

Interpretasi Data Mikrotremor Melalui Analisis Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) untuk Mikrozonasi Bahaya Gempa Seismik di Kota Baubau

Interpretation of Microtremor Data Through Analysis Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) for Microzonation of Seismic Earthquake Hazards in Baubau City

Rudin^{1,2*} Jamhir Safani¹

¹BMKG Stasiun Geofisika; Jl. R. E. Martadinata, Purirano; Kota Kendari

²Jurusan Teknik Geofisika Universitas Halu Oleo; Kampus Hijau Bumi Tridharma; Kota Kendari

Article history:

Received: 22 July 2024

Accepted: 27 August 2024

Keywords:

Seismic vulnerability index; Seismic vulnerability index; Microzonation; HVSR.

Correspondent author:

rudin.ahmg@gmail.com

Abstrak. Telah dilakukan penelitian mikrozonasi bahaya seismik di Kota Baubau menggunakan data mikrotremor. Tujuan penelitian ini untuk menentukan indeks kerentanan seismik berdasarkan analisis *horizontal to vertical spectral ratio* (HVSR) dan membuat peta mikrozonasi frekuensi dominan (F_0), peta periode dominan (T_0), peta faktor amplifikasi (A_0), dan peta indeks kerentanan seismik (K_g) dari data mikrotremor yang dapat menggambarkan tingkat kerentanan suatu daerah terhadap bahaya seismik. Pengukuran mikrotremor telah dilakukan dengan menggunakan *portable seismograph* tiga komponen (TDS. 303), data tersebut di analisis dengan *software gepsy* melalui metode HVSR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran nilai frekuensi dominan (F_0), berkisar antara 0,4795 Hz sampai 16,6383 Hz, nilai periode dominan (T_0), berkisar antara 0,0601 sekon sampai 2,0854 sekon, nilai faktor amplifikasi (A_0), berkisar antara 1,2285 sampai 4,9043, dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) berkisar antara 0,1043 sampai 11,0276. Nilai (F_0), (T_0), (A_0), dan (K_g) diinterpretasikan dengan mengacu pada data literatur dan peta geologi permukaan daerah penelitian. Hasilnya menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki sebagian kecil lapisan sedimen yang rentan terhadap bahaya seismik.

Abstract. Research has been carried out on seismic hazard microzonation in the city of Bau – bau using microtremor data. The aim of this research is to determine the seismic vulnerability index based on horizontal to vertical spectral ratio (HVSR) analysis and

create a dominant frequency microzonation map (F_0), dominant period map (T_0), amplification factor map (A_0), and seismic vulnerability index map (K_g) from microtremor data which can describe the level of vulnerability of an area to seismic hazards. Microtremor measurements were carried out using a portable three-component seismograph (TDS. 303), the data was analyzed with gepsy software via the HVSR method. The research results show that the distribution of dominant frequency values (F_0), ranges from 0.4795 Hz to 16.6383 Hz, dominant period values (T_0), ranges from 0.0601 seconds to 2.0854 seconds, amplification factor values (A_0), ranges from 1.2285 to 4.9043, and the seismic vulnerability index (K_g) value ranges from 0.1043 to 11.0276. The values (F_0), (T_0), (A_0), and (K_g) are interpreted by referring to literature data and surface geological maps of the research area. The results show that the study area has a small portion of sediment layers that are vulnerable to seismic hazards.

© 2024 JRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

1. PENDAHULUAN

Kondisi Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yang besar dan saling bergerak serta bertumbukan satu sama lain. Lempeng – lempeng tersebut adalah lempeng Indo-Australia yang bergerak ke Utara menunjam di bawah lempeng Eurasia dengan kecepatan tujuh cm pertahun, lempeng Pasifik yang bergerak ke Barat dengan kecepatan berkisar 11 cm per tahun, dan lempeng Eurasia yang cenderung diam (Ibrahim & Subarjo, 2005). Interaksi ketiga lempeng tersebut menyebabkan Indonesia memiliki jalur sesar- sesar yang aktif.

Sejarah kegempaan di pulau Buton dan pulau Muna dalam kurun waktu 10 tahun terakhir mengalami peningkatan ditandai dengan terjadinya beberapa gempabumi dirasakan dengan magnitudo bervariasi antara M 3.0 sampai M 4.6 yang diakibatkan oleh

aktivitas sesar buton A dan sesar buton B serta beberapa sesar lokal yang belum teridentifikasi oleh badan geologi. Sejak tahun 2013 kota Baubau dan sekitarnya sudah enam kali terjadi gempabumi dirasakan antara lain;

1. Tanggal 14 Oktober 2013 pukul 09:22:14.0 koordinat -5.66 LS 122.53 BT kedalaman 10 km magnitudo 4.6 lokasi 32.7 km Barat daya Baubau, dirasakan IV-V MMI di Kota Baubau.
2. Tanggal 17 Februari 2016 pukul 00:12:59.1 koordinat -5.66 LS 122.63 BT kedalaman 16 km magnitudo 3.8 lokasi 5.42 km Timur laut Baubau dirasakan II – III MMI di Kota Baubau.
3. Tanggal 08 Oktober 2016 pukul 18:16:05.1 koordinat -5.47 LS 122. 49 BT kedalaman 33 km magnitudo 3.4 lokasi 23.4 km Barat daya Baubau dirasakan II SIG di Baubau dan Tolandona.

4. Tanggal 20 Agustus 2017 pukul 12:10:38.0 koordinat -5.64 LS 122.66 BT kedalaman 5 km magnitudo 3.4 lokasi 5 km Tenggara Batauga Busel dirasakan II SIG di Batauga.
5. Tanggal 29 November 2022 pukul 11:18:17.0 koordinat -5.33 LS 122.63 BT kedalaman 6 km magnitudo 3.0 lokasi 3.8 km Timur laut Sangia Wambulu, Buton dirasakan II-III MMI di Buton Tengah.
6. Tanggal 08 Oktober 2023 pukul 06:10:53.0 koordinat -5.77 LS 122.82 BT kedalaman 7 km magnitudo 3.0 lokasi 12.9 km Tenggara Lapandewa, Busel disarakan III MMI di Buton Selatan.

Keenam Kejadian gempabumi ini merupakan gempabumi dangkal kerana kedalaman gempabumi tersebut berada pada jarak antara 0 – 33 km di bawah permukaan bumi (BMKG 2023). Untuk memperkecil dampak negatif dari kejadian gempabumi di suatu wilayah seperti kerusakan bangunan, kerugian harta, serta korban jiwa dan sebagainya, maka perlu dilakukan upaya mitigasi dimana salah satunya dapat dilakukan dengan mengetahui sebaran indeks kerentanan seismik di wilayah tersebut.

Terdapat beberapa metode geofisika yang dapat digunakan untuk menganalisis bahaya gempabumi. Salah satunya adalah metode HVSR (Arifudin, 2018). Dengan memanfaatkan metode HVSR ini, data mikrotremor dapat diinterpretasi untuk menentukan mikrozonasi bahaya gempabumi pada suatu wilayah (Iswanto, dkk, 2021). Dari peta tersebut dapat diketahui zona sangat rawan sampai pada zona yang relatif aman terhadap bahaya gempa seismik. Analisis mikrotremor untuk mengetahui indeks

kerentanan seismik dapat dilakukan melalui penerapan metode *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVSR). Selain HVSR, data mikrotremor dapat dianalisis dengan menggunakan metode *Multi-channel Analysis of Surface Waves* (MASW), namun peralatan tersebut belum tersedia di kota Kendari, sehingga penulis tidak menggunakan MASW.

Metode HVSR merupakan salah satu metode yang digunakan penulis sebagai alat pengolahan data mikrotremor untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik sebagai bagian dari parameter untuk menentukan Zonasi di wilayah penelitian (Iswanto, dkk, 2021). Penelitian ini dilakukan untuk menginterpretasi data mikrotremor melalui analisis HVSR untuk mengetahui bahaya gempa seismik di Kota BauBau. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan nilai frekuensi dominan, periode dominan, dan faktor amplifikasi tanah dan menentukan indeks kerentanan seismik dan interpretasi mikrozonasi di daerah penelitian untuk menentukan area yang rawan terhadap bahaya gempa seismik di Kota Bau-Bau.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Arifudin (2018) melakukan penelitian tentang karakteristik dinamika tanah dan kerentanan seismik di Kabupaten Klaten dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dari data Mikrotremor. Penelitian ini dilakukan untuk membuat peta mikrozonasi faktor frekuensi dominan (F_0), amplifikasi tanah (A_g), indeks kerentanan

seismik (K_g), percepatan tanah puncak (PGA), regangan geser tanah (γ), ketebalan sedimen (h), dan kecepatan gelombang geser sampai kedalaman 30 meter (V_{s30}) dari data mikrotremor yang dapat menunjukkan tingkat kerentanan suatu daerah terhadap bahaya gempa bumi.

Hesti dkk (2021) melakukan analisis karakteristik lapisan sedimen berdasarkan data mikrotremor di area rumah sakit pendidikan unila. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode mikrotremor dan analisis geologi permukaan. Data pengukuran metode mikrotremor dianalisis dengan menggunakan metode analisis *Horizontal Vertical Spectrum Ratio* (HVSR) untuk mendapatkan nilai amplifikasi (A_0) dan frekuensi dominan (F_0). Menurut Hesti dkk (2021) penelitian ini dilakukan untuk menganalisis lapisan batuan di bawah permukaan pada area pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP Unila) dengan metode mikrotremor dan analisis geologi.

2.2. Gempabumi

Gempabumi (*earthquake*) adalah peristiwa bergetar atau berguncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng – lempeng tektonik. Gempabumi yang disebabkan oleh aktivitas pergerakan lempeng tektonik disebut gempabumi tektonik, namun selain itu gempabumi bisa saja terjadi akibat aktivitas gunung berapi yang disebut gempabumi vulkanik (Sunarjo, dkk, 2010).

2.3. Teori Mikrotremor

Studi mengenai mikrotremor pertama kali diperkenalkan oleh Aki dan Kanai (1957) untuk pengembangan teknik dengan tujuan untuk mengetahui bahaya seismik pada tiap-tiap titik pengukuran. Mikrotremor dapat diartikan sebagai getaran periode pendek, yang merupakan akumulasi dari efek gelombang laut, kegiatan atmosfer, interaksi angin dengan tanaman maupun pepohonan dan sumber-sumber kultural. Getaran tanah yang dikatakan getaran mikroseismik bukan getaran tanah yang diakibatkan gempabumi melainkan sumber getar lainnya yang mampu menggetarkan tanah seperti kendaraan yang sedang melaju, aktivitas manusia, suara mesin pabrik, dan sebagainya. Dalam keperluan seismik pada umumnya getaran-getaran akibat kegiatan manusia, angin maupun mesin-mesin ini tidak diperlukan. Gerakan yang perlu diketahui adalah getaran alamiah dari tanah untuk mengetahui frekuensi alamiah tanah dan faktor amplifikasi atau nilai kelipatan amplitude getaran (Meidji, 2014).

2.4. Metode HVSR

Mikrotremor *single-station* pertama kali diusulkan oleh Nogoshi dan Igarashi (1971) dan dipopulerkan oleh Nakamura (1989) untuk digunakan dalam memperkirakan kondisi geologi lokal dengan menganalisis puncak periode amplifikasi dari *horizontal to vertical spectrum ratio* (HVSR). Amplifikasi terjadi dengan ketentuan jika amplitudo rasio lebih besar dari satu. Nakamura juga mengusulkan bahwa frekuensi resonansi dasar didefinisikan sebagai frekuensi puncak dominan. Oleh karena itu metode HVSR ini disebut juga teknik Nakamura (Meidji, 2014).

Metode HVSR merupakan perhitungan data mikrotremor dengan cara menghitung perbandingan komponen horizontal (H) dan komponen vertical (V) yang terjadi pada *spectrum* getaran tanah pada setiap data yang diakusisi dan didefinisikan sebagai rata-rata komponen horizontal antara H(NS) dan H(EW) seperti rumusan ini menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{SHS}{SVS} = \frac{\sqrt{\{(S \text{ Utara} - S \text{ Selatan})^2 + (S \text{ Barat} - S \text{ Timur})^2\}}}{S \text{ Vertikal}} \quad (1)$$

2.4.1. Frekuensi dominan (F_0)

Analisis data mikrotremor dapat memberikan informasi nilai F_0 frekuensi dominan tanah pada suatu tempat yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan tahan gempa untuk keperluan dalam mitigasi bencana (Fauzia, 2014). Dengan mengetahui perbesaran frekuensi dominan tanah pada suatu daerah dan memanfaatkannya dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diharapkan dapat mengurangi risiko bencana gempabumi yang mungkin terjadi pada masa yang akan datang.

2.4.2. Periode dominan (T_0)

Periode dominan memiliki keterkaitan yang sangat dekat dengan kedalaman lapisan sedimen lunak (Nakamura, 1989). Periode yang tinggi menunjukkan sedimen lunak yang tebal dan sebaliknya periode dominan yang rendah menunjukkan sedimen lunak yang tipis. Daerah yang memiliki periode dominan tinggi umumnya memiliki kerentanan untuk mengalami kerusakan wilayah yang cukup tinggi jika terlanda gempa bumi. Nilai periode

dominan didapatkan berdasarkan perhitungan berikut:

$$T_0 = \frac{1}{F_0} \quad (2)$$

2.4.3. Faktor amplifikasi (A_0)

Amplifikasi pada gelombang seismik dapat disebabkan jika suatu benda yang memiliki frekuensi diri, kemudian diusik oleh gelombang lain dengan frekuensi yang sama. Amplifikasi gelombang gempa bisa terjadi ketika gelombang merambat ke permukaan tanah dimana frekuensi dominan tanah tersebut memiliki nilai frekuensi yang hampir sama atau sama dengan frekuensi gempa yang datang. Amplifikasi merupakan peristiwa penguatan suatu gelombang ketika melewati suatu medium tertentu (Tanjung, dkk, 2019).

Menurut Arifudin (2018) nilai faktor amplifikasi yang dihasilkan dari pengukuran mikrotremor terbagi menjadi empat zona yaitu:

1. Zona amplifikasi rendah : $A_0 < 3$
2. Zona amplifikasi sedang : $3 \leq A_0 < 6$
3. Zona amplifikasi tinggi : $6 \leq A_0 \leq 9$
4. Zona amplifikasi sangat tinggi: $A_0 \geq 9$

2.4.4. Indeks kerentanan seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik (K_g) adalah suatu bilangan yang dapat menyatakan kerentanan lapisan tanah permukaan akibat terjadinya perubahan bentuk lapisan tanah tersebut saat terjadi gempabumi. Meidji (2014) memberikan definisi mengenai indeks kerentanan seismik yakni kuadrat amplitude maksimum spectrum HVSR dibagi dengan frekuensi resonansinya, yang secara matematis ditulis sebagai:

$$K_g = \frac{A_0^2}{F_0} \quad (3)$$

2.5. Smoothing

Smoothing adalah proses memperhalus pola data dengan meminimalisasi efek aliasing sehingga hasil *smoothing* tidak berbeda dengan data sebelum dilakukan. Penghalusan data didasarkan pada persamaan Konno-Ohmachi:

$$W = (f, f_0) = \frac{\sin \left[\left(\log \frac{f}{f_0} \right) b \right]}{\left[\left(\log_{10} \frac{f}{f_0} \right) b \right]^4} \quad (4)$$

dengan f adalah frekuensi f_0 adalah frekuensi pusat dilakukannya penghalusan data dan b adalah koefisien *bandwidth*. Koefisien *bandwidth* merupakan faktor penambahan yang mengontrol penghalusan data.

3. METODE PENELITIAN

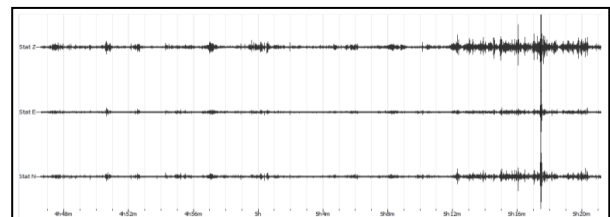
Penelitian dilaksanakan di Kota Baubau Provinsi Sulawesi Tenggara. Sebaran titik pengukuran ditunjukkan pada **Gambar 1**. Titik-titik pengukuran tersebar pada wilayah padat penduduk di Kota Baubau. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan jumlah kepadatan penduduk dan jumlah kemungkinan besar menimbulkan kerugian materi bahkan korban jiwa, bila sewaktu – waktu terjadi bencana gempa bumi tektonik yang belum dapat diketahui kapan dan dimana waktu kejadiannya serta parameternya.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Q gis, 2024)

Setelah dilakukan pengukuran data di lapangan, maka tahap selanjutnya data yang terdiri dari *waveform* tiga komponen, yaitu komponen vertikal (z), *north south* (NS), dan *east west* (EW) diubah dari domain waktu ke domain frekuensi melalui software *datapro* dan output data menjadi *miniseed* (.MSD) atau *ASCII*, dan menghasilkan 4 file yaitu komponen vertikal, komponen utara-selatan, komponen timur-barat, dan file header.

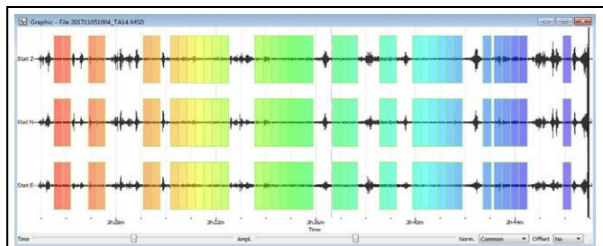
Seperti yang ditunjukkan gambar pada **Gambar 2**. Contoh sinyal makrotremor tiga komponen.



Gambar 2. Contoh Sinyal mikrotremor tiga komponen

3.1. Penentuan windowing

Windowing sinyal, sinyal akan dibagi menjadi beberapa kotak (*window*). Pemilahan *window* dilakukan secara manual. Pemilahan ini (*windowing*) dilakukan untuk memisahkan antara sinyal tremor dengan *event transien* (sumber spesifik seperti langkah kaki dan kendaraan lewat dan lain lainnya yang dianggap *noise*). Cara untuk mendeteksi sinyal transien adalah dengan membandingkan STA (*short term average*) dan LTA (*long term Average*). STA merupakan rata-rata amplitudo jangka pendek (0.5 – 2.0 detik), sedangkan



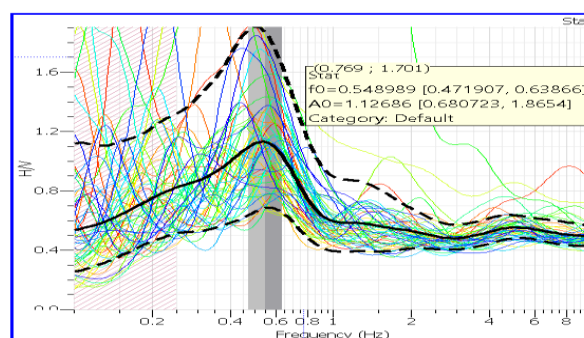
Gambar 3. Contoh windowing sinyal dari software geopsy

LTA merupakan nilai rata-rata amplitudo jangka panjang (> 10 detik). Pada saat perbandingan STA/LTA melebihi ambang batas yang sudah ditentukan, maka dapat dikatakan sebagai *event*. Setelah *event transien* terdeteksi maka data selain *transient* dibagi menjadi beberapa *window*. Contoh *windowing* sinyal dapat dilihat pada **Gambar 3**.

3.2. Kurva HVSR

Sebelum menghitung perbandingan H/V, amplitudo *spektral fourier* dari komponen NS, EW, dan V dilakukan *smoothing* dengan fungsi Konno-Ohmachi: persamaan (4). Untuk meminimalkan efek perbatasan karena *windowing* amplitudo dari spektrum digunakan kosinus lancip. Spektrum Fourier

komponen horisontal dirata-rata dengan akar rerata kuadrat dan dibagi dengan spektrum fourier komponen vertikal dalam kawasan frekuensi hingga didapatkan rata-rata spektrum H/V, dari rata-rata spektrum H/V ini dapat ditentukan frekuensi dominan (F_0) serta puncak spektrum HVSR yang merupakan nilai faktor amplifikasi spektrum tanah (A_0).

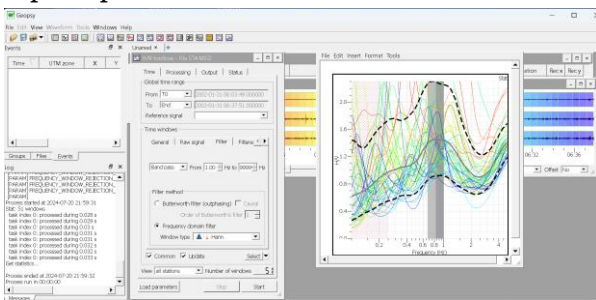


Gambar 4. Kurva HVSR dari hasil pengolahan data (Anggit M. Arifudin, 2018)

Berdasarkan hubungan $T = \frac{1}{F_0}$ dari pengolahan data dengan metode F_0 HVSR maka akan didapatkan nilai periode dominan tanah (T_0) di lokasi pengukuran, karena yang terukur dari kurva HVSR adalah F_0 , dan A_0 , dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dari nilai-nilai yang terukur dari semua titik pengukuran kemudian dibuat peta frekuensi dominan tanah (F_0) dan peta faktor amplifikasi spektrum (A_0) daerah penelitian. Contoh kurva HVSR dari hasil pengolahan data hasil pengukuran di titik tertentu ada pada **Gambar 4**.

Pada **Gambar 4** kurva HVSR hasil analisis menggunakan *software geopsy* untuk memperoleh nilai F_0 dan A_0 , nilai tersebut akan digunakan untuk mendapatkan nilai K_g dengan menggunakan persamaan (3). Berikut ini adalah langkah singkat yang dapat

dilakukan untuk memperoleh nilai F_0 , A_0 , seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Cara menjalankan software geopsy untuk memperoleh nilai F_0 , A_0

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil analisis

Pengukuran mikrotremor merupakan salah satu metode seismik pasif yang banyak digunakan dalam penelitian bawah permukaan. Metode ini menggunakan software Geopsy untuk melakukan analisis data hasil pengukuran dilapangan. Hasil analisis berupa kurva HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dari mikrotremor untuk mengestimasi frekuensi natural dan faktor amplifikasi tanah setempat (Nakamura,1989). Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR ialah frekuensi dominan tanah (F_0) dan faktor amplifikasi spektrum tanah (A_0) yang merupakan nilai puncak kurva HVSR, berkaitan dengan geologi setempat dan parameter fisik bawah permukaan.

Perkembangan selanjutnya, metode ini mampu untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah (Nakamura, 2007 dalam Arifudin, 2018). Penelitian ini dilakukan untuk menginterpretasi data mikrotremor melalui analisis HVSR untuk mengetahui bahaya gempa seismik di Kota BauBau. Penelitian tersebut dilakukan dengan pengukuran data dilapangan sebanyak 28 titik pengukuran dengan durasi pengukuran kurang lebih 30 menit setiap titik dan frekuensi *sampling* sebesar 100 Hz dengan jarak pengukuran disetiap titik bervariasi antara 1.000 sampai 1.200 meter.

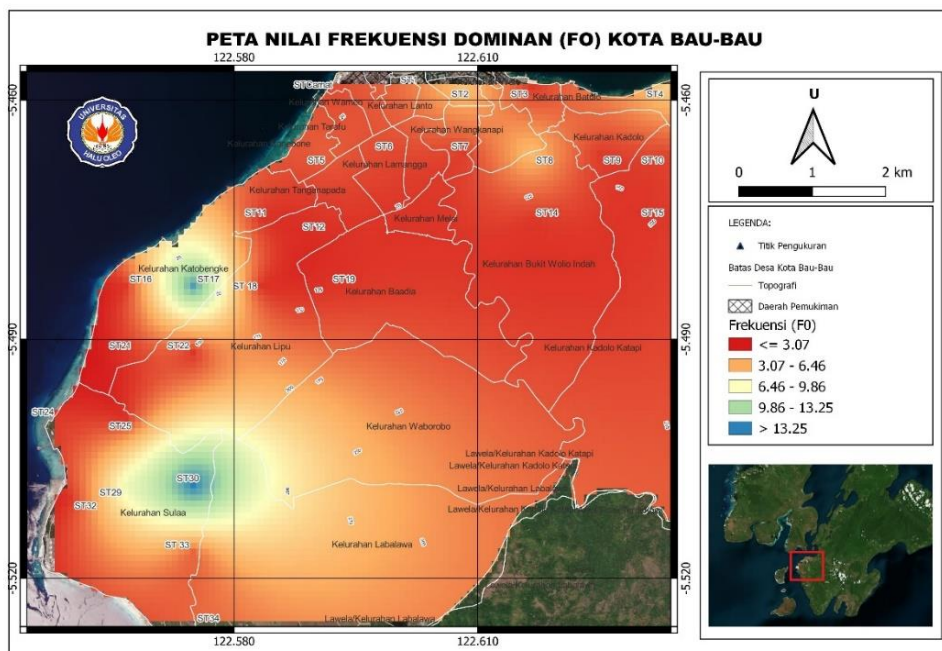
4.1.1. Frekuensi dominan (F_0)

Frekuensi dominan menunjukkan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu yang sering muncul saat dilakukan pengukuran selama kurang lebih 30 menit dimana nilai puncak kurva HVSR terjadi. Tabel nilai frekuensi dominan tanah di Kota Baubau, ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil analisis HVSR menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan di lokasi penelitian bervariasi mulai dari yang terendah 0.4795 di titik ST 25 sampai yang tertinggi yaitu 16.6383 di titik ST 30. Adapun hasil keseluruhan nilai frekuensi dominan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai frekuensi dominan

No	Titik Pengukuran (TP)	Koordinat Titik		Nilai Frekuensi (F_0)
		X	Y	
1	ST1	122.6	-5.458333	1.9912
2	ST2	122.608333	-5.458333	5.0317
3	ST3	122.616667	-5.458333	0.5762
4	ST4	122.633333	-5.458333	5.6524
5	ST5	122.591667	-5.466667	1.7074
6	ST6	122.6	-5.466667	1.0678

No	Titik Pengukuran (TP)	Koordinat Titik		Nilai Frekuensi (Fo)
		X	Y	
7	ST7	122.608333	-5.46667	0.7609
8	ST8	122.616667	-5.46667	4.8035
9	ST9	122.625	-5.46667	0.6700
10	ST10	122.633333	-5.46667	1.0175
11	ST11	122.583333	-5.475	0.5196
12	ST12	122.591667	-5.475	0.5630
13	ST29	122.566667	-5.508333	9.0221
14	ST14	122.616667	-5.475	0.5849
15	ST15	122.633333	-5.475	0.6667
16	ST16	122.566667	-5.48333	0.5991
17	ST17	122.575	-5.483333	15.3314
18	ST 18	122.583333	-5.483333	0.5495
19	ST19	122.591667	-5.483333	0.5035
20	ST30	122.575	-5.508333	16.6383
21	ST21	122.566667	-5.491667	0.5681
22	ST22	122.575	-5.491667	0.5739
23	STCamat	122.592575	-5.458936	1.1433
24	ST24	122.558333	-5.5	0.6757
25	ST25	122.566667	-5.5	0.4795
26	ST32	122.559859	-5.51	0.4960
27	ST 33	122.575	-5.516667	1.9268
28	ST34	122.575	-5.525	1.9260



Gambar 6. Peta nilai frekuensi dominan (FO) hasil analisis HVSr

Berdasarkan peta geologi regional Pulau Buton menunjukkan bahwa daerah tersebut

berada dalam formasi Sampolakosa yang terdiri dari batu gamping napalan. Pada

Gambar 6 menyajikan variasi nilai F_0 Kota Baubau. Secara visual dapat kita lihat bahwa nilai frekuensi yang tinggi berasosiasi dengan gradasi warna hijau dan sebaliknya nilai frekuensi yang rendah berasosiasi dengan warna merah. Menurut Hesti, dkk, (2021) nilai frekuensi dominan suatu daerah menunjukkan tingkat ketebalan sedimen dan jenis batuanya, nilai frekuensi dominan di daerah penelitian berkisar antara 0.4795 - 16.633 hal ini dapat dibagi menjadi tiga jenis klasifikasi tanah. Nilai 0,4795 – 1,9912 (< 2,5) terdapat 21 titik pengukuran, nilai 10 – 4,0 terdapat empat titik pengukuran, dan nilai 6,667 – 20 terdapat tiga titik pengukuran, hal ini selaras dengan hasil penelitian di Kota Baubau. Tingginya nilai F_0 menurut peneliti terdahulu disebutkan karena memiliki batuan yang solid, ini sangat sesuai dengan hasil penelitian, dimana hasil yang diperoleh menunjukkan nilai F_0 yang tinggi berada pada topografi yang tinggi dan secara geologi, daeran penelitian berada dalam formasi Sampolakosa yang terdiri dari batu gamping napalan yang disisip batu pasir. Kontur frekuensi dominan dari hasil pengolahan *software* Surver 11, menunjukkan bahwa semakin hijau warnanya semakin tinggi nilai frekuensinya artinya semakin aman dari segi kebencanaan khususnya kerusakan bangunan

akibat getaran gempabumi yang dapat terjadi sewaktu-waktu. Adapun area yang berwarna merah menunjukkan tingginya potensi kerusakan dan kerugian materi akibat getaran yang dihasilkan dari kejadian gempabumi. **Gambar 6** menyajikan nilai F_0 hasil analisis HVSR.

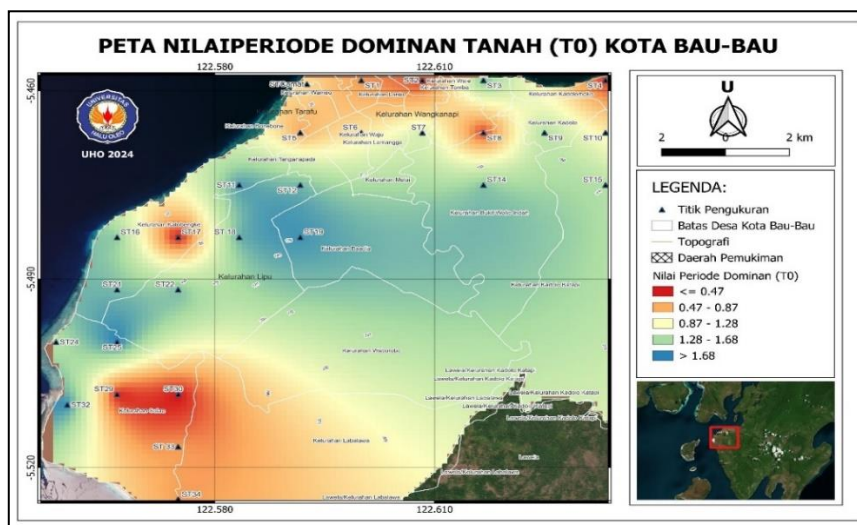
4.1.2. Nilai periode dominan (T_0)

Nilai periode dominan pada daerah penelitian ditunjukkan oleh **Tabel 2** dan **Gambar 7**. Berdasarkan hasil perhitungan, kemudian disajikan dalam peta persebaran periode dominan di Kota Baubau. Nilai periode dominan berkisar antara 0,0601 detik sampai 2,0854 detik. Kesesuaian terlihat pada titik pengukuran ST.30 tepatnya di Kelurahan Sulaa dengan nilai terendah 0,0601 sekon, dimana titik tersebut memiliki nilai frekuensi tertinggi dalam penelitian ini. Sedangkan pada titik pengukuran ST.25 tepatnya di Kelurahan Sulaa bagian barat dekat pantai memiliki nilai periode dominan tertinggi 2,0854 detik juga berbanding terbalik dengan nilai frekuensi yang terendah dalam penelitian ini. Hal ini membuktikan kebenaran data mikrotremor hasil pengukuran dan hasil perhitungan berdasarkan Persamaan (2). Nilai periode dominan tanah secara keseluruhan disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai periode dominan Tanah (T_0)

No	Titik Pengukuran (ST)	Koordinat Titik		Nilai Frekuensi (F_0) (Hz)	Nilai Periode Dominan (T_0) (detik)
		X	Y		
1	ST1	122.6	-5.458333	1.99122	0.5022
2	ST2	122.60833	-5.458333	5.03178	0.1987
3	ST3	122.61667	-5.458333	0.57629	1.7352
4	ST4	122.63333	-5.458333	5.65242	0.1769

No	Titik Pengukuran (ST)	Koordinat Titik		Nilai Frekuensi (Fo) (Hz)	Nilai Periode Dominan (T ₀) (detik)
		X	Y		
5	ST5	122.59167	-5.466667	1.70746	0.5856
6	ST6	122.6	-5.466667	1.06788	0.9364
7	ST7	122.60833	-5.46667	0.760918	1.3142
8	ST8	122.61667	-5.466667	4.80354	0.2081
9	ST9	122.625	-5.466667	0.670047	1.4924
10	ST10	122.63333	-5.466667	1.01753	0.9827
11	ST11	122.58333	-5.475	0.519657	1.9243
12	ST12	122.59167	-5.475	0.563027	1.7761
13	ST29	122.56667	-5.508333	9.0227	0.1108
14	ST14	122.61667	-5.475	0.584932	1.7096
15	ST15	122.63333	-5.475	0.666777	1.4997
16	ST16	122.56667	-5.48333	0.599159	1.6690
17	ST17	122.575	-5.483333	15.3314	0.0652
18	ST 18	122.583333	-5.483333	0.549537	1.8197
19	ST19	122.59167	-5.483333	0.503516	1.9860
20	ST30	122.575	-5.508333	16.6383	0.0601
21	ST21	122.56667	-5.491667	0.56811	1.7602
22	ST22	122.575	-5.491667	0.573959	1.7422
23	STCamat	122.59258	-5.458936	1.14336	0.8746
24	ST24	122.55833	-5.5	0.67577	1.4797
25	ST25	122.56667	-5.5	0.479506	2.0854
26	ST32	122.55986	-5.51	0.496006	2.0161
27	ST 33	122.575	-5.516667	1.92687	0.5189
28	ST34	122.575	-5.525	1.92675	0.5190



Gambar 7. Peta periode dominan tanah (T₀) area penelitian

Sementara itu, sebagaimana pada **Gambar 7** nilai periode dominan dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kekerasan batuan penyusun yang terdapat pada lokasi penelitian. Jika diidentifikasi dari data penelitian di Kota Baubau dan dikorelasikan dengan hasil klasifikasi tanah menurut Kanai, kelurahan yang memiliki nilai periode dominan tinggi memiliki karakter batuan penyusun yang sangat lunak. Hal ini tampak dari hasil pengukuran di Kelurahan Sulaa bagian barat yang menunjukkan periode dominan 2.085 detik yang berasosiasi dengan batuan penyusun yang tidak solit/padat berupa batuan alluvial. Nilai periode dominan terendah terukur di titik ST.30, yaitu sebesar 0.060 detik yang menghasilkan nilai frekuensi dominan tertinggi 16.638 Hz.

4.1.3. Nilai faktor amplifikasi (A_0)

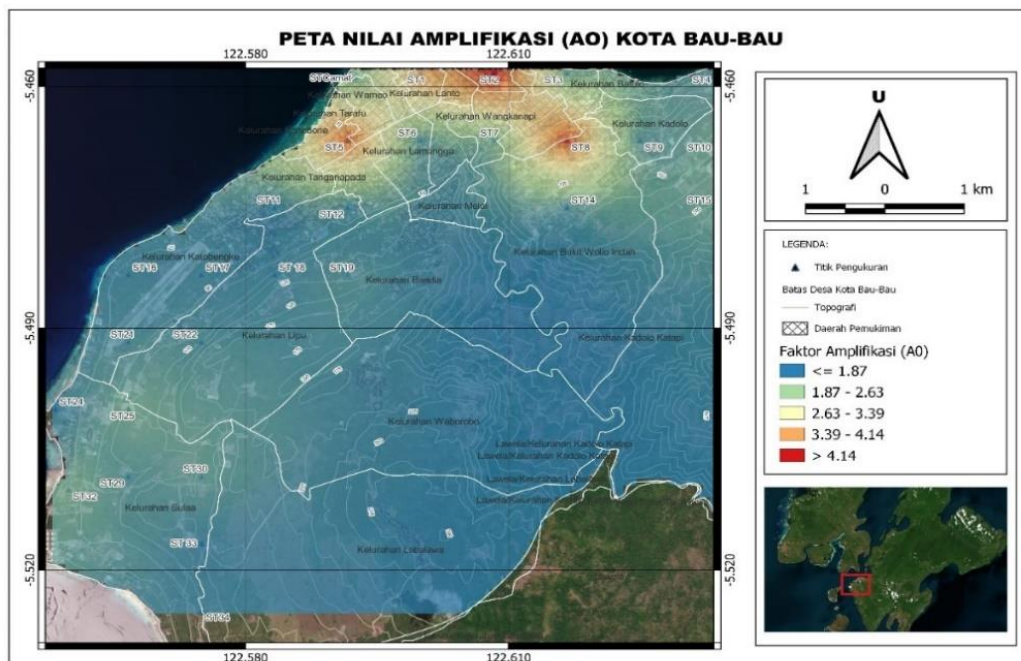
Sebaran nilai faktor amplifikasi tanah di Kota Baubau di tunjukkan pada Gambar 8. Nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya berkisar antara 1.228 sampai dengan 4.904. Hasil selengkapnya disajikan pada **Tabel 3**.

Berdasarkan klasifikasi zona amplifikasi, nilai amplifikasi tanah di wilayah penelitian berkisar dari zona nilai rendah sampai nilai sedang. Daerah penelitian dengan nilai amplifikasi rendah meliputi sebagian kecamatan Betoambari Kelurahan Sulaa, Kecamatan Murhum, Kecamatan Wolio dan Kecamatan Kokalukuna, sedangkan zona nilai amplifikasi sedang tersebar di Kecamatan Batupoaro Kelurahan Bone – Bone tepatnya ST.5, Kelurahan wale tepatnya ST.2 dan Kelurahan Bukit Wolio Indah. berikut nilai amplifikasi secara keseluruhan dari hasil analisis HVSr yang disajikan dalam bentuk **Tabel 3**.

Tabel 3 Nilai A_0 dari hasil nalisis HVSr

No	TP	X	Y	A0
1	ST1	-5.458333	122.6	3.711
2	ST2	-5.458333	122.608333	4.904
3	ST3	-5.458333	122.616667	1.702
4	ST4	-5.458333	122.633333	1.450
5	ST5	-5.466667	122.591667	4.339
6	ST6	-5.466667	122.6	1.543
7	ST7	-5.466667	122.608333	1.822
8	ST8	-5.466667	122.616667	4.560
9	ST9	-5.466667	122.625	1.492
10	ST10	-5.466667	122.633333	1.751
11	ST11	-5.475	122.583333	1.291
12	ST12	-5.475	122.591667	1.381
13	ST29	-5.508333	122.566667	1.465
14	ST14	-5.475	122.616667	1.422
15	ST15	-5.475	122.633333	1.677
16	ST16	-5.48333	122.566667	1.247

No	TP	X	Y	A0
17	ST17	-5.483333	122.575	1.264
18	ST 18	-5.483333	122.583333	1.258
19	ST19	-5.483333	122.591667	1.489
20	ST30	-5.508333	122.575	1.612
21	ST21	-5.491667	122.566667	1.401
22	ST22	-5.491667	122.575	1.404
23	STCamat	-5.458936	122.592575	1.837
24	ST24	-5.5	122.558333	1.237
25	ST25	-5.5	122.566667	1.766
26	ST32	-5.51	122.559859	1.824
27	ST 33	-5.516667	122.575	1.228
28	ST34	-5.525	122.575	1.274



Gambar 8. Peta nilai faktor amplifikasi (A₀) hasil analisis HVSR

Tabel 4. Nilai K_g hasil analisis HVSR

No	TP	X	X	A0	F0	Kg
1	ST1	-5.4583	122.6	3.711	1.991	6.917
2	ST2	-5.4583	122.6083	4.904	5.031	4.780
3	ST3	-5.4583	122.6166	1.702	0.576	5.029
4	ST4	-5.4583	122.6333	1.450	5.652	0.372
5	ST5	-5.4666	122.5967	4.339	1.707	11.026
6	ST6	-5.4666	122.6	1.543	1.067	2.232

No	TP	X	X	AO	FO	Kg
7	ST7	-5.4666	122.6333	1.822	0.760	4.364
8	ST8	-5.4666	122.6667	4.560	4.803	4.329
9	ST9	-5.4666	122.625	1.492	0.670	3.325
10	ST10	-5.4666	122.6333	1.751	1.017	3.013
11	ST11	-5.475	122.5333	1.291	0.519	3.209
12	ST12	-5.475	122.5967	1.381	0.563	3.392
13	ST29	-5.5083	122.5667	1.465	9.022	0.238
14	ST14	-5.475	122.6166	1.422	0.584	3.461
15	ST15	-5.475	122.6333	1.677	0.666	4.220
16	ST16	-5.4833	122.5666	1.247	0.599	2.597
17	ST17	-5.4833	122.575	1.264	15.334	0.104
18	ST 18	-5.4833	122.5833	1.258	0.549	2.881
19	ST19	-5.4833	122.5916	1.489	0.503	4.403
20	ST30	-5.5083	122.575	1.612	16.638	0.156
21	ST21	-5.4916	122.5666	1.401	0.568	3.458
22	ST22	-5.4916	122.575	1.404	0.573	3.435
23	STCamat	-5.4589	122.5925	1.837	1.143	2.952
24	ST24	-5.5	122.5583	1.237	0.675	2.267
25	ST25	-5.5	122.5666	1.766	0.479	6.508
26	ST32	-5.51	122.5598	1.824	0.496	6.713
27	ST 33	-5.5166	122.575	1.228	1.926	0.783
28	ST34	-5.525	122.575	1.274	1.926	0.842

4.1.4. Nilai indeks kerentanan seismik (K_g)

Nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dari perhitungan dengan Persamaan (3). Besarnya nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh nilai faktor amplifikasi tanah, nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi di peroleh pada daerah dengan nilai amplifikasi tinggi dan nilai frekuensi yang rendah, berkaitan dengan daerah yang memiliki sedimen tebal. Nilai indeks kerentanan seismik rendah dapat di peroleh jika di area tersebut memiliki nilai amplifikasi

rendah dan nilai frekuensi dominan tinggi. Area yang memiliki nilai frekuensi dominan tinggi terdapat di Kecamatan Betoambari Kelurahan Sulaa tepatnya di titik pengukuran ST.30, sedangkan area yang memiliki nilai amplifikasi tinggi terdapat di Kecamatan Batupoaro Kelurahan Tomba, hal ini bersesuaian dengan kondisi geologi daerah penelitian dimana Kecamatan Betoambari yang memiliki nilai frekuensi tinggi adalah dataran tinggi dengan batuan gamping napalan, sementara area Kecamatan

Batupoaro sebagian dataran tinggi dan sebagiannya lagi dataran rendah yang terbentuk dari endapan alluvial khususnya disekitran titik pengukuran ST.5 atau disekitar Pasar Wameo. Nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0.104 sampai dengan 11.027. Berdasarkan tabel untuk melihat lebih lengkap nilai Indeks Kerentanan Seismik di wilayah pengukuran disajikan pada **Tabel 4**.

Hasil analisis surver 11 nilai indeks kerentanan seismik di daerah penelitian bervariasi berdasarkan degradasi warna. Nilai hasil perhitungan menggunakan Persamaan (3), untuk nilai indeks kerentanan seismik yang diperoleh dengan perbandingan kuadrat nilai amplifikasi terhadap nilai frekuensi dominan, nilai tersebut bersesuaian dengan lokasi penelitian. Nilai K_g yang terendah tandai dengan warna biru muda dan nilai K_g tertinggi diwakili dengan warna merah artinya semakin terang warnanya semakin tinggi tingkat kerentanan/bahaya yang mungkin terjadi di arae tersebut ketika terjadi gempabumi dan begitu pula sebaliknya semakin biru warnanya semakin aman dari bahaya seismik. Dibawah ini disajikan peta hasil analisis *software Surver 11* yang di *overlay* dengan di daerah penelitian menggunakan *software Qgis*

5. KESIMPULAN (CONCLUSION)

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian interpretasi data mikrotremor melalui analisis *horizontal to vertical spectral ratio* (HVSr) di Kota Baubau, dapat disimpulkan beberapa hal yang dapat menjawab tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Nilai frekuensi dominan dari data mikrotremor hasil analisis HVSr berkisar antara 0.479 Hz sampai 16.638 Hz.
2. Nilai Periode Dominan Tanah di daerah penelitian berkisar antara 0,060 detik sampai 2,085 detik.
3. Nilai amplifikasi tanah hasil analisis HVSr di daerah penelitian berkisar antara 1.228 sampai dengan 4.904.
4. Nilai Indek kerentanan seismik dari hasil analisis HVSr, berkisar antara 0.104 sampai dengan 11.027.

Bedasarkan hasil pembahasan dan analisis HVSr nilai frekuensi dominan, periode dominan tanah, faktor amplifikasi tanah, dan nilai indek kerentanan seismik, maka interpretasi mikrozonasi di daerah penelitian bersesuaian dengan hasil penelitian dan kondisi geologi di Kota Baubau.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifudin, A. M. (2018). Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten dengan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dari Data Mikrotremor (Master's thesis, Universitas Islam Indonesia).
- Fauzia. N., U. (2014). Estimasi karakteristik dinamis tapak local untuk kebencanaan gempabumi berdasarkan analisis HVSr dan analisis SPAC di Kota Pacitan. Tesis Program Pascasarjana FMIPA Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Hesti, H., Suharno, S., Mulyasari, R., & Hidayatika, A. (2021). Analisis Karakteristik Lapisan Sedimen Berdasarkan Data Mikrotremor di Area Rumah Sakit Pendidikan Unila. JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi), 7(2), 150-15 <https://doi.org/10.23960/jge.v7i2.123>

- Ibrahim. G., & Subarjo. (2005). Pengetahuan Seismologi. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- 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.
<https://doi.org/10.17146/eksplorium.2019.40.2.5489>
- Meidji. I., U. (2014). Kajian Karakteristik Dinamika Tanah Terhadap Resiko Kerawanan Seismik dan Dampaknya Terkait Rencana Tata Ruang Wilayah di Kota Mataram Bagian Timur. Tesis Program Pascasarjana FMIPA Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Nakamura, Y. (1989). *A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface Using Microtemor on The Ground Surface*. Q.R. of R.T.I. 30-1, p.25-33.
- Sunarjo., Pribadi, S., & Gunawan, M. T. (2010). Gempabumi dan Dampaknya. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi dan Geofisika.
- 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.
<http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v5i2.5726>