

Zonasi Rawan Bencana Gempa Bumi Kota Malang Berdasarkan Analisis *Horizontal Vertical to Spectral Ratio* (*HVSR*)

Oxtavi Hardaningrum¹, Cecep Sulaeman², Eddy Supriyana¹

¹Program Studi Geofisika, Universitas Padjadjaran

²Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi

*E-mail: hoxtavi@gmail.com

ABSTRAK

Kota Malang merupakan salah satu wilayah di Provinsi Jawa Timur yang sering mengalami bencana gempa bumi, dimana gempa bumi merupakan peristiwa yang terjadinya tidak bisa diprediksikan sehingga hal ini akan menjadi suatu wilayah kajian untuk menzonasi daerah – daerah yang berpotensi mengalami efek guncangan tinggi gempa bumi. Metode geofisika yang dapat digunakan untuk menzonasi daerah rawan bencana gempa bumi salah satunya adalah dengan melakukan analisis mikrotremor *Horizontal Vertical to Spectral Ratio*(*HVSR*). Nilai perioda dominan dan amplifikasi tanah sebagai hasil analisis *Horizontal Vertical to Spectral Ratio*(*HVSR*) di Kota Malang menunjukkan nilai yang bervariasi yaitu pada rentang 0,12636 detik - 3,31045 detik dan 1,69 kali – 8,37 kali. Zonasi rawan bencana gempa bumi Kota Malang diklasifikasikan kedalam empat *site class Zhao* berdasarkan nilai perioda dominan serta didukung nilai amplifikasi tanah untuk memberikan informasi wilayah berpotensi mengalami efek guncangan tinggi gempa bumi. *Site Class IV* dengan klasifikasi tanah *soft soil* merupakan daerah yang berpotensi mengalami efek guncangan tinggi dengan nilai perioda dominan lebih dari 0,6 detik dengan amplifikasi lebih dari 2.

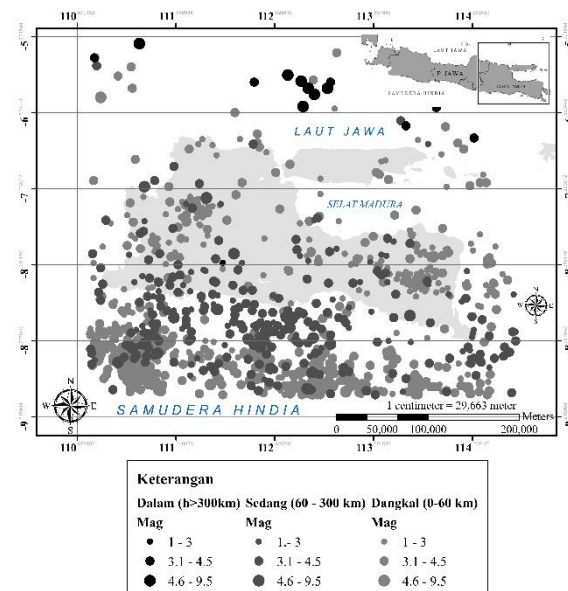
Kata kunci: gempa bumi, *HVSR*, perioda dominan, amplifikasi tanah, zonasi rawan bencana

1. Pendahuluan

Bencana alam merupakan rangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam, salah satunya adalah gempa bumi yang kejadiannya dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan, menimbulkan korban jiwa dan kerugian harta benda (BNPB, 2013). Gempa bumi baik yang kecil, sedang maupun besar sudah sering terjadi dan tidak dapat diprediksikan waktu terjadinya. Gempa bumi disebabkan oleh adanya rambatan gelombang pada massa batuan yang berasal dari pelepasan energi kinetik dari dalam bumi (Noor, 2014).

Kota Malang adalah salah satu wilayah dengan indeks *Peak Ground Acceleration* (PGA) 0,3 – 0,4 g (percepatan gravitasi) dalam periode ulang 50 tahunmenandakan bahwa wilayah tersebut sering terjadi gempa atau probabilitas kejadian gempa besar(Kementrian PU, 2010).Peta seismisitas Jawa Timur yang berdasarkan data gempa dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisikadari (BMKG) pada Oktober 2008 hingga Mei 2016 (gambar 1) menunjukkan bahwa terjadi 1.118 kali kejadian gempa bumi tektonik mulai dari kedalaman dangkal sampai dalam dengan magnitudo 1,6 - 6,5 Skala *Richter* di wilayah Jawa Timur dan sekitarnya. Salah satu gempa bumi tektonik yang pernah terjadi pada tanggal 8 Juli 2013 berpusat di 112 km tenggara Kota Malang berkekuatan 5,9 Skala*Richter* terasa hingga skala III – IV Intensitas Modifikasi Mercalli (MMI).

Peta Seismisitas Jawa Timur dan sekitarnya
Oktober 2008 - Mei 2016



Gambar 1. Seismisitas Jawa Timur dan Sekitarnya pada Oktober 2008 – Mei 2016 (Sumber Data: repogempa.bmkg.go.id)

Berdasarkan Peta Geologi lembar Malang (Santoso dan Suwarti, 1992) dan lembar Turen (Sujanto dkk, 1992), wilayah Kota Malang sebagian besar merupakan endapan tuff gunung api berumur holosen yang tersusun dari tuff kasar

halus, batuan apung dan fragmen batuan andesit sedangkan bagian Tenggara dan Barat Laut Kota Malang merupakan endapan gunung api kuartar tengah berumur holosen yang berasal dari Gunung Api Buring dan Gunung Api Kawi Butak yang tersusun oleh batuan breksi gunung api, tuff, konglomerat serta lava dan lahar yang berasal dari gunung api kawi butak. Wilayah Timur Laut Kota Malang terdapat singkapan yang berasal dari formasi welang. Penyusun formasi welang adalah batupasir tuffan, lempung, batu pasir konglomerat dan tuf yang berumur plastosen akhir. Geologi regional Kota Malang tersebut, menunjukkan bahwa wilayah Kota Malang tersusun atas endapan gunung api yang memperkuat efek guncangan (amplifikasi) dan memicu terjadinya resonansi gelombang gempa bumi sehingga berpotensi menimbulkan kerusakan bangunan di atasnya (Sunardi, 2012). Maka dari itu, Kota Malang merupakan salah satu kotamadya yang masuk dalam tingkat klasifikasi bahaya "Tinggi" terhadap bencana gempa bumi tektonik dan menempati urutan 133 tingkat nasional berdasarkan Indeks Resiko Bencana Gempa Bumi yang dibuat oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).

Usaha meminimalkan kerugian harta benda maupun jiwa yang disebabkan oleh bencana alam gempa bumi dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan melakukan zonasi. Zonasi wilayah dengan berdasarkan metode mikrotremor dan analisis *Horizontal Vertical to Spectral Ratio (HVSZ)* digunakan untuk memprediksi respon lapisan bawah permukaan akibat bahaya seismik yang mungkin terjadi (Nakamura, 1989). Parameter yang dihasilkan dari analisis *Horizontal Vertical to Spectral Ratio (HVSZ)* ialah frekuensi natural dan amplifikasi tanah (Sunggono, 2011), sehingga dapat menunjukkan wilayah yang berpotensi mengalami efek guncangan kuat akibat adanya gempa bumi. Maka dari itu dilakukan pengamatan mikrotremor dengan analisis *Horizontal Vertical to Spectral Ratio (HVSZ)* di Kota Malang yang bertujuan untuk menzonasi tingkat kerawanan bencana gempa bumi wilayah Kota Malang berdasarkan nilai perioda dominan (T) dan amplifikasi tanah (A) untuk mengetahui wilayah yang berpotensi merasakan guncangan kuat akibat kejadian gempa bumi sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi. mikrotremor mudah dilakukan dan bisa diaplikasikan di berbagai wilayah dengan seismisitas tinggi maupun rendah (Daryono, 2013). Metode ini merupakan salah satu metode yang ramah lingkungan apabila digunakan di wilayah pemukiman penduduk serta biaya yang murah dan efektif (Sunggono, 2011).

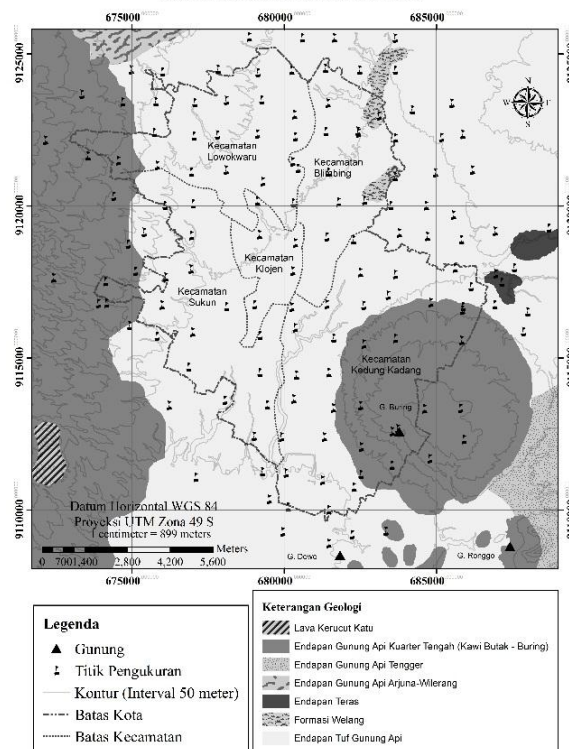
2. Metode

Penelitian diawali dengan melakukan studi mengenai kondisi geologi, tata guna lahan dan seismisitas Kota Malang sebagai daerah penelitian. Daerah penelitian meliputi seluruh wilayah Kota Malang yang secara astronomis terletak $112,06^{\circ}$ – $112,07^{\circ}$ Bujur Timur dan $7,06^{\circ}$ – $8,02^{\circ}$ Lintang Selatan dengan luas $110,02 \text{ km}^2$ dimana sebagian besar berupa pemukiman dan sisanya digunakan untuk ladang, persawahan serta perkebunan. Secara morfologi Kota Malang merupakan dataran rendah pada bagian tengah dan selatan yang dikelilingi perbukitan bergelombang dan dataran tinggi.

2.1 Metode Pengumpulan Data

Data awal dalam penelitian ini menggunakan data mikrotremor dimana pengambilan data metode *single station* dilakukan oleh Tim Mikrozonasi, Bidang Mitigasi Bencana Gempa Bumi dan Gerakan Tanah, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) pada bulan Februari 2016 yang kemudian diolah menggunakan analisis *Horizontal Vertical to Spectral Ratio (HVSZ)*. Mikrotremor memanfaatkan gelombang *ambient* yang muncul di sekitar lokasi pengukuran untuk menentukan beberapa parameter karakteristik dinamika tanah, sehingga hasil dari hasil pengolahan mikrotremor dapat menunjukkan sifat getaran dalam berbagai jenis lapisan tanah (Nakamura, 1989).

PETA GEOLOGI DAN TITIK SEBARAN STASIUN PENGUKURAN MIKROTREMOR (KOTA MALANG DAN SEKITARNYA)



Gambar 2. Sebaran titik pengukuran mikrotremor dan Geologi Regional Kota Malang (Sumber: Peta Geologi Lembar Malang dan Peta Geologi Lembar Turen, 1992)

Data mikrotremor terdiri dari 157 stasiun pengukuran yang tersebar diseluruh Kota Malang dan beberapa wilayah yang berada di sepanjang batas kota (gambar 2). Data pada setiap titik pengukur berdurasi 15 – 25 menit yang terdiri dari tiga komponen yaitu, komponen E-W (horizontal arah Timur-Barat), komponen N-S (horizontal arah Utara-Selatan) dan komponen Z (arah vertikal). Rekaman data lapangan mikrotremor tersebut kemudian dikonversi kedalam bentuk .SAF (Sesame ASCII Format).

Pengolahan data dengan metode *HVSR* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Geopsy*. Data mikrotremor yang berupa sinyal domain waktu dibagi menjadi beberapa jendela dengan melakukan pengaturan *length window*. Pembagian menjadi beberapa jendela tersebut merupakan tahap awal proses pemilahan sinyal *tremor* atau *event transient* (sumber spesifik), hal ini bertujuan untuk menghilangkan getaran yang muncul secara tidak periodik sehingga sinyal yang diolah hanya berasal dari getaran tanah bersifat periodik. Pendeteksian *transient* dilakukan dengan membandingkan rasio *Short Term Average (STA)* dan *Long Term Average (LTA)*.

Sinyal bersifat periodik (*tremor*) yang dipilih masih dalam domain waktu sehingga perlu dirubah ke dalam domain frekuensi menggunakan transformasi fourier, maka diperoleh spektrum fourier pada masing-masing komponen horizontal dan komponen vertikal. Kurva spektrum fourier mengalami proses *smoothing* menggunakan tipe *smoothing* berdasarkan persamaan *Konno & Ohmachi*.

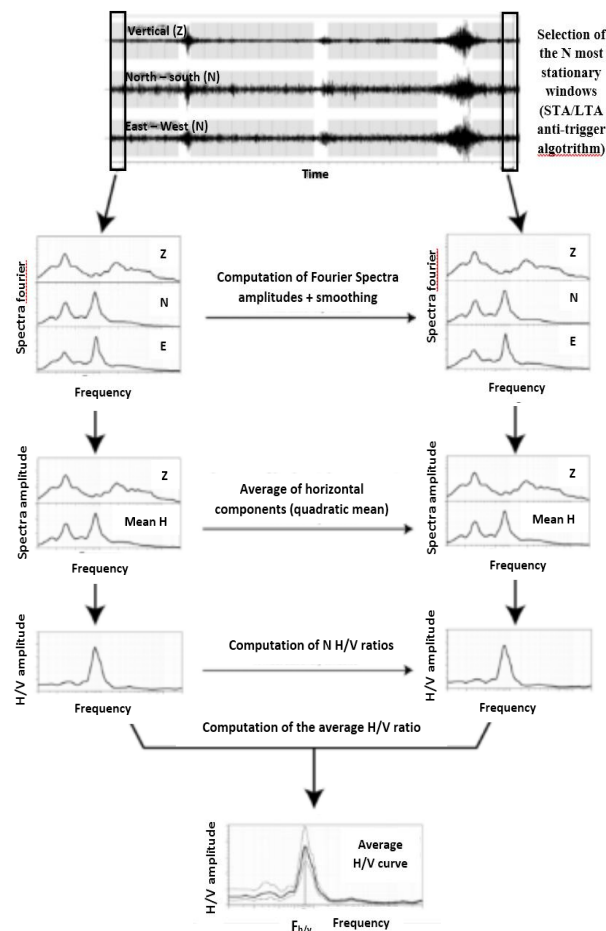
Komponen horizontal terdiri dari komponen timur-barat dan utara-selatan sehingga dihitung terlebih dahulu resultan untuk mendapatkan nilai spektrum fourier komponen horizontal. Rasio spektrum H/V selanjutnya dihitung menggunakan persamaan nakamura yang merupakan perbandingan komponen horizontal dan vertikal. Perhitungan rasio spektrum H/V menggunakan persamaan berikut:

$$S_M(\omega) = \frac{\sqrt{(H_{SN}(\omega))^2 + (H_{WE}(\omega))^2}}{V_S(\omega)}$$

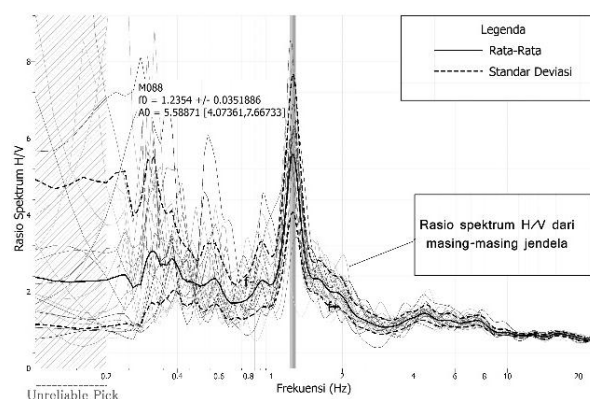
dimana $S_M(\omega)$ merupakan nilai amplitudo rasio spektrum H/V, sedangkan $H_{SN}(\omega)$ adalah nilai amplitudo spektrum komponen horizontal utara-selatan, $H_{WE}(\omega)$ adalah nilai amplitudo spektrum komponen barat-timur dan $V_S(\omega)$ merupakan nilai amplitudo spektrum komponen vertikal.

Hasil analisis *Horizontal Vertical to Spectral Ratio (HVSR)* menghasilkan grafik hubungan antara rasio H/V dan frekuensi. Secara umum tahapan analisis *Horizontal Vertical to Spectral Ratio (HVSR)* dapat dilihat pada gambar 3. Berdasarkan aturan *SESAME (2004)*, hasil pengolahan dengan perangkat lunak *geopsy* yang

berupa grafik spektrum rasio H/V harus memenuhi ketiga syarat "*Reliable*" dan lima dari enam syarat "*Clear Peak*" (Tabel 1).



Gambar 3. Tahapan pengolahan data mikrotremor dengan analisis *HVSR* (Sumber: www.geopsy.org)



Gambar 4. Kurva hasil pengolahan data mikrotremor analisis *HVSR* pada titik M088 dengan perangkat lunak *geopsy*

Nilai frekuensi *peak* pada kurva hasil analisis *HVSR* merupakan frekuensi natural tanah di titik pengukuran, sedangkan nilai amplifikasi tanah merupakan amplitudo rasio spektrum H/V pada *peak* frekuensi natural (Gambar 4). Nilai frekuensi



Table 1. Criteria for Realible HVSR Curve and Clear HVSR Peak Defined by Sesame Project

No	Criteria for a reliable HVSR curve (all 3 criteria should be fulfilled)		l_w	Window length
1	$f_0 > 10 l_w$		n_w	Number of windows selected for the average H/V curve
2	$n_c(f_0) > 200$		n_c	Number of significant cycles ($n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$)
3	$\sigma_{A(f)} < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ iff $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_{A(f)} < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ iff $f_0 < 0.5$ Hz		f	Current frequency
			f_0	H/V peak frequency
			σ_f	Standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
			$\varepsilon(f_0)$	Threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
			A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
			$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
			f^-	Frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
No	Criteria for a clear HVSR peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)			
1	Exist f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$		f^+	Frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
2	Exist f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$		$\sigma_A(f)$	Standard deviation of $A_{H/V}(f)$. $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
3	$A_0 > 2$		$\sigma_{\log H/V}(f)$	Standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
4	$f_{peak} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$		$\theta(f_0)$	Threshold value for the stability condition $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$
5	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			
6	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Frequency range (Hz)	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.5 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Sumber: www.geopsy.org

natural (f_0) yang didapat dari masing-masing titik pengukuran kemudian diubah menjadi nilai perioda dominan tanah (T_g) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T_g = \frac{1}{f_0}$$

2.2 Metode Analisis Data

Berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor didapatkan dua parameter utama yaitu perioda dominan tanah (T_g) dan amplifikasi tanah (A) pada setiap titik pengukuran. Nilai tersebut yang kemudian diinterpolasi dan akan menunjukkan peta zonasi rawan bencana gempa bumi Kota Malang.

Metode analisis data pada kedua parameter tersebut dilakukan secara kuantitatif dengan melakukan klasifikasi atau pengelompokan berdasarkan nilai perioda dominan dan amplifikasi tanah yang telah diinterpolasi ke seluruh bagian Kota Malang. Klasifikasi yang digunakan pada parameter perioda dominan yaitu klasifikasi tanah Zhao, sehingga dalam peta zonasi rawan bencana gempa bumi Kota Malang berdasarkan nilai perioda dominan menunjukkan pembagian zona rawan bencana dilihat dari jenis tanahnya. Zonasi dengan melihat jenis tanah dan penguatannya

(amplifikasi) terhadap gelombang gempa menunjukkan gambaran daerah yang berpotensi merasakan efek guncangan kuat atau lemah apabila terjadi gempa bumi di daerah

Table 1. Klasifikasi Tanah Zhao

Site Class	Klasifikasi Tanah	Perioda dominan (detik)	
		Minimum	Maksimum
I	Rock	-	< 0,2
	Stiff Soil		
II	Hard Soil	0,2	< 0,4
III	Medium Soil	0,4	< 0,6
IV	Soft Soil	$\geq 0,6$	-

Sumber: John X. Zhao, et al., 2004

3. Hasil dan Pembahasan

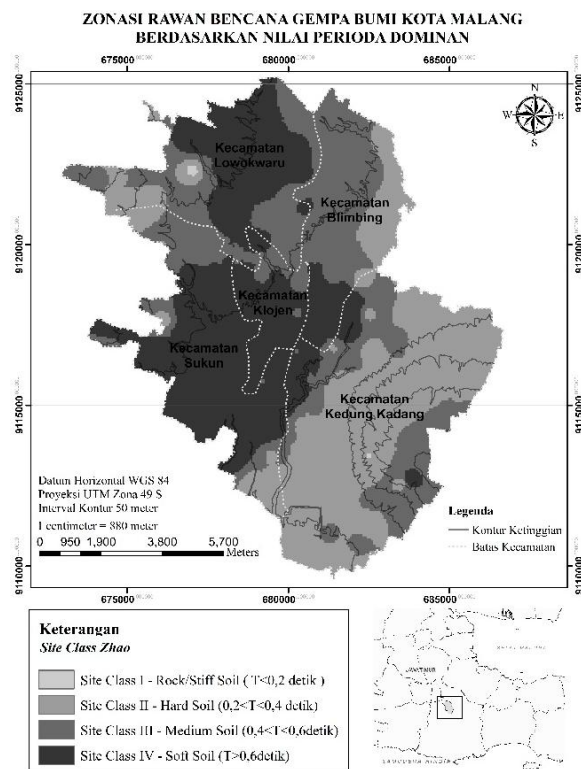
Nilai perioda dominan dari hasil penelitian ini berada pada rentang 0,12636 detik sampai dengan 3,31045 detik. Perioda dominan tanah (T) dari hasil analisis *Horizontal Vertical to Spectra Ratio (HVSR)* dapat merepresentasikan ketebalan lapisan sedimen dan jenis lapisan tanah pada situs tersebut (Nakamura, 1989 dan Zhao, 2004). Perioda dominan tinggi diduga tersusun oleh lapisan sedimen yang lunak dan tebal, sedangkan perioda dominan rendah mengindikasikan lapisan sedimen keras dan tipis

Apabila mengacu pada pada peta zonasi rawan bencana gempa bumi Kota Malang berdasarkan nilai perioda dominan (Gambar 5) menunjukkan bahwa daerah dataran rendah pada bagian tengah Kota Malang memiliki nilai perioda dominan lebih besar dari 0,6 dan masuk dalam kategori *site class IV* yang tersusun oleh lapisan *soft soil*. Wilayah iniberpotensi merasakan efek guncangan kuat apabila terjadi gempa bumi. Wilayah Kecamatan Klojen, Kecamatan Sukun dan Kecamatan Lowokwaru yang merupakan daerah cekungan malang masuk dalam *site class IV*.

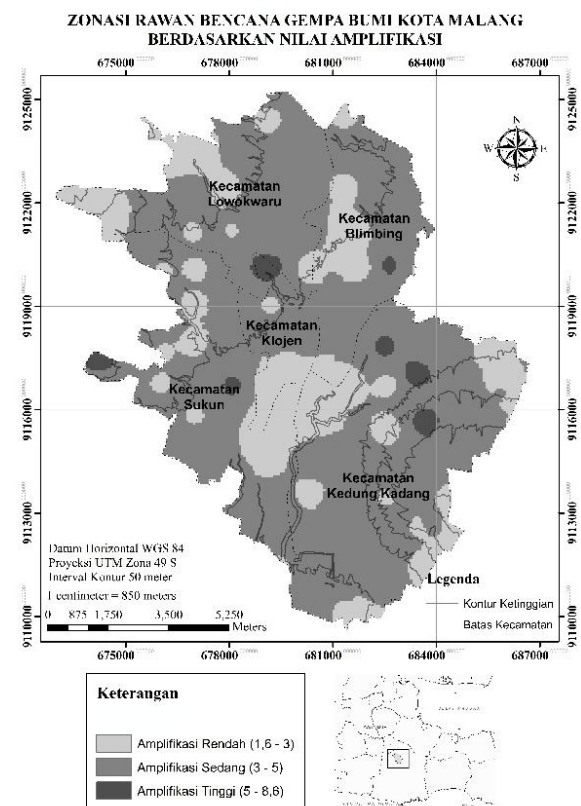
Cekungan malang dengan nilai perioda dominan lebih besar dari 0,6 detik diduga sebagai daerah sedimentasi tinggi yang mengakibatkan adanya lapisan lunak tebal, daerah tersebut memiliki elevasi lebih rendah dibandingkan wilayah lainnya. Lapisan lunak pada cekungan malang berdasarkan peta geologi merupakan endapan abu gunung api berumur holosen dengan bahan penyusun tuf berukuran butir pasir dan butir lempung yang memiliki tingkat keresistenan yang rendah dan tanahnya cenderung tidak stabil ketika mengalami guncangan gempa bumi. Lapisan lunak tebal pada daerah cekungan tersebut akibat adanya proses sedimentasi dari material gunung api yang dibawa oleh sungai - sungai yang mengalir dari dataran tinggi menuju ke wilayah cekungan.

Wilayah dengan *site class III* yang merepresentasikan lapisan *medium soil* memiliki rentang perioda dominan 0,4 detik hingga 0,6 detik. Berdasarkan peta zonasi yang ditunjukkan pada gambar 5, wilayah perbatasan barat laut Kota Malang, Kecamatan Blimbing bagian barat dan perbatasan Kecamatan Belimbing dengan Lowokwaru merupakan wilayah *site class III* yang diduga akan mengalami efek guncangan sedang apabila terjadi gempa bumi. Sepanjang wilayah timur hingga selatan perbatasan Kota Malang masuk dalam *site class II* dengan perioda dominan 0,2 detik sampai dengan 0,4 detik dikategorikan sebagai lapisan *hard soil*. Wilayah tersebut diindikasikan akan merasakan efek guncangan ringan apabila terjadi bencana alam gempa bumi karena diduga tersusun atas lapisan tanah yang lebih keras atau adanya lapisan lunak tipis pada daerah perbukitan dan dataran tinggi. Batuan penyusun lapisan ini adalah perlapisan aliran lava dan breksi piroklastik berkomposisi andesit yang merupakan endapan gunung api kuartar tengah kawi butak.

Nilai amplifikasi tanah (A) merupakan salah satu parameter yang diperoleh berdasarkan analisis *Horizontal Vertical to Spectra Ratio*, nilainya diketahui dari tinggi puncak spektrum kurva, dimana dalam penelitian ini Kota Malang memiliki rentang yaitu 1,69692 kali sampai dengan 8,37202 kali.



Gambar 5. Zonasi rawan bencana gempa bumi Kota Malang dengan parameter perioda dominan



Gambar 6. Zonasi rawan bencana gempa bumi Kota Malang berdasarkan nilai amplifikasi tanah

Nilai amplifikasi tanah merepresentasikan adanya perubahan percepatan gerakan tanah dari



batuan dasar ke permukaan atau perubahan kecepatan gerakan gelombang geser dari batuan dasar ke sedimen (Partono, 2013). Nilai amplifikasi tanah digunakan untuk korelasi dengan peta zonasi berdasarkan nilai perioda dominan. Variasi nilai amplifikasi tanah menggambarkan semakin tinggi nilai amplifikasi tanah maka lapisan tersebut merupakan lapisan lunak tebal atau bisa diakibatkan oleh adanya perbedaan parameter perambatan gelombang di batuan dasar dan sedimen yang semakin besar sehingga akan menimbulkan penguatan getaran gelombang gempa atau amplifikasi ketika terjadi gempa bumi.

Apabila mengacu pada peta zonasi rawan bencana gempa bumi Kota Malang berdasarkan nilai amplifikasi tanah (Gambar 6), persebaran nilai amplifikasi tinggi di Kota Malang tidak hanya terdapat pada wilayah dengan sedimen tebal di cekungan, namun terdapat beberapa titik di perbukitan. Begitupula sebaliknya, beberapa titik dengan nilai amplifikasi rendah justru berada di daerah dengan lapisan sedimen tebal. Hal ini menunjukkan jika nilai amplifikasi tidak hanya dipengaruhi oleh jenis lapisan sedimen maupun kondisi topografi wilayahnya, sehingga zonasi berdasarkan nilai amplifikasi tanah perlu adanya kajian lebih lanjut dengan data pendukung seperti data bor untuk melihat karakteristik tanah yang mempengaruhi efek guncangan apabila terjadi gempa bumi. Namun, secara umum wilayah Kota Malang pada *site class IV* yang sebagian besar berada pada daerah cekungan dengan lapisan sedimen tebal dan lunak menunjukkan nilai amplifikasi lebih dari 2 kali, apabila sumber gempa semakin dekat dengan wilayah tersebut diduga wilayah ini akan merasakan efek guncangan gempa bumi yang semakin kuat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan peta zonasi rawan bencana gempa bumi dengan parameter hasil analisis mikrotremor *Horizontal Vertical to Spectra Ratio (HVSR)* yaitu perioda dominan dan amplifikasi tanah dapat ditarik beberapa kesimpulan dalam penelitian. Zonasi berdasarkan nilai perioda dominan menunjukkan bahwa daerah penelitian di bagian dataran rendah Kota Malang (cekungan Malang) di dominasi oleh daerah yang berpotensi merasakan efek guncangan kuat apabila terjadi gempa bumi. Apabila ditinjau dari nilai amplifikasi tanah, daerah Malang yang berpotensi mengalami guncangan kuat tidak hanya di daerah cekungan namun juga pada dataran tinggi dan perbukitan. Hal tersebut dikarenakan nilai amplifikasi tanah tidak hanya dipengaruhi oleh jenis dan ketebalan lapisan sedimen. Akan tetapi meninjau karakteristik tanah berdasarkan perioda dominan, perlu ditingkatkan kewaspadaan terhadap adanya

efek guncangan kuat di wilayah cekungan apabila terjadi gempa bumi, serta menjadikan pertimbangan dalam tata ruang pembangunan Kota Malang.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada seluruh pihak dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana yang telah memberikan izin dan membantu dalam penelitian.

Daftar Pustaka

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2014. *Indeks Rawan Bencana 2013*. Sentul: Direktorat Pengurangan Resiko Bencana
- Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan
- Daryono. 2013. *Indeks Kerentanan Seismik berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuk Lahan di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Jurnal Riset Daerah, 12 (1): 1753-1777
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly Report of RTRI, 30 (1): 25-33
- Noor, Djauhari. 2012. *Pengantar Mitigasi Bencana Geologi*. [Online]. Diakses di: www.academia.edu [13 April 2016]
- Partono, W., Irsyam, M., Prabandiyani, S., Marif, S. 2013. *Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang*. Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil, 19 (2): 125-134, Desember 2013
- Santoso, S., dan Suwanti, T. 1992. *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sujanto, Chaniago, R H., Kusnama, R., Baharuddin. 1992. *Peta Geologi Lembar Turen, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sunardi, B., dkk. 2012. *Kajian Potensi Bahaya Gempa Bumi Daerah Sumbawa berdasarkan Efek Tapak Lokal*. Jurnal BMKG, 13(2): 131-137
- Sungkono dan Santosa. 2011. *Karakterisasi Kurva Horizontal to Vertical Ratio Kajian Literatur dan Permodelan*. Jurnal Neutrino, 4 (1). Oktober 2011
- Zhao., John X., et al. *Site Classification for Strong-Motion Stations in Japan Using H/V Response Spectral Ratio*. Canada: 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004; Paper No. 1278.