

IDENTIFIKASI ZONA RAWAN AMBLESAN BERDASARKAN PARAMETER HVSR DAN *GROUND SHEAR STRAIN* DI DAERAH GUA PINDUL

Krisna Nursila Gemintang^{1*}, Fauzi Daffa Hanatha¹, Tri Waspito Indriatmoko¹, Wihdah Syamsiah Qurrotua'aeni¹, Besse Nurul Luthfiani Azis¹ dan Hafiz Hamdalah¹

¹Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

*e-mail : krisna.nursila25@gmail.com

Abstrak. Daerah wisata Gua Pindul merupakan destinasi wisata di daerah Yogyakarta yang banyak diminati para wisatawan karena keunikan yang dimilikinya. Berdasarkan geologi lokal daerah Gua Pindul terletak pada Zona Pegunungan Selatan tepatnya Formasi Wonosari yang didominasi oleh batugamping berlapis. Sehingga permasalahan yang umumnya terjadi pada daerah wisata Gua Pindul terutama berada di kawasan karst, sering terjadi peristiwa amblesan tanah akibat pelarutan oleh air. Melalui hal tersebut menjadi dasar penelitian yang dilakukan pada daerah Gua Pindul, untuk dapat mengidentifikasi zona rawan amblesan dengan menggunakan metode mikrotremor. Penelitian dilakukan di daerah wisata Gua Pindul, dengan luas kavling penelitian 1,5 x 1,5 km dengan 25 titik pengukuran mikrotremor. Berdasarkan interpretasi parameter HVSR dan *Ground Shear Strain*, dihasilkan besar nilai Kerentanan Tanah (Kg) sebesar 10 – 5,5, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) sebesar 31 – 22 gal, dan nilai *Ground Shear Strain* (γ) sebesar 0,31 – 0,17. Hasil interpretasi, diidentifikasi bahwa pada daerah penelitian rawan terjadinya zona amblesan tanah pada daerah timur peta. Perlu adanya perhatian lebih dalam mitigasi bencana amblesan tanah, karena dampak yang dihasilkan akan berpengaruh terhadap aspek sosial, lingkungan, bahkan ekonomi pada daerah wisata Gua Pindul.

Kata Kunci: Amblesan, Gua Pindul, HVSR, *Ground Shear Strain*, Mikrotremor

Abstract. The Gua Pindul tourist area is a tourist destination in the Yogyakarta area that is in great demand by tourists because of its uniqueness. Based on the local geology of the Gua Pindul area located in the Southern Mountain Zone, precisely the Wonosari Formation is dominated by layered limestone. So that the problems that generally occur in the Gua Pindul tourist area, especially in the karst area, often occur in soil subsidence events due to dissolution by water. Through this, it became the basis of research conducted in the Gua Pindul area, to be able to identify subsidence-prone zones using the microtremor method. The study was conducted in the tourist area of Gua Pindul, with a research plot area of 1.5 x 1.5 km with 25 microtremor measurement points. Based on the interpretation of HVSR and *Ground Shear Strain* parameters, a large Soil Susceptibility value (Kg) of 10 – 5.5 was generated, a Peak Ground Acceleration (PGA) value of 31 – 22 gal, and a *Ground Shear Strain* (γ) value of 0.31 – 0.17. Results of the interpretation, it was identified that the study area, is prone to the occurrence of soil subsidence zones in the eastern area of the map. There needs to be more attention to mitigating land subsidence disasters because the resulting impact will affect social, environmental, and even economic aspects in the Gua Pindul tourist area.

Keywords: Subsidence, Pindul Cave, HVSR, *Gound Shear Strain*, Microtremor

PENDAHULUAN

Pada daerah Gua Pindul merupakan suatu daerah yang dikembangkan menjadi destinasi wisata Yogyakarta yang banyak diminati para wisatawan karena memiliki keunikan tersendiri dalam segi keadaan bawah permukaannya yaitu hadirnya gua bawah permukaan. Berdasarkan geologi daerah Gua Pindul termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan (Van Bemmelen, 1949) tepatnya berada pada Formasi Wonosari dengan

dominasi litologi batugamping berlapis berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir (N12-N17), dengan ketebalan berkisar 750 m (Surono, 2009). Keberadaan Gua Pindul berada di daerah Basin Wonosari yang merupakan kawasan karst atau batugamping, batuan batugamping memiliki sifat mudah terlarut sehingga membentuk sistem perguaan (Labib, M.A, dkk. 2019).

Melalui dominasi litologi batugamping pada daerah Gua Pindul, permasalahan geologi mengenai

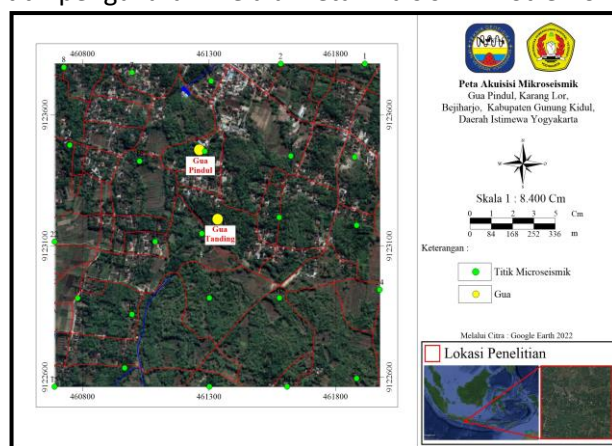
bencana amblesan tanah dapat terjadi karena faktor alamiah ataupun pengaruh aktivitas manusia. Salah satu pemicu alamiah terjadinya amblesan tanah adalah proses pelarutan batuan bawah permukaan oleh air yang umum terjadi pada batuan karbonat (batugamping dan dolomit), endapan garam dan *gypsum* (Allen, 1984). Tingkat amblesan tanah dikontrol oleh kondisi litologi, iklim, vegetasi dan waktu serta dipicu oleh beberapa proses seperti pelarutan batuan, erosi mekanik bawah permukaan, kompresi atau kompaksi, pengaliran airtanah, getaran dan penyusutan (Allen, 1984; Glopper dan Ritzema, 1994). Melalui permasalahan geologi yang dapat terjadi dengan rentang waktu tertentu serta didukung potensi daerah Gua Pindul sebagai destinasi wisata yang banyak dikunjungi wisatawan, perlu adanya penelitian dalam mengidentifikasi potensi terjadinya amblesan tanah sebagai salah satu bentuk langkah mitigasi bencana pada daerah Gua Pindul.

Penelitian dilakukan pada sekitar daerah Gua Pindul, dengan melakukan kegiatan akuisisi, pengolahan dan interpretasi data mikrotremor dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) melalui analisis parameter HVSR dan analisis *Ground Shear Strain* (γ) untuk dapat mengidentifikasi zona rawan amblesan tanah. Mikrotremor atau getaran tanah dengan *amplitude displacement* sekitar 0,1 – 1 mikron dengan *amplitude velocity* 0,001 – 0,01 cm/s (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003). Getaran tanah yang terjadi dalam analisa mikrotremor terjadi karena faktor alam ataupun faktor manusia. Untuk dapat mempermudah menganalisa gelombang mikrotremor yang terekam digunakan teknik HVSR secara luas untuk studi efek lokal dan mikrozonasi (Warnana, dkk. 2001). Nakamura (1989) menyatakan bahwa metode HVSR yang diaplikasikan pada *ambient vibrations* dapat digunakan untuk memperkirakan frekuensi alam dan faktor amplifikasi dari lapisan sedimen. Sehingga didapatkan hasil akhir dalam menganalisa gelombang mikrotremor menggunakan lima parameter yang digunakan yaitu (i) Frekuensi Dominan (F0), (ii) Amplifikasi (A0), (iii) Kerentanan

Tanah (Kg), (iv) *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan (v) *Ground Shear Strain* (γ).

METODOLOGI

Pada penelitian yang dilakukan berdasarkan kegiatan akuisisi data mikrotremor dari masing-masing titik pengukurannya, didapatkan persebaran titik pengukuran melalui Peta Akuisisi Mikrotremor.



Gambar 1. Peta Akuisisi Mikrotremor

Penelitian dilakukan di sekitar daerah Gua Pindul, Desa Berjiharjo, Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunung Kidul. Kegiatan penelitian diawali dengan akuisisi data mikrotremor pada tanggal 12 – 14 Juli 2022, memiliki luas daerah penelitian yang diakuisisi sebesar 1,5 x 1,5 km dengan total luas sebesar 2,25 km². Pengukuran menggunakan alat Portable Digital Short Period Seismograph tipe TSD sebanyak 25 titik pengukuran, masing-masing titik pengukuran memiliki jarak 300 m. Pada tiap titik pengukuran, pengukuran mikrotremor dilakukan selama \pm 40 menit, lama waktu pengukuran disesuaikan dengan kondisi masing-masing titik pengukurannya terhadap *noise* yang muncul saat pengukuran guna memaksimalkan data pada satu titik pengukuran.

Melalui kegiatan pengukuran data mikrotremor, didapatkan hasil data pengukuran berupa data mikrotremor horizontal dan vertikal meliputi Timur-Barat (E-W), Utara-Selatan (N-S) dan Z dan data koordinat titik pengukuran, dengan bentuk data dalam format .mseed. Selanjutnya, dari data lapangan diolah menggunakan *software Geopsy*, untuk dapat menginputkan data lapangan

dengan 3 komponen data satu per satu dari 25 titik pengukuran, lalu menentukan metode yang digunakan yaitu HVSR (H/V). Setelah memilih opsi H/V, melakukan pemilihan opsi mengenai parameter dari perhitungan nilainya dengan mengubah *default* pada bagian *Smoothing type* menjadi Konno & Ohmachi, *Smoothing constant* sebesar 40,00 dan juga *Frequency Sampling* dari *From* sebesar 0,50 Hz dan *To* sebesar 10,00 Hz. Didapatkan hasil nilai dari parameter HVSR yang digunakan yaitu nilai Amplifikasi (A0) dan Frekuensi Dominan (F0). Dari informasi nilai parameter mikrotremor yang didapatkan sebanyak 25 data dari masing-masing parameter, lalu *input* nilai kedalam *microsoft excel* kemudian menghitung data guna mendapatkan besaran nilai parameter lainnya berupa Kerentanan Tanah (Kg), *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan *Ground Shear Strain* (γ), berdasarkan rumus yang mendasarinya. Nilai-nilai dari setiap parameter HVSR yang digunakan, selanjutnya diolah kembali menjadi bentuk peta untuk dapat diinterpretasi dari masing-masing parameter. Pembuatan peta masing-masing parameter yaitu peta Amplifikasi (A0), peta Frekuensi Dominan (F0), peta Kerentanan Tanah (Kg), peta *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan peta *Ground Shear Strain* (γ), menggunakan *software Surfer 16*.

Melalui peta dari setiap parameter HVSR, selanjutnya diinterpretasikan berdasarkan fungsi dan kegunaan masing-masing parameter. Penginterpretasian data yang didapatkan berupa peta dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Pembahasan secara kualitatif cenderung mengacu kepada teori mengenai tiap parameter HVSR untuk dapat memperjelas kegunaan dari masing-masing parameter. Sedangkan, pembahasan secara kuantitatif mengedepankan hasil data yang didapatkan berdasarkan nilai dari anomali yang terbentuk pada peta masing-masing parameter HVSR, selanjutnya dapat ditentukan dari masing-masing peta mengenai kondisi bawah permukaannya berdasarkan klasifikasi nilai pada masing-masing parameter HVSR. Hingga pada tahap

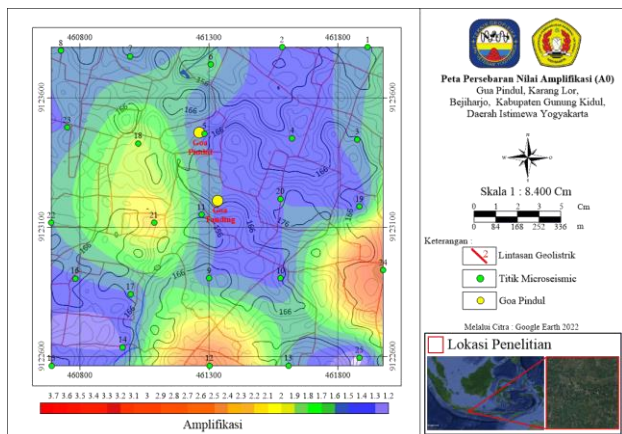
akhirnya didapatkan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan terhadap target yang dituju yaitu zona amblesan tanah di daerah Gua Pindul yang dapat mengindikasikan beberapa zona rentan terhadap amblesan tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

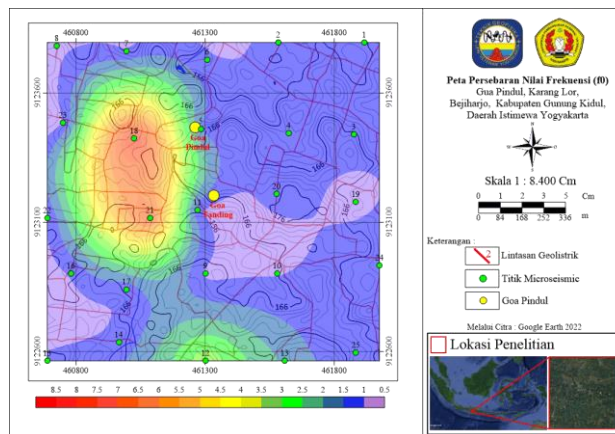
Melalui hasil kegiatan akuisisi dan pengolahan data yang dilakukan guna mendapatkan nilai di 25 titik pengukuran berdasarkan parameter HVSR, didapatkan parameter HVSR berupa nilai Amplifikasi (A0), Frekuensi Dominan (F0), Kerentanan Tanah (Kg), *Peak Ground Acceleration* (PGA), dan *Ground Shear Strain* (γ). Untuk nantinya dibahas melalui peta masing-masing parameter guna dianalisis mengenai identifikasi amblesan tanah di daerah penelitian, berikut penjelasan masing-masing parameter yang digunakan.

Amplifikasi

Pada Gambar 4. merupakan peta Amplifikasi (A0), peta Amplifikasi (A0) adalah peta yang dapat menggambarkan persebaran dari perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan atau gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika merambat pada suatu medium yang lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya (Pancawati, 2016). Sehingga secara sederhana peta Amplifikasi (A0) akan menggambarkan keadaan persebaran kondisi batuan lunak dan tidak lunak berdasarkan besar kecilnya nilai amplifikasi yang terbentuk. Nilai yang semakin besar dari amplifikasi akan merepresentasikan keadaan batuan bawah permukaan mengalami deformasi berlebih akibat adanya pengaruh *geological event* yang mengubah sifat fisik batumannya (Mulyatno, dkk., 2013; Sungkono, 2011).



Gambar 2. Peta Amplifikasi (A0)



Gambar 3. Peta Frekuensi Dominan (F0)

Sehingga pada peta Amplifikasi (A0) yang terdiri dari nilai amplifikasi diwakili oleh simbol warna menunjukkan kekerasan dari batuan penyusun bawah permukaannya. Berdasarkan nilainya dapat dibagi menjadi tiga klasifikasi besaran nilai yaitu nilai tinggi, sedang dan rendah yang diwakili oleh simbol warna. Pada peta diketahui nilai tinggi diwakili oleh warna merah tua sampai oranye terletak pada daerah timur dan selatan peta membentuk *closure* setengah lingkaran dengan rentang nilai sebesar 3,7 – 2,2 sebagai daerah dengan batuan penyusunnya berupa sedimen lunak. Nilai sedang diwakili oleh warna kuning sampai hijau terletak dengan dominasi daerah barat membentuk *closure elips* tak beraturan serta daerah timur dan selatan yang dengan *closure* setengah lingkaran mengelilingi *closure* bernilai tinggi, rentang nilai sedang diketahui sebesar 2,1 – 1,5 sebagai daerah dengan batuan penyusunnya sedimen sedang. Selanjutnya nilai rendah diwakili oleh warna biru tua sampai ungu terletak dikeseluruhan peta mengelilingi *closure* tinggi dan sedang, memiliki rentang nilai sebesar 1,4 – 1,2 sebagai daerah dengan batuan penyusunnya sedimen keras.

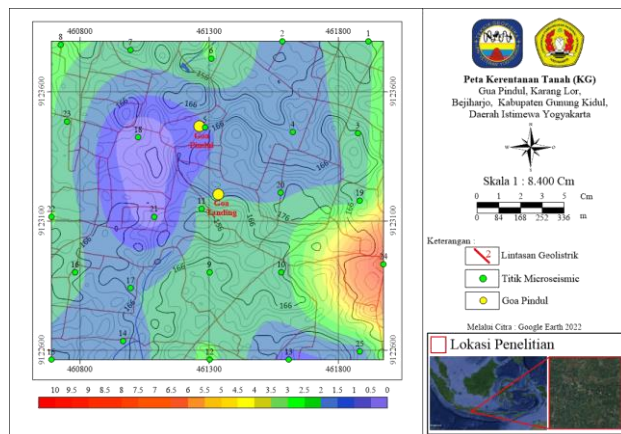
Frekuensi Dominan

Pada Gambar 5. merupakan peta Frekuensi Dominan (F0), peta Frekuensi Dominan (F0) merupakan peta yang dapat menggambarkan persebaran nilai frekuensi yang sering muncul sebagai nilai frekuensi yang merepresentasikan kondisi batuan pada suatu daerah berdasarkan jenis dan karakteristik batuan. Nilai frekuensi pada peta memiliki hubungan erat terhadap ketebalan dan kedalaman suatu lapisan sedimen lunak (Nakamura, 1989). Nilai yang semakin besar dari frekuensi dominan menunjukkan lapisan batuan sedimen yang tipis dan keras. Peta Frekuensi Dominan (F0) terdiri dari persebaran nilai frekuensi, yang disimbolkan dengan warna tertentu mewakili nilai-nilai yang dapat diklasifikasikan sebagai nilai tinggi, sedang dan rendah. Klasifikasi nilai tersebut mengacu pada tabel klasifikasi frekuensi dominan Arifin, dkk (2013) hasil modifikasi dari Kanai (1983).

Tabel 1. Tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai Frekuensi Dominan (Arifin, dkk. 2013 Modifikasi dari Kanai, 1983).

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Jenis I	6,67 – 20	Batuan tersier atau lebih tua, terdiri dari batuan pasir berkerikil keras	Ketebalan lapisan sedimen permukaannya tipis, didominasi batuan keras
Jenis II	10 – 4	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil,	Ketebalan lapisan sedimen permukaannya sebesar 5 – 10m

		lempung keras berpasir, tanah liat, lempung, dsb	
Jenis III	2,5 – 4	Batuan alluvial yang hamper sama dengan jenis II, dibedakan pada formasi yang belum diketahui	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal sebesar 10 – 30 m
Jenis IV	<2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak humus, endapan delta atau endapan lumpur, tanah lembek dengan kedalaman 30m	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal



Gambar 4. Peta Kerentanan Tanah (Kg)

Pada Gambar 6. Merupakan peta Kerentanan Tanah (Kg), peta Kerentanan Tanah (Kg) merupakan peta yang menggambarkan persebaran nilai berkaitan dengan indeks kerentanan dari parameter yang berhubungan dengan tingkat kerentanan suatu wilayah dari ancaman resiko gempa bumi (Saadudin, dkk., 2015). Indeks kerentanan tanah, dapat merujuk kepada tingkat kerentanan suatu lapisan tanah di permukaan mengalami deformasi berlebih ketika gempa bumi terjadi (Nakamura, 2008). Menurut Nakamura (2000) suatu daerah dinyatakan mengalami kerusakan parah umumnya terjadi di dataran alluvial yang tersusun oleh material sedimen yang tebal. Sehingga secara matematis, hubungan saling berkaitan antara besar kecilnya nilai parameter Amplifikasi (A0) sebagai hubungan sebanding dan Frekuensi Dominan (F0) sebagai hubungan berbanding terbalik, mempengaruhi besar kecilnya nilai dari Kerentanan Tanah (Kg).

Tabel 2. Tabel Klasifikasi Kerentanan Tanah (Daryono, dkk., 2009)

Nilai Kerentanan Tanah	Klasifikasi
<10	Rendah
10 < Kg < 20	Sedang
>20	Bahaya

Berdasarkan peta Kerentanan Tanah (Kg), persebaran nilai kerentanan tanah membentuk beberapa *closure-closure* yang berpola membulat tak beraturan. Untuk dapat menginterpretasikan nilai-nilai pada peta maka diwakili oleh simbol

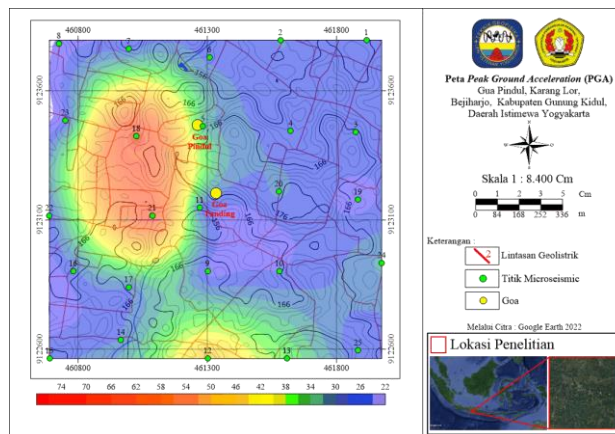
Peta Frekuensi Dominan (F0) terdiri dari persebaran nilai frekuensi, yang disimbolkan dengan warna tertentu mewakili nilai-nilai yang dapat diklasifikasikan sebagai nilai tinggi, sedang dan rendah. Klasifikasi nilai tersebut mengacu pada tabel klasifikasi frekuensi dominan Arifin, dkk (2013) hasil modifikasi dari Kanai (1983). Berdasarkan peta nilai tinggi diwakili oleh warna merah sampai oranye terletak pada bagian barat membentuk *closure* yang besar dikelilingi oleh *closure* sedang, memiliki rentang nilai sebesar 8,5 – 5 Hz sebagai lapisan batuan sedimen dengan ketebalan ± 5 m dan keras. Nilai sedang diwakili oleh warna kuning sampai hijau terletak pada bagian selatan dan barat membentuk *closure* besar mengelilingi *closure* nilai tinggi, memiliki rentang nilai sebesar 4,5 – 2 Hz sebagai batuan alluvial dengan ketebalan menengah 5 – 10 m. Nilai rendah diwakili oleh warna biru tua sampai ungu terletak memenuhi keseluruhan bagian peta, memiliki rentang nilai sebesar 1,5 – 0,5 Hz sebagai batuan alluvial sangat tebal sebesar ± 30 m.

Kerentanan Tanah

dengan warna tertentu mewakili beberapa persebaran nilai dengan klasifikasi nilai tinggi, sedang dan rendah. Klasifikasi nilai kerentanan tanah mengacu pada tabel klasifikasi kerentanan tanah (Daryono, dkk., 2009), tetapi nilai yang dihasilkan dari penelitian kali ini cenderung rendah dikarenakan keadaan geologi daerah penelitian didominasi oleh batugamping berlapis. Berdasarkan peta, nilai tinggi yang diwakili oleh merah sampai oranye terletak di bagian timur menuju tenggara peta, memiliki rentang nilai sebesar 10 – 5,5 sebagai daerah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap deformasi permukaannya. Nilai sedang diwakili oleh warna kuning sampai hijau tua terletak di bagian timur peta mengelilingi *closure* nilai tinggi, selatan dan menyebar pada bagian sisi peta, memiliki rentang nilai sebesar 5 – 2,5 sebagai daerah dengan tingkat kerentanan sedang terhadap deformasi. Sedangkan nilai rendah diwakili oleh warna biru tua sampai ungu terletak menyebar di keseluruhan peta dan membentuk *closure elips* tak beraturan di bagian timur peta, memiliki rentang nilai sebesar 2-0 sebagai daerah dengan kerentanan sedang terhadap deformasi.

Berdasarkan nilai-nilai kerentanan tanah yang terbagi menjadi beberapa klasifikasi. Informasi lain yang didapatkan melalui klasifikasi nilai tinggi, kerentanan terdeformasi terjadi karena faktor nilai amplifikasi yang besar dan frekuensi dominan yang kecil, sehingga interpretasi secara geologi bahwa daerah dengan nilai tinggi cenderung memiliki keadaan bawah permukaan berupa batuan sedimen yang lunak (material lepasan) dan ketebalan permukaan sedimen tebal. Selanjutnya pada nilai rendah, kerentanan terdeformasi sangat kecil dikarenakan nilai amplifikasi yang kecil dan frekuensi dominan yang besar, sehingga keadaan bawah permukaannya disusun oleh sedimen yang keras (material *solid*) dan ketebalan permukaan sedimen tipis.

Peak Ground Acceleration



Gambar 5. Peta Peak Ground Acceleration (PGA)

Pada Gambar 7. merupakan peta *Peak Ground Acceleration* (PGA), peta *Peak Ground Acceleration* (PGA) merupakan peta yang menggambarkan nilai percepatan maksimum dari suatu getaran yang terjadi akibat gempa bumi. Dapat diketahui bahwa nilai percepatan getaran tanah maksimum dihitung berdasarkan magnitude dan jarak sumber gempa yang pernah terjadi terhadap titik perhitungan serta nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian (Fatimah, dkk., 2018). Dalam menghitung nilai PGA, penentuan percepatan tanah menggunakan metode perhitungan menurut Kanai (1966). Semakin besar nilai dari PGA maka percepatan getaran tanah maksimum jika terjadi gempa bumi, maka semakin kuat energinya dan semakin banyak kerusakan di permukaan yang terjadi.

Tabel 3. Skala nilai intensitas gempa berdasarkan dampak dan percepatan tanah maksimum (USGS, 2016).

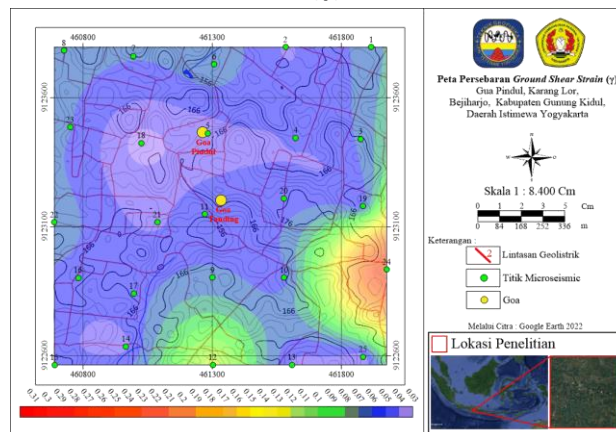
PGA (gal)	Intensitas	Efek
1 – 2	I	Tidak terasa
2 – 5	II	Dirasakan oleh orang yang beristirahat terutama di tingkat-tingkat atas bangunan atau tempat tinggi
5 – 10	III	Terasa di dalam rumah, seakan kan ada truk lewat tetapi banyak yang tidak menyangka gempa bumi
10 – 25	IV	Terasa di dalam rumah seperti ada truk lewat atau terasa seperti ada barang berat yang menabrak dinding rumah.
	V	Dapat dirasakan diluar rumah, orang tidur terbangun, cairan

		tampak bergerak-gerak dan tumpah sedikit.
	VI	Terasa oleh semua orang, banyak orang lari ke luar karena terkejut, orang yang sedang berjalan kaki terganggu, jendela berderit, gerabah, barang pecahbelah pecah.
50 – 100	VII	Dapat dirasakan oleh sopit yang sedang mengemudi mobil, orang yang sedang berjalan kaki sulit untuk berjalan dengan baik, cerobong asap yang lemah pecah.
100 – 250	VIII	Mengemudi mobil terganggu, terjadi kerusakan pada bangunan yang kuat karena terdapat bagian yang runtuh.
250 – 500	IX	Publik menjadi panik, bangunan yang tidak kuat hancur, bangunan yang kuat mengalami kerusakan berat dan fondasi dan rangka bangunan rusak.
500 – 1000	X	Pada umumnya semua tembok, rangka rumah dan fondasi rusak, beberapa bangunan dari kayu yang kuat dan jembatan rusak, kerusakan berat terjadi pada bendungan, tanggul dan tambak, terjadi tanah longsor yang besar.

Berdasarkan peta *Peak Ground Acceleration* (PGA), persebaran nilai percepatan maksimum terbentuk dari pola-pola *closure* yang diwakili oleh warna tertentu yang dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai tinggi, sedang dan rendah. Klasifikasi nilai PGA didasari oleh klasifikasi skala nilai intensitas gempa berdasarkan dampak dan percepatan tanah maksimum menurut USGS (2016). Nilai tinggi yang diwakili oleh warna merah sampai oranye terletak di bagian timur dan selatan peta, memiliki rentang nilai sebesar 74 – 46 gal, sebagai intensitas golongan VII yang memiliki efek langit-langit dan bagian konstruksi pada tempat yang tinggi rusak, tembok yang tidak kuat pecah, dapat dirasakan sopir yang sedang mengemudi. Nilai sedang diwakili oleh warna kuning sampai hijau terletak di bagian selatan dan timur mengelilingi *closure* nilai tinggi, memiliki rentang nilai sebesar 42 – 34 gal, sebagai intensitas golongan VI memiliki efek terasa oleh semua orang, jendela berderit,

barang pecahbelah pecah, barang-barang kecil dan buku jatuh dari raknya. Nilai rendah diwakili oleh warna biru tua sampai ungu terletak di seluruh bagian peta, memiliki rentang nilai sebesar 31 – 22 gal, sebagai intensitas golongan V – VI memiliki efek dapat dirasakan diluar rumah, cairan tampak bergerak-gerak dan tumpah sedikit.

GROUND SHEAR STRAIN (γ)



Gambar 6. Peta *Ground Shear Strain* (γ)

Pada Gambar 7. merupakan peta *Ground Shear Strain* (γ), peta *Ground Shear Strain* (γ) merupakan peta yang menggambarkan nilai renggangan maksimum yang dialami tanah permukaan jika terjadi gempa bumi (Nakamura, 1989), sehingga pada keadaan permukaan tanah rentan terdeformasi yang merupakan salah satu penyebab dari amblesan tanah. Menurut Syahputri (2020) *Ground shear strain* (γ) berhubungan dengan sifat dinamika tanah, dimana tanah yang mudah mengalami deformasi memiliki nilai *Ground Shear Strain* (γ) yang tinggi dan tanah yang sukar mengalami deformasi maka memiliki nilai *Ground Shear Strain* (γ) yang rendah. Besar kecilnya nilai *Ground Shear Strain* berbanding lurus dengan nilai Kerentanan Tanah (Kg) dan *Peak Ground Acceleration* (PGA), begitupun besarnya nilai Kerentanan Tanah (Kg) berkaitan dengan besar kecilnya nilai Amplifikasi (AO) dan Frekuensi Dominan (FO). Sehingga parameter *Ground Shear Strain* (γ), memiliki kaitan erat dengan parameter HVSR yang telah dibahas sebelumnya, karena aspek nilai yang didalamnya mencakup Kerentanan Tanah

(Kg), *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan tetapan estimasi nilai *strain*. Pembahasan mengenai *Ground Shear Strain* (γ) sebagai acuan persebaran daerah dengan tingkat mengalami deformasi berlebih ketika terjadi gempa bumi, yang mengakibatkan dalam jangka waktu tertentu mudah terjadi amblesan tanah.

Tabel 4. Hubungan antara nilai *Ground Shear Strain* (γ) dan sifat dinamik tanah (Ishihara, 1982)

Nilai <i>Ground Shear Strain</i> (γ)	$10^{-6} - 10^{-5}$	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-2} - 10^{-1}$
Fenomena	Gleombang, Getaran	Retak, Penurunan Tanah (<i>Dift Settlement</i>)	Tanah Longsor, Pematatan Tanah (Kompaksi Tanah), Likuifaksi
Dinamika Tanah	Elastis	Elastis – Plastis	Kecepatan – Efek Pengulangan

Berdasarkan peta *Ground Shear Strain* (γ), terdapat persebaran nilai *Ground Shear Strain* membentuk pola *closure* setengah lingkaran dan pola menyebar di keseluruhan peta, yang diwakili simbol warna sehingga dapat diklasifikasikan sebagai nilai tinggi, sedang dan rendah. Pengklasifikasian nilai tersebut berdasarkan acuan tabel klasifikasi Hubungan nilai *ground shear strain* (γ) dan sifat dinamik tanah menurut Ishihara (1982). Nilai tinggi yang diwakili oleh warna merah sampai oranye terletak di bagian timur dengan *closure* setengah lingkaran, memiliki rentang nilai sebesar 0,31 – 0,17, sebagai daerah memiliki fenomena penurunan tanah (*Dift Settlement*) dengan dinamika tanah elastis sampai plastis yang tinggi. Nilai sedang yang diwakili oleh warna kuning sampai hijau di bagian timur dan selatan peta dengan bentuk *closure* setengah lingkaran mengelilingi *closure* nilai tinggi pada bagian timur, memiliki rentang nilai sebesar 0,16 – 0,08, sebagai daerah dengan fenomena penurunan tanah (*Dift Settlement*) dengan dinamika tanah elastis sampai plastis yang sedang. Nilai rendah diwakili oleh warna biru tua sampai ungu terletak di keseluruhan bagian peta, memiliki rentang nilai sebesar 0,07 – 0,03, sebagai daerah dengan fenomena penurunan tanah (*Dift*

Settlement) dengan dinamika tanah elastis sampai plastis.

Melalui persebaran nilai *Ground Shear Strain* (γ), dapat diketahui bahwa nilai-nilai tinggi yang mendominasi bagian timur peta sebagai *point of interest*. Hal tersebut dikarenakan memiliki nilai yang tinggi dengan fenomena yang terjadi berupa penurunan tanah (*Dift Settlement*) dan dinamika tanah elastis – plastis, maka daerah tersebut rentan terdeformasi jika terjadi gempa bumi. Sehingga potensi besar pada daerah bagian timur peta dengan nilai *Ground Shear Strain* yang tinggi, untuk dapat mengalami amblesan tanah, hal tersebut dikarenakan kondisi permukaan yang terdeformasi dan cenderung merenggang dibandingkan dengan potensi yang lebih cenderung rendah di bagian peta lainnya. Data lainnya diperkuat dengan nilai Amplifikasi (A0) pada bagian timur yang cenderung tinggi yang menggambarkan kelunakan batuan, nilai Frekuensi Dominan (F0) yang rendah yang menggambarkan sedimen tebal dan luna dan nilai Kerentanan Tanah (Kg) yang tinggi yang menggambarkan kerentanan terdeformasi akibat gempa bumi.

PENUTUP Simpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan dengan menggunakan parameter *Ground Shear Strain* (γ) dan parameter HVSR lainnya sesuai pembahasan pada penelitian kali ini. Didapatkan bahwa daerah teridentifikasi rentan terjadinya amblesan tanah, berada pada bagian timur peta dengan nilai *Ground Shear Strain* (γ) sebesar 0,31 – 0,17, sehingga pada daerah tersebut mudah terjadi fenomena penurunan tanah (*Dift Settlement*) dan memiliki dinamika tanah elastis – plastis. Data lainnya diperkuat oleh kondisi parameter HVSR seperti Amplifikasi (A0) yang menunjukkan nilai tinggi sebagai daerah dengan batuan sedimen lunak, Frekuensi Dominan (F0) yang menunjukkan nilai rendah sebagai daerah dengan batuan sedimen tebal dan nilai Kerentanan Tanah (Kg) yang menunjukkan nilai tinggi sebagai daerah rentan terdeformasi ketika terjadi gempa bumi. Sehingga

identifikasi amblesan tanah, memungkinkan terjadi pada bagian timur peta.

Saran

Pada penelitian yang dilakukan kali ini, untuk dapat memperkuat hasil interpretasi mengenai identifikasi amblesan tanah dapat menggunakan metode geofisika lainnya yaitu metode geolistrik resistivitas sehingga dapat diketahui secara jelas daerah-daerah dengan yang memiliki rongga kosong di bawah permukaan sebagai salah satu indikasi terjadinya amblesan tanah.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih, kami haturkan kepada keseluruhan aspek pendukung dalam kegiatan penelitian kali ini, terutama kepada Lembaga BMKG Geofisika Sleman yang bersedia meminjamkan instrumentasi mikrotremor dan memandu kegiatan akuisisi data. Selanjutnya ucapan terimakasih kepada Bapak Hafiz Hamdalah, S.T., M.Sc, selaku dosen pembimbing kami dalam keseluruhan kegiatan penelitian dari tahapan desain survei, akuisisi data, pengolahan data dan penginterpretasian data.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, A.S. (1984), *Types of Land Subsidence, in: Poland, J.F., (ed), Guidebook to Studies of Land Subsidence due to Groundwater Withdrawal, Studies and Report in Hydrology, UNESCO*, hal. 133-131.
- Arifin, Subkhi. S., Mulyatno, Sapto., dkk. (2013), *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Frekuensi Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Vol.2, No.1, hal. 30-40.
- <http://dx.doi.org/10.23960/jge/v2i01.217>
- Bemmelen, Van.R.W. (1949), *The Geology of Indonesia*, The Hague, Netherland
- Daryono, dkk. (2009), *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*, BMKG, Yogyakarta.
- Fatimah, R., dkk. (2018), *Mikrozonasi Gempabumi Menggunakan Metode Mikroseismik di Desa Medana*

dan Jengala Kecamatan Tanjun Kabupaten Lombok Utara, Disertasi, Universitas Mataram.

- Glopper, R.J., dan Ritzema, H.P. (1994), *Land Subsidence in: Ritzema, H.P., (ed) Drainage Principles and Applications. International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands*, hal. 477-510.
- Ishihara, K. (1982), *Evaluation of Soil Properties for Use in Earthquake Response Analysis, Proceedings International Symposium On Numerical Model in Geomech*, hal. 237-259.
- Kanai, K. (1966), *Improved Empirical Formula for Characteristics of Stray [sic] Earthquake Motions, Pages 1-4 of: Proceedings of the Japanese Earthquake Symposium*.
- Kanai, K. (1983), *Seismology in Engineering*, Tokyo University, Japan.
- Labib, Mohammad A., dkk. (2019), *Karakterisasi Lorong Gua di Geosite Gua Pindul, Geopark Gunungsewu, Kabupaten Gunungkidul, Seminar Nasional Geografi III*, Yogyakarta.
- Mirzaoglu dan Dykmen. (2003), *Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure, Journal of The Balkan Geophysical Society*, Vol. 38, No.3, hal 144-157.
- Nakamura, Y. (1989), *A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface Using Microtremor on The Ground Surface, Q.R of R.T.I*, Vol.30, No.1, hal.25-33.
- Nakamura, Y. (2000), *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications, Proceedings XII World Conference Earthquake Engineering*, New Zealand.
- Nakamura, Y. (2008), *On The H/V Spectrum, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008*, Beijing, China.
- Pancawati, K.D. (2016), *Identifikasi Kerentanan Dinding Bendungan Dengan Menggunakan Metode Mikroseismik (Studi Kasus Bendungan Jatibarang, Semarang)*, Skripsi, Universitas Negeri Semarang.
- Saaduddin, dkk. (2015), *Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik Kota Padang Sumatera Barat dan Korelasinya Dengan Titik Kerusakan Gempabumi 30 September 2009, Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-8*, Universitas Gadjah Mada.
- Sungkono, B.J.Santosa. (2011), *Karakterisasi Kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Pemodelan, Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol.4, No.1, hal. 1-15.

<https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1662>

Surono. (2009), *Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah*, *Jurnal Sumber Daya Geologi*, Vol.19,No.3,hal.209-221.

<http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v19i3.206>

Syahputri, A. (2020), *Identifikasi Potensi Tanah Longsor Menggunakan Metode Mikrotremor di Dusun Tegalsari Desa Ngargosari Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo*, Tesis, Universitas Gadjah Mada.

USGS. (2016), *Search Earthquake Catalog*, Diambil 5 September 2022, dari

<https://earthquake.usgs.gov/>

Warnana, D.D., dkk. (2001), *Aplication Microtremor HVSR Method for Assesing Site Effect in Residual Soil Slope*, *International Jurnal of Basic Applied Science IJBAS-IJENS*, Vol.1,No.4,hal. 73-78.
