukan pendekatan secara empiris (Kapojos dkk, 2015). Pendekatan empiris dapat memberikan gambaran secara umum untuk percepatan tanah maksimum sesuai titik-titik yang dibutuhkan (Ibrahim dan Subarjo, 2004).

Beberapa rumusan empiris yang dapat digunakan sebagai pendekatan untuk mengestimasi nilai percepatan tanah di suatu wilayah adalah : (Sunarjo dkk., 2010)

1. Rumusan Mc. Guire

Rumusan ini ditetapkan di wilayah California Selatan, bentuk persamaannya dari rumus ini adalah :

$$a = \frac{472.3 \times 10^{0.278Ms}}{R + 25^{1.301}} \quad (1)$$

2. Rumusan Fukushima-Tanaka

Rumusan Fukushima-Tanaka menggunakan 1372 komponen percepatan tanah maksimum horizontal dari 28 gempa di Jepang dan 15 gempa yang terjadi di Amerika. Rumusan ini diterapkan di wilayah Jepang, bentuk persamaan dari rumusan ini adalah:

$$\text{Loga} = 0,41Ms - \log(R + 0,032 \times 100,41Ms) - 0,0034R + 1,30 \quad (2)$$

3. Rumusan Esteva

Bentuk persamaan dari rumusan ini adalah :

$$a = \frac{5600 \exp^{0,5Mw}}{(R + 40)^2} \quad (3)$$

4. Rumusan Donovan

Rumusan empiris Donovan merupakan rumusan yang biasa digunakan untuk menentukan nilai PGA di suatu wilayah. Rumusan empiris Donovan dihitung berdasarkan data rekaman gempa bumi yang terjadi pada 09 Februari 1971 di San Fernando (Leviana, 2017). Bentuk persamaan dari rumusan ini adalah :

$$a = \frac{1080 \exp^{0,5Mw}}{(R + 25)^{1,32}} \quad (4)$$

5. Rumusan Kanai

Bentuk persamaan dari rumusan ini adalah :

$$a = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{0,61M_w} - (1,66 + \frac{3,6}{R}) \log R + 0,167 - \frac{1,83}{R} \quad (5)$$

dengan a adalah nilai percepatan tanah (gal), T_0 adalah periode dominan tanah titik pengukuran (s), M_w adalah magnitudo momen, M_s adalah magnitudo permukaan, dan R adalah jarak episenter (km).

$$M_w = 0,114(M_b^2) - 0,556M_b + 5,56 \quad (6)$$

Hasil perhitungan percepatan tanah dari persamaan empiris di suatu wilayah harus divalidasi dengan data percepatan tanah dari akselerograf untuk melihat tingkat kecocokannya. Pada penelitian ini digunakan rumusan empiris Mc.Guire, Fukushima-Tanaka, Donovan, Esteva, dan Kanai untuk melihat tingkat kecocokan penggunaan persamaan tersebut untuk pemetaan percepatan tanah maksimum di Kota Padang Panjang-Bukittinggi.

2. METODE

2.1 Data

Data percepatan tanah dari tahun 2013-2017 pada akselerograf yang terpasang di Stasiun Padang Panjang diperoleh dari BMKG pusat. Data gempa tahun 1900-2017 diunduh dari situs United States Geological Survey (USGS).

2.2 Metode Penelitian

Langkah-langkah pengolahan data pada penelitian ini adalah:

1. Data sekunder gempa bumi yang bersumber di Segmen Sianok dan sekitarnya dari tahun 1900 sampai 2017 diunduh dari situs USGS.
2. Jarak episenter dan hiposenter dihitung dari sumber gempa tahun 2013 - 2017 ke titik koordinat terpasangnya akselerograf dengan Persamaan 7 dan 8.

$$R^2 = \Delta^2 + h^2 \quad (7)$$

$$\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (8)$$

3. Nilai percepatan tanah dihitung pada posisi koordinat terpasangnya akselerograf dengan menggunakan rumusan empiris Mc. Guire (Persamaan 1), Fukushima-Tanaka (Persamaan 2), Esteva (Persamaan 3), Donovan (Persamaan 4), dan Kanai (Persamaan 5) dari tahun 2012-2017.

Nilai percepatan tanah yang diperoleh dari kelima rumusan empiris dibandingkan dengan nilai yang terukur pada akselerograf untuk mendapatkan rumusan yang paling cocok untuk Kota Padang Panjang-Bukittinggi.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pemilihan Data Gempa untuk Validasi Nilai Percepatan Tanah

Data gempa terlebih dahulu diunduh dari situs USGS berdasarkan lokasi episenter gempa yaitu Segmen Sianok dan sekitarnya dari tahun 1900-2017. Data tersebut kemudian dicocokkan dengan melihat episenter yang sama dari data USGS dengan data yang terdapat pada akselerograf di Stasiun Padang Panjang. Berdasarkan hasil pencocokkan tersebut diperoleh 28 data gempa di Segmen Sianok dengan magnitudo $\geq 5,1 M_w$ pada kedalaman 30-225,3 km (Tabel 2).

Tabel 2 Data Gempa yang Sesuai dengan Data Akselerograf dari Tahun 2012-2017.

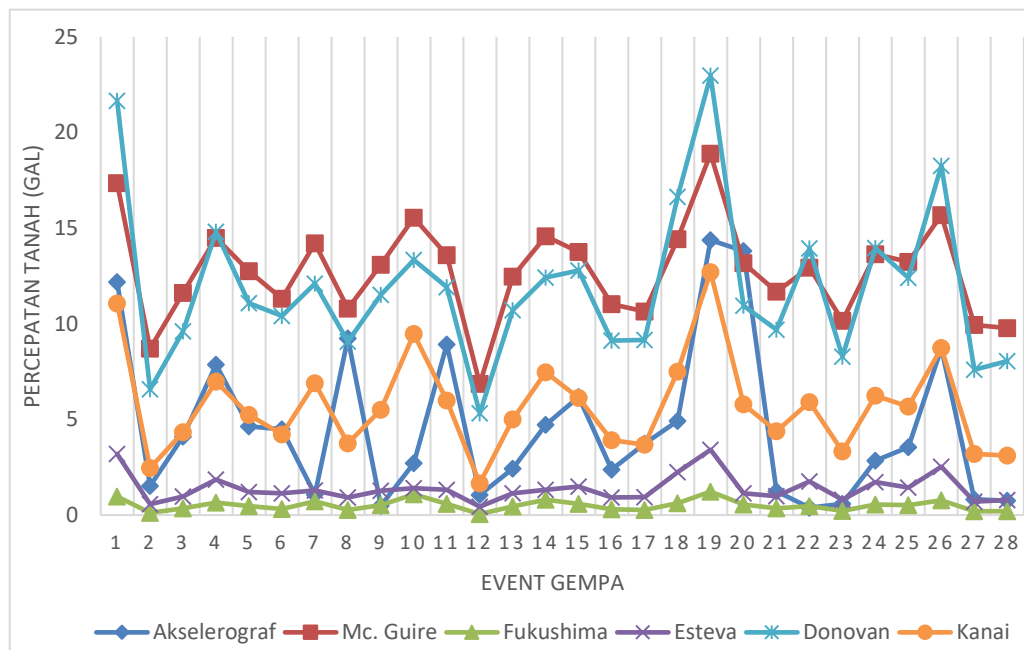
No	Waktu	Episenter gempa	$^{\circ}$ LS	$^{\circ}$ BT	Magnitudo (M_w)	Kedalaman gempa (km)
1	22 Desember 2017	7 km SW of Alahan Panjang	-1.124	100.75	5.197	75.92
2	26 September 2006	Southern Sumatra	-2.163	102.189	5.32064	186.2
3	18 Juni 2014	123 km NNW of Curup	-2.674	100.440	5.41464	60.6
4	10 April 2005	Kepulauan Mentawai Region	-1.781	99.742	5.27706	30
5	20 Juli 2008	Kepulauan Mentawai Region	-2.408	99.889	5.41464	27.3
6	25 Februari 2008	Kepulauan Mentawai Region	-2.415	100.362	5.23576	35
7	13 September 2007	Kepulauan Mentawai Region	-2.423	99.881	5.63	41.2
8	23 Agustus 2015	143 km WSW of Sungai Penuh	-2/7367	100.606	5.32064	35
9	11 Februari 2015	53 km WSW of Sungai Penuh	-2.2893	100.674	5.41464	61.48
10	24 Februari 2008	Kepulauan Mentawai	-2.517	99.977	5.88184	24.5
11	04 Oktober 2010	Kepulauan Menntawai	-2.223	100.477	5.46506	74.1
12	11 April 1996	Southern Sumatra	-1.92	102.596	5.16	223.3
13	05 Mei 2008	Kepulauan Mentawai	-2.516	100.504	5.41464	35
14	17 Mei 1973	Kepulauan Mentawai	-2.349	100.807	5.68954	80
15	28 Februari 2012	Kepulauan Mentawai	-2.051	100.762	5.3665	71.1
16	24 Maret 2008	Kepulauan Mentawai	-2.703	100.945	5.3665	35
17	09 Juli 2017	64 km Sungai Penuh	-2.5313	101.009	5.27706	64.77
18	10 April 2005	Kepulauan Mentawai	-1.587	99.846	5.16	30
19	28 Juni 2015	44 km WSW of Pariaman	-0.8304	99.7763	5.2775	79.13
20	25 Februari 2008	Kepulauan Mentawai	-2.598	100.053	5.572	35
21	15 September 2007	Kepulauan Mentawai	-2.695	100.555	5.41464	35
22	16 September 2005	Southern Sumatra	-0.233	100.963	5.16	150
23	15 November 2017	44 km SE of Sungai Penuh	-2.3324	101.701	5.32064	105.05
24	10 Juni 1985	Southern Sumatra	-1.421	101.545	5.23576	33
25	06 Oktober 1995	Southern Sumatra	-1.896	101.464	5.32064	33
26	11 April 2005	Kepulauan Mentawai	-1.447	99.745	5.19674	25.3
27	18 Juli 2006	Southern Sumatra	-2.027	102.032	5.41464	174.1
28	20 Juli 2003	Southern Sumatra	-0.472	100.735	5.27706	225.3

3.2 Perbandingan Nilai Percepatan Tanah Menggunakan 5 Rumusan Empiris dengan Data Akselerograf

Perbandingan nilai percepatan tanah menggunakan rumusan Mc.Guire, Fukushima-Tanaka, Esteva, Donovan, dan Kanai ditunjukkan oleh Tabel 3 dan grafik pada Gambar 1. Proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan rumusan empiris dengan nilai yang terukur pada akselerograf.

Tabel 3 Perbandingan Data Akselerograf dengan Rumusan Empiris.

<i>event gempa</i>	Nilai Percepatan Tanah						Presentase Error				
	Akselerograf	Mc. Guire	Fuku-shima	Esteva	Donovan	Kanai	Mc. Guire	Fukushima	Esteva	Donovan	Kanai
1	12.182	17.357	0.969	3.200	21.661	11.064	42%	92%	74%	78%	9%
2	1.521	8.695	0.124	0.576	6.571	2.463	472%	92%	62%	332%	62%
3	4.108	11.614	0.354	0.976	9.604	4.339	183%	91%	76%	134%	6%
4	7.864	14.491	0.654	1.860	14.811	6.971	84%	92%	76%	88%	11%
5	4.637	12.759	0.478	1.198	11.084	5.242	175%	90%	74%	139%	13%
6	4.493	11.308	0.320	1.137	10.403	4.220	152%	93%	75%	132%	6%
7	1.074	14.208	0.723	1.296	12.093	6.903	1222%	33%	21%	1026%	543%
8	9.238	10.793	0.275	0.917	9.068	3.751	17%	97%	90%	2%	59%
9	0.490	13.081	0.516	1.266	11.517	5.514	2572%	5%	159%	2252%	1026%
10	2.704	15.541	1.082	1.413	13.340	9.478	475%	60%	48%	393%	251%
11	8.919	13.581	0.588	1.315	11.919	5.991	52%	93%	85%	34%	33%
12	1.047	6.859	0.054	0.439	5.320	1.659	555%	95%	58%	408%	58%
13	2.422	12.474	0.445	1.140	10.707	5.007	415%	82%	53%	342%	107%
14	4.723	14.574	0.804	1.327	12.409	7.465	209%	83%	72%	163%	58%
15	6.171	13.757	0.588	1.485	12.792	6.117	123%	90%	76%	107%	1%
16	2.379	11.036	0.296	0.915	9.118	3.910	364%	88%	62%	283%	64%
17	3.724	10.640	0.263	0.939	9.154	3.676	186%	93%	75%	146%	1%
18	4.924	14.419	0.619	2.240	16.641	7.497	193%	87%	55%	238%	52%
19	14.372	18.888	1.228	3.416	22.967	12.707	31%	91%	76%	60%	12%
20	13.799	13.173	0.557	1.137	10.943	5.798	5%	96%	92%	21%	58%
21	1.245	11.685	0.361	0.989	9.693	4.392	839%	71%	21%	679%	253%
22	0.390	12.932	0.469	1.750	13.947	5.902	3214%	20%	348%	3474%	1412%
23	0.581	10.163	0.223	0.805	8.283	3.331	1649%	62%	39%	1325%	473%
24	2.847	13.642	0.549	1.726	13.958	6.245	379%	81%	39%	390%	119%
25	3.544	13.234	0.518	1.435	12.405	5.677	273%	85%	60%	250%	60%
26	8.719	15.681	0.769	2.529	18.255	8.737	80%	91%	71%	109%	0%
27	0.825	9.938	0.204	0.697	7.605	3.197	1105%	75%	16%	822%	288%
28	0.754	9.771	0.196	0.780	8.051	3.106	1195%	74%	3%	967%	312%
Rata-rata Persentase Error							581%	79%	73%	514%	191%



Gambar 1

Perbandingan Percepatan Tanah pada Akselerograf dengan 5 Rumusan Empiris

Pada grafik terlihat pola Mc.Guire tidak terdapat titik yang berhimpit dikarenakan persentase kesalahan rata-rata rumusan Mc.Guire sangat besar yakni 581%. Pada pola Fukushima-Tanaka terdapat perbedaan yang cukup jauh pada gempa 25 Februari 2008 dengan episenter di Kepulauan Mentawai dan gempa 28 Juni 2015 dengan episenter 44 km Barat Barat Daya Pariaman, dengan persentase kesalahan rata-rata cukup baik yaitu 79%. Pada grafik dapat dilihat pola rumusan Esteva banyak mendekati nilai yang terukur pada akselerograf, dikarenakan persentase kesalahan rata-rata yang diperoleh paling kecil jika dibandingkan dengan 4 rumusan lainnya yaitu 73%. Pola rumusan Donovan cukup jauh berbeda dengan data akselerograf, hal ini dapat dilihat dari persentase kesalahan rata-rata yang sangat besar yaitu 514%. Sedangkan pola rumusan Kanai terlihat hampir mendekati nilai yang terukur pada akselerograf, karena nilai percepatan tanah dengan rumusan ini memiliki persentase error 0% pada gempa yang berepisenter di Kepulauan Mentawai, error 1% pada gempa yang berepisenter pada Kepulauan Mentawai dan 64 km Sungai Penuh, akan tetapi ada beberapa titik gempa yang errornya sangat tinggi. Secara keseluruhan kesalahan rata-rata yang diperoleh dari rumusan Kanai yaitu 191%.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa persentase kesalahan Esteva yang lebih kecil. Hal ini juga membuktikan pendapat beberapa penelitian yang menganjurkan rumusan Esteva untuk wilayah sesar seperti Sumatera dan Jawa, namun bukan berarti 4 rumusan lainnya tidak bagus. Setiap rumusan memiliki kecocokan masing-masing dengan sumber data gempa yang digunakan.

Rumusan empiris Fukushima-Tanaka biasanya lebih efektif digunakan di daerah subduksi, sedangkan Padang Panjang-Bukittinggi berada pada daerah zona Sesar Sumatera. Rumusan Kanai dipengaruhi oleh periode dominan tanah titik pengukuran gempa, dimana pada daerah Padang Panjang-Bukittinggi bernilai 0,1 detik. Pada penelitian ini tidak efektif menggunakan rumusan Kanai, karena gempa yang digunakan tidak hanya bersumber pada daerah Padang Panjang-Bukittinggi.

4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan nilai percepatan tanah Padang Panjang-Bukittinggi dari kelima persamaan empiris hampir mirip dengan nilai dari akselerograf tetapi memiliki tingkat kesalahan yang berbeda beda untuk setiap titik episenter gempa yang diuji. Kecocokan penggunaan suatu rumusan percepatan tanah di suatu wilayah tergantung dari kondisi tektonik dan karakteristik sumber gempa yang digunakan.

Rumusan Esteva merupakan rumusan paling cocok digunakan untuk Kota Padang Panjang-Bukittinggi dengan persentase kesalahan rata-rata terendah sebesar 73% dibandingkan 4 rumusan lainnya dengan persentase kesalahan rata-rata yaitu Mc.Guire 581%, Fukushima-Tanaka 79%, Donovan 514%, dan Kanai 191%.

DAFTAR PUSTAKA

- Edwiza., Analisis Terhadap Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar, *Jurnal Geofisika*, 1(29), Tahun. XV, 0854-8471, hal. 73-76 (2008).
- Firmansyah, Jajan, R., Deden, S., 2017, Analisa Resiko Bencana Multi Bahaya (Multi Hazard) dan Arahan Mitigasinya di Kota Bukittinggi, Prosiding Seminar Nasional Perencanaan Pembangunan Inklusif Desa-Kota, PP. 361-372, ISSN 978-602-73463-1-4.
- Ibrahim, G. dan Subarjo., 2004, *Buku Seismologi*, BMKG, Jakarta.
- Kapojos, C.G., Tauntuan, G., dan Pasau, G., 2015, Analisis Percepatan Tanah Maksimum dengan Menggunakan Rumusan Esteva dan Donovan (Studi Kasus Semenanjung Utara Pulau Sulawesi), *Jurnal Ilmiah Sains*, 15(2), Jurusan Fisika Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Leviana, M., Syafriani, Andiyansyah Z. Sabarani., Estimasi Nilai Percepatan Tanah Maksimum Wilayah Sumatera Barat Berdasarkan Skenario Gempa bumi M 8,8 SR Menggunakan Rumusan Empiris Mc. Guire (1963) dan Donovan (1973), *Pilar of Physics UNP*, Vol. 10, hal. 55-62 (2017).
- Linkemer., Relationship Between Peak Ground Acceleration and Modified Mecalli Intensity In Costa Rica, *Revista Geologica de America Central*, 38ISSN: 0256-7024, hal. 81-94 (2008).
- Sunarjo., Gunawan, M.T., Pribadi, S., 2010, *Gempa Bumi Edisi Populer*, BMKG, Jakarta.