

---

# Studi Mikrotremor di Wilayah Kerusakan Akibat Gempa bumi Ambon 26 September 2019 menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (Hvsr)

Hendri Subakti<sup>1</sup>, Aprillian Haurissa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

---

## ABSTRACT

*The Maluku province region is in the complex tectonic zone because it is located at the confluence of three large world plates namely the Indo-Australian Plate, the Eurasian Plate, and the Pacific-Philippine Micro Plate. Tectonic activities in this area occur a lot of earthquakes. On September 26, 2019, an earthquake occurred in Seram Island with a magnitude of 6.5 earthquake epicenter located at 3.38° South Latitude and 128.43° East or 40 km North-East of Ambon-Maluku with a depth of 10 km. and caused many fatalities and damage to residents' homes and public facilities totaling 11,311. Regarding the Assessment of Earthquake Potential, it was carried out for infrastructure development planning in Maluku, specifically on Ambon Island, West Seram (Kairatu District), and Haruku Island. Microtremor measurement data at 32 points were processed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method to produce natural frequency and amplification. Processing results are used to study the type and characteristics of the soil and calculate the value of the seismic valuation index. Based on natural frequencies and dominant periods in the study area As a whole the dominant type has a classification of soil type IV or type C with very diverse characters. Seismic approved index values in the approved study area are 0.5707- 58.9684. The index value considers the relatively high seismic on Ambon island in Laha village 43.6522, while the West Seram region (Kairatu district) is Kairatu village 58.9684.*

**Keywords:** *Horizontal to Vertical Spectral Ratio, earthquake, microtremor, seismic vulnerability index*

Wilayah provinsi Maluku berada pada zona tektonik kompleks karena terletak pada pertemuan tiga lempeng besar dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng mikro Pasifik-Filipina. Aktifitas tektonik di daerah ini mengakibatkan banyaknya kejadian gempabumi. Pada tanggal 26 September 2019, di Pulau Seram terjadi gempabumi dengan mangnitudo 6.5 episenter gempabumi berada di 3.38° LS dan 128.43° BT atau 40 km TimurLaut Ambon-Maluku dengan kedalaman 10 km. dan menimbulkan banyak korban jiwa serta kerusakan rumah warga dan fasilitas umum sebanyak 11.311. Kajian potensi bahaya gempabumi ini penting dilakukan untuk keperluan perencanaan pembangunan infrastruktur di daerah Maluku khususnya daerah Pulau Ambon, Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu), dan Pulau Haruku. Data pengukuran mikrotremor di 32 titik diproses menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) untuk menghasilkan frekuensi natural dan amplifikasi. Hasil pengolahan digunakan untuk mengetahui jenis dan karakteristik tanah serta menghitung nilai indeks kerentanan seismik. Hasil perhitungan frekuensi natural dan periode dominan di wilayah penelitian secara keseluruhan memiliki klasifikasi tanah jenis IV atau jenis C dengan karakter sangat lunak. Nilai indeks kerentanan seismik pada wilayah penelitian berkisar 0.5707 – 58.9684. Nilai indeks kerentanan seismik yang relatif tinggi pada pulau Ambon terdapat pada desa Laha 43.6522, sedangkan wilayah Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu) yaitu desa Kairatu 58.9684.

**Kata kunci:** Horizontal to Vertical Spectral Ratio, gempabumi, mikrotremor, indeks kerentanan seismik

Hendri Subakti,  
Program Studi Geofisika,  
Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Indonesia,  
Jl. Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Bintaro, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221.  
Email: [hendri.subakti@stmkg.ac.id](mailto:hendri.subakti@stmkg.ac.id)

---

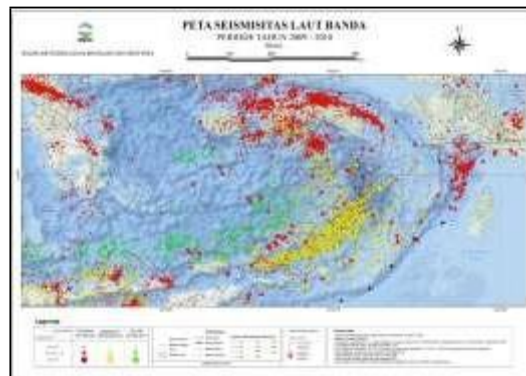
## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki kondisi tektonik yang berada pada pertemuan lempeng lempeng besar di dunia dan beberapa lempeng kecil sehingga Indonesia berpotensi mengalami banyak aktivitas gempabumi, dalam catatan katalog gempabumi BMKG, hampir seluruh daerah di wilayah Indonesia memiliki tingkat kejadian gempabumi yang cukup tinggi. Kejadian gempabumi tektonik tidak jarang menimbulkan kerugian, baik korban jiwa maupun harta, termasuk merusak bangunan-bangunan.

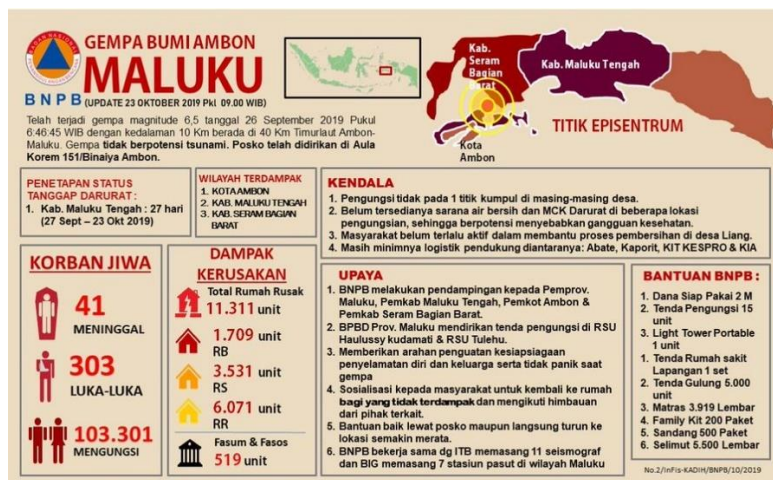
Tatanan tektonik Maluku berada pada zona tektonik kompleks karena terletak pada pertemuan tiga lempeng besar dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng mikro Pasifik-Filipina yang bergerak secara konvergen, kepulauan Maluku khususnya Pulau Seram dan Pulau Ambon terletak di sepanjang utara Busur Banda di Indonesia bagian timur. Aktifitas tektonik di daerah ini mengakibatkan banyaknya kejadian gempabumi yang terjadi di daerah Maluku.

Berdasarkan data katalog gempabumi signifikan dan merusak 1821 – 2018 BMKG (Gambar 1.1), daerah Pulau Seram, Pulau Ambon dan sekitarnya sudah beberapa kali terjadi gempabumi merusak. Antara lain terjadi pada 28 Maret 1830, 1 November 1835, 21 Januari 1837, 16 Desember 1841, 26 November 1852, 9 November 1858, 15 September 1862, 28 Mei 1876, 23 November 1890, 17 Januari 1898, 14 Februari 1903, Mei 1920, 9 September 1932, 2 Februari 1938, 17 Agustus 1980, 12 Maret 1983, 19 Maret 2001, 28 Januari 2004, 2 Mei 2014, 17 Januari 2016, dan 31 Oktober 2017.



Gambar 1.1 Peta seismisitas Provinsi Maluku dan sekitarnya periode 2009 – 2018 [1]

Pada tanggal 26 September 2019 di Pulau Seram terjadi gempabumi dengan magnitudo 6.5 episenter gempabumi berada di  $3.38^{\circ}$  LS dan  $128.43^{\circ}$  BT atau 40 km Timur Laut Ambon-Maluku dengan kedalaman 10 km. Berdasarkan hasil Analisa Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, gempabumi ini dibangkitkan oleh deformasi dengan mekanisme pergerakan dari struktur sesar mendatar (*strike-slip*). Gempabumi ini menimbulkan banyak kerusakan di Pulau Seram (Seram Bagian Barat, Kec. Kairatu), Pulau Ambon dan Pulau Haruku. Wilayah-wilayah yang mengalami kerusakan bangunan parah yaitu wilayah Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu), Desa Liang, Desa Waai, Desa Tulehu, Desa Passo, Kota Ambon, Dasa Haruku dan Desa Kabau. Data dari BPBD Provinsi Maluku (BNPB) menyatakan bahwa gempabumi tersebut menimbulkan banyak korban jiwa dan kerusakan mulai dari rumah warga dan fasilitas umum sebanyak 11.311 unit bangunan (Gambar 1.2). Dengan klasifikasi rusak berat, sedang dan ringan.



Gambar 1.2 Data korban jiwa dan kerusakan gempabumi Ambon 26 September 2019 [2]

Berdasarkan kasus gempabumi diatas, kajian potensi bahaya gempabumi penting dilakukan untuk keperluan perencanaan pembangunan infrastruktur di daerah Maluku khususnya daerah Pulau Ambon, Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu) dan Pulau Haruku melalui pengukuran mikrotremor. Hal inilah yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian bahaya gempabumi didaerah ini.

Salah satu metode untuk mengetahui kondisi geologi suatu tempat, adalah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) yang diusulkan Nakamura et. al [3] yang digunakan untuk merepresentasikan karakteristik struktur tanah. Perkembangan metode ini juga mampu untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah. Parameter metode HVSr (frekuensi natural dan amplifikasi) diperlukan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan dengan metode HVSr secara tepat [4].

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. Tinjauan Pustaka

Studi mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mengetahui nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di suatu daerah, sehingga dapat mengetahui tingkat kerentanan akibat gempabumi telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya Nakamura [3] melakukan penelitian di Jepang dan menemukan metode *Horizontal to vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mengetahui nilai frekuensi dominan.

Identifikasi nilai frekuensi natural dan faktor amplifikasi tanah untuk mendapatkan nilai kerentanan seismik dan periode dominan telah banyak dilakukan. Arifin dkk., [5] melakukan penelitian penentuan zona rawan guncangan gempabumi di daerah Liwa dan sekitarnya berdasarkan data mikrotremor menggunakan metode HVSr. Hasil dari penelitian tersebut diketahui bahwa daerah Kota Liwa memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap guncangan gempabumi. Satria dkk. [6] melakukan penelitian analisis mikrotremor berdasarkan metode HVSr untuk mengetahui Indeks kerentanan seismik Kota Jambi. Pengambilan data mikrotremor sebanyak 50 titik penelitian yang tersebar di Kota Jambi. Hasil dari penelitian menunjukkan korelasi yang relatif mengikuti pola satuan geologi Kota Jambi.

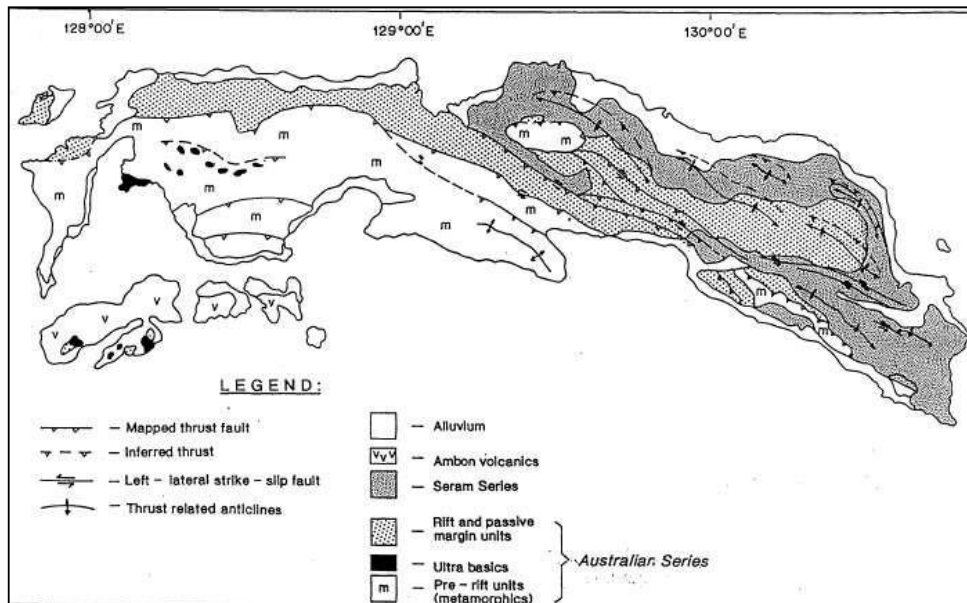
### 2.2. Landasan Teori

#### 2.2.1. Geologi dan tektonik Pulau Seram dan Pulau Ambon

Pulau Ambon yang sebagian besar terdiri dari daerah perbukitan merupakan kawasan yang sangat rentan terhadap terjadinya gerakan massa debris, baik yang berupa aliran debris maupun tanah longsor (*debris flows, landslides and slope failures*). Struktur geologi Kota Ambon sebagian besar tersusun oleh batuan sedimen dan batugamping berumur pra- tersier dan tersier serta sedikit endapan pantai di beberapa daerah. Pada gambar 2.1 berdasarkan mineral pembentuk menunjukkan bahwa Pulau Ambon dan Seram di dominasi oleh batuan alluvium.

Data Stratigrafi menunjukkan bahwa dalam sejarah pembentukan Pulau Ambon dan Pulau Seram paling kurang terjadi dua kali kompresi tektonik dan dua kali *Continental break up*. *Continental break up* pertama yang diikuti oleh kompresi tektonik yang pertama terjadi pada Paleozoik. Kontraksi kerak bumi yang terjadi setelahnya meletakkan batuan- batuan metamorfik tingkat tinggi, seperti granulit, ke dekat permukaan, dan mantel atas tertransport ke atas membentuk batuan-batuan ultra basa. setelah itu, terjadi erosi menyingkap batuan-batuan metamorfik dan disusul dengan *thermal subsidence* yang membentuk deposenter bagi pengendapan Seri Australia. *Continental break up* yang kedua terjadi pada Jura Tengah, dan diikuti oleh pemekaran lantai samudera dari Oxfordian sampai Neocomian. peristiwa ini berkaitan dengan selang waktu tanpa sedimentasi dalam Seri Australia pada Callovian dan Neocomian. Kompresi terakhir terjadi pada Miosen Akhir. Kejadian ini sangat kritis bagi evolusi geologi Pulau Seram dan Pulau Ambon. Interaksi konvergen yang terjadi menyebabkan Seri Australia mengalami *thrusting*, pengangkatan orogenik, dan perlipatan sehingga berubah menjadi batuan sumber bagi Seri Seram. Kompresi itu menyebabkan penunjaman lempeng kerak samudera yang *undefined* ke bawah proto-Seram dan proto-Ambon, dan juga memicu aktifitas vulkanik Ambon dan intrusi granit yang

mengandung kordierit. Sementara itu di proto-Seram muncul basalt Kelang. Pulau Ambon terangkat dan muncul pada Pleistosen [7].



Gambar 2.1. Geologi Pulau Ambon dan Pulau Seram [8]

### 2.2.2. Gelombang seismik

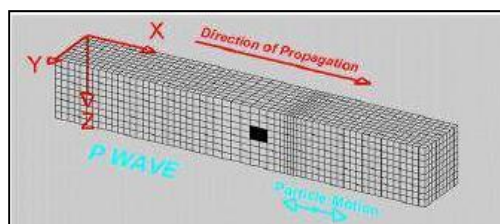
Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat di dalam bumi dan permukaan bumi dimana penyebabnya berasal dari adanya gangguan di dalam kerak bumi, seperti adanya patahan atau ledakan [9]. Sumber dari gelombang seismik juga berasal dari aktivitas seismik seperti gempa bumi tektonik, aktifitas gunung berapi, longsor, dan lain-lain. Gelombang seismik termasuk gelombang elastik karena medium yang dilalui, yaitu bumi yang bersifat elastik. Sifat penjarangan gelombang seismik bergantung ada elastisitas batuan yang dilewatinya. Gelombang seismik termasuk juga gelombang mekanik dimana partikel akan menyebabkan vibrasi (getaran) pada medium yang dilewati gelombang seismik [10]. Gelombang seismik dibagi menjadi dua tipe gelombang berdasarkan penjarannya yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

#### 1. Gelombang badan

Gelombang badan (*body wave*) adalah gelombang yang arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi dan menjalar dalam media elastik. Berdasarkan gerak partikel pada media, dan arah penjarannya, gelombang badan dibagi menjadi dua yaitu:

##### a. Gelombang Primer (P)

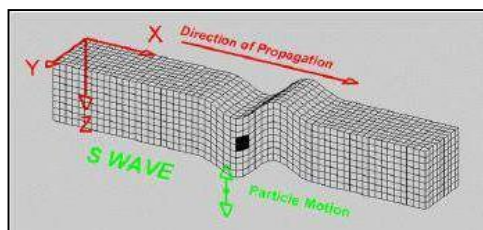
Gelombang primer atau gelombang P adalah gelombang longitudinal atau kompresi yaitu gelombang yang pertama kali terekam pada stasiun gempa bumi ketika gelombang P melewati suatu medium arah partikelnya bergerak searah dengan arah penjarangan gelombangnya, gelombang P dapat merambat melalui medium padat, cair, dan gas.



Gambar 2.2 Penjarangan gelombang P [11]

b. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder disebut juga gelombang S adalah gelombang transversal atau *shear* yaitu Gelombang yang hanya dapat merambat pada medium padat dan arah pergerakan partikelnya tegak lurus terhadap arah pejalarnya. Kecepatan merambat gelombang S relatif lebih lambat dari gelombang P.



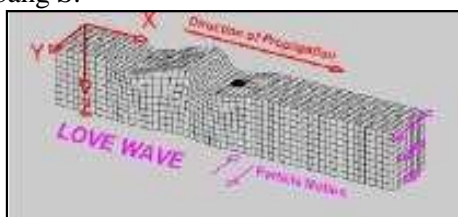
Gambar 2.3 Penjalaran gelombang S [11]

2. Gelombang permukaan

Gelombang permukaan (*surface wave*) merupakan gelombang elastik yang menjalar di permukaan bumi. Gelombang ini memiliki frekuensi rendah dan amplitudo yang besar saat terjadi penjalaran akibat adanya efek permukaan bebas. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua yaitu:

a. Gelombang *Love*

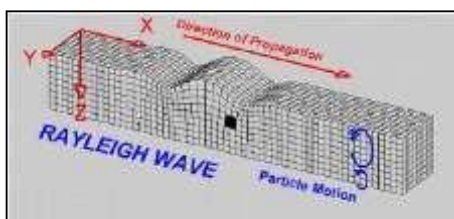
Gelombang *Love* adalah gelombang transversal yang gerak partikelnya tegak lurus dengan arah penjalarannya. Gelombang ini terbentuk akibat adanya interferensi pantulan-pantulan gelombang seismik pada permukaan bebas. Kecepatan gelombang *love* lebih besar dari pada gelombang rayleigh. Namun kecepatan penjalaran gelombang ini lebih kecil dari pada kecepatan gelombang P dan umumnya lebih lambat juga dari gelombang S.



Gambar 2.4 Penjalaran gelombang *Love* [11]

b. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* adalah gelombang permukaan yang gerak partikelnya berbentuk elips terhadap arah penjalarannya. Gelombang ini adalah gelombang permukaan yang disebabkan oleh adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif.



Gambar 2.5 Penjalaran gelombang *Rayleigh* [11]

### 2.2.3. Kecepatan gelombang geser

Kecepatan gelombang geser (*shear wave velocity*) adalah salah satu parameter yang umum digunakan dalam menentukan kekerasan tanah. Kecepatan rata-rata gelombang geser merupakan indikator yang baik untuk menginterpretasikan karakteristik kekuatan dan kekakuan jenis batuan

[12]. Rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter atau disebut  $V_{S20}$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{S20} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}} \quad (2.1)$$

dimana  $h_i$  adalah ketebalan lapisan ke- $i$  (m),  $V_i$  adalah kecepatan gelombang geser pada lapisan ke- $i$  (m/detik) dan  $N$  adalah jumlah lapisan hingga kedalaman 30 m.

Tabel 2.1 Klasifikasi Jenis Tanah berdasarkan SNI 03-1726-2012

Kelas Situs	$V_S$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 75	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir < 25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

#### 2.2.4. Gempabumi

Gempabumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/pergeseran massa batuan di lapisan kerak bumi. Menurut Sunarjo dkk [10], Gempabumi adalah peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik.

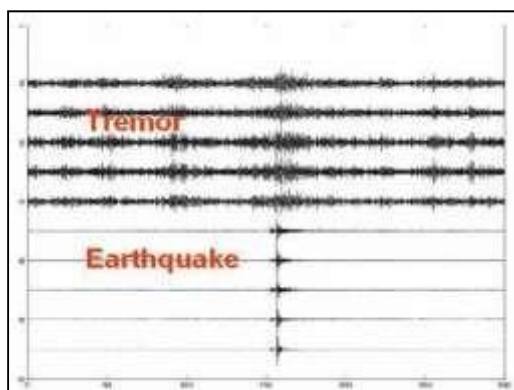
Menurut Press dan Seiver [13], Gempabumi merupakan suatu peristiwa bergetarnya bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba dari suatu daerah kuncian pada bidang patahan yang tidak sanggup menahan akumulasi *stress* yang bekerja akibat pergerakan lempeng tektonik pada kerak bumi yang bersifat kaku. Energi yang dilepaskan berupa gelombang gempabumi yang memancar ke segala arah dimana dampaknya dapat dirasakan hingga ke permukaan bumi. Semakin dekat sumber gempabumi dengan permukaan, maka dampak yang dirasakan di permukaan akan semakin besar. Proses kejadian gempabumi dimulai dari suatu lempeng tektonik yang mengalami tekanan sehingga menyebabkan adanya suatu energi potensial yang terakumulasi, kemudian

lempengan tersebut patah mengakibatkan energi potensial berubah menjadi energi kinetik yang memancar menggetarkan kerak bumi di sekitar patahan.

### 2.2.5. Mikrotremor

Mikrotremor atau *ambient noise* adalah getaran alami tanah yang disebabkan oleh faktor alam seperti angin, gerakan tanah, gelombang laut ataupun faktor manusia seperti aktivitas industri, bangunan, kendaraan dan lain-lain. Mikrotremor juga merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain lain [14]. Mikrotremor juga didefinisikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak di lapisan sedimen permukaan, terpantulkan dengan frekuensi tetap, yang disebabkan oleh getaran mikro dibawah permukaan tanah dan faktor alam lainnya. Penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik struktur tanah pada suatu wilayah berdasarkan parameter periode dominan dan amplifikasi [5]. Pengukuran mikrotremor banyak dilakukan pada penelitian struktur tanah untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah, dengan membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari suatu data terukur atau yang dikenal dengan nama metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR).

Tremor dan gempabumi dapat dibedakan dengan melihat pada rekaman seismograf seperti pada gambar 2.6. Tremor merupakan getaran yang terus menerus, tidak dapat ditentukan dimana awal getarannya secara jelas sedangkan gempabumi merupakan getaran yang terjadi secara tiba-tiba.



Gambar 2.6 Perbandingan sinyal tremor dengan sinyal gempabumi [9]

### 2.2.6. Analisis spektrum

Analisis spektrum adalah analisis yang dilakukan terhadap pengolahan suatu sinyal digital untuk mengubah sinyal dalam domain tertentu (waktu) sehingga diperoleh sinyal dalam domain yang diinginkan (frekuensi). Dalam melakukan proses transformasi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi, diperlukan Transformasi *Fourier* atau *Fast Fourier Transform* (FFT).

Transformasi *fourier* didalam mikroseismik merupakan metode yang sering digunakan untuk mendekomposisi sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan frekuensi tertentu. Sedangkan kumpulan dari gelombang harmonik sinusoidal dikenal sebagai Deret *Fourier*. Tujuan digunakan Transformasi *Fourier* digunakan untuk mengubah data dari domain waktu ke dalam domain frekuensi.

*Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu dan domain frekuensi. Domain waktu (periode) yang dimaksudkan adalah waktu yang dibutuhkan sebuah gelombang untuk mencapai suatu gelombang penuh. Domain frekuensi adalah jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Secara sederhana frekuensi merupakan kebalikan dari waktu, sehingga waktu yang satuannya detik (*second*) akan menjadi *Hertz* (*1/second*) hanya memiliki satu nilai spektrum. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2.2)$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cos(\omega t) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \sin(\omega t) dt \quad (2.3)$$

Keterangan:

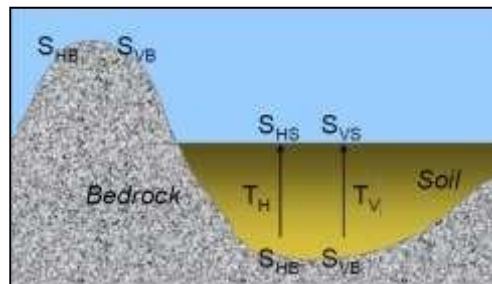
$X(f)$	: Sinyal dalam domain frekuensi
$x(t)$	: Sinyal dalam domain waktu
$e^{-i\omega t}$	: Fungsi kernel
$\omega$	: Frekuensi sudut = $2\pi f$
$f$	: Frekuensi
$t$	: Waktu

### 2.2.7. Metode HVSR

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) salah satu metode yang efektif digunakan untuk mengetahui dinamika lapisan tanah dalam area yang luas, karena dirasa metode HVSR merupakan metode yang cukup efektif. Nakamura memperkenalkan metode HVSR untuk melihat karakteristik dinamika lapisan tanah permukaan yang diakibatkan lokal *site effect* saat gempa bumi [15].

Metode ini menggunakan perbandingan antara komponen horizontal dan komponen vertikal, dimana metode ini diasumsikan rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Pada gambar 2.7 dapat dilihat ilustrasi gerakan seismik di permukaan tanah dimana faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan, faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada lapisan sedimen dilambangkan dengan  $T_H$  dan  $T_V$  [3]. Dengan membandingkan antara spektrum komponen gerak horizontal di permukaan tanah/lapisan lunak (SHS) dengan spektrum komponen gerak horizontal pada lapisan batuan dasar (SHB) diperoleh persamaan faktor amplifikasi horizontal (TH).

$$H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.4)$$



Gambar 2.7 Model cekungan yang berisi material sedimen [16]

Nakamura mencoba memisahkan efek sumber gelombang dengan efek geologi setempat dengan cara menormalisir spektrum komponen horizontal dan vertikal pada titik ukur yang sama. Hasilnya menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada lapisan batuan dasar nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal mendekati 1. Namun pada stasiun yang berada pada lapisan lunak nilai maksimumnya mengalami perbesaran atau amplifikasi.

Prinsip dasar metode HVSR adalah rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di permukaan/lapisan lunak memungkinkan untuk efek gelombang *Rayleigh* dapat dihilangkan, sehingga hanya pengaruh efek geologi setempat. Maka persamaan yang dikemukakan Nakamura:

$$HVSR = \frac{\sqrt{(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2}}{S_{vs}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

SHS	: Spektrum komponen gerak h di permukaan tanah/lapisan lunak
SVS	: Spektrum komponen gerak v permukaan tanah/lapisan lunak

SHB : Spektrum komponen gerak h pada lapisan batuan dasar  
 SVB : Spektrum komponen gerak pada lapisan batuan dasar

#### a. Frekuensi natural

Frekuensi natural atau frekuensi dominan adalah frekuensi yang sering muncul di suatu tempat atau wilayah sehingga dianggap sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut. Sehingga nilai frekuensi natural atau dominan dapat digunakan untuk mengindikasikan karakteristik lapisan batuan pada suatu wilayah. Tahun 1994 Lachet dan Brad [3] melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan tanah. Hasilnya menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi geologi [5]. Pengolahan dengan menggunakan *software* geopsy untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan atau frekuensi natural berdasarkan persamaan berikut:

$$f_0 = \frac{V_S}{4h} \quad (2.6)$$

Dimana  $V_S$  adalah kecepatan gelombang geser dan  $4h$  adalah kedalaman bedrock.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan Mikrotremor oleh Kanai [5]

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	10 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, di dominasi oleh batuan keras
	Jenis II	4 - 10	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
Tipe III	Jenis III	2.5 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m, terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaan termasuk kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
Tipe II	Jenis IV	< 2.5	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top, soil</i> , lumpur, dll dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal
Tipe I				

#### b. Amplifikasi

Amplifikasi adalah peristiwa penguatan suatu gelombang ketika melewati suatu medium yang disebabkan oleh beberapa faktor, untuk gelombang seismik disebabkan oleh perbedaan densitas batuan atau kerapatan dari suatu batuan. Menurut Nakamura et. al [17], amplifikasi dapat terjadi akibat dari adanya perbesaran gelombang seismik karena adanya perbedaan mencolok antar lapisan, dimana gelombang seismik akan mengalami perbesaran ketika melalui medium yang lebih lunak dari pada medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu maka perbesaran gelombang juga semakin besar. Nilai penguatan amplifikasi tanah berkaitan dengan kontras impedansi lapisan di permukaan dan lapisan dibawahnya. Jika kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka terjadi faktor penguatan yang tinggi pula, begitupun sebaliknya. Nilai amplifikasi didapatkan pada pengolahan menggunakan *software* geopsy dengan melihat kurva H/V. secara matematis penentuan nilai amplifikasi didapatkan dengan persamaan berikut:

$$A_0 = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.7)$$

Dimana adalah densitas batuan dasar (m/s), adalah kecepatan rambat gelombang batuan dasar (m/s),

### c. Periode dominan

Periode dominan adalah periode yang sering muncul di suatu wilayah. Periode dominan tanah berkaitan dengan frekuensi natural tanah. Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk merambat melewati lapisan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya [5]. Nilai periode dominan dapat digunakan untuk mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada pada suatu wilayah. Berdasarkan hubungan antara periode dominan dengan frekuensi natural, maka periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (2.8)$$

Dimana  $T_0$  adalah periode dominan dan  $f_0$  adalah frekuensi dominan.

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah berdasarkan nilai periode dominan Mikrotremor oleh Kanai-Omote-Nakajima [5]

Klasifikasi Tanah		Periode Dominan (sekon)	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote-Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0.05 - 0.15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll	Keras
Jenis II		0.15 - 0.25	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> dll	Sedang
Jenis III	Jenis B	0.25 - 0.40	Batuan alluvial, hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i>	Lunak
Jenis IV	Jenis C	> 0.40	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, dll. dengan kedalaman 30m atau lebih	Sangat Lunak

### 2.2.8. Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ )

Indeks kerentanan seismik merupakan suatu bilangan yang dapat menyatakan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan akibat terjadinya perubahan bentuk lapisan tanah tersebut atau deformasi saat terjadi gempa bumi [15]. Indeks kerentanan seismik bermanfaat untuk memprediksi zona lemah ketika terjadi gempabumi. Indeks kerentanan seismik bersama-sama dengan percepatan batuan dasar berguna untuk menghitung nilai regang-geser lapisan tanah permukaan [17]. Gempa bumi merusak terjadi bilamana batas regang-geser terlampaui sehingga terjadi deformasi lapisan tanah permukaan [17]. Indeks kerentanan tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$K_g = \frac{(A_0)^2}{f_0} \quad (2.9)$$

Dimana  $K_g$  adalah indeks kerentanan seismik,  $A_0$  adalah nilai dari amplifikasi tanah daerah penelitian dan  $f_0$  adalah frekuensi dominan daerah penelitian.

### 3. METODE PENELITIAN

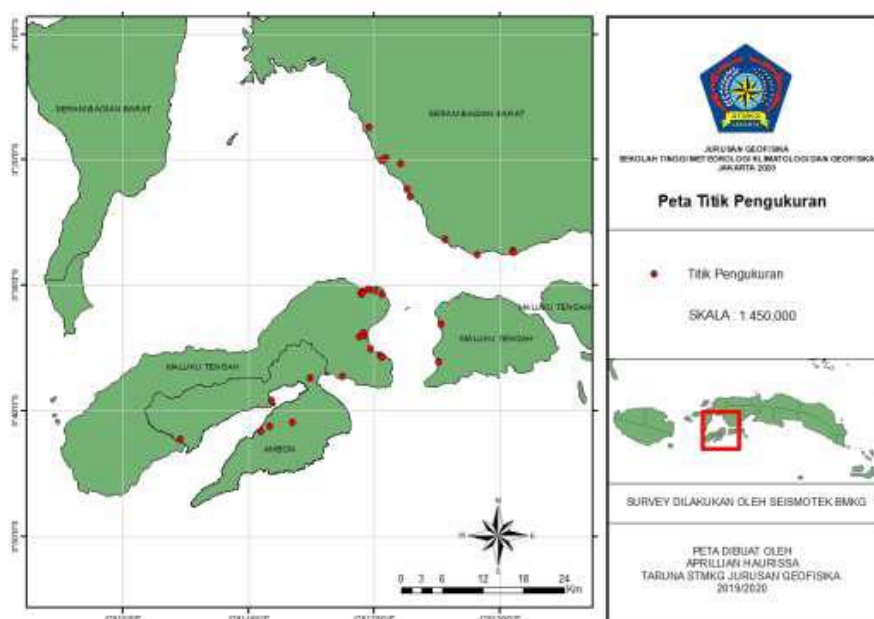
#### 3.1. Model Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif bersifat sistematis dilakukan dengan melakukan pengolahan data hasil pengukuran mikrotremor, Metode yang digunakan dalam penelitian ini metode *Horizontal To vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk mendapatkan nilai frekuensi natural ( $f_0$ ) dan amplifikasi ( $A_0$ ) pada lokasi penelitian. Kemudian digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) dan juga dari nilai frekuensi natural kemudian digunakan untuk menghitung nilai periode dominan tanah ( $T_0$ ) yang selanjutnya digunakan untuk mengklasifikasi jenis dan karakteristik tanah pada lokasi penelitian.

#### 3.2. Prosedur Penelitian

##### 3.2.1. Lokasi penelitian

Survei Mikrotremor dilakukan pada wilayah-wilayah yang mengalami kerusakan yaitu wilayah kabupaten Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu), Pulau Ambon dan Pulau Haruku. Lokasi pengukuran mikrotremor tepatnya berada pada koordinat  $3.28^\circ - 3.80^\circ$  LS dan  $127.90^\circ - 128.60^\circ$  BT.



Gambar 3.1 Lokasi pengukuran mikrotremor

##### 3.2.2. Data penelitian

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data hasil pengukuran langsung di lokasi oleh tim dari Bidang Seismologi Teknik BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) pada tahun 2019. Data yang diperoleh adalah data *waveform* survei Mikrotremor sebanyak 32 titik pengukuran.

##### 3.2.3. Proses pengumpulan data

Data Mikrotremor yang digunakan adalah jenis data sekunder yang diperoleh dari Bidang Seismologi Teknik BMKG, data sinyal digital hasil survei tersimpan pada *memory card*. Data survei mikrotremor yang digunakan adalah data pengukuran di wilayah Kabupaten Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu), Pulau Ambon, dan Pulau Haruku yang dilaksanakan pada tanggal 29 September 2019 sampai dengan 4 Oktober 2019. Perekaman data mikrotremor pada tiap titik yang dilakukan oleh Tim Seismotek BMKG dengan lama waktu perekaman sekitar 30 - 45 menit pada tiap titik. Peralatan yang digunakan dalam survei adalah:

1. Seismometer *Short Period* Lennartz 3d- liteGambar 3.2 Seismometer *Short Period* Lennartz 3d-liteTabel 3.1 Spesifikasi *Seismometer* Lennartz 3d-lite

Tipe	LE-3Dlite MkIII
Konfigurasi	Seismometer 3 komponen (UD, NS, EW)
Batas Frekuensi	100 Hz
Faktor Transduksi	800 V/(m/detik)
Sinyal Keluaran	3 tegangan analog, maks. $\pm 7V$
Catu Daya	+10 ... +16V DC, khususnya 6 mA @ 12V
Dimensi	Diameter: 95 mm, Tinggi: 65 mm
Berat	1.9 kg
Rentang Suhu	-15 ... +60 °C
RMS noise @ 1 Hz	< 3 nm/detik
Rentang Dinamis	> 136 dB

2. *Digitizer* Taurus NanometricsGambar 3.3 *Digitizer* Taurus NanometricsTabel 3.2 Spesifikasi *Digitizer* Taurus Nanometrics

Konfigurasi	All-in-one portable seismograph
Batas frekuensi	0,001 – 1,0 Hz
Penyimpanan	CF/ ATA Disk drive
Sisitem Operasi	Terintegrasi Sistem Operasi Linux
Format Data	MiniSEED, SEISAN, ASCII
<i>Interface</i>	<i>Web browser</i>
Komunikasi	<i>IP Address</i>
Catu Daya	<i>Low power, 750mW</i>
Berat	1.8 Kg
Rentang Dinamis	> 141 dB

### 3. Seismograph Short Period TDL-303

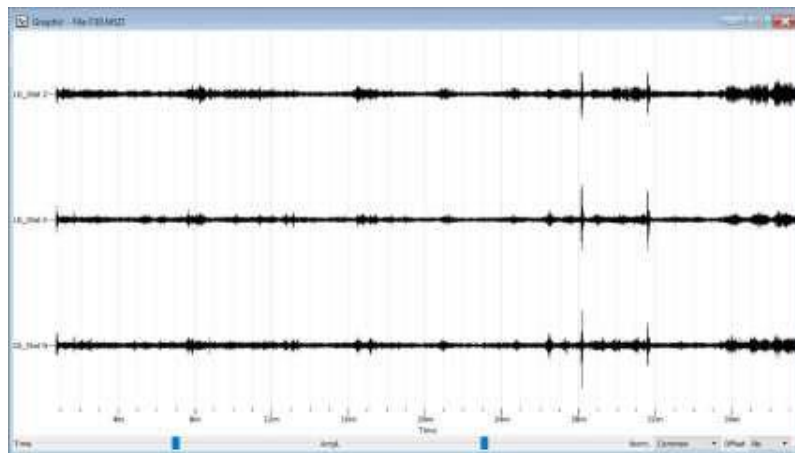


Gambar 3.4 Seismograph Short Period TDL- 303

4. GPS Garmin 76CSx
5. Kompas 5006LM
6. Laptop
7. Perangkat Lunak:
  - a. Software Geopsy versi 3
  - b. Microsoft Excel 2019
  - c. Microsoft Word 2019
  - d. ArcGIS versi 10

#### 3.2.4. Proses pengolahan data

Pengolahan data mikrotremor hasil pengukuran dengan peralatan seismometer short period Lennartz 3d-lite dan shord period TDL-303 menggunakan *software Geopsy* versi 3. Data yang didapatkan dari pengukuran merupakan data dengan format miniSEED. Pada gambar 3.5 dapat dilihat contoh tampilan data mikrotremor, data yang diperoleh terbagi menjadi 3 komponen yaitu komponen Vertikal (Z), Horizontal (Utara-Selatan) dan Horizontal (Timur-Barat).



Gambar 3.5 Contoh tampilan data mikrotremor di Pondok Betung

Data 3 komponen tersebut kemudian diolah menggunakan *software Geopsy* untuk mendapatkan frekuensi natural dan amplitudo maksimumnya. Untuk mendapatkan sinyal utama yang diharapkan maka harus dilakukan *filtering* untuk mengurangi atau menghilangkan gangguan (*noise*) pada sinyal. Kemudian tahap selanjutnya yaitu:

#### a. *Windowing*

*Windowing* dilakukan untuk dapat dapat memilih sinyal yang tidak memiliki gangguan (*noise*) dan stasioner dalam *window* waktu tertentu. SESAME European Project [18], menyarankan untuk mendapatkan data yang paling stasioner memerlukan nilai perbandingan

antara STA (*short term average*) dan LTA (*long term average*). STA adalah rata-rata amplitudo periode pendek (0.5 – 2.0 detik), dan LTA adalah rata-rata amplitudo periode panjang (>10 detik). Jika nilai perbandingan melebihi ambang batas, maka akan dianggap event dan akan dihilangkan pada saat *windowing*. penentuan panjang *window* memiliki syarat minimal agar memiliki minimal 10 *cycle* signifikan pada setiap *window*:

$$l_w = \frac{10}{f_0} \quad (3.1)$$

Dimana  $l_w$  adalah panjang *window* dan  $f_0$  adalah frekuensi puncak H/V.

#### b. *Fast Fourier Transform (FFT)*

Analisis sinyal menggunakan *spectrum fourier transform* berfungsi untuk mengubah data mikrotremor hasil pengukuran yang berupa domain waktu ke domain frekuensi. Dalam analisis HVSR digunakan minimal 10 *window* yang stasioner antara 20 – 50 detik *non-overlapping* seperti yang disarankan oleh SESAME [18].

Setelah dilakukan proses FFT kemudian dilakukan proses *smoothing* untuk mendapatkan hasil spectrum HVSR yang lebih halus, *smoothing* yang digunakan dalam proses ini adalah *smoothing* Konno dan Omachi, dengan *bandwidth* 40. Persamaan Konno dan Omachi [19] adalah sebagai berikut:

$$Wp(f) = \frac{\sin\left[\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_0}\right)\right)^b\right]}{\left[\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_0}\right)\right)^b\right]^4} \quad (3.2)$$

Dimana  $Wp(f)$  adalah fungsi pembobotan,  $f$  adalah frekuensi,  $f_0$  adalah frekuensi pusat yang dihaluskan dan  $b$  adalah koefisien bandwidth.

#### c. H/V

Setelah proses FFT dan *smoothing* dilakukan selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode HVSR, dari dua rasio amplitudo spektrum *fourier* horizontal dan satu rasio amplitudo spektrum *fourier* vertikal dengan persamaan sebagai berikut:

$$R(t) = \left(\frac{\sqrt{FNS(T)^2 + FEW^2}}{FZ(T)}\right) \quad (3.3)$$

Dimana  $R(t)$  adalah spektrum rasio horizontal terhadap vertikal,  $FNS$  adalah spektrum *fourier* di arah horizontal (North- South),  $FEW$  adalah spektrum *fourier* di arah horizontal (East-West), dan  $FZ$  adalah spektrum *fourier* di arah vertikal (Z).

### 3.2.5. Analisis data

Spektrum H/V yang didapatkan dari Analisa secara otomatis dengan *software* Geopsy adalah spektrum dengan nilai amplitude tertinggi. Nilai amplitude tertinggi itulah yang disebut sebagai frekuensi dominan. Hasil dari pengolahan HVSR Kemudian digunakan untuk mencari nilai indeks kerentanan seismik berdasarkan nilai Amplifikasi dan frekuensi dominan dan dari nilai frekuensi dominan yang dapatkan kemudian digunakan untuk mendapatkan periode dominan tanah dari setiap titik sedangkan untuk mengetahui jenis tanah dan karakteristik tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan dan periode dominan yaitu dengan melihat tabel klasifikasi jenis tanah yang dibuat oleh Kanai dan Omote-Nakajima.

## 4. ANALISIS

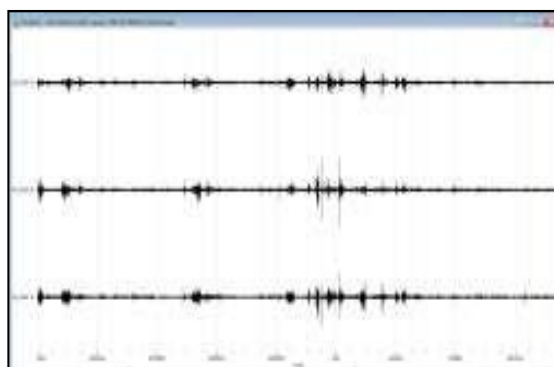
### 4.1. Analisis Data Mikrotremor

Dalam penelitian data didapatkan dari Seismotek dan Litbang BMKG sebanyak 32 titik pengukuran yang tersebar di wilayah Seram Bagian Barat (Kec.Kairatu), wilayah Pulau Ambon dan Pulau Haruku, dengan durasi perekaman sekitar 30 – 45 menit pada tiap titik. Hasil pengukuran

mikrotremor adalah data getaran tanah sebagai domain waktu yang kemudian diolah dengan *software* Geopsy.

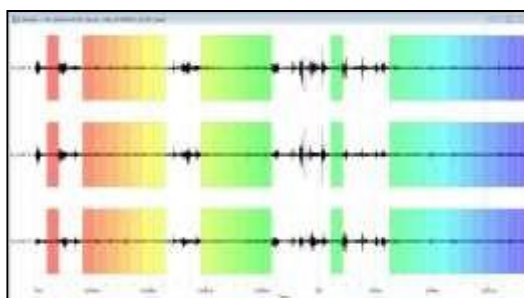


Gambar 4.1 Persebaran titik pengukuran yang digunakan



Gambar 4.2 Data hasil pengukuran Mikrotremor Pada titik T4 tanggal 3 Oktober 2019

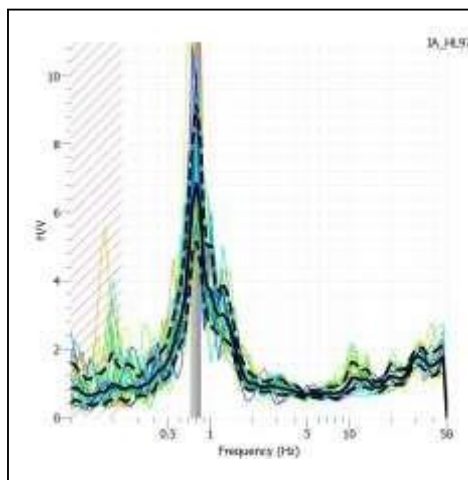
Data gambar 4.2 menunjukkan data perekaman pada titik pengukuran T4 yang terdiri dari tiga komponen yaitu komponen Vertikal (Z), Horizontal (Utara-Selatan) dan Horizontal (Timur-Barat). Data tersebut merupakan hasil perekaman dari *Seismometer Short Period* dengan durasi 30 menit. Data rekaman mikrotremor seperti pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa hasil pengukuran masih terdapat noise sehingga amplitude yang dihasilkan tidak stasioner. *Noise* tersebut dapat bersumber dari gelombang permukaan maupun dari aktivitas manusia. Menurut Nakamura [17] perlu dilakukan proses pemilihan window yang berupa sinyal yang stasioner atau kostan. Hal tersebut dilakukan agar *peak* dari kurva HVSR yang dihasilkan dapat mempresentasikan geologi setempat. Artinya getaran yang dipilih merupakan fungsi transfer antara getaran gelombang pada sedimen dan *bedrock*. sehingga dihasilkan sinyal sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 4.3 Proses pemilihan window untuk titik T4 pada software Geopsy

Berdasarkan persamaan 3.1 proses pemilihan *time window* untuk mendapatkan kurva H/V, maka digunakan lebar *window* 20.00 s, dijelaskan bahwa penentuan *length window* bergantung pada target frekuensi terendah yang ingin dicapai, dan sesuai dengan yang direkomendasikan oleh SESAME yaitu 0.5 Hz.

Pada gambar 4.3 menunjukkan hasil observasi mikrotremor pada titik T4 digunakan durasi sinyal selama 2100 s (35 menit), dengan jumlah *window* terpilih sebanyak 27. Dari proses windowing tersebut menunjukkan telah memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SESAME [20], yang artinya hasilnya dapat dipercaya. Kemudian untuk pendeteksian sinyal transient dilakukan perbandingan *short term average* (STA) dan *long term average* (LTA) dan juga menggunakan algoritma anti triggering. Pada pengolahan data ini digunakan anti *triggering raw signal* dengan nilai STA 1.00 s dan LTA 30.00 s. Untuk sinyal yang tidak sesuai dapat dilakukan *remove*.



Gambar 4.4 Kurva HVSR pada titik T4

Selanjutnya dilakukan proses *fast fourier transform* (FFT) dihitung pada masing-masing komponen dari sinyal yang dipilih dan estimasi yang *reliable* dari kurva HVSR. Dalam proses analisa kurva HVSR menggunakan *smoothing* yang dibuat Konno dan Ohmachi dengan bandwidth sebesar 40. Setelah dilakukan transformasi *fourier* pada tiap komponen, kemudian dianalisa dengan metode HVSR sesuai dengan persamaan 3.3 yaitu akar dari amplitude spektrum *fourier* horizontal (*Nourth-South* dan *East-West*) dibagi dengan spektrum *fourier* vertikal. Dari analisa HVSR kemudian didapatkan kurva HVSR.

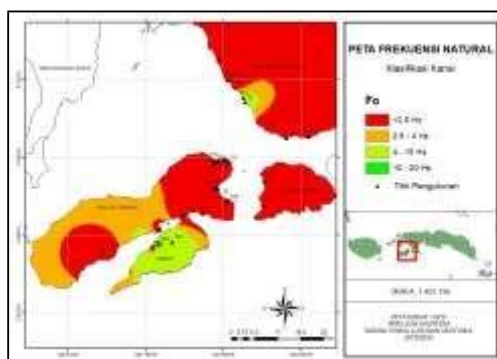
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa kurva garis hitam merupakan rata-rata dari kurva-kurva yang berwarna, sedangkan dua kurva hitam yang bergaris putus-putus menunjukkan standar deviasi. Nilai frekuensi dominan dan amplifikasi ditunjukkan dengan kurva berwarna abu-abu. Pada titik pengukuran T4, berdasarkan kurva tersebut memiliki nilai frekuensi dominan 0.789 Hz dan nilai amplifikasi 6.821.

#### 4.2. Analisis Frekuensi Natural

Berdasarkan penelitian oleh Nakamura, menunjukkan bahwa frekuensi natural HVSR dipengaruhi oleh dua parameter yaitu kecepatan gelombang geser dan kedalaman *bedrock*. Berdasarkan hasil pengolahan, nilai frekuensi natural dari hasil pengolahan data pada penelitian ini berkisar 0.504 Hz – 13.357 Hz. Untuk Pulau Ambon, wilayah yang memiliki frekuensi natural yang rendah adalah Desa Passo dengan nilai 0.504 Hz, sedangkan wilayah yang memiliki frekuensi natural yang tinggi adalah Kelurahan Amantelu dengan nilai 13.357 Hz. Untuk Pulau Haruku terdapat dua titik pengukuran yang frekuensi naturalnya rendah dengan nilai < 2.5 Hz yaitu wilayah Desa Haruku dan Desa Kabau, sedangkan untuk wilayah Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu) yang memiliki frekuensi natural rendah adalah Desa Waimital dengan nilai 0.517 Hz dan wilayah yang memiliki frekuensi natural yang tinggi adalah Desa Kelapa Dua dengan nilai 6.240 Hz.

Frekuensi natural dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik lapisan batuan pada suatu wilayah. Sehingga berdasarkan Tabel 2.2 klasifikasi tanah menurut Kanai dapat dilihat bahwa titik pengukuran di Pulau Ambon dominannya memiliki klasifikasi tanah jenis IV yang artinya memiliki ketebalan sedimen yang sangat tebal. Namun ada beberapa titik pengukuran di wilayah Pulau Ambon yang memiliki klasifikasi tanah yang berbeda seperti Desa Waai (T6) yang masuk dalam klasifikasi tanah jenis III memiliki ketebalan sedimen yang masuk ketagori tebal. Kemudian

desa Kebun Cengkeh (T30) dengan klasifikasi tanah jenis II memiliki ketebalan sedimen katagori menengah dan Kelurahan Amantelu (T32) yang masuk dalam klasifikasi tanah jenis I memiliki ketebalan sedimen yang tipis dan didominasimbatuan keras. Untuk Pulau Haruku dan wilayah Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu) dominannya memiliki klasifikasi tanah jenis IV yang artinya memiliki ketebalan sedimen yang sangat tebal. Namun terdapat beberapa desa yang menjadi titik pengukuran di wilayah Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu) yang memiliki klasifikasi tanah jenis II yang berarti memiliki ketebalan sedimen katagori menengah.



Gambar 4.5 Peta sebaran nilai frekuensi natural di wilayah Seram Bagian Barat (Kec.Kairatu), wilayah Pulau Ambon dan Pulau Haruku, berdasarkan klasifikasi Kanai

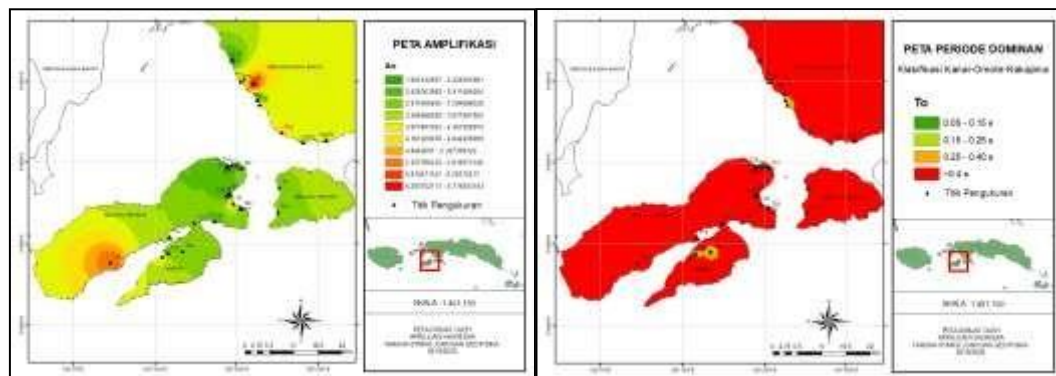
Tabel 4.1 Nilai Frekuensi Natural pada tiap titik pengukuran

Fo (Hz)	Jenis	Titik Pengukuran	Deskripsi
10- 20	I	T32	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, di dominasi oleh batuan keras
4-10	II	T2, T22, T30	Ketebalan sedimen ketegori menengah 5-10 meter
2.5-4	III	T6	Ketebalan sedimen ketegori tebal, sekitar 10 – 30 meter
<2.5	IV	T1, T3, T4, T5, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T23, T24, T25, T26, T27, T28, T29, T31	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal

#### 4.3. Analisis Amplifikasi ( $A_0$ )

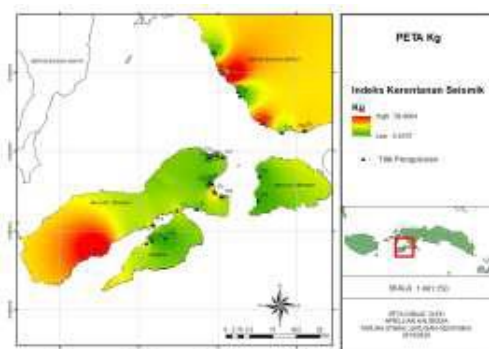
Nilai Amplifikasi dari hasil pengolahan data pada penelitian ini berkisar 1.899 – 6.821. Nilai amplifikasi terendah secara keseluruhan pada daerah penelitian terdapat di Pulau Ambon tepatnya di Desa Liang sedangkan nilai amplifikasi tertinggi terdapat di Pulau Seram tepatnya di Desa Kairatu.

Menurut Nakamura [17] parameter puncak HVSR/Amplifikasi yang dapat merusak bangunan adalah berkisar  $> 3$  dan berkorelasi dengan frekuensi yang rendah. Daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang tinggi dimungkinkan akan terjadi penguatan gelombang yang lebih besar daripada daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang kecil. Pada gambar 4.6 dapat dilihat pada Pulau Ambon, wilayah titik pengukuran yang memiliki nilai amplifikasi yang tinggi terdapat pada Desa Laha (T18) dan Desa Tulehu (T8). Untuk dua titik pengukuran pada Pulau Haruku memiliki nilai amplifikasi yang relatif rendah. Sedangkan untuk wilayah Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu), titik pengukuran yang memiliki nilai amplifikasi yang tinggi terdapat pada Desa Waipirit (T24), Kairatu (T4), dan Kamariang (T12).



#### 4.4. Analisis Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ )

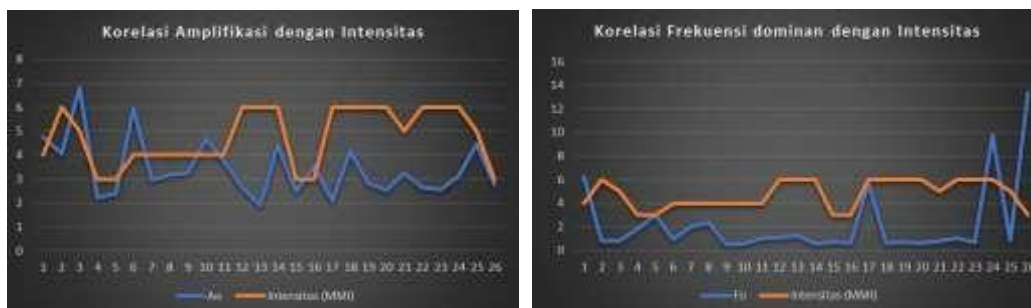
Indeks kerentanan seismik atau indeks kerentanan tanah diperoleh berdasarkan nilai dari frekuensi natural dan faktor amplifikasi. Nilai indeks kerentanan seismik berkaitan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah dari ancaman gempa bumi yang menimbulkan kerusakan. Apabila nilai indeks kerentanan seismik semakin besar maka tingkat resiko kerusakan yang ditimbulkan akan semakin besar pula. Saaduddin dkk. [21] mengatakan bahwa nilai amplifikasi suatu daerah berpengaruh besar dengan tingkat kerentanan suatu daerah ketika terjadi gempa bumi. Berdasarkan hasil pengolahan yang dilakukan diperoleh indeks kerentanan seismik pada wilayah penelitian, gambar 4.8. dari hasil perhitungan berdasarkan persamaan 2.9, diperoleh indeks kerentanan seismik berkisar 0.5707 – 58.9684. Pada Pulau Ambon terdapat beberapa wilayah titik pengukuran yang memiliki indeks kerentanan seismik yang relatif tinggi yaitu Desa Laha (T18) dan Desa Tulehu (T8). Sedangkan untuk Pulau Haruku indeks kerentanan seismik relatif rendah, dan untuk wilayah Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu) terdapat beberapa titik pengukuran yang memiliki indeks kerentanan seismik relatif tinggi yaitu Desa Waipirit (T24), Kairatu (T4), dan Kamariang (T12). Maka dapat disimpulkan bahwa wilayah titik pengukuran yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi merupakan wilayah yang relatif tidak aman ketika terjadi gempa bumi.



Gambar 4.8 Peta sebaran indek kerentanan seismik di wilayah Seram Bagian Barat (Kec.Kairatu), wilayah Pulau Ambon dan Pulau Haruku

#### 4.5. Validasi Nilai Parameter Penelitian Terhadap Data Makroseismik Event Gempabumi Ambon 26 September 2019

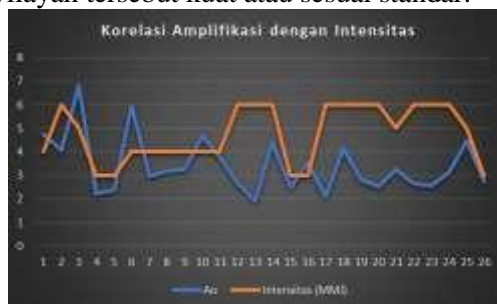
Data makroseismik yang didapatkan dari seismotek setelah melakukan pengukuran pada lokasi-lokasi kerusakan akibat gempabumi Ambon 26 september 2019 adalah sebanyak 26 Titik, dan ada beberapa titik pengukuran mikroseismik yang tidak terdapat data pengukuran makroseismik. Sehingga dari data yang ada hasil korelasi dari nilai intensitas dengan parameter-parameter yang di oleh dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.9 – 5.1.



Gambar 4.9 Korelasi frekuensi natural dengan intensitas

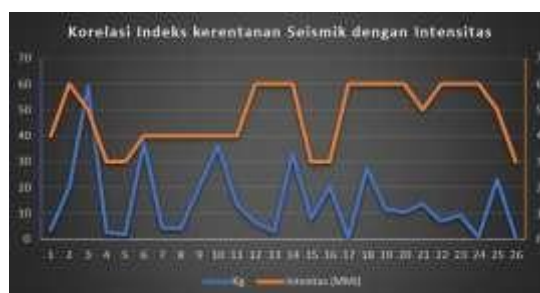
Berdasarkan gambar 4.9, dapat dilihat bahwa ada keterkaitan antara frekuensi natural pada wilayah penelitian dengan kerusakan akibat gempa bumi, namun ada beberapa titik pengukuran yang tidak berkaitan seperti titik T20 (15) dan T21 (16) dimana nilai frekuensi naturalnya rendah namun intensitasnya kecil, hal ini disebabkan karena konstruksi bangunan di wilayah tersebut kuat, sehingga tidak terjadi kerusakan, sedangkan untuk titik pengukuran T30 (24) memiliki frekuensi natural yang tinggi namun intensitasnya besar, hal ini disebabkan karena konstruksi bangunan pada wilayah tersebut yang tidak kuat atau tidak sesuai standar, sehingga terdapat kerusakan bangunan pada daerah tersebut.

Pada gambar 5.0 dapat dilihat bahwa adanya korelasi antara nilai amplifikasi dengan data makroseismik (intensitas), jika nilai amplifikasi tinggi maka ketika terjadi gempa bumi dimungkinkan terjadi potensi guncangan yang kuat. Seperti yang terlihat pada gambar 5.0, ketika amplifikasinya tinggi maka intensitasnya juga akan besar, namun dapat dilihat pada titik T21 (16) yang memiliki nilai amplifikasi tinggi tetapi intensitasnya kecil, hal ini disebabkan karena konstruksi bangunan pada wilayah tersebut kuat atau sesuai standar.



Gambar 5.0 Korelasi Amplifikasi dengan intensitas

Korelasi nilai indeks kerentanan seismik dengan data makroseismik (intensitas) gambar 5.1. Dapat dilihat bahwa tidak begitu berkorelasinya kedua data tersebut, dikarenakan pada hampir sebagian besar titik pengukuran di wilayah penelitian dengan nilai indeks kerentanan seismik rendah memiliki intensitas yang tinggi, hal ini kemungkinan disebabkan oleh faktor kondisi geologi dan bangunan yang tidak sesuai standar, hal ini didukung dengan laporan hasil survei gempa bumi Ambon 26 september 2019, bahwa sebagian besar rumah yang rusak memiliki kondisi pondasi yang tidak baik atau tidak memiliki pondasi, sehingga menyebabkan wilayah dengan nilai indeks kerentanan seismik rendah tersebut mengalami kerusakan.



Gambar 5.1 Korelasi indeks kerentanan seismik dengan intensitas

## 5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian yang dilakukan adalah:

- 1) Nilai indeks kerentanan seismik yang didapat pada wilayah penelitian berkisar 0.5707 – 58.9684. nilai indeks kerentanan seismik relatif tinggi pada pulau Ambon terdapat pada desa Laha (T18) 43.6522 dan Tulehu (T8) 37.1500, sedangkan wilayah Seram Bagian Barat (Kec. Kairatu) yaitu desa Waipirit (T24) 47.6100, Kairatu (T4) 58.9684, dan Kamariang (T12) 36.2064
- 2) Klasifikasi tanah pada wilayah penelitian menurut klasifikasi tanah berdasarkan frekuensi dominan yang ditetapkan Kanai dan periode dominan yang telah ditetapkan Omote-Nakajima. Secara keseluruhan wilayah penelitian dominannya memiliki klasifikasi tanah jenis IV atau jenis C dengan karakter sangat lunak, Adapun wilayah yang berbedah adalah wilayah Kelurahan Amantelu (T32), Desa Kebun cengkeh (T30), Desa Waiselang (T22) dan Desa Kelapa Dua (T2) yang memiliki jenis tanah I – II atau jenis A dengan karakter keras hingga sedang.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Setiyono *et al.*, *Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821 – 2018*. Pusat Gempabumi dan Tsunami BMKG.
- [2] BNPB, “Infografis penanganan bencana gempabumi Ambon, Maluku, 23 Oktober 2019,” 2019.
- [3] C. Lachet and P. Y. Bard, “Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura’s Technique,” *J. Phys. Earth*, vol. 42, no. 5, pp. 377–397, 1994, doi: 10.4294/jpe1952.42.377.
- [4] S. B.J. Santosa, “Karakterisasi Kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur Dan Permodelan,” *J. Neutrino*, Mar. 2012, doi: 10.18860/NEU.V0I0.1662.
- [5] R. S. Satria Subkhi Arifin, Bagus Sapto Mulyatno, Marjiyono, “Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi Hvsr Mikrotremor Dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa Dan Sekitarnya,” *Geofis. Eksplor.*, vol. 2, no. 1, p. 17, 2014.
- [6] A. Satria, N. Larasati, W. L. Hsb, I. K. Dewi, and S. Si, “Analisis Mikrotremor berdasarkan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio untuk Mengetahui Indeks Kerentanan Seismik Kota Jambi.,” *J. Tek. Kebumihan*, vol. 5, no. 2, pp. 1–6, Apr. 2020, doi: 10.36565/JTK.V5I2.8153.
- [7] W. B. Setyawan, B. Wijaya, and A. Guntoro, “Mengurai Perkembangan Tektonik Pulau Seram dan Ambon | Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,” 2000.
- [8] J. Budiman, “Geologi Pulau Seram .” <https://jsbudiman.wordpress.com/2012/08/27/geologi-pulau-seram/>
- [9] Ibrahim, Gunawan, and Subardjo, *Pengetahuan Seismologi*. Badan Klimatologi Klimatologi dan Geofisika, 2005.
- [10] Sunarjo, M. T. Gunawan, and S. Pribadi, *Gempa bumi : edisi populer* , vol. Cetakan ke-2. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2012.
- [11] L. W. Braile, “Seismic Waves and the Slinky: A Guide for Teacher,” *Purdue University*. 2004.
- [12] C. B. Park, R. D. Miller, J. Xia, and J. Ivanov, “Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods,” *Lead. Edge V.* 26, 2007,
- [13] F. Press and R. Siever, *Understanding Earth, 2nd ed*, vol. 135, no. 6. Cambridge University Press, 1998. doi: 10.1017/S0016756898511508.
- [14] Kenji Kanai, “Engineering seismology,” *Tokyo University*, 1983.
- [15] Y. Nakamura, “Seismic Vulnerability Indices For Ground And Structures Using Mikrotremor,” 1997.
- [16] S. Slob, “Micro Seismic Hazard Analysis.” International Institute For Geo-information Science and Earth Observation, 2007.

- 
- [17] Y. Nakamura, E. D. Gurler, J. Saita, and S. Donati, "Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor," *12th WCEE*, 2000.
  - [18] B. Pierre-Yves *et al.*, "Site Effects Assessment Using Ambient Excitations," 2004.
  - [19] T. O. Katsuaki Konno, "Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor — Shibaura Institute of Technology," *Bulletin of the Seismological Society of America*.
  - [20] P.-Y. Bard, T.-C. Paula, C. Acerra, G. Aguacil, and A. Anastasiadis, "Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations Measurements, Processing And Interpretation SESAME European research project WP12-Deliverable D23.12," 2004,
  - [21] Saaduddin, Sismanto, and Marjiyono, "Estimasi ground shear strain Kota Padang Sumatera Barat berdasarkan respon mikrotremor," 2016.