

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Seismometer

Seismometer berasal dari kata “seismos” berarti getaran dan kata “metro” berarti mengukur. Seismometer merupakan suatu alat yang dapat mendeteksi gempa bumi atau getaran pada permukaan tanah dengan hasil dari alat ini disebut seismogram (Poniman, 2016). Seismometer adalah alat yang dirancang untuk merekam atau mencatat gerakan tanah dalam arah tertentu (Riantana, 2015). Komponen penting seismometer sebagai penyusunnya, yaitu magnet dan sebuah pegas. Magnet akan bergerak yang disebabkan oleh adanya getaran, maka arus akan mengalir pada koil dengan perubahan arus yang berbanding lurus terhadap kecepatan getaran tersebut. Sehingga, seismometer sangat cocok untuk mendeteksi sinyal getaran yang kecil (Maharani, 2015).

Getaran yang terjadi akan direkam oleh seismograf yang terdiri dari *recorder* dan seismometer sebagai sensor getarannya. Pada proses perekaman, seismograf akan merekam gelombang primer dan gelombang sekunder saat getaran terjadi (Maharani, 2015). Alat yang merekam disebut seismograf, yang merekam gerakan relatif antara massa dan unit, yang menghasilkan catatan dari gerakan. Seismometer modern menggunakan sirkuit elektronik untuk mengukur tegangan listrik yang disebabkan oleh gerakan (Marne, 2014). Seismometer modern dikelompokkan menjadi 2 tipe yaitu: (Poniman, 2016)

- *Short Period* Seismometer, yaitu instrumen seismometer dengan periode natural yang sangat pendek dan hubungan dengan frekuensi resonansi sangat tinggi dari kebanyakan frekuensi pada gelombang seismik. Daerah respons frekuensi *short period* seismometer biasanya dapat mendeteksi dari 1 Hz – 10 Hz dan periode dari 1 s sampai 0,1 s. Tipe seismometer ini memberikan rekaman yang didominasi oleh frekuensi tinggi.

- www.itk.ac.id
- *Broadband* Seismometer, yaitu alat seismograf dengan sebuah pendulum inersia yang didesain untuk memberikan mekanisme gaya umpan balik. Jumlah gaya umpan balik yang diberikan ditentukan dengan menggunakan transduser listrik untuk mengkonversi pergerakan massa menjadi sinyal listrik. Jangkauan frekuensi tipe alat ini dari 0,03 – 50 Hz dengan *sampling rate* 100 Hz dan sensitivitas tinggi 1500 V/m/s (Widhi, 2016). Seismometer *broadband* memiliki tingkat sensitivitas tinggi pada *dynamic range* dengan jangkauan yang sangat luas dan dapat digunakan untuk merekam sinyal dengan jangkauan yang sangat luas. *Dynamic range* yang timbul dari *noise* tanah sampai rangkaian percepatan akan muncul dari gelombang yang berfrekuensi tinggi dengan rentang periode osilasi sangat panjang berhubungan dengan pergerakan bumi

2.2 Analog to Digital Converter (ADC)

Dalam instrumentasi, digital membutuhkan bentuk sinyal yang bersifat digital (diskrit) sedangkan bentuk sinyal yang dihasilkan transduser bersifat analog. Oleh sebab itulah dibutuhkan suatu *interface* antara keluaran transduser yang analog dengan pemrosesan sinyal digital yaitu ADC (Susanto, 2012). ADC merupakan suatu alat atau rangkaian yang dapat mengukur sinyal input berbentuk analog seperti tegangan atau arus, kemudian mengubahnya menjadi suatu kata biner (*binary word*) yang ekuivalen dengan sinyal yang diukur (Priyadi, 2013). Proses perubahan analog menjadi digital terdiri dari sampling sinyal analog pada interval waktu yang teratur. Setiap sampel tegangan analog kemudian diubah menjadi output dalam bentuk suatu sandi (*encoded output*). Pengambilan sampling sinyal analog berikutnya tidak dapat dilakukan sebelum konversi yang dilakukan selesai menjadi bentuk digital (Susanto, 2012).

Umumnya ADC digunakan untuk perantara antara sensor yang analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, tekanan, cahaya dan lainnya yang kemudian diukur menggunakan sistem digital. Prinsip kerja dari ADC yaitu mengkonversi sinyal analog kedalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal *input* dan tegangan referensi. Sinyal *output* yang masih berupa tegangan ADC harus

www.itk.ac.id

www.itk.ac.id

diubah ke digital agar dapat dibaca oleh mikrokontroler arduino. Mikrokontroler sendiri memiliki kemampuan untuk menerima, mengolah, dan memberikan *output* sinyal digital. Bila mikrokontroler dengan catu daya 5 volt, maka mikrokontroler akan mengenali tegangan sebesar 0 volt sebagai *signal digital low* dan tegangan sebesar 5 volt sebagai *signal digital high*. Untuk mengenali nilai tegangan antara 0 -5 volt maka diperlukan adanya ADC, yang memungkinkan mikrokontroler untuk mengenali suatu nilai analog melalui suatu pendekatan digital (Bik, 2016).

2.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang merambat di bagian dalam bumi. Bumi sebagai medium gelombang terdiri dari beberapa lapisan batuan yang antar satu lapisan dengan lapisan lainnya mempunyai sifat fisis yang berbeda (Hudha, S. N., dkk., 2014). Ketika gelombang seismik yang menjalar menemui bidang batas antar lapisan, sebagian gelombang ini ada yang direfleksikan (dipantulkan) dan ada juga yang direfraksikan (dibiaskan) (Nurcandra, 2013). Gelombang ini akan merambat ke seluruh bagian bumi dan dapat terekam oleh seismometer.

Berdasarkan sifat pergerakan partikel dan arah penjararannya, gelombang seismik dapat dibedakan menjadi dua gelombang, yaitu:

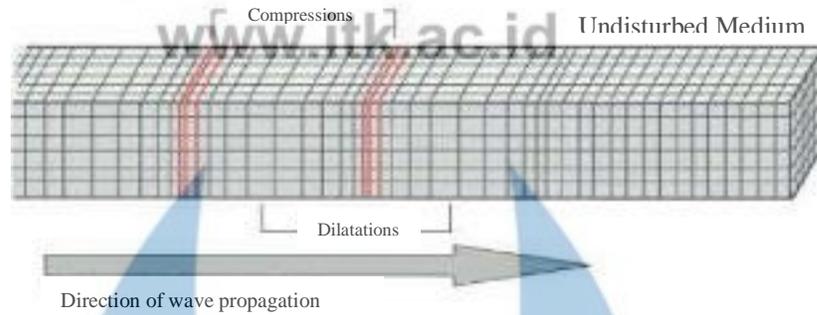
2.3.1 Gelombang Badan

Gelombang badan (*body wave*), merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya keseluruhan bagian bumi (Alamsyah, 2017). Gelombang badan dapat dibedakan menjadi dua gelombang, yaitu:

- **Gelombang Primer**

Gelombang primer disebut juga dengan gelombang P (gelombang utama) merupakan gelombang longitudinal, karena merupakan sebuah gelombang pertama yang muncul pada seismograf. Seperti yang terlihat pada Gambar 2. 1, setiap partikel medium yang melalui gelombang akan bergerak searah dengan perambatan gelombang (Ardhi, 2018). Rentang frekuensi dari gelombang P bervariasi dari 1 Hz hingga 10 Hz dengan rentang panjang gelombang dari 600 m – 6 km (Veenu, 2015).

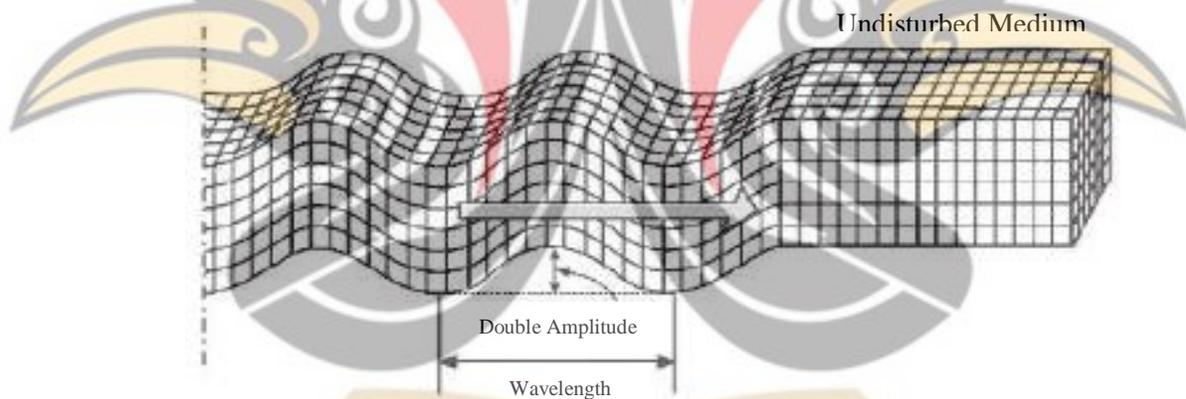
P-wave



Gambar 2. 1 Gelombang Primer (Amiruddin, 2016)

- **Gelombang Sekunder**

Gelombang sekunder disebut juga dengan gelombang S (gelombang sekunder) merupakan gelombang transversal. Seperti yang terlihat pada Gambar 2. 2, gerakan partikel tegak lurus terhadap arah rambat gelombang (Ardhi, 2018). Rentang frekuensi dari gelombang S adalah dari 0,1 Hz hingga 0,2 Hz dengan rentang panjang gelombang dari 10 km (Veenu, 2015).



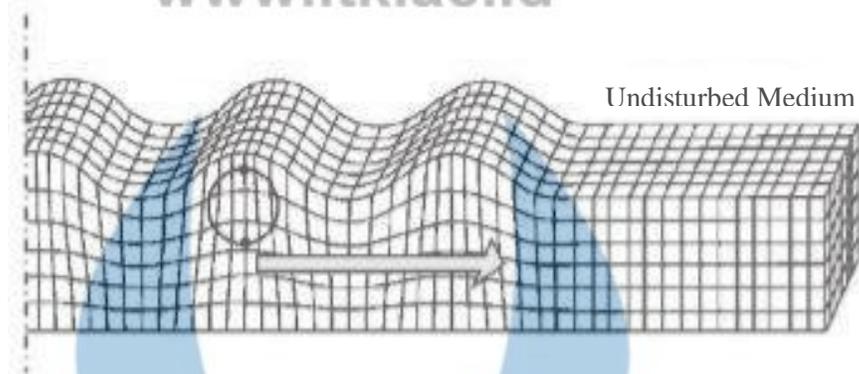
Gambar 2. 2 Gelombang Sekunder (Amiruddin, 2016)

2.3.2 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang telah sampai ke permukaan bumi dan merambat ke segala arah dengan kurun waktu yang relative lama (Ardhi, 2018). Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua gelombang, yaitu:

- **Gelombang Rayleigh**

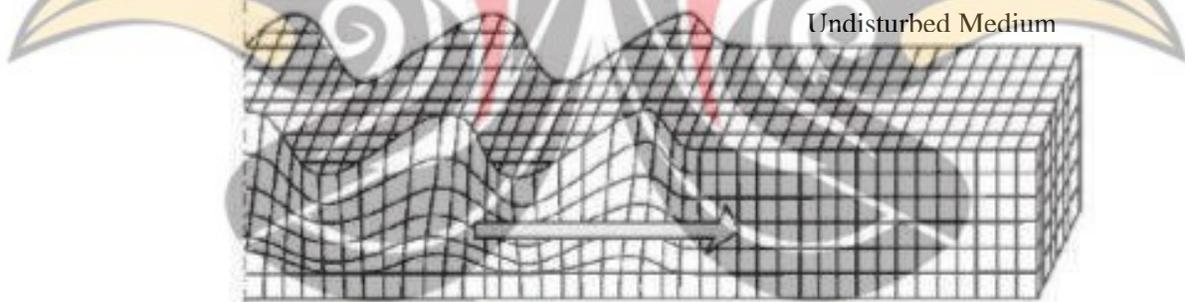
Gambar 2. 3 merupakan gelombang rayleigh yang bergerak secara elips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya. Gelombang ini terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser (Alamsyah, 2017).



Gambar 2. 3 Gelombang Rayleigh (Alamsyah, 2017)

- **Gelombang Love**

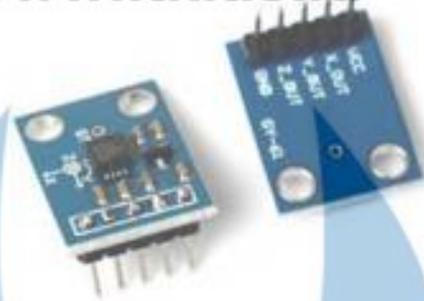
Gambar 2. 4 merupakan gelombang love dimana penjarangan gelombangnya pada gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang S horizontal yang penjarannya secara paralel dengan permukaannya (Alamsyah, 2017).



Gambar 2. 4 Gelombang Love (Alamsyah, 2017)

2.4 Sensor Accelerometer Adxl 335

Accelerometer merupakan salah satu sensor yang dapat mengukur percepatan suatu benda atau objek yang dapat mengukur percepatan secara dinamis dan statis. Secara statis, yaitu percepatan pada objek yang bergerak. Secara dinamis, yaitu pengukuran terhadap gravitasi bumi (Perdana, 2018). Model *single axis* maupun *multi axis* dapat mendeteksi arah dan besarnya getaran sesuai dengan percepatan yang terjadi pada suatu benda. Perubahan kecepatan yang dapat dideteksi oleh sensor *accelerometer* salah satunya adalah percepatan gravitasi bumi (Bahri, 2019).



Gambar 2. 5 Sensor *Accelerometer* adxl 335 (Perdana, 2018)

Dalam kondisi benda diam atau tidak bergerak, setiap benda secara normal akan dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Nilai percepatan yang dialami oleh benda tersebut senilai dengan nilai percepatan gravitasi bumi (Bahri, 2019). *Accelerometer* digunakan untuk pengukuran akselerasi tiga sumbu yaitu sumbu x, y dan z berdasarkan besar gravitasi (g). *Accelerometer* tidak mengukur akselerasi dengan cara mengukur perubahan kecepatan, melainkan dengan mengukur gaya yang diberikan terhadap akselerometer (Purwowibowo, 2017). Pada Gambar 2. 5 merupakan sensor *accelerometer* Adxl 335 yaitu sensor yang dapat mengukur percepatan dengan *range* $\pm 3g$ dengan keluaran berupa tegangan analog (Ardhi, 2018). Percepatan dari sensor ini dapat dimanfaatkan sebagai informasi getaran suatu benda dan sudut orientasi benda (Bahri, 2019). Adxl 335 terdiri dari 3 sumbu yaitu sumbu X, Y dan Z dimana setiap sumbu saling tegak lurus. Sensor ini dapat mengukur perubahan statis dalam hal kemiringan dan perubahan dinamis yang dihasilkan dari gerakan, guncangan atau getaran. *Bandwith* dari sensor ini dapat disesuaikan, dengan rentang 0,5 Hz hingga 1600 Hz untuk sumbu X dan Y, sedangkan pada sumbu Z memiliki rentang 0.5 Hz sampai 550 Hz. Seperti yang terlihat pada Gambar 2. 5, sensor Adxl 335 memiliki 16 pin dan beroperasi pada tegangan 1,8 V hingga 3,6 V, sensitivitas dari sensor ini adalah 270 mV/g sampai dengan 330 mV/g (Analog Devices, 2010).

2.5 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega328, seperti yang terlihat pada Gambar 2. 6 merupakan Arduino Uno. Arduino Uno dapat digunakan hanya dengan menghubungkan board arduino ke

sebuah komputer dengan sebuah kabel port USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk menjalankannya. ATmega328



Gambar 2. 6 Arduino Uno (Amiruddin, 2016)

pada Arduino Uno hadir dengan sebuah *bootloader* yang memungkinkan untuk mengupload kode baru ke ATmega328 tanpa menggunakan pemrogram *hardware eksternal* (Ichwan, 2013).

Atmega 328 adalah chip mikrokontroler 8-bit berbasis AVR-RISC buatan Atmel yang memiliki 32 KB memori ISP flash dengan kemampuan baca-tulis (*read/write*), 1 KB EEPROM, 2 KB SRAM dan karena kapasitas memori *Flash* sebesar 32 KB inilah kemudian chip ini diberi nama ATmega328 (Ichwan, 2013). Pada Tabel 2. 1 merupakan spesifikasi dari Arduino Uno.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Uno (Ichwan, 2013).

Komponen	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pins	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB

Komponen	Spesifikasi
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

Kelengkapan fitur yang terdapat dalam modul Arduino UNO membuat modul ini mudah untuk digunakan, hanya dengan menghubungkan modul Arduino UNO dengan PC menggunakan kabel USB atau menggunakan adapter DC – DC, maka modul siap digunakan (Handoko, 2017). Dalam menjalankan perintah, Arduino Uno memanfaatkan bahasa pemrograman C/C++ dan disempurnakan dengan adanya *library* dasar yang lengkap (Artanto, 2012).

2.6 Fast Fourier Transform (FFT)

Definisi *Fast Fourier Transform* (FFT) adalah metode yang sangat efisien untuk menghitung koefisien dari Fourier diskrit ke suatu *finite* sekuen dari data yang kompleks. Karena substansi waktu yang tersimpan lebih dari pada metode konvensional, *fast fourier transform* merupakan aplikasi temuan untuk sejumlah bidang yang berbeda seperti analisis *spectrum*, *speech* dan *optical signal processing*, dan *design filter digital*. Karena banyak sinyal dalam suatu sistem komunikasi yang bersifat kontinyu, maka untuk sinyal kontinyu digunakan transformasi fourier. FFT merupakan salah satu metode untuk transformasi sinyal suara dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain frekuensi, artinya proses perekaman suara disimpan dalam bentuk digital berupa gelombang spektrum suara yang berbasis frekuensi sehingga lebih mudah dalam menganalisa spektrum frekuensi suara yang telah direkam. Transformasi fourier memiliki persamaan umum seperti berikut (Sipasulta dkk, 2014)

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{ij2\pi ft} dt \quad (1)$$

Dengan $S(f)$ merupakan sinyal dalam domain frekuensi, $s(t)$ adalah sinyal dalam domain waktu, dan $e^{ij2\pi ft}$ merupakan konstanta dari nilai sebuah sinyal dengan f adalah frekuensi dan t adalah waktu (Sipasulta dkk, 2014).

Pada mikrotremor analisis fourier merupakan metode untuk membagi sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan

frekuensi yang berbeda. Sehingga gelombang seismik tersebut dapat menghasilkan sebuah fungsi sinusoidal penjumlahan dengan frekuensi tunggal. Prinsip dari FFT ini adalah sinyal yang ada didekati dengan sinyal cosinus dan sinus dimana pendekatan setiap sinyal tersebut menghasilkan amplitudo masing-masing. Nilai amplitudo tersebut mewakili sebuah sinyal yang direpresentasikan berdasarkan amplitudo yang berhubungan dengan frekuensi (Ambarsari, 2017).

2.7 Frekuensi Natural

Nilai frekuensi natural menyatakan frekuensi alami yang terdapat di daerah tersebut. Apabila terjadi gempa atau gangguan berupa getaran yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi natural, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik di area tersebut. Nilai frekuensi natural (f_0) suatu wilayah didukung oleh beberapa faktor, yaitu ketebalan lapisan lapuk dan kecepatan rata-rata bawah permukaan (V_s) (Tanjung, 2019).

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \tag{2}$$

dengan f_0 adalah frekuensi natural, V_s adalah nilai rata-rata kecepatan gelombang geser pada kedalaman sampai dengan 30 meter dari permukaan, dan H adalah ketebalan lapisan lapuk (Tanjung, 2019).

Tabel 2. 2 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi (Tanjung, 2019).

Klasifikasi tanah		Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dan lainnya.	Ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.

Klasifikasi tanah		Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe III	Jenis II	4,0 – 10	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dan lainnya.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah 5-10m.
Tipe II	Jenis III	2,5 – 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan lebih dari 5m. Terdiri dari <i>sandy gravel, sandy hard clay, loam</i> , dan lainnya.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30m.
Tipe I	Jenis IV	Kurang dari 2,5	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi <i>deta, top soil</i> , lumpur, dan lainnya. Kedalaman $\geq 30m$.	Ketebalan sedimen permukaan sangatlah tebal.

Tabel 2.2 merupakan klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi disertai dengan tipe dan jenis tanah. Nilai frekuensi natural menggambarkan ketebalan lapisan lapuk di bawah permukaan dan kecepatan gelombang yang melalui medium tersebut. Semakin besar nilai suatu frekuensi natural, maka semakin kecil ketebalan lapisan lapuknya,

www.itk.ac.id

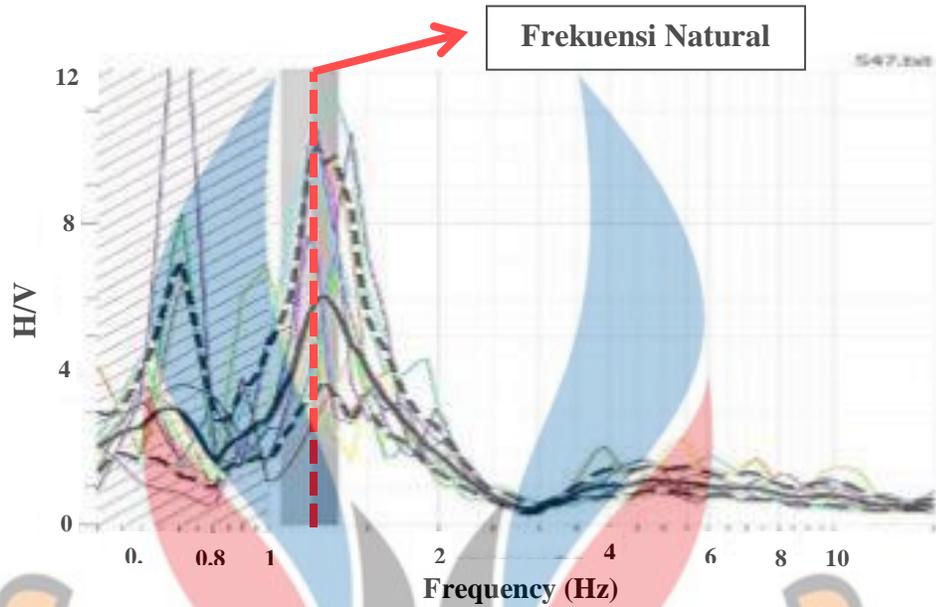
begitu juga sebaliknya. Apabila nilai frekuensi natural tinggi, maka suatu daerah cenderung tingkat kerawanannya rendah (Tanjung, 2019).

2.8 Metode HVSR

Metode HVSR merupakan metode yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan rasio spektrum fourier komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari sinyal mikrotremor sebagai indikator struktur bawah permukaan tanah. Perbandingan H/V pada mikrotremor adalah suatu perbandingan dua komponen yang menghasilkan suatu nilai. Metode HVSR digunakan untuk menentukan nilai amplifikasi dan nilai frekuensi natural suatu lokasi yang dapat diperkirakan dari periode puncak perbandingan H/V. Terdapat beberapa asumsi dalam menggunakan metode ini: (Yuliawati, 2017)

1. Mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser
2. Komponen vertikal gelombang tidak mengalami amplifikasi, hanya komponen horizontal yang teramplifikasi.
3. Gelombang rayleigh diasumsikan sebagai *noise* mikrotremor, sehingga diusulkan suatu metode untuk mengeliminasi efek dari gelombang rayleigh.

Nakamura (1989) dalam (Yuliawati, 2017) mengidentifikasi bahwa jika gelombang geser diasumsikan pada mikrotremor, maka rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal (HVSR) pada data mikrotremor suatu lokasi sama dengan fungsi transfer gelombang geser yang bergetar antara permukaan dan batuan dasar di suatu tempat (Yuliawati, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh (Ambarsari, 2017) yaitu menggunakan pengukuran data mikrotremor untuk menentukan karakteristik tanah berdasarkan nilai frekuensi natural, periode dominan, ketebalan sedimen, amplifikasi dan indeks kerentanan tanah di Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta. Analisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR dengan menggunakan *software* geopsy untuk mendapatkan nilai frekuensi natural dan amplifikasi, Gambar 2. 7 menunjukkan hasil pengolahan data menggunakan *software* geopsy untuk mendapatkan nilai frekuensi natural dan amplifikasi.



Gambar 2. 7 Grafik Kurva HVSR (Ambarsari, 2017)

2.9 Penelitian Terdahulu

Pada Tabel 2.3 merupakan rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Amiruddin, 2019	Penelitian mengenai perancangan accelerometer berbasis arduino sebagai instrumen indentifikasi mikrotremor dapat memiliki manfaat sebagai indentifikasi nilai kerentanan suatu wilayah yang bertujuan untuk membuat rancang bangun <i>accelerometer</i> berbasis arduino, membuat sistem dan program alat <i>accelerometer</i> dan melakukan validasi hasil uji pengukuran dengan menggunakan komponen sensor Adx1345, <i>microcontroller</i> arduino, <i>RTC</i> , <i>Data Logger</i> , dan <i>LCD Display</i> .

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
2	Ambarsari, 2017	Pengukuran data mikrotremor untuk mengetahui parameter dinamika karakteristik tanah berdasarkan frekuensi natural, periode dominan, ketebalan sedimen, amplifikasi, indeks kerentanan seismik, dan percepatan getaran tanah maksimum menggunakan metode HVSR dengan <i>software geopsy</i> dan menggunakan metode Kanai dengan parameter periode dominan tanah.
3	Maharani, 2015	Sensor seismik berbasis MEMS <i>accelerometer</i> yang bertujuan untuk menghasilkan <i>strong motion</i> seismometer berbasis MEMS <i>accelerometer</i> yang dapat digunakan pada frekuensi rendah.
4	Ardhi, 2014	Perancangan alat pendeteksi gempa menggunakan sensor accelerometer ADXL 335 dan sensor getar. Data yang didapatkan berupa data getaran horizontal dan vertikal yang kemudian diolah menggunakan rumus <i>British Geological Survey</i> untuk mendapatkan satuan skala richter.
5	Marne, 2014	Sistem pengukuran gempa dengan menggunakan sensor <i>accelerometer</i> menghasilkan data berupa sinyal gempa yang biasa disebut dengan data seismik. Data seismik mencapai grafik tingkat maksimum jika gempa tersebut berada di daerah yang terkena gempa. Namun, grafik mencapai nilai minimum jika kurang terpengaruh oleh gempa.