

Analisis Indeks Kerentanan Seismik di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang Menggunakan Metode HVSR

Seismic Vulnerability Index Analysis in Kalongan Village, East Ungaran District, Semarang Regency Using the HVSR Method

Nur Faghina Mentari¹, Dwi Budi Susanti², Andi¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga, Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281

²Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Jitengan, Balekatun, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55295

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 7 Desember 2023
Naskah diperbaiki : 4 Januari 2023
Naskah diterima : 4 Januari 2023

Kata kunci:

Frekuensi dominan
faktor amplifikasi
indeks kerentanan seismik
HVSR
Desa Kalongan

Keywords:

Dominant frequency
amplification factor
seismic vulnerability index
HVSR
Kalongan Village

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai indeks kerentanan seismik (K_g) di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang. Penelitian ini menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan nilai frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), serta menganalisis nilai indeks kerentanan seismik (K_g) berdasarkan akuisisi data di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang pada tanggal 1 sampai 4 Juni 2023. Sinyal mikrotremor dibaca melalui software Geopsy untuk memperoleh nilai f_0 dan A_0 yang nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai K_g . Dari hasil pengolahan data diperoleh nilai f_0 yang bervariasi, yaitu antara 0.5-11.9 Hz. Sama dengan nilai f_0 , nilai A_0 dan K_g juga bervariasi yaitu sebesar 1.6-3.8 dan 0.5-18.8. Berdasarkan peta kontur indeks K_g , Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur mempunyai indeks kerentanan rendah hingga tinggi.

ABSTRACT

Research has been conducted on the seismic vulnerability index (K_g) in Kalongan Village, East Ungaran District, Semarang Regency. This study used the *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) method. The purpose of this study is to determine the dominant frequency value (f_0), amplification factor (A_0), and K_g and analyze the value of the seismic vulnerability index based on data acquisition in Kalongan Village, East Ungaran District, Semarang Regency from June 1 to 4, 2023. Microtremor signals will be read through Geopsy software to obtain f_0 and A_0 values which will later be used to calculate K_g values in Ms. Excel. From the results of data processing, varying f_0 values were obtained, which were between 0.5-11.9 Hz. Similar to f_0 values, A_0 and K_g values also varied, namely 1.6-3.8 and 0.5-18.8. Based on the contour map of the K_g index, Kalongan Village, East Ungaran District has a low to high vulnerability index.

© 2023 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia terletak pada tatanan geologi yang khas, yaitu pada pertemuan tiga lempeng utama; Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Interaksi ketiga lempeng tersebut membentuk bentang alam berupa pegunungan dan perbukitan dengan kemiringan lereng terjal, jenis litologi yang bervariasi, dan struktur geologi yang kompleks. Posisi geografis Indonesia yang terletak di daerah tropis dengan curah hujan tinggi meningkatkan tingkat pelapukan batuan yang tinggi, sehingga wilayah Indonesia memiliki sebaran kawasan rentan gerakan tanah yang luas. Bencana gerakan tanah atau tanah longsor merupakan salah satu bencana yang memiliki sebaran cukup luas di Indonesia [1].

Salah satu daerah yang terdampak tanah longsor yaitu di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis, Kecamatan Ungaran merupakan daerah yang memiliki lereng-lereng, sehingga menjadikan tanah pada daerah tersebut tidak stabil. Bencana tanah longsor menimbulkan beberapa kerusakan, seperti rusaknya fasilitas umum, lahan pertanian, maupun terhambatnya aktivitas masyarakat.

Bencana tanah longsor menimbulkan resiko atau bahaya bagi kehidupan manusia. Hal ini mendorong masyarakat sekitar untuk memahami, mencegah, dan menanggulangi bencana tersebut untuk jaminan keselamatannya. Upaya mitigasi bencana tanah longsor dapat dilakukan secara struktural maupun non-struktural [1]. Salah satu upaya mitigasi yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan analisis mengenai indeks kerentanan seismik sekitar

longsoran menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode HVSR membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor [2].

Gempa bumi merupakan getaran asli dari dalam bumi, bersumber di dalam bumi yang kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras. Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi (tektonik), aktivitas gunungapi, akibat jatuhnya meteor, longsoran (di bawah permukaan air laut), ledakan bom nuklir di bawah permukaan [3]. Akibat getaran-getaran ini, maka kulit bumi terpecah-pecah menjadi bagian-bagian berupa lempengan yang saling bergerak satu sama lain, yang kemudian disebut dengan lempeng tektonik [4].

Besar kecilnya skala gempa bumi yang terjadi pada suatu wilayah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu yang pertama adalah hiposenter yang merupakan pusat gempa bumi, kemudian skala atau magnitudo gempa yang merupakan ukuran energi yang dipancarkan oleh sumber gempa bumi. Magnitudo gempa dapat diukur menggunakan seismograf dan dinyatakan dalam satuan Skala Richter. Faktor selanjutnya yaitu durasi atau lama terjadinya gempa dan kedalaman sumber gempa. Semakin dalam pusat gempa maka getaran gempa yang dirasakan semakin rendah [5].

Mikrotremor. Metode mikrotremor merupakan getaran *ambient* dari tanah yang terjadi dari tanah yang terjadi akibat adanya gangguan buatan seperti angin, gelombang laut, lalu lintas, dan mesin industri. Level amplitudo pada mikrotremor kurang dari beberapa mikron sekitar 0.1-1 mikron dengan amplitude velocity 0.0001-0.01 cm/s [6]. Menurut Mirzaoglu dan Dykmen [7], mikrotremor berdasarkan rentang periodenya dapat dibagi menjadi mikrotremor periode pendek dan mikrotremor periode panjang. Mikrotremor periode pendek berada pada periode kurang dari 1 detik. Periode ini hanya terkait pada struktur bawah permukaan yang dangkal. Sedangkan mikrotremor periode panjang berada pada periode lebih dari 1 detik dan terkait dengan struktur yang lebih dalam menuju ke dasar batuan keras.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan menganalisis sebaran frekuensi dominan, faktor amplifikasi dan indeks kerentanan seismik di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang.

2. Metode Penelitian

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Iragashi yang menyatakan adanya hubungan antara perbandingan komponen horizontal dan vertikal terhadap kurva eliptisitas pada gelombang Rayleigh yang kemudian disempurnakan oleh Nakamura [2]. Nakamura memaparkan bahwa metode HVSR adalah penentuan

sinyal vertikal dengan sinyal horizontal yang diperoleh dari pengukuran sinyal mikrotremor pada suatu lokasi untuk mengetahui karakteristik dinamis lapisan permukaan. Metode ini dapat menunjukkan adanya korelasi yang tepat dengan frekuensi alami dasar medium pada lapisan lunak (*soft soil*) [8].

Nakamura mencoba memisahkan efek sumber gelombang dengan efek geologi dengan cara menormalisir spektrum pada titik ukur yang sama. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berbeda pada batuan keras, nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal mendekati satu. Sedangkan pada stasiun yang berada pada batuan lunak, rasio nilai maksimumnya mengalami perbesaran (amplifikasi), yaitu lebih besar dari satu [8].

Adapun persamaan yang digunakan dalam perhitungan HVSR yaitu [9]:

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \frac{\sqrt{[(S_{Utara-Selatan})^2 + (S_{Barat-Timur})^2]}}{S_{Vertikal}} \quad (1)$$

Dengan T_{SITE} adalah *site effect* pada lapisan sedimen permukaan, S_{HS} adalah spektrum dari komponen horizontal sinyal mikrotremor di permukaan tanah, dan S_{VS} adalah spektrum gerak vertikal sinyal mikrotremor di permukaan tanah. Metode HVSR menghasilkan spektrum mikrotremor dengan puncak spektrum pada frekuensi dominannya. Nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi adalah parameter yang memberikan informasi mengenai karakteristik dinamis dan struktur lapisan tanah [9].

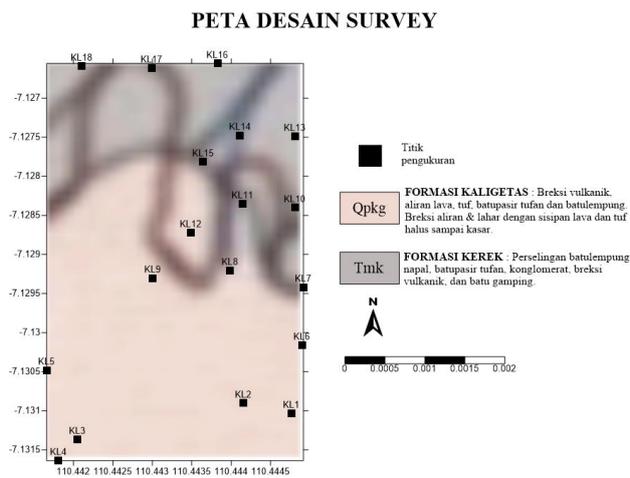
Indeks Kerentanan Seismik (K_g). Salah satu parameter yang dinilai dalam pengukuran mikroseismik pada mikrozonasi gempa adalah indeks kerentanan tanah atau biasa disebut juga indeks kerentanan seismik [10]. Indeks kerentanan seismik merupakan suatu nilai yang menunjukkan tingkat kerawanan terhadap gempa bumi berdasarkan kondisi batuan di suatu daerah. Nilai kerentanan seismik ini berbeda di setiap daerah [6]. Wilayah yang mempunyai indeks kerentanan seismik yang rendah berpotensi kecil mengalami kerusakan saat terjadinya gempa bumi. Sedangkan daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik tinggi berpotensi besar mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi [11]. Nilai indeks kerentanan seismik dapat dirumuskan sebagai [8].

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \frac{1}{\pi^2 v_b} \quad (2)$$

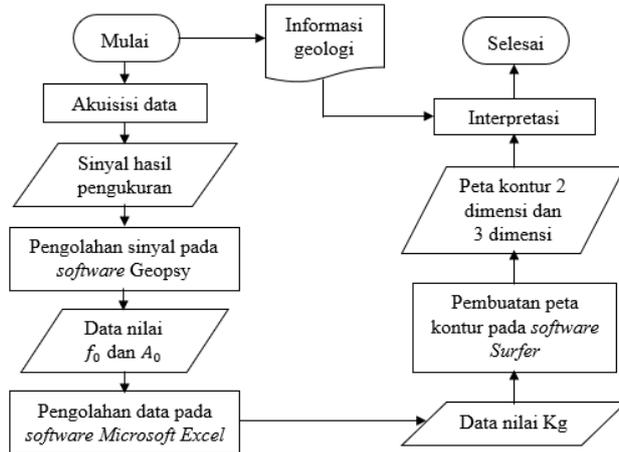
Dengan A_0 adalah nilai faktor amplifikasi, f_0 adalah frekuensi dominan, dan v_b adalah nilai frekuensi dominan pada bawah permukaan tanah. Nilai v_b pada suatu daerah mendekati nilai konstan, sehingga indeks kerentanan

seismik menunjukkan kerentanan suatu daerah untuk terdeformasi yang diukur pada suatu titik.

Pada penelitian ini menggunakan data mikrotremor primer hasil akuisisi data di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang pada tanggal 1 hingga 4 Juni 2023. Data meliputi koordinat, waktu pengukuran, kondisi sekitar titik pengukuran, dan kurva HVSR yang terukur sebanyak 18 titik pengukuran dengan metode HVSR. Peta desain survei daerah peneliti ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun tahapan penelitian yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta desain survei daerah penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

3. Hasil Dan Pembahasan

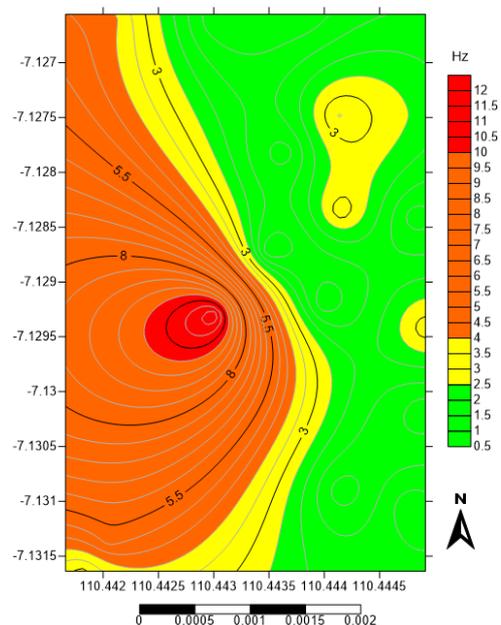
Indeks kerentanan seismik (K_g), frekuensi dominan (f_0), dan faktor amplifikasi (A_0) yang diperoleh dari setiap titik penelitian dapat dibuat peta mikrozonasi. Pemodelan mikrozonasi tersebut di *overlay* pada batas koordinat, geologi, dan titik pengukuran. Berdasarkan peta geologi yang ditunjukkan pada peta desain survei daerah penelitian

berada pada dua formasi geologi, yaitu Formasi Kaligetas dan Formasi Kerek.

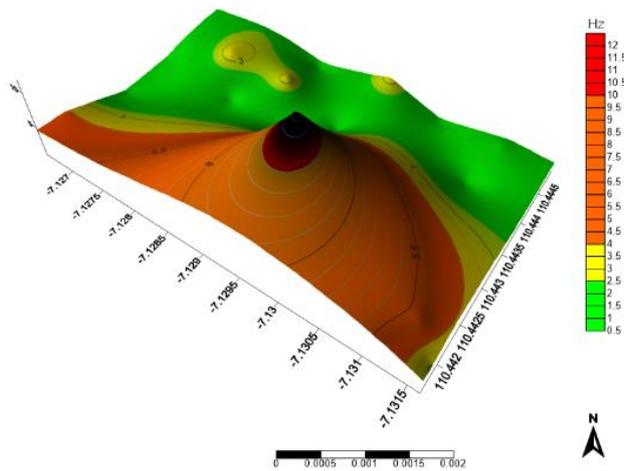
Frekuensi Dominan (f_0). Nilai frekuensi dominan merupakan cerminan dari kondisi fisik tanah yaitu tebal atau tipisnya lapisan sedimen bawah permukaan suatu daerah. Frekuensi dominan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (*bedrock*) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Pada daerah yang memiliki lapisan sedimen yang lebih tebal akan cenderung memiliki nilai frekuensi dominan yang semakin kecil [11].

Peta frekuensi dominan menghasilkan peta yang berwarna hijau yaitu dengan nilai f_0 0.6-2.5 Hz yang termasuk kedalam f_0 tipe I, peta berwarna kuning dengan rentang nilai 2.5-4 Hz termasuk kedalam tipe II, peta berwarna orange dengan rentang nilai 4-10 Hz termasuk kedalam tipe III, dan peta berwarna merah dengan rentang nilai 10-11.9 Hz termasuk kedalam tipe IV (Gambar 3 dan 4). Nilai f_0 yang rendah dikarenakan wilayah pada daerah timur merupakan tanah yang lunak yaitu jenis sedimen yang tebal. Sedangkan peta yang berwarna merah merupakan wilayah dengan tanah jenis sedimen yang tipis atau disebut tanah keras.

Faktor Amplifikasi. Dalam pengolahan data HVSR didapatkan juga nilai faktor amplifikasi (A_0). Faktor amplifikasi berbanding terbalik dengan kecepatan gelombang geser, semakin kecil kecepatan gelombang maka faktor amplifikasi semakin besar [12]. Nilai amplifikasi di Desa Kalongan, tepatnya di sebelah timur longoran berkisar 1.6 – 3.8 seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. nilai tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan nilai tinggi rendahnya seperti pada Tabel 1. [10].



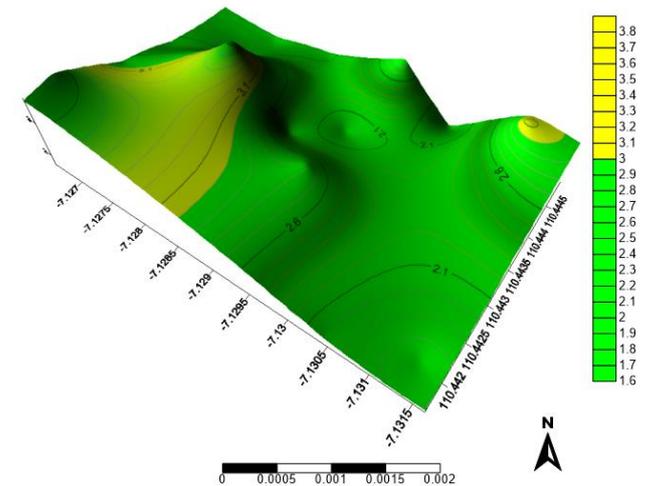
Gambar 3. Peta kontur sebaran nilai f_0 2D.



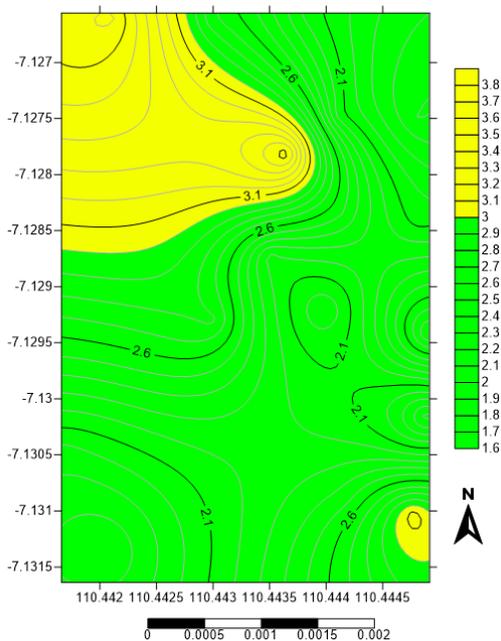
Gambar 4. Peta kontur sebaran nilai f_0 3D.

Tabel 1. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi.

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A \leq 6$
3	Tinggi	$6 \leq A \leq 9$
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$



Gambar 6. Peta kontur sebaran nilai A_0 3D.



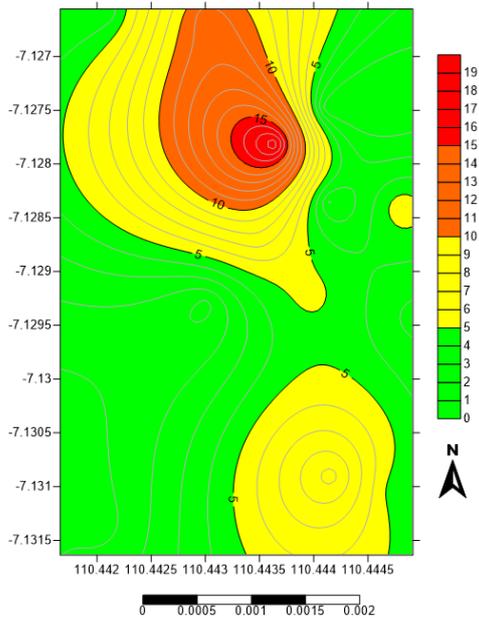
Gambar 5. Peta kontur sebaran nilai A_0 2D.

Peta faktor amplifikasi digunakan untuk menunjukkan korelasi getaran tanah dengan kerusakan fasilitas pada permukaan. Nilai A_0 yang rendah hingga sedang tersebar di seluruh kawasan Formasi Kerek dan Formasi Kaligertas. Pada kawasan bagian selatan hingga timur memiliki nilai A_0 yang rendah merupakan kawasan yang rendah dengan pergerakan tanah dan resiko kerusakan

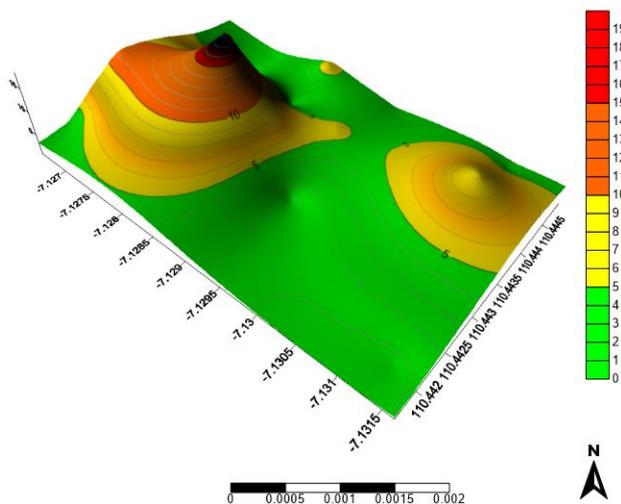
yang rendah, apabila dihubungkan dengan nilai f_0 memiliki lapisan sedimen yang tipis sehingga percepatan getaran tanahnya rendah. Selain itu, nilai A_0 yang rendah juga diakibatkan lapisan batuan pada longoran telah terlihat dan saling tertimbun. Sedangkan pada kawasan barat daya dan sebagian kecil pada kawasan tenggara memiliki nilai A_0 yang sedang yaitu ditunjukkan oleh peta berwarna kuning.

Indeks Kerentanan Seismik (K_g). Indeks kerentanan seismik menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadinya gempa bumi. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka nilai dari indeks kerentanan gempa sangat dipengaruhi oleh amplifikasi dan frekuensi dominan. Ketika nilai amplifikasi besar dan nilai frekuensi dominan kecil, maka nilai indeks kerentanan gempa akan semakin besar. Sebaliknya, jika nilai amplifikasi kecil dan nilai frekuensi dominan besar, maka nilai dari indeks kerentanan gempa akan semakin kecil.

Peta indeks kerentanan seismik ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8. Indeks kerentanan rendah ditunjukkan pada peta yang berwarna hijau yaitu tersebar di Formasi Kaligertas dan Formasi Kerek. Sedangkan indeks kerentanan yang berwarna kuning menunjukkan nilai indeks kerentanan rendah hingga sedang yang tersebar di bagian selatan Formasi Kaligertas dan sebagian lagi di bagian utara Formasi Kerek. Seluruh wilayah Formasi Kerek yaitu bagian utara pada peta memiliki nilai indeks kerentanan sedang sampai tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah dan orange, memungkinkan wilayah tersebut mengalami kerusakan ketika terjadi pergerakan tanah



Gambar 7. Peta kontur sebaran nilai Kg 2D.



Gambar 8. Peta kontur sebaran nilai Kg 3D.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Persebaran nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian yaitu di sebelah timur longsoran Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur bervariasi dari 0.6 Hz sampai dengan 11.9 Hz, dimana persebaran nilai frekuensi dominan tertinggi berada pada wilayah dengan tanah jenis sedimen tipis atau tanah keras. Sedangkan kawasan dengan nilai frekuensi dominan rendah berada pada kawasan timur daerah penelitian dikarenakan daerah tersebut merupakan tanah yang lunak atau sedimen yang tebal. Nilai faktor amplifikasi di Desa Kalongan, Kecamatan Ungaran Timur juga bervariasi dari 1.6 sampai dengan 3.8, dan masuk kategori rendah hingga sedang.

Kecamatan Ungaran Timur mempunyai indeks kerentanan rendah hingga tinggi. Daerah yang memiliki indeks kerentanan yang tinggi berada pada Formasi Kerek bagian utara sedangkan daerah yang mempunyai indeks kerentanan yang rendah tersebar di Formasi Kerek dan Formasi Kaligetas. Sebagian besar daerah penelitian mempunyai indeks kerentanan seismik rendah.

Saran

Dikarenakan terdapat longsor yang menyebabkan jalan penghubung Ungaran-Mragen terputus dan terdapat wilayah yang mempunyai indeks kerentanan seismik yang cukup tinggi dapat dijadikan sebagai *warning* pemerintah setempat untuk melakukan mitigasi bencana. Penelitian selanjutnya dapat memperluas area kajian untuk mengetahui indeks kerentanan seismik daerah sekitarnya.

Daftar Pustaka

Pustaka atau acuan yang digunakan dalam naskah minimal 10 pustaka, dengan komposisi minimal 80% berupa acuan primer (artikel jurnal, prosiding, skripsi, tesis) dan minimal 20% merupakan acuan mutakhir (terbitan 5 tahun terakhir).

- [1] Prabowo, R., Vilman, S., & Ignatius, A. P., "Spatial Analysis and Characteristics of Susceptibility Zone of Mass Movement, Case Study in Samigaluh District, Kulonprogo Regency," *Proceedings Joint Convention Yogyakarta 2019, HAGI-IAGI-IAFMI-IATMI*, Yogyakarta, 2019.
- [2] Arifin, S. S., Bagus, S. M., Marjiyono & Roby, S., "Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSr Mikrotremor Dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa Dan Sekitarnya," *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Vol.2 No.1, 30-40, 2014.
- [3] Nur, A. M., "Gempa Bumi, Tsunami, dan Mitigasinya," *Jurnal Geografi*, Vol.7 No.1, 66-73, 2010.
- [4] Mustafa, B., "Analisis Gempa Nias Dan Gempa Sumatera Barat Dan Kesamaannya Yang Tidak Menimbulkan Tsunami," *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, Vol.2 No.1, 44-50, 2010.
- [5] Soetoto. *Geologi Dasar*. Penerbit Ombak, Yogyakarta, 2013.
- [6] Maimun, A. K., Ulfa, N. S., Vida, J. J., & Puji, A., "Analisis Indeks Kerentanan Seismik, Periode Dominan, Dan Faktor Amplifikasi Menggunakan Metode HVSr Di Stageof Tangerang," *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, Vol.7 No.2, 24-30, 2020.
- [7] Mirzaoglu, M. & Unal, D., "Application of microtremors to seismic microzoning procedure," *Journal of The Balkan Geophysical Society*, Vol.6 No.3, 144-157, 2003.

- [8] Nakamura, Y., "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface Quarterly" Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), 30, No.1, 1989.
- [9] Nakamura, Y., "Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications," *System and Data Research*, Japan, 2000.
- [10] Tanjung, N. A. F., Hakim, P. Y., & Danang, W., "Analisis Amplifikasi Dan Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan FMIPA UGM Menggunakan Metode HVSR," *Jurnal Geosaintek*, Vol.5 No.2, 60-67, 2019.
- [11] Utami, Z., "Analisis Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Sinyal Mikrotremor Di Kecamatan Prambanan Dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten," Tugas Akhir, Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, UNY, Yogyakarta, 2017.
- [12] Nakamura, Y., "On the H/V Spectrum," *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, 2008.