



Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang

Windu Partono

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50275
E-mail: windu_bapake_dila@yahoo.com

Masyhur Irsyam

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung
E-mail: masyur.irsyam@yahoo.co.id / mahsyur@pri.itb.ac.id

Sri Prabandiyani R.W.

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50275
E-mail: sprw@live.undip.ac.id / wardani@live.undip.ac.id

Syamsul Maarif

Badan Nasional Penanggulangan Bencana

Abstract

The Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) is a simple method for estimating the resonance frequency of sedimentary layers. This method can also be used for estimating the site amplification factor. By using the resonance frequency and the amplification factor HVSR method can also be used for predicting the depth of the bed rock or the thickness of sediment layer (Nakamura, 1989). This paper presents results of HVSR method applied to ambient vibrations for estimating the amplification factor of sedimentary layer. A total of 16 ambient vibration measurements were performed in the City of Semarang to predict the amplification factor for the shallow sedimentary layers.

Keywords: HVSR, Amplification factor, Resonance frequency, Ambient vibration.

Abstrak

Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) adalah satu metode yang sangat mudah untuk memperkirakan frekwensi alami dari lapisan sedimen. Metode ini juga dapat digunakan untuk menentukan faktor amplifikasi dari lapisan sedimen. Dengan menggunakan nilai frekwensi alami dan faktor amplifikasi, metode HVSR juga dapat digunakan untuk memperkirakan elevasi batuan dasar atau ketebalan dari lapisan sedimen (Nakamura, 1989). Tulisan ini menjelaskan hasil analisa HVSR terhadap gelombang ambien (ambient vibrations) untuk menentukan faktor amplifikasi dari lapisan sedimen. Sebanyak 16 titik pengamatan gelombang ambient telah dilakukan di Kota Semarang untuk memperkirakan nilai faktor amplifikasi lapisan sedimen.

Kata-kata kunci: HVSR, Faktor amplifikasi, Frekuensi resonansi, Gelombang ambien.

Pendahuluan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan *ground motion* (gerakan tanah) di permukaan. Parameter pergerakan tanah yang diperlukan untuk perencanaan infrastruktur tahan gempa adalah percepatan tanah maksimum (*Peak Ground*

Acceleration/PGA), respon spektra gempa (*seismic response spectra*) dan riwayat waktu percepatan gempa (*Acceleration Time History/TH*). Besarnya PGA, Respon Spektra dan TH dapat ditentukan dengan melakukan analisa perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah. Pergerakan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan dipengaruhi oleh kondisi lapisan tanah

dimana gelombang gempa merambat (Irsyam, 2010 dan Towhata, 2008).

Salah satu cara yang sering dilakukan untuk mencari percepatan gerakan tanah di permukaan adalah dengan menggunakan faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi memberikan gambaran tentang perubahan (pembesaran) percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Pembesaran percepatan tanah dari batuan dasar ke permukaan disebabkan karena perbedaan kecepatan gerakan gelombang geser (V_s) di batuan dasar dan pada lapisan tanah (sedimen). Nilai V_s dari batuan dasar ke permukaan akan makin mengecil. Nilai V_s yang makin mengecil menyebabkan makin kecilnya nilai modulus geser (G_s) dan faktor redaman (μ), sehingga percepatan tanah akan makin membesar. Semakin besar nilai faktor amplifikasi maka semakin besar pula percepatan gerakan tanah di permukaan.

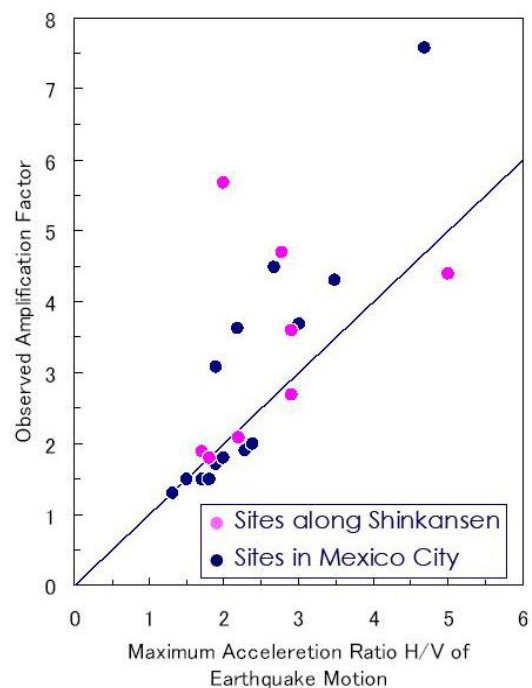
Cara terbaik untuk mencari faktor amplifikasi adalah dengan melakukan pengamatan secara langsung pengaruh dari geologi setempat pada saat mengalami peristiwa gempa. Pengamatan dilakukan dengan mengamati gelombang gempa yang di tangkap di batuan dasar dan di permukaan tanah. Dengan data pencatatan gelombang gempa di batuan dasar dan di permukaan, maka dapat diprediksi besarnya faktor amplifikasi lapisan sedimen pada satu titik pengamatan. Alat yang sering digunakan untuk merekam gelombang gempa adalah *seismometer*. Untuk menjamin ketelitian perekaman gelombang gempa maka penempatan *seismometer* pada umumnya dilakukan pada titik-titik yang berdekatan dengan sumber gempa.

Cara pendekatan lain yang juga dapat dilakukan untuk memprediksi faktor amplifikasi adalah dengan melakukan penelitian *microtremor* (Nakamura, 1989). Penelitian *microtremor* dilakukan dengan memanfaatkan gelombang ambien (*ambient vibrations*) yang muncul di sekitar lokasi *seismometer*. Pendekatan analisa untuk memprediksi nilai faktor amplifikasi yang diperkenalkan oleh Nakamura sangat mudah karena mengabaikan kondisi geologi pada lokasi pengamatan. Untuk mendapatkan nilai faktor amplifikasi Nakamura memperkenalkan satu metode analisis yang dikenal dengan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

HVSr merupakan satu metode analisa yang diperkenalkan oleh Nakamura berdasarkan pengalaman beliau melakukan pengamatan perambatan gelombang geser akibat peristiwa gempa. Nakamura dan Saito (1983) melakukan pengamatan perambatan gelombang gempa untuk

berbagai kondisi geologi. Pada saat yang bersamaan Nakamura dan Saito (1983) juga melakukan pengamatan terhadap *ambient vibrations* atau *ambient noise* di permukaan. Hasil pengamatan Nakamura dan Saito (1983) menunjukkan bahwa gerakan tanah di permukaan akibat peristiwa gempa dan akibat *ambient vibrations* disebabkan oleh gelombang *rayleigh*. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Nakamura dan Saito (1983) menunjukkan adanya kesesuaian antara nilai faktor amplifikasi tanah yang dihasilkan dengan menggunakan data pengamatan gelombang ambien dan gelombang gempa. Gambar 1 menunjukkan perbandingan faktor amplifikasi berdasarkan data-data gempa dan *ambient vibrations* yang dilakukan oleh Nakamura dan Saito (1983).

Nakamura (1989) menyampaikan bahwa metode HVSr yang diaplikasikan pada *ambient vibrations* dapat digunakan untuk memperkirakan frekwensi alami dan faktor amplifikasi dari lapisan sedimen. Penelitian *ambient vibrations* dengan menggunakan metode HVSr juga telah dilakukan oleh banyak peneliti seperti Kassaras dkk. (2008), Pando et.al. (2008), SESAME (2004) dan Rodrigues et.al (2000).



Gambar 1. Perbandingan nilai faktor amplifikasi hasil analisa HVSr dan pengamatan data gempa (Nakamura dan Saito, 1983)

Metode Penelitian

Konsep dasar metode HVSr adalah adanya kesamaan antara rasio spektra horizontal ke vertikal dengan transfer gelombang dari batuan

dasar ke permukaan (Nakamura, 1989). Nakamura menyampaikan bahwa periode dominan dan nilai puncak dari spektra rasio (H/V) mempunyai kesamaan dengan periode natural dan faktor amplifikasi dari lapisan tanah, nilai H/V diperoleh dari perbandingan antara spektrum amplitudo *fourier* komponen gelombang horizontal terhadap gelombang vertikal.

Pengukuran periode dominan tanah dilakukan dengan menggunakan *ambient vibrations* dengan meminimalkan atau mengurangi getaran *tremor* yang diakibatkan oleh gerakan manusia dan mesin atau sumber *tremor* yang lain. Dengan mengurangi getaran akibat gerakan manusia dan mesin maka getaran yang dicatat oleh *seismometer* hanya berasal dari gerakan tanah. Karena gerakan manusia atau mesin sering terjadi pada siang hari, maka proses pencarian data gerakan tanah akan lebih baik jika dilakukan pada malam hari atau pada tempat-tempat yang jauh dari aktifitas manusia sehari-hari.

Gelombang yang digunakan pada penelitian ini adalah *microtremor* yaitu *ambient vibrations* dengan amplitudo rendah. Gelombang ini bisa ditimbulkan dari gerakan tanah, gerakan angin, gelombang laut atau getaran dari kendaraan. Observasi mikrotremor mudah untuk dilakukan dan dapat diaplikasikan pada daerah-daerah dengan tingkat seismisitas tinggi sampai rendah. Nakamura (2008) menyampaikan bahwa nilai faktor amplifikasi suatu tempat dapat diketahui dari tinggi puncak spektrum kurva HVSR hasil pengukuran mikrotremor di tempat tersebut. Nilai periode dominan atau frekwensi dominan yang diperoleh dari kurva HVSR mempunyai korelasi dengan tingkat ketebalan dari lapisan sedimen.

Penelitian faktor amplifikasi tanah di Kota Semarang dilakukan pada 16 titik pengamatan yang terbagi menjadi dua baris pengamatan. Masing-masing baris terdiri dari 8 titik pengamatan. Pengujian lapangan menggunakan alat *Feedback Short Period Seismometer*. Gambar 2 menunjukkan peralatan yang digunakan pada penelitian gelombang ambien di Kota Semarang.

Pengamatan gelombang ambien dilakukan selama 30 menit dengan frekwensi 100 Hz. Dengan menggunakan frekwensi 100 Hz, maka setiap menit akan dihasilkan 6000 data. Sumber getaran diambil dari getaran ambien yang diperoleh di sekitar lokasi pengamatan. Peralatan yang digunakan adalah GPS, *data logger*, *seismometer* dan komputer laptop. Gambar 3 menunjukkan 16 titik pengamatan yang dibagi menjadi 2 baris pengamatan.



a. Seismometer



b. Data logger

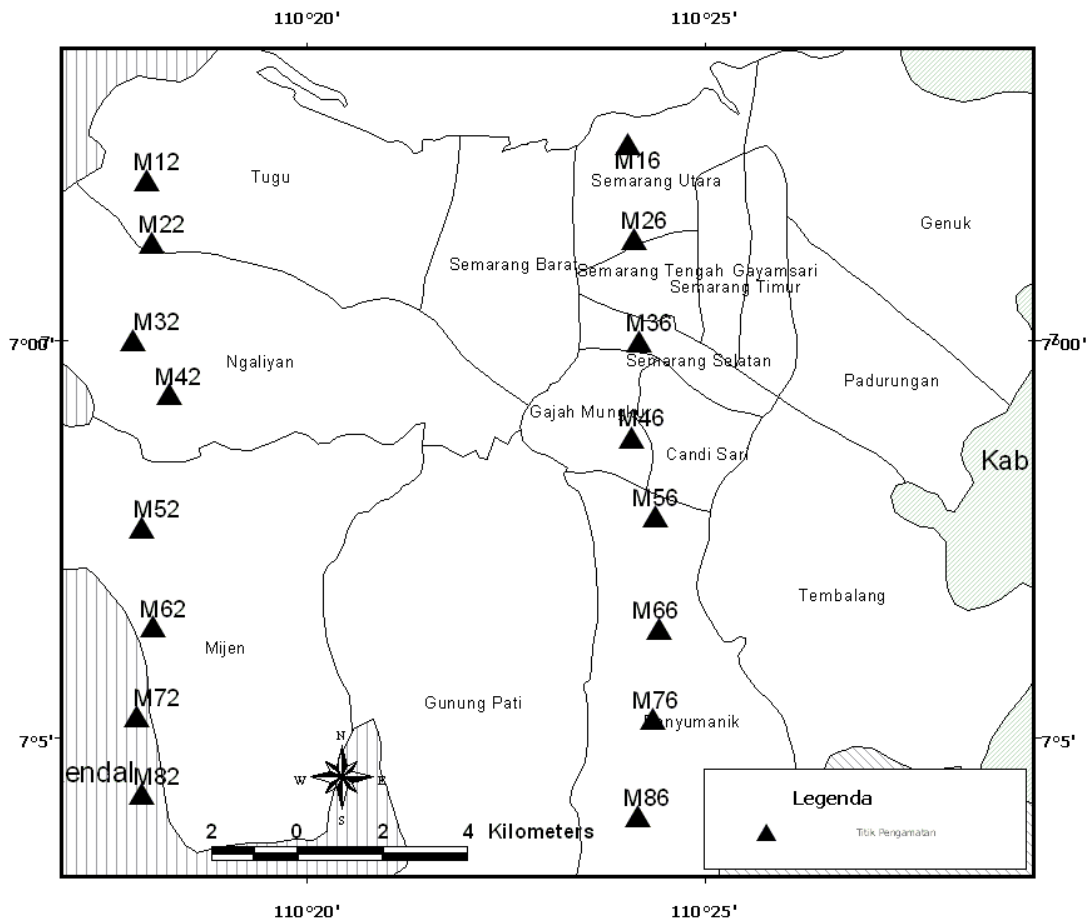


c. GPS



d. Komputer

Gambar 2. Peralatan pengujian gelombang ambien.



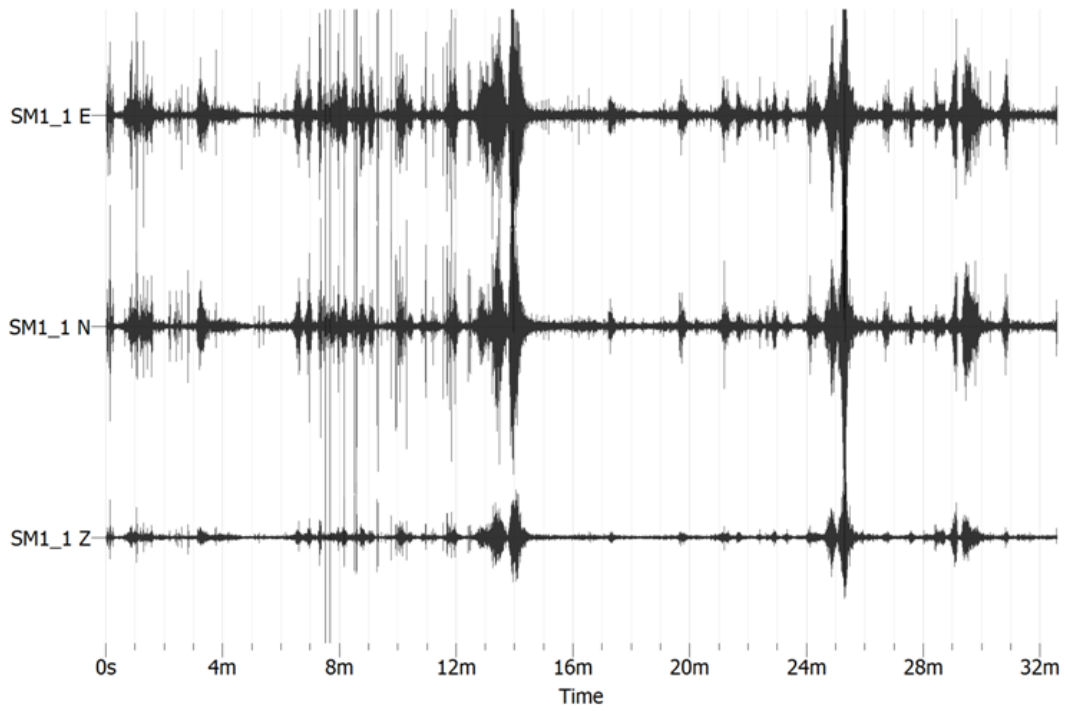
Gambar 3. Lokasi titik pengamatan

Pada penelitian ini, getaran ambien diperoleh dari getaran yang timbul disekitar titik *seismometer*. Getaran ambien yang ditangkap pada seismometer ditangkap dari getaran yang ditimbulkan dari gerakan kendaraan, gerakan tumbuhan akibat tiupan angin atau dengan menggunakan getaran yang ditimbulkan dari tumbukan hamer di atas permukaan tanah. Getaran yang ditangkap oleh *seismometer* kemudian dicatat oleh *data logger* dan ditampilkan ke layar monitor.

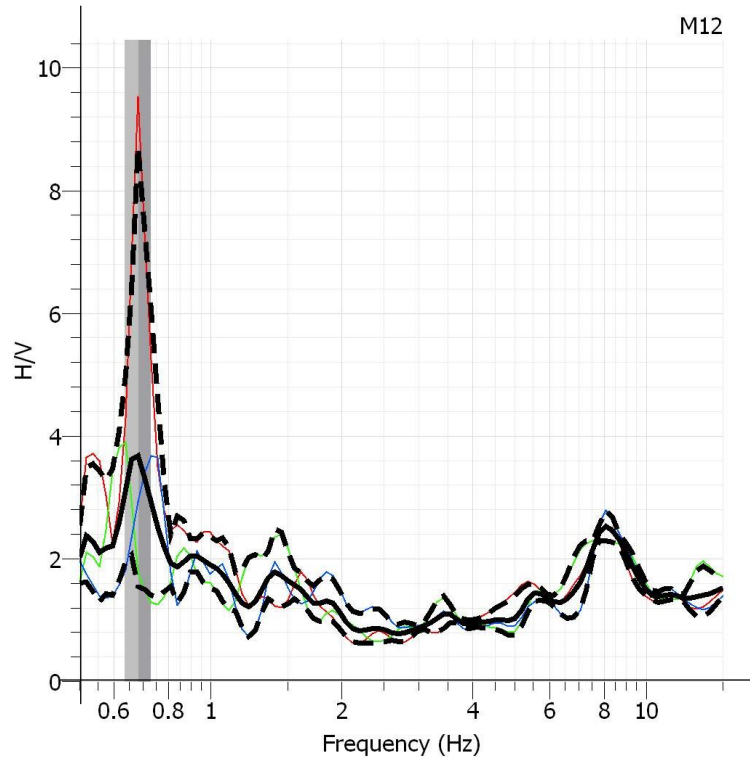
Gambar 4 memberikan contoh tiga komponen data gelombang ambien yang di peroleh dari lokasi titik M12. Dengan menggunakan data gelombang ambien pada satu titik, maka dapat dibuat grafik hubungan antara H/V dengan frekwensi gelombang. Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara H/V dan frekwensi gelombang. Grafik yang terlihat pada Gambar 5 diperoleh dari hasil analisa gelombang ambien pada titik M12 dengan menggunakan *software Geopsy*.

Pengolahan Data Pengamatan

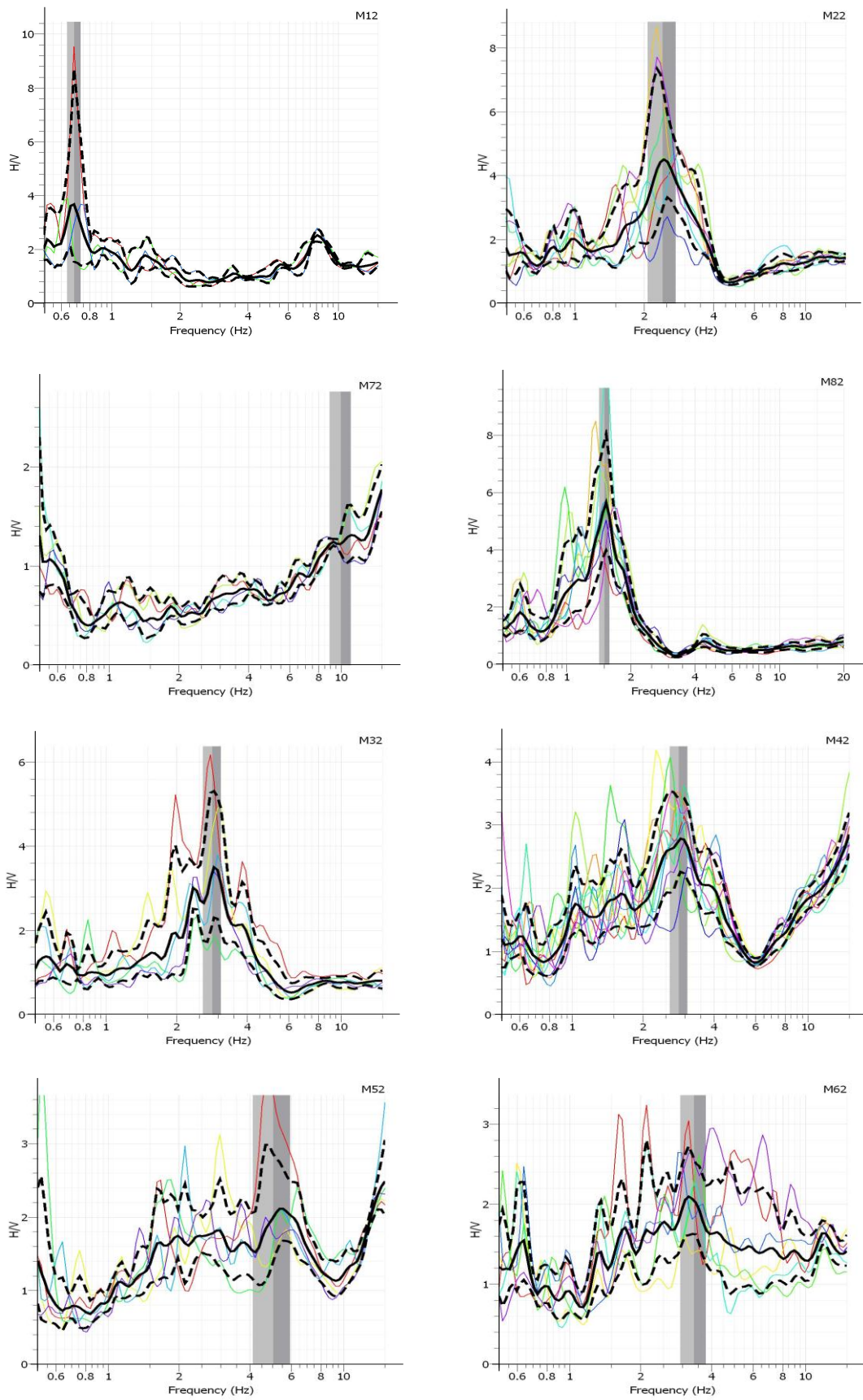
Berdasarkan hasil pengamatan gelombang ambien pada 16 titik dengan menggunakan *seismometer* akan diperoleh tiga komponen gelombang arah NS (utara-selatan), EW (timur-barat) dan V (vertical). Ketiga komponen data gelombang ambien tersebut kemudian diolah dengan menggunakan metode HVSR dan fasilitas *software Geopsy*. Hasil analisa dengan metode HVSR akan menghasilkan grafik hubungan antara H/V dan frekuensi. Faktor amplifikasi tanah diperoleh dari nilai *H/V max* pada *frequency dominant* (F_0). Pada Gambar 5 dapat dilihat nilai faktor amplifikasi pada titik M12 adalah 3.66 dengan frekwensi dominan $F_0 = 0.68$ Hz. Gambar 6 menunjukkan hasil analisa HVSR pada 8 lokasi pengamatan di jalur 1 yaitu pada titik M12 sampai M82. Gambar 7 menunjukkan hasil analisa HVSR pada titik M16 sampai M86.



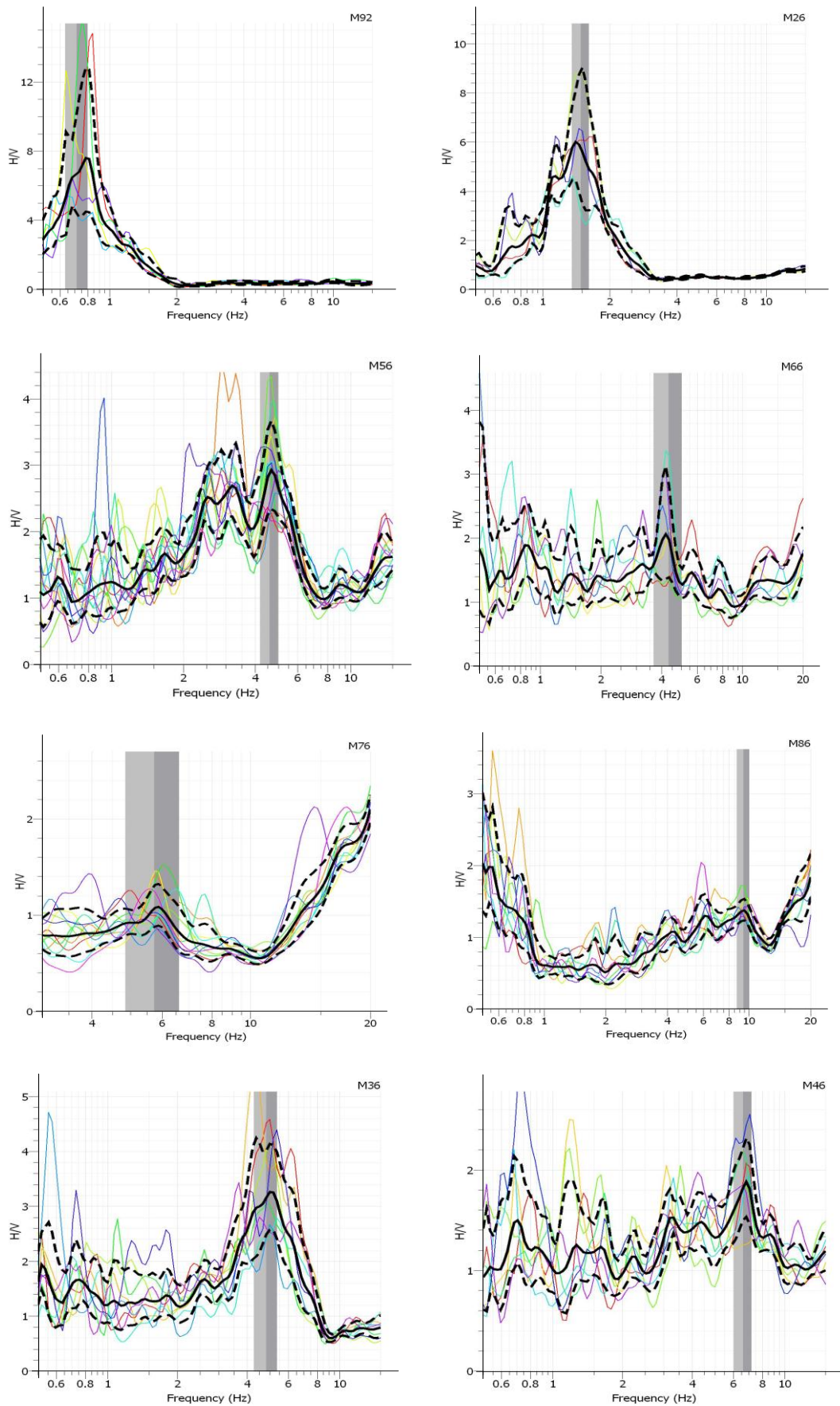
Gambar 4. Contoh gelombang ambien tiga komponen pada lokasi titik M12



Gambar 5. Grafik hubungan H/V dan frekwensi pada M12



Gambar 6. Hasil analisa HVSR pada 8 Titik (M12 – M82)



Gambar 7. Hasil analisa HVSR pada 8 Titik (M16 – M86)

Berdasarkan hasil analisa gelombang ambien dengan menggunakan metode HVSR pada 16 lokasi pengamatan diperoleh nilai faktor amplifikasi minimum 1.07 dan faktor amplifikasi maksimum 6.7. Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan faktor amplifikasi pada 16 lokasi pengamatan dengan menggunakan metode HVSR. Nilai faktor amplifikasi yang diperoleh pada titik-titik M12, M22, M16 dan M26 secara umum jauh lebih besar dibandingkan hasil pengamatan pada 12 titik yang lain. Pada satu baris pengamatan terlihat posisi titik-titik yang terletak di bagian utara mempunyai faktor amplifikasi yang jauh lebih besar dibandingkan titik-titik yang terletak di bagian tengah atau di bagian selatan. Hasil perhitungan faktor amplifikasi pada titik M82 sedikit menyimpang terhadap pola perubahan faktor amplifikasi pada satu jalur yang sama. Dari hasil analisa terhadap 16 titik pengamatan terlihat nilai faktor amplifikasi rata-rata pada titik-titik yang terletak dibagian utara Kota Semarang jauh lebih besar daripada titik-titik pengamatan yang terletak di bagian selatan Kota Semarang.

Tabel 1. Faktor amplifikasi pada 16 lokasi pengamatan.

Stasiun	Frekwensi	Faktor
M12	0,68	3,66
M22	2,40	4,48
M32	2,83	3,36
M42	2,84	2,75
M52	5,02	2,00
M62	3,37	2,04
M72	9,98	1,22
M82	1,53	5,49
M16	0,71	6,70
M26	1,48	5,74
M36	4,82	3,16
M46	6,60	1,82
M56	4,66	2,92
M66	4,33	1,99
M76	5,73	1,07
M86	9,38	1,37

Hubungan Faktor Amplifikasi dan Kelas Situs Tanah

Menurut SNI 03-1726-2002 kondisi tanah dibagi menjadi 4 yaitu tanah keras, tanah sedang, tanah lunak dan tanah khusus. Tiga parameter yang digunakan untuk membedakan jenis tanah adalah

nilai N rata-rata (\bar{N}), kecepatan rambat gelombang geser rata-rata (\bar{Vs}) dan kuat geser nir alir rata-rata (\bar{Su}). Nilai \bar{N} , \bar{Vs} dan \bar{Su} ditentukan dengan mengambil data pengamatan sampai kedalaman 30 meter. Hanya tanah khusus yang tidak menggunakan ketiga parameter tersebut di atas untuk menentukan kelas tanahnya.

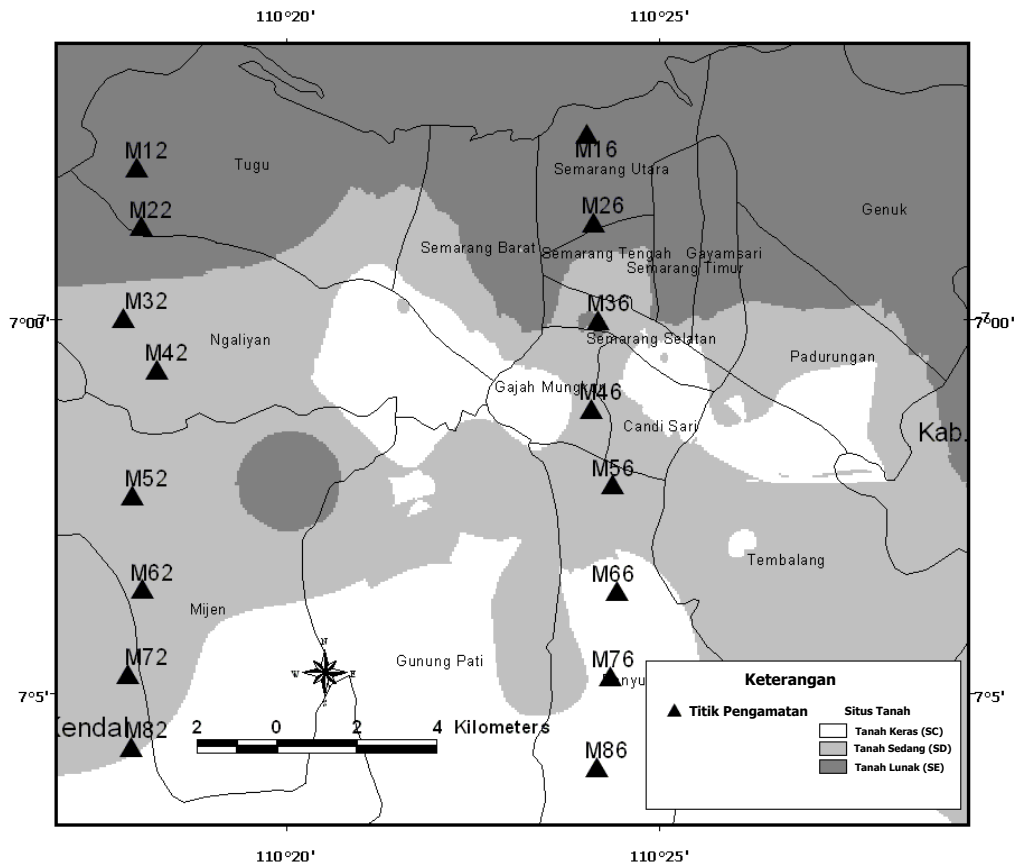
Cara pendekatan yang dilakukan pada SNI 03-1726-2002 juga digunakan pada SNI 1726-201X. Menurut SNI 1726-201X jenis tanah (kelas situs) dibagi menjadi 6 yaitu kelas A (SA), kelas B (SB), kelas C (SC), kelas D (SD), kelas E (SE) dan kelas F (SF). Menurut SNI 03-1726-201X, SA dan SB masuk kategori batuan dan SB juga dikenal sebagai batuan dasar. Untuk membedakan masing-masing kelas situs, SNI 03-1726-201X juga menggunakan tiga parameter yang sama seperti SNI 03-1726-2002. Dari keenam kelas situs yang digunakan pada SNI 03-1726-201X, kelas situs SA dan SB hanya menggunakan parameter kecepatan rambat gelombang geser rata-rata (\bar{Vs}). Kelas situs SF juga dikenal sebagai kelas tanah khusus yang cara penentuannya menggunakan pendekatan yang berbeda dari kelas situs yang lain.

Untuk menentukan kelas situs tanah pada satu lokasi pengamatan, parameter yang sering digunakan adalah nilai \bar{N} . Penggunaan nilai \bar{N} sering dilakukan karena penentuan harga \bar{N} menggunakan nilai N-SPT. Pengamatan dengan N-SPT sering dilakukan pada pekerjaan pengeboran lapisan tanah. Perhitungan nilai \bar{N} ditentukan dengan rumus (1):

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:
 t_i = tebal lapisan ke i
 N_i = nilai N-SPT pada lapisan ke i

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap data-data sekunder dari pekerjaan pengeboran yang dilakukan pada 128 lokasi pengamatan di Kota Semarang, maka perkiraan peta situs tanah atau kelas tanah untuk Kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 8. Dengan menggunakan peta situs tanah sebagaimana terlihat pada Gambar 8, kemudian dilakukan penempatan ke 16 lokasi pengamatan. Hasil penempatan 16 lokasi pengamatan ke peta situs tanah dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Peta kelas situs tanah berdasarkan data N-SPT dan lokasi pengamatan.

Pada Gambar 8 terlihat bahwa titik M12, M22, M16 dan M26 diperkirakan terletak pada kelas situs SE (tanah lunak). Titik M32, M42, M52, M62, M72, M82, M36, M46, M56 diperkirakan terletak pada kelas situs SD (tanah sedang). Tiga titik terakhir M66, M76 dan M86 diperkirakan terletak pada kelas situs SC (tanah keras). Berdasarkan hasil analisa terhadap 16 lokasi pengamatan diperoleh hubungan antara faktor amplifikasi terhadap kelas situs tanah di Kota Semarang sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan faktor amplifikasi dan kelas situs tanah di Kota Semarang

Kelas Situs	Faktor Amplifikasi
Tanah Keras (SC)	1.48
Tanah Sedang (SD)	2.75
Tanah Lunak (SE)	5.15

Pada Tabel 2 terlihat nilai faktor amplifikasi rata-rata yang diperoleh dari 4 titik pengamatan M12, M22, M16 dan M26 adalah 5.15. Dari hasil perhitungan rata-rata faktor amplifikasi pada keempat titik tersebut, maka perkiraan faktor amplifikasi pada kelas situs SE di Kota Semarang adalah 5.15. Nilai rata-rata faktor amplifikasi yang diperoleh pada titik-titik M32, M42, M52, M62, M72, M82, M36, M46 dan M56 adalah 2.75. Hasil

perhitungan nilai rata-rata faktor amplifikasi pada 9 titik pengamatan pada kelas situs SD adalah 2.75. Perkiraan faktor amplifikasi pada kelas situs SD di Kota Semarang adalah 2.75. Dengan cara yang sama untuk tiga titik pengamatan M68, M78 dan M88 diperoleh nilai faktor amplifikasi kelas situs SC di Kota Semarang adalah 1.48.

Kesimpulan

Dari hasil analisa terhadap 16 lokasi pengamatan di Kota Semarang maka diperoleh gambaran tentang faktor amplifikasi tanah sebagai berikut:

1. Faktor amplifikasi tanah untuk wilayah Kota Semarang berkisar antara 1.07 sampai 6.7.
2. Wilayah Utara Kota Semarang mempunyai nilai faktor amplifikasi terbesar dibandingkan wilayah Semarang bagian Tengah dan Selatan.
3. Faktor amplifikasi untuk kelas situs tanah keras (SC), tanah sedang (SD) dan tanah lunak (SE) di Kota Semarang masing-masing adalah 1.48, 2.75 dan 5.15.

Daftar Pustaka

Irsyam M, 2010. *Peran dan Pengembangan Rekayasa Geoteknik Kegempaan di Indonesia Dalam Pembangunan Infrastruktur Tahan Gempa*, Pidato Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung.

Kassaras I., Voulgaris N. dan Makropoulos K., 2008. *Determination of Site Response in Lefkada Town (W. Greece) by Ambient Vibration Measurements*, 31st General Assembly of The European Seismological Commission ESC 2008, Hersonissos, Crete, Greece, 7-12 September 2008.

Nakamura Y., 1989. *A Methode for Dynamic Characteristics of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, Japan, 30-1, 25-33.

Nakamura Y. dan Saito A., 1983. *Estimation of Amplification Characteristics of Surface Ground and PGA Using Strong Motion Records in Japan*, Proc. 17th JSCE Earthquake Engineering Symposium, 25-28.

Nakamura Y., 2008. *On The H/V Spectrum*, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.

Pando M., Cano L., Suárez L.E., Ritta R. dan Montejo L.A., 2008. *Comparison of Site Fundamental Period Estimates Using Weak-Motion Earthquakes and Microtremors*, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.

Towhata, I., 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, xx+684p.

Rodriguez M., Chavec-Garcia F.J., and Stephenson W.R., 2000. *Site Effects in an Alluvial Valley: A Comparison of Estimates from Earthquake and Microtremor Records*, 12 WCEE, 2000, Paper No. 1441

SESAME, 2004. *Site Effects Assessment Using Ambient Excitations*, Report of the WP04 H/V Technique : Empirical Evaluation, Deliverable D16.04, June 2004.