

MIKROZONASI SEISMİK DI KAWASAN ITSNU PEKALONGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE HVSR

Abdul Hakim Prima Yuniarto*

Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama Pekalongan

e-mail*: a.hakim.py@gmail.com

Diterima 17 November 2022

Disetujui 19 Mei 2023

Dipublikasikan 25 Mei 2023

<https://doi.org/10.33369/jkf.6.1.47-54>

ABSTRAK

Aktivitas seismik di wilayah Kabupaten Pekalongan dipengaruhi oleh keberadaan segmen sesar Baribis-Kendeng. Baribis-Kendeng merupakan sesar aktif yang memanjang dari barat ke timur di bagian utara pulau Jawa, sesar tersebut menyebabkan beberapa kerusakan yang diakibatkan oleh terjadinya gempa bumi. Penelitian tentang kerawanan terhadap bencana gempa bumi di kawasan ITSNU Pekalongan perlu dilakukan karena kawasan tersebut terdiri atas 3 buah bangunan bertingkat dan merupakan kawasan yang setiap hari digunakan untuk aktivitas banyak orang. Penelitian dilakukan dengan pengukuran pada 10 titik yang tersebar di kawasan ITSNU Pekalongan. Analisis frekuensi natural dan amplifikasi diolah menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), sehingga dihasilkan nilai indeks kerentanan seismik dan ketebalan lapisan lapuk di daerah penelitian. Berdasarkan hasil penelitian, pada kawasan ITSNU Pekalongan mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 1,99 - 2,27 Hz. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kawasan ITSNU Pekalongan termasuk dalam klasifikasi tanah tipe I jenis IV, lapisan tanah tersebut tersusun atas batuan *alluvial* dengan ketebalan 26 - 29,8 m yang terbentuk akibat proses sedimentasi. Jika terjadi gempa bumi, area yang paling rawan ada di antara gedung aula PCNU Kabupaten Pekalongan dan gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan karena mempunyai indeks kerentanan seismik dan amplifikasi tertinggi.

Kata kunci: HVSR, Mikrozonasi, Pekalongan

ABSTRACT

Seismic activity in the Pekalongan Regency area is influenced by the presence of the Baribis-Kendeng fault segment. Baribis-Kendeng is an active fault that extends from west to east in the northern part of Java Island, this fault causes some damage caused by an earthquake. Research on the vulnerability to earthquakes in the ITSNU Pekalongan area needs to be carried out because the area consists of three high-rise buildings and is an area that is used every day for the activities of many people. The research was carried out by measuring 10 points spread across the ITSNU Pekalongan area. Natural frequency analysis and amplification were processed using the HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) method, resulting in seismic vulnerability index values and weathered layer thickness in the study area. Based on the research results, the ITSNU Pekalongan area has a natural frequency value of 1.99–2.27 Hz. This value indicates that the ITSNU Pekalongan area is included in the soil classification of type I and sort IV, the soil layer is composed of alluvial rock with a thickness of 26–29.8 m, which was formed due to the sedimentation process. If an earthquake occurs, the most vulnerable area is between the Pekalongan Regency PCNU hall building and the Pekalongan ITSNU lecture building because it has the highest seismic vulnerability index and amplification.

Keywords: HVSR, Microzonation, Pekalongan

I. PENDAHULUAN

Provinsi Jawa Tengah terletak pada jalur sesar aktif. Menurut hasil riset Pusat Studi Gempa Nasional, di Pulau Jawa terdapat 34 sesar lokal. Provinsi Jawa Tengah didominasi oleh Sesar Baribis – Kendeng (1). Sesar Baribis – Kendeng merupakan sesar aktif yang berada pada bagian utara Pulau Jawa dan memanjang dari barat ke timur (2). Sesar tersebut pernah menimbulkan gempa bumi yang menyebabkan kehancuran, seperti gempa Kuningan tahun 1842, gempa Karawang tahun 1862, gempa Majalengka tahun 1912, dan gempa Madiun tahun 2015 (3). Wilayah Pantura bagian barat terdapat sesar yang melewati beberapa kota atau kabupaten, seperti Cirebon,

Brebes, Pemalang, dan Pekalongan. Sesar tersebut masih aktif bergerak hingga sekarang dengan kecepatan rata-rata 4,5 milimeter / tahun (4). Kabupaten Pekalongan merupakan wilayah yang dilewati oleh sesar tersebut, sehingga termasuk dalam wilayah yang rawan terhadap gempa bumi.

Kawasan ITSNU Pekalongan terletak di Kecamatan Kedungwuni, Kabupaten Pekalongan. Pada kawasan ITSNU Pekalongan terdapat 3 bangunan yang relatif besar ukurannya. Pertama terdapat gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan yang terdiri atas 3 lantai, kemudian terdapat gedung kantor PCNU Kabupaten Pekalongan yang terdiri dari 3 lantai juga, lalu yang terakhir terdapat bangunan aula milik PCNU Kabupaten Pekalongan yang terdiri dari 2 lantai. Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang kerawanan terhadap bencana gempa bumi karena kawasan tersebut merupakan kawasan yang setiap hari digunakan untuk aktivitas banyak orang. Kerawanan terhadap gempa bumi dapat dianalisis dengan menggunakan metode HVSR.

Prinsip kerja dari metode HVSR adalah dengan memanfaatkan getaran harmonik alami dari tanah. Metode HVSR merupakan metode perbandingan rasio antara komponen horizontal dan komponen vertikal dari sinyal mikroseismik yang diukur. Data yang dihasilkan dengan metode HVSR adalah data nilai frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Dari kedua data tersebut dapat diolah lagi untuk menghasilkan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) dan ketebalan lapisan lapuk (H) (5).

Penelitian dengan menggunakan metode HVSR sudah dilakukan di berbagai daerah. Seperti di daerah Gorontalo, tepatnya di wilayah Kampus 4 Universitas Negeri Gorontalo. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai frekuensi naturalnya (f_0) sebesar 9,91-22,51 Hz dan nilai amplifikasinya (A_0) sebesar 1,34-1,46, nilai tersebut termasuk zona rendah, artinya wilayah ini jika terjadi gempa bumi tidak menimbulkan guncangan yang kuat (6). Kemudian terdapat juga penelitian di kawasan Stasiun Geofisika Tangerang. Hasil yang diperoleh yaitu rata-rata indeks kerentanan seismik (K_g) sebesar 3,8991, dan nilai amplifikasinya (A_0) 2,4357 (7). Penelitian metode HVSR juga dilakukan di Kota Jambi. Nilai frekuensi natural (f_0) yang diperoleh berkisar 1,04-4,35 Hz, nilai amplifikasinya (A_0) berkisar 1,13 – 4,88, dan untuk nilai indeks kerentanan seismiknya (K_g) berkisar 0,51 – 20,18 (8).

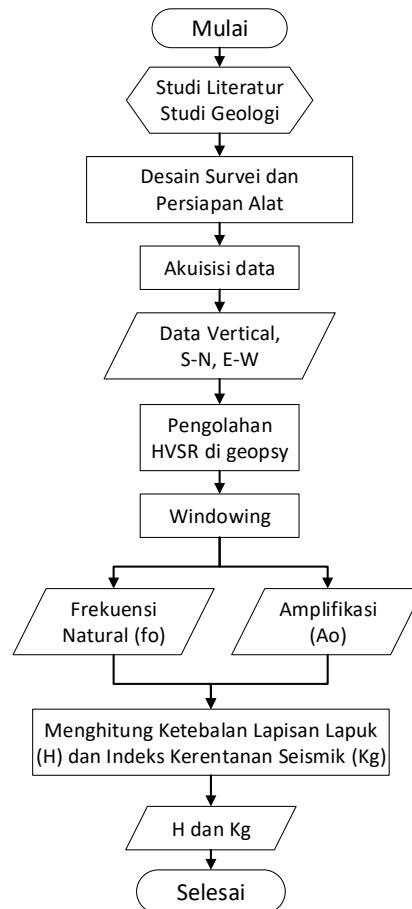
II. METODE PENELITIAN

Pengukuran mikrotremor dilakukan di kawasan ITSNU Pekalongan, tepatnya di Kelurahan Karangdowo, Kecamatan Kedungwuni, Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah. Pada kawasan tersebut terdapat beberapa bangunan seperti gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan, gedung kantor PCNU Kabupaten Pekalongan dan gedung aula PCNU Kabupaten Pekalongan. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran pada 10 titik di sekitar kawasan tersebut. Titik pengukuran tersebar di setiap sudut kawasan ITSNU Pekalongan agar data yang diperoleh merata dan mewakili data kawasan tersebut. Peta titik pengukuran mikrotremor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Titik Pengukuran Mikroseismik

Penelitian ini mempunyai beberapa tahapan, tahapan yang pertama adalah studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan atau akuisisi data, setelah diperoleh data kemudian melakukan proses pengolahan data dengan menggunakan metode HVSR. Diagram alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pada penelitian ini proses pengambilan data menggunakan peralatan 1 set seismometer Sara Velbox SL06. Alat tersebut dapat mengukur 3 komponen yaitu komponen vertikal, komponen utara-selatan, dan komponen barat-timur. Pengukuran dilakukan selama 20-30 menit untuk setiap titik ukurnya. Data yang didapatkan setelah proses akuisisi data kemudian diproses dan diolah agar diperoleh data nilai frekuensi natural (f_0) dan nilai amplifikasi (A_0). Proses pengolahan data tersebut menggunakan *software Geopsy*. Pada proses pengolahan data, sinyal yang diperoleh harus melalui proses *filtering* agar meminimalisir *noise* dan gangguan. Kemudian melakukan proses *windowing* manual. Sinyal data dipilih secara manual dalam *window* waktu tertentu dengan *noise* yang sedikit dan sinyal yang paling stabil.

Sinyal yang telah melewati proses *windowing* dianalisis menggunakan metode HVSR untuk komponen vertikal serta komponen horizontal yang terdiri atas timur-barat dan utara-selatan, sehingga menghasilkan nilai frekuensi natural (f_0) dan amplifikasi (A_0). Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) dan ketebalan lapisan lapuk (H) diperoleh dengan mengolah data frekuensi natural dan amplifikasi. Data indeks kerentanan seismik (K_g) dan ketebalan lapisan lapuk (H) kemudian diolah menggunakan *software Surfer* untuk menghasilkan peta.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Frekuensi Natural (f_0)

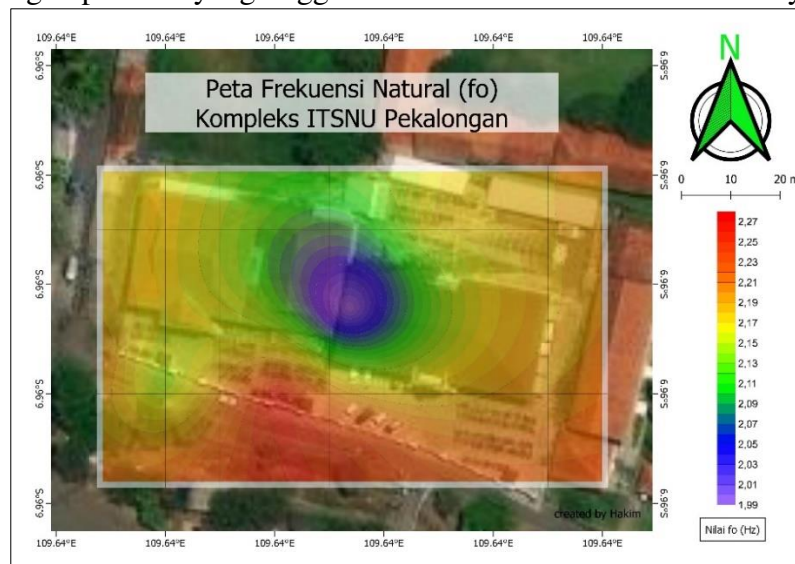
Nilai frekuensi natural tanah dapat menggambarkan kondisi geologi pada suatu daerah. Nilai frekuensi natural yang tinggi menggambarkan suatu daerah yang tersusun atas batuan keras dan lapisan sedimen yang tipis. Sebaliknya nilai frekuensi natural yang rendah $<2,5$ Hz menggambarkan suatu daerah tersusun atas batuan lunak dan lapisan sedimen yang tebal (6). Oleh karena itu, daerah

yang mempunyai nilai frekuensi natural yang rendah merupakan daerah yang rawan jika terjadi gempa bumi (9). Tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai frekuensi natural, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural (10).

Tipe	Jenis	Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe IV	Jenis I	6,67 - 20	Batuan <i>gravel, hard sandy</i> , dll. Berumur tersier atau lebih tua.	Didominasi oleh batuan keras, ketebalan sedimen permukaan sangat tipis
Tipe III	Jenis II	4,0 – 6,67	Batuan <i>sandy-gravel, loam, sandy hard clay</i> dll. Batuan <i>alluvial</i> dengan ketebalan sekitar 5 m.	Ketebalan sedimen permukaan sekitar 5-10 m, masuk dalam kategori menengah
Tipe II	Jenis III	2,5 – 4,0	Batuan <i>sandy hard clay, sandy gravel</i> , dll. Batuan <i>alluvial</i> dengan ketebalan > 5 m.	Ketebalan sedimen permukaan sekitar 10-30 m, masuk dalam kategori tebal
Tipe I	Jenis IV	< 2,5	Batuan <i>alluvial</i> dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur dan lainnya. Kedalaman ≥ 30 m.	Ketebalan sedimen permukaan sangatlah tebal.

Berdasarkan pengukuran di kawasan ITSNU Pekalongan, seperti pada Gambar 3 diperoleh nilai frekuensi natural sebesar 1,99 – 2,27 Hz. Berdasarkan data pada Tabel 1, maka pada kawasan ITSNU Pekalongan termasuk dalam klasifikasi tanah tipe I jenis IV. Lapisan tanah tersebut tersusun atas batuan *alluvial* yang berasal dari proses sedimentasi delta, kemudian terdapat juga *top soil* dan lumpur pada kedalaman ≥ 30 m. Susunan lapisan tanah tersebut bersesuaian dengan peta geologi yang disusun oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Batuan penyusun di Kabupaten Pekalongan terdiri dari *alluvium*, endapan undak dan batuan gunung api Jembangan, sedangkan pada wilayah Kecamatan Kedungwuni tersusun atas aluvium dengan ketebalan 150 m (11). Daerah aluvium relatif tidak tahan jika terjadi gempa karena tanahnya bersifat lunak (12). Sesuai dengan data frekuensi natural yang diperoleh maka kawasan ITSNU Pekalongan mempunyai tingkat kerawanan bencana gempa bumi yang tinggi karena memiliki frekuensi natural yang rendah.



Gambar 3. Peta Frekuensi Natural (fo)

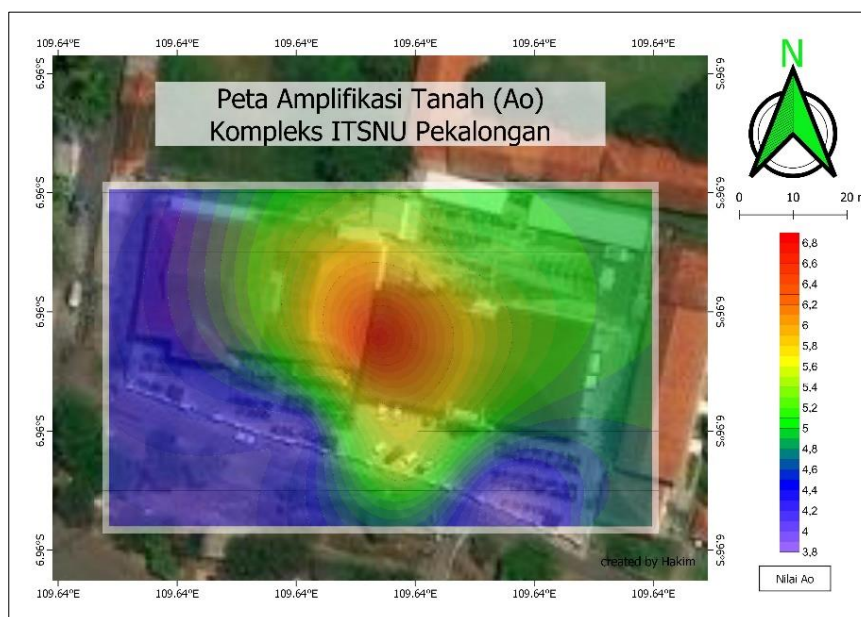
Nilai frekuensi natural tertinggi terlihat di titik M07 yaitu sebesar 2,27 Hz. Titik tersebut berada di sebelah selatan daerah penelitian tepatnya di depan gedung aula PCNU Kabupaten Pekalongan. Sedangkan nilai frekuensi natural yang terendah terlihat di titik M05 yaitu 1,99 Hz. Titik tersebut berada di tengah-tengah daerah penelitian tepatnya di antara 2 gedung yaitu gedung aula PCNU Kabupaten Pekalongan dan gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan.

3.2 Amplifikasi (Ao)

Nilai amplitudo maksimum dari suatu gelombang disebut amplifikasi. Kecepatan gelombang mempengaruhi nilai faktor amplifikasi, semakin tinggi faktor amplifikasi maka semakin kecil kecepatan gelombangnya (6). Hal tersebut dapat diartikan bahwa faktor amplifikasi dipengaruhi kerapatan suatu batuan. Semakin kecil kerapatan suatu batuan maka nilai faktor amplifikasinya akan semakin tinggi. Kecepatan gelombang akan melambat dikarenakan oleh sedimen lunak (13). Nilai amplifikasi pada suatu daerah dapat diklasifikasikan seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi nilai amplifikasi (14).

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



Gambar 4. Peta Amplifikasi (Ao)

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengolahan data mikrotremor seperti pada Gambar 4, maka diperoleh nilai amplifikasi di kawasan ITSNU Pekalongan berkisar 3,8 – 6,8. Berdasarkan data pada Tabel 2, nilai amplifikasi tersebut termasuk zona amplifikasi sedang dan tinggi. Warna biru hingga kuning menunjukkan zona amplifikasi sedang, sedangkan warna merah menunjukkan zona amplifikasi tinggi. Nilai amplifikasi tertinggi terletak pada titik M05 sebesar 6,8 yaitu di antara gedung aula PCNU Kabupaten Pekalongan dan gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada kawasan di sekitar titik M05 beresiko guncangan yang lebih kuat jika terjadi gempa bumi. Sedangkan untuk nilai amplifikasi terendah pada titik M03 sebesar 3,8 yang berada di area parkir motor gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan.

3.3 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks Kerentanan Seismik (Kg) dapat mendeskripsikan kerentanan lapisan tanah terhadap deformasi saat gempa bumi (15). Hubungan antara nilai indeks kerentanan seismik berbanding lurus dengan kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa bumi. Jika suatu daerah memiliki indeks kerentanan seismik tinggi, maka struktur tanah di daerah tersebut kurang stabil, sehingga potensi kerusakan bangunan akan lebih besar jika terjadi gempa bumi (16). Nilai indeks kerentanan seismik dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Klasifikasi Indeks Kerentanan Seismik (17).

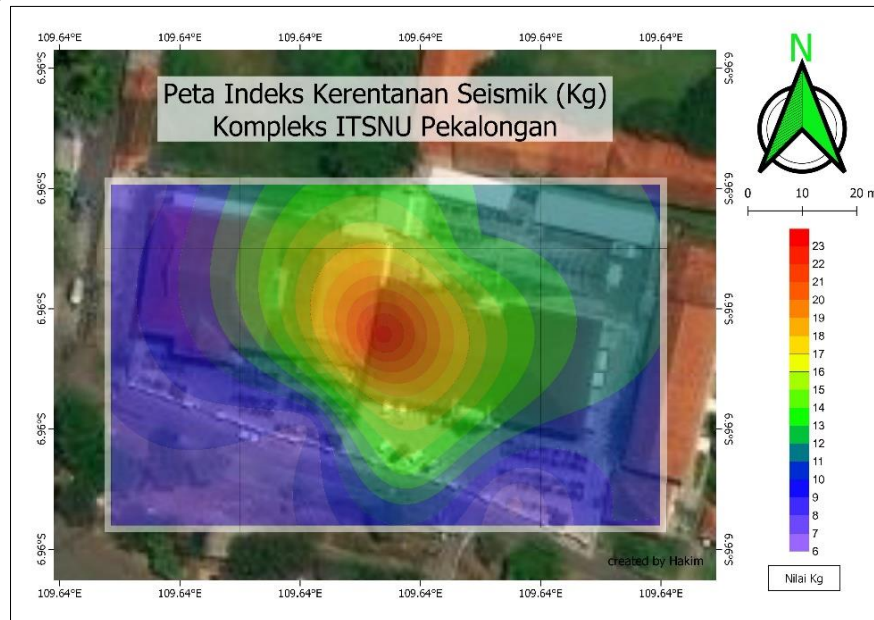
No	Zona	Indeks Kerentanan Seismik (Kg)
1	Rendah	< 3
2	Sedang	$3 \leq Kg < 6$

No	Zona	Indeks Kerentanan Seismik (Kg)
3	Tinggi	$Kg \geq 6$

Nilai indeks kerentanan seismik (Kg) diperoleh dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$Kg = \frac{Ao^2}{fo} \quad (1)$$

Nilai Kg tinggi ditemukan pada lapisan tanah dengan litologi batuan sedimen lunak. Sedangkan nilai Kg rendah ditemukan pada tanah yang tersusun atas batuan yang kuat dan stabil (8). Nilai Kg tinggi berisiko pada saat terjadi gempa bumi, sebaliknya nilai Kg rendah hanya mengalami guncangan ringan.



Gambar 5. Peta Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

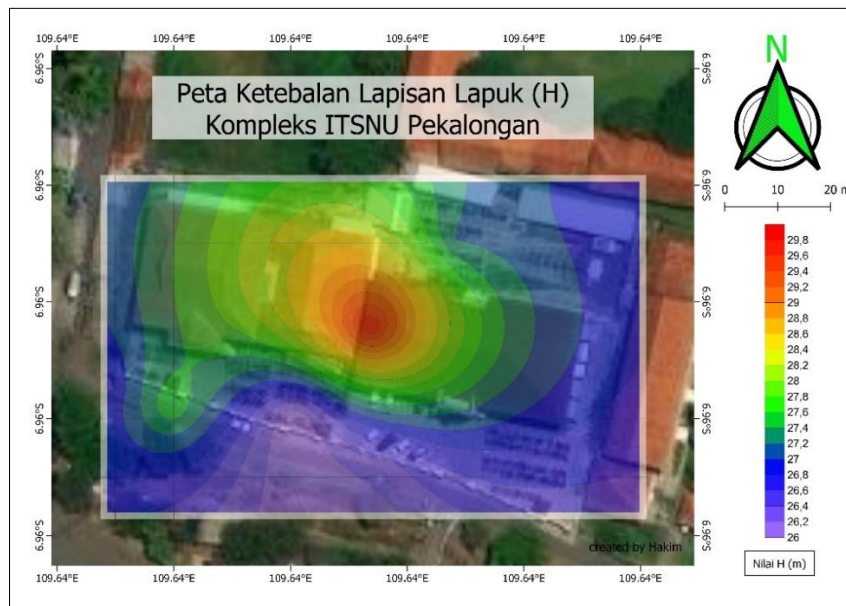
Berdasarkan data hasil pengukuran seperti pada Gambar 5, pada kawasan ITSNU Pekalongan mempunyai nilai indeks kerentanan seismik sebesar 6 – 23. Nilai tersebut masuk ke dalam kategori zona tinggi karena mempunyai nilai $Kg > 6$, yang artinya pada kawasan tersebut akan mengalami kerusakan bangunan yang tinggi apabila terjadi gempa bumi. Zona tinggi diakibatkan oleh struktur tanah yang kurang stabil karena tersusun atas batuan sedimen yang cenderung bersifat lunak. Pada titik M05 merupakan kawasan dengan nilai indeks kerentanan seismik yang tertinggi, lokasinya di antara gedung aula PCNU Kabupaten Pekalongan dan gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan. Sedangkan untuk kawasan dengan nilai indeks kerentanan seismik terendah berada di titik M03 yaitu di area parkir motor gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan.

3.4 Ketebalan Lapisan Lapuk (H)

Ketebalan lapisan lapuk atau lapisan sedimen (H) dipengaruhi oleh nilai kecepatan gelombang permukaan (V_s) dan nilai frekuensi natural (f_0). Sehingga ketebalan lapisan lapuk dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2) berikut:

$$H = \frac{V_s}{4f_0} \quad (2)$$

Nilai kecepatan gelombang permukaan (V_s) diperoleh dari *website* USGS dengan memasukkan area atau lokasi dari daerah penelitian. Gelombang permukaan merupakan gelombang geser yang terdapat pada kedalaman 30 m di bawah permukaan tanah (V_{s30}) yang dapat mendeformasi lapisan batuan. Nilai V_{s30} dapat menjadi parameter geoteknik dalam pengembangan infrastruktur (18).



Gambar 6. Peta ketebalan lapisan lapuk (H)

Berdasarkan data hasil pengukuran seperti pada Gambar 6, pada kawasan ITSNU Pekalongan mempunyai lapisan sedimen dengan 26 - 29,8 m. Berdasarkan peta ketebalan lapisan lapuk, titik M05 merupakan kawasan yang mempunyai lapisan sedimen paling tinggi. Hal tersebut kemungkinan karena kawasan ITSNU Pekalongan sebelumnya merupakan area persawahan yang tanahnya cenderung bersifat lunak. Selain itu juga sesuai dengan peta geologi yang dikeluarkan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, batuan penyusun di Kabupaten Pekalongan terdiri dari *alluvium*, endapan undak dan batuan gunung api Jembangan, sedangkan pada wilayah Kecamatan Kedungwuni tersusun atas *alluvium* dengan ketebalan 150 m (11).

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian, dapat disimpulkan bahwa: 1) Pada kawasan ITSNU Pekalongan mempunyai nilai frekuensi natural sebesar 1,99 - 2,27 Hz. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kawasan ITSNU Pekalongan termasuk dalam klasifikasi tanah tipe I jenis IV, lapisan tanah tersebut tersusun atas batuan *alluvial* dengan ketebalan 26 - 29,8 m yang terbentuk akibat proses sedimentasi. 2) Jika terjadi gempa bumi, maka pada titik M05 mempunyai indeks kerentanan seismik dan amplifikasi tertinggi. Titik tersebut berada di antara gedung aula PCNU Kabupaten Pekalongan dan gedung perkuliahan ITSNU Pekalongan.

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah: 1) Perlu ditambahkan titik-titik pengukuran mikroseismik yang lebih rapat di kawasan ITSNU Pekalongan agar datanya lebih valid. 2) Perlu dilakukan penelitian tentang PGA di daerah Kabupaten Pekalongan dan sekitarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DRPM yang telah mendanai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada ITSNU Pekalongan yang telah memberikan izin pengambilan data di sekitar kawasan ITSNU Pekalongan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Prayoadhie S. Waspada, Jateng Berada di Jalur Patahan Gempa [Internet]. Radar Pekalongan. 2018. Available from: <https://radarpekalongan.co.id/48410/waspada-jateng-berada-di-jalur-patahan-gempa/>

2. Sari EP, Subakti H. Identification of Baribis fault – West Java using second vertical derivative method of gravity. In: AIP Conference Proceedings. Bandung: AIP Publishing; 2015.
3. Nguyen, N., Cipta, A., Cummins, P., & Griffin J. Indonesia's Historical Earthquakes: Modelled examples for improving the national hazard map. In: Geoscience Australia. Canberra; 2015.
4. PUSGEN TPSGN. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Kementerian PUPR; 2017.
5. Nakamura Y. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In: Proceedings of the 12th world conference. 2000. p. Paper no. 2656.
6. Demulawa M, Daruwati I. Analisis Frekuensi Natural Dan Potensi Amplifikasi Menggunakan Metode Hvsr : Kampus 4 Universitas Negeri Gorontalo). J Ilm Edu Res. 2021;10(1):59–63.
7. Maimun AK, Silvia UN, Ariyanto P. Analisis Indeks Kerentanan Seismik, Periode Dominan, Dan Faktor Amplifikasi Menggunakan Metode Hvsr Di Stageof Tangerang. J Meteorol Klimatologi dan Geofis. 2020;7(2):24–30.
8. Satria A, Larasati N, Lestari HSB W, Dewi IK. Analisis Mikrotremor berdasarkan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi. J Tek Kebumihan. 2020;5(2):1–6.
9. Syaifuddin F, Bahri AS, Lestari W, Pandu J. Microtremor study of Gunung Anyar mud volcano, Surabaya, East Java. In: The 5th International Symposium On Earth hazard And Disaster Mitigation. 2016.
10. Kanai K. Improved Empirical formula for Characteristics of Stray (Sic) Earthquake Motions. In: Proceedings of the Japanese Earthquake. 1996.
11. Condon W, Pardyanto L, Ketner K, Amin T, Gafoer S, Samodra H. Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi; 1996.
12. Wulandari V, Bahri AS. Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan Studi Kasus Gedung Perpustakaan ITS. J Sains dan Seni ITS. 2012;1(1):B55–9.
13. Hartati L. Pemetaan Tingkat Resiko Gempabumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. UGM; 2014.
14. Setiawan Januar Herry. Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya. Institut Teknologi Bandung, Bandung. ITB; 2009.
15. Nakamura Y. Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. In: Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute) (Japan). 1989. p. 25–33.
16. Tanjung N, Permatasari I, Yuniarto A. Mapping of weathered layer thickness and Seismic Vulnerability in Tegal using HVSR method. In: International Symposium on Physics and Applications. 2021.
17. Refrizon. Analisis Percepatan Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. In: Prosiding Semirata FMIPA UNILA. 2013.
18. USGS. Vs30 models and data [Internet]. Earthquake Hazard Program. 2022. Available from: <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>