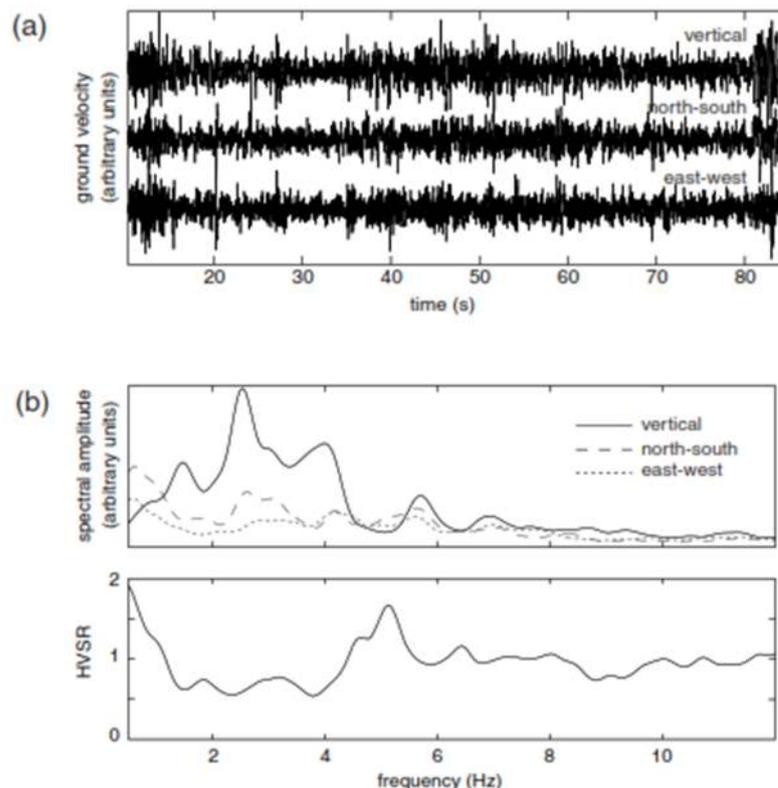


BAB II

TEORI DASAR

2.1 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam sumber getaran seperti, lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Mikrotremor dapat juga 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. Penelitian mikrotremor dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter frekuensi dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi).



Gambar 2.1 (a) Tiga komponen data mikrotremor. (b) Amplitudo spektra dari tiga komponen mikrotremor, dan kurva hasil HVSR (J. Almendros, 2004)

Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempa bumi dengan periode kurang dari 0.1 detik. Secara umum antara 0.05 – 2 detik, sedangkan untuk amplitudonya berkisar 0.1 – 2 mikron (Sutrisno, 2014). Sumber mikrotremor yang berasal dari alam (gelombang laut, kondisi mitiorologi dengan skala luas) memiliki frekuensi rendah (dibawah 1 Hz). Pada frekuensi sedang (1-5 Hz) sumber mikrotremor berasal dari alam (kondisi meteorologi lokal) maupun aktivitas manusia (kepadatan penduduk), dan pada frekuensi tinggi (diatas 5 Hz) sumber utamanya adalah aktivitas manusia. Pada Table 2.1 Gutenberg dan Asten menjelaskan jenis sumber – sumber mikrotremor berdasarkan nilai frekuensinya.

Tabel 2.1 Jenis sumber mikrotremor berdasarkan nilai frekuensi (Gutenberg, 1958) dan (Asten, 1978)

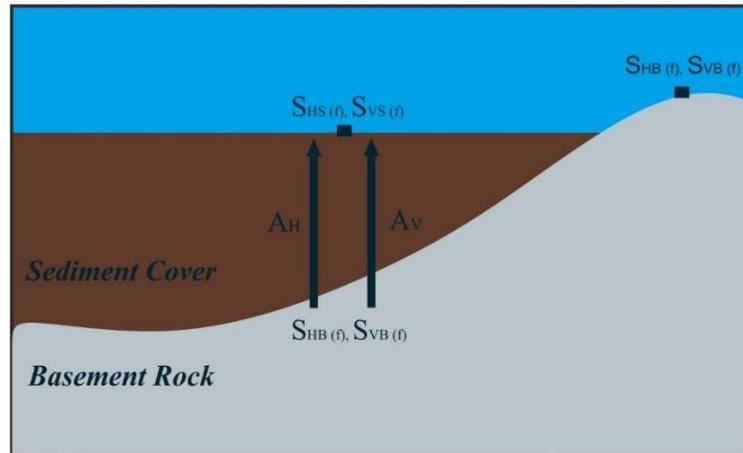
No	Sumber Mikrotremor	Gutenberg	Asten
1	Gelombang laut dipinggir pantai	0.05 – 0.1 Hz	0.2 – 1.2 Hz
2	Tremor vulkanik	2 – 10 Hz	-
3	Kepadatan Penduduk	1 – 100 Hz	1.4 – 30 Hz
4	Gangguan meteorologi skala besar (<i>Monsom</i>)	0.1 – 0.25 Hz	0.16 – 0.5 Hz

2.2 *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*

Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) merupakan metode pengolahan data mikrotremor yang di populerkan oleh Nakamura pada tahun 1989. Nakamura (1989) mengidentifikasi bahwa jika diasumsikan gelombang geser dominan pada mikrotremor, maka rasio spektrum horizontal terhadap vertikal (HVSr) pada data mikrotremor suatu tempat sama dengan fungsi transfer gelombang geser yang bergetar antara permukaan dan batuan dasar di suatu tempat.

Pada tahun 1989, Nakamura mencoba memisahkan efek sumber gelombang dengan efek geologi setempat dengan cara menormalisir spektrum komponen horizontal dengan komponen vertikal pada titik ukur yang sama. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras memiliki nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal mendekati 1. Sedangkan pada stasiun yang berada pada batuan lunak nilai

maksimum lebih besar dari 1. Penguatan gelombang pada komponen vertikal dapat dinyatakan sebagai rasio spektrum komponen vertikal di permukaan dan di batuan dasar. Asumsi yang digunakan oleh Nakamura ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Model ilustrasi konsep metode HVSR Nakamura tahun 1989

Mikrotremor tersusun atas berbagai macam gelombang namun yang utama yaitu gelombang *Rayleigh* yang merambat di atas batuan dasar. HVSR membandingkan komponen horizontal dan komponen vertikal yang terekam di permukaan. Secara matematis persamaan dalam perhitungan metode HVSR dijelaskan sebagai berikut:

Faktor amplifikasi pada komponen horizontal (A_H) adalah:

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

Keterangan:

A_H = Faktor amplifikasi komponen horizontal

S_{HS} = Spektrum horizontal dipermukaan

S_{HB} = Spektrum horizontal di atas batuan dasar

Faktor amplifikasi pada komponen vertikal (A_V) adalah:

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

Keterangan:

A_V = Faktor amplifikasi komponen vertikal

S_{VS} = Spektrum vertikal dipermukaan

S_{VB} = Spektrum vertikal di atas 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.

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

Jika dibulatkan akan menjadi:

$$\frac{S_{VB}}{S_{HB}} \approx 1 \quad (2.4)$$

Maka Nakamura mencari persamaan fungsi transfer gelombang untuk mereduksi efek batuan dasar yang dipengaruhi oleh geologi setempat. Maka spektrum amplifikasi horizontal (A_H) dilakukan normalisasi atau perbandingan terhadap spektrum amplifikasi vertikal (A_V).

$$T_{SITE} = \frac{A_H}{A_V} \quad (2.5)$$

Melalui persamaan (2.1) dan (2.2) yang disubstitusikan kedalam persamaan (2.5) diperoleh sebagai berikut:

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

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \times \frac{S_{VB}}{S_{VS}} \quad (2.7)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.4) kedalam persamaan (2.7) maka didapatkan persamaan:

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.8), maka fungsi transfer untuk lapisan *soil* (T_{SITE}) hanya bergantung pada hasil pengukuran di permukaan. Dalam pengukuran dilapangan terdapat dua komponen horizontal yang berarah utara – selatan dan timur – barat sedangkan komponen vertikal berarah atas – bawah, sehingga komponen horizontal yang digunakan merupakan resultan dari kedua komponen horizontal tersebut yang ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$T_{SITE} = HVSR \quad (2.9)$$

$$HVSR = \frac{\sqrt{S_{NS}^2(f) + S_{EW}^2(f)}}{S_{UD}(f)} \quad (2.10)$$

Keterangan:

HVSR = Horizontal to Vertical Spectral Ratio

S_{NS} = Spektrum amplitudo komponen horizontal dengan arah utara – selatan

S_{EW} = Spektrum amplitudo komponen horizontal dengan arah timur – barat

S_{UD} = Spektrum amplitudo komponen horizontal dengan arah atas – bawah

2.3 Karakteristik Kurva H/V

Dalam mengidentifikasi nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi suatu kurva harus memenuhi syarat reliabilitas. Adapun syarat reliabilitas kurva menurut SESAME *European Research Project* 2004 dengan kriteria sebagai berikut:

1. $f_0 > 10 / I_w$
2. $n_c(f_0) > 200$, $n_c = I_w \cdot n_w \cdot f_0$,
3. $\sigma_A(f) < 2$ untuk $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz, atau
 $\sigma_A(f) < 3$ untuk $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz

Keterangan :

I_w = Panjang *window*

n_w = Jumlah *window* yang dipilih untuk mendapatkan rata-rata kurva H/V

n_c = Jumlah *significant cycles*

σ_A = Standar deviasi $A_{H/V}(f)$

f_0 = Frekuensi puncak pada kurva H/V

Berdasarkan analisis reliabilitas kurva. Selanjutnya kurva yang memenuhi kriteria tersebut dikelompokkan menjadi beberapa kategori menurut kriteria *clear peak* SESAME *European Research Project* 2004 dengan kriteria sebagai berikut:

1. *Clear Peak*

Suatu kurva dapat dikatakan sebagai *clear peak* ketika kurva H/V menunjukkan puncak tunggal yang jelas. Secara kuantitatif *clear peak* memenuhi kriteria sebagai berikut:

Kondisi amplitudo:

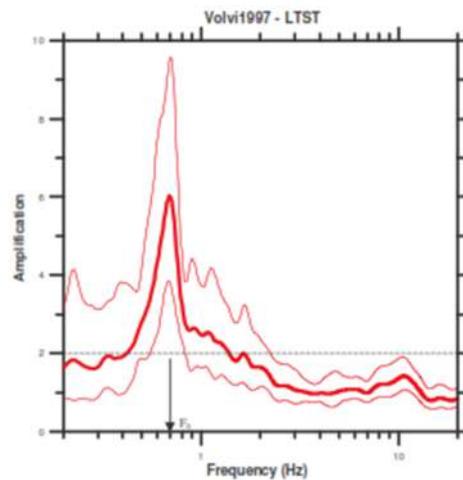
- i. $f [f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f) < A_0/2$
- ii. $f^+ [f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
- iii. $A_0 > 2$

Kondisi stabilitas:

- iv. $f_{\text{peak}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
- v. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- vi. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Tabel 2.2 *Threshold value for stability conditions berdasarkan SESAME European Research Project 2004*

Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ Hz	$0.25f_0$	$0.20f_0$	$0.15f_0$	$0.10f_0$	$0.05f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

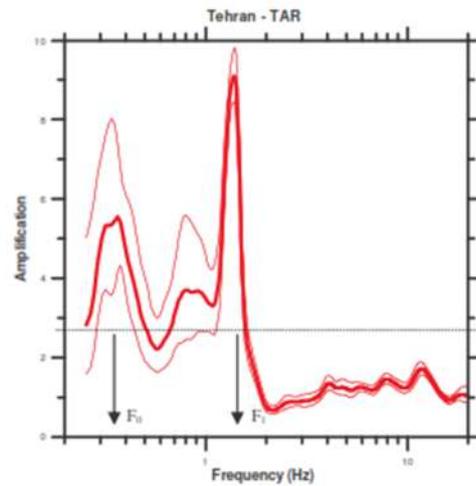


Gambar 2.3 Contoh kurva H/V *clear peak* (SESAME, 2004)

2. Unclear Sharp Peak

Kondisi ini sering terjadi di lingkungan perkotaan bahwa kurva H/V menunjukkan puncak sempit lokal atau palung (cekung). Dalam kebanyakan kasus, puncak atau palung (cekung) seperti itu diakibatkan oleh aktivitas industri yang terkait dengan beberapa jenis mesin (turbin, generator, alat berat, dll). Gangguan semacam itu diakui oleh dua karakteristik umum yaitu sangat dekat dengan sumber gangguan

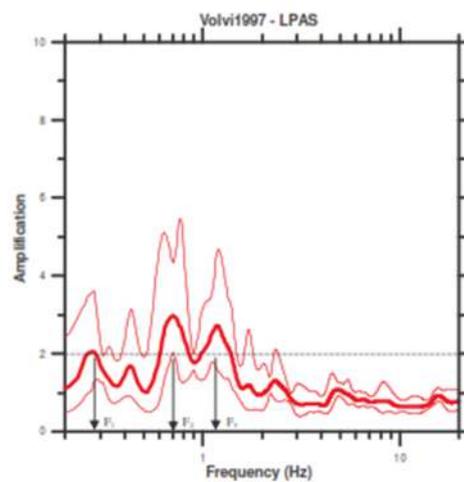
atau sumber gangguan permanen dan pengukuran dilakukan pada jam kerja sehingga menghasilkan puncak yang tajam.



Gambar 2.4 Contoh kurva H/V *unclear sharp peak* (SESAME, 2004)

3. *Unclear Broad Peak*

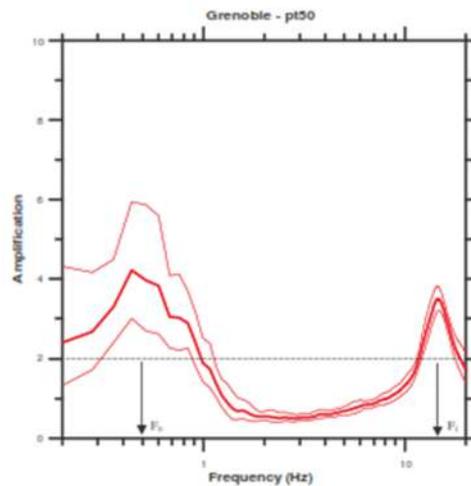
Dalam beberapa kasus, kurva H/V dapat menunjukkan beberapa puncak yang lebar atau terjadinya maksimum lokal pada kurva H/V yang tidak memenuhi poin i, ii dan v pada kriteria *clear peak*. Dalam kasus ini, pemeriksaan pertama yang harus dilakukan adalah mengubah parameter smoothing. Jika terjadi puncak yang luas, kurangi bandwidth smoothing untuk kasus terdapat beberapa puncak maka tingkatkan bandwidth smoothing. Selain itu pastikan apakah saat pengukuran terdapat kemungkinan penyebab beberapa puncak berasal dari aktivitas industri disekitar stasiun pengukuran.



Gambar 2.5 Contoh kurva H/V *broad peak case or multiple peak case* (SESAME, 2004)

4. Two peaks case

Pada kasus tertentu, kurva H/V menunjukkan dua puncak dalam satu kurva. Dalam beberapa kasus yang terjadi untuk dua kontras impedansi yang tinggi misalkan pada lapisan yang cukup tebal dan lapisan lainnya merupakan lapisan tipis akan menunjukkan dua frekuensi f_0 dan f_1 dengan $f_0 < f_1$ maka f_0 merupakan frekuensi dominan. Lakukan pengecekan dengan data geologi mengenai kondisi geologi yang mungkin terjadi seperti lapisan yang tipis atau lapisan lunak yang sangat tebal.



Gambar 2.6 Contoh kurva H/V *two peaks case* (SESAME, 2004)

2.4 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan merupakan frekuensi yang berhubungan dengan nilai amplifikasi tertinggi pada spektrum gelombang mikrotremor. Amplitudo gelombang mikrotremor berubah terhadap waktu yang berkaitan langsung dengan intensitas aktivitas di atas permukaan, tetapi nilai frekuensi atau periode gelombang relatif tetap (Kanai, 1983., Nakamura 1989). Nilai frekuensi dominan berkaitan dengan kedalaman bidang pantul bagi gelombang di bawah permukaan, dimana bidang pantul ini merupakan batas antara lapisan sedimen lunak dengan batuan yang lebih keras, sehingga jika frekuensi yang terbentuk dari pemantulan gelombang tersebut bernilai kecil maka hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan sedimen atau semakin dalam bidang pantul gelombang tersebut.

Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan sedimen. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi. Selain itu mereka menyimpulkan bahwa gelombang yang cukup dominan pada mikrotremor disamping gelombang *Rayleigh* adalah gelombang geser. (Lachet dan Brad, 1994). Dari nilai frekuensi dominan yang terukur dipermukaan, dapat diketahui karakteristik batuan dibawah permukaan. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2 tentang klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (Kanai, 1983).

Tabel 2.3 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (Kanai, 1983)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
IV	I	6,67 – 20,00	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i>	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	II	10,00 – 4,00	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5 meter, terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i>	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter
III	III	2,50 – 4,00	Batuan alluvial dengan ketebalan > 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam, dll</i>	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
II	IV	1,00 – 2,50	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll dengan kedalaman 30 meter atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal

2.5 Faktor Amplifikasi

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Nilai Puncak pada kurva HVSR berhubungan dengan perbandingan antara kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan dibawahnya. Marjiyono (2010) menyatakan bahwa amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Perubahan nilai amplifikasi suatu daerah disebabkan karena perubahan sifat fisik batuan seperti terjadinya pelapukan. Mulyatno (2013) menyatakan pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut. Sedangkan menurut Sungkono & Santosa (2011) puncak kurva HVSR dipengaruhi oleh V_s , densitas, V_p , dan Q_s sehingga dapat diketahui bahwa daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat getaran tanah merupakan daerah yang permukaannya tersusun atas sedimen lunak (gambut, pasir, pasir lanauan) dengan *bedrock* yang keras. Karena pada geologi yang seperti ini, kontras impedansinya besar. berdasarkan pernyataan tersebut, maka amplifikasi merupakan suatu fungsi perbandingan nilai kontras impedansi yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A = \frac{\rho_b \times v_b}{\rho_s \times v_s} \quad (2.11)$$

Dimana:

ρ_b = Densitas batuan pada lapisan dasar (gr/ml)

ρ_s = Densitas batuan pada lapisan lunak (gr/ml)

v_b = Kecepatan rambat gelombang pada lapisan dasar (m/dt)

v_s = Kecepatan rambat gelombang pada lapisan sedimen (m/dt)

2.6 Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik merupakan suatu parameter yang berhubungan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah saat terjadi gempa. Hal ini memperlihatkan

hubungan linier antara indeks kerentanan seismik terhadap tingkat kerusakan suatu wilayah akibat gempa bumi. Dalam penentuan indeks kerentanan seismik suatu wilayah banyak faktor yang harus dipertimbangkan salah satunya yaitu kondisi geologi setempat. Indeks kerentanan seismik yang tinggi memiliki nilai frekuensi dominan yang relatif rendah artinya pada lapisan sedimen yang relatif cukup tebal menutupi batuan dasar akan menunjukkan tingkat kerentanan seismik yang tinggi, selain itu faktor penguatan gelombang atau disebut faktor amplifikasi yang tinggi akan meningkatkan nilai indeks kerentanan seismik. Secara matematis hubungan indeks kerentanan seismik, frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Kg = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2.12)$$

Dimana:

Kg = Indeks Kerentanan Seismik

A_0 = Faktor amplifikasi

f_0 = frekuensi dominan

menurut Nakamura (2008) nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg) dibagi sebagai berikut :

Table 2.4 Klasifikasi indeks kerentanan seismik (Nakamura, 2008)

Skala	Keterangan
0-10	Rendah
10-40	Sedang
>40	Tinggi