

Ambient Seismic Noise Analysis of Nyepi Celebration Day in Denpasar, Bali Using Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR)

Analisis Ambient Seismic Noise pada Perayaan Hari Nyepi di Denpasar, Bali Menggunakan Metode Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR)

I Putu Dedy Pratama^{1,*}, Dwi Karyadi Priyanto¹, Pande Komang Gede Arta Negara²

¹Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika Denpasar, Bali, Indonesia

²Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika Mataram, Lombok, Indonesia

*Email: checkmate.mail@yahoo.co.id

Submit 2020-06-23; Revised: 2020-07-18; Accepted: 2020-08-18

Abstract: *Nyepi Day is a unique tradition where outdoor human activities stop 24 hours a day. Denpasar City is the region that has the most significant impact on this change because it is the capital province. This study aims to determine the effect of Nyepi on ambient noise in Denpasar on March 25, 2020. We installed a TDS sensor at the Denpasar Geophysics Station for 3x24 hours ie when Nyepi Day, before and after Nyepi as comparative data. The data is processed by the HVSR method to get the value of dominant frequency and amplification factor every hour. Compared to the day before and after Nyepi, the dominant frequency increased during Nyepi and the amplification factor decreased during Nyepi. Seismic vulnerability index value at Nyepi is 24 where there is a decrease of index 3,904 with a day before and after Nyepi. This is showed that Nyepi Day affected ambient noise in Denpasar.*

Keywords: *Nyepi, Denpasar, HVSR, ambient noise*

Abstrak: Hari Raya Nyepi merupakan tradisi unik dimana dalam sehari aktivitas manusia luar ruangan berhenti dalam 24 jam. Kota Denpasar merupakan wilayah yang paling berdampak signifikan terhadap perubahan ini karena merupakan ibu kota provinsi. Penelitian ini mencoba mengetahui pengaruh Nyepi terhadap ambient noise di Denpasar tanggal 25 Maret 2020. Penulis memasang sensor TDS di Stasiun Geofisika Denpasar selama 3x24 jam yaitu saat Nyepi, sebelum dan setelah Nyepi sebagai data pembanding. Data diolah dengan metode HVSR untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi setiap jam. Terjadi peningkatan frekuensi dominan saat Nyepi dan penurunan faktor amplifikasi saat Nyepi dibandingkan hari sebelum dan sesudah Nyepi. Nilai indeks kerentanan seismik saat Nyepi sebesar 24 dimana terjadi penurunan sebesar indeks 3,904 dengan sehari sebelum dan setelah Nyepi. Hal ini menunjukkan Nyepi mempengaruhi ambient noise di Kota Denpasar.

Kata kunci: Nyepi, Denpasar, HVSR, *ambient seismic noise*

1 PENDAHULUAN

Hari Raya Nyepi merupakan suatu tradisi unik satu-satunya di dunia dimana aktivitas manusia di luar ruangan ditiadakan dalam sehari. Seluruh sistem transportasi terhenti untuk Pulau Bali beserta pulau kecil lainnya dalam Provinsi Bali. Momen ini sangat baik untuk dilakukan beberapa penelitian terkait berkurangnya aktivitas manusia terutama di sebuah kota yang padat penduduk. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut memanfaatkan momen hari raya Nyepi dengan tetap mematuhi aturan dari Catur Brata Penyepeian. Kota Denpasar merupakan wilayah yang paling berubah secara signifikan dari aktivitas manusia selama Nyepi. Denpasar merupakan wilayah dengan kepadatan penduduk 7.412 jiwa/km² yang hampir 10 kali lipat kepadatan penduduk Provinsi Bali (BPS, 2020). Untuk itu perlu dilakukan penelitian perubahan aktivitas manusia saat Nyepi di Kota Denpasar. Salah satu penelitian untuk mengetahui pengaruh berkurangnya aktivitas manusia dengan mengukur ambient noise suatu tempat. Pengukuran ambient noise umumnya digunakan untuk mengetahui jenis tanah di suatu tempat beserta gangguan rata-rata yang terjadi seperti pasang surut, kendaraan, aktivitas manusia, dan lain-lain.

Prosedur terbaik untuk menentukan respons getaran tanah adalah dengan merekam gerakan tanah selama gempa bumi dan menghitung rasio spektral dari rekaman pengukuran ke titik referensi terdekat yang terletak di atas batuan keras (Borcherdt, 1970). Namun, untuk mendapatkan hasil penelitian menggunakan metode ini cukup sulit, terutama di wilayah dengan tingkat kegempaan rendah dan kebisingan yang tinggi.

Salah satu metode yang digunakan dalam penentuan ambient noise adalah metode HVSR yang diperkenalkan oleh Nakamura (1989) banyak digunakan untuk studi mikrozona seismik. Pendekatan alternatif untuk mengkaraktisasi respons lokasi di lingkungan perkotaan menggunakan metode HVSR dari rekaman kebisingan sesuai tujuan getaran apa yang ingin didapatkan. Ambient noise merupakan getaran amplitudo rendah dari tanah yang dihasilkan oleh gangguan alami (seperti angin, gelombang

laut, akar pohon, dan lain-lain) dan gangguan buatan manusia (seperti lalu lintas, mesin industri, peralatan rumah tangga, dan lain-lain). Kebisingan dari lalu lintas dan industri serta getaran lain di dalam kondisi kota menghadirkan tantangan untuk penerapan analisis HVSR (Mihaylov, dkk., 2016). Hilangnya kebisingan dari lalu lintas dan aktivitas manusia lainnya membuat getaran tanah dari alam dapat terdeteksi dengan baik.

Penelitian HVSR secara harian merupakan cara untuk mengetahui aktivitas manusia sehari-hari di suatu wilayah. Metode HVSR disebut andal dalam mengukur tingkat kebisingan di suatu kota (Panou, dkk., 2005). Dal Moro (2020) memanfaatkan mikrotremor harian untuk mengidentifikasi wilayah industri. Matsushima, Kosaka, dan Kawase (2017) menggunakan HVSR untuk mengidentifikasi wilayah pelabuhan Onahama, Fukushima, Jepang. HVSR juga digunakan untuk penentuan lokasi sensor seperti yang dilakukan oleh Perron, dkk. (2018).

Hasil pengukuran ambient noise dengan metode HVSR merupakan hal pertama dilakukan untuk pengukuran aktivitas Nyepi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh Nyepi dalam pengukuran mikrotremor.

2 DATA DAN METODE

Salah satu metode untuk analisis ambient noise adalah menggunakan HVSR yaitu perbandingan antara spektrum horizontal terhadap spektrum vertikal suatu sinyal 3 komponen. Metode HVSR merupakan metode seismik pasif yang sering dimanfaatkan dalam survei lapangan oleh para seismolog. HVSR dapat mengetahui frekuensi alami dan faktor amplifikasi daerah setempat yang selanjutnya digunakan untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah (Nakamura, 2018). Secara teknis metode ini diusulkan oleh Nogoshi dan Igarashi (1971) kemudian disebarluaskan oleh Nakamura (1989) dimana metode ini meliputi estimasi rasio antara spektrum Fourier amplitudo komponen horizontal (H) terhadap komponen vertikal (V) dari getaran kebisingan sekitar yang direkam, di satu stasiun tunggal.

Menurut Herak (2008) metode HVSR dapat mengidentifikasi struktur bawah permukaan setempat dilihat dari parameter fisik berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Hasil analisis dengan metode HVSR akan menghasilkan grafik hubungan antara H/V dan frekuensi. Faktor amplifikasi diperoleh dari nilai maksimum H/V pada frekuensi dominan. Pengolahan getaran tanah menghasilkan data frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang menjadi informasi kondisi tanah setempat dan amplifikasi jika terjadi gempa bumi. Frekuensi dominan digunakan sebagai informasi dalam membangun bangunan bertingkat untuk mencegah resonansi ketika terjadi gempa bumi kuat dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi bangunan.

Kurva HVSR didapatkan dengan membandingkan antara spektrum komponen horizontal (SH) terhadap spektrum komponen vertikal (SV) (Nakamura, 1989). Secara eksplisit metode HVSR memenuhi persamaan (1):

$$HVSR = \frac{S_H}{S_V} = \frac{\sqrt{(S_{N-S})^2 + (S_{E-W})^2}}{S_V} \quad (1)$$

Indeks kerentanan seismik (K_g) adalah parameter yang

dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan suatu daerah terhadap ancaman risiko gempa bumi. Indeks kerentanan seismik dengan tingkat risiko gempa bumi terhadap kerusakan akibat gempa bumi menunjukkan hubungan yang linear. Untuk setiap titik ukur, nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai amplifikasi (A_0) kemudian dibagi dengan nilai frekuensi dominan (f_0) yang didapatkan pada spektrum HVSR (Nakamura, 2018) yang ditunjukkan pada Persamaan 2:

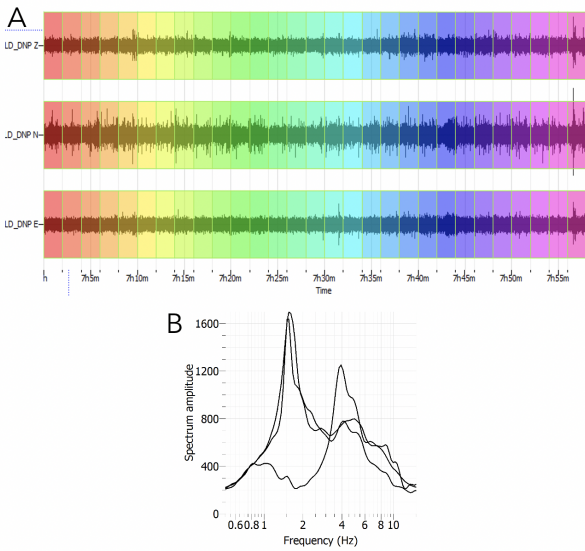
$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2)$$

Data rekaman sinyal seismik terdiri dari tiga komponen yaitu komponen vertikal (Z), komponen horizontal North-South (N-S), dan komponen horizontal East-West (E-W). Selanjutnya analisis ambient noise menggunakan teknik HVSR, yaitu perbandingan antara spektrum komponen horizontal terhadap spektrum komponen vertikal. Pengolahan data HVSR menggunakan perangkat lunak Geopsy. Geopsy merupakan perangkat lunak yang sudah umum digunakan dalam pengolahan data seismik. Terutama untuk menentukan spektrum HVSR. Dalam Geopsy langkah-langkah dalam perhitungan HVSR secara garis besar yaitu input data sinyal, parameter setting, windowing, Transformasi Fourier, smoothing, dan kurva H/V (Gambar 1). Penentuan punca kurva H/V mengikuti kriteria dari rekomendasi SESAME European Research Project (SESAME, 2004).

Penulis menggunakan data primer berupa data mikrotremor yang dipasang selama 3x24 jam yaitu sebelum Nyepi, saat Nyepi, dan setelah Nyepi tahun 2020. Pengukuran dilakukan di Stasiun Geofisika Denpasar dimana kantor ini beroperasi 24 jam termasuk saat Nyepi. Pengukuran dilakukan menggunakan seismometer portable TDS-303S dan digitizer DS-04A. Penulis memantau dan menyimpan sinyal setiap jam dalam rentang tanggal 24 Maret 2020 pukul 06:00 WITA sampai 27 Maret pukul 06:00 WITA. Sinyal Nyepi berada pada rentang 25 Maret 2020 pukul 06:00 WITA sampai 26 Maret 06:00 WITA.

Data mentah yang dihasilkan oleh TDS memiliki format .trc yang kemudian dikonversi menjadi miniSEED menggunakan perangkat lunak DataPro. Pengolahan data sinyal menggunakan metode HVSR melalui perangkat lunak Geopsy. Pengolahan diawali dengan membuka data di perangkat lunak Geopsy dalam rentang waktu 1 jam. Jadi dilakukan pengolahan data sebanyak 3x24 jam. Data tersebut diolah satu per satu yang masing-masing dilakukan proses windowing (Gambar 1) yaitu memilih sinyal menggunakan kriteria Sesame 2004. Proses windowing bertujuan untuk seleksi sampling dan ambient noise yang selanjutnya dilakukan transformasi Fourier agar dapat dilakukan smoothing untuk menghindari nilai tak hingga (Tawakal, 2019).

Tahapan selanjutnya adalah memasukkan parameter pengolahan data pada kolom processing dalam menu H/V toolbox. Dalam penelitian ini menggunakan parameter smoothing Konno-Ohmachi, tapering 5%, dan memilih squared average untuk perhitungan pada komponen horizontal. Untuk frekuensi sampling menggunakan batasan 0,5-10 Hz untuk memperjelas kurva puncak frekuensi dominan. Hasil pemrosesan data berupa kurva HVSR yang berisikan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi HVSR yang



Gambar 1. Contoh windowing sinyal (A) dan hasil Transformasi Fourier (B) perangkat lunak Geopsy menggunakan sinyal 25 Maret 2020 pukul 7 – 8 UTC atau 15 – 16 WITA.

kemudian digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik.

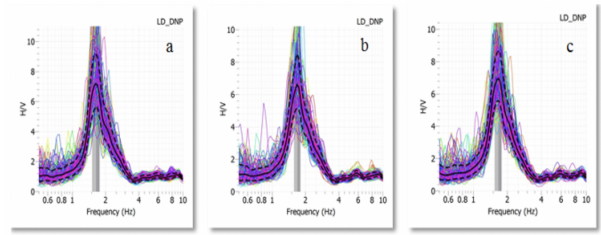
3 HASIL DAN DISKUSI

Grafik kurva H/V seperti ditunjukkan pada Gambar 2, terdiri dari kurva tiap windows (kurva berwarna-warni), kurva rata-rata (kurva hitam tebal), kurva standar deviasi (kurva hitam putus-putus), dan rekomendasi puncak kurva (kotak hitam dan abu). Gambar 2 menunjukkan kurva sehari sebelum, saat, dan sesudah Nyepi memiliki satu puncak. Kurva H/V satu puncak merupakan bentuk respon yang ideal (SESAME, 2004). Hal ini dikarenakan lapisan sedimen dengan lapisan dibawahnya memiliki perbedaan impedansi secara signifikan sehingga puncak spektrum H/V terlihat sangat jelas.

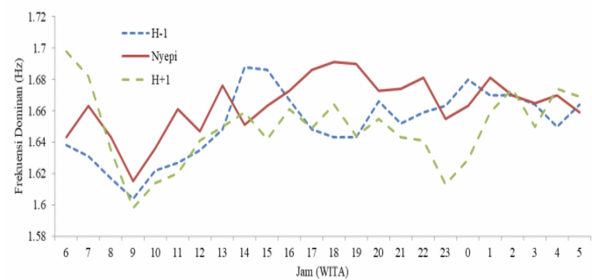
Secara visual, spektrum frekuensi rendah pada H/V untuk hari sebelum dan sesudah Nyepi lebih bervariasi dibandingkan hari Nyepi (Gambar 2) demikian pula dengan faktor amplifikasi (sumbu vertikal). Sedangkan, untuk frekuensi di atas 2 Hz cenderung sama baik pada variasi spektrum frekuensi dan faktor amplifikasinya. Amplifikasi cenderung mendarat pada frekuensi di atas 4 Hz.

Hasil pengolahan data sinyal menggunakan metode HVSR setiap jam menunjukkan bahwa secara umum terjadi peningkatan frekuensi dominan saat Nyepi (Gambar 3) tetapi fluktuatif setiap jamnya. Pada pagi hari (06:00-12:00 WITA) frekuensi dominan pada seluruh kurva berada pada titik terendah pada pukul 09:00 WITA. Frekuensi dominan saat Nyepi meningkat pada sore hari (14:00-21:00 WITA).

Secara keseluruhan data 3 hari tersebut frekuensi dominan berada pada rentang 1,60-1,70 Hz. Untuk Nyepi rentang frekuensi setiap jam berada diantara 1,62-1,69 Hz. Sebelumnya pengukuran mikrotremor di Stasiun Geofisika Denpasar pernah dilakukan tahun 2014 (Mursitantyo, dkk., 2015) memperoleh nilai frekuensi dominan 1,71 Hz yang terma-



Gambar 2. Cuplikan grafik H/V pada pukul 18:00 WITA di hari (a) sebelum, (b) saat, dan (c) sesudah Nyepi memperlihatkan analisis HVSR menggunakan Geopsy memiliki kriteria reabilitas dan puncak kurva secara keseluruhan terpenuhi.



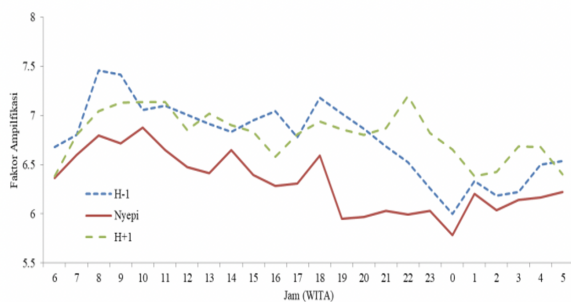
Gambar 3. Grafik perbandingan nilai frekuensi dominan setiap jam pada sehari sebelum, saat, dan setelah Nyepi.

suk dalam jenis batuan alluvial (rentang frekuensi dominan 1,64-2,17 Hz).

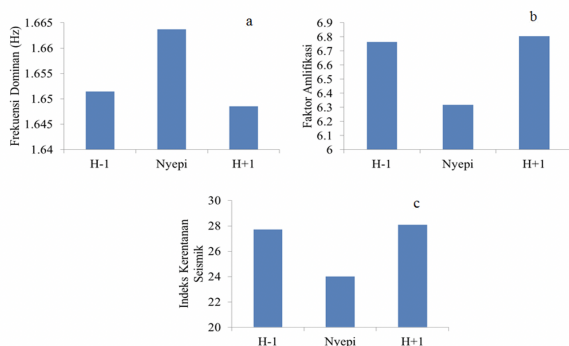
Berbeda dengan grafik frekuensi dominan, nilai faktor amplifikasi pada saat Nyepi keseluruhan berada pada nilai terendahnya dibandingkan hari sebelum dan sesudah Nyepi (Gambar 4). Pada pagi hari faktor amplifikasi pada kurva berada pada nilai tertingginya kemudian menurun hingga dini hari. Nilai faktor amplifikasi saat Nyepi terendah terjadi pada pukul 00:00 WITA. Amplitudo kurva ini merupakan nilai amplifikasi yang menggambarkan perbedaan kontras impedansi antara lapisan sedimen permukaan dengan lapisan dibawahnya yang lebih keras (Prabowo, 2017).

Faktor amplifikasi menggambarkan perbedaan karakteristik dinamik lapisan batuan ketika menerima penjaralan gelombang gempa bumi. Penguatan gelombang gempa bumi terjadi pada lapisan material sedimen di atas batuan dasar. Dimana saat terjadi gempa bumi lapisan sedimen mengalami penguatan gelombang karena adanya multirefleksi gelombang gempa bumi antara batuan dasar dan lapisan sedimen permukaan (Daryono, 2009).

Secara rata-rata pada saat Nyepi terjadi frekuensi dominan tertinggi dan nilai faktor amplifikasi terendah jika dibandingkan dengan rata-rata hari sebelum dan sesudah Nyepi (Gambar 5). Untuk nilai faktor amplifikasi hari sebelum dan sesudah Nyepi tidak terlihat perbedaan signifikan. Nilai frekuensi dominan rata-rata saat Nyepi adalah 1,664 Hz dan faktor amplifikasi sebesar 6,319. Indeks kerentanan seismik saat Nyepi berada pada nilai terendahnya dibandingkan dengan rata-rata sebelum dan sesudah Nyepi. Nilai indeks kerentanan seismik saat Nyepi adalah 23,998. Nilai ini lebih rendah 3,906 dibandingkan rata-rata hari sebelum dan sesudah Nyepi. Hal ini menunjukkan bahwa



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai faktor amplifikasi setiap jam pada sehari sebelum, saat, dan setelah Nyepi.



Gambar 5. Grafik rata-rata perbandingan (a) frekuensi dominan, (b) faktor amplifikasi, dan (c) indeks kerentanan seismik pada hari sebelum, saat, dan sesudah Nyepi.

penurunan aktivitas manusia berdampak pada penurunan indeks kerentanan seismik.

Indeks kerentanan seismik yang besar mengindikasikan tingkat kesetabilan struktur tanah daerah tersebut rendah, demikian sebaliknya (Nakamura, 2018). Saat terjadi guncangan akibat gempa bumi kemungkinan kerusakan bangunan yang terjadi akan semakin tinggi jika indeks kerentanannya tinggi. Menurut Refrizon (Refrizon, dkk., 2013) nilai $K_g \leq 3$ memiliki indeks kerentanan tanah yang rendah, $3 < K_g \leq 6$ merupakan kategori sedang, dan $K_g > 6$ termasuk dalam kategori tinggi. Titik pengukuran di Stasiun Geofisika Denpasar memiliki $K_g \leq 6$ yang masuk dalam zona tinggi. Hal ini sesuai dengan geologi titik pengukuran yang berada lapisan sedimen lempung karena sebelumnya merupakan wilayah persawahan.

4 KESIMPULAN

Hari Raya Nyepi meningkatkan nilai frekuensi dominan dan menurunkan faktor amplifikasi di Kota Denpasar pada titik Stasiun Geofisika Denpasar. Indeks kerentanan seismik terjadi penurunan saat Nyepi sebesar 3,906 dibandingkan dengan rata-rata hari sebelum dan sesudah Nyepi. Hal ini menunjukkan bahwa Nyepi mempengaruhi ambient noise di Kota Denpasar. Untuk pengukuran mikrotremor yang meminimalisir faktor getaran aktivitas manusia di luar Hari Raya Nyepi sebaiknya dilakukan pada pukul 11:00-06:00 WITA.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS (Badan Pusat Statistik) Provinsi Bali. Kepadatan Penduduk Menurut Kabupaten Kota di Bali 2010-2019. <https://bali.bps.go.id/statictable/2018/06/28/115/kepadatan-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-bali-2010-2019.html>, diakses 1 Juni 2020.
- Borcherdt, R. D., 1970. Effects of Local Geology on Ground Motion near San Francisco Bay, Bull. Seismol. Soc. Am. 60, p.29–61.
- Dal Moro, G., 2020. On the Identification of Industrial Components in the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) from Microtremors. Pure Appl. Geophys. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02424-0>.
- Daryono, 2009. Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta, Disertasi, Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Herak, M., 2008. Model HVSR—A Matlabs Tool to Model Horizontal to Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise. Computers Geosciences, p.1514–1526.
- Matsushima, S., Kosaka, H., & Kawase, H., 2017. Directionally dependent horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors at Onahama, Fukushima, Japan. Earth Planets Space, 69.
- Mihaylov, D., Naggar, M. H. E., & Dineva, S., 2016. Separation of High- and Low-Level Ambient noise for HVSR: Application in City Conditions for Greater Toronto Area. Bulletin of the Seismological Society of America; 106 (5), 2177–2184. doi: <https://doi.org/10.1785/0120150389>.
- Mursiantyo, A., Suarabawa, K. N., & Septiadhi, A., 2015. Analisis Efek Tapak Lokal dari Geologi Tanah di Badung Selatan dan Kota Denpasar dengan Survei Mikrotremor (Studi Kasus bumi Nusadua 13 Oktober 2011). Buletin Fisika, 16(2), p. 16-23. ISSN 2580-9733.
- Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Report of RTRI, 30:1, p.25-33.
- Nakamura, Y., 2008. On The H/V Spectrum, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Nogoshi, M. & Igarashi, T., 1971. On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2), J. Seismol. Soc. Japan 24, p.26–40.
- Panou, A., Theodulidis, N., Hatzidimitriou, P., 2005. Reliability of Ambient noise Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio in Urban Environments: The Case of Thessaloniki City (Northern Greece). Pure appl. geophys. 162, 891–912, <https://doi.org/10.1007/s00024-004-2647-6>.
- Perron, V., Gélis, C., Froment, B., Hollender, F., Bard, P., & Cultrera, G., 2018. Can broad-band earthquake site responses be predicted by the ambient noise spectral ratio? Insight from observations at two sedimentary basins. Geophysical Journal International, 215, p.1442–1454.
- Prabowo, U. N., 2017. Pemetaan Tingkat Resiko Gempa Bumi Berdasarkan Data Mikrotremor Di Kotamadya Denpasar, Bali, Jurnal Kurvatek; 1(2), p.55-59.
- Refrizon, A. I. Hadi, K. Lestari, & Oktari, T., 2013. Analisis Percepatan Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. Prosiding Semirata FMIPA UNILA.
- SESAME, 2004. Guidelines for The Implementation of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Europe: SESAME European research project.
- Tawakal, M. I., 2019. Analisis Struktur Bawah Permukaan Jawa Timur Menggunakan Inversi Ambient noise Rasio Spektrum Horizontal dan Vertikal (HVSR), Tesis. Jakarta: Fakultas Matematika Dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.