

Identifikasi Kawasan Rawan Longsor di Banjarsari, Purwoharjo, Kulon Progo Menggunakan Metode HVSR dan Vs30

Identification of Landslide-Prone Areas in Banjarsari, Purwoharjo, Kulon Progo Using the HVSR and Vs30 Methods

Ilham Bayu Kartiko¹, Bambang Sunardi²

¹Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta, Jl. Ringroad Utara no. 104 Yogyakarta 55283

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

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 30 Oktober 2024
Naskah diperbaiki : 19 November 2024
Naskah diterima : 30 November 2024

Kata kunci:
mikrotremor
metode HVSR
Vs30
tanah longsor
mikrozonasi

Keywords:
microtremor
HVSR method
Vs30
landslide
microzonation

* Email Korespondensi :
ilhmbk1212@gmail.com

ABSTRAK

Tanah longsor merupakan proses perpindahan material berupa batuan atau tanah yang bergerak ke bawah, dipengaruhi oleh kondisi topografi, geologi, dan karakteristik tanah. Wilayah Banjarsari, Purwoharjo diidentifikasi memiliki potensi bahaya tanah longsor yang tinggi akibat kondisi tanah yang bervariasi dan rentan. Penelitian ini menggunakan data mikrotremor dengan analisis metode HVSR dan Vs30 untuk melakukan mikrozonasi, bertujuan mengidentifikasi area dengan tingkat potensi tanah longsor yang tinggi. Parameter utama yang dianalisis meliputi frekuensi dominan (f_0), amplifikasi (A0), indeks kerentanan seismik (Kg), percepatan tanah maksimum (PGA), kecepatan gelombang geser rata-rata (Vs30), regangan geser tanah (GSS), serta kemiringan lereng. Analisis juga mencakup perbandingan nilai Vs30 hasil penelitian dengan nilai referensi USGS. Hasil mikrozonasi menunjukkan bahwa titik lokasi 2, 3, dan 4 memiliki tingkat kerentanan tanah longsor tertinggi dibandingkan dengan area lainnya. Temuan ini memberikan dasar penting untuk perencanaan mitigasi bencana tanah longsor di wilayah Banjarsari, Purwoharjo, serta menjadi acuan dalam pengelolaan risiko bencana berbasis geofisika.

ABSTRACT

Landslides are processes involving the downward movement of material, such as rocks or soil, influenced by topographical, geological, and soil characteristics. The Banjarsari, Purwoharjo areas have been identified as having a high potential for landslide hazards due to their diverse and vulnerable soil conditions. This study utilized microtremor data analyzed using the HVSR and Vs30 methods to conduct microzonation to identify areas with a high potential for landslides. Key parameters analyzed include dominant frequency (f_0), amplification (A0), seismic vulnerability index (Kg), peak ground acceleration (PGA), average shear wave velocity (Vs30), ground shear strain (GSS), and slope gradient. The analysis also involved a comparison of the Vs30 values obtained in this study with the USGS reference values. The microzonation results indicate that locations 2, 3, and 4 have the highest landslide vulnerability levels compared to other areas. These findings provide a critical basis for landslide disaster mitigation planning in the Banjarsari, Purwoharjo regions and serve as a reference for geophysics-based disaster risk management.

© 2024 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Tanah longsor merupakan salah satu bentuk perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan atau tanah yang bergerak ke bawah akibat pengaruh gaya gravitasi. Fenomena ini sering kali dipicu oleh berbagai faktor seperti kondisi topografi, tata guna lahan, serta karakteristik geologi lokal yang dapat memperkuat atau memperlemah efek tapak (*site effect*) di suatu kawasan [1]. Selain itu, getaran akibat gempa bumi, aktivitas mesin, maupun lalu lintas kendaraan juga dapat berperan

sebagai pemicu terjadinya tanah longsor. Bencana ini memiliki dampak yang signifikan, baik secara ekonomi maupun sosial, dengan kerugian material dan korban jiwa sebagai konsekuensinya.

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki tingkat kerentanan terhadap tanah longsor yang cukup tinggi [2]. Salah satu daerah yang paling rentan adalah Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulon Progo, yang didominasi oleh kondisi lereng terjal dan tanah yang kurang stabil. Kejadian tanah

longsor di Desa Banjarsari pada tahun 2016 menjadi salah satu contoh nyata dari bahaya ini (Gambar 1). Longsor tersebut disebabkan oleh curah hujan yang tinggi serta karakteristik tanah yang lunak, sehingga memperbesar risiko terjadinya pergerakan massa tanah. Kondisi ini menunjukkan pentingnya upaya mitigasi untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh bencana tanah longsor di wilayah tersebut.

Sebagai langkah strategis untuk mitigasi bencana tanah longsor, diperlukan pendekatan ilmiah yang berbasis pada mikrozonasi kawasan rawan longsor. Mikrozonasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan zona-zona rawan dengan tingkat detail yang tinggi berdasarkan parameter geofisika dan geologi. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah analisis HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dan kurva eliptisitas berdasarkan data mikrotremor. Metode ini memungkinkan identifikasi karakteristik bawah permukaan, seperti nilai Vs30, yang merupakan parameter penting dalam menentukan kerentanan tanah terhadap getaran.



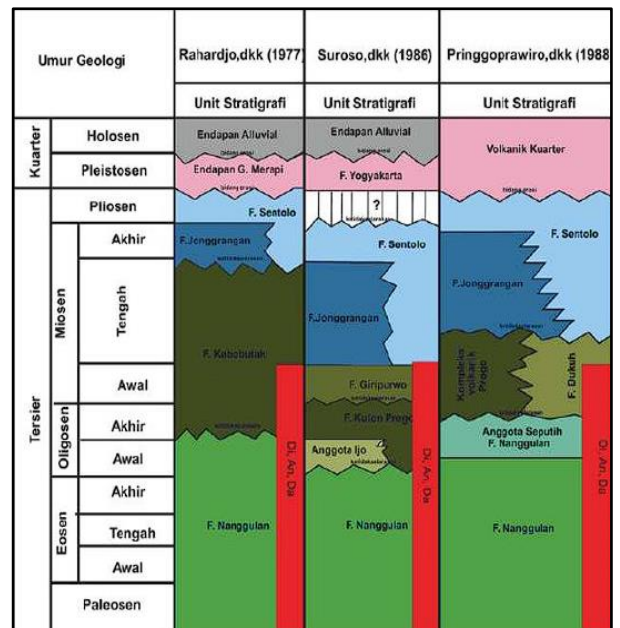
Gambar 1. Tanah longsor di Desa Banjarsari tahun 2016.

Selain itu, analisis lereng juga menjadi aspek penting dalam penelitian ini, mengingat tanah longsor umumnya terjadi pada lereng dengan kemiringan lebih dari 25%. Massa yang bergerak sering kali berupa tanah residual atau batuan vulkanik yang telah mengalami pelapukan [3]. Dengan memahami hubungan antara kemiringan lereng, karakteristik tanah, dan parameter geofisika, langkah-langkah mitigasi dapat dirancang secara lebih efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis parameter seismik menggunakan metode HVSR guna menentukan nilai f0, A0, Kg, PGA, Vs30, dan GSS, mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30-meter untuk mengidentifikasi variasi karakteristik tanah, serta melakukan mikrozonasi kawasan rawan longsor dengan mengintegrasikan hasil analisis parameter HVSR, profil tanah, dan kemiringan lereng guna menentukan lokasi

dengan potensi longsor tertinggi. Penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah terhadap pemahaman risiko tanah longsor di daerah Banjarsari, Purwoharjo, tetapi juga menjadi dasar dalam perencanaan tata ruang yang lebih aman dan berkelanjutan di masa mendatang.

Geologi Daerah Penelitian. Bentuk lahan pada daerah penelitian terdiri dari perbukitan bergelombang kuat, perbukitan bergelombang lemah, bukit karst, tubuh sungai, dan lembah aluvial [4]. Stratigrafi daerah penelitian terdiri dari: satuan breksi-andesit Kaligesing, yang berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal, dengan litologi berupa breksi andesit, sisipan lava andesit, dan batupasir, memiliki ketebalan ±375 m, serta terendapkan di lingkungan darat; satuan batugamping Jonggrangan, yang berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dengan litologi berupa batugamping terumbu, memiliki ketebalan ±60 m, dan terendapkan di lingkungan neritik tengah; serta satuan endapan aluvial, yang berumur Holosen, dengan litologi berupa material lepas yang belum mengalami kompaksi, seperti pecahan andesit, yang terendapkan di lingkungan darat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 [5].



Gambar 2. Geologi wilayah penelitian dan sekitarnya.

Metode HVSR. Metode HVSR adalah penentuan rasio sinyal vertikal dengan sinyal horizontal yang diperoleh dari pengukuran sinyal mikrotremor pada suatu lokasi untuk mengetahui karakteristik dinamis lapisan permukaan [6]. Secara umum dapat dirumuskan pada persamaan 1.

$$HVSR = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \frac{\sqrt{[(S_{UTARA-SELATAN})^2 + (S_{BARAT-TIMUR})^2]}}{S_{VERTIKAL}} \tag{1}$$

Frekuensi dominan adalah frekuensi yang paling sering muncul dan diindikasikan sebagai nilai frekuensi yang berasal dari batuan pada suatu wilayah. Nilai frekuensi alami mencerminkan ketebalan lapisan lapuk di bawah permukaan serta kecepatan gelombang yang melewati medium tersebut [7]. Nilai amplifikasi pada suatu jenis tanah berhubungan dengan perbandingan impedansi antara lapisan permukaan dan lapisan di bawahnya. Semakin tinggi nilai kontras perbandingan impedansi kedua lapisan, semakin besar faktor penguatannya, dan sebaliknya [6].

Indeks kerentanan seismik (Kg) menurut Nakamura (1998) mengukur kerentanan suatu wilayah terhadap dampak gempa bumi dengan menggunakan HVSR. Nilai Kg yang tinggi lebih rentan terhadap dampak gempa bumi, sementara nilai yang rendah menunjukkan kerentanan yang lebih rendah. Indeks ini membantu dalam perencanaan mitigasi bencana dengan mengidentifikasi daerah dengan potensi kerusakan yang lebih tinggi akibat gempa bumi. Pada umumnya Kg dirumuskan sebagaimana persamaan 2.

$$Kg = \frac{A_0^2}{f_0} \tag{2}$$

Peak Ground Acceleratin (PGA). PGA merupakan parameter yang diukur untuk melihat bagaimana percepatan getaran gempa bumi yang merambat pada litologi pengamatan. PGA mengukur kuat guncangan tanah pada suatu daerah. Pada penelitian ini nilai PGA diperkirakan berdasarkan persamaan empiris Murphy & O'Brien (persamaan 3).

$$\text{Log}(a_h) = 0,14 \cdot I_{mm} + 0,24 \cdot M - 0,68 \cdot \text{Log}(R) + \beta \tag{3}$$

Ground Shear Strain (GSS) dan Vs30. *Ground Shear Strain* (GSS) adalah kemampuan suatu lapisan tanah untuk meregang atau bergeser saat terjadi aktivitas tektonik/vulkanik berupa gempa bumi. Nilai GSS yang tinggi dapat mengindikasikan bahwa daerah tersebut memiliki potensi rawan pergerakan tanah, seperti longoran dan lainnya. Adanya aktivitas gelombang yang bersifat destruktif terhadap bangunan dapat dipengaruhi oleh frekuensi dan amplifikasi alaminya. Frekuensi dan amplifikasi ini sangat bergantung pada kecepatan gelombang geser (Vs) di bawah permukaan. Vs30 berarti rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter di bawah permukaan, dan nilai Vs30 dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah di bawah permukaan (BSN, 2019) [8]. Tabel 1 menunjukkan klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai Vs30 [8].

Salah satu metode inversi HVSR adalah menggunakan *ellipticity curve* yang digunakan untuk mendapatkan parameter kecepatan rata-rata gelombang geser (Vs) pada titik-titik pengukuran mikrotremor [9].

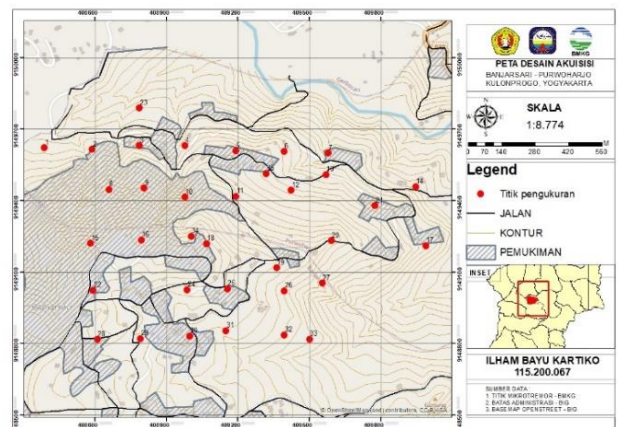
Tabel 1. Klasifikasi site berdasarkan nilai Vs30 [8].

Klasifikasi Site	Vs (m/s)
Batuan keras	Vs > 1500
Batuan	750 < Vs < 1500
Tanah sangat padat dan batuan lunak	350 < Vs < 750
Tanah sedang	175 < Vs < 350
Tanah lunak	Vs < 175

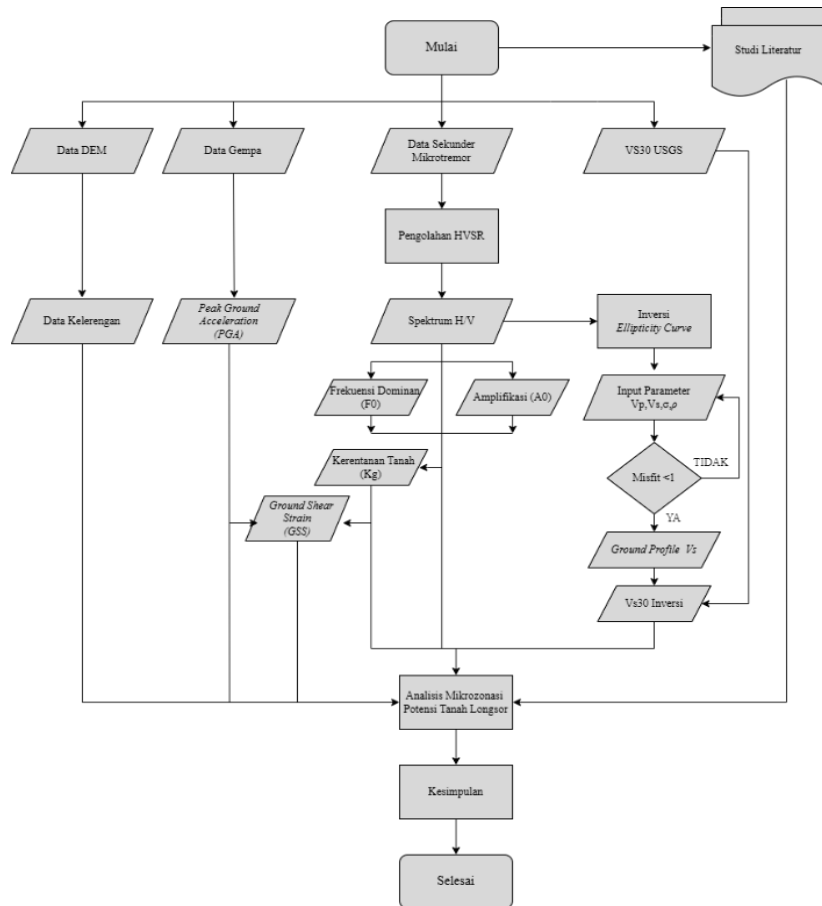
2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di daerah Banjarsari, Purwoharjo, Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Berdasarkan peta desain survei, dapat diketahui bahwa daerah penelitian didominasi oleh keadaan topografi yang cukup curam, yang ditandai dengan kerapatan garis kontur pada daerah tersebut. Pada penelitian kali ini, digunakan total 35 titik mikrotremor dengan jarak antar titik yang bervariasi, dengan rentang 200 – 300 meter. Hal ini disesuaikan dengan keadaan kontur dan posisi titik pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Data mikrotremor yang diperoleh diolah sesuai dengan acuan dari SESAME, 2004. Pengolahan data mikrotremor dilakukan menggunakan software Geopsy untuk mendapatkan spektrum H/V dalam bentuk Kurva HVSR. Kemudian, kurva HVSR yang diperoleh dilanjutkan inversi dengan software Dinver untuk mendapatkan profil tanah Vs dengan memasukkan beberapa parameter awal, seperti kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S, rasio Poisson, dan densitas, sebagai data untuk menghitung nilai Vs30. Selanjutnya, nilai Vs30 yang diperoleh akan dibandingkan dengan nilai Vs30 dari USGS yang diperoleh melalui website USGS. Seluruh data yang diperoleh akan dianalisis untuk menentukan mikrozonasi potensi rawan longsor. Alur penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Peta desain survei mikrotremor.



Gambar 4. Diagram alir penelitian.

4. Hasil Dan Pembahasan

Analisis dilakukan untuk mendapatkan parameter frekuensi dominan (f_0), amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g), percepatan tanah maksimum (PGA), V_{s30} , GSS, slope dan kerawanan tanah longsor.

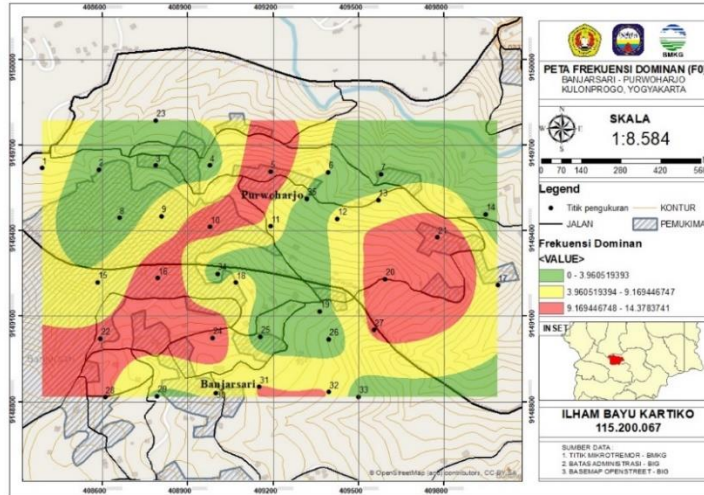
Frekuensi Dominan (f_0). Berdasarkan persebaran nilai frekuensi dominan pada Gambar 5, dapat diinterpretasikan bahwa daerah yang ditandai dengan warna hijau, dengan rentang frekuensi dominan hingga 3,96 Hz, memiliki nilai frekuensi dominan yang rendah. Berdasarkan klasifikasi yang dikemukakan oleh Nakamura [6], daerah tersebut diperkirakan memiliki ketebalan sedimen tebal, berkisar antara 10-30 meter. Kondisi ini mengindikasikan adanya endapan sedimen yang signifikan.

Sebaliknya, daerah yang ditandai dengan warna merah menunjukkan nilai frekuensi dominan yang tinggi, yaitu berkisar antara 9,17–14,38 Hz. Hal ini sesuai dengan klasifikasi yang dikemukakan oleh Ibs-von Seht dan Wohlenberg [10] yang menyatakan bahwa daerah dengan frekuensi dominan tinggi biasanya memiliki ketebalan sedimen yang rendah. Daerah ini diperkirakan memiliki ketebalan sedimen yang tipis, yaitu kurang dari 5 meter.

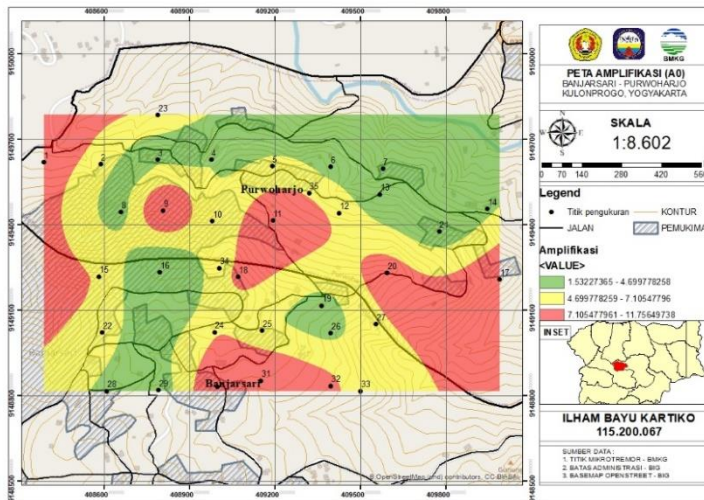
Faktor Amplifikasi (A_0). Peta sebaran amplifikasi (A_0) di wilayah Banjarsari, Purwoharjo, sebagaimana

ditunjukkan pada Gambar 6, memiliki nilai amplifikasi yang berkisar antara 0 - 11,76. Dari peta tersebut, dapat diklasifikasikan faktor amplifikasi tinggi dengan rentang 7,11 - 11,76, sedangkan factor amplifikasi rendah dengan nilai 1,53 – 4,70. Berdasarkan persebaran nilai amplifikasi, dapat diinterpretasikan bahwa daerah yang ditandai dengan warna hijau memiliki faktor amplifikasi yang rendah. Sebaliknya, daerah yang ditandai dengan warna merah memiliki faktor amplifikasi yang sangat tinggi.

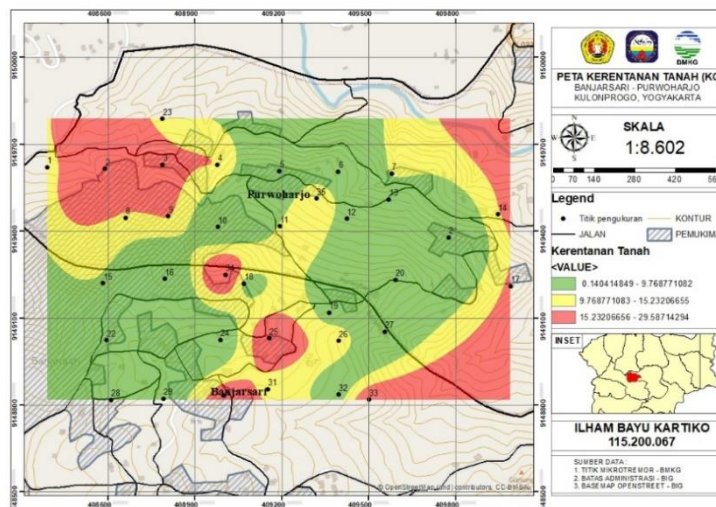
Indeks Kerentanan Seismik (K_g). Berdasarkan peta persebaran nilai kerentanan seismik pada Gambar 7, diketahui bahwa area yang ditandai dengan warna merah merupakan wilayah dengan nilai kerentanan yang tinggi, yaitu dalam rentang 15,23 – 29,59. Sebaliknya, area yang ditandai dengan warna hijau menunjukkan wilayah dengan nilai kerentanan seismik yang rendah, dengan rentang 0,14 – 9,77. Pada daerah di titik pengukuran 2, 3, 4, 8, dan 9, nilai kerentanan seismic tergolong tinggi, yaitu berkisar antara 15,23 – 29,59. Daerah tersebut memiliki tingkat pelapukan batuan yang tinggi, yang dapat meningkatkan potensi terjadinya aktivitas tanah longsor. Berdasarkan peta persebaran tanah longsor, titik pengukuran 2, 3, 4, 8, dan 9 juga berada di wilayah dengan populasi penduduk. Dengan demikian, jika aktivitas tanah longsor terjadi, hal ini akan berdampak pada penduduk di sekitar area tersebut.



Gambar 5. Peta frekuensi dominan (f0).



Gambar 6. Peta faktor amplifikasi (A0).



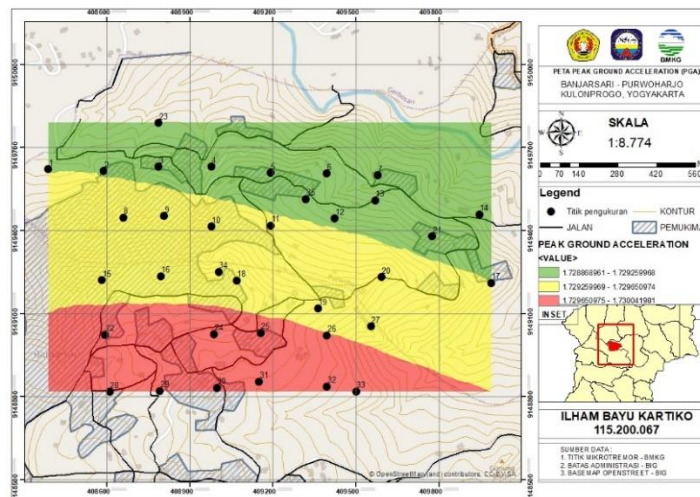
Gambar 7. Peta indeks kerentanan seismik (Kg).

Peak Ground Acceleration (PGA). Berdasarkan persebaran nilai PGA pada Gambar 8, daerah yang ditandai dengan warna merah menunjukkan nilai PGA yang lebih tinggi, dengan rentang nilai 1,72 – 1,73 gal. Sementara itu, daerah yang ditandai dengan warna hijau menunjukkan nilai PGA yang lebih rendah. Menurut klasifikasi dari Wald [11], nilai PGA tersebut masuk kategori *Modified Mercalli Intensity* (MMI) skala 4, getaran dirasakan secara signifikan dan dapat menyebabkan jendela bergetar. Analisis ini juga menunjukkan bahwa hampir seluruh area penelitian memiliki dampak sedang terhadap gempa bumi. Oleh karena itu, penting untuk melakukan upaya mitigasi dan persiapan untuk menghadapi potensi bencana di masa depan [12].

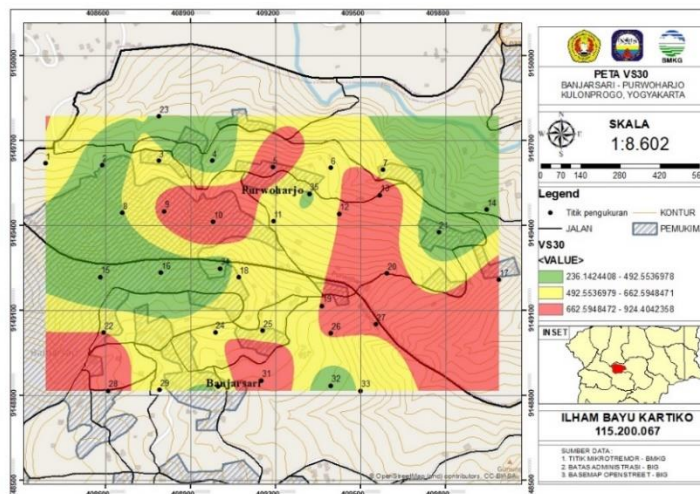
Analisis Vs30. Berdasarkan peta persebaran nilai Vs30 pada Gambar 9, daerah yang ditandai dengan warna merah menunjukkan nilai Vs30 yang tinggi, dengan rentang nilai 662 – 924 m/s. Sementara itu, daerah yang ditandai dengan warna hijau menunjukkan nilai Vs30 yang rendah, dengan rentang nilai 236 – 492 m/s. Berdasarkan tabel SNI 1726 tahun 2019 [13], daerah dengan warna merah termasuk

dalam klasifikasi batuan (SB). Sementara itu, daerah dengan warna hijau dikategorikan sebagai tanah dengan karakteristik sedang (tanah padat) atau lunak. Pada area pengukuran di titik 2, 3, dan 4, daerah tersebut memiliki potensi tinggi untuk terjadinya tanah longsor. Wilayah ini merupakan area dengan populasi penduduk, sehingga keberadaan penduduk dapat meningkatkan risiko tanah longsor karena dampak negatif yang signifikan terhadap masyarakat setempat.

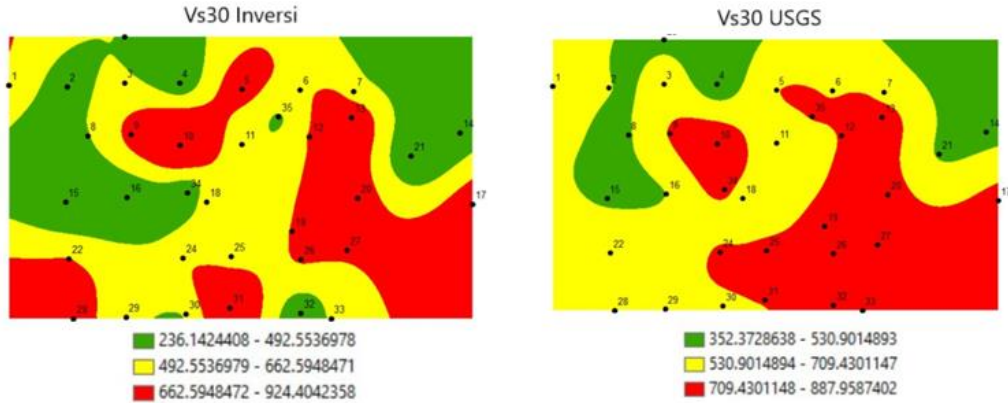
Berdasarkan nilai Vs30 USGS [14-17] yang ditampilkan pada Gambar 10, pola hasil interpolasi dari data Vs30 USGS menunjukkan kesamaan dengan pola Vs30 hasil inversi. Rasio Vs30 dihitung dengan membagi nilai Vs30 hasil inversi mikrotremor dengan nilai Vs30 USGS. Rasio Vs30 rata-rata adalah 0,87718, yang menunjukkan bahwa perbedaan antara hasil pengukuran mikrotremor dan pengukuran Vs30 USGS tidak terlalu signifikan. Untuk memudahkan interpretasi data pada setiap titik pengukuran, dilakukan perbandingan pola menggunakan Excel untuk membuat grafik. Dengan metode ini, pola analisis tiap titik dapat ditentukan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.



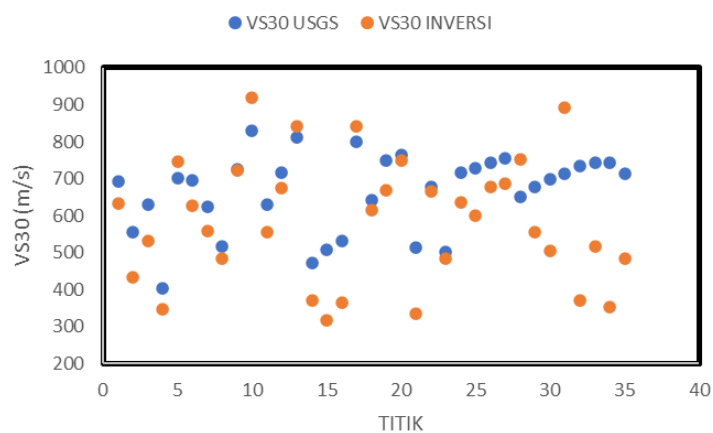
Gambar 8. Peta Peak Ground Acceleration (PGA).



Gambar 9. Peta Vs30 hasil inversi HVSR.



Gambar 10. Peta Vs30 hasil inversi dan Vs30 dari USGS.



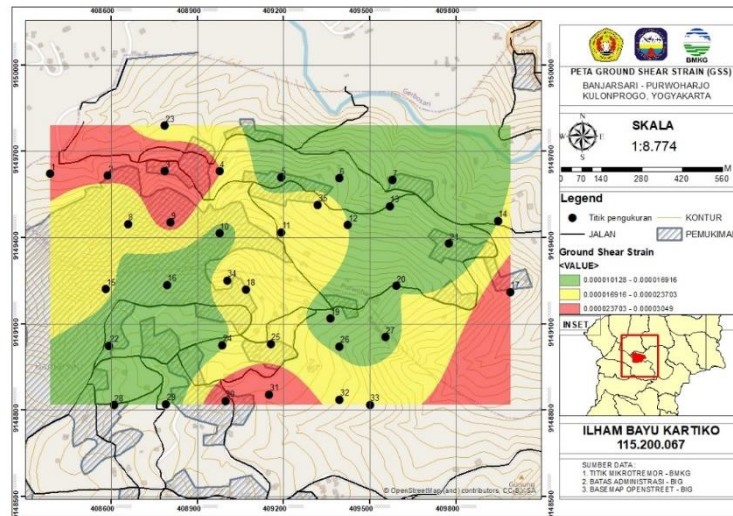
Gambar 11. Perbandingan Vs30 USGS dengan hasil inversi.

Ground Shear Strain (GSS). Berdasarkan Gambar 12, area yang ditandai dengan warna hijau memiliki nilai GSS yang rendah, dengan rentang nilai 0,000010128–0,000016916. Hal ini menunjukkan bahwa material bawah permukaan di daerah tersebut tidak mudah merengas atau bergeser. Kondisi ini umumnya berkaitan dengan karakteristik tanah yang lebih padat dan konsolidasi material yang baik [18]. Sebaliknya, area yang ditandai dengan warna merah memiliki nilai GSS yang tinggi, sehingga memiliki potensi tanah longsor yang lebih besar [19]. Selain itu, area berwarna merah, khususnya pada titik 2, 3, dan 4, merupakan wilayah dengan populasi penduduk. Kondisi ini semakin meningkatkan risiko tanah longsor karena dapat memberikan dampak negatif kepada masyarakat di area penelitian. Keberadaan penduduk di area ini menambah kerentanan sosial-ekonomi, karena tanah longsor tidak hanya berdampak pada kehilangan material tetapi juga dapat mengancam keselamatan jiwa dan merusak infrastruktur penting [20]. Oleh karena itu, identifikasi zona rawan seperti ini sangat penting untuk perencanaan mitigasi bencana, seperti penanaman vegetasi penguat lereng atau pembangunan dinding penahan tanah [21].

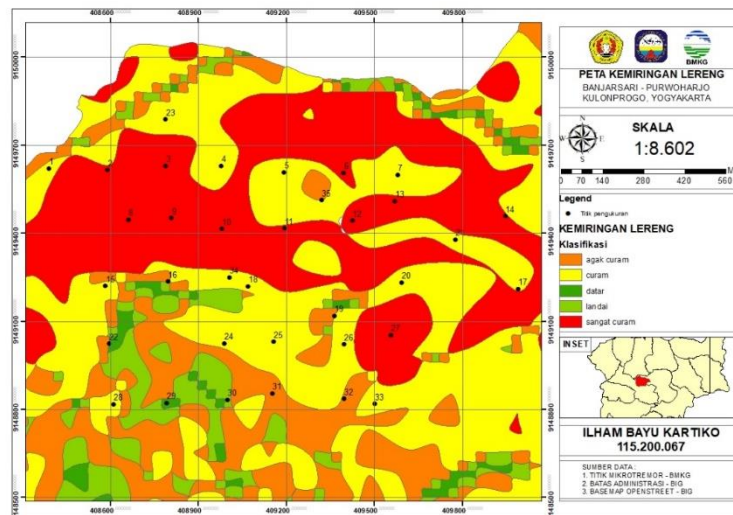
Analisis Slope. Berdasarkan Gambar 13 dan klasifikasi Van Zuidam [22], daerah yang ditandai dengan warna merah merupakan wilayah dengan kemiringan sangat curam (lebih dari 45%). Sementara itu, daerah yang

ditandai dengan warna oranye memiliki kemiringan lereng agak curam, yaitu sebesar 15 – 25%, dan daerah yang ditandai dengan warna hijau menunjukkan kemiringan yang landai dengan nilai 0 – 8%. Pada peta kemiringan lereng, wilayah dengan kemiringan sangat curam (warna merah) berpotensi besar mengalami tanah longsor. Lereng dengan kemiringan tinggi cenderung lebih tidak stabil karena gaya gravitasi yang lebih dominan, membuat material tanah dan batuan lebih mudah bergerak [23]. Kemiringan lereng yang curam juga memengaruhi kapasitas tanah dalam menahan beban tambahan, seperti hujan lebat atau aktivitas manusia, yang dapat memicu longsor.

Lereng curam dengan material tidak terkonsolidasi sering kali menjadi faktor utama dalam kejadian tanah longsor, terutama di daerah dengan curah hujan tinggi [24]. Wilayah dengan warna merah yang ditandai pada peta ini perlu mendapatkan perhatian khusus dalam perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana. Upaya seperti penghijauan dengan vegetasi berakar kuat atau pembangunan struktur penahan tanah dapat mengurangi risiko tanah longsor. Dengan demikian, pemahaman tentang distribusi kemiringan lereng di suatu wilayah tidak hanya penting untuk analisis geologi, tetapi juga untuk mengidentifikasi area berisiko tinggi dan merancang strategi mitigasi yang efektif.



Gambar 12. Peta *Ground Shear Strain* (GSS).



Gambar 13. Peta kemiringan lereng (slope).

5. Kesimpulan

Hasil analisis menggunakan metode HVSR menunjukkan bahwa parameter f_0 memiliki nilai hingga 14,4 Hz, parameter A_0 memiliki rentang nilai 1,5–11,8, parameter K_g memiliki rentang nilai 0,14–29,59, nilai PGA berada pada rentang 1,72–1,73 gal, nilai V_{s30} berada pada rentang 236–924 m/s, dan nilai GSS berada pada rentang 0,000010128–0,000034049. Hasil analisis klasifikasi jenis tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki variasi karakteristik tanah, yaitu tanah lunak, tanah sedang, dan batuan. Mikrozonasi kawasan dengan potensi rawan longsor, berdasarkan hasil analisis parameter HVSR, profil tanah, serta analisis kemiringan lereng, menunjukkan bahwa titik pengukuran 2, 3, dan 4 memiliki potensi terbesar terhadap bencana tanah longsor.

Daftar Pustaka

- [1] Andrianto. *Analisis Daerah Kawasan Rentan Tanah Longsor Menggunakan Data Mikroseismik di Desa Gayamharjo Kecamatan Prambanan Kabupaten Sleman*. Skripsi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, 2018.
- [2] Nusantara.medcom.id. Internet: <https://bpbd.bantulkab.go.id/tag/tanah-longsor/>, diakses 3 Januari 2024.
- [3] Karnawati, D. *Mekanisme Gerakan Massa Batuan Akibat Gempabumi; Tinjauan dan analisis Geologi Teknik*. 2007.
- [4] Surono, “Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah,” *J.S.D. Geol.*, 19(3), 31 - 43, 2009.
- [5] Nur, R., Hartantyo, E., “Penentuan Area Potensi Tanah Longsor Berdasarkan Analisis Mikrotremor di

- Dusun Jeruk dan Sekitarnya Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulonprogo,” *POSITRON*, Vol. 11 (2), 77 - 85, 2021.
- [6] 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.
- [7] Mucciarelli, M., Gallipoli, M., “A Critical Review Of 10 Years of Microtremor HVSR Technique,” *Bollettino di Geofisika Teorica ed Applicata*, Vol. 42, 255 - 266, 2001.
- [8] Badan Standarisasi Nasional. *SNI-1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung*. 2019.
- [9] Patimah, S. *Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profile Kecepatan Gelombang Geser Dengan Metode Ellipticity Curve di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, Kabupaten Klaten*. Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta, 2017
- [10] Ibs-von Seht, M., Wohlenberg, J., “Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Deposits,” *Journal of Applied Geophysics*, 42 (2-3), 133-147, 1999.
- [11] Wald, D. J. *Modified Mercalli Intensity (MMI) Scale*. U.S. Geological Survey, 1999.
- [12] BNPB. (2015). *Pedoman Teknis Penilaian Kerentanan Gempa Bumi*.
- [13] BSN. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. SNI 1726:2019. Indonesia
- [14] Allen, T. I., and Wald, D. J., 2009, On the Use of High-Resolution Topographic Data as A Proxy for Seismic Site Conditions (Vs30), *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99, no. 2A, 935-943.
- [15] Heath, D., Wald, D. J., Worden, C. B., Thompson, E. M., and Scmocyk, G. “A Global Hybrid VS30 Map with a Topographic-Slope-Based Default and Regional Map Insets,” *Earthquake Spectra*, Vol. 36, 3, 1570-1584, 2020.
- [16] Wald, D. J., and Allen, T. I., “Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97, no. 5, 1379-1395, 2007.
- [17] Yong, A., Thompson, E.M., Wald, D., Knudsen, K.L., Odum, J.K., Stephenson, W.J., Haefner, S. *Compilation of Vs30 Data for the United States: U.S. Geological Survey Data Series 978*, 2015.
- [18] Seed, H.B., Idriss, I.M., & Arango, “Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data,” *Journal of Geotechnical Engineering*, 109, 458-482, 1983.
- [19] Wang, X., Huang, F., Fan, X., “Landslide Susceptibility Modeling Based on Remote Sensing Data and Data Mining Techniques,” *Environ Earth Sci*, 81, 50, 2022.
- [20] Petley, D. N. “Global patterns of loss of life from landslides,” *Geology*, 40, 927-930, 2012.
- [21] Glade, T., Anderson, M. G., & Crozier, M. J. *Landslide Hazard and Risk*. Wiley. 2005.
- [22] Van Zuidam, R.A. *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. 1985.
- [23] Selby, M. J. *Hillslope Materials and Processes*. 1993.
- [24] Guzzetti, F., “Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study,” *Geomorphology*, 31(1), 181-216, 1999.