

ANALISIS INDEKS KERENTANAN LAPISAN PERMUKAAN TANAH BERDASARKAN DATA MIKROTREMOR DI KELURAHAN KAUMAN, KOTA SEMARANG

Arianda Pratama*, Supriyadi

Universitas Negeri Semarang

*Corresponding author: supriyadi@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Kota Semarang terletak di zona dataran aluvial Jawa bagian utara yang didominasi oleh jenis tanah lempung dan lanau dengan konsistensi sangat lunak yang dapat mempengaruhi penjalaran gelombang seismik. Peristiwa tersebut diketahui sebagai amplifikasi gelombang seismik yang dapat merusak struktur bangunan. Salah satu wilayah di Kota Semarang yang berada di zona endapan aluvial adalah Kelurahan Kauman yang merupakan pusat budaya dan ekonomi di Kota Semarang, maka perlu dilakukan mikrozonasi indeks kerentanan seismik ($\square\square$) untuk meminimalisir kerusakan struktur bangunan akibat gempa bumi di Kelurahan Kauman. Mikrozonasi dilakukan berdasarkan data mikrotremor dengan analisis HVSR. Pengambilan data mikrotremor dilakukan sebanyak 20 titik dengan membentuk grid. Jarak masing-masing titik pengambilan data adalah 150 m dengan lama perekaman adalah 30 menit menggunakan Seismometer merek MAE Seri S3S. Data mikrotremor diolah menggunakan software Geopsy. Data frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik dipetakan menggunakan software Surfer13. Hasil nilai frekuensi dominan di Kelurahan Kauman berkisar 3,58607 – 12,7591 Hz yang didominasi oleh tanah jenis II dan III yang terdiri dari batuan alluvial berupa sandy-gravel, sandy hard clay dan loam dengan ketebalan bervariasi dari 5-30 m. Faktor amplifikasi di Kelurahan Kauman berkisar 1,5575 – 3,68619 termasuk dalam kategori rendah hingga sedang yang menandakan bahwa amplifikasi gelombang pada lapisan sedimen cenderung kecil sehingga dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya gempa bumi cukup rendah. Indeks kerentanan seismik yang diperoleh pada penelitian ini berkisar 0,474949 – 3,749491 dikategorikan dalam tingkat rendah hingga sedang. Hal tersebut menandakan bahwa tingkat kerusakan akibat adanya gempa bumi akan cukup rendah dan tidak terlalu signifikan.

Kata kunci: HVSR, indeks kerentanan seismik, mikrotremor

PENDAHULUAN

Kota Semarang merupakan wilayah yang jarang mengalami peristiwa gempa bumi dan tidak berpotensi menjadi pusat gempabumi. Secara geologis Kota Semarang terletak di zona dataran aluvial Jawa bagian utara (*Alluvial of Northern Java*) dengan batuan penyusunnya umumnya dibentuk oleh endapan kuartar berupa endapan sungai, endapan pantai, dan endapan gunung api muda (Soebowo *et al.*, 2014). Dataran aluvial yang berada di wilayah Kota Semarang tersebut didominasi oleh jenis tanah lempung dan lanau dengan konsistensi yang sangat lunak dengan ketebalan bervariasi hingga lebih dari 30 m (Masvika *et al.*, 2021). Kondisi geologis Kota Semarang yang didominasi oleh tanah lempung yang tebal tersebut dapat mempengaruhi penjalaran gelombang seismik (Satria *et al.*, 2020). Kerusakan

akibat gempa bumi tidak hanya diakibatkan oleh besarnya kekuatan gempa, tetapi dapat juga diakibatkan oleh wilayah dengan sedimen yang sangat tebal di atas batuan dasar (Tanjung *et al.*, 2021). Menurut Hartati (2014), sedimen yang lunak memiliki ruang antar butir dalam penyusunannya yang mempengaruhi penjalaran gelombang seismik menjadi lebih kuat ketika merambat. Peristiwa tersebut diketahui sebagai amplifikasi gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan kerapatan medium yang dilewati gelombang seismik (Haerudin *et al.*, 2019). Oleh karena itu, maka akan terjadi pergerakan muka tanah yang dapat merusak struktur bangunan.

Salah satu wilayah di Kota Semarang yang berada di zona endapan aluvial adalah Kelurahan Kauman, Kecamatan Semarang Tengah. Kelurahan Kauman merupakan suatu kawasan yang menjadi pusat budaya dan ekonomi di Kota Semarang. Banyak tempat-tempat bersejarah dan menarik untuk dikunjungi, contohnya yaitu Masjid Agung Kauman, Aloon-aloon Kota Semarang, Pasar Johar, Komplek Wisata Pecinan, Metro Center dan lain sebagainya. Karena banyaknya tempat-tempat menarik tersebut dan perkembangan pembangunan yang semakin tinggi, maka perlu dilakukan mikrozonasi indeks kerentanan seismik (α) untuk meminimalisir kerusakan struktur bangunan akibat gempa bumi di Kelurahan Kauman. Mikrozonasi tersebut dilakukan berdasarkan data mikrotremor dengan analisis HVSZ (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSZ) diperkenalkan pertama kali oleh Nakamura pada tahun 1989 yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamis dari suatu lapisan permukaan. Metode ini merupakan metode yang sangat efektif dan murah, selain itu dalam penggunaannya metode ini ramah lingkungan dan dapat digunakan di wilayah padat penduduk atau permukiman (Warnana *et al.*, 2011). HVSZ digunakan untuk analisis rasio spektrum sinyal mikrotremor komponen horizontal ke komponen vertikalnya. Nakamura (2000) merumuskan konsep HVSZ pada Persamaan 1. Frekuensi puncak dalam kurva H/V merepresentasikan frekuensi resonansi fundamental (Bao *et al.*, 2019). Nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (α_0) dapat dilihat dari kurva H/V berdasarkan analisis HVSZ (Kanai, 1983).

$$\frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \frac{\sqrt{(S_{\text{barat-timur}})^2 + (S_{\text{utara-selatan}})^2}}{S_{\text{vertikal}}} \quad (1)$$

dengan:

S_{HS} : Spektrum gerak horizontal pada lapisan sedimen

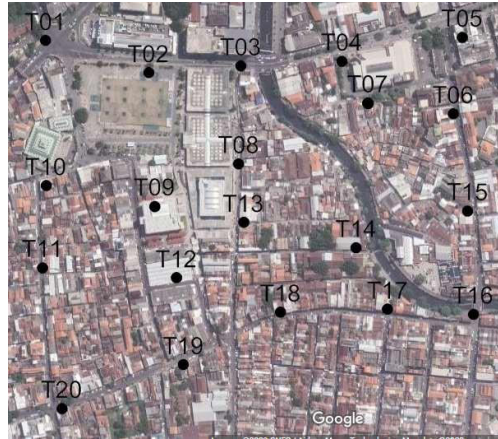
S_{VS} : Spektrum gerak vertikal pada lapisan sedimen

Indeks kerentanan seismik (K_s) berupa nilai yang merepresentasikan tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap peristiwa gempa bumi. Kerentanan seismik ini ditinjau dari kondisi batuan dan struktur bawah permukaan wilayah tersebut (Kansa Maimun *et al.*, 2020). Indeks kerentanan seismik didapatkan ketika permukaan tanah dan struktur di bawahnya mengalami regangan dan pergeseran karena adanya gempa bumi (Putri *et al.*, 2017). Nilai K_s tergantung pada sifat dinamis tanah yang diperoleh dari metode mikrotremor HVSR (Akkaya, 2020). Indeks kerentanan seismik dapat ditentukan dari nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) dengan Persamaan 2.

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

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Kelurahan Kauman dan sekitarnya yang meliputi Kelurahan Purwodinatan, kecamatan Semarang Tengah pada bulan Februari 2023. Pengambilan data mikrotremor dilakukan sebanyak 20 titik dengan membentuk *grid* seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Lokasi tiap titik pengambilan data ditampilkan pada Tabel 1. Jarak masing-masing titik pengambilan data adalah 150 m dengan lama perekaman adalah 30 menit tiap titik. Teknik pengambilan data disesuaikan dengan mengacu pada SESAME (2004). Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Seismometer 3 komponen dengan merek MAE Seri S3S dengan frekuensi 4,5 Hz, GPS merek Garmin untuk plotting koordinat titik pengambilan data, kompas untuk menentukan arah mata angin, alat tulis, dan komputer.



Gambar 1. Titik lokasi pengambilan data.

Tabel 1. Koordinat lokasi pengambilan data.

Nama Titik	<i>Longitude</i> (m)	<i>Latitude</i> (m)
T01	436216	9229411
T02	436367	9229364
T03	436502	9229374
T04	436650	9229381
T05	436826	9229416
T06	436813	9229304
T07	436688	9229320
T08	436499	9229231
T09	436376	9229169
T10	436217	9229199
T11	436212	9229079
T12	436408	9229064
T13	436506	9229145
T14	436671	9229108
T15	436834	9229162
T16	436842	9229011
T17	436717	9229018
T18	436560	9229014
T19	436418	9228937
T20	436240	9228873

Data mikrotremor 3 komponen (vertikal, utara-selatan, dan barat-timur) yang telah didapatkan dalam bentuk BIN kemudian diubah ke dalam format sg2 menggunakan *software sg2conv* agar sinyal mikrotremor dapat terbaca oleh *software Geopsy*. Pada *software Geopsy* dilakukan *windowing*, yaitu pemilihan sinyal mikrotremor tanpa *noise* dengan melakukan pemotongan pada sinyal yang dianggap *noise* agar didapatkan sinyal mikrotremor yang sebenarnya. Setelah dilakukan pemotongan sinyal, kemudian proses analisis metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V dengan frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Nilai indeks kerentanan seismik (SI) dihitung dengan menggunakan *software Microsoft Excel* sesuai dengan Persamaan 1. Data (f_0 , A_0 , dan SI) kemudian dipetakan menggunakan *software surfer13* yang selanjutnya dilakukan interpretasi dari hasil tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perekaman sinyal mikrotremor di Kelurahan Kauman sebanyak 20 titik menghasilkan spektrum gerak vertikal dan horizontal pada barat-timur dan utara-selatan. Hasil tersebut diolah pada *software Geopsy* dengan mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) yang selanjutnya dianalisis dengan metode HVSR sesuai dengan Persamaan 1 dan menghasilkan kurva H/V. Kurva H/V tersebut menunjukkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Hasil yang telah didapatkan harus dikategorikan sebagai kurva *reliable* dengan memenuhi syarat dari SESAME (2004). Hasil pengolahan data mikrotremor berupa frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan seismik (SI) ditampilkan pada Tabel 2.

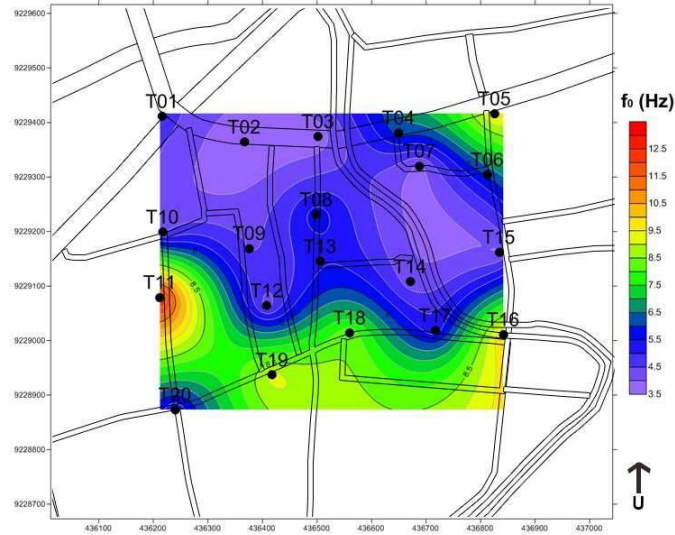
Tabel 2. Hasil frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik.

Nama Titik	<i>Longitude</i> (m)	<i>Latitude</i> (m)	Frekuensi Dominan, ω_0 (Hz)	Faktor Amplifikasi, α_0	Indeks kerentanan seismik, $\beta\beta$
T01	436216	9229411	4,8004	3,3627	2,355585
T02	436367	9229364	3,58607	3,66687	3,749491
T03	436502	9229374	3,68076	2,90836	2,298047
T04	436650	9229381	6,2698	3,16857	1,601301
T05	436826	9229416	9,67386	3,49572	1,263204
T06	436813	9229304	6,11286	2,69284	1,186251
T07	436688	9229320	3,85184	1,5575	0,629779
T08	436499	9229231	5,80241	3,24646	1,816401
T09	436376	9229169	4,47142	2,78798	1,738336
T10	436217	9229199	4,42832	2,61838	1,548197
T11	436212	9229079	12,7591	2,76421	0,598855
T12	436408	9229064	4,28506	3,68619	3,171017
T13	436506	9229145	5,43167	2,98819	1,643929
T14	436671	9229108	4,22009	1,96327	0,913352
T15	436834	9229162	3,9675	1,93952	0,948138
T16	436842	9229011	10,0199	2,1815	0,474949
T17	436717	9229018	5,22952	2,37947	1,082676
T18	436560	9229014	8,35942	2,36081	0,666724
T19	436418	9228937	9,1965	3,38829	1,248356
T20	436240	9228873	5,02881	2,42974	1,173963

A. Frekuensi Dominan (ω_0)

Frekuensi dominan menunjukkan nilai frekuensi yang paling sering muncul yang merupakan frekuensi gelombang pada lapisan batuan pada daerah tersebut. Hasil nilai frekuensi dominan di Kelurahan Kauman berkisar 3,58607 – 12,7591 Hz dengan persebarannya ditunjukkan oleh Gambar 2. Nilai frekuensi dominan paling

tinggi yaitu pada titik T11 dengan nilai 12,7591 Hz ditandai dengan warna merah, sedangkan nilai frekuensi dominan paling rendah yaitu pada titik T02 dengan nilai 3,58607 Hz.



Gambar 2. Peta persebaran frekuensi dominan (□□).

Tabel 3. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan.

Jenis Tanah	Frekuensi natural (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Jenis I	6,667 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
Jenis II	4 – 6,667	Batuan alluvial, ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 m.
Jenis III	2,5 – 4	Batuan alluvial, ketebalan >m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 m.
Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

Jika terjadi peristiwa gempa bumi dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi dominan di wilayah Kelurahan Kauman, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan terjadinya penguatan gelombang seismik (Isburhan *et al.*,

2019). Selain itu frekuensi dominan pada suatu wilayah dapat menunjukkan jenis dan karakteristik dari batuan di wilayah tersebut serta menunjukkan ketebalan lapisan sedimennya. Frekuensi dominan berbanding terbalik dengan tebalnya lapisan sedimen (Galgaro *et al.*, 2014). Jenis dan karakteristik batuan berdasarkan frekuensi dominan dapat diketahui melalui tabel klasifikasi Kanai pada Tabel 3.

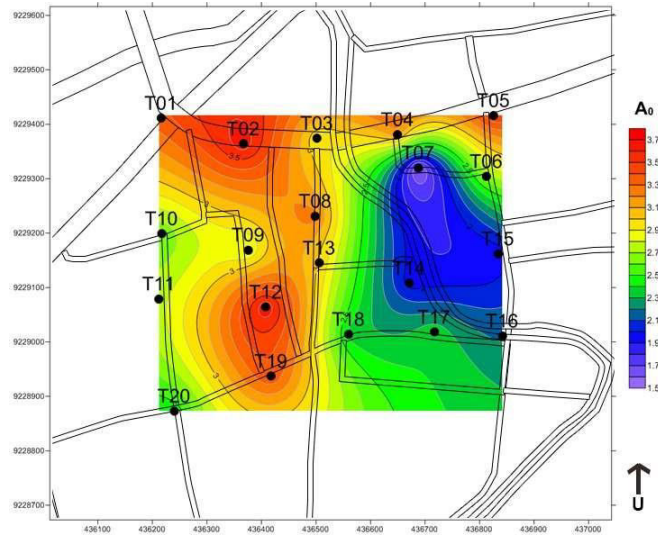
Berdasarkan Tabel 3, Kelurahan Kauman memiliki jenis tanah yang didominasi oleh tanah jenis II dan III yang terdiri dari batuan alluvial berupa *sandy-gravel*, *sandy hard clay* dan *loam* dengan ketebalan bervariasi dari 5-30 m. Terdapat beberapa titik dengan tanah jenis I yang berupa batuan *hard sandy* dan *gravel* dengan ketebalan sedimen yang sangat tipis.

B. Faktor Amplifikasi (σ_a)

Faktor amplifikasi yaitu penguatan gelombang ketika melewati medium yang berbeda. Hasil nilai faktor amplifikasi di Kelurahan Kauman yang didapat pada penelitian ini yaitu berkisar 1,5575 – 3,68619 dengan persebarannya ditunjukkan oleh Gambar 3. Nilai faktor amplifikasi yang didapat ini berada pada rentang rendah hingga sedang menurut klasifikasi nilai amplifikasi oleh Setiawan (2009) pada Tabel 4. Secara keseluruhan wilayah Kelurahan Kauman didominasi dengan nilai faktor amplifikasi rendah hingga sedang yang menandakan bahwa amplifikasi gelombang pada lapisan sedimen cenderung kecil sehingga dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya gempa bumi cukup rendah.

Tabel 4. Klasifikasi faktor amplifikasi oleh Setiawan (2009).

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



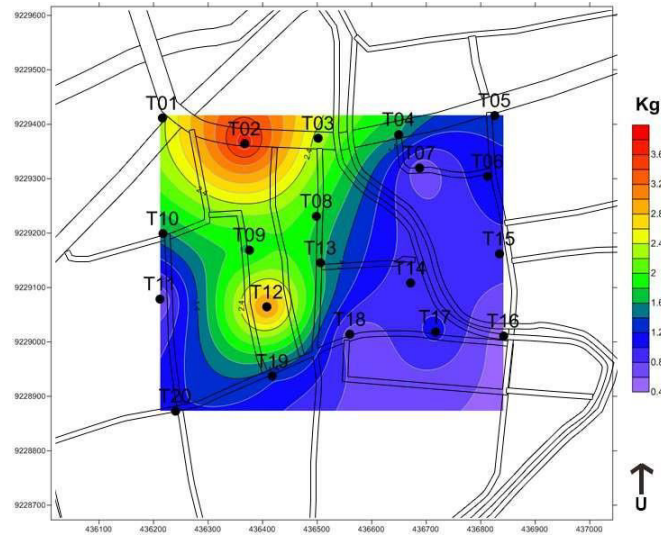
Gambar 3. Peta persebaran faktor amplifikasi (A_0).

C. Indeks Kerentanan Seismik ($\square\square$)

Indeks kerentanan seismik didapat dari perbandingan nilai faktor amplifikasi dan frekuensi dominan sesuai dengan Persamaan 2. Indeks kerentanan seismik yang diperoleh pada penelitian ini berkisar 0,474949 – 3,749491 dengan persebarannya ditunjukkan oleh Gambar 4. Indeks kerentanan seismik paling rendah ditunjukkan dengan warna ungu pada titik T16 dan indeks kerentanan seismik paling tinggi ditunjukkan dengan warna merah pada titik T02. Secara umum, indeks kerentanan seismik di Kelurahan Kauman, Kota Semarang termasuk dalam kategori rendah sesuai dengan klasifikasi indeks kerentanan seismik menurut Tabel 5. Terdapat dua titik yang memiliki indeks kerentanan seismik sedang yaitu pada titik T02 dan T12 yang ditunjukkan dengan warna merah.

Tabel 5. Klasifikasi indeks kerentanan seismik ($\square\square$) oleh Refrizon *et al.*, (2013).

Indeks kerentanan seismik ($\square\square$)	Kategori
<3	Rendah
$3 < \square\square < 6$	Sedang
>6	Tinggi



Gambar 4. Peta persebaran indeks kerentanan seismik (K_g).

Indeks kerentanan seismik merupakan indeks suatu wilayah terhadap besarnya kerusakan yang ditimbulkan akibat terjadinya gempa bumi. Indeks ini memiliki hubungan terhadap satuan geologi wilayah penelitian (Satria *et al.*, 2020). Kerentanan suatu wilayah berdasarkan nilai K_g juga harus memperhitungkan data frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan nilai ketebalan lapisan sedimen (Kang *et al.*, 2021). Berdasarkan peta persebaran faktor amplifikasi pada Gambar 3 dan indeks kerentanan seismik pada Gambar 4, diketahui bahwa faktor amplifikasi akan berbanding lurus indeks kerentanan seismik. Hal itu berarti bahwa, jika suatu wilayah memiliki faktor amplifikasi tinggi yang akan memperkuat penjalaran gelombang akibat adanya perbedaan medium perambatannya, maka akan memperbesar tingkat kerentanan suatu wilayah tersebut akan terjadinya gempa bumi. Tetapi dalam penelitian ini, wilayah Kelurahan Kauman memiliki faktor amplifikasi yang relatif rendah hingga sedang yang berarti bahwa penjalaran gelombang tidak terlalu mengalami penguatan saat terjadinya gempa bumi. Hal itu sejalan dengan indeks kerentanan seismik yang termasuk ke dalam kategori rendah hingga sedang yang berarti bahwa kerusakan akibat terjadinya gempa bumi akan rendah.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah diuraikan di atas, maka didapat kesimpulan bahwa wilayah Kelurahan Kauman, Kota Semarang memiliki indeks kerentanan seismik berkisar 0,474949 – 3,749491. Secara umum, indeks kerentanan seismik tersebut dikategorikan dalam tingkat rendah hingga sedang. Hal tersebut menandakan bahwa tingkat kerusakan akibat adanya gempa bumi akan cukup rendah dan tidak terlalu signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akkaya, İ. (2020). Availability of seismic vulnerability index (K_g) in the assessment of building damage in Van, Eastern Turkey. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 19(1), 189–204. <https://doi.org/10.1007/s11803-020-0556-z>
- Bao, F., Li, Z., Tian, B., Wang, L., & Tu, G. (2019). Sediment thickness variations of the Tangshan fault zone in North China from a dense seismic array and microtremor survey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 185(January), 104045. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.104045>
- Galgaro, A., Boaga, J., & Rocca, M. (2014). HVSR technique as tool for thermal-basin characterization: A field example in N-E Italy. *Environmental Earth Sciences*, 71(10), 4433–4446. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2838-5>
- Haerudin, N., Alami, F., & Rustadi. (2019). *Mikroseismik, Mikrotremor dan Microearthquake dalam Ilmu Kebumihan*. Bandar Lampung. Pusaka Media.
- Hartati, L. (2014). Pemetaan Tingkat Resiko Gempabumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. *Thesis. Yogyakarta: UGM*.
- Isburhan, R. W. P., Nuraeni, G., Verdhora Ry, R., Yudistira, T., Cipta, A., & Cummins, P. (2019). Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) Method for Earthquake Risk Determination of Jakarta City with Microtremor Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 318(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/318/1/012033>
- Kanai, K. (1983). *Engineering Seismology*. University of Tokyo Press.
- Kang, S. Y., Kim, K. H., & Kim, B. (2021). Assessment of seismic vulnerability using the horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSR) method in Haenam, Korea. *Geosciences Journal*, 25(1), 71–81. <https://doi.org/10.1007/s12303-020-0040-9>
- Kansa Maimun, A., Silvia, U. N., Julia, V., Ariyanto, P., Geofisika, P., Tinngi, S., Klimatologi, M., Geofisika, D., & Selatan, T. (2020). Analisis Indeks Kerentanan Seismik, Periode Domain, dan Faktor Amplifikasi Menggunakan

- Metode HVSR di Stageof Tangerang. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 7(2), 24–30.
- Masvika, H., Cahyono, D. B., & Wanto, S. (2021). Pemodelan Kondisi Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Jalan Semarang Outer Ring Road (SORR). *Pengembangan Rekayasa Dan Teknologi*, 17(2), 53–61. <https://journals.usm.ac.id/index.php/jprt/article/view/3970>
- Nakamura, Y. (1989). A Method For Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface. *Quarterly Reports Of The Railway Technical Research Institute. Tokyo*, 30, 25–33.
- Nakamura, Y. (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application. *The 12nd Word Conference on Earthquake Engineering. Tokyo, Japan*, 2656, 1–8.
- Putri, A. R., Purwanto, M. S., & Widodo, A. (2017). Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor I Jalur Sesar Kendeng. *Jurnal Geosaintek*, 3(2), 107–114.
- Refrizon, R., Hadi, A. I., Lestari, K., & Oktari, T. (2013). Analisis Percepatan Tanah Maksimum dan Tingkat Kerusakan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding SEMIRATA 2013*, 1(1).
- Satria, A., Larasati, N., Hsb, W. L., Dewi, I. K., & Si, S. (2020). Analisis Mikrotremor berdasarkan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi. *Jurnal Teknik Kebumian*, 5(2), 1–6. <https://online-journal.unja.ac.id/jtk/article/view/8153>
- SESAME. (2004). *Guidelines for The Implementations of H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation*. SESAME European Research Project. Project No. EVGICT-2000-00026 SESAME.
- Setiawan, J. (2009). *Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya*. Institut Teknologi Bandung.
- Soebowo, E., Sarah, D., Murdohardono, D., & Wirabuana, T. (2014). Geologi Bawah Permukaan Wilayah Amblesan Tanah di Kota Semarang. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI Tahun 2014*, 57–63.
- Tanjung, N. A. F., Permatasari, I., & Yuniarto, A. H. P. (2021). Mapping of weathered layer thickness and Seismic Vulnerability in Tegal using HVSR method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1951(1), 8–13. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1951/1/012053>
- Warnana, D. D., Soemitro, R. A. A., & Utama, W. (2011). Application of Mikrotremor HVSR Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 11(4), 100–105.