

INTEGRASI KURVA *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RASIO* (HVSr) DAN KURVA ELIPTISITAS GELOMBANG RAYLEIGH UNTUK PENENTUAN INDEKS KERENTANAN SEISMIK (K_g)

Sujabar¹, M. Aryono Adi², Muzli³, Sofian⁴, Iza F. Asyhar⁵

Universitas Negeri Semarang^{1,2}

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika^{3,4,5}

sujabar@students.unnes.ac.id¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks kerentanan seismik dengan data mikrotremor di Kota Parigi. Dilakukan survei mikrotremor di kota Parigi sebanyak 81 titik. Data dianalisa untuk mendapatkan kurva *Horizontal to Vertical Spectra Rasio* (HVSr) dan ekstraksi kurva eliptisitas gelombang rayleigh. Kedua kurva tersebut dipadukan sehingga didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Kurva eliptisitas gelombang Rayleigh digunakan untuk memandu penentuan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) pada kurva HVSr. Hasilnya digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik (K_g). Puncak kurva eliptisitas gelombang Rayleigh (A_{ell}) dapat memandu penentuan nilai frekuensi dominan (f_0) ketika puncak A_0 terlihat jelas (*clear peak*) maupun ketika terdapat dua puncak atau lebih serta puncak yang tidak jelas (*unclear peak*). Penggunaan (A_{ell}) juga digunakan untuk membantu penentuan nilai A_0 sehingga didapatkan nilai yang lebih stabil. Hasilnya kemudian dipetakan dengan rincian nilai frekuensi dominan memiliki rentang antara 0,26 Hz – 2,9 Hz, nilai faktor amplifikasi memiliki rentang antara 1,61 – 4,77 dan nilai indeks kerentanan seismik antara 1,47 – 113,59. Simpulan, Integrasi kurva HVSr dan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa keduanya bisa dipadukan dan saling melengkapi.

Kata kunci: Frekuensi Dominan (f_0), Faktor Amplifikasi (A_0), Indeks Kerentanan Seismik (K_g), Kurva Eliptisitas Gelombang Rayleigh, Kurva *Horizontal To Vertical Spectra Rasio* (HVSr).

ABSTRACT

*This study aims to determine the seismic vulnerability index using microtremor data in Parigi City. A microtremor survey was conducted at 81 sites across the city. The data were analyzed to obtain the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) curve and the Rayleigh wave ellipticity curve. These two curves were combined to derive the dominant frequency (f_0) and amplification factor (A_0). The Rayleigh wave ellipticity curve was used to guide the determination of the dominant frequency (f_0) and amplification factor (A_0) on the HVSr curve. The results were then used to calculate the seismic vulnerability index (K_g). The peak of the Rayleigh wave ellipticity curve (A_{ell}) can assist in identifying the dominant frequency (f_0), both when the A_0 peak is clearly visible (*clear peak*) and when there are multiple or unclear peaks. The use of A_{ell} also helps refine the determination of A_0 values, yielding more*

stable results. The final mapping results show that the dominant frequency values range from 0.26 Hz to 2.9 Hz, the amplification factor ranges from 1.61 to 4.77, and the seismic vulnerability index ranges from 1.47 to 113.59. Conclusion, The integration of the HVSR curve and the Rayleigh wave ellipticity curve carried out in this study shows that both can be combined and complement each other.

Keywords: *Dominant Frequency (f_0), Amplification Factor (A_0), Seismic Vulnerability Index (K_g), Rayleigh Wave Ellipticity Curve, Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) Curve*

PENDAHULUAN

Kota Parigi adalah ibu kota dari Kabupaten Parigi Moutong, memiliki potensi bahaya dari sesar aktif di sekitarnya yaitu sesar Palu Koro dan sesar Tokararu. Lajur sesar Palu Koro membentang sepanjang 220 kilometer dan melintasi Kota Palu (Patria and Putra 2020), yang menunjukkan potensi risiko langsung bagi daerah sekitarnya, termasuk Kota Parigi yang berjarak hanya sekitar 30 km dari lajur utama sesar Palu Koro. Sesar Tokararu yang terletak disisi timur meskipun eksistensi magnitudo maksimum yang mungkin ditimbulkan tidak sebesar Palu-Koro, keberadaan sesar tersebut juga menambah kompleksitas risiko seismik di daerah tersebut. Sesar palu koro memiliki 4 segemen yaitu segmen selat makassar dengan magnitudo maksimum 7,1 Mw, segmen Palu dengan magnitudo maksimum 6,8 Mw, segmen saluki dengan magnitudo maksimum 6.9 Mw dan segmen moa dengan magnitudo maksimum 7.1 Mw. Sedangkan sesar sausu memiliki magnitudo maksimum 6,8 Mw dan sesar tokararu memiliki magnitudo maksimum 7,2 Mw (Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN) 2022)

Mikrozonasi seismik merupakan langkah strategis dalam pengurangan risiko gempa bumi, karena mampu mengidentifikasi variasi respons seismik tanah dalam skala lokal yang tidak tergambarkan dalam peta bahaya gempa berskala regional. Salah satu

metode yang efektif digunakan adalah pengukuran getaran alami, seperti metode Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR), yang dapat mengestimasi frekuensi dominan (f_0) dan mengindikasikan ketebalan lapisan sedimen seperti yang dilakukan Siagian (2025)

Berbagai studi di Indonesia menunjukkan bahwa karakteristik tanah lokal berperan penting dalam menentukan tingkat kerentanan seismik suatu wilayah. Iswara et.al (2020) di Kecamatan Kawalu, Tasikmalaya, juga mencatat nilai indeks kerentanan seismik (K_g) hingga 20,2 dan Ground Shear Strain (GSS) mencapai $12,13 \times 10^{-3}$, yang mengindikasikan potensi deformasi tanah seperti likuifaksi dan longsor. Haerudin et al. (2020) di Kota Bandar Lampung menemukan frekuensi dominan rendah (0,59–8,01 Hz), menandakan lapisan tanah lunak dengan potensi amplifikasi getaran tinggi. Ardiansyah et al. (2024) di Dusun Kalisalak, Sukoharjo, menggabungkan parameter frekuensi dominan, amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik (K_g). Didapatkan nilai frekuensi dominan dengan rentang 3–12,5 Hz dan K_g hingga 7, menunjukkan zona kerentanan tertinggi di bagian selatan yang rawan longsor. Sementara itu, Ariyanto et al. (2024) di Kecamatan Kemiling, Kota Bandar Lampung, memperoleh nilai frekuensi natural 0,5–31,47 Hz dan indeks kerentanan seismik (K_g) hingga 76,31,

menunjukkan kerentanan tinggi pada tanah lunak di bagian barat daya hingga utara. Penelitian Setiawan et al. (2024) di Kota Palu mendukung temuan tersebut, dengan periode dominan 0,3676–2,7777 Hz dan ketebalan sedimen hingga 248,5 meter, yang menegaskan variasi kerentanan antar kecamatan serta pentingnya mitigasi gempa berbasis mikrozonasi.

Penelitian inversi kurva eliptisitas gelombang Rayleigh untuk memetakan karakteristik bawah permukaan. Sugianto and Refrizon (2021) di lintasan Bengkulu Tengah –Kepahiang menggunakan 146 data mikrotremor dan menemukan lapisan dangkal didominasi tanah kaku dan batuan lunak, sedangkan kedalaman 15–30 m terdiri atas batuan keras yang rentan pelapukan. Fatimah, Maryanto, and Rismayanthi (2022) di Lembang menemukan nilai V_{s30} sebesar 194,48–246,23 m/s (tanah sedang) dengan amplifikasi tinggi di bagian utara yang rawan gempa. Syafitri et al. (2022) membandingkan metode HVTFA dan HVSR dan menyimpulkan HVTFA lebih akurat dalam estimasi kedalaman dan ketebalan lapisan. Zuhair et al. (2023) menggunakan inversi kurva HVSR di sekitar Sesar Palu-Koro dan memperoleh nilai V_{s30} antara 200–500 m/s serta indeks kerentanan A_0 hingga 9,27 pada frekuensi 3,2 Hz, menunjukkan tanah sedang hingga lunak (SNI 1726:2012; NEHRP). Siagian (2025) di Kecamatan Selebar, Bengkulu, menemukan nilai V_{s30} memiliki rentang antara 350–750 m/s pada lapisan keras seperti batupasir dan aluvial, menunjukkan kerentanan seismik rendah dan kondisi relatif aman terhadap guncangan gempa.

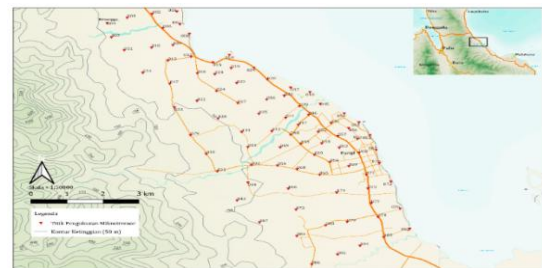
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan asesmen bahaya seismik lokasi berdasarkan data mikrotremor. Data mikrotremor diolah untuk

mendapatkan rasio spektra H/V (*horizontal to vertical*) atau dikenal dengan kurva HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh. Penentuan frekuensi dominan (f_0) maupun faktor amplifikasi (A_0) memadukan keduanya untuk menghasilkan hasil yang maksimal. Hal ini dikarenakan terkadang dalam satu kurva H/V terdapat lebih dari satu puncak. Oleh sebab itu digunakan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh untuk memandu penentuan tersebut. Begitu juga dengan nilai faktor amplifikasi yang memadukan keduanya. Faktor amplifikasi yang hanya menggunakan Kurva HVSR masih memiliki kandungan gelombang badan sehingga memiliki kemungkinan *overestimated* nilainya. Koreksi faktor amplifikasi menggunakan puncak kurva eliptisitas gelombang Rayleigh diharapkan dapat meminimalkan hal tersebut. Kemudian hasilnya digunakan untuk memetakan indeks kerentanan seismik (K_g) di Kota Parigi.

METODE PENELITIAN

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di Kota Parigi, Kabupaten Parigi Moutong, Sulawesi Tengah. Pengukuran mikrotremor dilakukan menyebar sesuai pada peta lokasi penelitian dibawah.



Gambar 1.

Titik Ukur Mikrotremor Sebanyak 81 Titik Di Kota Parigi

Pelaksanaan pengukuran dilakukan Oktober 2024 hingga Maret

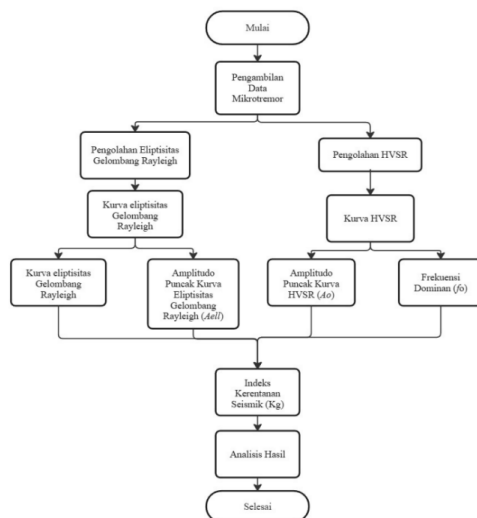
2025 secara berkala. Jumlah titik survey yang diambil sebanyak 81 titik. Kontur Kota Parigi relatif datar dan semakin tinggi menjauhi laut.

Pengumpulan dan pengelolaan data

Pengambilan data mikrotremor menggunakan Portable Seismograph Kinematics MBB-2 dan Digitizer Kinematics Quanterra Quantix Q8. Adapun spesifikasi Kinematics MBB-2. Setiap titik dilakukan pengukuran selama 1 jam.

Diagram alir penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 2.

Diagram Alir Penelitian

Analisis data

Pengolahan Data

Format data hasil pengukuran mikrotremor dari alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah miniseed (.mseed). Pengolahan data menggunakan perangkat lunak open source Geopsy seperti yang dilakukan oleh Molnar et al. (2020).

Evaluasi Data Hasil Pengukuran Mikrotremor

Evaluasi realibilitas data hasil pengukuran menggunakan kriteria yang disarankan dalam SESAME H/V User Guidelines seperti yang dilakukan oleh Molnar et al. (2020) sebagai berikut :

Criteria for a reliable H/V curve	
i) $f_0 > 10 / L_w$ and $n_s(f_0) > 200$	L_w = window length n_s = number of windows selected for the average H/V curve $n_s = L_w \cdot f_0$ = number of significant cycles f_0 = current frequency $f_{cut-off}$ = sensor cut-off frequency f_0 = H/V peak frequency $n_s(f_0)$ = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm n_s$) $n_s(f_0)$ = threshold value for the stability condition: $n_s > n_s(f_0)$ $A_{H/V}$ = H/V peak amplitude at frequency f_0
ii) $\sigma_{H/V}(f) < 2$ for $0.8f_0 < f < 2f_0$, if $f_0 > 0.8\text{Hz}$ or $\sigma_{H/V}(f) < 3$ for $0.8f_0 < f < 2f_0$, if $f_0 < 0.8\text{Hz}$	$\sigma_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f f = frequency between $f_0/4$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f) < A_{H/V}/2$ f = frequency between $f_0/4$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f) < A_{H/V}/2$ $\sigma_{H/V}(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$; $\sigma_{H/V}(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided $\sigma_{H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log_{10} A_{H/V}(f)$ curve; $\sigma_{H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log_{10} A_{H/V}(f)$ curve $\sigma(f_0)$ = threshold value for the stability condition: $\sigma(f_0) < n_s(f_0)$ $V_{H/V}$ = average S-wave velocity of the total deposits $V_{H/V}$ = S-wave velocity of the surface layer h = depth to bedrock h_{est} = lower-bound estimate of h
iii) $\sigma_{H/V}(f) < 2$ for $0.8f_0 < f < 2f_0$, if $f_0 > 0.8\text{Hz}$ or $\sigma_{H/V}(f) < 3$ for $0.8f_0 < f < 2f_0$, if $f_0 < 0.8\text{Hz}$	
iv) $f_{dom}(f) \pm \sigma_{H/V}(f) = f_0 \pm 5\%$	
v) $n_s < n_s(f_0)$	
vi) $\sigma_{H/V}(f_0) < n_s(f_0)$	

Gambar 3.

Resume kriteria reabilitas data hasil pengukuran mikrotremor stasiun tunggal 3 komponen.

Pada gambar diatas kriteria kualitas rekaman dibedakan atas realibilitas bentuk kurva H/V dimana bentuk kurva dipengaruhi oleh kuantitas rekaman (kriteria I dan II) dan gangguan sinyal yang tidak diinginkan (kriteria III) secara bersama-sama, dan kriteria puncak kurva yang dinyatakan bersih.

Ekstraksi Eliptisitas Gelombang Rayleigh

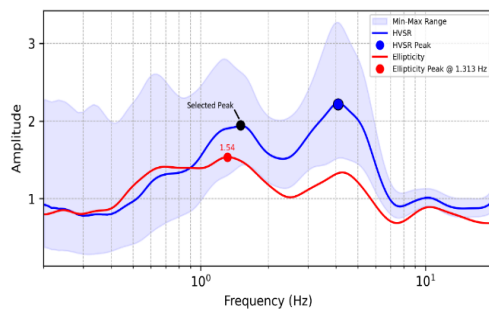
Eliptisitas gelombang Rayleigh diperoleh dari hasil ekstraksi rekaman mikrotremor menggunakan metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT) seperti yang dilakukan oleh Abdialim et al. (2021). Metode ini diterapkan di software Geopsy dalam *toolbox Horizontal to Vertical Time-Frequency Analysis* (HVTFA).

Identifikasi Frekuensi dan Amplitudo Puncak HVSR

Frekuensi dominan (f_0) dan amplitudo puncak yang disebut juga dengan faktor amplifikasi (A_0) pada kurva Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) merupakan parameter utama yang diperoleh dari pengukuran

mikrotremor dan berperan penting dalam estimasi kondisi bawah permukaan, khususnya dalam penilaian parameter bahaya gempa. Proses identifikasi puncak HVSR yang digunakan sebagai dasar perhitungan tersebut memerlukan kehati-hatian, terutama pada kurva yang menunjukkan lebih dari satu puncak.

Untuk mengurangi potensi kesalahan tersebut, dalam penelitian ini proses identifikasi puncak HVSR dipandu melalui perbandingan dengan puncak kurva eliptisitas gelombang Rayleigh. Pemilihan puncak HVSR dilakukan dengan mempertimbangkan kedekatannya terhadap puncak kurva eliptisitas tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar di bawah.



Gambar 4.

Pemilihan puncak kurva HVSR berdasarkan kedekatan dengan puncak kurva eliptisitas Gelombang Rayleigh.

Dalam studi ini, dikembangkan pendekatan alternatif untuk memperkirakan nilai amplitudo puncak HVSR (A_0) dengan memanfaatkan amplitudo eliptisitas gelombang Rayleigh (A_{ell}). Motivasi utama pendekatan ini adalah sifat amplitudo HVSR yang diketahui tidak selalu *robust*, dan sering kali bersifat ambigu, terutama pada lingkungan pengukuran dengan gangguan horizontal yang signifikan. Di sisi lain, Amplitudo puncak eliptisitas gelombang Rayleigh (A_{ell}) yang dihitung berdasarkan karakteristik elips partikel Rayleigh lebih stabil dan konsisten, karena relatif

bebas dari pengaruh noise pada komponen horizontal.

Untuk menjembatani kebutuhan tersebut, dilakukan analisis regresi empiris terhadap dataset hasil pengamatan yang mencakup pasangan nilai puncak HVSR (A_0), puncak eliptisitas gelombang Rayleigh (A_{ell}), dan frekuensi puncak HVSR (f_0) untuk memperoleh hubungan persamaan $A_0 = f(A_{ell}, f_0)$. melalui langkah-langkah berikut; 1) Pengumpulan pasangan data lapangan berisi A_0 , A_{ell} , dan f_0 ; 2) Uji bentuk hubungan terbaik melalui model regresi linear, log-linear, polynomial, dan log-log; 3) Pemilihan model persamaan paling sesuai berdasarkan evaluasi performa model menggunakan R^2 dan distribusi residual.

Perhitungan Parameter Kerentanan Tanah

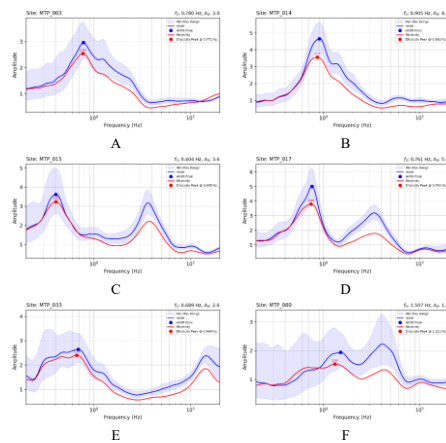
Indeks Kerentanan Seismik (K_g) adalah parameter yang digunakan sebagai indikator kerentanan tanah terhadap guncangan gempabumi. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Nakamura yang dilakukan salah satunya oleh Ardiansyah et al. (2024) yang mengusulkan hubungan langsung kerentanan tanah terhadap gempa (K_g) dengan nilai amplifikasi (A_0) dan frekuensi dominan tanah (f_0) melalui persamaan berikut.

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

HASIL PENELITIAN

Nilai Frekuensi Dominan (f_0), Faktor Amplifikasi (A_0) dan Indeks kerentanan Seismik (K_g)

Penentuan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) yang memadukan kurva HVSR dan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh ditunjukkan pada Gambar 4.1. Bentuk kurva bervariasi tergantung kondisi titik pengukuran.



Gambar 5.
Kurva HVSR

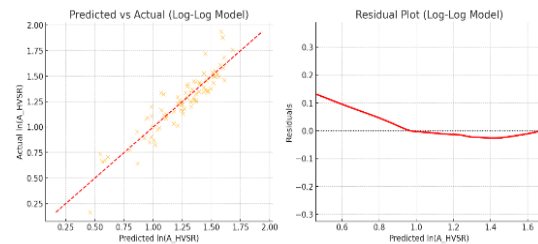
Pada Gambar 5.A dan 5.B, yang merupakan sampel kurva dengan satu puncak jelas, kurva HVSR dan kurva eliptisitas menunjukkan pola bersesuaian sehingga penentuan nilai f_0 dan A_0 relatif mudah. Sampel kurva lainnya, pada Gambar 5.C dan 5.D, memiliki dua puncak dengan salah satunya lebih rendah. Kurva HVSR dan kurva eliptisitas tetap menunjukkan kesesuaian pola, di mana puncak eliptisitas gelombang Rayleigh (A_{ell}) memandu penentuan puncak HVSR. Nilai f_0 diperoleh sesuai puncak kurva yang bersesuaian.

Selain itu, terdapat kurva dengan puncak tidak jelas (*unclear*), seperti pada Gambar 5.E dan 5.F. Pada Gambar 5.E, terlihat dua puncak yang kurang tegas, sedangkan pada Gambar 5.F, dua puncak berdekatan dan tidak tegas. Berdasarkan kriteria SESAME yang diterapkan oleh Molnar et al. (2020), keberadaan dua puncak mengindikasikan adanya dua kontras impedansi, yaitu di lapisan dangkal dan lapisan lebih dalam, dengan aturan $(f_0) < (f_1)$.

Setelah mengevaluasi berbagai bentuk model (linear, log-linear, polynomial, dan log-log), model log-log memberikan performa terbaik dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar

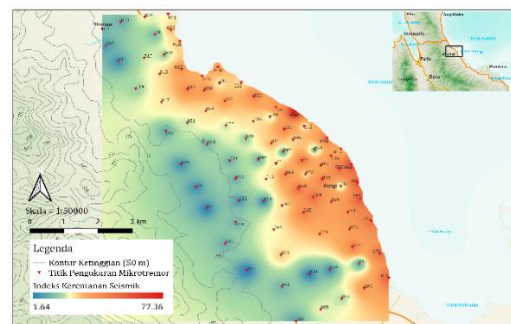
0,841, dan seluruh variabel prediktor signifikan secara statistik (gambar 6). Model ini digunakan untuk menghitung nilai A_0 empiris dari A_{ell} dan f_0 dengan persamaan:

$$A_{0 \text{ empiris}} = 1.056 \times A_{ell} + 0.087 \times (A_{ell} \times f_0) - 0.012 \quad (2)$$

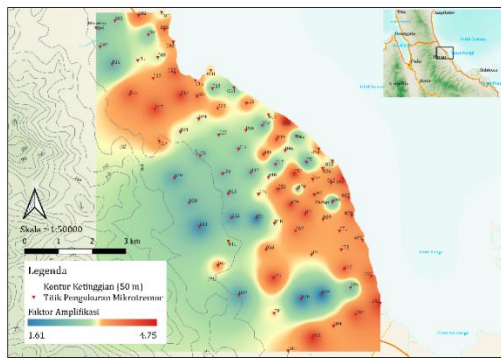


Gambar 6.
menunjukkan hubungan antara prediksi dan nilai aktual $\ln(A_{\text{HVSR}})$, mendekati garis identitas (kiri) dan residual plot yang menyebar acak, menunjukkan tidak adanya pola error sistematis (kanan).

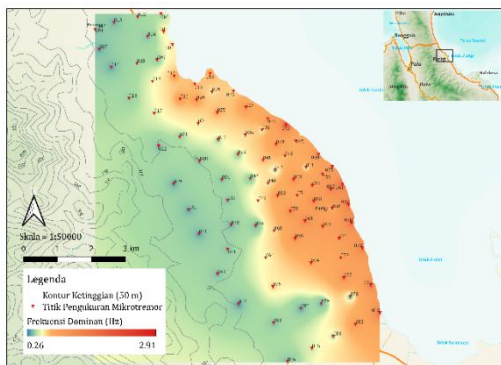
Hasil pemetaan nilai f_0 pada gambar 7 menunjukkan rentang 0,26–2,9 Hz, dengan kecenderungan nilai lebih besar di area yang lebih jauh dari pantai. Peta A_0 pada gambar 8 menunjukkan rentang 1,61–4,77, dengan distribusi acak namun cenderung menurun seiring jarak dari pantai. Indeks kerentanan seismik (K_g) dihitung dari nilai f_0 dan A_0 , dengan rentang 1,47–113,59 (gambar 9). Nilai K_g cenderung meningkat di daerah yang lebih jauh dari pantai.



Gambar 7.
Nilai frekuensi dominan (f_0) di Kota Parigi memiliki rentang antara 0.26 – 2.9 Hz



Gambar 8.
Nilai faktor amplifikasi (A_0) di kota Parigi
memiliki rentang antara 1.61 – 4.47



Gambar 9.
Nilai Indeks kerentanan seismik (K_g) di Kota
Parigi memiliki rentang antara 1.47 – 113.59

PEMBAHASAN

Bentuk kurva HVSR dan eliptisitas gelombang Rayleigh menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat. Pada Gambar 5.A dan 5.B, terlihat kurva dengan satu puncak yang jelas, di mana pola HVSR dan eliptisitas gelombang Rayleigh bersesuaian sehingga penentuan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) relatif mudah.

Pada Gambar 5.C dan 5.D, kurva memperlihatkan dua puncak, salah satunya lebih rendah dibandingkan puncak lain. Dalam kasus ini, puncak eliptisitas Rayleigh (A_{ell}) berperan penting sebagai panduan untuk menentukan puncak HVSR yang

representatif. Hubungan ini juga terlihat pada Gambar 5.E dan 5.F, meskipun puncak yang dihasilkan relatif tidak tegas. Menurut kriteria *SESAME European Project*, keberadaan dua puncak mengindikasikan adanya dua kontras impedansi, yaitu pada lapisan dangkal dan lapisan yang lebih dalam. Dalam konteks ini, nilai f_0 ditafsirkan sebagai puncak dengan frekuensi lebih rendah (mewakili lapisan lebih dalam), sedangkan puncak dengan frekuensi lebih tinggi mengindikasikan kontras impedansi (Abdialim et al. 2021).

Secara spasial, nilai f_0 di Kota Parigi memperlihatkan pola peningkatan seiring dengan bertambahnya jarak dari pantai. Pola ini bersesuaian dengan kontur topografi, di mana elevasi yang lebih tinggi umumnya berkorelasi dengan nilai f_0 yang lebih besar akibat adanya lapisan batuan yang lebih dangkal hal ini bersesuaian dengan penelitian Setiawan and Murti (2022). Sebaliknya, nilai A_0 memperlihatkan distribusi yang lebih acak, meskipun terdapat kecenderungan menurun ke arah barat. Variasi ini berkaitan dengan heterogenitas sedimen permukaan dan kondisi litologi setempat, sebagaimana diungkapkan dalam penelitian Haerudin et al. (2020).

Nilai indeks kerentanan seismik (K_g), yang diperoleh dari hasil perhitungan f_0 dan A_0 , menunjukkan pola semakin besar menjauhi pantai. Hal ini dapat dijelaskan karena wilayah pesisir umumnya tersusun atas sedimen lepas dengan ketebalan lebih besar, yang meningkatkan potensi amplifikasi gelombang seismik (Setiawan and Murti 2022).

SIMPULAN

Integrasi kurva HVSR dan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukan bahwa keduanya bisa

dipadukan dan saling melengkapi. Pola kurva HVSR bersesuaian dengan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh. Puncak kurva eliptisitas gelombang Rayleigh (A_{ell}) dapat memandu penentuan nilai frekuensi dominan (f_0) ketika puncak A_0 terlihat jelas (*clear peak*) maupun ketika terdapat dua puncak atau lebih dan puncak tidak jelas (*unclear peak*). Penggunaan (A_{ell}) juga digunakan untuk membantu penentuan nilai A_0 sehingga didapatkan nilai yang lebih stabil. Hasilnya dipetakan dengan rincian nilai frekuensi dominan memiliki rentang antara 0,26 Hz – 2,9 Hz, nilai faktor amplifikasi memiliki rentang antara 1,61 – 4,77 dan nilai indeks kerentanan seismic antara 1,47 – 113,59. Nilai frekuensi dominan dan indeks kerentanan seismic memiliki pola yang relatif sama yaitu tinggi di daerah pantai dan menurun ketika menjauhi pantai. Pola tersebut juga bersesuaian dengan kontur topografi kota Parigi. Nilai faktor amplifikasi bervariasi dan tinggi di titik tertentu dikarenakan berkaitan dengan sedimen dan pembentukannya. Perlu dilakukan penelitian dengan metode lain seperti inversi kurva eliptisitas gelombang Rayleigh sehingga diketahui profil kedalaman sedimen sehingga analisis yang dilakukan bisa lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdialim, S., Hakimov, F., Kim, J., Ku, T., & Moon, S. W. (2021). Seismic Site Classification from HVSR Data Using the Rayleigh wave Ellipticity Inversion: A Case Study in Singapore. *Earthquakes and Structures*, 21(3), 231–238. <https://doi.org/10.12989/eas.2021.21.3.231>
- Ardiansyah, A., Adhi, M. A., Sarwi, Astuti, B., Cindiwati, & Nugroho, B. W. (2024). Seismic Vulnerability Microzonation Using HVSR Method in Kalisalak Hamlet, Garunglor Village, Sukoharjo Sub-District, Wonosobo District. *Jurnal Fisika*, 14(2), 14–23. <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jf/index>
- Ariyanto, A., Farduwini, A., Styawan, Y., Putri, I. A., Junian, W. E., Prasetyo, N., Rizki, R., & Wulandari, R. (2024). Pemetaan Kerentanan Seismik Melalui Analisis Mikrotremor HVSR di Wilayah Kecamatan Kemiling dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 10(2), 82–99. <https://doi.org/10.23960/jge.v9i2.393>
- Fatimah, N., Maryanto, S., & Rismayanthi, C. (2022). Karakterisasi Kerentanan Seismik Daerah Lembang Menggunakan Metode HVSR dan Inversi Eliptisitas Gelombang Rayleigh. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5(2), 133–144. <https://doi.org/10.23960/jge.v5i2.133-144>
- Haerudin, N., Rustadi, F. A., & Yogi, I. B. S. (2020). The Effect Site Analysis Based on Microtremor Data Using The Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) Method in the Bandar Lampung City. *Journal of Physics: Conference Series*, 1572, 012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1572/1/012075>
- Iswara, M. R., Syafriani, & Hardy, T. (2020). Analysis of Ground Shear Strain (GSS) district Kawalu Tasikmalaya with HVSR Method Using Microtremor Data. *Pillar of Physics*, 13(2), 150–155.

- <https://doi.org/10.24036/9104171074>
- Molnar, S., Assaf, J., Sirohey, A., & Adhikari, S. R. (2020). Overview of Local Site Effects and Seismic Microzonation Mapping in Metropolitan Vancouver, British Columbia, Canada. *Engineering Geology*, 270, 105568. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105568>
- Patria, A., & Putra, P. S. (2020). Development of the Palu–Koro fault in NW Palu Valley, Indonesia. *Geoscience Letters*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40562-020-0150-2>
- Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN). (2022). *Peta deagregasi bahaya gempa Indonesia untuk perencanaan dan evaluasi infrastruktur tahan gempa*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Badan Penelitian dan Pengembangan.
- Setiawan, D. G. E., Meidji, I. U., Adam, S., & Jayadi, H. (2024). Soil Dynamics Characteristics to Earthquake Using HVSR method in Palu City. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1425, p. 012025). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1425/1/012025>
- Setiawan, E., & Murti, A. K. (2022). Pre-positioning Pusat Distribusi Bantuan Bencana Banjir di Kota Surakarta, Indonesia Dengan Menggunakan Metoda Fuzzy ELECTRE. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 18(3), 246–257. <https://doi.org/10.14710/pwk.v18i3.39208>
- Siagian, G. (2025). Microzonation Mapping and Seismic Vulnerability Analysis using HVSR method in Selebar District, Bengkulu City. *Jurnal Geosaintek*, 11(1), 12–21. <https://journal.unnes.ac.id/journals/jf/article/view/16138>
- Sugianto, & Refrizon. (2021). Pemodelan Struktur Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Berdasarkan Data Mikrotremor Lintasan Bengkulu Tengah–Kepahiang. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 108–117. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.108-117.2021>
- Syafitri, M. N., Ridha, S., Maryanto, S., & Martha, A. A. (2022). Shear Wave Velocity Model to A Depth of 30 Meter (Vs30) Using Horizontal Vertical Time Frequency Analysis (HVTFA) Method. *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology (JEEST)*, 9(1), 1–9. <https://jeest.ub.ac.id/index.php/jeest/article/view/168>
- Zuhair, M. B. F., Suhardja, S. K., Pranata, B., & Adi, S. P. (2023). Seismic Microzonation Based on HVSR Inversion Results for Shear Wave (Vs30) Mapping and Soil Vulnerability in West Sulawesi and South Sulawesi regions. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 464, p. 01006). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346401006>