



Analisis *Ground Motion* di Selatan Gunung Api Ungaran Berdasarkan Mikrozonasi Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR)

Muhammad Khemal Amrullah^{1*}, Maulana Rizki Aditama¹, FX Anjar Tri Laksono¹, Asmoro Widagdo¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

Abstrak

Salah satu mitigasi bencana yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi daerah yang berpotensi mengalami pergerakan tanah adalah analisis mikrotremor dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) yang menghasilkan parameter frekuensi dominan dan amplifikasi. Kedua data tersebut digunakan untuk mencari nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan sedimen, dan *peak ground acceleration* yang dijadikan sebagai parameter untuk dianalisis dalam mengidentifikasi daerah yang berpotensi mengalami pergerakan tanah. Pada daerah penelitian nilai indeks kerentanan seismik terendah 0,15 s²/cm dan tertinggi 33,74 s²/cm, ketebalan sedimen paling tipis pada Vs 175 m/s adalah 3,24 m dan ketebalan lapisan sedimen paling tebal adalah 33,71 m, sedangkan pada Vs 350 m/s ketebalan paling tipis adalah 6,48 m dan ketebalan sedimen paling tebal adalah 67,43 m, serta nilai *peak ground acceleration* paling tinggi adalah 48,48 gal dan paling rendah adalah 14,91 gal. Berdasarkan analisis data mikrotremor, nilai indeks kerentanan seismik, lapisan sedimen, *depth of boundary*, dan *peak ground acceleration*, daerah yang memiliki potensi pergerakan tanah yang relatif tinggi berada di titik MS12, MS14, MS15, MS20, MS21, dan MS23.

Kata kunci: Gempabumi; HVSR; Kerentanan Seismik; Ketebalan Lapisan; Mikrotremor; PGA.

Abstract

One way to mitigate disasters that can be done is to identify areas that have the potential to experience ground movement potential. A useful method is microtremor analysis with the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method which recorded dominant frequency parameters (f₀) and amplification (A₀). These two data are used to find the value of the seismic vulnerability index, the thickness of the sediment layer, and the peak ground acceleration which are used as parameters to be analyzed in identifying areas that have the potential to experience ground movement. In the research area the lowest seismic susceptibility index value was 0.15 s²/cm and the highest was 33.74 s²/cm, the thickness of the thinnest sediment at Vs 175 m/s was 3.24 m and the thickness of the thickest sediment layer was 33.71 m. whereas at Vs 350 m/s the thinnest thickness is 6.48 m and the thickest sediment thickness is 67.43 m, and the highest peak ground acceleration value is 48.48 gal and the lowest is 14, 91 gal. Based on the analysis of microtremor data, seismic vulnerability index values, sediment layers, depth of boundary, and peak ground acceleration, areas that have relatively high ground movement potential are at points MS12, MS14, MS15, MS20, MS21, and MS23.

Keywords: Earthquakes; HVSR; Seismic Susceptibility; Layer Thickness; Microtremor; PGA.

PENDAHULUAN

Gunung Ungaran adalah salah satu gunung berapi yang terletak di Pulau Jawa, dengan ketinggian 2.050 m diatas permukaan laut. Gunung Ungaran di klasifikasikan tipe gunung api B yaitu tipe Gunung Api yang sejak tahun 1600 tidak

mengalami erupsi magmatik lagi, tapi masih memperlihatkan aktivitas fumarol (Suwarno dkk., 2019). Secara fisiografi daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Gunung Api Kuartar (van Bemmelen, 1949). Daerah penelitian mencakup beberapa formasi diantaranya dari tua

*) Korespondensi: muhammad.amrullah011@mhs.unsoed.ac.id

Diajukan : 2 Maret 2021

Diterima : 31 Agustus 2021

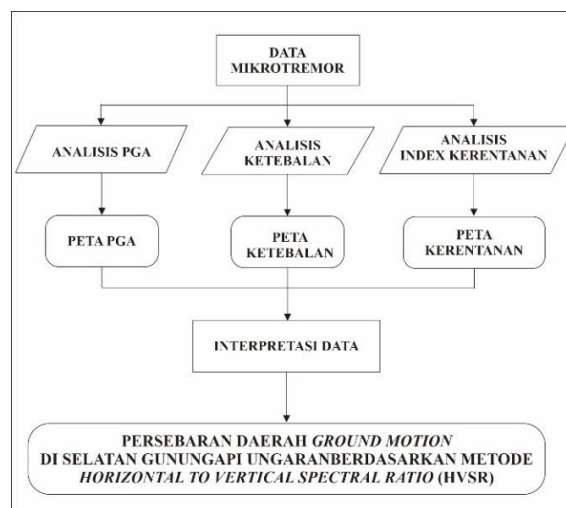
Diterbitkan : 3 Desember 2021

ke muda yaitu Formasi Kaligetas (Qpkg), Batuan Gunungapi Gajahmungkur (Qhg), dan Lava Gunung Sumbing (Qls), serta termasuk kedalam pola struktur jawa yang memiliki orientasi berarah barat – timur berdasarkan keterangan pola struktur geologi di Pulau Jawa (van Bemmelen, 1949). Lokasi penelitian yang berada di kawasan gunung api dan dekat dengan sumber gempa bumi Yogyakarta, menarik untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *ground motion* yang disebabkan oleh pengaruh tektonik dan mengetahui sebaran zonasi potensi kerentanan tanah yang dihasilkan dari aktivitas tektonik dengan melakukan penelitian mikrotremor secara kuantitatif.

Penelitian mikrotremor adalah penelitian yang memanfaatkan getaran atau gelombang lingkungan yang berasal dari dua sumber utama (Susilanto dkk., 2016), yaitu kondisi alam dan aktivitas manusia (disebut *ambient vibrations*) yang muncul di sekitar lokasi *seismometer*, selanjutnya analisis mikrotremor dilakukan dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) (Nardone dan Maresca, 2011). Pengolahan data mikrotremor dengan menggunakan metode HVSr menghasilkan parameter frekuensi dominan (f_0) dan amplifikasi (A_0) (Aditama dkk., 2019). Kedua data tersebut digunakan untuk mencari nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan sedimen, dan *peak ground acceleration* yang dijadikan sebagai parameter untuk dianalisis dalam mengidentifikasi daerah yang berpotensi mengalami pergerakan tanah (Brotopuspito dkk., 2006; Aditama dkk., 2020). Marin dkk. (2015) menyimpulkan, gaya tektonik regional menyumbangkan tegangan horizontal maksimum yang bergabung dengan tegangan gravitasional tubuh gunung api membentuk struktur vulkanotektonik di Gunung Ungaran.

METODOLOGI

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) adalah suatu metode yang digunakan untuk menghitung rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertical dari gelombang mikrotremor (Wahyuni dan Wahyudi, 2011). Hasil analisis HVSr menghasilkan sebuah spektrum HVSr dengan puncak spektrum pada frekuensi resonansinya. Frekuensi resonansi (f_0) dan puncak spektrum mikrotremor (A_0) merupakan parameter yang mencerminkan



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

karakteristik dinamika lapisan tanah permukaan (Nakamura, 1989).

Setelah didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0), kemudian kedua data tersebut digunakan untuk mencari nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan sedimen, dan *peak ground acceleration* (PGA) menggunakan pendekatan empiris yang dijadikan sebagai parameter untuk dianalisis dalam mengidentifikasi daerah yang berpotensi mengalami pergerakan tanah (Mirzaoglu dan Dýkmen, 2003). Setelah didapatkan semua hasil dengan menggunakan pendekatan empiris, peneliti membuat peta mikrozonasi berdasarkan hasil perhitungan yang telah di dapatkan dengan bantuan *software Surfer 13* (Nardone dan Maresca, 2011). Alur dan tahapan pengerjaan digambarkan pada Gambar 1.

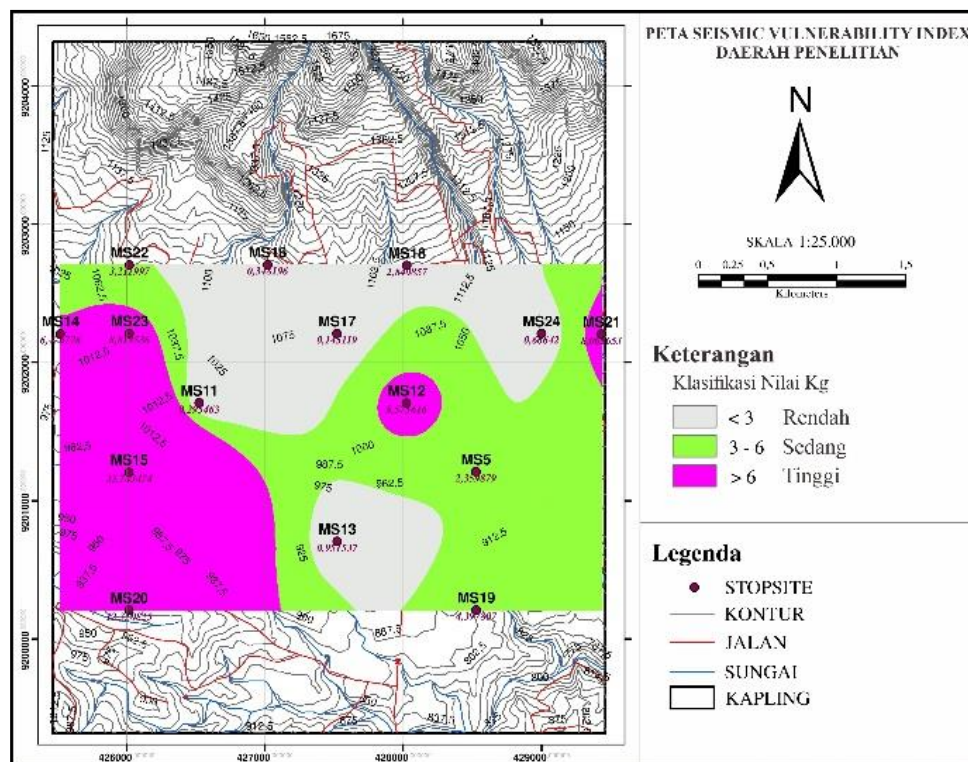
HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik (K_g) dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kerentanan dan potensi kerusakan terhadap pergerakan tanah (Aditama dkk., 2019). Besarnya indeks kerentanan seismik (K_g) tergantung pada besarnya nilai frekuensi dominan (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0), serta berbanding lurus dengan ketebalan lapisan sedimen (h). Pada daerah penelitian wilayah barat dan timur memiliki nilai indeks kerentanan seismik dan ketebalan lapisan sedimen yang relatif besar. Dapat disimpulkan bahwa jika keberadaan batuan lunak yang tebal dapat menghasilkan nilai f_0 yang cenderung rendah dan nilai A_0 yang cenderung tinggi, sehingga hasil

Tabel 1. Tabel data Nilai Indeks Kerentanan Gempa pada lokasi penelitian.

Seismic Vulnerability Index / Indeks Kerentanan Gempa					
Point	UTM - point		f0 (Hz)	A0	Kg
	latitude	longitude			
	(meter)	(meter)			
MS15	426019	9201205	1,87739	7,95925	33,74
MS14	425521	9202207	2,88098	4,31966	6,48
MS21	429435	9202203	2,06938	4,08545	8,07
MS22	426020	9202704	9,03655	5,38752	3,21
MS16	427021	9202706	7,89316	1,65782	0,35
MS18	428027	9202701	1,29765	1,92001	2,84
MS24	429002	9202208	3,74513	1,57982	0,67
MS23	426020	9202209	2,59838	4,78549	8,81
MS17	427522	9202208	13,5067	1,40003	0,15
MS5	428527	9201208	3,9990	3,07198	2,36
MS12	428025	9201705	2,87309	4,96372	8,58
MS11	426524	9201706	8,62455	1,59632	0,30
MS13	427525	9200704	6,97526	2,57628	0,95
MS19	428530	9200208	4,23915	4,31775	4,40
MS20	426018	9200207	2,11199	5,10733	12,35



Gambar 2. Indeks Kerentanan Seismik di selatan Gunung Api Ungaran dan sekitarnya.

dari perhitungan menghasilkan nilai Kg yang tinggi, karena semakin tebal batuan lunak yang berada di permukaan berpotensi besar mengalami kerusakan yang parah.

Berdasarkan indeks kerentanan seismik (Kg) yang diperoleh, dapat dilihat bahwa daerah penelitian memiliki indeks kerentanan seismik

(Kg) yang terbagi kedalam tiga zona yaitu zona rendah ($Kg < 3$), sedang ($3 < Kg < 6$), dan tinggi ($Kg > 6$) (Refrizon dkk., 2013). Hal ini disebabkan karena daerah penelitian memiliki ketebalan lapisan sedimen yang cukup tebal. Persebaran indeks kerentanan seismik (Kg) ditunjukkan pada Gambar 2. Indeks kerentanan

seismik juga dapat menunjukkan kerentanan suatu daerah yang terkena dampak akibat guncangan atau pergerakan lapisan batuan. Semakin tinggi indeks kerentanan seismik suatu daerah maka semakin rentan daerah tersebut terkena dampak akibat guncangan.

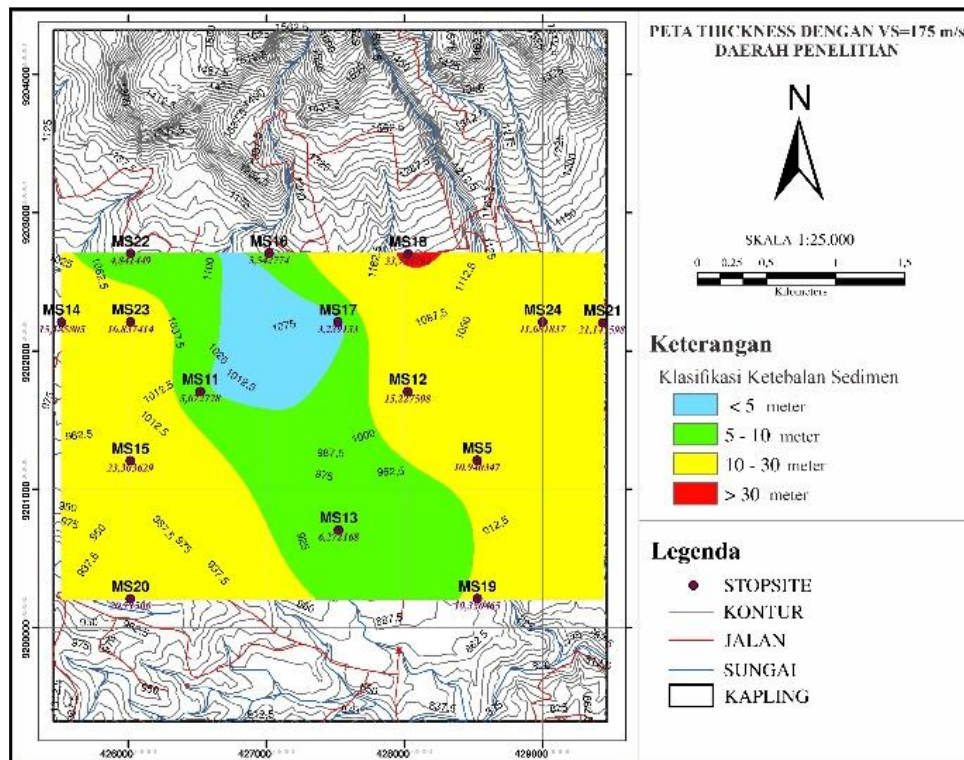
Peta persebaran indeks kerentanan gempa, nilai K_g yang cenderung tinggi berada di titik MS14, MS15, MS20, dan MS23 yang memiliki nilai K_g antara $6,48 \text{ s}^2/\text{cm}$ hingga $33,74 \text{ s}^2/\text{cm}$. Sedangkan nilai K_g yang cenderung rendah berada pada titik MS13, MS11, MS16, MS17, dan MS24 yang memiliki nilai K_g antara $0,15 \text{ s}^2/\text{cm}$ hingga $0,95 \text{ s}^2/\text{cm}$, arah distribusi dari nilai indeks kerentanan gempa tertinggi berada di wilayah barat dan timur daerah penelitian.

Ketebalan dan Kedalaman Lapisan Batuan

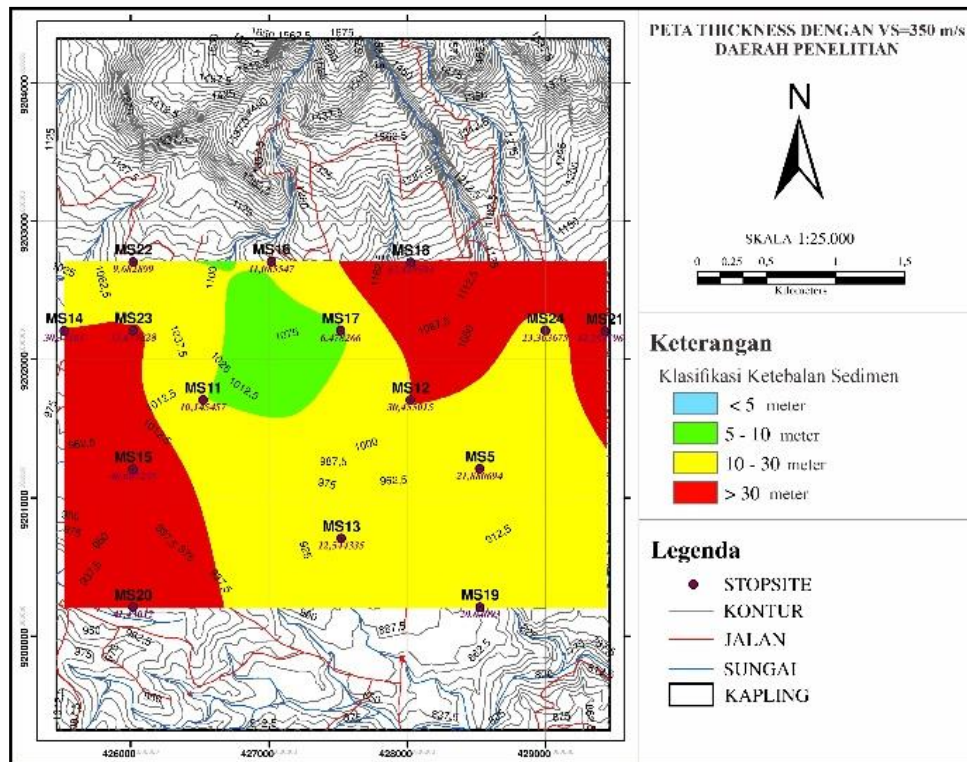
Ketebalan lapisan sedimen (h) dapat diperoleh dari nilai frekuensi dominan (f_0) dan kecepatan gelombang geser (V_s), jika nilai V_s tinggi maka nilai *thickness* akan semakin tinggi dan jika nilai f_0 yang cenderung tinggi maka nilai *thickness* akan semakin kecil. Berdasarkan persamaan untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen, penulis menggunakan dua nilai klasifikasi

simulasi kecepatan gelombang geser bawah permukaan (V_s) dari klasifikasi Badan Standardisasi Nasional, yaitu dengan menggunakan V_s 175 m/s dan V_s 350 m/s.

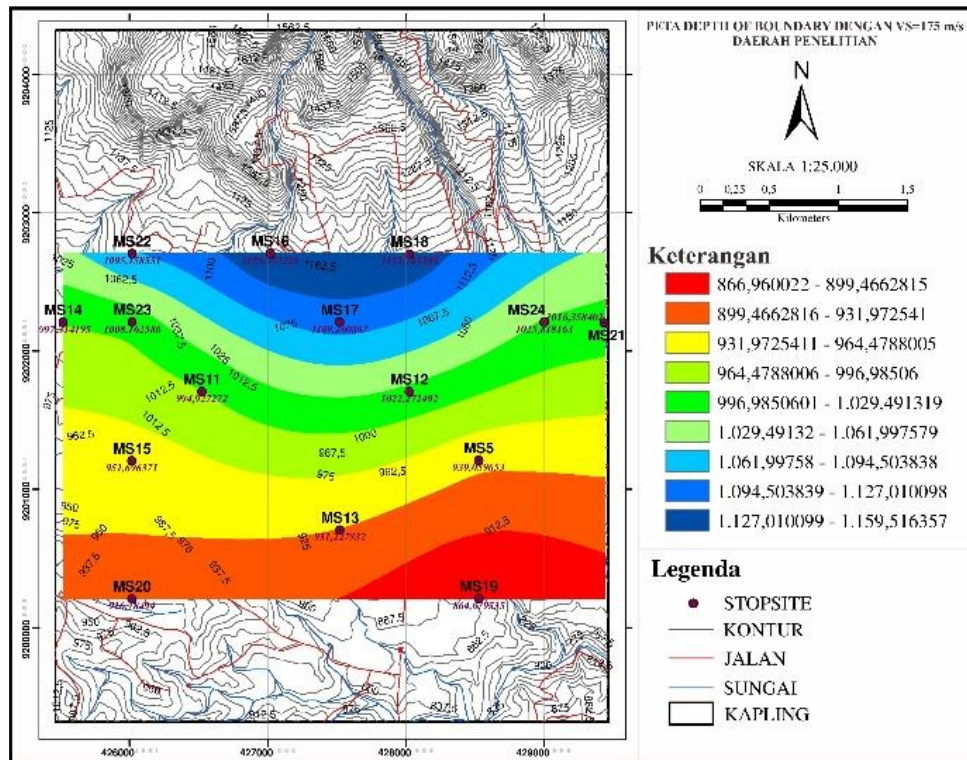
Persebaran ketebalan lapisan sedimen di daerah penelitian berada di formasi Batuan Gunungapi Gajahmungkur (Qhg) yang terdiri dari andesit hornblend berasal dari aliran lava berumur Kuartar-Holosen, persebaran tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Berdasarkan perhitungan pada nilai V_s 175 m/s, didapatkan nilai *thickness* tertinggi adalah 33,71 m yang berada pada titik MS18, dan nilai *thickness* terendah adalah 3,24 m yang berada pada titik MS17. Merujuk pada klasifikasi Kanai, maka didapatkan empat jenis ketebalan lapisan sedimen daerah penelitian yaitu jenis I dengan nilai ketebalan kurang dari 5 m, jenis II dengan ketebalan kategori menengah 5–10 m, jenis III dengan ketebalan lapisan sedimen 10–30 m, dan jenis IV dengan ketebalan lapisan sedimen lebih dari 30 m. Sedangkan berdasarkan perhitungan pada nilai V_s 350 m/s, didapatkan nilai *thickness* tertinggi adalah 67,43 m yang berada pada titik MS18, dan nilai *thickness* terendah adalah 6,48 m yang berada pada titik MS17.



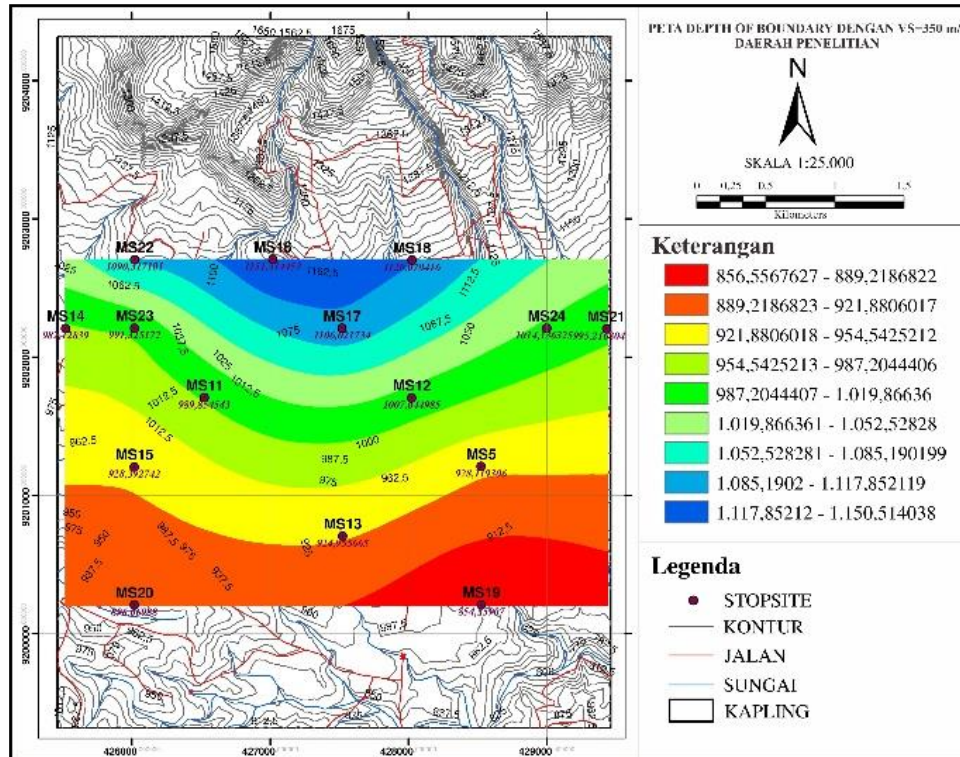
Gambar 3. Peta Ketebalan dengan $V_s = 175 \text{ m/s}$ di selatan Gunung Api Ungaran dan sekitarnya.



Gambar 4. Peta Ketebalan dengan $V_s = 350$ m/s di selatan Gunung Api Ungaran dan sekitarnya.



Gambar 5. Peta Kedalaman dengan $V_s = 175$ m/s di selatan Gunung Api Ungaran dan sekitarnya.



Gambar 6. Peta Kedalaman dengan Vs = 350 m/s di selatan Gunung Api Ungaran dan sekitarnya.

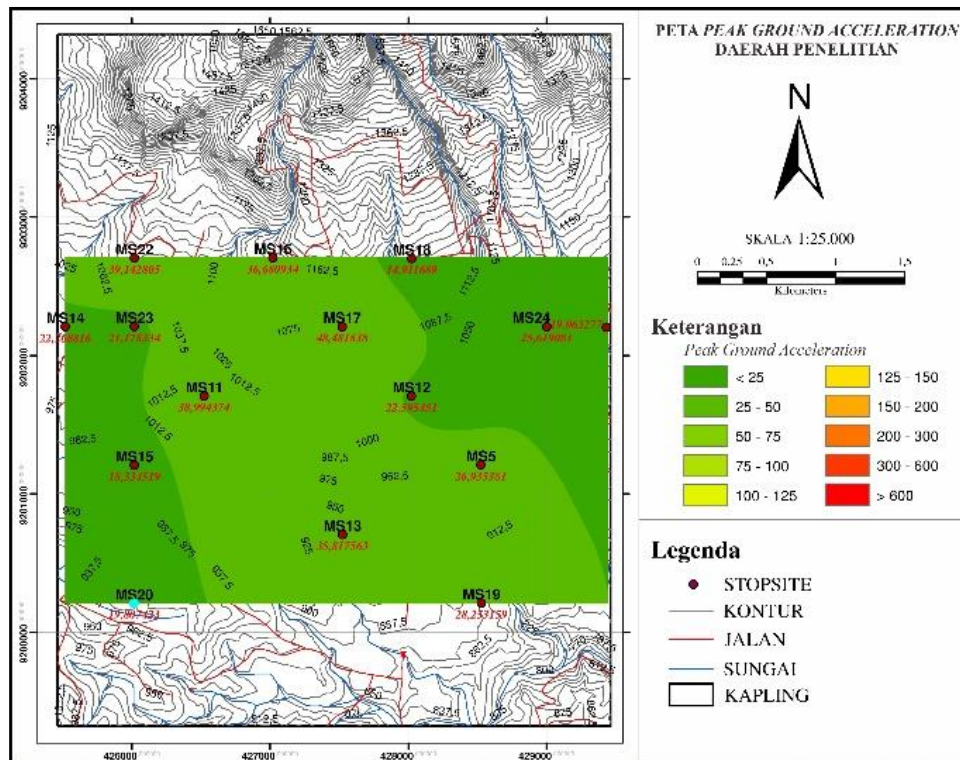
Merujuk pada klasifikasi Kanai, maka didapatkan tiga jenis ketebalan lapisan sedimen daerah penelitian yaitu jenis II dengan ketebalan kategori menengah 5–10 m, jenis III dengan ketebalan lapisan sedimen tebal sekitar 10–30 m, dan jenis IV dengan ketebalan lapisan sedimen sangat tebal lebih dari 30 m.

Berdasarkan peta persebaran ketebalan lapisan sedimen, daerah penelitian dengan lapisan sedimen yang lebih tebal akan menyebabkan daerah tersebut memiliki potensi yang besar untuk mengalami pergerakan tanah dan memiliki resiko kerusakan yang besar dibandingkan dengan daerah yang memiliki nilai ketebalan yang lebih kecil.

Selain menentukan nilai ketebalan lapisan, dilakukan perhitungan *depth of boundary* yang dipengaruhi dari perhitungan nilai *altitude* yang dikurangi dengan nilai *thickness* yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Dari perhitungan yang telah dilakukan, nilai *depth of boundary* tertinggi terdapat di titik MS16 yang memiliki nilai masing-masing dari Vs 175 m/s dan Vs 350 m/s adalah 1156,95 m dan 1151,41, sedangkan nilai terendah berada di titik MS19 dengan nilai masing-masing dari Vs 175 m/s dan Vs 350 m/s adalah 864,68 m dan 854,36 m.

Peak Ground Acceleration

Peak Ground Acceleration (PGA) adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempa bumi. Nilai *PGA* di permukaan dihitung menggunakan metode Kanai. Nilai *PGA* dihitung menggunakan parameter gempabumi yang memiliki magnitudo yang paling besar dengan jarak episenter yang paling dekat dengan lokasi penelitian. Parameter gempabumi yang digunakan terjadi pada 26 Mei 2006 dengan magnitudo 6,3 skala Richter dan kedalaman 12,5 km. Berdasarkan perhitungan *PGA* daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 7, didapatkan nilai *PGA* terbesar adalah 48,48gal / 0,0494g pada titik MS17 dan nilai *PGA* terendah pada daerah penelitian adalah 14,91gal / 0,0152g pada titik MS18. Berdasarkan peta *peak ground acceleration* yang berada di daerah penelitian, terlihat nilai *PGA* lebih besar relatif berada di tengah, sedangkan pada daerah timur dan barat cenderung memiliki nilai *PGA* yang rendah. Daerah penelitian mendominasi kontribusi nilai *PGA* yang kecil berdasarkan gempabumi Yogyakarta tahun 2006 jarak dari posisi sumber gempa dengan lokasi penelitian relatif cukup jauh sehingga menyebabkan nilai *PGA* pada daerah penelitian dengan klasifikasi tingkat resiko relatif



Gambar 7. Peta Peak Ground Acceleration (PGA) di selatan Gunung Api Ungaran dan sekitarnya.

kecil. Daerah yang memiliki nilai PGA yang rendah berarti memiliki nilai frekuensi dominan yang rendah juga.

KESIMPULAN

Nilai frekuensi dominan di daerah penelitian memiliki nilai terendah 1,3 Hz dan nilai tertinggi 13,5 Hz, nilai amplifikasi yang rendah adalah 1,4 dan nilai amplifikasi yang tinggi adalah 7,9, indeks kerentanan seismik terendah 0,15 s²/cm dan tertinggi 33,74 s²/cm, nilai tertinggi dari setiap komponen tersebut berada di barat daerah penelitian. Ketebalan sedimen paling tipis pada Vs 175 m/s adalah 3,24 m dan ketebalan lapisan sedimen paling tebal 33,71 m, sedangkan pada Vs 350 m/s ketebalan paling tipis adalah 6,48 m dan ketebalan sedimen paling tebal adalah 67,43 m, ketebalan sedimen yang besar dari perhitungan kedua Vs berada di daerah barat dan timur pada daerah penelitian. Nilai *depth of boundary* tertinggi masing-masing dari Vs 175 m/s dan Vs 350 m/s adalah 1.156,95 m dan 1.151,41 m, sedangkan nilai terendah masing-masing dari Vs 175 m/s dan Vs 350 m/s adalah 864,68 m dan 854,36 m, nilai ini dipengaruhi oleh ketinggian yang berada di lokasi penelitian, daerah utara memiliki nilai *depth of boundary* yang lebih

tinggi dari daerah selatan. Nilai *peak ground acceleration* paling tinggi adalah 48,48 gal / 0,00494 g dan paling rendah adalah 14,91 gal / 0,00152 g, nilai PGA yang rendah berada di barat dan timur daerah penelitian merupakan wilayah dengan potensi pergerakan tanah yang relatif tinggi. Berdasarkan analisis data microtremor, nilai indeks kerentanan seismik, lapisan sedimen, *depth of boundary*, dan *peak ground acceleration*, daerah yang memiliki potensi pergerakan tanah yang relatif tinggi berada di titik MS12, MS14, MS15, MS20, MS21, dan MS23.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Aditama, M.R., Khan, J., O'Neill, J., Sismanto. 2019. Structural framework and its compartmentalisation within the associated uncertainties: A case study from the Statfjord Reservoir, Northern North Sea. *Journal of Physics: Conference Series*, 1367. doi:

- 10.1088/1742-6596/1367/1/012038.
- Aditama, M.R., Sunan, H.Z., Laksono, F.X.A.T., Ramadhan, G., Iswahyudi, S., Fadlin., 2021. Integrated Subsurface Analysis of Thickness and Density for Liquefaction Hazard: Case Study of South Cilacap Region, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 6(1). doi: 10.25299/jgeet.2021.6.1.5892.
- Aditama, M.R., Saadi, A.G. dan Nurcahya, B.E., 2020. Investigasi Kerentanan Tanah Berpotensi Likuifikasi Menggunakan Metode Mikroseismik Di Wilayah Prambanan, Yogyakarta. *Dinamika Rekayasa*, 16(2). doi: 10.20884/1.dr.2020.16.2.323.
- Brotospito, K.S., Prasetya, T. dan Widigdo, F. M., 2006. Percepatan Getaran Tanah Maksimum Daerah Istimewa Yogyakarta 1943-2006. *Jurnal Geofisika*.
- Mirzaoglu, M. dan Dýkmen, Ü., 2002. Application of microtremors to seismic microzoning procedure. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 6(3), hal.143-156.
- Nakamura, Y., 1989. Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute)*, 30(1).
- Nardone, L. dan Maresca, R., 2011. Shallow velocity structure and site effects at Mt. Vesuvius, Italy, from HVSr and array measurements of ambient vibrations. *Bulletin of the Seismological Society of America*. doi: 10.1785/0120100165.
- Refrizon, Hadi, A.I., Lestari, K., Oktari, T., 2013. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata FMIPA*, 1(1).
- Susilanto, P., Ngadmanto, D., Daryono, Hardy, T., Pakpahan, S., 2016. Penerapan Metode Mikrotremor HVSr untuk Penentuan Respons Dinamika Kegempaan di Kota Padang. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 7(2).
- Suwarno, Sutomo, Aditama, M.R., 2019. The analysis of the landslide vulnerability sub watersheds arus in banyumas regency. *Geographia Technica*, 14(2). doi: 10.21163/GT_2019.142.10.
- van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos*. Government Printing Office, The Hague.
- Wahyuni, A. dan Wahyudi, 2011. Kajian Potensi Resonansi Getaran Gedung Akibat Gempa Bumi. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan 2011*.