

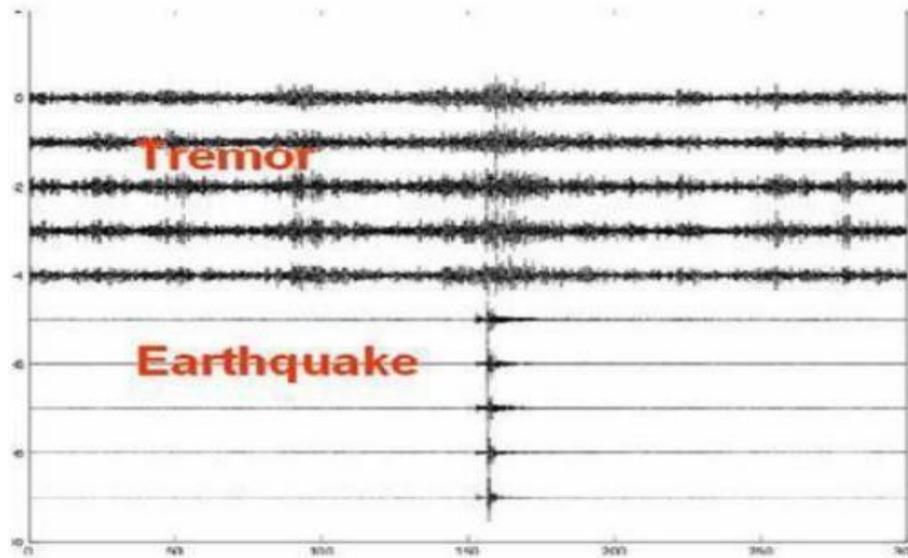
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran lingkungan yang berasal dari dua sumber utama, yaitu dari aktivitas manusia dan alam [17]. [11] Mikrotremor diartikan *noise* periode pendek yang berasal dari sumber artifisial. Gelombang ini bersumber dari segala arah yang saling beresonansi. Mikrotremor diartikan juga sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus-menerus yang 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. Getaran mikrotremor dapat disebabkan juga dari aktivitas manusia seperti getaran mesin pabrik, lalu lintas kendaraan dan langkah kaki manusia. Dari penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter frekuensi dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi).

Pada perekaman mikrotremor tidak dibutuhkan adanya sumber buatan atau sumber berupa gempa bumi, namun pengukuran langsung dilakukan karena yang direkam merupakan gelombang yang timbul dari alam. Perekaman mikrotremor akan menghasilkan 3 komponen yaitu komponen horizontal Utara-Selatan, komponen horizontal barat-timur dan komponen vertikal. Kajian mikrotremor telah banyak digunakan untuk memperkirakan kerusakan yang timbul akibat bencana gempa bumi. Kajian ini sangat tepat dan baik dalam memperkirakan tingkat resiko yang disebabkan oleh aktivitas seismik dengan kondisi geologi setempat [18]. Gempa bumi dan tremor dapat dibedakan dengan mudah bila dilihat pada rekaman seismograf. Getaran tremor berupa getaran yang terus menerus, tidak dapat ditentukan dimana awal getarannya secara jelas sedangkan getaran gempa bumi berupa getaran yang besar dan secara tiba-tiba, seperti pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Perbedaan sinyal tremor dan gempabumi
(Ibrahim dan Subardjo, 2004)

2.2 HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Pada tahun 1971 untuk pertama kali Nogoshi dan Irashi memperkenalkan Metode HVSR yang menyatakan adanya keterkaitan eliptisitas pada gelombang *Rayleigh* terhadap perbandingan komponen horizontal dan komponen vertikal. Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) adalah metode yang membandingkan spektrum horizontal terhadap spektrum vertikal yang menghasilkan nilai frekuensi dominan untuk mempresentasikan keadaan bawah permukaan [19].

Metode HVSR menggunakan data seismik 3 komponen yang didapatkan dari perekaman mikrotremor, yaitu komponen horizontal utara-selatan, komponen horizontal barat-timur, dan komponen vertikal. Hasil dari metode HVSR ini berupa kurva H/V yang menunjukkan nilai dari frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang dapat dipresentasikan karakteristik lapisan batuan dibawah permukaan.

Mikrotremor tersusun atas berbagai macam gelombang namun yang utama yaitu gelombang *Rayleigh* yang merambat diatas batuan dasar. Secara matematis persamaan dalam metode HVSR dijelaskan sebagai berikut:

Faktor amplifikasi pada komponen horizontal (A_H) adalah:

$$A_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.1)$$

Dengan A_H adalah Faktor amplifikasi komponen horizontal, S_{HS} adalah Spektrum horizontal dipermukaan, dan S_{HB} adalah Spektrum horizontal diatas batuan dasar.

Faktor amplifikasi pada komponen vertikal (A_V) adalah:

$$A_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.2)$$

Dengan A_V adalah Faktor amplifikasi komponen vertikal, A_{VS} adalah Spektrum vertikal dipermukaan, dan A_{VB} adalah Spektrum vertikal diatas batuan dasar

Pada penelitian Nakamura 1989, menunjukkan rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras memiliki nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal mendekati 1.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (2.3)$$

Site effect pada lapisan sedimen ditentukan dengan cara spektrum amplifikasi horizontal (A_H) dilakukan terhadap spektrum amplifikasi vertikal (A_V).

$$T_{SITE} = \frac{A_H}{A_V} \quad (2.4)$$

Maka persamaan (2.1) dan (2.2) yang disubstitusikan kedalam persamaan (2.4) diperoleh sebagai berikut:

$$T_{SITE} = \frac{\frac{S_{HS}}{S_{HB}}}{\frac{S_{VS}}{S_{VB}}} \quad (2.5)$$

Dengan S_{HS} adalah spektrum horizontal dipermukaan, S_{HB} adalah spektrum horizontal diatas batuan dasar, S_{VS} adalah spektrum vertikal dipermukaan, dan S_{VB} merupakan spektrum vertikal diatas batuan dasar.

Dengan memasukkan persamaan (2.3) kedalam persamaan (2.5) maka didapatkan persamaan:

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.6)$$

Dari persamaan (2.6), maka fungsi transfer untuk lapisan *soil* (T_{SITE}) hanya bergantung pada hasil pengukuran di permukaan. Dalam pengukuran lapangan terdapat dua komponen horizontal yang berarah utara-selatan dan timur-barat sedangkan komponen verikal berarah atas-bawah, sehingga komponen horizontal yang digunakan resultan dari kedua komponen horizontal tersebut yang ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$T_{SITE} = HVRS = \frac{\sqrt{(S_{Utara-Selatan})^2 + (S_{Barat-Timur})^2}}{S_{Vertikal}} \quad (2.7)$$

Prosedur pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR melalui proses FFT (*Fast Fourier Transform*) bertujuan untuk mengubah domain gelombang mikrotremor pada ketiga komponennya dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi fourier adalah metode untuk mengubah gelombang seismik dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi Fourier dapat dituliskan dengan Persamaan:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(e)^{-i\omega t} dt \quad (2.8)$$

dimana $\omega = 2\pi f$ (variabel frekuensi sudut dengan satuan radian per detik). Persamaan 2.8 digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi.

2.3 Frekuensi Dominan

Nilai frekuensi dominan merupakan frekuensi dasar suatu tempat yang berkaitan dengan frekuensi pada puncak amplitude tertinggi pada spektrum gelombang mikrotremor. Dari pengolahan data mikrotremor akan didapatkan kurva H/V yang menghasilkan nilai frekuensi dominan. Nilai frekuensi dominan rendah akan mengakibatkan adanya efek resonansi dan meningkatkan kerentanan terhadap bahaya dengan periode yang panjang. Nilai frekuensi dominan yang mendekati nilai frekuensi alami akan meningkatkan *stress* pada bangunan akibat dari resonansi getaran seismik yang menyebabkan kerusakan bangunan pada saat terjadi gempa bumi. Dari nilai frekuensi dominan yang terukur, dapat diketahui karakteristik batuan di bawah permukaan. Hal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.1** tentang klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (Kanai, 1983).

Tabel 2. 1 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor (Kanai, 1983)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,667 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hardy Sandy</i> , gravel, dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi 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 m
Tipe III	Jenis III	2,5 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan > 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll	Kategori sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 - 30 m
Tipe II	Jenis IV	1,00 – 2,50	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpul, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya Tipe I sangatlah tebal

2.4 Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi merupakan faktor pembesaran gelombang seismik karena adanya perbedaan yang sangat signifikan diantara dua lapisan batuan atau terjadinya kontras impedansi antara lapisan permukaan dengan lapisan dibawahnya. Semakin besar kontras impedansi antara dua lapisan batuan maka akan semakin besar nilai faktor amplifikasi. [17] Penguatan efek gelombang gempa terjadi bila

lapisan batuan lunak yang dapat menyebabkan getaran gempa besar berkorelasi dengan lapisan tanah yang keras pada saat dilewati oleh gelombang gempa.

Nilai faktor amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikal. [12] Apabila suatu batuan mengalami deformasi seperti pelapukan, perlipatan atau persesaran yang dapat mengubah sifat fisik batuan, maka nilai amplifikasi yang dihasilkan akan bertambah sesuai dengan tingkat deformasi yang dilewati oleh batuan tersebut. Besar nilai faktor amplifikasi akan mengalami kenaikan bila merambat melalui pada medium yang lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya.

[12] Membagi zona risiko amplifikasi terhadap kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa bumi berdasarkan parameter faktor amplifikasi seperti pada **Tabel 2.2**

Tabel 2. 2 Zonasi risiko amplifikasi berdasarkan nilai faktor amplifikasi oleh Marjiyono (2010)

Faktor Amplifikasi	Resiko Amplifikasi
0 – 3	Rendah
3 - 6	Sedang
6 - 9	Tinggi
Lebih dari 9	Sangat tinggi

2.5 Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik adalah indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah suatu wilayah terhadap deformasi tanah saat terjadi gempabumi. Daerah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi akan berpotensi mengalami kerusakan yang parah. Untuk wilayah yang memiliki nilai indeks kerentanan rendah akan berpotensi mengalami kerusakan yang kecil. Indeks kerentanan seismik didapat dari pergeseran regangan permukaan tanah dan strukturnya saat terjadi gempabumi. Secara matematis hubungan antara indeks kerentanan seismik, frekuensi dominan, dan faktor amplifikasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

Dengan Kg adalah Indeks kerentana seismik, A_0^2 adalah Faktor amplifikasi, dan f_0 adalah Frekuensi dominan.

Nilai indeks kerentanan seismik tinggi dipengaruhi oleh nilai frekuensi dominan rendah berkorelasi dengan nilai faktor amplifikasi tinggi. Dari nilai indeks kerentanan dapat memperhitungkan potensi tingkat guncangan dan kerusakan saat terjadi gempa bumi.

2.6 Inversi Eliptisitas Gelombang *Rayleigh*

Inversi eliptisitas gelombang *Rayleigh* adalah pemodelan yang dilakukan untuk memodelkan struktur bawah permukaan. Inversi eliptisitas gelombang *Rayleigh* merupakan suatu metode untuk memperkirakan nilai numerik parameter model berdasarkan data hasil observasi menggunakan model tertentu, serta melakukan pencocokan data (*data fitting*) untuk mencari parameter model yang menghasilkan model yang cocok (*fit*) dengan data pengamatan. Pengolahan data dilakukan menggunakan program Dinver pada *software* Geopsy. Metode ini memiliki beberapa parameter input yang harus ditentukan nilai awal untuk menentukan model kecepatan awal gelombang geser (V_s) bawah permukaan. Parameter-parameter tersebut diantaranya V_s , V_p , ρ , dan σ yang mempunyai nilai berbeda-beda berdasarkan informasi geologinya. Metode ini digunakan untuk mendapatkan parameter kecepatan gelombang geser (V_s) di bawah titik pengukuran mikrotremor. Penentuan nilai parameter tersebut dilakukan berdasarkan data hasil observasi untuk selanjutnya dilakukan pencocokan data (*data fitting*). Tingkat keakuratan data *fitting* dapat diketahui dari nilai *error* (*misfit*). Semakin kecil nilai misfit maka profil kecepatan gelombang S bawah permukaan yang diperoleh akan semakin baik atau mendekati hasil yang sebenarnya.

1. *Poisson Ratio*

Poisson ratio adalah perbandingan antara regangan dengan sifat elastisitas batuan yang dapat merepresentasikan keadaan suatu batuan dibawah

permukaan tanah. Nilai variasi *poisson ratio* tiap batuan ditunjukkan pada

Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Harga *Poisson ratio* dari batuan sedimen (Ostander, 1984)

Jenis Batuan	Poisson Ratio
Lempung Green River	0,22 – 0,30
Sedimen Laut Dangkal	0,45 – 0,50
Sedimen Consolidated :	
Tersaturasi Brine	0,20 – 0,30
Tersaturasi Gas	0,01 – 0,14
Batuan Pasir Sintetik :	
Tersaturasi Brine	0,41
Tersaturasi Gas	0,10
Batuan Pasir Ottawa :	
Tersaturasi Brine	0,41
Tersaturasi Gas	0,10

2. Densitas

Densitas atau massa jenis adalah kerapatan yang dimiliki oleh setiap batuan, dimana setiap batuan memiliki kemampuan densitas yang berbeda-beda tergantung dengan jenis material penyusun pada batuan. Secara teoritis, semakin dalam kedalaman batuan maka densitas akan semakin besar. Besarnya densitas suatu batuan juga bergantung pada besarnya porositas suatu batuan. Semakin besar porositas suatu batuan mengindikasikan semakin besar pula massa suatu batuan yang hilang atau rongga batuan makin besar. Hal ini menyebabkan densitas batuan semakin berkurang. Nilai variasi densitas tiap batuan ditunjukkan pada **Tabel 2.4**

Tabel 2. 4 Nilai variasi densitas batuan (Telford et al., 1990)

Jenis Batuan	Batas (Mg/m^3)	Jenis Batuan	Batas (Mg/m^3)	Jenis Batuan	Batas (Mg/m^3)
Batuan Sedimen		Batuan Metamorf		Batuan Beku	
Aluvium	1,96 – 2,00	Schist	2,39–2,90	Riolit	2,35-2,70
Clay	1,63 – 2,60	Gneiss	2,59-3,00	Granit	2,50-2,81
Gravel	1,70 – 2,40	Phylite	2,68-2,80	Andesit	2,40-,280
Silt	1,40 – 1,93	Slate	2,70-2,90	Synite	2,60-2,95
Soil	1,80 – 2,20	Granulite	2,52-2,70	Basalt	2,70-3,30
Sand	1,20 – 2,40	Amphibolite	2,90-3,04	Gabro	2,70-3,30
Sandstone	1,61 – 2,76	Eclogite	3,20-3,54		
Shale	1,77 – 3,20				
Limestone	1,93 – 2,90				

3. Kecepatan Gelombang Primer dan Kecepatan Gelombang Sekunder

Parameter kecepatan gelombang primer (V_p) dan kecepatan gelombang sekunder (V_s) merupakan parameter yang dimasukkan kedalam *software* Dinver. Berikut merupakan tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai V_s ditunjukkan pada **Tabel 2.5** dan V_p ditunjukkan pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2. 5 Data nilai V_s pada beberapa jenis batuan (Daryono, 2011)

Material	Kecepatan Gelombang Geser V_s m/s)
Beton	2000
Granit	3500 – 3800
Dolerit	2960 – 3450
Andesit	2440 – 3500
Basal	3600 – 3700
Lempung	380 - 1000

Tabel 2. 6 Data kecepatan gelombang primer pada beberapa medium (Burger, 1992)

Batuan	Variasi V_p (m/s)
Tanah	250 – 600
Pasir	200 – 1000
Pasir tersaturasi	800 - 2200
Pasir dan kerikil	4921 – 6561
Lempung	1000 – 2500
Endapan Lempung	3281 - 8202

2.7 Kecepatan Gelombang Geser hingga kedalaman 30m (V_s30)

V_s30 adalah rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter dari permukaan. [6] Nilai V_s30 ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai V_s30 digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempabumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. V_s30 merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter. Penetapan jenis tanah yaitu antara tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak dapat ditentukan dengan kecepatan rambat gelombang geser (V_s). Nilai V_s30 ini bergantung pada kondisi fisik batuan sehingga dapat diprediksi berdasarkan parameter geologi dan morfologi. Elevasi atau ketinggian berhubungan erat dengan kekerasan batuan. [6] Secara matematis *modeling for seismic ground motion* 1D dirumuskan sebagai berikut:

$$V_s30 = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}} \quad (2.10)$$

Dengan h_i adalah tebal setiap lapisan i antara kedalaman 0 – 30 meter, V_i adalah kecepatan geser setiap lapisan i dinyatakan dalam m/s, dan V_s30 adalah kecepatan gelombang geser kedalaman 30 m.

Nilai $V_s 30$ digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan. Pada penelitian ini terdapat dua klasifikasi *site* yang digunakan yaitu klasifikasi *site* berdasarkan SNI 1726-2012 dijelaskan pada **Tabel 2.7** dan Eurocode 8 yang dijelaskan pada **Tabel**

2.8

Tabel 2. 7 Klasifikasi site berdasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan laboratorium
(SNI-2012, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10)

Klasifikasi Site	Kode	Vs (m/dt)
Batuan Keras	SA	$V_s \geq 1500$
Batuan	SB	$750 \leq V_s \leq 1500$
Tanah sangat Padat dan Batuan Lunak	SC	$350 \leq V_s \leq 750$
Tanah Sedang	SD	$175 \leq V_s \leq 350$
Tanah Lunak	SE	$V_s \leq 175$

Tabel 2. 8 Eurocode 8 (Mufida, Santoso, dan Warnana,2013)

Tipe tanah	Uraian stratigrafi	Nilai Vs30
A	Batuan atau formasi batuan lainnya	>800
B	Endapan <i>sand</i> atau <i>clay</i> yang sangat padat, <i>gravel</i> , pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman.	360-800
C	Endapan <i>sand</i> padat atau setengah padat yang tebal, <i>gravel</i> atau <i>clay</i> padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter.	180-360
D	Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah.	<180
E	Lapisan tanah terdiri dari aluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C atau D dengan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 m, di bawah tanah ini berupa material keras dengan Vs > 800 m/s.	
S1	Endapan terdiri dari atau mengandung ketebalan lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lunak atau lempung lanuan dengan indeks plastisitas dan kadar air yang tinggi.	<100 (Indikasi)
S2	Endapan tanah likuifiable, dari <i>clay</i> yang sensitif, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1	