

KOMPARASI NILAI FAKTOR AMPLIFIKASI TANAH DENGAN PENDEKATAN SSA DAN HVSR PADA WILAYAH KECAMATAN TEMBALANG KOTA SEMARANG

Windu Partono *), Masyhur Irsyam **), Sri Prabandiyani R.W *), Syamsul Maarif ****)

Abstract

Several methods for evaluating the effect of site specific condition of soil layers against earthquakes are presently available. Site Specific Analysis (SSA) and Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) are two methods commonly used for estimating the amplification factor of soil layers above bedrock. SSA can be performed using subsurface shear wave velocities and dynamic soil properties (density, shear modulus and damping). The HVSR is a simple method for estimating the site amplification factor. Based on the time and budget requirement HVSR is more efficient and effective compare to SSA method.

This paper presents result of SSA and HVSR methods comparison for estimating the amplification factor of soil layers. Two boring locations and six single station seismometer tests were perform within Tembalang District Area.

Key words: Amplification Factor, Site Specific Analysis (SSA), Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR).

Pendahuluan

Pada saat terjadi peristiwa gempa, lapisan tanah di atas batuan dasar (*bedrock*) dapat berperilaku sebagai filter yang dapat memperbesar gerakan tanah dan amplitudo dari goyangan tanah. Pembesaran gerakan tanah dan amplitudo dari goyangan sangat dipengaruhi oleh ketebalan dari lapisan sedimen di atas batuan dasar, density tanah, kecepatan rambat gelombang geser (V_s) dan gelombang primer (V_p) dari lapisan tanah. Metode yang paling sering dilakukan untuk melihat pengaruh dari lapisan tanah terhadap peristiwa gempa adalah dengan melihat faktor amplifikasi dari lapisan tanah. Dua cara yang sering dilakukan untuk memperkirakan faktor amplifikasi lapisan tanah adalah dengan menggunakan rambatan gelombang geser melalui cara *Invasive* dan *Non-Invasive*. Cara *invasive* dilakukan dengan meletakkan *seismometer* pada kedalaman tertentu dari lapisan tanah yang akan diukur nilai V_s -nya. Cara *Non-Invasive* dilakukan dengan menempatkan *seismometer* di atas permukaan tanah.

Cara *Invasive* yang juga sering dilakukan adalah dengan menggunakan data-data V_s yang diperoleh dari rumus empiris. Nilai V_s dari lapisan tanah dapat dihitung dengan menggunakan nilai N_{60} dari lapisan tanah dan mengkonversinya menjadi nilai V_s . N_{60} adalah tahanan penetrasi standar 60 persen energi yang terukur di lapangan tanpa faktor koreksi. Wair, De Jong dan Shants (2012) menyampaikan adanya beberapa teori untuk memperkirakan nilai V_s dengan menggunakan nilai N_{60} . Rumus-rumus empiris yang di sampaikan oleh Wair, De Jong dan Shants (2012) merupakan pengembangan dari teori lama yang diperkenalkan oleh Ohta dan Goto (1978), Imai dan Tonouchi (1982) untuk tanah lempung dan lanau. Wair, De Jong dan Shants (2012) juga mengembangkan rumus empiris kecepatan rambat gelombang V_s untuk tanah

pasir yang pertama kali diperkenalkan oleh Imai dan Tonouchi (1982) dan Sykora dan Stokoe (1983). Metode analisis yang sering digunakan untuk perhitungan faktor amplifikasi tanah pada cara *invasive* adalah *Site Specific Analysis* (SSA).

Salah satu cara *Non-Invasive* yang sering dilakukan adalah dengan melakukan pencatatan gelombang ambien yang dibangkitkan oleh gerakan alami dari benda atau makhluk hidup di sekitar *seismometer*. Gelombang ambien yang dibangkitkan di sekitar *seismometer* kemudian dianalisis dengan menggunakan metode HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*). *Seismometer* yang digunakan pada cara *Non-Invasive* adalah *seismometer* yang dapat mencatat gerakan tanah yang sangat lemah (*micro-tremor*) dengan frekwensi antara 0.02 sampai 50 Hz (Horike, 1985). Metode HVSR pertama kali diperkenalkan oleh Nakamura (1989). Metode ini diperkenalkan oleh Nakamura berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nakamura dan Saito (1983).

Faktor amplifikasi yang diperoleh dengan menggunakan metode SSA dihitung dengan membandingkan spektra percepatan gerakan tanah di permukaan dengan di batuan dasar. Faktor amplifikasi yang dihitung dengan menggunakan metode HVSR diperoleh dari nilai maksimum perbandingan spektra amplitudo gelombang horizontal dan vertikal (H/V). Nilai frekwensi yang diperoleh pada saat nilai spektral H/V mencapai maksimum mempunyai nilai yang sama dengan frekwensi dominan dari lapisan tanah di atas batuan dasar.

Nilai N-SPT yang digunakan pada SSA diperoleh melalui pekerjaan pengeboran lapisan tanah dan pengujian *Standard Penetration Test* (SPT). Nilai N-SPT yang diperoleh langsung di lapangan kemudian dikoreksi terhadap jenis peralatan yang digunakan, elevasi pengujian SPT, ukuran lubang bor dan metode pelapisan dari tabung belah SPT untuk menghasilkan nilai N_{60} . Nilai V_s yang diperoleh dengan cara ini akan memakan waktu yang lama

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil FT Undip

**) Institut Teknologi Bandung

***) Badan Nasional Penanggulangan Bencana

dan biaya yang cukup besar. Makin dalam pekerjaan pengeboran yang dilakukan maka biaya yang dibutuhkan akan makin besar dan kadangkala memerlukan peralatan khusus agar pengeboran dapat dilakukan sampai kedalaman lebih dari 100 meter.

Pengujian HVSR dengan memanfaatkan gelombang ambien merupakan cara yang sederhana dengan waktu pelaksanaan yang relatif lebih singkat jika dibandingkan dengan cara pengeboran. Biaya yang dikeluarkan untuk melakukan pengujian ini juga jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan pekerjaan pengeboran. Persoalan yang sering dijumpai pada pengujian ini adalah tidak diketahuinya parameter dinamis tanah dari batuan dasar sampai ke permukaan tanah. Pengujian HVSR adalah salah satu cara pengujian dengan mengabaikan kondisi fisik dari lapisan tanah.

Tulisan ini akan menyampaikan hasil analisa perbandingan nilai faktor amplifikasi yang dihitung dengan pendekatan SSA dan HVSR. Pada penelitian ini 2 (dua) titik pengeboran telah dilakukan di Kecamatan Tembalang. Satu titik pengeboran telah dilakukan di sekitar Jl. Mulawarman. Pemilihan titik pengeboran di Jl. Mulawarman berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Wardani

dan Partono (2012) dan Partono (2012). Elevasi batuan dasar di sekitar Jl. Mulawarman diperkirakan berada pada kedalaman kurang dari 30 meter. Satu titik pengeboran lain ditentukan disekitar Kelurahan Rowosari. Berdasarkan hasil penelitian Wardani dan Partono (2012) dan Partono (2012) elevasi batuan dasar di Kelurahan Wonosari diperkirakan berada pada kedalaman lebih 30 meter. Pada penelitian ini juga telah dilakukan pengujian rambatan gelombang ambien pada 6 (enam) titik disekitar Kecamatan Tembalang. Keenam titik pengamatan tersebut merupakan bagian dari penelitian rambatan gelombang ambien di wilayah kota Semarang yang telah dilakukan oleh Partono (2012).

Metodologi

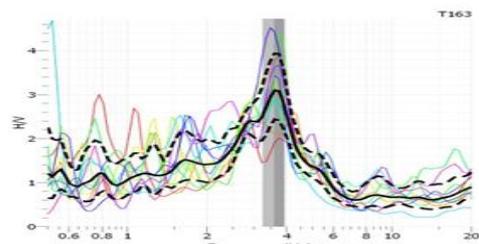
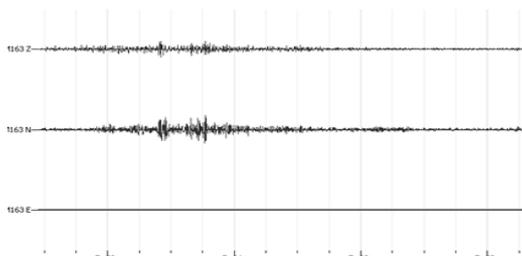
Pada penelitian rambatan gelombang ambien digunakan peralatan *short periode feedback seismometer* dengan frekwensi 100 Hz. Gelombang yang dapat ditangkap dengan peralatan ini adalah *microtremor* dengan frekwensi 1 Hz. Dalam 1 menit pengamatan dapat diperoleh 6000 data gelombang. Lama waktu pengamatan adalah 15 menit. Peralatan lain yang digunakan pada penelitian ini adalah komputer, GPS dan *data logger*. Gambar 1 menunjukkan peralatan yang digunakan pada penelitian *microtremor* (diambil dari Partono, 2012).



Gambar 1 Peralatan Pengujian *Microtremor* (Partono, 2012)

Hasil pengamatan *microtremor* berbentuk 3 komponen gelombang ambien (Z, NS dan EW). Gelombang ambien yang diperoleh dari pengamatan di lapangan kemudian di olah menjadi spektra H/V. Gambar 2 menunjukkan contoh 3 komponen ge-

lombang ambien yang diperoleh pada satu titik pengamatan dan grafik spektra H/V pada titik bersangkutan yang dihitung dengan menggunakan *software Geopsy* (diambil dari Partono, 2012).



(a)(b)

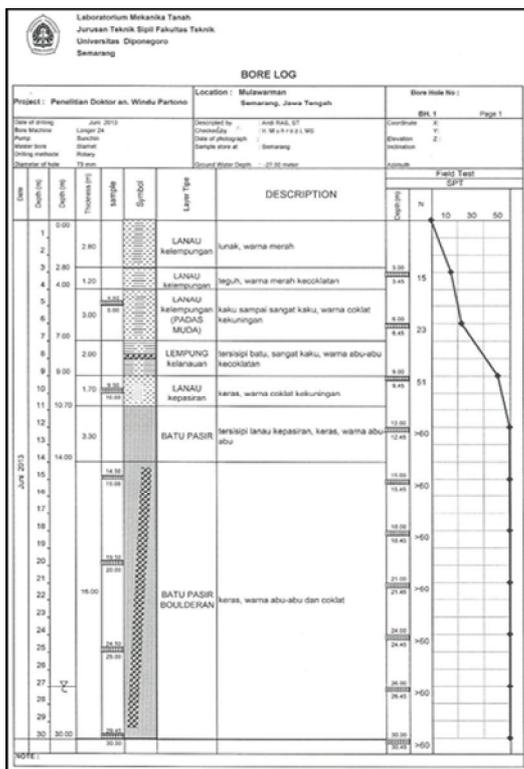
Gambar 2 Contoh Tiga Komponen Gelombang Ambien(a) dan Spektra H/V (b) (Partono, 2012)

Faktor amplifikasi yang dihitung dengan pendekatan SSA menggunakan nilai N60 yang diperoleh dari pekerjaan pengeboran di dua titik (Lok93BH1 dan Lok95BH1). Nilai Vs setiap lapisan diperoleh dari konversi nilai N60 lapisan bersangkutan dengan menggunakan rumus empiris yang dikembangkan oleh Wair, De Jong dan Shants (2012).

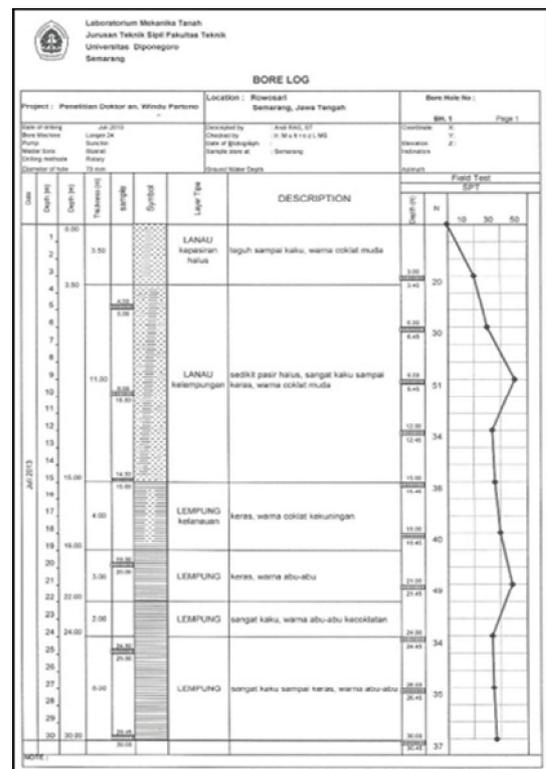
Salah satu tahapan penting pada analisa SSA adalah pengumpulan data *ground motion* dalam bentuk *time histories*. Data *ground motion* diperoleh dari stasiun pengamatan gempa dan dari katalog gempa. Irsyam (2010) menyampaikan bahwa katalog gempa adalah catatan kejadian-kejadian gempa yang dibuat oleh stasiun pencatat gempa. Data *ground motion* yang digunakan pada penelitian ini diperoleh berdasarkan hasil analisa deagregasi *uniform hazard* gempa untuk setiap sumber gempa yang berpotensi akan berpengaruh terhadap Kota Semarang. Deagregasi dilakukan terhadap *uniform hazard spectra* hasil analisa *seismic hazard* untuk masing-masing sumber gempa pada periode spektra pendek 0.2 detik dan 1 detik (Wardani dan Partono, 2011). Analisa deagregasi akan memberikan informasi tentang magnitudo dan jarak dari sumber gempa yang akan berpengaruh pada satu titik pengamatan. Analisa deagregasi telah dilaku-

kukan pada beberapa kota di wilayah Sumatera Mahesworo, 2008). Mahesworo (2008) telah melakukan analisa deagregasi dan berhasil memilih *ground motion* yang dapat digunakan di kota Banda Aceh, Padang, Bengkulu dan Bandar Lampung. Tim Pemetaan Mikrozonasi Hazard dan Resiko Gempa kota Jakarta juga telah berhasil memilih beberapa *ground motion* yang dapat digunakan untuk kota Jakarta.

Data N-SPT yang digunakan pada penelitian ini diambil dari hasil pengeboran pada titik Lok93BH1 dan Lok95BH1. Pada gambar 3 terlihat dua data N-SPT dalam bentuk *boring-log* yang diperoleh dari pekerjaan pengeboran pada titik Lok93BH1 dan Lok95BH1 (Wardani dan Partono, 2013). Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan nilai N60 untuk setiap lapisan pada titik Lok93BH1 dan Lok95BH1 (Wardani dan Partono, 2013). *Ground motion* yang digunakan pada penelitian ini diambil dari peristiwa gempa Chi-Chi Taiwan tahun 1999, gempa Kobe Jepang tahun 1995, gempa Loma Prieta California tahun 1989 dan gempa Hector Mine California tahun 1999. Titik pengamatan *microtremor* dan titik pengeboran dapat dilihat pada gambar 4 (Wardani dan Partono, 2013).



(a)



(b)

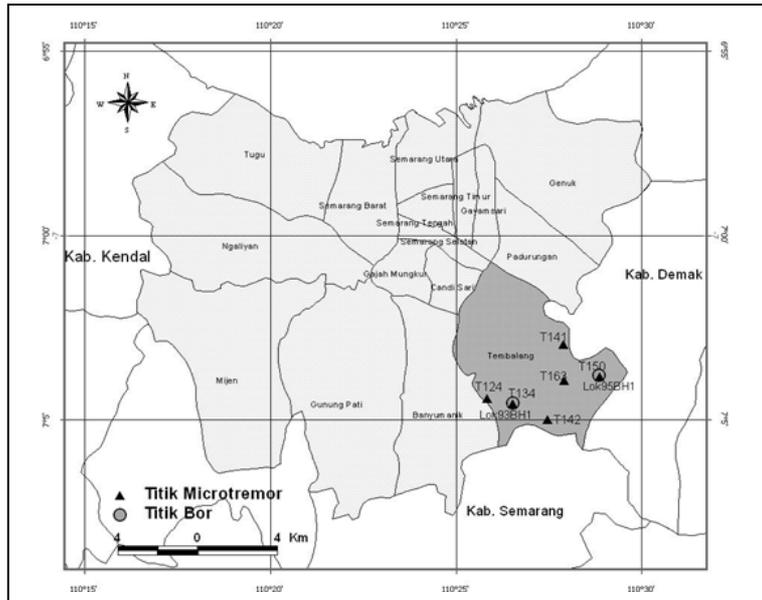
Gambar 3. Boring Log Pada Titik Lok93BH1(a) dan Lok95BH1 (b) (Wardani dan Partono, 2013)

Table 1 Hasil Perhitungan N60 dan Vs pada Lok93BH1 (Wardani dan Partono, 2013)

NO Layer	Tebal	Deskripsi	Tipe Material Tanah	N	N60	Average Vs (m/s)	Unit Weight (kN/m ³)
1	2.8	Lanau Kelempungan Lunak	1	7.5	8	167	16.79
2	1.2	Lanau Kelempungan Teguh	1	17	19	212	16.79
3	3	Lanau Kelempungan	1	23	33	249	16.79
4	2	Lempung Kelanauan	1	41	58	297	16.9
5	1.7	Lanau Kepasiran Keras	1	55	82	329	16.9
6	3.3	Batu Pasir	2	60	90	349	19.94
7	13	Batu Pasir	2	65	98	357	22.03
8	3	Batu Pasir	2	70	105	365	22.03
9	10	Batu Pasir	2	70	105	365	22.03
10	10	Batu Pasir	2	70	105	365	22.03

Tabel 2. Hasil Perhitungan N60 dan Vs pada Lok95BH1 (Wardani dan Partono, 2013)

NO Layer	Tebal	Deskripsi	Tipe Material Tanah	N	N60	Average Vs (m/s)	Unit Weight (kN/m ³)
1	3.5	Lanau Kepasiran Teguh	1	10	11.2 5	181	17.22
2	11.5	Lanau Kelempungan sedikit pasir	1	34	51	285	17.69
3	4	Lempung Kelanauan keras	1	38	57	294	17.77
4	3	Lempung Keras	1	45	67.5	310	17.77
5	2	Lempung Sangat Kaku	1	42	63	303	17.83
6	6	Lempung Sangat Kaku	1	35	52.5	287	17.92
7	10	Lempung Sangat Kaku	1	50	75	320	17.92
8	10	Lempung Sangat Kaku	1	60	90	338	17.92
9	10	Lempung Sangat Kaku	1	105	157. 5	400	17.92
10	10	Lempung Sangat Kaku	1	150	225	445	17.92
11	10	Lempung Sangat Kaku	1	195	292. 5	482	17.92
12	10	Lempung Sangat Kaku	1	240	360	513	17.92
13	10	Lempung Sangat Kaku	1	285	427. 5	541	17.92
14	10	Lempung Sangat Kaku	1	330	495	565	17.92
15	10	Lempung Sangat Kaku	1	375	562. 5	588	17.92
16	10	Lempung Sangat Kaku	1	420	630	608	17.92
17	10	Lempung Sangat Kaku	1	465	697. 5	628	17.92
18	10	Lempung Sangat Kaku	1	510	765	646	17.92
19	10	Lempung Sangat Kaku	1	555	832. 5	662	17.92

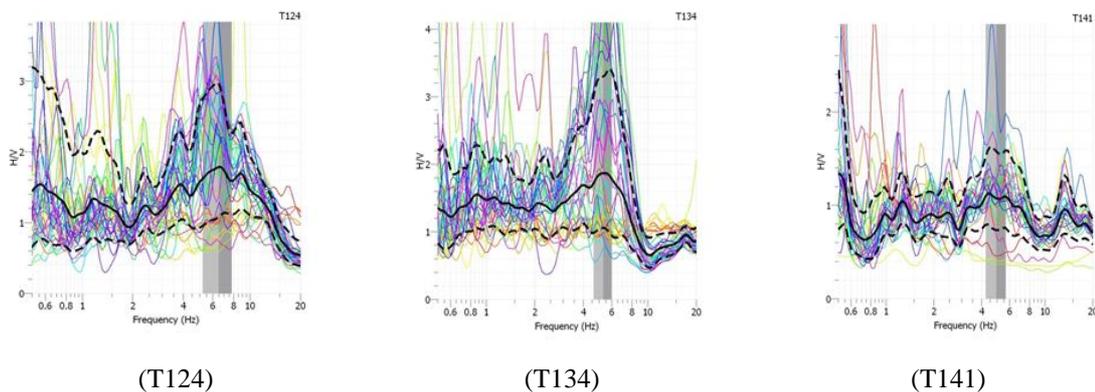


Gambar 4 Titik Pengamatan *Microtremor* dan *Boring* Di Kecamatan Tembalang (Wardani dan Partono, 2013)

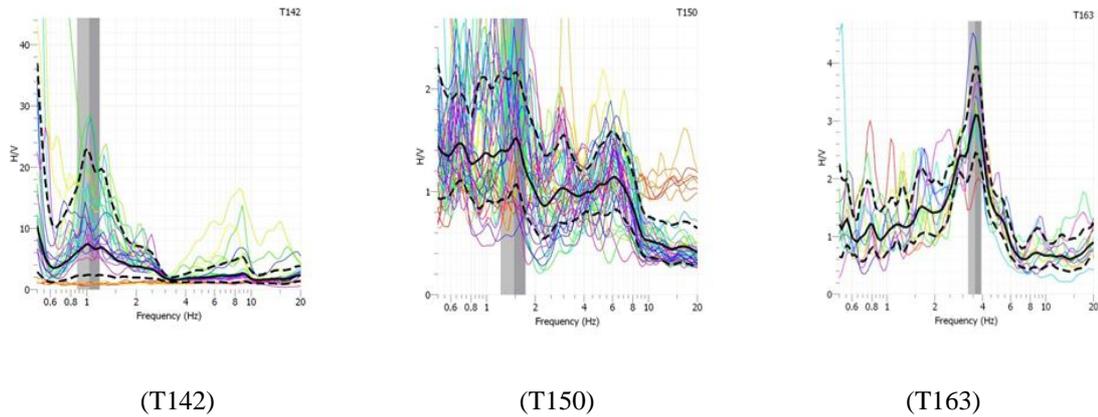
Pengolahan Data Pengamatan

Dari hasil pengamatan gelombang ambien pada 6 titik pengamatan akan diperoleh tiga komponen gelombang. Perhitungan spektra H/V terhadap keenam data gelombang ambien tersebut akan menghasilkan grafik spektra H/V sebagaimana terlihat pada gambar 5 dan gambar 6 (Wardani dan Partono, 2012). Faktor amplifikasi tanah diperoleh dari nilai H/V_{max} pada *frequency dominant* (F_0). Nilai faktor amplifikasi disekitar wilayah Kecamatan Tembalang berkisar antara 1.13 sampai 2.46. Rata-rata faktor amplifikasi tanah di wilayah tembalang adalah 1.92. Tabel 3 memberikan gambaran tentang nilai frekwensidominan (F_0) dan pasangan

nilai factor amplifikasi (A_0) pada setiap titik pengamatan. Pada Tabel 3 juga terlihat faktor amplifikasi terkecil terletak pada titik 141 sebaliknya faktor amplifikasi terbesar terdapat pada titik 142. Secara rata-rata nilai faktor amplifikasi di bagian selatan Kecamatan Tembalang (titik T142, T150 dan T163) mempunyai nilai faktor amplifikasi lebih besar dibandingkan di bagian utara Kecamatan Tembalang (titik T124, T134 dan T141). Bagian Selatan Kecamatan Tembalang mempunyai faktor amplifikasi rata-rata 2.14. Bagian utara Kecamatan Tembalang mempunyai faktor amplifikasi rata-rata 1.7.



Gambar 5. H/V Spektra Hasil Pengujian Gelombang Ambien Titik T124, T134 dan T141 (Wardani dan Partono, 2012)



Gambar 6. H/V Spektra Hasil Pengujian Gelombang Ambient Titik T142, T150 dan T163 (Wardani dan Partono, 2012)

Tabel 3 Nilai Faktor Amplifikasi Pada Enam Titik Pengamatan

No Data	Lokasi	No Titik	Fo	Ao
1	Perum Banyumanik, depan panti asuhan	T124	6.22127	1.95759
2	Srondol, Mulawarman	T134	5.15662	2.02224
3	Jl. Mangun Harjo, Leysa, Sendang Mulyo	T141	4.83783	1.12601
4	Jebungan, Banyumanik, SMG	T142	1.10169	2.46278
5	Rowosari, Tembalang, SMG	T150	1.43383	1.51215
6	Perum Mateseh, Tembalang, SMG	T163	3.65866	2.4472
	Rata-rata		3.734983	1.921328

Pada perhitungan faktor amplifikasi dengan pendekatan SSA diperlukan dua jenis data yaitu data dinamis tanah dan *ground motion*. Data dinamis tanah diambil dari data setiap lapisan dari elevasi batuan dasar sampai ke permukaan. Data-data yang diperlukan untuk setiap lapisan tanah meliputi tebal, jenis tanah, modulus geser maksimum, kecepatan rambat gelombang geser, berat jenis tanah, damping, elevasi muka air tanah dan tegangan efektif tanah. Tabel 4 dan Tabel 5 merupakan contoh data profil tanah pada titik pengamatan di Jl. Mulawarman (titik Lok93BH1). Sedangkan gambar 7 merupakan data *ground motion* yang dipilih untuk wilayah Kecamatan Tembalang. *Ground Motion* sebagaimana terlihat pada Gambar

7 mewakili semua sumber gempa yaitu sumber gempa *Shallow Crustal Fault* diambil dari peristiwa gempa Kobe yang terjadi pada tahun 1995, data *ground motion* yang mewakili sumber gempa *Benioff* diambil dari peristiwa gempa Loma Prieta pada tahun 1989, data *ground motion* yang mewakili sumber gempa *Megathrust* diambil dari peristiwa gempa Chi-Chi Taiwan yang terjadi pada tahun 1999. SSA pada wilayah Kecamatan Tembalang juga menggunakan *ground motion* yang dapat mewakili semua sumber gempa. Pada Gambar 7 juga terlihat *ground motion* yang dapat mewakili semua sumber gempa yaitu *ground motion* yang diambil dari peristiwa gempa Hector Mine pada tahun 1992

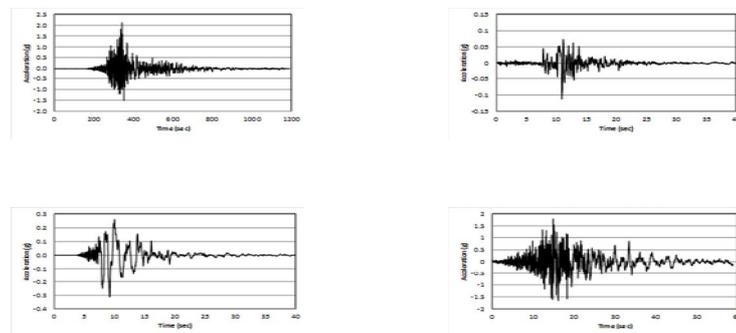
Tabel 4 Data Dinamis Tanah Pada Titik Lok93BH1

Posisi	No Lapisan	Tipe Tanah	Tebal Lapisan (m)	G_{max} (MPa)	Unit Weight (kN/m^3)	V_s (m/sec)	Elevasi Lapisan (m)	Efektif Stress (kPa)
Permukaan	1	1	2.8	47.73	16.79	167	0.0	0.00
	2	1	1.2	76.92	16.79	212	2.8	47.01
	3	1	3.0	106.12	16.79	249	4.0	67.16
	4	1	2.0	151.96	16.90	297	7.0	117.53
	5	1	1.7	186.47	16.90	329	9.0	151.33

Posisi	No Lapisan	Tipe Tanah	Tebal Lapisan (m)	G_{max} (MPa)	Unit Weight (kN/m^3)	V_s (m/sec)	Elevasi Lapisan (m)	Efektif Stress (kPa)
	6	2	3.3	247.58	19.94	349	10.7	180.06
	7	2	13.0	260.22	20.03	357	14.0	245.86
	8	2	3.0	272.02	20.03	365	27.0	506.25
GWL	9	2	10.0	272.02	20.03	365	30.0	566.34
	10	2	10.0	272.02	20.03	365	40.0	668.54
Bedrock	11	0		1261.47	22.00	750	50.0	770.74

Tabel 5 Data Tegangan Efektif Tanah Pada Titik Lok95BH1

Posisi	No Lapisan	Tipe Tanah	Tebal Lapisan (m)	G_{max} (MPa)	Unit Weight (kN/m^3)	V_s (m/sec)	Elevasi Lapisan (m)	Efektif Stress (kPa)
Permukaan	1	1	3.5	66.75	17.22	195	0.0	0.00
	2	1	11.5	202.37	17.69	335	3.5	60.27
	3	1	4.0	219.37	17.77	348	15.0	263.71
	4	1	3.0	247.98	17.77	370	19.0	334.79
	5	1	2.0	235.55	17.83	360	22.0	388.10
	6	1	6.0	209.93	17.92	339	24.0	423.76
	7	1	10.0	267.96	17.92	383	30.0	531.28
	8	1	10.0	287.91	17.92	397	40.0	710.48
	9	1	10.0	305.57	17.92	409	50.0	889.68
	10	1	10.0	323.77	17.92	421	60.0	1068.88
	11	2	10.0	339.33	17.92	431	70.0	1248.07
	12	2	10.0	339.33	17.92	431	80.0	1427.27
	13	2	10.0	339.33	17.92	431	90.0	1606.47
	14	2	10.0	373.20	17.92	452	100.0	1785.67
	15	2	10.0	373.20	17.92	452	110	1964.87
	16	2	10	373.20	17.92	452	120	2144.07
	17	1	10.0	373.20	17.92	452	130.0	2323.27
	18	1	10.0	373.20	17.92	452	140.0	2502.47
	19	1	10	373.20	17.92	452	150	2681.67
	20	1	10	373.20	17.92	452	160	2860.87
Bedrock	21	0		1261.47	22.00	750	170.0	3040.07



Gambar 7 *Ground Motion* Sumber Gempa *Shallow Crustal Fault* (a), *Benioff* (b), *Megatrust* (c) dan *All Sources* (d)

Berdasarkan pendekatan SSA, maka hasil perhitungan faktor amplifikasi untuk Lok93BH1 dan Lok95BH1 untuk masing-masing *ground motion* dapat dilihat pada Tabel 6. Pada Tabel 6 terlihat faktor amplifikasi yang diakibatkan oleh sumber

gempa *megatrast* lebih tinggi dibandingkan sumber gempa yang lain. Faktor amplifikasi pada titik Lok93BH1 lebih besar daripada faktor amplifikasi pada titik Lok95BH1.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Faktor Amplifikasi Lapisan Tanah

Ground Motion	Lok93BH1	Lok95BH1
Chi-Chi	2.823202	2.475824
Hector Mine	1.3356	1.097793
Kobe	1.449	1.024287
Loma Prieta	1.2729	1.233235
Rata-Rata SSA	1.720175	1.457785
Rata-Rata 2 titik	1.588980113	

Metode HVSR menghasilkan faktor amplifikasi di Kecamatan Tembalang 1.92. Dengan pendekatan SSA diperoleh nilai faktor amplifikasi di Kecamatan Tembalang 1.59. Faktor amplifikasi tanah disekitar kecamatan Tembalang yang dihitung dengan pendekatan HVSR ternyata hampir sama dengan pendekatan SSA. Jika dilihat dari biaya penelitian dan waktu pelaksanaan ternyata pendekatan HVSR untuk 6 titik pengamatan menghabiskan biaya ± Rp. 6 juta, sedangkan dengan pendekatan SSA untuk 2 titik pengamatan menghabiskan biaya ± Rp 20 juta. Lama waktu yang diperlukan untuk melaku-

kukan penelitian *microtremor* pada 6 titik pengamatan adalah 9 jam. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan pengeboran dan pengujian laboratorium untuk penelitian SSA pada 2 (dua) titik adalah 10 hari. Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan hasil perhitungan biaya dan waktu pelaksanaan menurut pendekatan SSA dan HVSR. Berdasarkan hasil perhitungan biaya dan waktu pelaksanaan, maka penelitian faktor amplifikasi tanah dengan menggunakan metode HVSR jauh lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan metode SSA.

Tabel 7. Evaluasi Biaya dan Waktu Penelitian dengan Metode SSA

Penelitian SSA	Lok93BH1	Lok95BH1	Total
Biaya	□ Rp. 10 juta/30 m	□ Rp. 10 juta/30 m	Rp 20 juta
Waktu	5 hari	5 hari	10 Hari

Tabel 8. Evaluasi Biaya dan Waktu Penelitian dengan Metode HVSR

Penelitian HVSR	1 Titik Pengamatan	6 titik Pengamatan
Biaya	□ Rp. 1 juta	□ Rp. 6 juta
Waktu	15 menit	90 menit

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan faktor amplifikasi tanah dengan menggunakan pendekatan SSA dan HVSR di wilayah Kecamatan Tembalang diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pendekatan SSA, nilai faktor amplifikasi tanah di Kecamatan Tembalang adalah 1.59 sedangkan dengan menggunakan metode HVSR diperoleh nilai faktor amplifikasi 1.92.
2. Nilai faktor amplifikasi yang diperoleh dengan dua cara pendekatan, SSA dan HVSR, hampir sama dan berkisar antara 1.5 – 2.0.
3. Penelitian nilai faktor amplifikasi dengan menggunakan metode HVSR jauh lebih efisien dibandingkan dengan metode SSA.

Daftar Pustaka

1. Horike M., 1985. "Inversion of Phase Velocity of Long-period microtremors to the S-wave-velocity structure down to the Basement in Urbanized Areas", J. Phys. Earth., V.33, p. 59-96.
2. Imai T. dan Tonouchi K., 1982. "Correlation of N Value with S-Wave Velocity and Shear NModulus", Proc. 2nd European Symp. On Penetration Testing, Amsterdam, pp. 67-72.
3. Irsyam M., 2010. "Peran dan Pengembangan Rekayasa Geoteknik Kegempaan di Indonesia Dalam Pembangunan Infrastruktur Tahan Gempa", Pidato Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung.

4. Mahesworo, R.P., 2008. Usulan Ground Motion Untuk Empat Kota Besar di Wilayah Sumatera Berdasarkan Hasil Analisis Seismic Hazard Menggunakan Model Sumber Gempa 3 Dimensi, Tesis Program Studi Megister Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, xxvii + 191.
5. 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.
6. Nakamura Y. and 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.
7. Ohta Y. and Goto N., 1978."Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes", Earthquake Engineering Structure Dynamic, 6:167-187.
8. Partono W., 2012."Studi Pengembangan Peta Mikrozonasi Gempa Kota Semarang", Hibah Disertasi Doktor Tahun Anggaran 2012.
9. Wardani S.P.R. dan Partono W., 2011."Studi Pengembangan Peta *Hazard* Gempa Kota Semarang", Hibah Penelitian Program Megister Teknik Sipil Undip.
10. Wardani S.P.R. dan Partono W., 2012."Studi Perambatan Gelombang Pada Permukaan Tanah di Kota Semarang", Hibah Penelitian Program Megister Teknik Sipil Undip.
11. Wardani S.P.R. dan Partono W., 2013." Studi Komparasi Nilai Frekwensi Dominan Lapisan Tanah Berdasarkan Analisa Perambatan Gelombang Ambien dan Gelombang Gempa di Kota Semarang", Penelitian Teknologi Tepat Guna, Hibah Bersaing Dana DIPA Fakultas Teknik UNDIP Tahun Anggaran 2013/2014.
12. Sykora D.E. and Stokoe K.H., 1983."Correlations of in-situ Measurements in Sands of Shear Wave Velocity", Soil Dynamic Earthquake Engineering, 20:125-136.
13. Wair B.R., DeJong J.T and Shants T., 2012."Guidelines for Estimation of Shear Wave Velocity Profiles", Pasific Earthquake Engineering Research Center, PEER Report 2012/08.