

## ANALISIS INDEKS KERENTANAN SEISMIK BERDASARKAN PENGUKURAN SINYAL MIKROTREMOR DI KECAMATAN PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO KABUPATEN KLATEN

### ANALYSIS OF SEISMIC VULNERABILITY INDEX BASED ON MICROTREMOR SIGNAL MEASUREMENT IN PRAMBANAN AND GANTIWARNO SUBDISTRICT OF KLATEN REGENCY

Oleh:

Zahroh Utami, Nugroho Budi Wibowo, Denny Darmawan  
Zahroh\_utami@yahoo.com

#### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A$ ) serta menentukan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dan mikrozonasinya di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai  $f_g$  berada pada kisaran 0,7 Hz – 9,5 Hz, nilai  $A$  berada pada kisaran 1,79 – 9,01, dan nilai  $K_g$  berada pada kisaran  $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm} - 52,53 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Berdasarkan mikrozonasi,  $K_g$  rendah dengan nilai sekitar  $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm} - 8,58 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  menyebar di Desa Joho sebelah timur, Desa Pereng, Desa Ceporan, Desa Jogoprayan, Desa Gentan, dan Desa Sengon sebelah selatan. Untuk nilai  $K_g$  sedang yang ditunjukkan dengan nilai sekitar  $10,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm} - 20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  dan  $K_g$  tinggi dengan nilai lebih dari  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  menyebar di Kecamatan Gantiwarno sebelah barat dan selatan, Kecamatan Prambanan sebelah barat, Desa Sanggrahan, dan Desa Cucukan sebelah utara.

**Kata Kunci :** Indeks Kerentanan Seismik, *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, Mikrotremor,.

#### ABSTRACT

This research aimed to determine predominant frequency ( $f_g$ ) and amplification factor ( $A$ ), and also to determine seismic vulnerability index ( $K_g$ ) and its microzonation in Prambanan and Gantiwarno Subdistrict. The microtemor data was analyzed using *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) method. This research showed that  $f_g$  is between 0.7 Hz – 9.5 Hz,  $A$  value is between 1.78 – 9.01, and  $K_g$  is between  $2.27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm} - 52.53 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . The low  $K_g$  with the value of about  $2.27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm} - 8.58 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  spread in eastern part of Joho Village, Pereng Village, Ceporan Village, Jogoprayan Village, Gentan Village, and southern part of Sengon Village. Medium  $K_g$  value between  $10.27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  to  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  and high  $K_g$  value which is more than  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  spread in western part and southern part of Gantiwarno Subdistrict, , Sanggrahan Village, western part of Prambanan Subdistrict, and northern part of Cucukan Village

**Keywords:** Seismic Vulnerability Index, *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, Microtemor

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Australia, lempeng Filipina, dan lempeng Pasifik. Letak geografis tersebut menyebabkan Kepulauan Indonesia berada pada daerah yang mempunyai aktivitas gempabumi cukup tinggi. Pergerakan lempeng-lempeng bumi menghasilkan akumulasi energi yang menjadi penyebab utama terjadinya gempabumi. (BMKG, 2015).

Dampak yang ditimbulkan oleh adanya gempabumi sangat tergantung dari kekuatan gempa (ESDM, 2008). Gempa tektonik Bantul 27 Mei 2006 dengan skala 6,3 Mw mengakibatkan banyak kerusakan dan korban jiwa (USGS, 2014). Gempabumi ini mengakibatkan kerusakan bangunan lebih dari 100.000 buah dan menewaskan lebih dari 5000 jiwa (BAPPENAS, 2006). Gempabumi tersebut tidak hanya mengguncang daerah Bantul Yogyakarta, namun juga beberapa daerah di Jawa Tengah mengalami guncangan gempa yang cukup besar terutama Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten.

Pada gempabumi 27 Mei 2006, Kecamatan Prambanan mengalami kerusakan bangunan roboh dan rusak berat sebanyak 9086 bangunan, korban meninggal dunia sebanyak 196 orang, dan

korban luka berat 1655 orang. Sementara itu di Kecamatan Gantiwarno sebanyak 9907 bangunan roboh dan rusak berat, 335 jiwa meninggal dunia, dan 2799 jiwa mengalami luka-luka (BAPPEDA, 2006).

Gempabumi adalah bencana yang tidak dapat diperkirakan kapan dan dimana kejadiannya, namun hal ini dapat diminimalisir dengan mitigasi berdasarkan data indeks kerentanan seismik suatu wilayah. Berangkat dari hal tersebut, penelitian mengenai analisis indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno perlu dilakukan. Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menunjukkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah suatu wilayah terhadap deformasi tanah saat terjadi gempabumi (Motamed *et. al.*, 2007).

Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A$ ) serta menentukan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dan mikrozonasinya di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

## METODE PENELITIAN

Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan pada 30 titik lokasi menggunakan *Digital Portable Seismograph* tipe TDL 303-S untuk

merekam getaran tanah. Sinyal mikrotremor yang diperoleh kemudian dicutting pada *Software Geopsy* untuk memilih sinyal tanpa *noise* dengan waktu 20 detik setiap *window*nya.

Hasil *cutting* yang diperoleh kemudian diinput ke dalam *software* MATLAB dengan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *smoothing Konno-Omachi* untuk mengubah gelombang dalam fungsi waktu menjadi fungsi frekuensi. Selanjutnya data tersebut dianalisis dengan membandingkan antara komponen sinyal vertikal dengan komponen sinyal horizontal menggunakan persamaan (1) dan diplotkan pada MATLAB sehingga diperoleh kurva HVSR yang menunjukkan nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) dan faktor amplifikasi ( $A$ ) setiap titik penelitian.

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (1)$$

$$= \frac{\sqrt{[(S_{Utara-Selatan})^2 + (S_{Barat-Timu})^2]}}{S_{Vertikal}}$$

dengan  $S_{HS}$  adalah spektrum dari komponen horizontal sinyal mikrotremor di permukaan tanah dan  $S_{VS}$  adalah spektrum gerak vertikal sinyal mikrotremor di permukaan tanah.

Kecepatan gelombang geser pada lapisan *bedrock* ( $v_b$ ) diperoleh dari analisis kurva H/V menggunakan metode *ellipticity curve* pada *software Dinver*.

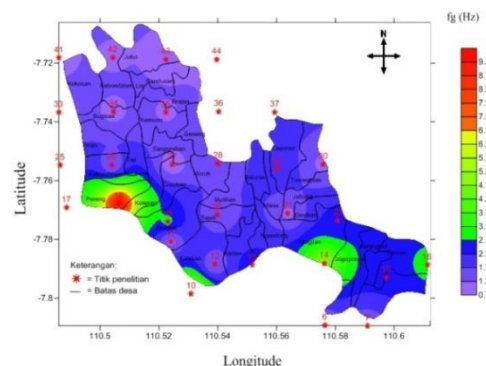
Nilai  $v_b$  merupakan hasil interpretasi *ground profiles*  $v_s$  dengan nilai lebih dari 350 m/s. Nilai  $f_g$ ,  $A_g$ , dan  $v_b$  digunakan dalam menentukan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dengan menggunakan persamaan (2).

$$K_g = \frac{A_g^2}{f_g} \frac{1}{\pi^2 V_b} \quad (2)$$

dengan  $K_g$  merupakan indeks kerentanan seismik ( $s^2/cm$ ),  $A_g$  merupakan faktor amplifikasi,  $f_g$  merupakan frekuensi dominan (Hz), dan  $v_b$  merupakan kecepatan gelombang geser pada *bedrock* (m/s).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ), faktor amplifikasi ( $A$ ), kecepatan gelombang geser pada *bedrock* ( $v_b$ ), dan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.



Gambar 1. Mikrozonasi Frekuensi Predominan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Frekuensi dominan ( $f_g$ ) di daerah penelitian memiliki nilai bervariasi dengan nilai 0,7 Hz dari 9,5 Hz. Berdasarkan mikrozonasi pada Gambar 1, diperoleh nilai frekuensi dominan ( $f_g$ ) kriteria rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan klasifikasi Kanai (Arifin, *et. al.*, 2013). Nilai  $f_g$  rendah pada kisaran 0,7 Hz – 2,5 Hz tersebar di 75,61% dari lokasi penelitian yaitu di bagian utara dari Kecamatan Pambanan dan Kecamatan Gantiwarno yang sebagian besar termasuk dalam Formasi Merapi Muda yang didominasi oleh endapan lahar gunungapi aktif. Hal ini sesuai dengan klasifikasi Kanai,  $f_g$  kurang dari 2,5 Hz termasuk jenis tanah IV yang terdiri dari material lunak yang sama dengan material penyusun Formasi Merapi Muda. Pada kondisi tanah lunak atau dengan  $f_g$  rendah, durasi gelombang gempa yang melewati tanah tersebut lebih lama dan mengalami penguatan yang lebih besar sehingga menyebabkan guncangan yang besar dan tingkat kerusakan yang tinggi.

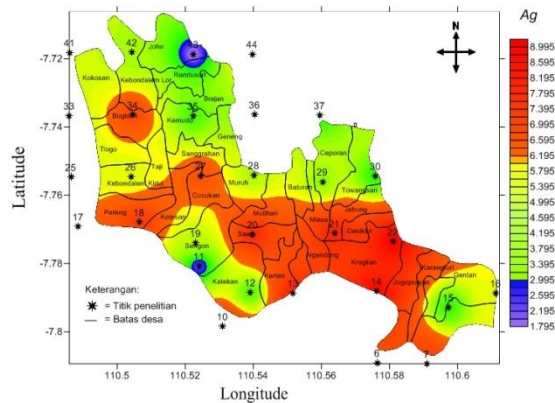
Frekuensi dominan ( $f_g$ ) sedang dengan nilai berkisar 2,6 Hz sampai 6,67 Hz menyebar di Kecamatan Prambanan bagian selatan dan bagian selatan dari Desa Kragilan, Desa Jogoprayan, dan Desa Katekan yang berada pada Formasi Merapi Muda dan Formasi Kebobutak. Hal

ini sesuai dengan klasifikasi Kanai yaitu daerah dengan  $f_g$  2,5 Hz sampai 6,7 Hz termasuk jenis tanah II dan jenis tanah III yang terdiri dari batuan alluvial, pasir berkerikil (*sandy gravel*), pasir berlempung keras (*sandy hard clay*), tanah liat, dan lempung (*loam*) yang merupakan penggabungan kondisi tanah lunak seperti penyusun Formasi Merapi Muda dan tanah keras seperti material penyusun Formasi Kebobutak

Sementara itu  $f_g$  dengan nilai tinggi berkisar 6,68 Hz sampai 9,5 Hz menyebar di Desa Pereng dan Kotesan yang berada pada Formasi Kebobutak dan Formasi Semilir yang tergolong material keras. Hal ini sesuai dengan klasifikasi Kanai yaitu tanah dengan frekuensi 6,67 Hz – 20 Hz termasuk ke dalam jenis tanah I yang terdiri dari batuan keras (*rock*), pasir kerikil keras, dan tanah yang tergolong dalam tanah tersier. Pada daerah dengan  $f_g$  tinggi atau kondisi tanah keras, durasi gelombang gempa yang melewati tanah tersebut akan semakin pendek sehingga menyebabkan guncangan yang kecil dan tingkat kerusakan yang rendah.

Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno memiliki nilai faktor amplifikasi ( $A_g$ ) bervariasi dari 1,79 sampai 9,01. Berdasarkan mikrozonasi faktor amplifikasi ( $A_g$ ) yang ditunjukkan pada Gambar 2, daerah yang

memiliki  $A_g$  rendah memiliki nilai 1,79 sampai 2,99 tersebar di Desa Joho sebelah timur dan Desa Sengon sebelah selatan yang berada pada Formasi Kebobutak dan Formasi Semilir.

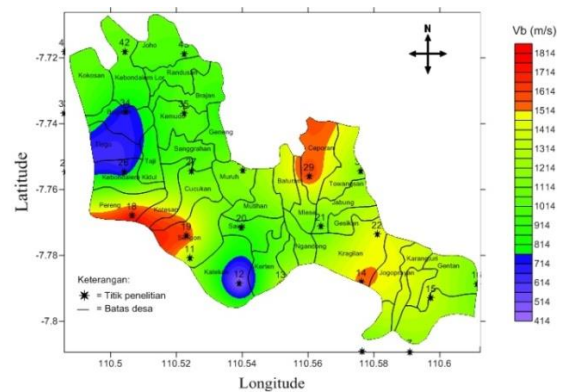


Gambar 2. Mikrozonasi Faktor Amplifikasi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Daerah dengan faktor amplifikasi sedang memiliki nilai 2,99 sampai 5,99, dan kategori tinggi memiliki nilai 5,99 sampai 9,01. Daerah dengan  $A_g$  sedang tersebar di Kecamatan Prambanan sebelah utara, Kecamatan Gantiwarno sebelah utara, Desa Sengon, Desa Katekan, dan Desa Gentan. Sementara itu, daerah dengan nilai  $A_g$  tinggi tersebar di Desa Bugisan, Desa Pereng, dan Kecamatan Gantiwarno sebelah selatan. Daerah dengan  $A_g$  sedang sampai tinggi mayoritas berada pada Formasi Merapi Muda yang tergolong tanah lunak, sedikit Formasi Kebobutak, dan sedikit Formasi Semilir. Pada kondisi jenis tanah lunak gelombang akan teramplifikasi lebih besar. Hal tersebut dikarenakan kepadatan batuan

yang rendah dan memiliki inersia yang kecil, sehingga tanah akan mudah digerakkan dan mengalami guncangan yang besar pada saat terjadi gempa bumi.

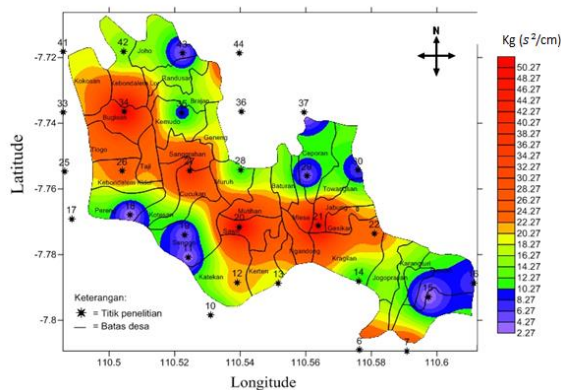
Kecepatan gelombang geser pada batuan dasar ( $v_b$ ) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berkisar 414,45 m/s sampai 1744,53 m/s. Nilai kecepatan gelombang geser pada batuan dasar menunjukkan jenis batuan pada lokasi tersebut. Nilai  $v_b$  dengan rentang 400 m/s sampai 750 m/s menunjukkan batuan lunak. Nilai dengan rentang 750 m/s sampai 1500 m/s menunjukkan batuan. Sementara itu nilai  $v_b$  lebih dari 1500m/s merupakan batuan keras (ASCE, 2010). Berdasarkan mikrozonasi pada Gambar 3, lokasi penelitian sebagian besar mempunyai nilai  $v_b$  pada rentang 400 m/s sampai 750 m/s.



Gambar 3. Mikrozonasi Kecepatan Gelombang Geser pada *bedrock* ( $v_b$ ) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Indeks kerentanan seismik memberikan informasi tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah saat terjadi

gempabumi, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui tinggi atau rendahnya potensi suatu wilayah mengalami kerusakan. Berdasarkan peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik yang ditunjukkan pada Gambar 4, diperoleh nilai yang bervariasi dari  $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $52,53 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ . Nilai tersebut menunjukkan daerah dengan kerentanan tanah yang rendah sampai dengan kerentanan tanah yang tinggi.



Gambar 4. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

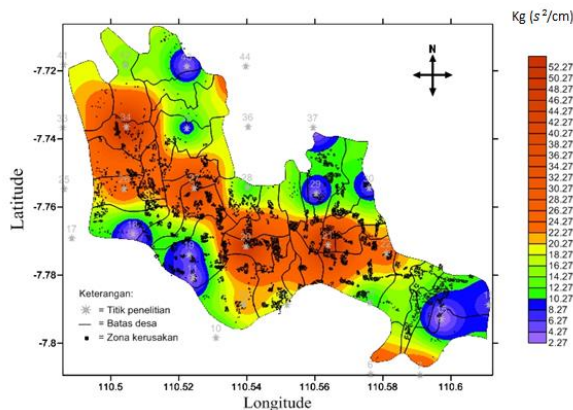
Indeks kerentanan seismik rendah dengan nilai sekitar  $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $8,58 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  menyebar di 12,72% dari lokasi penelitian yang berada di Desa Gentan, Kecamatan Prambanan sebelah selatan, dan sebagian di Kecamatan Gantiwarno sebelah utara. Nilai indeks kerentanan seismik rendah berada pada Formasi Kebobutak, Formasi Semilir, dan sedikit Formasi Merapi Muda.

Daerah dengan indeks kerentanan seismik sedang dengan nilai sekitar  $10,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  berada di 42,77% dari lokasi penelitian yaitu di Kecamatan Prambanan sebelah selatan dan sebelah utara serta Kecamatan Gantiwarno sebelah utara. Indeks kerentanan seismik relatif tinggi dengan nilai lebih dari  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  tersebar di 44,51% dari lokasi penelitian, yaitu Kecamatan Gantiwarno sebelah barat dan selatan, Kecamatan Prambanan sebelah barat, Desa Sanggrahan, dan Desa Cucukan sebelah utara. Daerah dengan indeks kerentanan seismik sedang sampai tinggi sebagian besar berada pada Formasi Merapi Muda dan sedikit Formasi Kebobutak. Formasi Merapi Muda terbentuk dari endapan lahar gunungapi yang masih aktif yang tergolong tanah lunak, sehingga gelombang gempabumi yang melewati daerah tersebut akan teramplifikasi dan menyebabkan tingkat kerusakan yang relatif tinggi.

Berdasarkan sebaran zona kerusakan akibat gempabumi Bantul 27 Mei 2006 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik tinggi memiliki persentase kerusakan 68,77% dari total seluruh kerusakan lokasi penelitian, daerah dengan indeks kerentanan seismik sedang memiliki persentase kerusakan 27,72%,



dan daerah dengan indeks kerentanan seismik rendah memiliki persentase 3,51%. Berdasarkan hasil persentase zona kerusakan tersebut nampak bahwa jumlah persentase zona kerusakan bangunan tertinggi terdapat pada daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik relatif tinggi.



Gambar 5. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik dan Zona Kerusakan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Dengan tingginya nilai indeks kerentanan seismik menyebabkan daerah tersebut memiliki potensi bahaya yang lebih tinggi dan kerusakan bangunan yang lebih besar saat terjadi gempa bumi. Faktor yang menyebabkan kerusakan bangunan juga dipengaruhi oleh kekuatan dan kondisi bangunan. Misalnya bangunan dengan kondisi struktur bangunan tidak kokoh akan tetap mengalami kerusakan berat walaupun berada pada daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik rendah maupun sedang.

Peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik pada penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam perencanaan dan pembangunan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Dengan memperhatikan struktur dan kualitas bangunan pada daerah yang mempunyai indeks kerentanan seismik sedang sampai tinggi diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kerusakan akibat gempa bumi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai frekuensi dominan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berada pada kisaran 0,7 Hz sampai 9,5 Hz dan nilai faktor amplifikasi berada pada kisaran 1,78 sampai 9,01.
2. Nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) berada pada kisaran  $2,27 \times 10^{-6} s^2/cm$  sampai  $52,53 \times 10^{-6} s^2/cm$ . Hasil mikrozonasi  $K_g$  rendah dengan nilai pada kisaran  $2,27 \times 10^{-6} s^2/cm$  sampai  $8,58 \times 10^{-6} s^2/cm$  menyebar di Desa Gentan, Kecamatan Prambanan sebelah selatan, dan sebagian di Kecamatan Gantiwarno sebelah utara.

Hasil  $K_g$  sedang dengan nilai pada kisaran  $10,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  sampai  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  menyebar di Kecamatan Prambanan Sebelah selatan dan sebelah utara serta Kecamatan Gantiwarno sebelah utara. Sementara itu  $K_g$  relatif tinggi dengan nilai lebih dari  $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$  menyebar di Kecamatan Gantiwarno sebelah barat dan selatan, Kecamatan Prambanan sebelah barat, Desa Sanggrahan, dan Desa Cucukan sebelah utara.

## B. Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk memperbanyak titik lokasi penelitian dengan jarak yang lebih kecil sehingga hasil yang dihasilkan lebih akurat. Untuk pemerintah dan masyarakat diharapkan memperhatikan kualitas struktur bangunan sesuai prediksi tingkat kerusakan bangunan berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik, sehingga dapat meminimalisir terjadinya kerusakan akibat gempabumi.

## DAFTAR PUSTAKA

Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, Setianegara, R. 2013. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor*

*dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya.* Lampung: UNILA

ASCE. 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-10).* Virginia

BAPPEDA. 2006. *Data Kerusakan Bangunan dan Korban Jiwa di Kabupaten Klaten akibat Gempabumi Tektonik 27 Mei 2006.* Klaten: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah.

BAPPENAS. 2006. *Preliminary Damage and Loss Assesment.* Jakarta: Consultatif Group Indonesia.

BMKG, 2015. *Indonesia Tsunami Early Warning System- InaTEWS.* Diakses dari [http://inatews.bmkg.go.id/new/tenang\\_eq.php](http://inatews.bmkg.go.id/new/tenang_eq.php) pada tanggal 3 Juni 2017, jam 08:00 WIB.

ESDM, 2008. *10 Tahun Gempa Yogyakarta.* Diakses dari <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/10-tahun-gempa-yogyakarta/> pada tanggal 4 Mei 2017, jam 02:15 WIB.

Motamed, R., Ghalandarzadeh, A., Tawhata, I. and Tabatabaei, S.H. 2007. *Seismic Microzonation and Damage Assessment of Bam City.* Southern Iran: *Journal of Earthquake Engineering.* 11:1, 110-132.

Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Charateristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface.* Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.

Nakamura, Y. 2008. *On the H/V Spectrum.* Beijing: The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering.

USGS. 2014. *M6.3 Java Indonesia.* United States: U.S Geological Survey.