

Penentuan Model Formula Empiris Percepatan Getaran Tanah Daerah Denpasar

Determination of Empirical Formula Model of Soil Vibration Acceleration of Denpasar Area

Dwi Karyadi Priyanto^{1,2}, K.N. Suarbawa³, Ardhiyanto Septiadhi⁴

^{1,3}Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Udayana University, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

^{2,4}Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jl. Raya Tuban, Badung, Bali, Indonesia

³kn_suarbawa@yahoo.co.id

Abstrak – Pada penelitian ini, telah dilakukan penentuan model rumus empiris Percepatan Getaran Tanah/Peak Ground Acceleration (PGA) di daerah Denpasar berdasarkan rumus umum Lin dan Wu dengan menggunakan 62 data PGA observasi yang bersesuaian dengan data parameter gempa bumi tahun 2008-2013 untuk wilayah Bali dan sekitarnya. Berdasarkan analisis regresi diperoleh koefisien geometrical spreading yaitu $a=-2,019$, koefisien magnitudo $b=0,894$, konstanta model rumus empiris $c=0,551$, dan model rumus empiris PGA untuk daerah Denpasar adalah $\log_{10} PGA=(-2,019) \log_{10} (r)+(0,894) M_b+0,551$. Hasil verifikasi statistik dihasilkan korelasi linier positif kuat 0,853 dengan tingkat residual error 0,035.

Kata kunci: koefisien geometrical spreading, koefisien magnitudo, konstanta model empiris, PGA, model empiris

Abstract – In this research, we have determined the model of empirical formula of Peak Ground Acceleration (PGA) based on general formula of Lin and Wu using 62 observational PGA data which corresponds to earthquake parameter data of Bali and its surroundings for year 2008-2013. Based on the regression analysis, the geometrical spreading coefficient is $a = -2.019$, the magnitude coefficient $b = 0.894$, the empirical model formula constant $c = 0.551$, and the empirical model of PGA model for Denpasar is $\log_{10} PGA=(-2.019) \log_{10} (r)+(0.894) M_b+0.551$. The results of statistical verification yielded a strong positive linear correlation of 0.853 with the residual error of 0.035.

Key words: geometrical spreading coefficient, magnitude coefficient, empirical model constants, PGA, empirical model

I. PENDAHULUAN

Daerah Bali merupakan daerah yang rawan terjadi gempa bumi besar dan merusak. Percepatan getaran tanah merupakan salah satu parameter yang sangat berperan dalam menentukan tingkat kerusakan tanah dan bangunan yang terjadi di permukaan bumi akibat guncangan gempa bumi. Nilai percepatan getaran tanah dapat diukur dengan sensor *accelerometer* dan perhitungan menggunakan rumusan empiris pendekatan dari magnitudo dan jarak hiposenter gempa bumi. Ketersediaan jaringan *accelerograph* yang terbatas dan belum adanya rumus empiris yang di kembangkan untuk wilayah Denpasar serta kekhawatiran akan dampak gempa bumi besar dan merusak, mendorong peneliti untuk mengembangkan suatu rumusan untuk menentukan fungsi atenuasi percepatan getaran tanah maksimum khusus untuk wilayah Denpasar. Pada penelitian ini nilai Percepatan Getaran Tanah Maksimum / *Peak Ground Acceleration (PGA)* dihitung menggunakan nilai amplitudo maksimum dari alat *accelerograph* dan di hitung dari komponen horizontal, PGA

dipengaruhi oleh magnitudo dan jarak, dengan menggunakan analisis regresi dapat di tentukan formula empiris PGA model, data-data yang di gunakan berdasarkan tahun 2008-2013 yaitu PGA observasi dan katalog gempa bumi dengan wilayah penelitian ($7^\circ - 12^\circ \text{LS}$ dan $113^\circ - 117^\circ \text{BT}$) dengan magnitudo $\geq 4,5M_b$. kemudian akan di validasi menggunakan data PGA observasi dan katalog gempa bumi tahun 2014.

Manfaat penelitian adalah untuk mengantisipasi kejadian gempa bumi besar dan merusak dengan memaksimalkan rumus empiris sebagai pengganti peralatan *accelerograph* yang di khawatirkan ikut mengalami kerusakan akibat gempa bumi.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Magnitudo Gempa bumi

Magnitudo gempa bumi adalah skala logaritmik kekuatan gempa bumi berdasarkan pengukuran instrumental [1]. Berdasarkan beberapa asumsi sederhana terkait magnitudo kita dapat membagi magnitudo menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Magnitudo Lokal (M_L)
2. Magnitudo Gelombang Badan (M_b)
3. Magnitudo Gelombang Permukaan (M_s)
4. Magnitudo Moment (M_w).

2.2 Percepatan Getaran Tanah Maksimum

PGA merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam seismologi teknik. Faktor yang mempengaruhi nilai *PGA* antara lain magnitudo, kedalaman, jarak epicenter, kondisi tanah / geologi. Nilai percepatan getaran tanah dalam perencanaan bangunan tahan gempa bumi menunjukkan tingkat risiko yang perlu diperhitungkan. Terdapat dua cara untuk menentukan nilai *PGA* yaitu dengan alat pendeteksi / sensor *accelerometer* dan perhitungan empiris menggunakan rumus pendekatan magnitudo dan jarak sumber gempa bumi terhadap suatu titik perhitungan serta nilai periode dominan tanah tersebut[2]. Getaran gempa bumi menyebabkan bangunan mengalami pergerakan secara vertikal dan horisontal, dan nilai amplitude maksimum (*PGA*) pada penelitian ini dihitung berdasarkan pergerakan horisontal (komponen N-S dan E-W).

2.3 Rumus Empiris Percepatan Tanah

Penentuan model rumus empiris *PGA* pada penelitian ini menggunakan rumusan umum berdasarkan penelitian Lin dan Wu (2010) [3] yaitu,

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

PGA adalah nilai percepatan getaran tanah (gal), *r* adalah jarak hiposenter (Km) dan *M* adalah magnitudo, nilai *a* merupakan koefisien *geometrical spreading*, nilai *b* adalah koefisien empiris magnitudo dan *c* adalah konstanta.

2.4 Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat serta memprediksi nilai variabel terikat dengan menggunakan variabel bebas. Pada dasarnya regresi linier merupakan masalah inversi [4]. Jika data (*d*) dan model (*m*) masing-masing dinyatakan oleh vector, maka persamaan untuk mendapatkan model parameter menjadi

$$G(m) = d \quad (2)$$

$$m = [G^T G]^{-1} G^T d \quad (3)$$

III. METODA EKSPERIMEN

Data parameter gempa bumi dan data *PGA* observasi di sekitar wilayah Bali kurun waktu 2008-2013 untuk menghitung jarak hiposenter dan diolah menggunakan analisis regresi sehingga mendapatkan rumus empiris model baru. Kemudian

dengan menggunakan data parameter gempa bumi dan data *PGA* observasi di sekitar wilayah Bali kurun waktu 2014 dapat dilakukan validasi untuk mencari tingkat kecocokan/korelasi antara nilai *PGA* hasil rumus empiris dengan nilai *PGA* observasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menentukan Rumus Empiris Percepatan Getaran Tanah

Dalam menentukan rumusan empiris percepatan tanah data yang diperlukan adalah nilai *PGA* observasi, magnitudo dan jarak hiposenter terhadap sensor *accelerometer*. Magnitudo didapatkan melalui katalog gempa bumi 2008-2013, data *PGA* observasi didapatkan melalui hasil pengamatan dari peralatan *accelerograph* tahun 2008-2013, sedangkan data jarak hiposenter didapatkan melalui perhitungan rumus segitigabola. Menghitung jarak hiposenter terhadap sensor *accelerometer* memerlukan beberapa *point* penting yaitu koordinat lintang dan bujur stasiun / sensor *accelerometer*, koordinat lintang dan bujur hiposenter gempa bumi, kedalaman gempa bumi dan jari-jari bumi [5].

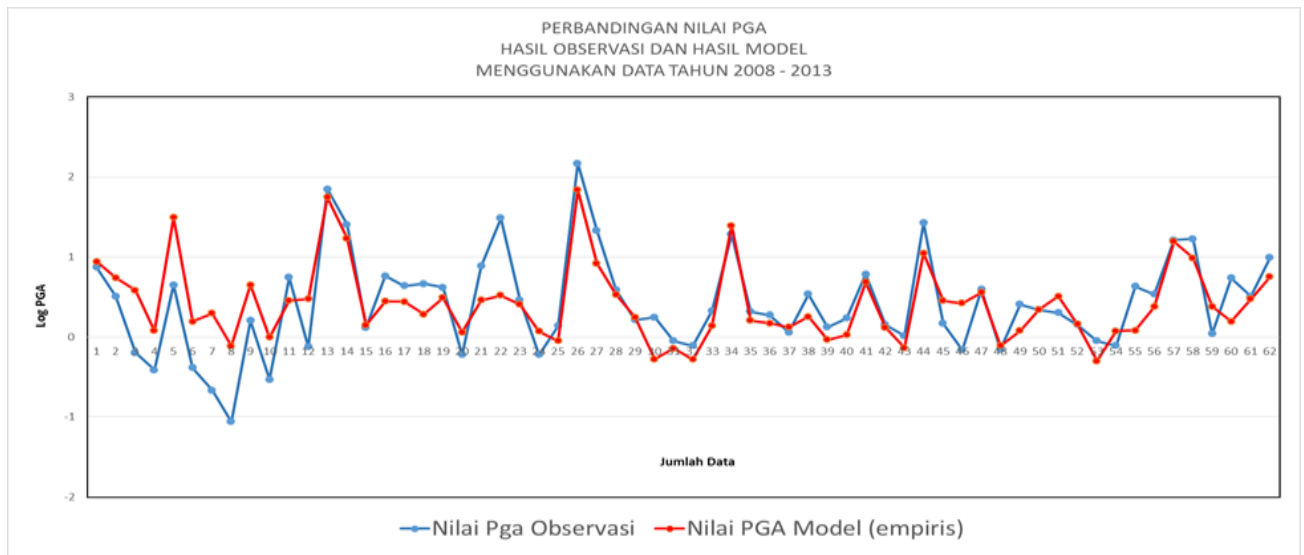
Untuk mendapatkan rumus empiris percepatan tanah, dalam penelitian ini menggunakan data observasi *accelerometer* BMKG di wilayah Denpasar selama tahun 2008-2013 beserta dengan parameter gempa yang diperoleh dari katalog gempa BMKG tahun 2008-2013. Tercatat sebanyak 62 rekaman *accelerometer* dari event gempa bumi di daerah Bali dan sekitarnya. Melalui perhitungan analisis regresi, maka diperoleh koefisien $a=-2,019$, $b=0,894$, $c=0,551$ dan model rumusan empiris *PGA* di daerah Denpasar berdasarkan data penelitian tahun 2008-2013, adalah sebagai berikut:

$$\log_{10} PGA = (-2,019) \log_{10}(r) + (0,894) M_b + 0,551 \quad (4)$$

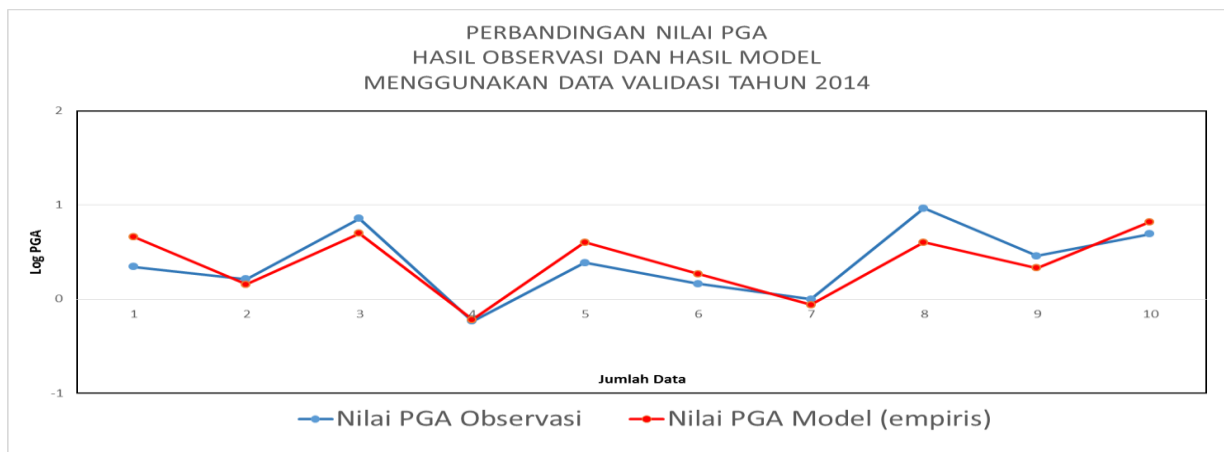
Dimana M_b adalah Magnitudo *Body*/Magnitudo gelombang badan, *r* adalah jarak hiposenter dan *c* adalah konstanta.

4.2 Validasi

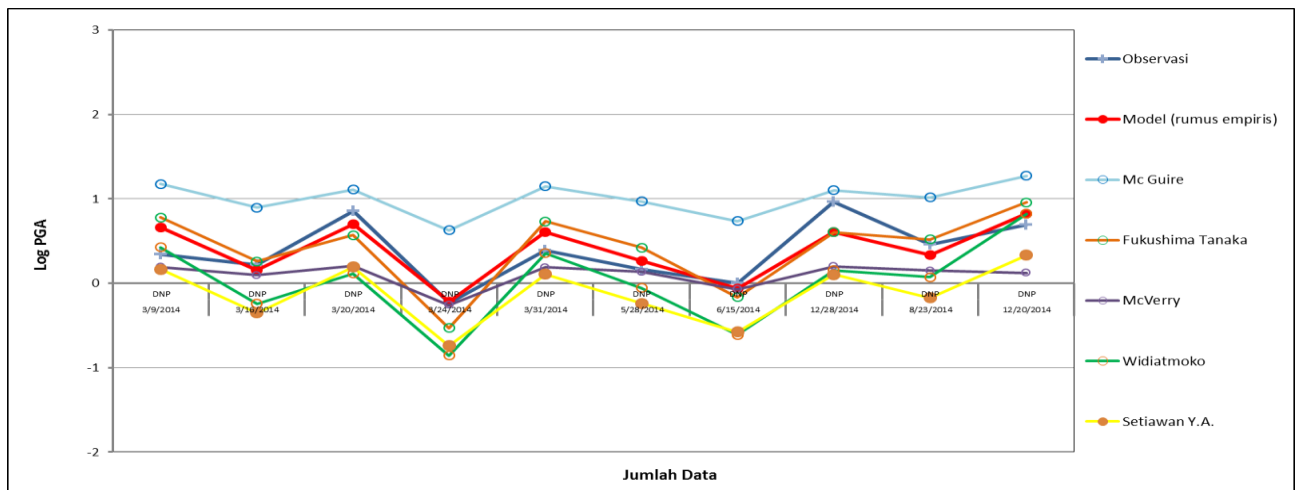
Setelah mengetahui tingkat ketepatan antara nilai *PGA* hasil model rumusan empiris dengan nilai *PGA* observasi, selanjutnya adalah membandingkan hasil *PGA* model tersebut dengan data observasi *accelerometer* BMKG dan hasil metode percepatan getaran tanah lainnya, dengan menggunakan data observasi *accelerometer* pada tahun 2014.



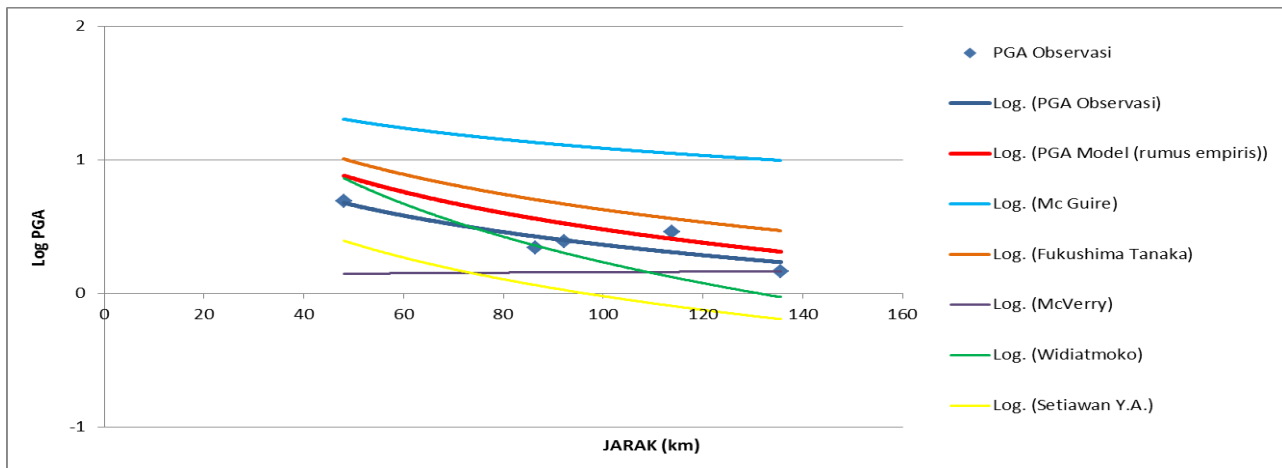
Gambar 4.1. Grafik perbandingan nilai *PGA* hasil observasi dengan nilai *PGA* model (rumusan empiris) menggunakan data tahun 2008-2013.



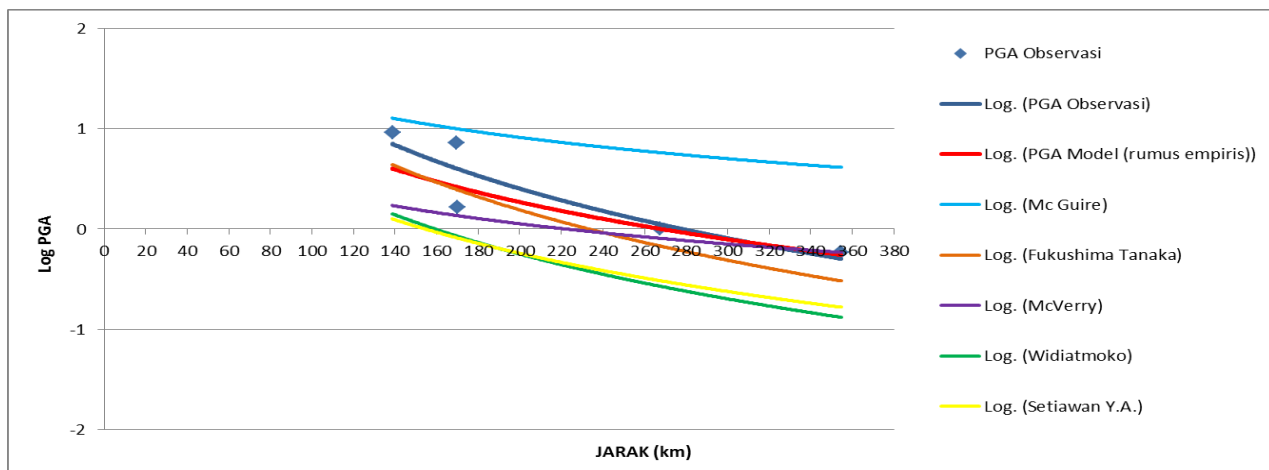
Gambar 4.2. Grafik perbandingan nilai *PGA* hasil observasi dengan nilai *PGA* model (rumusan empiris) menggunakan data tahun 2014.



Gambar 4.3. Grafik perbandingan nilai *PGA* hasil observasi dengan nilai *PGA* model (rumusan empiris) dan metode percepatan getaran tanah lainnya menggunakan data tahun 2014.



Gambar 4.4. Grafik hasil fungsi atenuasi *PGA* observasi dan fungsi atenuasi dari rumusan empiris lainnya, terhadap jarak *accelerometer* <150 km untuk magnitudo 4,0 – 4,5 M_b .



Gambar 4.5. Grafik hasil fungsi atenuasi *PGA* observasi dan fungsi atenuasi dari rumusan empiris lainnya, terhadap jarak *accelerometer* >150 km untuk magnitudo 4,6-5,2 M_b .

Dari hasil Gambar 4.1, terlihat bahwa trend hasil *PGA* model relatif mendekati hasil *PGA* observasi. Hanya ada 3 data yang tampak kurang bersesuaian, kemungkinan hal tersebut dipengaruhi oleh kualitas data observasi yang diperoleh. Dari hasil Gambar 4.2, terlihat bahwa trend hasil *PGA* model relatif mendekati hasil *PGA* observasi. Dari hasil Gambar 4.3 terlihat bahwa trend hasil *PGA* model baru, rumusan empiris Fukushima Tanaka, Mc Verry, Widiatmoko dan Setiawan Y.A., relatif mendekati hasil *PGA* observasi. Beda halnya dengan fungsi Mc Guire, yang relatif jauh dengan hasil observasi. Hal ini, kemungkinan dipengaruhi oleh faktor tektonik area penelitian tiap model, dimana model yang digunakan oleh Mc Guire dilakukan di Amerika Barat, yaitu terhadap Patahan San Andreas. Sementara untuk *PGA* model baru, rumus empiris Fukushima Tanaka, Mc Verry, Widiatmoko dan Setiawan Y.A. [5, 6], mempunyai kemiripan tektonik area penelitian, dimana terdapat zona

subduksi dan patahan lokal di area penelitiannya. Dibandingkan dengan hasil observasi, terlihat data observasi magnitudo 4,0-4,5 M_b dan magnitudo 4,6-5,2 M_b . menyebar di bawah dan di atas *trendline model*. Dengan demikian secara kualitatif menunjukkan tingkat kecocokan yang relatif tinggi antara model dengan data.

4.3 Verifikasi Statistik

Verifikasi statistik dilakukan antara hasil *PGA* berdasarkan rumus empiris baru (model) dan metode percepatan tanah lainnya dengan *PGA* hasil observasi *accelerometer* dengan menggunakan beberapa pendekatan, antara lain koefisien korelasi (*correlation coefficient*) dan nilai tengah ralat kuadrat (*Root Mean Square (RMS) error*).

Dari hasil metode verifikasi, dapat terlihat bahwa nilai koefisien korelasi (r) mempunyai korelasi yang hampir sama untuk semua model *PGA* yaitu sekitar 0,8 (mendekati +1), namun korelasi *PGA* model (rumus empiris baru) lebih tinggi, yaitu 0,853034

atau memiliki korelasi linier positif paling kuat/erat. Jika melihat nilai *RMS error*, *PGA* model (rumus empiris) mempunyai nilai yang paling kecil yaitu 0,035. Secara statistik, *PGA* model (rumus empiris)

menunjukkan hasil yang relatif baik dibandingkan dengan fungsi atenuasi lainnya.

Tabel 4.1. Hasil Verifikasi Tiap Fungsi Atenuasi terhadap Hasil Observasi

Fungsi Atenuasi	Model	Mc Guire	Fukushima Tanaka	McVerry	Widiatmoko	Setiawan Y. A.
R (Korelasi)	0,853	0,796	0,768	0,785	0,721	0,850
<i>RMS Error</i>	0,035	0,441	0,078	0,151	0,240	0,288

V. KESIMPULAN

Model rumus empiris percepatan getaran tanah (*PGA*) dari penelitian ini memiliki tingkat kecocokan yang cukup tinggi dengan hasil *PGA* observasi berdasarkan grafik perbandingan dan verifikasi statistik. Dibandingkan dengan metode fungsi atenuasi atau model rumus empiris yang sudah ada sebelumnya, model rumus empiris *PGA* baru relatif lebih baik dan mendekati hasil *PGA* observasi. Berdasarkan analisis regresi dengan menggunakan data gempa bumi dan data *PGA* kurun waktu tahun 2008-2013, maka diperoleh koefisien $a=-2,019$, $b=0,894$, $c=0,551$ dan model rumus empiris percepatan getaran tanah di daerah Denpasar sebagai berikut:

$$\log_{10} PGA = (-2.019) \log_{10} (r) + (0.894) M_b + 0.551$$

Saran

Untuk meningkatkan akurasi model atenuasi percepatan tanah ini diperlukan jumlah data yang banyak dan variasi data yang lebih beragam. Perlu untuk memperhitungkan kondisi geologi lokal dalam penentuan model rumusan percepatan getaran tanah yang lebih akurat.

PUSTAKA

- [1] Bormann, Peter., *Chapter 1: History, Aim and Scope of the 1st and 2nd Edition of the IASPEI*, New Manual of Seismologi Observatory Practice, GFZ, 2002.
- [2] Fauzi, dkk, *Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Peta Bencana Alam Di Indonesia*, BMKG, 2005.
- [3] Lin and Wu., Magnitude Determination Using Strong Ground Motion Attenuation in Earthquake Early Warning, *Geophysical Research Letters*, vol. 37, 2010, L07304.
- [4] Grandis, H., *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), 2009.
- [5] Setiawan, Y. A., Kajian Fungsi Atenuasi Percepatan Tanah Di Daerah Bali Dan Sekitarnya, *Skripsi Program Studi Meteorologi*, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB, 2012.
- [6] Widiyatmoko, Kajian Fungsi Atenuasi Percepatan Tanah Daerah Sumatera Bagian Tengah, *Tesis Program Studi Magister Sains Kebumihan*, Bandung, 2011.