

Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum di Kota Padang Menggunakan Metode Mikrotremor

Vannessa Illona Giovanni¹, Dwi Pujiastuti^{1*}, Ahmad Fauzi Pohan²

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 11 Oktober 2024
Direvisi: 23 November 2024
Diterima: 2 Januari 2025

Kata kunci:

Amplifikasi
Frekuensi
HVSRR
Mikrotremor
PGA

Keywords:

Amplification
Frequency
HVSRR
Microtremor
PGA

Penulis Korespondensi:

Dwi Pujiastuti
Email:
dwipujiastuti@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Kota Padang berada ditepi pantai dan dekat dengan zona subduksi membuatnya sangat rentan terhadap dampak gempa, oleh karena itu upaya mitigasi terhadap potensi bencana sangat penting untuk mengurangi resiko kejadian tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk memetakan percepatan tanah dengan menggunakan metode mikrotremor sebagai salah satu upaya dalam mitigasi bencana gempa bumi. Perhitungan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) menggunakan data frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0) dan kerentanan tanah (k_g) sebagai data masukan yang diperoleh dari analisis data mikrotremor dengan menggunakan metode *Horizontal to vertical spectral ratio* (HVSRR). Data mikrotremor yang diolah sebanyak 33 titik pengukuran pada 11 kecamatan di Kota Padang dengan jarak antara titik 1-5 km. Nilai frekuensi dominan, amplifikasi, kerentanan dan percepatan tanah maksimum kemudian hasilnya dipetakan ntuk mengetahui daerah yang rawan akan bencana gempa bumi. Daerah Kota Padang dengan tingkat kerawanan yang tinggi dapat dilihat pada Kecamatan Bungus Teluk Kabung dan Kecamatan Padang Barat.

The position of Padang City on the coast and close to the subduction zone makes it very vulnerable to the impact of earthquakes, therefore mitigation efforts against potential disasters are very important to reduce the risk of such events. This study was conducted to map ground acceleration using the microtremor method as one of the efforts in earthquake disaster mitigation. The calculation of the maximum ground acceleration (PGA) value uses dominant frequency data (f_0), amplification factor (A_0) and soil vulnerability (k_g) as input data obtained from microtremor data analysis using the Horizontal to vertical spectral ratio (HVSRR) method. The microtremor data processed were 33 measurement points in 11 sub-districts in Padang City with a distance between points of 1-5 km. The dominant frequency, amplification, vulnerability and maximum ground acceleration values were then mapped to determine areas prone to earthquake disasters. Areas of Padang City with a high level of vulnerability can be seen in Bungus Teluk Kabung District and Padang Barat District.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Secara geografis Indonesia memiliki potensi besar sebagai negara yang sering mengalami gempa bumi. Indonesia merupakan pertemuan antara tiga lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Dinamika lempeng tersebut membentuk patahan besar yang aktif dapat menjadi pemicu terjadinya bencana alam seperti gempa bumi (Rahmaningtyas, 2017). Salah satu patahan besar yang terkenal yaitu Patahan Sumatera atau Patahan Semangko yang membentang dari ujung barat sampai ujung timur Pulau Sumatera. Interaksi ketiga lempeng tersebut yang terus menerus berlangsung dapat membentuk patahan baru lainnya.

Kota Padang merupakan ibu kota Provinsi Sumatera Barat, juga terletak di daerah ini. Kota ini menjadi salah satu daerah dengan tingkat ancaman bencana alam yang cukup besar, terutama gempa bumi dan tsunami. Posisi Kota Padang yang berada di tepi pantai dan dekat dengan zona subduksi membuatnya sangat rentan terhadap dampak gempa dan tsunami. Oleh karena itu, upaya mitigasi bencana dan kesadaran masyarakat terhadap potensi bencana sangat penting untuk mengurangi risiko dan dampak dari kejadian-kejadian alam tersebut (Taruna dan Setiadi, 2020). Oleh karena itu mitigasi untuk meminimalisir dampak dan kerugian akibat gempa bumi, salah satunya yaitu dengan memetakan daerah-daerah dengan potensi efek gempa bumi yang sangat merusak berdasarkan distribusi nilai percepatan tanah maksimum (Pasau dan Tanauma, 2015).

Percepatan tanah merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan besar kecilnya kerusakan sebagai akibat dari adanya gempa bumi (Edwiza dan Novita, 2008). Ada dua jenis percepatan tanah dalam gempa bumi yaitu percepatan tanah sesaat dan percepatan tanah maksimum. Percepatan sesaat mengacu pada laju perubahan kecepatan suatu momen tertentu dalam waktu sedangkan percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA) yaitu nilai terbesar percepatan tanah pada suatu tempat diakibatkan oleh gempa bumi dalam periode waktu tertentu. Estimasi percepatan tanah bisa dilakukan dengan perhitungan secara empiris, dengan beberapa parameter yang digunakan seperti periode dominan tanah (s) yang dihitung berdasarkan spektrum rasio horizontal terhadap vertikal (H/V), frekuensi dominan tanah (f_0), dicari dengan mencari nilai frekuensi dominannya terlebih dahulu, dan amplifikasi (A_0). Semakin tinggi nilai PGA yang terjadi di suatu tempat, maka semakin tinggi pula bahaya dan resiko gempa, tetapi metode empiris memiliki kekurangan berupa data yang digunakan bergantung pada pendekatan statistik atau umum, sedangkan metode mikrotremor dapat memberikan detail spectral yang lebih baik tentang karakteristik gelombang seismik dan pengukuran yang dapat dilakukan langsung di atas tanah tanpa perlu melakukan pengeboran atau pengalihan.

Metode geofisika yang digunakan untuk analisis percepatan tanah ini adalah dengan menggunakan metode mikrotremor yang merupakan vibrasi atau suatu getaran tanah yang disebabkan oleh sumber alam yang berperiode panjang ataupun gangguan buatan seperti aktivitas lalu lintas, mesin pabrik dan sebagainya. Teknik yang digunakan yaitu metode *horizontal to vertical spectral ratio* (HVSr) karena memiliki kelebihan yang dapat menghilangkan efek sumber dan tidak bergantung terhadap ketersediaan *hard rock site* (Kumar dkk., 2021). Investigasi mikrotremor terbukti efektif untuk mengetahui struktur geologi yang kompleks. Pengamatan mikrotremor juga dapat digunakan untuk menentukan ketebalan dari lapisan sedimen tanah (Syahputri dan Sismanto, 2020).

Teknik HVSr digunakan untuk memperkirakan nilai frekuensi faktor alam dan penguat lapisan sedimen. HVSr ini menggunakan getaran yang disebabkan oleh harmoni alami tanah, aktivitas alam dengan rasio spektral komponen horizontal sinyal mikrotremor terhadap komponen vertikalnya (Tanjung dkk., 2019). Pada metode HVSr dapat diketahui dua besaran fisis, yaitu nilai amplifikasi dan frekuensi dominan. Nilai frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga ditetapkan sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di suatu wilayah. Nilai frekuensi dominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan suatu wilayah (Iswanto dkk., 2019). Amplifikasi adalah perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan (Sitorus dkk., 2017).

II. METODE

2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini dilaksanakan pada 04 Juli-3 Agustus 2023. Pengambilan data dilakukan pada 11 kecamatan yang tersebar di Kota Padang sebanyak 33 titik, dengan 3 titik pengukuran setiap kecamatan. Pengukuran dilakukan dengan frekuensi *sampling* sebesar 320 Hz dengan waktu pengambilan data rata-rata 45-60 menit. Sinyal yang ditangkap oleh *geophone* secara otomatis tersimpan dalam *data logger* yang terekam dalam 3 komponen, yaitu komponen vertikal (*up-down*), komponen horizontal (*north-south*), dan komponen horizontal (*east-west*). Setelah pengukuran selesai, data yang tersimpan dalam *data logger* kemudian diunduh dalam laptop dan disimpan.

2.2 Pengolahan Data

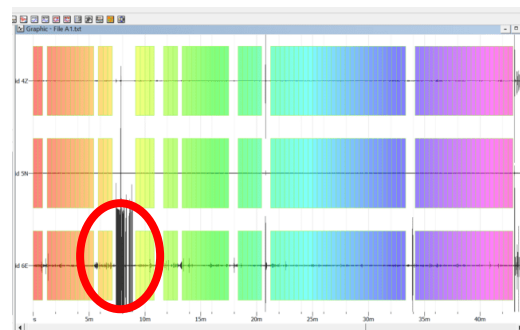
Pengolahan data yang dilakukan secara umum mencakup beberapa tahap yaitu pembacaan data, *windowing*, *smoothing*, transformasi Fourier, kurva HVSR, setelah didapatkan nilai frekuensi dan amplifikasinya dari kurva HVSR maka kita dapat melakukan pengolahan untuk mendapatkan nilai percepatan tanah maksimum.

2.2.1 Pembacaan dan Perubahan Format Data

Data yang telah diukur menggunakan *geophone* tersimpan dengan format .csv pada laptop. Data yang telah dibaca harus dirubah atau disesuaikan format dengan pembacaan pada aplikasi *geopsy*. Data yang telah disimpan tadi dibaca dengan bantuan MS.Exel untuk mengatur dan menyesuaikan data yang diperlukan. Setelah itu digunakan notepad untuk menganbungkan data yang telah dipisahkan oleh Ms. Exel untuk kemudian disimpan, dalam format .txt, sehingga dapat dibaca oleh *geopsy*.

2.2.2 Windowing

Tahapan selanjutnya melakukan *windowing* (pembagian gelombang dalam *window* yang lebih kecil) pada hasil rekaman pengukuran mikrotremor. Tujuan dilakukannya *windowing* adalah untuk menghapus sinyal gangguan (*noise*) yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Gambar 2. Yang ditandai dengan lingkaran merah menjelaskan bahwa adanya *noise* yang besar, sehingga perlu dilakukan penghapusan sinyal untuk memperoleh nilai sinyal yang baik.



Gambar 2 Proses *windowing* dan penghapusan *noise*

2.2.3 Smoothing

Smoothing bertujuan untuk mencegah spektrum dengan nilai frekuensi H/V menjadi tak terbatas. Metode *smoothing* yang digunakan pada *geopsy* yaitu metode Konno-Ohmachi dengan faktor *bandwidth* sebesar 40 dan *cosine taper* sebesar 5%. Setelah itu memilih *squared average* untuk menghitung komponen horizontal.

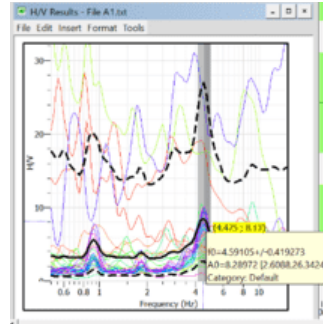
2.2.4 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier digunakan untuk memproses data .txt yang dimasukkan. Program telah tertanam pada aplikasi *geopsy* untuk membantu proses transformasi dari domain waktu ke domain frekuensi sehingga diperoleh spektrum frekuensi dari masing-masing nilai.

2.2.5 Pembentukan Spektrum H/V

Kurva HVSR atau spektrum H/V yang menunjukkan nilai frekuensi dominan pada sumbu x dan faktor amplifikasi ada sumbu y (H/V) pada setiap titik pengukuran. Kurva HVSR yang terbentuk dari hasil *windowing* ditampilkan dengan warna. Garis berwarna pada grafik menunjukkan nilai frekuensi

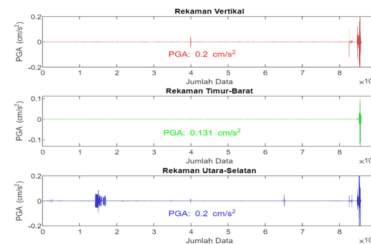
spektrum yang dipilih saat proses *windowing* aris hitam tebal menunjukkan nilai rata-rata frekuensi yang dihasilkan, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan nilai standar deviasi frekuensi yang dihasilkan seperti yang terlihat pada Gambar 4, dari kurva HVSR yang diperoleh melalui aplikasi *geopsy* maka dapat diperoleh nilai frekuensi dan amplifikasi, nilai frekuensi dan amplifikasi yang diperoleh dilihat melalui nilai yang diperoleh dari kurva dengan nilai tertinggi.



Gambar 4-Kurva HVSR

2.2.6 Percepatan Tanah Maksimum

Setelah didapatkan nilai frekuensi dan amplifikasi dari kurva HVSR selanjutnya dilakukan perhitungan nilai PGA dengan menggunakan persamaan transformasi fourier yang telah di-*input*-kan didalam matlab. Data yang telah didapat akan menghasilkan nilai PGA. Hasil dari perhitungan matlab ditampilkan dalam bentuk grafik dan nilai angka seperti yang terlihat pada Gambar 5

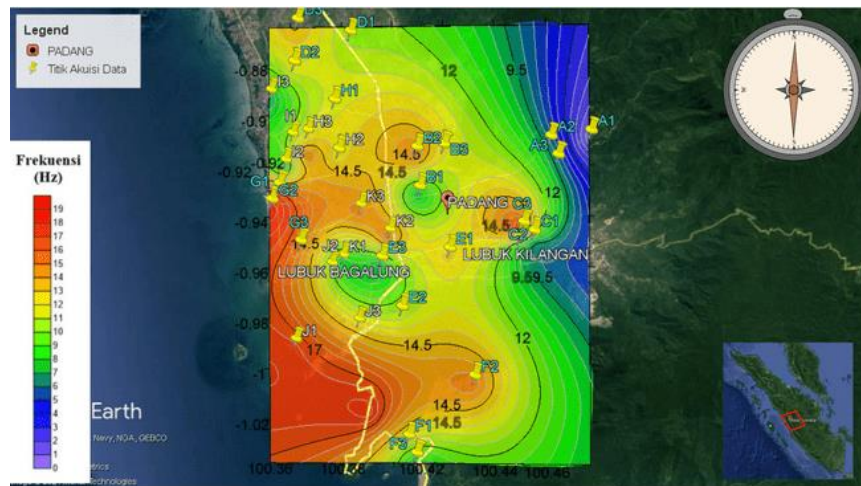


Gambar 5 Nilai percepatan tanah maksimum

III. HASIL DAN DISKUSI

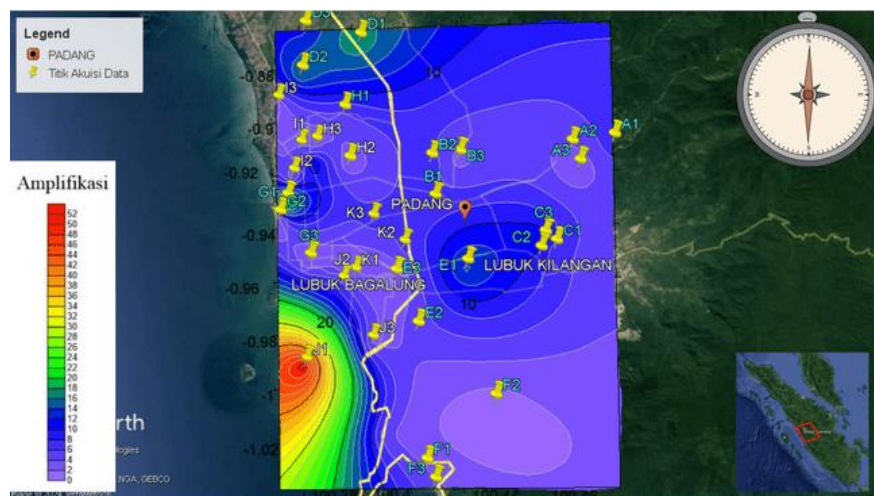
3.1 Frekuensi Dominan f_0 dan Amplifikasi A_0

Nilai frekuensi dominan dan amplifikasi mencerminkan karakteristik bawah permukaan daerah penelitian. Pada daerah penelitian, nilai frekuensi dominan yang didapatkan berkisar antara 0,015-18,959 Hz, hasil ini ditampilkan pada Gambar 6. Nilai frekuensi dominan yang tergolong cukup tinggi terlihat di beberapa titik di Kota Padang. Seperti pada titik F kecamatan Bungus Teluk Kabung dan titik J kecamatan Padang Selatan dengan rentang nilai 15,650-17,700 Hz. Nilai frekuensi dominan tertinggi 18,959 Hz berada pada titik G di kecamatan Padang Barat, sedangkan untuk nilai frekuensi dominan rendah yaitu sekitar 0,015-4,591 Hz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 yang ditandai dengan warna ungu.



Gambar 6 Peta Frekuensi Dominan (f_0) di Kota Padang

Gambar 7 menunjukkan nilai amplifikasi yang bervariasi antara 1,05 hingga 51,63. Nilai amplifikasi tertinggi berada di Kecamatan Padang Selatan, sebesar 51,63. Nilai amplifikasi terendah sebesar 1,05 di kecamatan Pauh. Amplifikasi ini mempengaruhi penguatan gelombang saat melewati suatu medium, di mana semakin tinggi nilai amplifikasi, semakin besar pula potensi kerusakan saat gempa terjadi. Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan hubungan antara frekuensi dominan dan amplifikasi pada setiap titik sebaran sangat acak. Ketika frekuensi dominan rendah, nilai amplifikasi bisa rendah atau tinggi, begitu pula sebaliknya. Ketidakterkaitan ini terjadi karena ketebalan sedimen tidak memengaruhi amplifikasi, sementara frekuensi dominan sangat dipengaruhi oleh ketebalan sedimen.

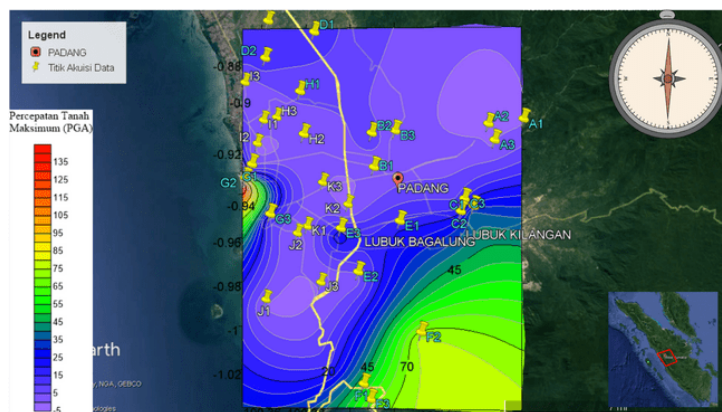


Gambar 7 Peta Amplifikasi (A_0) di Kota Padang

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Iswanto dkk., 2019) dan berdasarkan teori tentang Amplifikasi tanah kota Padang. Kecamatan Padang Selatan memiliki nilai amplifikasi sangat tinggi (zona 4), dengan nilai lebih dari 9, sementara kecamatan lain berada di zona 1 dan 2, yang mencerminkan amplifikasi rendah hingga sedang. Berdasarkan klasifikasi tanah, seluruh area penelitian tergolong jenis tanah IV yang terdiri dari batuan tersier atau lebih tua. Meski tanah di lokasi penelitian termasuk jenis yang sama, nilai frekuensi dan amplifikasinya bervariasi. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kepadatan tanah, kandungan air, ketebalan lapisan, serta struktur geologi di bawahnya. Tanah yang lebih padat atau tebal umumnya memiliki frekuensi lebih rendah, sementara kandungan air yang tinggi menambah massa dan menurunkan frekuensi resonansi. Topografi dan kemampuan tanah menyerap getaran (*damping*) juga mempengaruhi besarnya amplifikasi. Hal ini sesuai dengan peta geologi Kota Padang, yang menunjukkan wilayah tersebut didominasi batuan tersier dan aluvial, termasuk batuan pasir berkerikil (*hard sandy gravel*).

3.2 Peak Ground Acceleration (PGA)

Nilai PGA di Kota Padang terlihat pada Gambar 8, nilai PGA tertinggi berada di kecamatan Bungus Teluk Kabung dan Padang Barat dengan nilai sebesar 85 hingga 141,3 cm/s² di titik F dan G, dan nilai terendah sebesar 0,000136 cm/s² yang terletak pada J, dengan perhitungan PVS (*peak vector sum*). PVS adalah kuadrat dari resultan tiga komponen perhitungan (vertikal, horizontal Utara-Selatan, dan horizontal Timur-Barat).



Gambar 8 Peta Percepatan Tanah Maksimum di Kota Padang

Berdasarkan pemetaan persebaran nilai frekuensi f_0 , amplifikasi A_0 dan nilai percepatan tanah maksimum PGA nilai frekuensi yang rendah umumnya menunjukkan resonansi bangunan yang tinggi sehingga berisiko terhadap kerusakan akibat gempa besar, dan nilai PGA yang semakin besar meningkatkan risiko kerusakan struktural akibat gempa. Kota Padang, dapat terlihat bahwa daerah yang memiliki risiko besar saat terjadi gempa bumi. Daerah dengan risiko gempa bumi yaitu bagian timur Kecamatan Padang Barat, dan bagian selatan Kecamatan Bungus Teluk Kabung. Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, daerah tersebut jika terjadi gempa maka akan terasa cukup kuat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh, frekuensi dominan di Kota Padang berkisar antara 0,015-18,959 Hz. Nilai frekuensi tinggi, antara 18,38-18,95 Hz, tersebar di Kecamatan Bungus Teluk Kabung dan Padang Barat. Nilai amplifikasi A_0 berada pada rentang 1,06 hingga 51,63, dimana amplifikasi tertinggi di Kecamatan Padang Selatan 51,63 dan terendah di Kecamatan Pauh 1,05. Nilai Percepatan tanah maksimum (PGA) yang terukur berkisar antara 0,000136-141,3 cm/s², dengan nilai tertinggi 85-141,3 cm/s² di Kecamatan Padang Barat dan Bungus Teluk Kabung, serta nilai terendah 0,000136 cm/s². Nilai hasil keseluruhan untuk semua parameter disimpulkan bahwa Kota Padang termasuk wilayah rawan gempa, kecuali pada beberapa daerah yang memiliki nilai PGA yang cukup rendah, dengan Kecamatan Padang Barat dan Bungus Teluk Kabung sebagai daerah paling rawan. Hal ini juga dipengaruhi oleh factor geologis, dimana Kota Padang termasuk pada zona subduksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak Belmawa yang sudah mendanai penelitian sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini sampai akhir, dan terima kasih untuk semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Edwiza, D., & Novita, S. (2008). Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai. *Jurnal Teknik Unand*, 2(29), 111–118.
- Iswanto, Eko Rudi Studi Mikrotremor dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) di Tapak RDE, Serpong Microtremor Study using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) Method in RDE Site, S., Indrawati, Y., & Riyanto, T. A. (2019). Studi Mikrotremor dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) di Tapak RDE, Serpong Microtremor

- Study using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) Method in RDE Site, Serpong. *Eksplorium: Buletin Pusat Pengembangan Bahan Galian Nuklir*, 40, 105–114.
- Iswanto, E. R., Indrawati, Y., & Riyanto, T. A. (2019). Studi Mikrotremor dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) di Tapak RDE, Serpong. *Eksplorium: Buletin Pusat Pengembangan Bahan Galian Nuklir*, 40, 105–114.
- Kumar, S., Singh, P., Sushil, R., Singh, P., & Tiwari, A. (2021). Microtremor measurement to evaluate site characteristics by horizontal to vertical spectral ratio technique in Sikkim, Northeast Himalayas, India. *Quaternary International*, 585, 134–142.
- Pasau, G., & Tanauma, A. (2015). Analisis Resiko Gempa Bumi Wilayah Lengan Utara Sulawesi Menggunakan Data Hiposenter Resolusi Tinggi Sebagai Upaya Mitigasi Bencana. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(3), 6–10.
- Rahmaningtyas, A. P. (2017). Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) DAN Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor di Jalur Sesar Kendeng. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Setiawati, Y., Wibowo, N. B., & Darmawan, D. (2017). Analisis Gss (Ground Shear Strain) Dengan Metode Hvsr Menggunakan Data Mikroseismik Pada Jalur Sesaropak Analysis Of Gss (Ground Shear Strain) Using Hvsr Method From Microseismic Data On Opak Faultlines. *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya*, 6(2), 132–137.
- Sitorus, N., Purwanto, S., & Utama, W. (2017). Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSr. *Jurnal Geosaintek*, 3(2), 89–92.
- Syahputri, A., & Sismanto, S. (2020). Identifikasi Potensi Tanah Longsor Menggunakan Metode Mikrotremor Di Dusun Tegalsari Desa Ngargosari Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo. *Jurnal Fisika Indonesia*, 24(2), 66–71.
- Tanjung, N. A. F., Yuniarto, H. P., & Widyawarman, D. (2019). Analisis Amplifikasi dan Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan FMIPA UGM Menggunakan Metode HVSr. *Jurnal Geosaintek*, 5(2), 61–68.
- Taruna, R. M., & Setiadi, T. A. P. (2020). Penentuan Rumus Percepatan Tanah Akibat Gempabumi Di Kota Mataram Menggunakan Metode Euclidean Distance. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 9(1), 20–29.