

EVALUASI INDEKS KERENTANAN SEISMIK DENGAN METODE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSER)

EVALUATION OF SEISMIC VULNERABILITY INDEX USING THE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSER) METHOD

**¹Erwinda Fenty Anggraeni, ²Maman Supriyatna, ³Muhammad Putra Mahesa,
⁴Riza Nasruloh, ⁵Ujang Soni**

*^{1,2,3,4,5}Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pamulang Serang Kota Serang
Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183*

email : dosen03067@unpam.ac.id

ABSTRAK

Terjadinya gempa bumi di suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh aktivitas seismik. Indeks kerentanan seismik dapat digunakan untuk mengukur tingkat kerentanan yang memberikan gambaran mengenai potensi kerusakan bangunan dan struktur. Data mikrotremor dengan analisis metode HVSER di Kotaagung dan sekitarnya diperoleh kisaran nilai yaitu frekuensi dominan 0,343 - 11,141 Hz dan amplifikasi 0,962 - 7,994 kali. Nilai indeks kerentanan seismik 0,149 - 75,616 dengan sebaran indeks kerentanan seismik kategori rendah ($K_g < 3$) sebanyak 31 titik pengukuran, kategori sedang ($3 \leq K_g < 6$) sebanyak 18 titik, dan kategori tinggi ($K_g \geq 6$) sebanyak 29 titik.

Kata kunci : indeks kerentanan seismik, frekuensi dominan, amplifikasi, HVSER

ABSTRACT

The occurrence of earthquakes in a region is greatly influenced by seismic activity. The seismic vulnerability index can be used to measure the level of vulnerability, providing an overview of the potential damage to buildings and structures. Microtremor data, analyzed using the HVSER method in Kotaagung and its surroundings, show a range of dominant frequency values between 0.343 - 11.141 Hz and amplification between 0.962 - 7.994 times. The seismic vulnerability index values range from 0.149 to 75.616, with a distribution of low category ($K_g < 3$) at 31 measurement points, medium category ($3 \leq K_g < 6$) at 18 measurement points, and high category ($K_g \geq 6$) at 29 measurement points.

Keywords: seismic vulnerability index, dominant frequency, amplification, HVSER

I. PENDAHULUAN

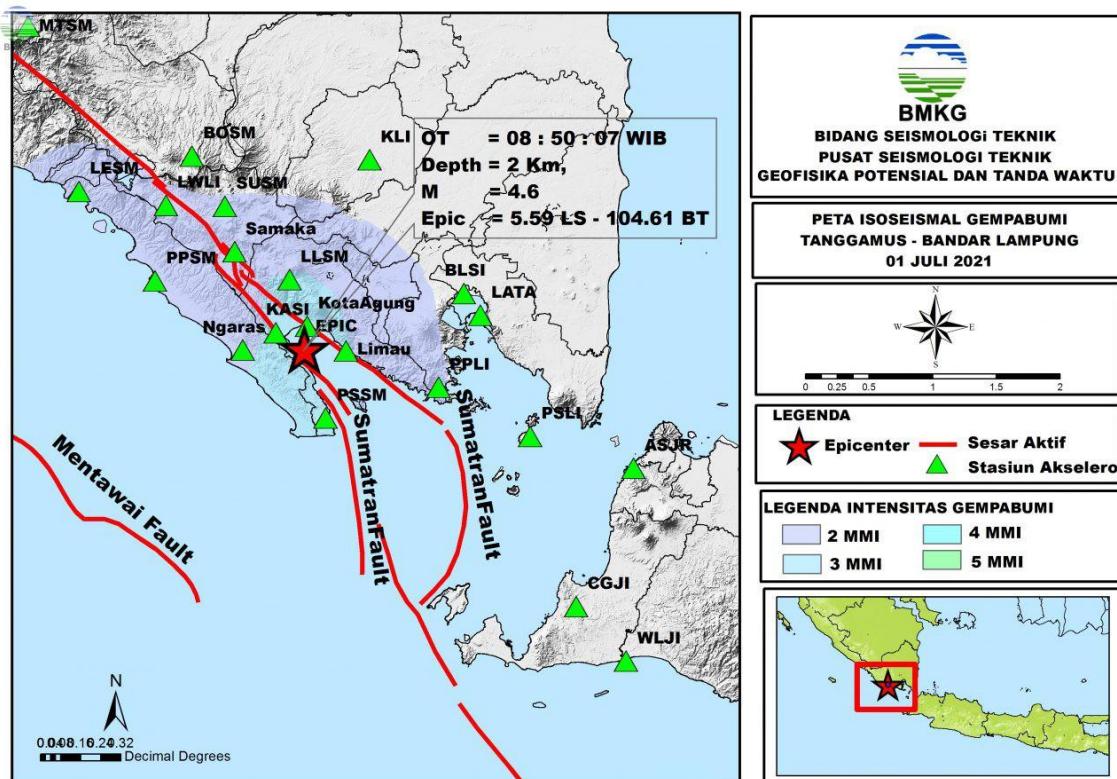
Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia, terletak di antara tiga lempeng tektonik utama: Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Konsekuensinya, wilayah Indonesia seringkali menjadi pusat aktivitas gempa bumi yang dapat mengancam keselamatan jiwa dan kerusakan infrastruktur. Gempa bumi di suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh aktivitas seismik di area tersebut. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kerusakan akibat gempa tidak hanya ditentukan oleh magnitudo gempa, tetapi juga oleh kondisi lokal, seperti jenis tanah, frekuensi dominan gelombang seismik, serta kekuatan struktur bangunan. Indeks kerentanan seismik (*seismic vulnerability index*) menunjukkan tingkat kerentanan lapisan permukaan yang terjadi akibat deformasi lapisan tersebut selama gempa bumi (Yutaka, 1997). Indeks kerentanan seismik dapat digunakan

untuk mengukur tingkat kerentanan yang memberikan gambaran mengenai potensi kerusakan bangunan dan struktur berdasarkan respons tanah setempat terhadap gempa bumi, serta bagaimana karakteristik tanah dan gelombang seismik berinteraksi satu sama lain. Mikrotremor didefinisikan sebagai getaran dengan amplitudo yang sangat kecil, yaitu sekitar 0,1 hingga 1,0 mikron, dan kecepatan amplitudo sekitar 0,001 hingga 0,01 cm/s (Unal et al, 2005). Mikrotremor digunakan untuk mengidentifikasi potensi amplifikasi seismik dan lapisan sedimen tebal yang dapat memperbesar getaran gempa, sehingga menyebabkan kerusakan lebih parah di daerah tersebut. Data mikrotremor selanjutnya dianalisis menggunakan metode HVSR (*horizontal to vertical spectral ratio*). Hasil analisis metode HVSR ini diperoleh nilai amplifikasi dan frekuensi dominan yang selanjutnya digunakan sebagai perhitungan nilai indeks kerentanan seismik.

Amplifikasi adalah ukuran yang menggambarkan seberapa besar tanah memperkuat getaran gempa (Budi, 2013). Fenomena amplifikasi di suatu daerah terjadi ketika gelombang seismik terjebak di lapisan permukaan akibat perbedaan impedansi antara lapisan sedimen dan lapisan yang lebih dalam (*bedrock*). Densitas dan kecepatan gelombang seismik pada lapisan sedimen dianggap lebih rendah dibandingkan dengan lapisan *bedrock*. Amplifikasi gelombang seismik menunjukkan bahwa perbedaan ketebalan sedimen memengaruhi pemantulan gelombang permukaan di lapisan sedimen, sehingga gelombang tersebut terpantul bolak-balik. Daerah dengan lapisan sedimen yang tebal cenderung mengalami kerusakan yang lebih parah dibandingkan dengan daerah yang memiliki lapisan sedimen yang tipis. Frekuensi dominan diperoleh melalui analisis spektral dari sinyal hasil pengukuran mikrotremor. Nilai ini berguna untuk memahami karakteristik dinamis tanah atau batuan di suatu wilayah, sehingga dapat diterapkan dalam mitigasi bencana, seperti dalam perancangan bangunan tahan gempa (Rabin et al., 2004). Frekuensi dominan yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor juga dapat digunakan untuk menentukan periode dominan suatu daerah. Jika terjadi getaran dengan periode panjang, hal ini bisa membahayakan bangunan bertingkat tinggi (Rabin et al., 2004). Tingginya aktivitas seismik di kawasan zona seismik menimbulkan kekhawatiran terkait kerentanan wilayah ini terhadap gempa bumi, baik dari segi risiko kerusakan infrastruktur maupun dampak sosial-ekonomi yang menyertainya. Kotaagung, dengan topografi yang bervariasi dan karakteristik tanah yang beragam, berpotensi mengalami amplifikasi getaran seismik, yang pada akhirnya meningkatkan risiko kerusakan infrastruktur. Tercatat bahwa telah terjadi gempa bumi merusak tahun 1908 di daerah Teluk Semangko, Kotaagung dan sekitarnya. Namun,

kerusakan akibat gempa bumi ini tidak banyak diketahui karena sistem informasi yang belum memadai pada masa penjajahan pemerintah Belanda. Gempa bumi ini dikaitkan dengan Patahan Sumatera Segmen Semangko (Suoh – Teluk Semangko). Jalur sesar aktif di sekitar Kotaagung dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Peta Isoseismal Gempabumi Tanggamus, Lampung 01 Juli 2021



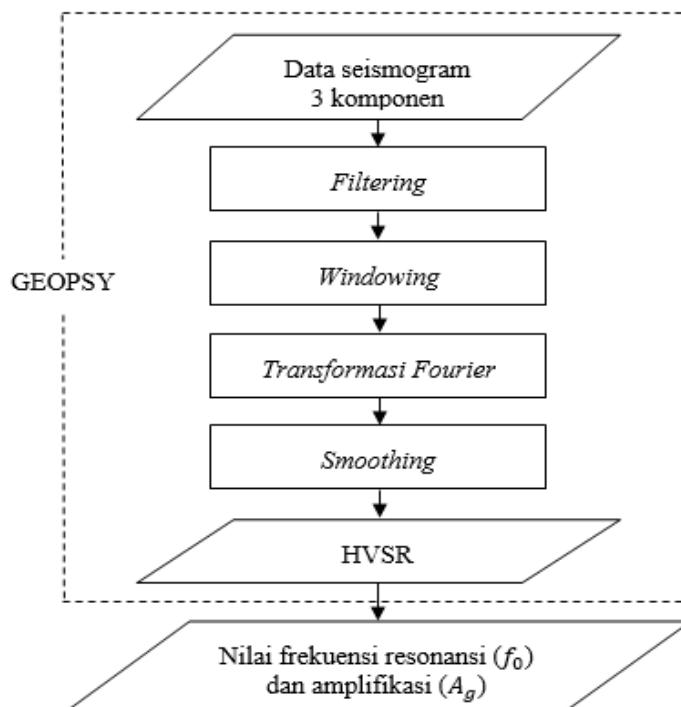
(BMKG, 2021)

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi indeks kerentanan seismik dengan metode HVSR khususnya di Kotaagung, Lampung. Harapannya, dengan mengetahui nilai indeks kerentanan seismik sehingga tindakan preventif dapat direncanakan oleh pemerintah daerah dan para pemangku kepentingan, seperti penguatan bangunan, perencanaan tata ruang yang lebih aman, dan penyusunan kebijakan mitigasi bencana yang berbasis data ilmiah.

II. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung, tepatnya di Kecamatan Kotaagung, Kotaagung Barat, dan Kotaagung Timur yang secara geografis tertelak diantara 104°32'-104°47' BT dan 5°21'-5°36'LS. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran mikrotremor sensor tunggal yaitu seismometer landmark 3 komponen (frekuensi respon antara 0,2 Hz sampai 50 Hz) dan *digitizer* tipe SARA. Data

gempa (gempa dalam kurun waktu 1900-2013 yaitu *event* gempa pada 24 Juni 1933 dengan magnitudo sebesar 7,3 Mw diunduh dari USGS (*United States Geological Survey*). Terdapat 78 titik pengukuran, dengan waktu pengambilan data di setiap titik berlangsung selama 20 hingga 30 menit dan *frekuensi sampling* sebesar 100 Hz.



Gambar 2. Diagram alir pengolahan untuk data mikrotremor sensor tunggal
Tahapan-tahapan dalam menentukan nilai indeks kerentanan seismik sebagai berikut:

- A. Melakukan pengukuran mikrotremor sensor tunggal
- B. Melakukan pengolahan dengan metode HVSR (Gambar 2)
- C. Nilai frekuensi dominan dan amplifikasi pada semua titik pengukuran
- D. Menghitung dan memetakan nilai indeks kerentanan seismik pada semua titik pengukuran

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis metode HVSR di Kotaagung dan sekitarnya diperoleh kisaran nilai yaitu frekuensi dominan 0,343 - 11,141 Hz dan amplifikasi 0,962 - 7,994 kali.

Frekuensi Dominan (f_0)

Nilai frekuensi dominan f_0 didapatkan dari analisis spektral sinyal yang diperoleh melalui pengukuran mikrotremor. Selanjutnya, nilai ini dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamika tanah/ batuan di suatu daerah.

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi (Kanai, 1996)

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

Berdasarkan klasifikasi tanah pada Tabel 1, tampak bahwa Kotaagung didominasi oleh batuan *alluvial* yang terbentuk dari sedimentasi delta dengan lapisan sedimen yang sangat tebal. Adapun wilayah dengan frekuensi dominan $< 2,5$ Hz ini berada daerah sepanjang perbatasan pantai kecamatan Kotaagung Barat, di bagian selatan dari kecamatan Kotaagung, dan bagian selatan kecamatan Kotaagung Timur. Frekuensi dominan tinggi dengan morfologi perbukitan dan komposisi batuan keras seperti *gravel*, *hard sandy* dengan ketebalan sedimen permukaan sangat tipis berada di barat laut Kec. Kotaagung Barat, sedangkan f_0 tinggi berada di barat laut Kec. Kotaagung Barat, timur laut Kec. Kotaagung yaitu menuju arah gunung Tanggamus, dan sebelah barat laut Kec. Kotaagung Timur yang berarah ke gunung Tanggamus. Titik lokasi E16, E17, E29, dan E47 mempunyai ketebalan sedimen permukaan kategori menengah yaitu sekitar 5-10 m. Sedangkan titik E02, E07, E09, E12, E13, E15, E19, E31, E33, E44, E49, E50, dan E51 mempunyai ketebalan sedimen permukaan sekitar 10-30 m, masuk dalam kategori tebal.

Amplifikasi (A_0)

Amplifikasi merupakan nilai yang menunjukkan berapa kali tanah tersebut memperbesar getaran gempa. Berdasar data mikrotremor dan pengklasifikasian Tabel 2, Kotaagung dan sekitarnya didominasi nilai amplifikasi rendah yaitu < 3 tersebar di 57 titik pengukuran dan sebagian nilai amplifikasi klasifikasi sedang yaitu $3 \leq A_0 < 6$

tersebar di 20 titik ukur. Area dengan titik pengukuran E03 mempunyai amplifikasi yang tinggi yaitu bernilai 7,99 kali.

Tabel 2. Klasifikasi nilai amplifikasi (Setiawan, 2009)

Zona	Klasifikasi	Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A_0 < 3$
2	Sedang	$3 \leq A_0 < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A_0 < 9$
4	Sangat tinggi	$A_0 \geq 9$

Indeks Kerentanan Seismik (A_0)

Nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dari perhitungan amplifikasi dan frekuensi dominan yang merupakan hasil dari kurva HVSR, dimana nilai ini bersifat relatif. Gambar 3 merupakan salah satu tampilan spektrum kurva H/V. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai indeks kerentanan seismik. Indeks kerentanan seismik dinyatakan sebagai perbandingan dari kuadrat amplifikasi spektrum HVSR terhadap frekuensi dominan (Yutaka, 2008), dengan persamaan

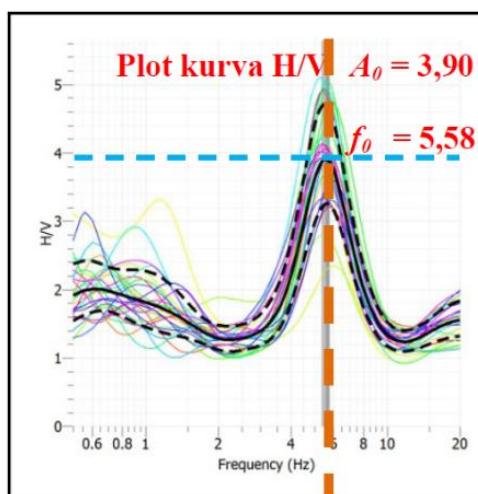
$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (1)$$

dengan K_g adalah indeks kerentanan seismik, A_0 adalah amplifikasi, f_0 adalah frekuensi dominan. Berikut contoh perhitungan di titik pengukuran E29, E31, dan E33

$$\text{Titik ukur K29, nilai } K_g = \frac{A_0^2}{f_0} = \frac{(3,91)^2}{5,58} = 2,74$$

$$\text{Titik ukur K31, nilai } K_g = \frac{A_0^2}{f_0} = \frac{(4,60)^2}{3,27} = 6,46$$

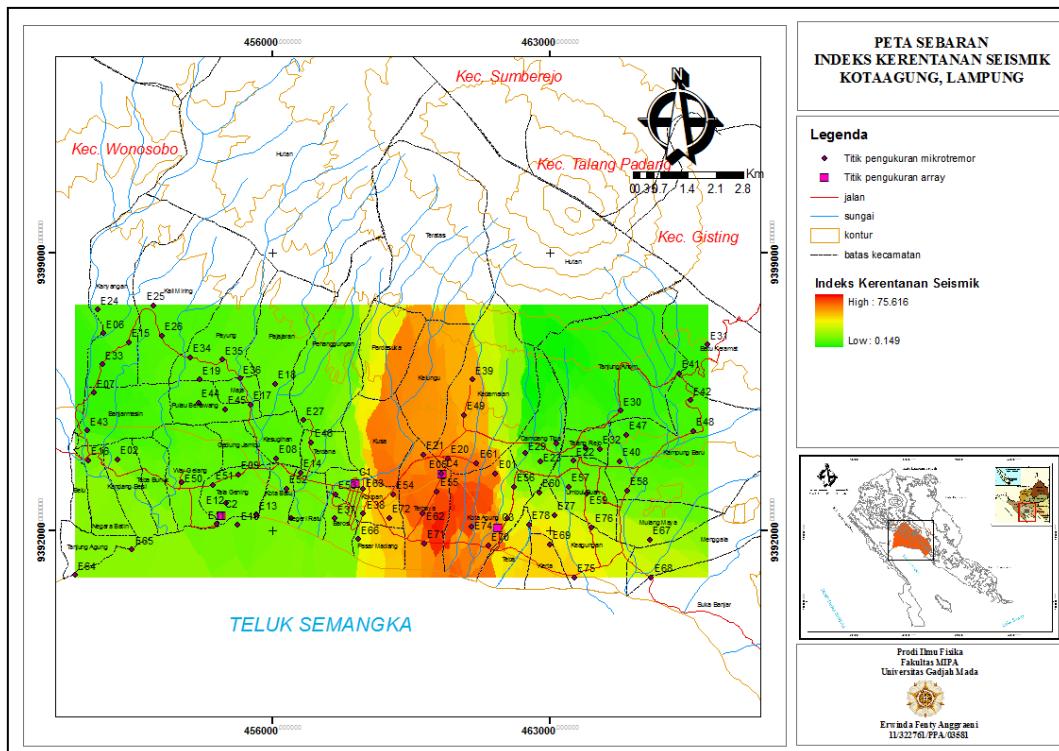
$$\text{Titik ukur K33, nilai } K_g = \frac{A_0^2}{f_0} = \frac{(4,26)^2}{3,31} = 5,48$$



Gambar 3. Tampilan spektrum pada titik E30

Tabel 3. Klasifikasi nilai Indeks Kerentanan Seismik (Refrizon, 2013)

Zona	Klasifikasi	Indeks Kerentanan Seismik
1	Rendah	$K_g < 3$
2	Sedang	$3 \leq K_g < 6$
3	Tinggi	$K_g \geq 6$



Gambar 4. Peta sebaran indeks kerentanan seismik di Kotaagung

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasar analisis metode HVSR di Kotaagung dan sekitarnya diperoleh kisaran nilai yaitu frekuensi dominan 0,343 - 11,141 Hz dan amplifikasi 0,962 - 7,994 kali. Nilai indeks kerentanan seismik 0,149 - 75,616 dengan sebaran indeks kerentanan seismik kategori rendah ($K_g < 3$) sebanyak 31 titik pengukuran, kategori sedang ($3 \leq K_g < 6$) sebanyak 18 titik, dan kategori tinggi ($K_g \geq 6$) sebanyak 29 titik

Evaluasi indeks kerentanan seismik menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) memberikan gambaran yang jelas mengenai karakteristik tanah di suatu wilayah dan potensinya terhadap dampak gempa. Metode HVSR ini efektif untuk mengidentifikasi frekuensi dominan dan

amplifikasi tanah berdasarkan perbandingan spektral gelombang horizontal dan vertikal dari data mikrozonasi seismik. Hasil analisis HVSR menunjukkan bahwa area dengan frekuensi resonansi rendah cenderung memiliki lapisan tanah lunak yang rentan terhadap amplifikasi guncangan seismik. Sebaliknya, area dengan frekuensi dominan tinggi cenderung lebih stabil karena adanya lapisan tanah yang lebih keras. Indeks kerentanan seismik yang diperoleh dari metode ini memungkinkan pemetaan zona risiko seismik yang lebih akurat, sehingga dapat digunakan untuk perencanaan mitigasi bencana yang lebih efektif.

B. SARAN

- a) Meningkatkan akurasi dan keandalan evaluasi kerentanan seismik, disarankan melakukan pengumpulan data HVSR secara berkala. Hal ini akan memungkinkan pemantauan perubahan kondisi tanah seiring waktu, terutama di wilayah yang mengalami kegiatan antropogenik atau perubahan lingkungan.
- b) Hasil analisis lebih representatif, pengukuran HVSR sebaiknya dilakukan pada titik-titik yang lebih rapat, terutama di daerah padat penduduk atau yang berisiko tinggi. Ini akan menghasilkan pemetaan yang lebih detail untuk zona-zona rawan gempa.
- c) Kolaborasi antara peneliti, pemerintah daerah, dan pihak-pihak terkait lainnya perlu ditingkatkan dalam penyusunan kebijakan yang berlandaskan hasil evaluasi kerentanan seismik. Langkah ini dapat mendukung implementasi mitigasi bencana yang terintegrasi dan komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya Ucapkan Kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang Kampus Serang, rekan -rekan dosen dan mahasiswa yang telah membantu dan serta Tim peneliti dari Teknik Mesin dan Semua Pihak yang sudah berperan aktif dan sudah berkontribusi dan mendukung baik scara moral ataupun material

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Hakim P.Y., Mikrozonasi Seismik di Kawasan ITSNU Pekalongan dengan Menggunakan Metode HVSR, *Jurnal Kumparan Fisika*, 6 (1): 47-54.
Alhada F, Junita C. D. B. P., dan Yudha S., 2024, Pemanfaatan Metode HVSR untuk Studi Karakteristik Tanah di Tanjung Kemala Daerah Kabupaten Tanggamus, *Jurnal Geosaintek*, 10 (2): 106–122.

- Amirudin, Iktri M. & Sofian, 2023, Seismic Vulnerability Analysis Using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSР) Method on the West Palu Bay Coastline, *Journal of Geoscience Engineering, Environment, and Technology*, 8 (23): 23-34.
- Budi Harlianto, 2013, Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum, Indeks Kerentanan Seismik Tanah, *Ground Shear Strain*, dan Ketebalan Lapisan Sedimen Untuk Mitigasi Bencana Gempabumi Kabupaten Bengkulu Utara, *Tesis*, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Kanai K., 1996, Improved Empirical formula for Characteristics of Stray (Sic) Earthquake Motions. In: *Proceedings of the Japanese Earthquake*.
- Karyono, et al, 2016, Kajian Kerentanan Tanah Berdasarkan Analisis Hvsr Di Daerah Semburan Lumpur Sidoarjo Dan Sekitarnya, Jawa Timur, Indonesia, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 17(1): 61-68.
- Rabin T., Nhu Nguyen H. C. & Fumio Y., 2004, Seismic mocrozonation of Hanoi, Vietnam using microtremor observations, *The 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada.
- Refrizon, et al, 2013, Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu, Proseding Semirata FMIPA Universitas Lampung.
- Setiawan Januar H., 2009, Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Ünal D. dan Mete M., 2005, The seismic microzonation map of Yenisehir-Bursa, NW of Turkey by means of ambient noise measurements, *Journal of Balkan Geophysical Society*, 8 (2): 53-62.
- Wahyudin, Sulistiawaty & Nasrul Ihsan, 2019, Analisis Kerentanan Bendungan Ponre-Ponre Kabupaten Bone Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor dengan Metode HVSR. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSF)*, 15(2): 90-96.
- Yutaka Nakamura, 1997, Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor , *World Congress on Railway Research, Florence*.
- Yutaka Nakamura, 2008, On the H/V spectrum, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.