

## **BAB III**

### **TEORI DASAR**

#### **3.1 Tinjauan Teori Perambatan Gelombang Seismik**

Seismologi adalah ilmu yang mempelajari gempa bumi dan struktur dalam bumi dengan menggunakan gelombang seismik yang dapat ditimbulkan dari gempa bumi atau sumber lain (Gunawan, 1985). Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode penimbulan gelombang seismik secara aktif, biasanya digunakan pada seismik eksplorasi. Sedangkan metode pasif adalah gangguan yang muncul terjadi secara alamiah, contohnya gempa bumi, baik yang diakibatkan oleh letusan gunungapi maupun gempa tektonik. Gempa bumi menggambarkan proses dinamis yang melibatkan akumulasi *stress* atau tekanan dan pelepasan *strain*. Gempa bumi terjadi karena adanya gelombang seismik. Pada umumnya perambatan gelombang seismik pada struktur kerak bumi yang berbeda akan menghasilkan perbedaan karakteristik respon seismik yang berbeda pula. Perbedaan karakteristik respon seismik tersebut berdasarkan sumber, jalur, dan efek lokal. Saat terjadi gempa bumi, gelombang yang terekam di stasiun seismik bukanlah gelombang yang sebenarnya, melainkan sudah

mengalami hasil perambatan yang dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$O(f) = F(f) \cdot P(f) \cdot S(f) \cdot I(f)$$

Di mana  $O(f)$  adalah pengamatan gerak spektrum fourier di stasiun,  $F(f)$  adalah spektrum radiasi dari wilayah focal (sumber efek),  $P(f)$  adalah karakteristik radiasi dari pergerakan gelombang yang melewati medium (jalur efek),  $S(f)$  adalah karakteristik lapisan dekat permukaan melalui pengamatan stasiun (situs efek ) dan  $I(f)$  adalah instrumental respon.

Ketika sifat diskontinuitas dalam medium terdapat kontras impedansi pada dua lapisan atau lebih, akan menyebabkan gelombang terjebak dengan multiple refleksi dalam lapisan tersebut, sehingga terjadilah resonansi. Frekuensi resonansi ini berkaitan dengan ketebalan dan sifat elastis dari bagian atas lapisan yang dituliskan dalam persamaan seperti berikut:

$$f_n = \frac{(2n-1) V_s}{4H}$$

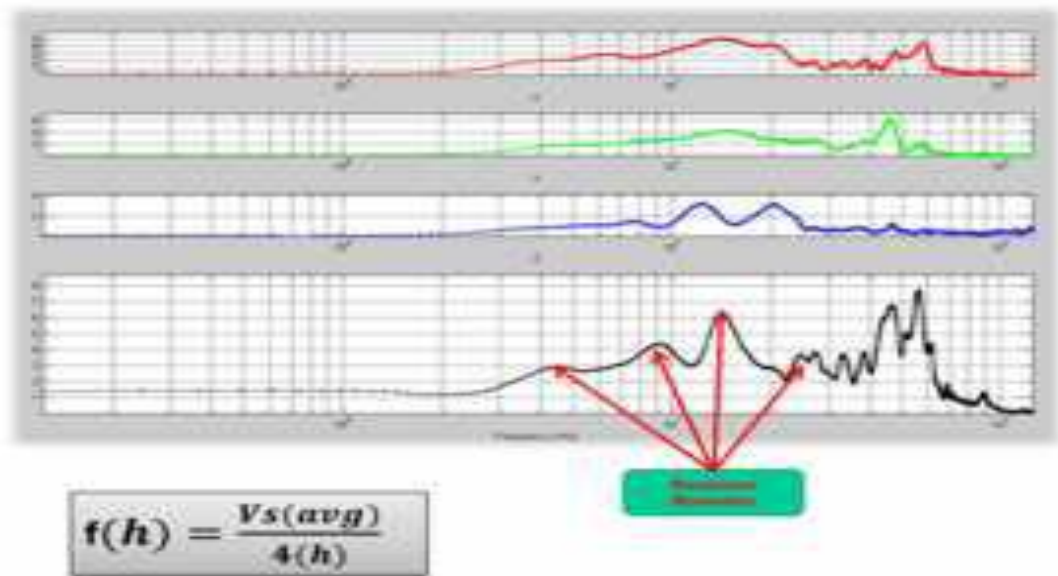
dengan  $n = 1, 2, 3, \dots$

$n= 1$  jika terjadi resonansi pertama,  $n= 2$  jika terjadi resonansi kedua,  $f_n$  adalah frekuensi resonansi pada fundamental mode,  $V_s$  adalah Kecepatan Gelombang Geser (Shear), dan  $H$  adalah Ketebalan dari Lapisan Atas.

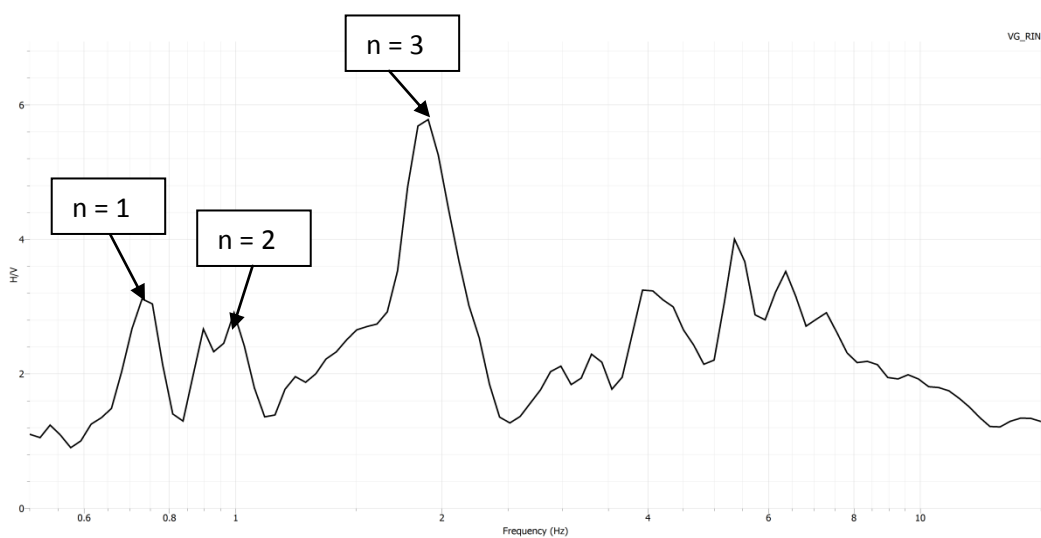
Frekuensi resonansi yang berkaitan dengan ketebalan sedimen lunak terjadi pada fundamental mode ( $n=1$ ),  $f_n$  mode kedua ( $n=2$ ), dan seterusnya (**Gambar 3.1**).

Untuk mode dasar,  $n = 1$ , frekuensi resonansi ditulis dengan persamaan :

$$f_n = \frac{V_s}{4H}$$



**Gambar 3.1** Respons Resonansi Pada Permukaan (Syarifuddin, dkk, 2015)



**Gambar 3.2** Grafik HVSR Model Variasi Ketebalan Lapisan

### 3.2 Tinjauan Teori *Ambient Seismic Noise*

Mikrotremor dapat diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak dilapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Sumber dari ambient noise seismik yaitu gelombang laut, angin, bangunan, industri mesin, dan yang berkaitan dengan aktivitas manusia. Berdasarkan dari berbagai pengamatan yang dilakukan oleh Gutenberg (1958), Asten (1978), menyimpulkan bahwa frekuensi rendah berkisar ( $< 1$  Hz) merupakan sumber noise seismik alami, sedangkan frekuensi menengah berkisar (1-5 Hz) merupakan sumber alami dan *cultural*, dan frekuensi tinggi sumbernya berasal dari aktivitas manusia. Pengamatan tersebut terdapat dalam tabel sumber *ambient noise* seismik dibawah ini:

**Tabel 3.1** Sumber dari ambient noise seismik

Seismic Noise Sources	Gutenberg (1958)	Asten (1978, 1984)
Oceanic Waves	0.05 – 0.1 Hz	0.5 – 1.2 Hz
Monsoon / Large scale meteorological perturbations	0.1 – 0.25 Hz	0.16 – 0.5 Hz
Cyclones over the oceans	0.3 – 1.0 Hz	0.5 – 3.0 Hz
Local scale meteorological conditions	1.4 – 5.0 Hz	-
Volcanic tremor	2 – 10 Hz	-
Urban	1 – 100 Hz	1.1 – 30.0 Hz

Penggunaan ambien noise seismik digunakan untuk menilai situs efek, estimasi profil kecepatan gelombang geser, peta ketebalan sedimen, pencitraan kerak bumi, dan pemantauan perubahan kecepatan pada gunungapi (Syahbana, 2013).

### **3.3 Tinjauan Teori *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)***

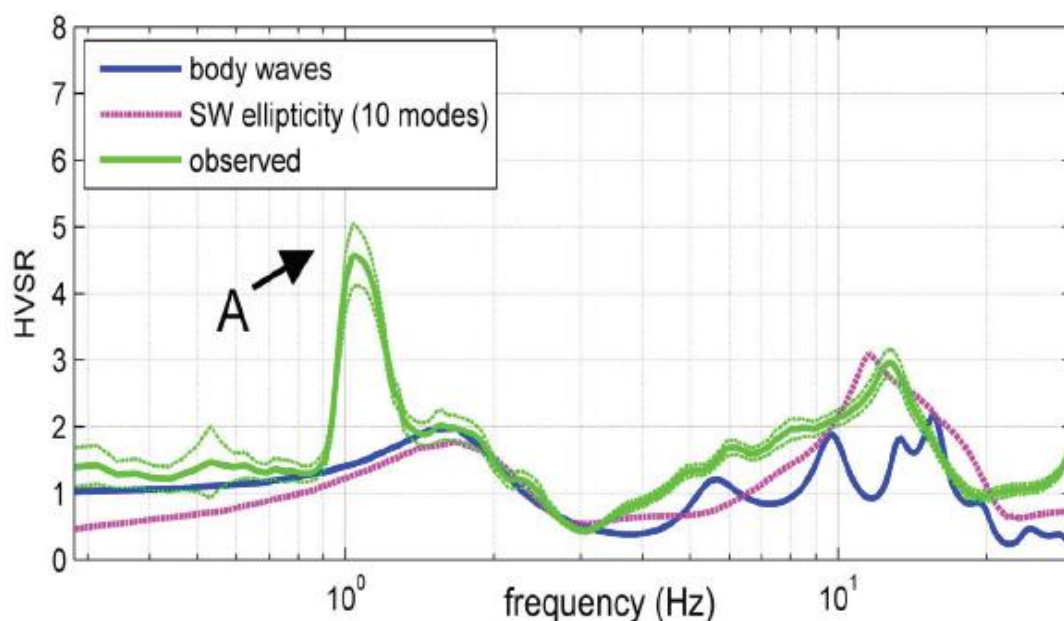
Metode HVSr merupakan metode geofisika yang sedang berkembang pesat dan dapat memberikan informasi tentang nilai frekuensi dominan dan penguatan gelombang gempa. Salah satu aplikasi metode ini adalah estimasi tingkat kerentanan bahaya gempa bumi dan juga dapat digunakan untuk mengestimasi dinamika aktivitas gunungapi. Metode ini diusulkan oleh Nogoshi dan Iragarashi (1971), yang selanjutnya dikembangkan oleh Nakamura (1989, 2000, 2008). Metode HVSr digunakan dengan beberapa asumsi yaitu:

1. Mikrotremor sebagian besar terdiri-dari gelombang geser,
2. Komponen vertikal gelombang tidak diamplifikasi lapisan tanah lunak dan hanya komponen horisontal yang teramplifikasi,
3. Batuan dasar (*basement*) menyebarkan gelombang ke segala arah,
4. Gelombang Rayleigh diasumsikan sebagai *noise* mikrotremor dan diusulkan metode untuk mengeliminasi efek gelombang Rayleigh.

Pada metode HVSr, terdapat 2 data komponen horisontal EW dan NS dan satu data komponen vertikal. Penggabungan kedua data horisontal, biasanya dilakukan berdasarkan kaidah Pythagoras dalam fungsi frekuensi. Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$R(f) = \frac{\sqrt{H_{EW}^2(f) + H_{NS}^2(f)}}{V_{UD}(f)}$$

Dimana,  $R(f)$  adalah spektrum rasio HVSR,  $H_{EW}(f)$  adalah spektrum komponen horisontal barat-timur,  $H_{NS}(f)$  adalah spektrum komponen horisontal utara-selatan, dan  $V_{UD}(f)$  adalah spektrum komponen vertikal.



**Gambar 3.3** Perbandingan kurva HVSR. HVSR pengukuran, permodelan dengan basis gelombang badan dan gelombang permukaan mode dasar sampai mode ke-9 (Dal Moro, 2010)

Metode HVSR dilakukan dengan cara estimasi rasio spektrum Fourier komponen vertikal terhadap komponen horisontal. Frekuensi natural setempat merupakan frekuensi pada rasio HVSR puncak pertama, sedangkan rasio HVSR pada frekuensi natural merupakan nilai amplifikasi geologi setempat (SESAME, 2004; Tuladhar, 2002). Kemampuan teknik HVSR bisa memberikan informasi yang bisa diandalkan dan diasosiasikan dengan efek lokal yang ditunjukkan secara

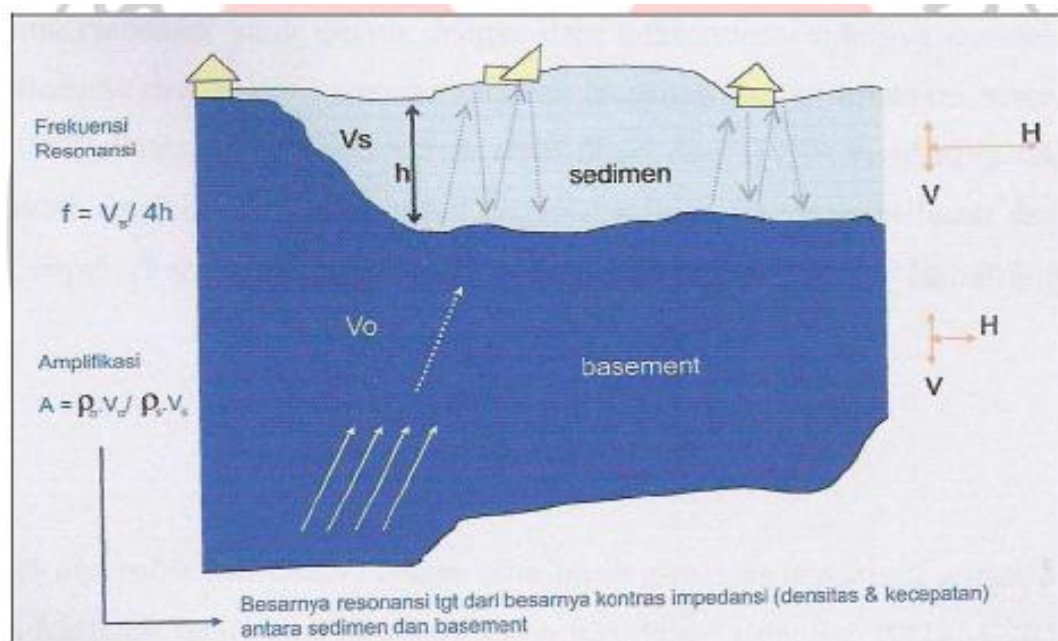
cepat yang dikorelasikan dengan parameter HVSR yang dicirikan oleh frekuensi natural rendah (periode tinggi) dan amplifikasi tinggi (**Gambar 3.3**). Sehingga untuk Estimasi frekuensi, redaman dan indeks kerentanan pada getaran bangunan dari eksitasi amplitudo kecil dinilai akurat dan stabil (Farsi, 2002). Selain sederhana dan bisa dilakukan kapan dan dimana saja, teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi secara langsung tanpa harus mengetahui struktur kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah permukaan lebih dulu. Penggunaan mikrotremor sendiri telah banyak dilakukan untuk mengidentifikasi resonansi frekuensi dasar bangunan dan struktur tanah di bawahnya. Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR adalah frekuensi natural dan amplifikasi. HVSR yang terukur pada tanah bertujuan untuk karakterisasi geologi setempat, frekuensi natural dan amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan (Herak, 2008). Pada analisis HVSR sedimen mungkin terkontaminasi respon bangunan, sehingga identifikasi resonansi dimungkinkan salah. Pada penelitian kami, metode ini kami gunakan untuk memantau perubahan sifat fisik vulkanik berdasarkan penggunaan ambient noise seismik yang diukur hanya pada satu stasiun seismik. Kami menggunakan teknik *horizontal-to-vertical spektral rasio* (HVSR) terhadap waktu dalam rangka untuk melihat temporal variasi dari frekuensi resonansi fundamental. Metode ini sangat menguntungkan dengan kesederhanaan analisis hanya dari satu seismometer tiga komponen. Metode ini diterapkan untuk memantau perubahan aktivitas vulkanik yang didasarkan pada karakteristik frekuensi resonansi fundamental yang berasal dari kurva HVSR yang biasanya di ulang pada suatu tempat kecuali jika terjadi gangguan. Apabila terjadi perubahan atau gangguan

pada gunungapi akibat aktivitas vulkanik pada gunungapi, maka HVSR mendeteksi perubahan tersebut melalui kurva frekuensi HVSR (Syahbana, 2013).

### 3.4 Landasan Teknis HVSR Pada Gunungapi

Konsep dasar fenomena amplifikasi gelombang seismik oleh adanya batuan sedimen yang berada diatas basement dengan perbedaan densitas dan kecepatan pada lapisan sedimen ( $V_s$ ), kecepatan pada lapisan basement ( $V_o$ ) yang lebih dominan (**Gambar 3.4**).

Frekuensi resonansi banyak ditentukan oleh fisik dari lapisan sedimen yang ketebalan ( $h$ ) dan kecepatan gelombang S ( $V_s$ ), (Cipta dan Athanasius, 2009).



**Gambar 3.4** Konsep Dasar amplifikasi gelombang seismik

(Cipta dan Athanasius, 2009)

Metode HVSR didasarkan pada pengolahan rekaman mikrotremor yang hasil intepretasi kurva fungsi HVSR tersebut dapat memberikan perkiraan distribusi energi pada rentang frekuensi tertentu, dimana energi dominan merefleksi



frekuensi resonansi struktur batuan. Metode HVSR merupakan metode geofisika yang sedang berkembang pesat dan dapat memberikan informasi tentang nilai frekuensi dominan dan penguatan gelombang gempa. Salah satu aplikasi metode ini adalah estimasi tingkat kerentanan bahaya gempa bumi dan juga dapat digunakan untuk mengestimasi dinamika aktivitas gunungapi. Metode ini kami gunakan untuk memantau perubahan sifat fisik vulkanik (misal dalam penelitian ini Gunungapi Soputan mengalami perubahan dengan bertambahnya volume kubah lava) berdasarkan penggunaan ambient noise seismik yang diukur hanya pada satu stasiun seismik. Kami menggunakan teknik *horizontal-to-vertical spektral rasio* (HVSR) terhadap waktu dengan melihat variasi temporal dari frekuensi resonansi fundamental. Frekuensi tersebut kami gunakan untuk pemantauan apakah ada perubahan pada aktivitas vulkanik yang didasarkan pada karakteristik frekuensi resonansi fundamental yang berasal dari kurva HVSR. Penggunaan Teknik HVSR untuk melihat perubahan sebelum terjadinya letusan berkaitan dengan rumus frekuensi resonansi ( $f_n$ ):

$$f_n = \frac{V_s}{4H}$$

dimana,  $V_s$  adalah Kecepatan Gelombang Geser dan  $H$  adalah Ketebalan dari Lapisan Atas.

Pada gempa bumi menghasilkan perubahan informasi spasial (ruang) dengan menganggap nilai  $V_s$  nya konstan. Sedangkan penggunaan pada gunungapi menghasilkan perubahan variasi temporal (waktu) dengan menganggap nilai  $H$  nya konstan. Berdasarkan teori pada konsep dasar amplifikasi gelombang seismik,

tanah memiliki beberapa lapisan dan memiliki ketebalan yang berbeda. Pada besarnya kontras impedansi (densitas dan kecepatan), di gunungapi densitas sedimen lebih kecil dari basement. Digunungapi densitas sedimen kecil jadi nilai H nya tetap untuk satu titik Vs nya berubah. Sedangkan pada gempa titik pengukuran yang diambil berbeda-beda, sedimennya besar jadi nilai H berubah (Syahbana, 2013).