

INVESTIGASI KARAKTERISTIK TANAH MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* PADA STUDI KASUS KAWASAN INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA

Oleh

Meta Nisrina Syafitri¹, Antika Pratiwi², Ulya Nur Afifah³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Geofisika Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

E-mail: ¹metasyafitri139@gmail.com, ²antikapratiwi57@gmail.com,
³nurafifahulya8@gmail.com

Article History:

Received: 15-08-2025

Revised: 08-09-2025

Accepted: 18-09-2025

Keywords:

HVSR, Karakteristik Tanah,
Mikrotremor, ITERA

Abstract: Institut Teknologi Sumatera (ITERA), located in South Lampung Regency, near to the Sunda Subduction Zone, which has earthquake hazard potential. This study investigates soil characteristics in the ITERA area using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method, based on 2023 microtremor data from 30 measurement points. Analysis focused on dominant frequency (f_0), amplification factor (A_0), and seismic vulnerability index (K_g) to evaluate subsurface variations and earthquake-induced damage potential. Results show dominant frequencies ranging from 0.52 to 17 Hz. The northwest and central zones, with values below 2 Hz, suggest thick and soft tuff sediments, whereas higher values of 7-17 Hz in the northeast and southeast indicate thinner, compact soil. Amplification factors vary between 1 and 7, with lower values in the central-northern zones and higher ones in the south. The seismic vulnerability index ranges from 0.2 to 40, with the southwest and southern areas exhibiting the highest values (20-40). These findings refine previous studies by offering better spatial resolution and highlight critical areas for earthquake risk mitigation and infrastructure planning.

PENDAHULUAN

Institut Teknologi Sumatera (ITERA) merupakan perguruan tinggi negeri yang diresmikan pada tahun 2014. ITERA berdiri di Kabupaten Lampung Selatan berada dekat dengan Zona Penunjaman (Subduksi) Sunda, yang merupakan sumber bahaya gempa [1]. Semenjak tahun 2014, ITERA terus melakukan pengembangan dan pembangunan prasarana pembelajaran [2]. Pembangunan infrastruktur prasarana pembelajaran yang berkelanjutan perlu dilakukan sebagai usaha untuk mengurangi risiko kerusakan bangunan. Salah satu faktor penting yang memengaruhi keberlanjutan bangunan adalah pemahaman terhadap karakteristik tanah yang berpengaruh pada tingkat kerusakan bangunan akibat gempa bumi

[3], [4].

Penelitian terakhir mengenai investigasi karakteristik tanah, menunjukkan bahwa berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0), area tengah ITERA relatif lebih stabil terhadap getaran gempa bumi dan area barat daya serta selatan memiliki potensi kerusakan yang lebih tinggi [5]. Namun sejak tahun 2019, kawasan ITERA mengalami perkembangan infrastruktur yang pesat sesuai dengan Rencana Strategis (Renstra) ITERA [6]. Interaksi antara bangunan baru dan tanah sekitarnya dapat secara signifikan mengubah spektrum respons seismik di area lokal [7]. Maka perlu dilakukan investigasi karakteristik tanah menggunakan data mikrotremor terbaru karena hasil penelitian sebelumnya masih menggunakan data mikrotremor lama yang dilakukan akuisisi sebelum tahun 2019 [5]. Selain itu penelitian sebelumnya tidak menjelaskan indeks kerentanan seismik (K_g) di kawasan ITERA, dimana indeks kerentanan seismik perlu di investigasi untuk dapat memahami potensi tingkat kerusakan bangunan akibat gempa bumi [8].

Penelitian ini melakukan investigasi karakteristik tanah dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) yang memanfaatkan gelombang mikrotremor [9]. Data mikrotremor yang digunakan merupakan data terbaru yang telah dilakukan akuisisi pada tahun 2023 dengan jumlah titik pengukuran mikrotremor yang lebih banyak dari penelitian sebelumnya yaitu 30 titik pengukuran. Investigasi karakteristik tanah dilakukan berdasarkan analisis frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari kurva H/V [10]. Agar potensi tingkat kerusakan bangunan akibat gempa bumi di kawasan ITERA dapat dipahami, dilakukan analisis indeks kerentanan seismik yang dihitung berdasarkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang didapat [8].

METODE PENELITIAN

Data Penelitian

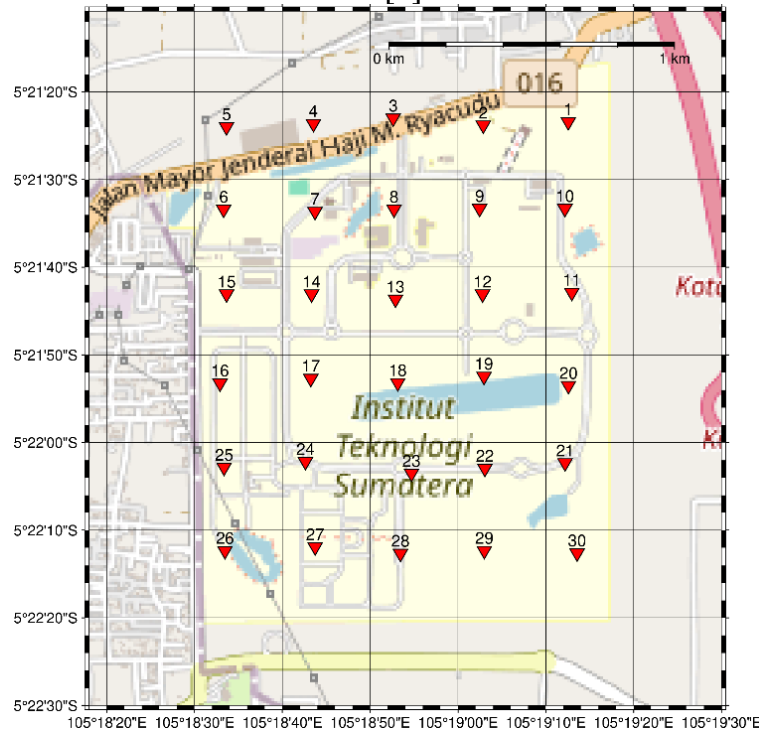
Penelitian ini menggunakan data pengukuran mikrotremor tiga komponen yang dilakukan akuisisi pada tanggal 9 hingga 16 November 2023 di kawasan Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Titik pengukuran data mikrotremor memiliki jumlah sebanyak 30 titik (Gambar 1). Durasi data mikrotremor untuk setiap titik yaitu 40 menit.

Metodologi

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) pada *software Geopsy* [10]. Metode HVSr merupakan metode yang membandingkan spektrum *fourier* dalam domain frekuensi dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikal. Hasil analisis metode HVSr didapat nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) [3]. Hasil analisis HVSr tersebut dapat menggambarkan karakteristik dinamis tanah [8].

Pengolahan data mikrotremor diawali dengan *windowing*. Data mikrotremor yang terdiri dari tiga komponen yaitu dua komponen horizontal (N-S dan E-W) dan satu komponen vertikal (U-D) dilakukan *windowing* pada ketiga komponennya. Panjang *window* yang digunakan dalam penelitian ini adalah selama 50 detik sesuai dengan ketentuan *SESAME PROJECT* [10]. Agar saat dilakukan *windowing* sinyal - sinyal *transient* yang terkadang terekam saat pengukuran tidak masuk dalam *window* maka algoritma anti-trigger digunakan. Algoritma anti-trigger berdasar pada perbandingan *Short Term Average* (STA) / *Long Term Average* (LTA) dengan perbandingan 1/30 [11]. Setelah digunakan algoritma anti-

triger maka sinyal yang masuk ke dalam *window* adalah sinyal mikrotremor yang digunakan dalam analisis HVSR dan telah terbebas dari *noise*. Sinyal mikrotremor pada masing - masing *window* kemudian dilakukan perhitungan Transformasi *Fourier* dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) yang berguna untuk mengubah sinyal dalam domain waktu ke domain frekuensi [12]. Hasil dari FFT kemudian dilakukan *smoothing* menggunakan filter *smoothing* Konno dan Ohmachi dengan konstanta 40. Hasil yang didapat Adalah kurva H/V yang menggambarkan karakteristik dinamis tanah [8].



Gambar 1. Peta distribusi titik pengukuran data mikrotremor ITERA

Hasil dari analisis HVSR berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan indeks kerentanan seismik (K_g). Indeks kerentanan seismik dapat dihitung dengan persamaan [13] yaitu :

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

Dimana

K_g = Indeks kerentanan seismik

A_0 = faktor amplifikasi tanah

f_0 = frekuensi dominan tanah (Hz).

HASIL DAN PEMBAHASAN

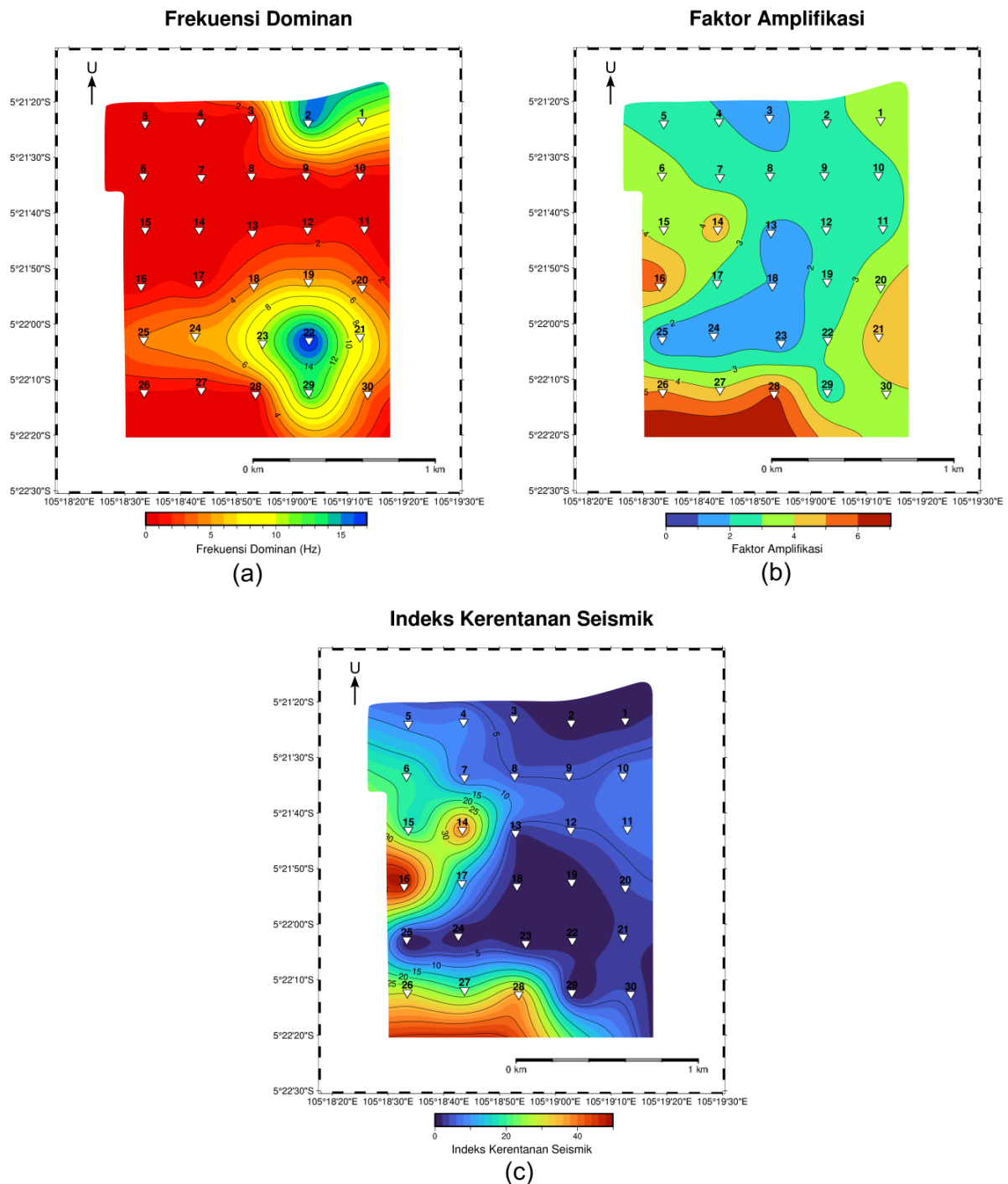
Hasil dari pengolahan metode HVSR didapat nilai frekuensi dominan dengan rentang 0,52 hingga 17 Hz. Distribusi frekuensi dominan tersebut dapat dilihat pada (Gambar 2(a)). Area barat-laut dan tengah memiliki nilai frekuensi dominan yang paling rendah di kawasan ITERA yang ditandai dengan area yang berwarna merah dengan frekuensi dominan kurang dari 2 Hz. Frekuensi dominan yang relatif tinggi di kawasan ITERA berada di timur-laut dan tenggara yang memiliki nilai 7 – 17 Hz.

Frekuensi dominan dipengaruhi oleh kecepatan rambat gelombang seismik dan ketebalan lapisan sedimen. Nilai frekuensi dominan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan rambat gelombang seismik, dan menurun jika ketebalan sedimen bertambah. Gelombang seismik merambat lebih lambat pada medium lunak dan lebih cepat pada medium keras. Nilai frekuensi dominan rendah berkaitan dengan sedimen tebal dan batuan lunak, sedangkan frekuensi dominan tinggi berkaitan dengan sedimen tipis dan batuan keras [14]. Nilai frekuensi dominan yang bervariasi di area ITERA menandakan bahwa terdapat variasi ketebalan sedimen dan kekerasan batuan.

Frekuensi dominan pada bagian barat laut dan tengah menunjukkan nilai yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan wilayah lainnya. Kondisi ini mengindikasikan keberadaan sedimen tufa yang lunak dan berlapis tebal di area tersebut. Sebaliknya, frekuensi dominan yang relatif tinggi pada kawasan timur laut dan tenggara merefleksikan sedimen tufa yang lebih tipis dan kompak. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya [5], wilayah barat laut konsisten memperlihatkan nilai frekuensi dominan yang relatif rendah, meskipun terdapat sedikit perbedaan pada bagian timur laut. Penelitian ini memperlihatkan bahwa frekuensi dominan di timur laut memiliki nilai 7–17 Hz, sedangkan dalam penelitian sebelumnya 7,5–8,5 Hz [5]. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa data terbaru memiliki tingkat resolusi yang lebih tinggi sehingga mampu menggambarkan variasi sedimen dengan lebih detail dan kompleks.

Distribusi faktor amplifikasi di kawasan ITERA berkisar antara 1 hingga 7 (Gambar 2(b)). Bagian tengah dan utara menunjukkan nilai relatif rendah, yaitu 1–4, sedangkan pada bagian selatan nilai faktor amplifikasi lebih tinggi, mencapai lebih dari 4 hingga 7. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya [5], sekaligus memberikan detail spasial yang lebih baik terutama pada area selatan yang memiliki faktor amplifikasi relatif tinggi.

Faktor amplifikasi merepresentasikan puncak tertinggi kurva H/V yang mencerminkan rasio impedansi antara lapisan *bedrock* dan permukaan dan pembesaran gelombang di permukaan terhadap *bedrock* [15]. Berdasarkan hasil analisis, area tengah ITERA memiliki rasio impedansi *bedrock* terhadap permukaan yang relatif rendah dibandingkan dengan bagian barat, timur, dan selatan.



Gambar 2. (a) Peta distribusi nilai frekuensi dominan, (b) Peta distribusi nilai faktor amplifikasi, dan (c) Peta distribusi indeks kerentanan seismik

Indeks kerentanan seismik merupakan parameter yang digunakan untuk melakukan estimasi potensi kerusakan akibat gempa bumi [15]. Hasil penelitian ini

menunjukkan bahwa nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,2 hingga 40 (Gambar 2(c)). Area barat daya dan selatan memiliki nilai indeks kerentanan seismik relatif tinggi, yaitu 20–40, dibandingkan dengan area lain. Sebaliknya, area tengah menunjukkan nilai indeks kerentanan seismik yang paling rendah, yakni kurang dari 10. Dengan demikian, wilayah barat daya dan selatan diperkirakan memiliki potensi kerusakan akibat gempa bumi yang lebih besar dibandingkan area sekitarnya, sedangkan area tengah memiliki potensi kerusakan yang paling rendah. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya [15] yang menyatakan bahwa area tengah ITERA relatif lebih stabil, serta memberikan detail tambahan mengenai konsentrasi nilai indeks kerentanan tinggi yang berada di barat daya dan selatan.

Hasil analisis HVSR di kawasan ITERA menunjukkan karakteristik tanah yang bervariasi merefleksikan kondisi geologi bawah permukaan. Berdasarkan frekuensi dominan, area barat laut dan tengah didominasi oleh sedimen tufa lunak dan tebal dengan nilai rendah, sedangkan area timur laut dan tenggara mengindikasikan lapisan sedimen tipis dan batuan yang lebih kompak. Penelitian ini relatif konsisten dengan penelitian sebelumnya [5], namun data terbaru memberikan resolusi lebih tinggi, khususnya di timur laut yang menunjukkan variasi frekuensi dominan lebih luas. Distribusi faktor amplifikasi memperlihatkan bagian tengah dan utara memiliki nilai rendah, sedangkan bagian selatan lebih tinggi, menandakan perbedaan rasio impedansi *bedrock* dan lapisan permukaan di Selatan lebih tinggi daripada di bagian tengah dan utara. Hal ini berkorelasi dengan sebaran indeks kerentanan seismik (0,2 - 40), dimana bagian barat daya dan selatan memiliki nilai tinggi (20 - 40) sehingga berpotensi lebih rentan terhadap kerusakan gempa, sementara area tengah lebih stabil dengan nilai rendah (<10). Secara keseluruhan, hasil penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi temuan penelitian sebelumnya [5], tetapi juga menambahkan detail spasial yang lebih kaya mengenai variasi ketebalan sedimen, perbedaan impedansi, dan distribusi kerentanan, sehingga memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang potensi bahaya seismik di kawasan ITERA.

KESIMPULAN

Penelitian menunjukkan area barat laut dan tengah didominasi oleh sedimen tufa lunak dan tebal dengan nilai rendah, sedangkan area timur laut dan tenggara mengindikasikan lapisan sedimen tipis dan batuan yang lebih kompak berdasarkan frekuensi dominan. Faktor amplifikasi menunjukkan bagian tengah dan utara memiliki nilai rendah, sedangkan bagian selatan lebih tinggi menunjukkan kontras impedansi yang relative lebih besar. Sebaran indeks kerentanan seismik (0,2 - 40), di bagian barat daya dan selatan memiliki nilai tinggi (20 - 40) sehingga berpotensi lebih rentan terhadap kerusakan gempa, sementara area tengah lebih stabil dengan nilai rendah (<10). Penelitian ini menguatkan penelitian sebelumnya [5] dan memberikan detail resolusi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. , Haridhi, B.-S. Huang, K.-L. Wen, D. Denzema, R. A. Prasetyo, and C.-S. Lee, "A study of large earthquake sequences in the Sumatra subduction zone and its possible implications," *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, vol. 29, pp. 635–652, 2018.
- [2] Elin, "Ketua MPR Dorong Percepatan Pembangunan Kampus Itera,"

- <https://www.itera.ac.id/ketua-mpr-dorong-percepatan-pembangunan-kampus-itera/>.
- [3] Y. Nakamura, "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface," *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, vol. 30, no. 1, 1989.
 - [4] P.-Y. Bard, *Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?*, vol. 3. 1998.
 - [5] M. R. P. Sudibyo, E. I. Fattah, C. Suhendi, and R. Rizki, "Horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise vibrations for local site effects estimation in ITERA," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, May 2019. doi: 10.1088/1755-1315/258/1/012041.
 - [6] ITERA, *Rencana Strategis ITERA 2019-2024*. Lampung Selatan: ITERA, 2019.
 - [7] H. Phan, P. Guéguen, and P. Y. Bard, "Building-site interaction and its implications for urban seismic risk," *Res Sq*, 2025.
 - [8] Y. Nakamura, "Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications," *Proceedings of the XII World Conference Earthquake Engineering*, vol. Paper no 2656, Jan. 2000.
 - [9] S. Molnar *et al.*, "A review of the microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (MHVSR) method," *J Seismol*, vol. 26, no. 4, pp. 653–685, 2022, doi: 10.1007/s10950-021-10062-9.
 - [10] SESAME, *Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations: Measurements, Processing and Interpretation*. SESAME European Research Project WP12, 2004.
 - [11] F. Grajales-Saavedra *et al.*, "Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios and Refraction Microtremor Analyses for Seismic Site Effects and Soil Classification in the City of David, Western Panama," *Geosciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 10, Oct. 2023, doi: 10.3390/geosciences13100287.
 - [12] M. Neukirch, A. García-Jerez, A. Villaseñor, F. Luzón, M. Ruiz, and L. Molina, "Horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient vibration obtained with hilbert-huang transform," *Sensors*, vol. 21, no. 9, May 2021, doi: 10.3390/s21093292.
 - [13] Y. Nakamura, "ON THE H/V SPECTRUM."
 - [14] N. Sitorus, S. Purwanto, and W. Utama, "Analisis Nilai Frekuensi ... ANALISIS NILAI FREKUENSI NATURAL DAN AMPLIFIKASI DESA OLAK ALEN BLITAR MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR HVSR."
 - [15] Y. Nakamura, "What is the Nakamura method?," Jul. 01, 2019, *Seismological Society of America*. doi: 10.1785/0220180376.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN