



Terbit *Online* pada laman web : <http://jif.fmipa.unand.ac.id/>

**Jurnal Ilmu Fisika**

| ISSN (Print) 1979-4657 | ISSN (Online) 2614-7386 |



## **ANALISIS KECOCOKAN NILAI PERCEPATAN TANAH KOTA PADANG BERDASARKAN PERHITUNGAN SECARA EMPIRIS DENGAN DATA PERCEPATAN TANAH DARI AKSELEROGRAF YANG TERPASANG DI STASIUN MARITIM TELUK BAYUR PADANG**

**Dwi Pujiastuti<sup>1,\*</sup>, Fitri Gustiana<sup>1</sup>, Maya Minangsih<sup>2</sup>, Hamdy Arifin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika Universitas Andalas

<sup>2</sup>BMKG Padang Panjang

\*Korespondensi ke: [dwi\\_pujiastuti@yahoo.com](mailto:dwi_pujiastuti@yahoo.com)

( Diterima:24 Agustus 2018; Direvisi:26 Agustus 2018; Diterbitkan:01 September 2018 )

### **ABSTRAK**

Telah dilakukan perhitungan beberapa nilai percepatan tanah kota Padang akibat gempa bumi dari Segmen Mentawai dari beberapa persamaan empiris yang divalidasi dengan data percepatan tanah dari akselerograf yang terpasang di Stasiun Maritim Teluk Bayur Padang. Data gempa yang digunakan adalah data gempa dari Segmen Mentawai dari tahun 2013 – 2017 yang terekam di akselerograf Stasiun Maritim Telukbayur Padang. Digunakan 4 rumusan empiris, yaitu Mc.Guire, Fukushima-Tanaka, Esteva, dan Donovan. Hasil validasi menunjukkan bahwa rumusan Fukushima-Tanaka merupakan rumusan paling cocok digunakan untuk Kota Padang dengan persentase kesalahan rata-rata terendah sebesar 51%, sedangkan 3 rumusan lainnya mempunyai persentase kesalahan rata-rata yaitu Mc.Guire 396%, Esteva 74%, dan Donovan 861%.

Kata kunci : Gempa bumi, percepatan tanah, akselerograf, persamaan empiris

### **ABSTRACT**

*The calculation of several Padang land acceleration values due to the earthquake from the Mentawai Segment has been carried out from several empirical equations which are validated with ground acceleration data from accelerographs installed at Teluk Bayur Maritime Station Padang. The earthquake data used is earthquake data from the Mentawai Segment from 2013 - 2017 which was recorded at the Maritime Station accelerometer Telukbayur Padang. Four empirical formulations were used, namely Mc.Guire, Fukushima-Tanaka, Esteva, and Donovan. Validation results show that the Fukushima-Tanaka formula is the most suitable formula for the City of Padang with the lowest average error percentage of 51%, while the other 3 formulas have an average error percentage of Mc.Guire 396%, Esteva 74%, and Donovan 861%.*

*Keywords: Earthquake, land acceleration, accelerograph, empirical equation*

## 1. PENDAHULUAN

Secara tektonik Kota Padang termasuk daerah paling rawan gempa di Indonesia, karena berada pada pertemuan lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah lempeng Eurasia. Tunjaman tersebut membentuk tiga zona yang menjadi sumber gempa yaitu zona subduksi, Sesar Mentawai dan Sesar Sumatera (Sunarjo dkk., 2010). Wilayah Kota Padang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem Sesar Sumatera. Kota Padang diapit oleh Sesar Sumatera yang terdapat pada bagian tengah Pulau Sumatera dan palung laut di sebelah baratnya, sehingga wilayah ini menjadi sangat rawan bencana gempa (Isra, 2010).

Gempa bumi dengan kekuatan yang cukup besar akan sangat 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). Setiap gempa akan menghasilkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat. Nilai percepatan tanah yang dibutuhkan untuk menyesuaikan 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 secara empiris (Linkemer, 2008). 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. Pendekatan secara empiris dapat memberikan gambaran secara umum untuk percepatan tanah maksimum sesuai titik-titik yang dibutuhkan (Ibrahim dan Subarjo, 2004). Ketepatan penggunaan empiris yang digunakan untuk pemetaan nilai percepatan tanah maksimum akan menjadi informasi penting dalam menunjang pembangunan tata ruang dan wilayah di daerah-daerah rawan gempa seperti kota Padang.

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 sebagai berikut :

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

dengan :

- a : Nilai percepatan tanah maksimum (gal)
- $M_s$  : Magnitudo permukaan
- R : jarak hiposenter (km)

### 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 dengan persamaan berikut :

$$\text{Log } a = 0.41M_s - \log (R+0.032*100.41M_s) - 0.0034R + 1.30 \quad (2)$$

dengan :

- a : Nilai percepatan tanah maksimum (gal)
- $M_s$  : Magnitudo permukaan
- R : jarak hiposenter (km)

### 3. Rumusan Esteva

Bentuk persamaan dari rumusan ini adalah :

$$a = \frac{5600 \exp^{0.5M_w}}{(R+40)^2} \quad (3)$$

dengan :

- a : Nilai percepatan tanah maksimum (gal)
- $M_w$  : Magnitudo momen
- R : jarak hiposenter (km)

### 4. Rumusan Donovan

Bentuk persamaan dari rumusan ini adalah :

$$a = \frac{1080 \exp^{0.5M_w}}{(R+25)^{1.32}} \quad (4)$$

dengan :

- a : Nilai percepatan tanah maksimum (gal)
- $M_w$  : Magnitudo momen
- R : jarak hiposenter (km)

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, dan Esteva untuk melihat tingkat kecocokan penggunaan persamaan tersebut untuk pemetaan percepatan tanah maksimum di Kota Padang.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Data

Data percepatan tanah diambil dari tahun 2013-2017 pada akselerograf yang terpasang di Stasiun Maritim Teluk Bayur. Data gempa yang disesuaikan dengan data pada akselerograf diunduh dari situs *United States Geological Survey* (USGS) sedangkan data percepatan tanah diperoleh dari BMKG pusat.

### 2.2. Metode Penelitian

Teknik pengolahan data pada penelitian ini adalah :

1. Data sekunder gempa bumi yang bersumber di Segmen Mentawai dan sekitarnya diunduh dari tahun 2013 sampai 2017 pada situs USGS.
2. Jarak episenter dan hiposenter dihitung dari sumber gempa tahun 2013 - 2017 ke titik koordinat terpasangnya akselerograf dengan Persamaan 5 dan 6

$$\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (5)$$

$$R^2 = \Delta^2 + h^2 \quad (6)$$

3. Nilai percepatan tanah dihitung pada posisi koordinat terpasangnya akselerograf dengan menggunakan rumusan empiris Mc.Guire (Persamaan 1), Fukushima-Tanaka Pujiastuti, dkk

(Persamaan 2), Esteva (Persamaan 3), dan Donovan (Persamaan 4) dari tahun 2013 – 2017

4. Nilai percepatan tanah yang diperoleh dari keempat rumusan empiris divalidasi dengan nilai yang terukur pada akselerograf untuk mendapatkan rumusan yang paling cocok untuk Kota Padang.

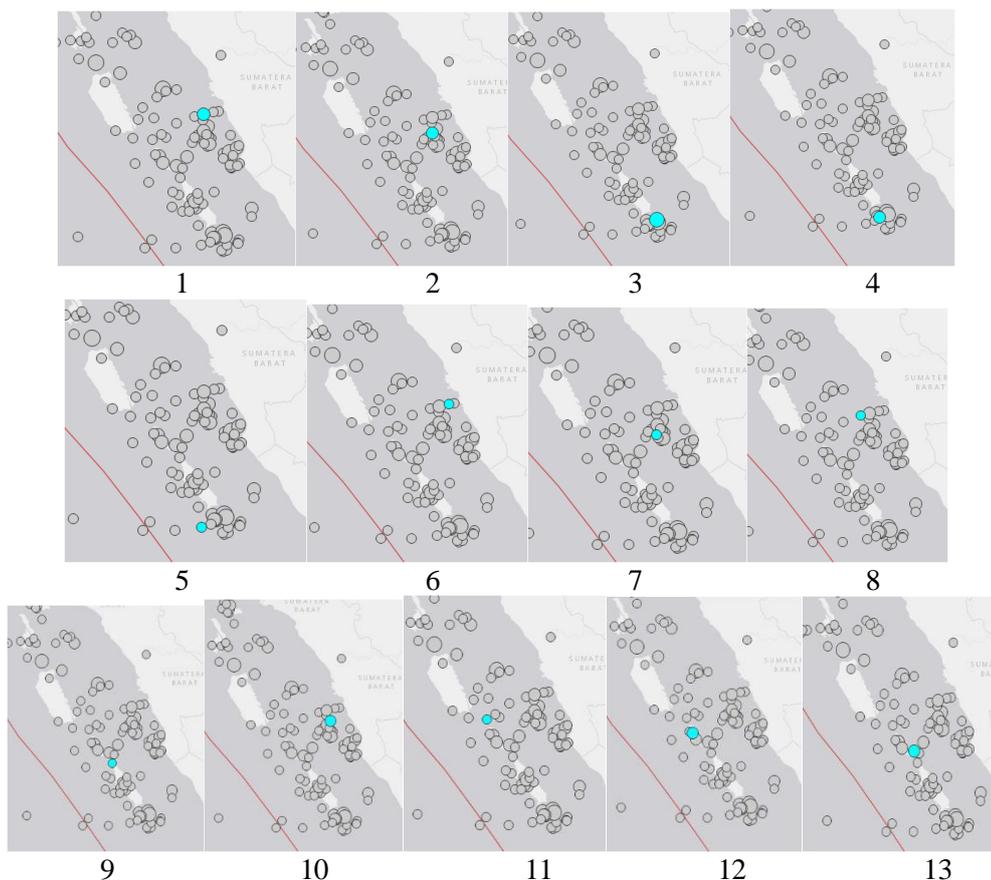
### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Pemilihan Data Gempa untuk Validasi Nilai Percepatan Tanah.

Data gempa terlebih dahulu diunduh dari situs USGS berdasarkan lokasi episenter gempa yaitu Segmen Mentawai dan sekitarnya dari tahun 2013-2017. Data tersebut kemudian dicocokkan dengan data yang terdapat pada akselerograf di Stasiun Maritim Teluk Bayur. Berdasarkan hasil pencocokan tersebut diperoleh 13 data gempa di Segmen Mentawai dengan magnitudo 4,8-6,1  $M_w$  pada kedalaman 10-36 km. Posisi masing-masing data gempa tersebut ditunjukkan oleh Gambar 1. Warna biru pada gambar menunjukkan episenter kejadian gempa pada Tabel 1 secara berurutan.

**Tabel 1** Data Gempa yang Sesuai dengan Data Akselerograf dari Tahun 2013-2017.

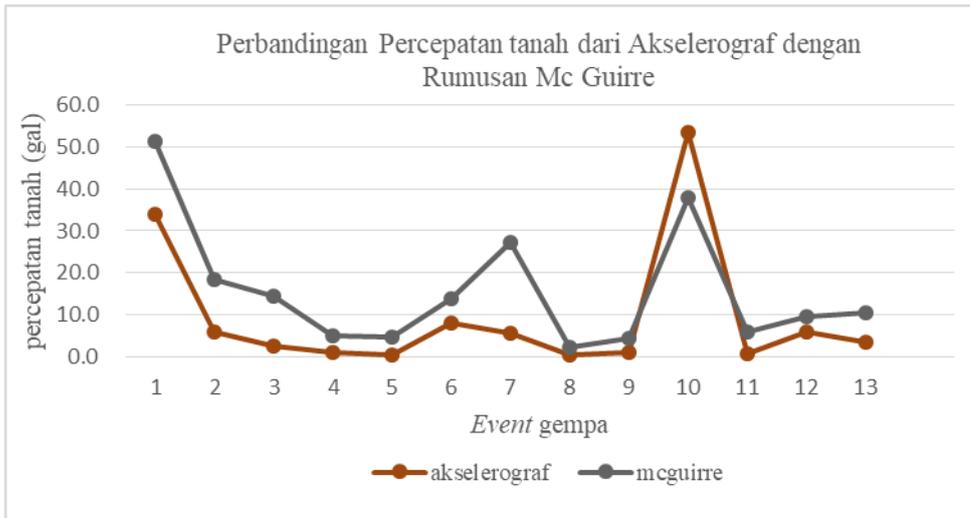
No	Waktu	Episenter gempa	Magnitudo ( $M_w$ )	Kedalaman gempa (km)
1	6 Februari 2013	56 km BD Pesisir Selatan	5.6	10
2	11 Juni 2013	62 km BD Pesisir Selatan	5.5	10
3	6 Juli 2013	149 km Tg Kep Mentawai	6.1	36
4	9 Juli 2013	147 km Tg Kep Mentawai	5.5	32
5	9 Juli 2013	146 km Tg Kep Mentawai	5.4	22
6	23 Desember 2013	34 km BD painan	5.1	20
7	26 April 2015	62 km Pulau sisir selatan sumbar	5.1	10
8	4 Juni 2016	406 kmBD Kep Mentawai	5.5	10
9	11 September 2016	7 km BL Pagai Utara Mentawai	4.8	12
10	9 Januari 2017	64 km BL Pesisir Selatan	5.5	17
11	24 Januari 2017	93 km Tg Kep Mentawai	4.4	12
12	21 April 2017	103 km Tg Mentawai	5.5	20
13	16 Agustus 2017	44 km Tg Mentawai	5.6	22



**Gambar 1** Posisi *Event* Gempa Berdasarkan Tabel 1.  
(Sumber : USGS, 2013-2017)

### 3.2 Validasi Nilai Perhitungan Percepatan Tanah menggunakan Rumusan Mc.Guire dengan Data Akselerograf di Stasiun Maritim Teluk Bayur.

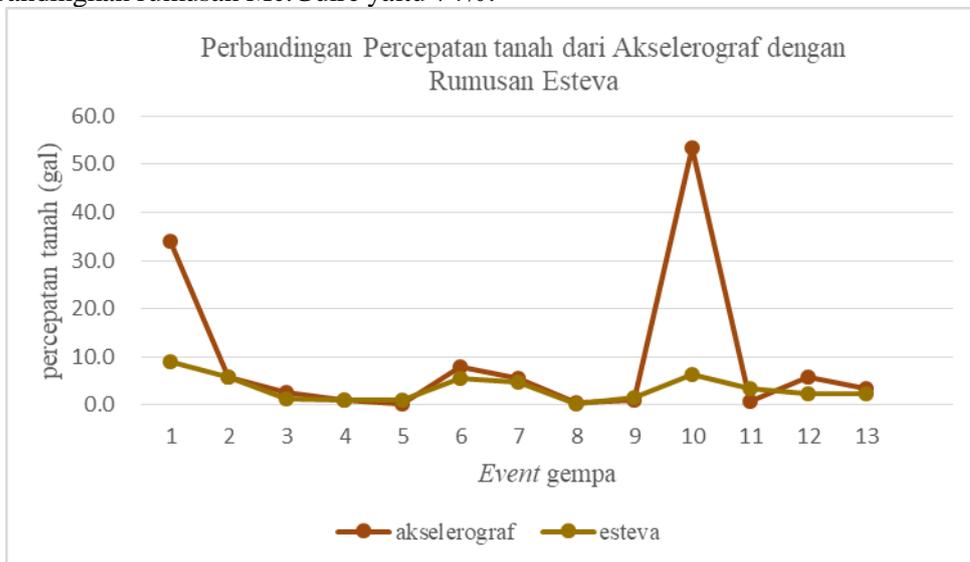
Proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan dari rumusan empiris dengan nilai yang terukur pada akselerograf. Perbandingan tersebut ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 2. Pada grafik terlihat pola dari akselerograf mirip dengan Mc.Guire di beberapa titik namun juga berbeda di titik tertentu seperti pada gempa 26 April 2015 dengan episenter 62 km Pesisir Selatan dan gempa 16 Agustus 2017 di 44 km tenggara Mentawai. Secara keseluruhan pola kedua grafik tersebut hampir mirip, namun persentase kesalahan rata-rata yang diperoleh ternyata sangat besar yakni 396%.



**Gambar 2** Perbandingan Percepatan Tanah pada akselerograf dengan Rumusan Mc. Guire.

### 3.3 Validasi Nilai Perhitungan Percepatan Tanah menggunakan Rumusan Esteva dengan Data Akselerograf di Stasiun Maritim Teluk Bayur.

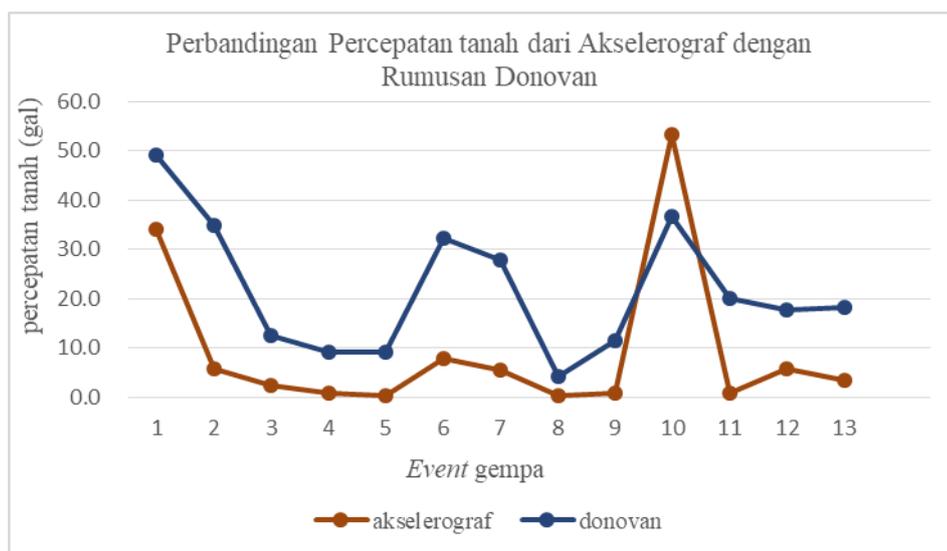
Validasi rumusan Esteva ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 3. Pada grafik terlihat bahwa nilai percepatan tanah menggunakan rumusan Esteva banyak yang mendekati dengan nilai yang terukur pada akselerograf. Pola grafik antara rumusan empiris dengan data akselerograf terlihat mirip. Perbedaan nilai yang paling mencolok terdapat pada 2 kejadian gempa yaitu gempa 6 Februari 2013 dan 9 Januari 2017 dengan hiposenter di perairan Pesisir Selatan. Persentase kesalahan rata-rata yang diperoleh lebih rendah dibandingkan rumusan Mc.Guire yaitu 74%.



**Gambar 3** Perbandingan Percepatan Tanah pada akselerograf dengan Rumusan Esteva.

### 3.4 Validasi Nilai Perhitungan Percepatan Tanah menggunakan Rumusan Donovan dengan Hasil Pengukuran Akselerograf Teluk Bayur.

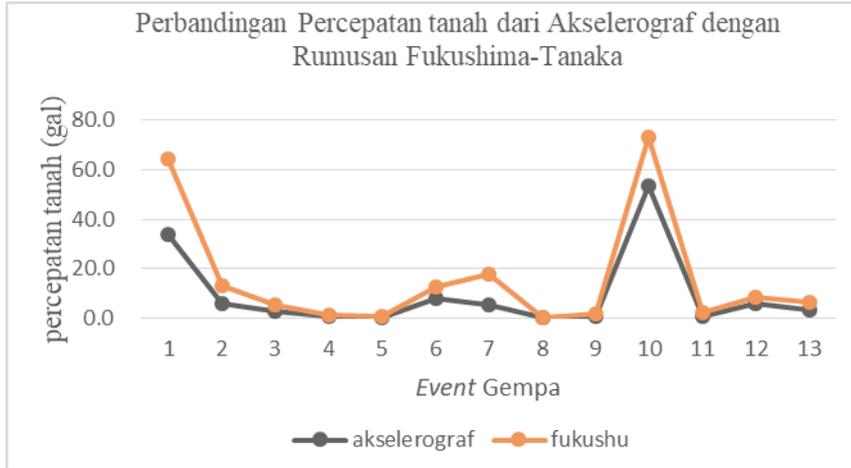
Validasi rumusan Donovan ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4. Pada grafik terlihat bahwa nilai percepatan tanah yang dihitung menggunakan rumusan Donovan memiliki pola yang mirip di beberapa titik, namun juga berbeda di banyak titik lainnya. Perbedaan nilai PGA yang diperoleh Donovan juga cukup jauh dengan data akselerograf, hal ini dapat dilihat dari persentase kesalahan rata-rata yang sangat besar yaitu 861%.



**Gambar 4** Perbandingan Percepatan Tanah pada akselerograf dengan Rumusan Donovan.

### 3.5 Validasi Nilai Perhitungan Percepatan Tanah menggunakan Rumusan Fukushima-Tanaka dengan Hasil Pengukuran Akselerograf Teluk Bayur.

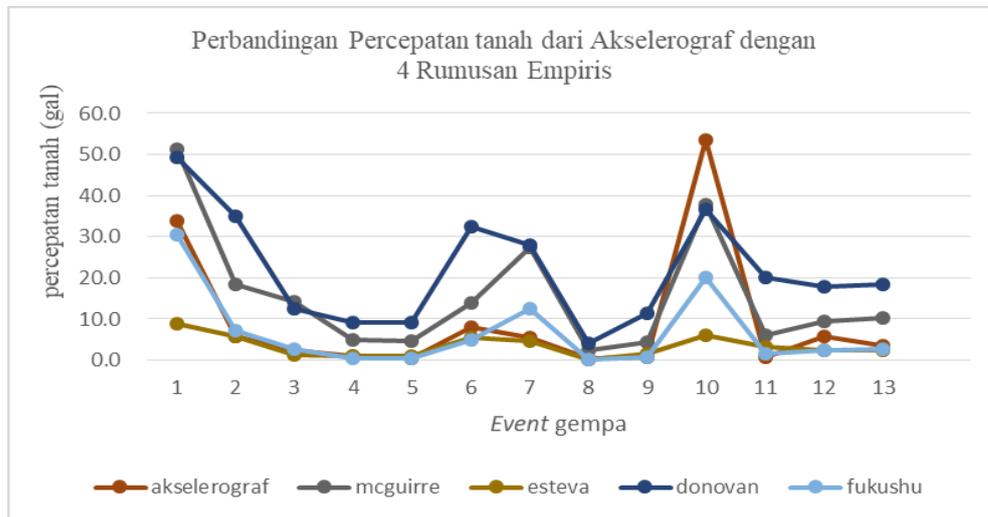
Validasi rumusan Fukushima-Tanaka ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5. Pada grafik terlihat bahwa nilai percepatan tanah yang dihitung menggunakan rumusan Fukushima-Tanaka banyak yang mendekati nilai yang terukur oleh akselerograf. Pola dari kedua grafik juga mirip, namun terdapat perbedaan yang cukup jauh pada kejadian gempa yaitu gempa 26 April 2015 dengan episenter 62 km Pesisir Selatan. Persentase kesalahan rata-rata yang dihasilkan rumusan ini paling kecil jika dibandingkan dengan 3 rumusan lainnya yaitu 51%.



**Gambar 5** Perbandingan Percepatan Tanah pada akselerograf dengan Rumusan Fukushima-Tanaka.

**3.6 Perbandingan Validasi Nilai Perhitungan Percepatan Tanah menggunakan 4 Rumusan Empiris dengan Data Akselerograf di Stasiun Maritim Teluk Bayur.**

Perbandingan validasi rumusan Mc.Guire, Esteva, Donovan, dan Fukushima-Tanaka ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 6. Pada grafik terlihat bahwa nilai percepatan tanah yang dihitung menggunakan rumusan Fukushima-Tanakalah yang mendekati dengan nilai pada akselerograf.



**Gambar 6** Perbandingan Percepatan Tanah pada akselerograf dengan 4 Rumusan Empiris.

**Tabel 2.** Perbandingan Data Akselerograf dengan Rumusan Empiris

Event Gempa	Nilai Percepatan Tanah (gal)					Error Mc. Guirre	Error Esteva	Error Donovan	Error Fukushima
	Aksele- rograf	Mc. Guirre	Esteva	Donovan	Fuku- shima				
1	34.0	51.2	8.9	49.2	30.5	51%	74%	45%	10%
2	5.8	18.5	5.8	34.9	7.2	221 %	0%	506%	25%
3	2.5	14.3	1.2	12.5	2.6	473 %	51%	400%	5%
4	0.9	5.0	0.9	9.3	0.6	475 %	4%	964%	35%
5	0.3	4.7	0.9	9.2	0.5	1471 %	206%	2962%	81%
6	7.9	13.9	5.6	32.4	4.8	76%	29%	310%	39%
7	5.4	27.3	4.6	27.9	12.5	405 %	15%	417%	131%
8	0.3	2.3	0.3	4.2	0.04	621 %	10%	1220%	85%
9	0.9	4.3	1.4	11.5	0.7	397 %	67%	1238%	18%
10	53.4	37.9	6.2	36.7	20.0	29%	88%	31%	63%
11	0.8	6.0	3.3	20.1	1.4	668 %	325%	2477%	85%
12	5.9	9.5	2.3	17.7	2.3	61%	61%	200%	61%
13	3.5	10.3	2.4	18.3	2.6	196 %	33%	424%	25%
<b>Rata-rata persentase kesalahan</b>						396 %	74%	861%	51%

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa persentase kesalahan Fukushima-Tanakalah yang lebih kecil. Hal ini juga membuktikan pendapat beberapa peneliti yang menganjurkan penggunaan rumusan Fukushima-Tanaka untuk wilayah patahan seperti Sumatera dan Jawa, namun bukan berarti 3 rumusan lainnya tidak bagus. Setiap rumusan memiliki kecocokan masing-masing dengan sumber data gempa yang digunakan.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai perhitungan percepatan tanah dengan rumusan Esteva ada yang memiliki nilai persentase error 0% dan 4%, sedangkan untuk data gempa lainnya cukup besar. Jika dilihat posisi episenter gempa, error 0% berada pada 62 km Pesisir Selatan, sedangkan error 4% pada 147 km tenggara Mentawai. Berdasarkan posisi gempa pada Gambar 1, error 4% terjadi pada daerah Segmen Mentawai di Pagai Selatan, sedangkan untuk error 0% kemungkinan berada pada sesar geser Segmen Mentawai.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara keseluruhan percepatan tanah secara empiris dari keempat persamaan empiris yang digunakan dan data akselerograf memiliki pola yang hampir mirip tetapi memiliki tingkat kesalahan yang berbeda beda untuk setiap titik episenter gempa yang diuji.
2. Kecocokan penggunaan suatu rumusan percepatan tanah di suatu wilayah tergantung dari kondisi tektonik dan karakteristik sumber gempa yang digunakan
3. Rumusan Fukushima-Tanaka merupakan rumusan paling cocok digunakan untuk menghitung percepatan tanah Kota Padang dengan sumber gempa dari Segmen Mentawai dengan persentase kesalahan rata-rata terendah sebesar 51% dibandingkan 3 rumusan lainnya dengan persentase kesalahan rata-rata yaitu Mc.Guire 396%, Esteva 74%, dan Donovan 861%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada pihak FMIPA Unand yang telah mendanai penelitian ini melalui Dana PNBPFMIPA Unand dengan kontrak penelitian Nomor: 07/UN.15.03.D/PP/FMIPA/2018 tahun anggaran 2018 dan pihak BMKG yang memberi kemudahan akses untuk penggunaan data percepatan tanah dari akselerograf yang terpasang di Stasiun Maritim Teluk Bayur Padang.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Edwiza., 2008, Analisis Terhadap Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar, *Jurnal Geofisika*, Vol.1, No.29, Tahun .XV, ISSN: 0854-8471, hal. 73-76.
2. 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*, Vol. 15, No.2, Universitas Sam Ratulangi Manado.
3. Ibrahim, G. dan Subarjo., 2004, *Buku Seismologi*, BMKG, Jakarta.
4. Isra, A.M., 2010, Kajian Kebencanaan. *Jurnal Teknik Arsitektur*, Vol 1, No 1, Universitas Bung Hatta.
5. Linkemer., 2008, Relationship Between Peak Ground Acceleration and Modified Mecalli Intensity In Costa Rica, *Revista Geologica de America Central*, 38ISSN: 0256-7024, hal. 81-94.
6. Sunarjo, Gunawan, M. T., Pribadi, S., 2010, *Gempa Bumi Edisi Populer*, BMKG., Jakarta.