

Penentuan Persamaan Empiris Percepatan Tanah Di Wilayah Bali Berdasarkan Data Gempabumi Periode 2008-2016

¹I Putu Arix Putra Wiguna, ²I Made Yuliara

^{1,2}Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

Email: arixputra88@gmail.com; yuliara@unud.ac.id

Article Info	Abstract
<p>Article History Received: August Revised: November Published: Desember</p> <p>Keywords PGA, empirical equations, regression, correlation</p>	<p><i>The earthquake was the most common natural disaster in Indonesia, one of which was the Province of Bali. The southern part of Bali is a meeting area of two earth plates (subduction zones) between the Eurasian and Indo-Australian plates and in the northern region there is a back arc thrust fracture which results in earthquake frequencies in the Bali area. One of the parameters that is very instrumental in determining the level of damage to land and buildings that occur on the surface of the earth due to earthquake shocks is the acceleration of the soil. A research has been conducted which aims to find out the empirical equation of land acceleration for Bali in the 2008-2016 period, namely by determining the empirical equation of land acceleration (PGA) conducted using magnitude parameters, hypocenter distance and PGA (observation) values in 2008-2016 with coordinates 7^o-12^o LS and 113^o-118^o BT. Through the regression analysis approach, to obtain the empirical equation of land acceleration in the Bali region is $\log_{10}(PGA) = (-1,89) \log_{10}(R) + (0,71) mb + 1,18$. Then several approaches and correlation analysis are performed to see the compatibility of the new empirical equation with the existing one.</i></p>
Informasi Artikel	Abstrak
<p>Sejarah Artikel Diterima: Agustus Direvisi: November Dipublikasi: Desember</p> <p>Kata kunci PGA, persamaan empiris, regresi, korelasi</p>	<p>Gempabumi merupakan bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia salah satunya adalah Provinsi Bali. Bagian selatan Bali merupakan daerah pertemuan dua lempeng bumi (zona subduksi) antara lempeng Eurasia dan Indo-Australia serta di wilayah sebelah utara terdapat patahan naik busur belakang (back arc thrust) yang mengakibatkan frekuensi gempabumi di daerah Bali. Salah satu parameter yang sangat berperan dalam menentukan tingkat kerusakan tanah dan bangunan yang terjadi di permukaan bumi akibat guncangan gempabumi adalah percepatan tanah. Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui persamaan empiris percepatan tanah untuk wilayah Bali periode 2008-2016, yaitu dengan cara untuk menentukan persamaan empiris percepatan tanah (PGA) yang dilakukan dengan menggunakan parameter magnitudo, jarak hiposenter dan nilai PGA (observasi) tahun 2008-2016 dengan koordinat 7^o-12^o LS dan 113^o-118^o BT. Melalui pendekatan analisis regresi, sehingga diperoleh persamaan empiris percepatan tanah di wilayah Bali adalah $\log_{10}(PGA) = (-1,89) \log_{10}(R) + (0,71) mb + 1,18$. Kemudian dilakukan beberapa pendekatan dan analisis korelasi untuk melihat kecocokan persamaan empiris yang baru dengan yang sudah ada sebelumnya.</p>
<p>Sitasi: Wiguna. I.P.A.P., & Yuliara, I.M. (2019). Penentuan Persamaan Empiris Percepatan Tanah Di Wilayah Bali Berdasarkan Data Gempabumi Periode 2008-2016. Kappa Journal, Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Hamzanwadi. 3 (2), 71-78</p>	

PENDAHULUAN

Percepatan tanah maksimum merupakan salah satu parameter paling penting yang digunakan untuk meninjau kerusakan tanah yang terjadi di permukaan bumi akibat dari gempa bumi. Dengan mengetahui nilai dari percepatan tanah disuatu daerah, maka akan dapat diketahui wilayah yang rawan kerusakan akibat dari gempa bumi. Besar nilai percepatan tanah dapat diukur dengan menggunakan sensor *accelerograph*.

Stasiun Geofisika Sanglah Denpasar memiliki perlengkapan jaringan *seismograph* dan *accelerograph* yang telah terintegrasi dengan baik sejak tahun 2008 dan merupakan salah satu faktor penting dalam penentuan nilai percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration (PGA)* untuk daerah Bali, namun ketersediaan jaringan *accelerograph* yang terbatas dan kekhawatiran akan dampak gempa bumi besar yang merusak (Priyanto, D. K., 2016), maka perlu dikembangkan persamaan empiris percepatan getaran tanah maksimum untuk daerah Bali dan sekaligus mengetahui wilayah yang beresiko mengalami kerusakan tertinggi akibat dari gempa bumi.

Banyak studi kasus yang telah dilakukan untuk menentukan persamaan empiris percepatan tanah disuatu daerah. Diantaranya: Yohanes (Bali), Lin dan Wu (Taiwan), McVerry (New Zealand), Fukushima dan Tanaka (Jepang). Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari persamaan empiris percepatan tanah baru yang sesuai dengan data observasi dari *accelerograph* tahun 2008-2016.

METODE

Pada beberapa penelitian sebelumnya, perumusan rumus empiris hanya bergantung pada nilai magnitudo, jarak hiposenter dan kedalaman. Salah satu peneliti yang menggunakan parameter-parameter tersebut adalah Lin dan Wu (2010). Lin dan Wu membuat persamaan empiris percepatan tanah di daerah Taiwan, persamaan empiris ini merupakan pengembangan dari persamaan umum percepatan tanah:

$$\log_{10}(PGA) = a \log_{10}(R) + bM + c \quad (1)$$

dengan:

- PGA : Percepatan tanah (gal)
- R : Jarak hiposenter (km)
- M : Magnitudo (SR)
- a : Koefisien empiris dari jarak hiposenter
- b : Koefisien empiris dari magnitudo gempa bumi
- c : Konstanta

Nilai R merupakan jarak hiposenter (*hiposentrum*) yang merupakan jarak dari *accelerometer* ke pusat gempa bumi dengan memperhitungkan kedalaman dari gempa bumi atau pusat gempa bumi, sedangkan jarak episenter merupakan jarak dari *accelerometer* ke pusat gempa bumi tanpa memperhitungkan kedalaman dari gempa bumi atau pusat gempa bumi. Nilai R atau jarak hiposenter dapat dihitung dengan menggunakan rumus segitigabola:

$$S = \sqrt{(L_{sta} - L_{epi})^2 + (B_{sta} - B_{epi})^2} \times 111 \text{ km} \quad (2)$$

dengan:

- S = jarak stasiun ke episenter (km)
- L_{sta} = lintang stasiun
- L_{epi} = lintang episenter
- B_{sta} = bujur stasiun

B_{epi} = bujur hiposenter

Sehingga didapatkan persamaan untuk jarak hiposenter adalah:

$$R^2 = S^2 + h^2 \quad (3)$$

dengan:

R = jarak hiposenter (km)

h = kedalaman (km)

Untuk mendapatkan nilai a , b dan c pada persamaan (1) maka diperlukan analisis regresi. Secara umum regresi linier ada dua, yaitu regresi linier sederhana yaitu dengan satu variabel bebas dan satu variabel terikat, serta regresi linier berganda dengan beberapa variabel bebas dan satu variabel terikat. Analisis regresi linier digunakan untuk melihat pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dan memprediksi nilai variabel terikat dengan menggunakan variabel bebas. Persamaan umum analisis regresi linier berganda adalah:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (4)$$

Korelasi sederhana digunakan untuk mengetahui hubungan di antara dua variabel. Hubungan antara satu variabel dengan variabel yang lain biasa disebut dengan koefisien korelasi yang ditandai dengan “ r ” dengan persamaan berikut.

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (5)$$

dan menghitung nilai erornya dengan persamaan:

$$\text{RMS Error} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} \quad (6)$$

dengan:

$e_i = \log PGA$ (observasi) – $\log PGA$ (empiris)

Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel maka dibuat tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Tabel Interpretasi Koefisien Korelasi

r	INTERPRETASI
0	Tidak Ada Korelasi
>0 - 0,25	Korelasi Sangat Lemah
>0,25 - 0,5	Korelasi Cukup
>0,5 - 0,75	Korelasi Kuat
>0,75 - 0,99	Korelasi Sangat Kuat
1	Korelasi Sempurna

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data hasil pengukuran dan perhitungan

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran dan perhitungan untuk menentukan persamaan empiris percepatan tanah di wilayah Bali tahun 2008-2016, yaitu berupa data PGA (observasi), jarak hiposenter dan magnitudo gempabumi yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan *PGA* (observasi)

No	PGA (observasi) (gal)	R (km)	mb (SR)	log PGA (observasi) (gal)	log R (km)
1	4,48	281	5,73	0,651278014	2,44870632
2	0,32	341	5,73	-0,494850022	2,532754379
3	1,35	274	5,73	0,130333768	2,437750563
4	0,21	296	5	-0,677780705	2,471291711
5	0,05	357	5	-1,301029996	2,552668216
6	0,12	290	5	-0,920818754	2,462397998
7	1,56	247	5,26	0,193124598	2,392696953
8	1,43	226	5,26	0,155336037	2,354108439
9	5,55	289	4,91	0,744292983	2,460897843
10	0,27	358	4,91	-0,568636236	2,553883027
11	70,52	66	5,49	1,848312304	1,819543936
12	5,81	253	4,67	0,764176132	2,403120521
13	0,20	269	4,67	-0,698970004	2,42975228
14	4,64	257	4,79	0,666517981	2,409933123
15	0,16	273	4,79	-0,795880017	2,436162647
16	4,18	296	5,02	0,621176282	2,471291711
17	0,39	353	5,02	-0,408935393	2,547774705
18	7,70	214	4,91	0,886490725	2,330413773
19	43,54	113	5,96	1,638888425	2,053078443
20	8,39	161	5,96	0,923761961	2,206825876
21	21,55	118	5	1,333447274	2,071882007
22	8,18	122	5	0,912753304	2,086359831
23	1,01	171	5	0,004321374	2,23299611
24	1,63	208	4,8	0,212187604	2,318063335
25	0,78	316	4,7	-0,107905397	2,499687083
26	19,28	267	5,96	1,28510703	2,426511261
27	2,08	277	5	0,318063335	2,442479769
28	1,87	279	5,2	0,271841607	2,445604203
29	1,15	271	4,9	0,06069784	2,432969291
30	3,43	275	5,4	0,53529412	2,439332694
31	1,33	273	5,3	0,123851641	2,436162647
32	6,12	272	5,49	0,786751422	2,434568904
33	1,42	273	5,3	0,152288344	2,436162647
34	1,04	272	4,9	0,017033339	2,434568904
35	26,76	84	5	1,427486109	1,924279286
36	0,81	122	5	-0,091514981	2,086359831
37	2,57	299	4,8	0,409933123	2,475671188
38	2,01	131	4,6	0,303196057	2,117271296
39	0,89	382	4,6	-0,050609993	2,582063363
40	4,29	269	4,5	0,632457292	2,42975228
41	16,30	113	5,1	1,212187604	2,053078443
42	16,83	251	5,61	1,226084116	2,399673721
43	1,10	221	5	0,041392685	2,344392274

44	0,24	288	5,1	-0,619788758	2,459392488
45	9,83	161	5,2	0,992553518	2,206825876
46	2,21	250	5,3	0,344392274	2,397940009
47	7,19	158	5	0,85672889	2,198657087
48	0,58	355	4,6	-0,236572006	2,550228353
49	2,44	92	4,5	0,387477345	1,963787827
50	1,46	137	4,5	0,16343408	2,136720567
51	1,00	272	4,8	-0,000658955	2,434568904
52	9,20	139	4,9	0,963883244	2,1430148
53	1,85	199	4,6	0,266962252	2,298853076
54	1,99	166	4,5	0,299903341	2,220108088
55	2,44	96	4,6	0,387477345	1,982271233
56	1,08	108	4,5	0,031737424	2,033423755
57	1,78	218	4,6	0,250400332	2,338456494
58	4,37	148	4,7	0,640481721	2,170261715
59	5,44	167	5,2	0,735764704	2,222716471
60	4,92	286	5,2	0,691868234	2,456366033
61	5,05	109	4,5	0,70343523	2,037426498
62	3,07	130	4,6	0,487574724	2,113943352
63	1,59	233	4,9	0,200054245	2,367355921
64	0,29	372	4,7	-0,533263949	2,57054294
65	1,57	173	4,5	0,195761827	2,238046103
66	3,66	97	4,7	0,563471635	1,986771734
67	3,82	136	4,7	0,581789263	2,133538908
68	10,72	312	6	1,030070145	2,494154594
69	1,67	222	4,7	0,222374547	2,346352974
70	2,01	76	4,6	0,303509719	1,880813592
71	0,86	312	4,9	-0,065023799	2,494154594
72	2,38	259	4,6	0,375865668	2,413299764
73	1,42	165	4,5	0,152705563	2,217483944
74	20,61	260	6,1	1,31403682	2,414973348
75	2,85	84	4,5	0,455446211	1,924279286

Berdasarkan data Tabel 2, maka dapat ditentukan persamaan empiris percepatan tanah. Melalui perhitungan analisis regresi, maka diperoleh koefisien a, b dan konstanta c untuk persamaan empiris percepatan tanah maksimum di wilayah Bali, yaitu:

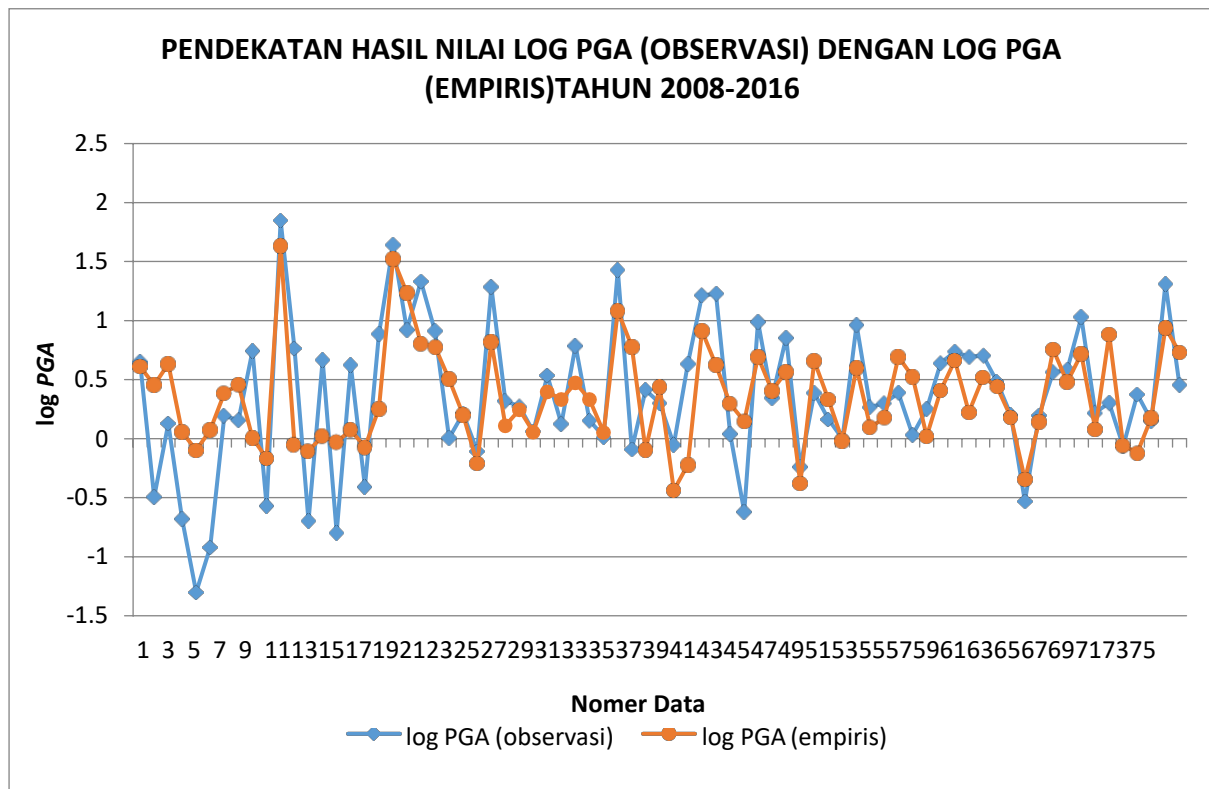
$$a = -1,89 \quad b = 0,71 \quad c = 1,18$$

Sehingga persamaan *PGA* (empiris) berdasarkan data gempabumi tahun 2008-2016, adalah sebagai berikut:

$$\log_{10}(PGA) = -1,89 \log_{10}(R) + 0,71 mb + 1,18$$

2. Pendekatan hasil log *PGA* (observasi) dengan log *PGA* (empiris)

Setelah mendapatkan rumus empiris percepatan tanah, maka selanjutnya memperlihatkan pendekatan hasil model atau hasil persamaan empiris percepatan tanah (*PGA*) yang diperoleh dari perhitungan dengan nilai observasi *accelerograph* menggunakan data tahun 2008 – 2016 untuk melihat tingkat ketepatannya, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



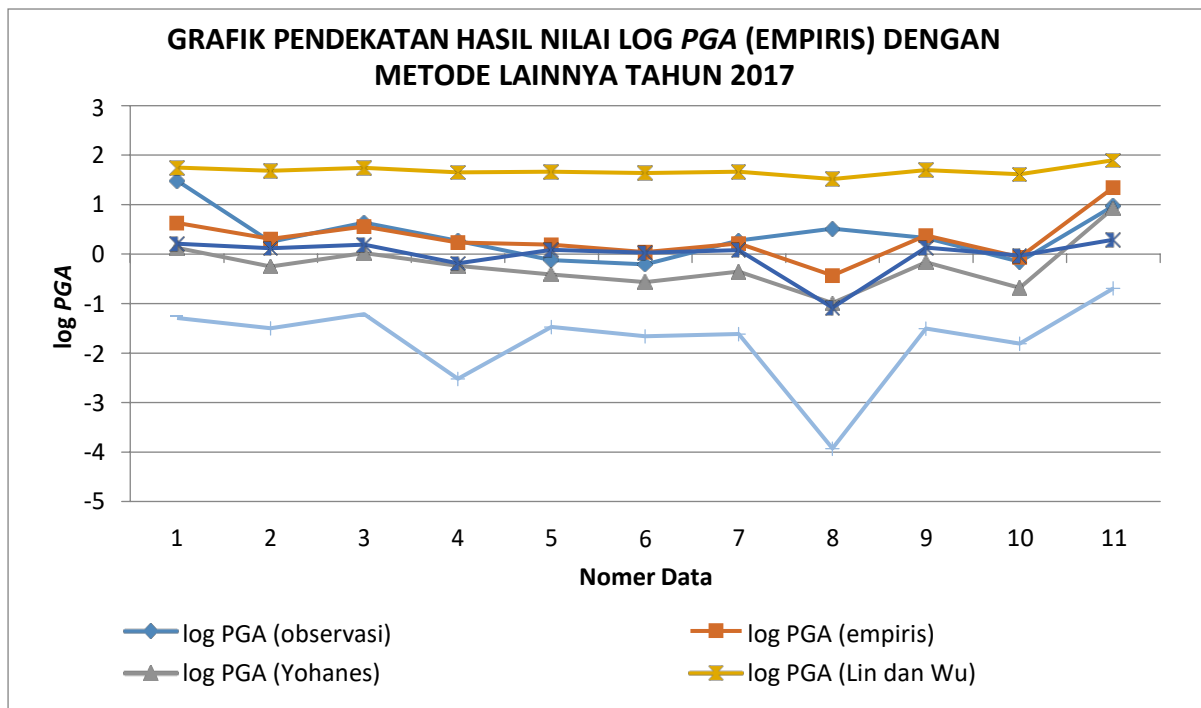
Gambar 1. Grafik hasil pendekatan nilai log *PGA* (observasi) dengan log *PGA* (empiris)

3. Perbandingan hasil *PGA* (empiris) dengan metode *PGA* lainnya

Selain dibandingkan dengan hasil observasi, hasil *PGA* (empiris) akan dibandingkan dengan metode *PGA* lainnya, dalam hal ini mencangkup persamaan empiris percepatan tanah dari beberapa peneliti sebelumnya dengan menggunakan data percepatan tanah observasi tahun 2017 di wilayah Bali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pendekatan Nilai Log *PGA* (empiris) Dengan Metode yang Lainnya

log <i>PGA</i> (observasi)	log <i>PGA</i> (empiris)	log <i>PGA</i> (Yohanes)	log <i>PGA</i> (Lin dan Wu)	log <i>PGA</i> (McVerry)	log <i>PGA</i> (Fukushima dan Tanaka)
1,486	0,639	0,127	1,750	0,207	-1,289
0,246	0,316	-0,250	1,688	0,116	-1,497
0,638	0,560	0,022	1,740	0,188	-1,215
0,268	0,242	-0,235	1,653	-0,185	-2,522
-0,119	0,189	-0,409	1,667	0,088	-1,473
-0,209	0,047	-0,569	1,636	0,028	-1,659
0,273	0,228	-0,351	1,668	0,079	-1,613
0,512	-0,424	-0,991	1,517	-1,081	-3,929
0,328	0,382	-0,165	1,699	0,132	-1,503
-0,151	-0,052	-0,685	1,614	-0,027	-1,807
0,973	1,356	0,930	1,899	0,290	-0,693



Gambar 2. Grafik hasil pendekatan nilai $\log PGA$ (empiris) dengan metode lainya tahun 2017

Pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa hasil dari $\log PGA$ (empiris) lebih mendekati nilai observasi dibandingkan hasil metode lainya, maka dapat dikatakan persamaan empiris percepatan tanah yang dibuat memiliki pendekatan yang cukup kuat dengan hasil observasi dari alat *accelerograph* jika dibandingkan metode lainya.

Untuk melakukan verifikasi hasil PGA (empiris) dengan metode percepatan tanah lainya digunakan pendekatan yaitu Korelasi dan *RMS Error*, hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Verifikasi Tiap Persamaan Empiris Terhadap Hasil Observasi

Fungsi Atenuasi	Empiris	Yohanes	Lin dan Wu	Mcverry	Fukushima Dan Tanaka
r (Korelasi)	0,60	0,63	0,56	0,13	0,20
RMS Error	0,18	0,55	1,88	0,47	5,22

Dari hasil metode verifikasi pada Tabel 4, nilai koefisien korelasi (r) PGA (empiris) dapat diinterpretasikan kuat. Jika dilihat dari nilai *RMS Error*, PGA (empiris) mempunyai nilai yang paling kecil yaitu 0,18 dibandingkan nilai *RMS Error* lainya. Secara statistik, PGA (empiris) menunjukkan hasil yang relatif baik dibandingkan dengan persamaan empiris lainya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa Persamaan empiris percepatan tanah di daerah Bali periode 2008-2016, dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan analisis regresi dan hasil yang diperoleh adalah:

$$a = -1,89 \quad b = 0,71 \quad c = 1,18$$

Sehingga diperoleh persamaan empiris percepatan tanah di wilayah Bali sebagai berikut:

$$\log_{10}(PGA) = (-1,89) \log_{10}(R) + (0,71) mb + 1,18$$

Persamaan empiris yang didapat memiliki kecocokan yang bagus dibandingkan persamaan empiris yang sudah ada sebelumnya.

SARAN

Dengan didapatnya persamaan empiris percepatan tanah yang baru di wilayah Bali, penulis menyarankan untuk dilakukannya pengembangan terhadap persamaan empiris yang didapat dengan menambah data observasi di tiap sensor, memperhitungkan periode dominan di tiap sensor yang tersebar di wilayah Bali, dan memperhitungkan V_{s30} sehingga dapat memperoleh persamaan empiris yang lebih akurat lagi, dan dapat dibuat daerah dengan tingkat resiko kerusakan bangunan akibat percepatan tanah maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

Lay. T and Wallace. T. C. 1995. *Modern Global Seismology*. Academic Press. San Diego. 1-517.

Lin and Wu. 2010. Magnitude Determination Using Strong Ground Motion Attenuation in Earthquake Early Warning. *Geophysical Research Letters*. Vol.37, L07304.

Nugroho H.A.. 2005. *Penggunaan Data Signal Accelerograph SMR-4000 Untuk Menentukan Harga Percepatan Tanah Pada Stasiun Geofisika Sanglah Denpasar*. BMKG: Bali.

Priyanto, D. K.. 2016. *Penentuan Koefisien Dan Konstanta Formula Empiris Percepatan Getaran Tanah Di Daerah Denpasar*. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana.

USGS. Search Earthquake Catalog diakses pada tanggal 18 Januari 2018, dari <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.