
Klasifikasi Kelas Tanah dan Indeks Kerentanan Seismik pada Lokasi Jaringan Sensor Seismik di Bali dan Nusa Tenggara

I Putu Dedy Pratama ^{1*}, Mario Charlos Rohi Koten ²

¹ Stasiun Geofisika Denpasar, BMKG, Jl. Pulau Tarakan No.1, Dauh Puri Klod, Kec. Denpasar Bar., Kota Denpasar, Bali, 80113, Indonesia

² Stasiun Geofisika Sumba Timur, Jl. Adi Sucipto, V8, Sumbawa Timur, Waingapu, Nusa Tenggara Timur, Kotak Pos 105, Indonesia

* Corresponding author. E-mail: checkmate_mail@yahoo.co.id (I Putu Dedy Pratama),
Telp: +6281916782299

ABSTRAK

Jaringan sensor seismik BMKG memiliki data sinyal yang merekam setiap getaran di wilayah setempat. Sensor seismik yang tersebar perlu dilakukan analisis klasifikasi kelas tanah dan indeks kerentanan seismik untuk mengetahui kondisi tanah sensor yang berpengaruh pada kualitas hasil analisis parameter gempabumi khususnya magnitudo lokal. Penulisan ini menggunakan data rekaman sinyal sensor seismik BMKG di wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Data rekaman sinyal dianalisis dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Hasil analisis HVSr selanjutnya digunakan untuk menghitung dan menentukan klasifikasi jenis tanah dan indeks kerentanan seismik. Dari 26 sinyal yang berhasil dianalisis menunjukkan bahwa 18 sensor berada pada batuan keras, 5 sensor pada tanah keras, 1 sensor pada tanah medium, dan 2 sensor pada tanah lunak. Indeks kerentanan seismik tertinggi terdapat pada lokasi sensor DNP dengan nilai 25,328 dan terendah pada sensor RTBI dengan nilai 0,091. Sebagian besar lokasi sensor di wilayah Bali dan Nusa Tenggara berada pada batuan keras dan memiliki indeks kerentanan seismik yang rendah, sehingga jaringan sensor di wilayah ini dapat memberikan hasil magnitudo lokal yang baik.

Kata Kunci: sensor seismik, HVSRR, klasifikasi kelas tanah, indeks kerentanan seismik

ABSTRACT

BMKG seismic sensors network has signal data that records any vibrations in the local area. The scattered seismic sensors need to be analyzed the soil class classification and the seismic susceptibility index to determine the sensor soil conditions that affect the quality of the results of the analysis of earthquake parameters, especially local magnitude. We used BMKG seismic sensor signal recording data in the Bali and Nusa Tenggara region. The recorded signal data were analyzed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSRR) method to obtain the dominant frequency and amplification factor. The results of the HVSRR analysis are then used to calculate and determine the classification of soil types and the seismic susceptibility index. Of the 26 successfully analyzed signals, it shows that 18 sensors are on bedrock, 5 sensors on hard soil, 1 sensor on medium soil, and 2 sensors on soft soil. Location of DNP sensor has the highest seismic susceptibility index with a value of 25.328 and the lowest was at the RTBI sensor with a value of 0.091. Most of the sensor locations in the Bali and Nusa Tenggara region are on bedrock and have a low seismic vulnerability index, so that the sensor network in these areas can provide good local magnitude results.

Keywords: seismic sensor, HVSRR, soil class classification, seismic susceptibility index

1. Pendahuluan

BMKG memiliki jaringan sensor seismik yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia dengan kondisi tanah pada lokasi sensor yang beragam. Jaringan sensor ini digunakan untuk monitoring dan analisis kejadian gempabumi. BMKG masih terus menambah jumlah jaringan seismometer agar memperoleh hasil analisis parameter yang lebih cepat, tepat, akurat, dan lengkap. Untuk mendapat hasil pengukuran yang baik harus dilakukan dengan prosedur penempatan sensor yang baik. Salah satu syarat penempatan stasiun seismik yang baik yaitu sensor seismik diletakkan di atas batuan dasar (*bedrock*). Tujuannya adalah untuk meminimalisir faktor amplifikasi gelombang gempabumi [1].

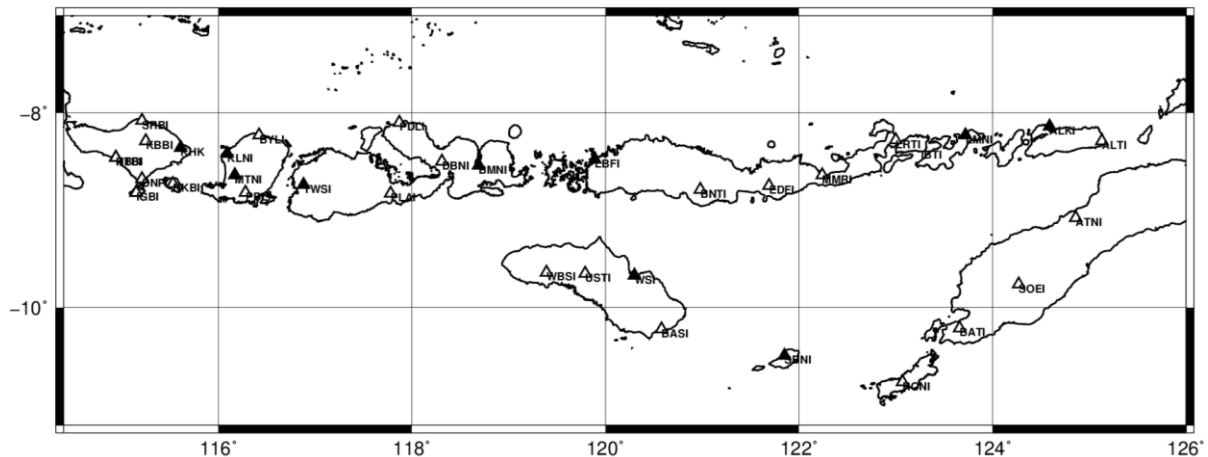
Selain mencatat gerakan gempabumi, rekaman seismometer juga menyimpan informasi mengenai getaran tanah setempat (*ambient noise*). Hasil rekaman ini dapat digunakan sebagai analisis kelas tanah pada lokasi instalasi sensor.

Lokasi sensor seismik di wilayah Bali dan Nusa Tenggara memiliki ragam geologi yang bervariasi dan memiliki efek tapak lokal yang berbeda. Faktor

amplifikasi pada jaringan stasiun yang berbeda sangat berpengaruh dalam penentuan penentuan magnitudo gempabumi terutama magnitudo lokal. Magnitudo lokal digunakan dalam penentuan gempabumi kekuatan relatif kecil atau dikenal sebagai gempabumi mikro yang hanya terekam pada beberapa sensor.

Amplifikasi gelombang adalah menguatnya amplitudo gelombang karena efek tapak lokal, dimana tanah yang relatif lunak akan menghasilkan amplitudo getaran gempa yang lebih besar jika dibandingkan tanah yang relatif keras. Faktor amplifikasi memberikan gambaran pembesaran percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan [2]. Nilai amplifikasi pada setiap lokasi dapat bervariasi bergantung pada tingkat kekakuan batuan [3].

Penelitian ini membagi klasifikasi kelas tanah pada setiap lokasi sensor di wilayah Bali dan Nusa Tenggara dengan metode HVSR. Hasil analisis HVSR menghasilkan nilai frekuensi natural getaran tanah, faktor amplifikasi, dan periode natural. Selain itu, kita dapat mengetahui indeks kerentanan seismik di wilayah tersebut.



Gambar 1. Sebaran lokasi jaringan sensor seismik di wilayah Bali dan Nusa Tenggara segitiga hitam (sinyal tidak dapat diolah) dan segitiga putih (sinyal dapat diolah)

2. Bahan dan Metode

Bahan dalam penulisan ini menggunakan data rekaman sinyal seismik di wilayah Bali dan Nusa Tenggara dengan batasan koordinat 114.4 BT – 126 BT dan 7 LS – 11 LS (Gambar 1). Rekaman sinyal seismograf 3 komponen yang diperoleh dari webdc BMKG dan rekaman sinyal TDS di Stasiun Geofisika Denpasar sebagai pembanding. Untuk mengurangi bising lingkungan akibat aktivitas manusia digunakan data sinyal dini hari (02:00-03:00 waktu lokal). Hasil rekaman sinyal memiliki format miniseed yang berisi informasi sensor dan nilai rekaman seismograf. Dari total jumlah 37 seismometer yang tersebar di wilayah Bali dan Nusa Tenggara, sensor dengan kondisi sinyal yang dapat diolah untuk perhitungan dalam penulisan ini

berjumlah 26 sensor (Gambar 1). Setiap sensor memiliki 40-50 *sampling rate per second*. Sebaran koordinat setiap sensor tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat lokasi sensor seismik di wilayah Bali dan Nusa Tenggara.

No.	Kode Sensor	Lintang	Bujur
1	ALKI	-8.14	124.59
2	ALTI	-8.29	125.13
3	ATNI	-9.08	124.86
4	BASI	-10.22	120.58
5	BATI	-10.21	123.66
6	BMNI	-8.54	118.69
7	BNTI	-8.79	120.98
8	BYLI	-8.23	116.42
9	DBNI	-8.5	118.31
10	DNP	-8.68	115.21
11	EDFI	-8.75	121.69
12	IBTI	-8.39	123.26
13	IGBI	-8.82	115.15

14	KBBI	-8.29	115.25
15	KHK	-8.36	115.61
16	KLNI	-8.42	116.09
17	KTTI	-10.01	124.53
18	LBFI	-8.48	119.89
19	LMNI	-8.23	123.72
20	LMTI	-8.6	120.48
21	LRTI	-8.28	123
22	MMRI	-8.64	122.24
23	MTNI	-8.64	116.17
24	NBBI	-8.46	114.94
25	NKBI	-8.73	115.53
26	PBLI	-8.82	116.28
27	PDLI	-8.1	117.87
28	PLAI	-8.83	117.78
29	RONI	-10.76	123.07
30	RTBI	-8.46	114.94
31	SBNI	-10.49	121.85
32	SOEI	-9.76	124.27
33	SRBI	-8.08	115.21
34	TWSI	-8.74	116.88
35	USTI	-9.65	119.79
36	WBSI	-9.64	119.39
37	WSI	-9.67	120.3

Data rekaman sinyal seismik terdiri dari tiga komponen yaitu komponen vertikal (Z), komponen horizontal *North-South* (N-S), dan komponen horizontal *East-West* (E-W). Selanjutnya analisis ambient noise menggunakan teknik HVSR, yaitu perbandingan antara spektrum komponen horizontal terhadap spektrum komponen vertikal.

Salah satu metode untuk analisis ambient noise adalah menggunakan HVSR yaitu perbandingan antara spektrum horizontal terhadap spektrum vertikal suatu sinyal 3 komponen. HVSR dapat mengetahui frekuensi alami dan faktor amplifikasi daerah setempat yang selanjutnya digunakan untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah [4]. Menurut Herak [5] metode HVSR dapat mengidentifikasi struktur bawah permukaan setempat dilihat dari parameter fisik berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Hasil analisis dengan metode HVSR akan menghasilkan grafik hubungan antara H/V dan frekuensi. Faktor amplifikasi diperoleh dari nilai maksimum H/V pada frekuensi dominan.

Kurva HVSR didapatkan dengan membandingkan antara spektrum komponen horizontal (S_H) terhadap spektrum komponen vertikal (S_V) [6]. Secara eksplisit metode HVSR memenuhi persamaan (1):

$$HVSR = \frac{S_H}{S_V} = \frac{\sqrt{(S_{N-S})^2 + (S_{E-W})^2}}{S_V} \quad (1)$$

Indeks kerentanan seismik adalah parameter yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan suatu daerah terhadap ancaman risiko gempa bumi. Indeks kerentanan seismik dengan tingkat risiko gempa bumi

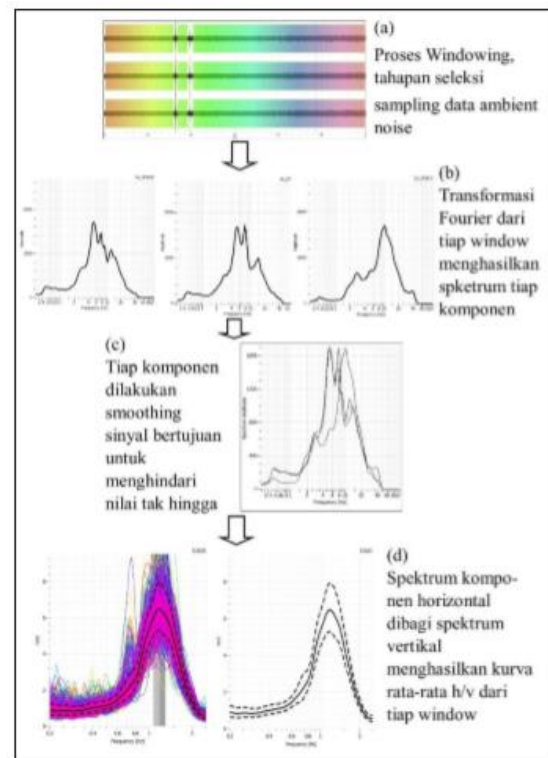
terhadap kerusakan akibat gempa bumi menunjukkan hubungan yang linear. Untuk setiap titik ukur, nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai amplifikasi (A_0) kemudian dibagi dengan nilai frekuensi dominan (f_{dom}) atau dapat juga dikalikan dengan periode natural (T_n) yang didapatkan pada spektrum HVSR [4] sebagaimana yang ditunjukkan pada persamaan:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_{dom}} = A_0^2 \cdot T_n \quad (2)$$

Pengolahan data HVSR menggunakan perangkat lunak Geopsy. Geopsy merupakan perangkat lunak yang umum digunakan dalam pengolahan data seismic, terutama untuk menentukan spektrum HVSR. Dalam Geopsy langkah-langkah dalam perhitungan HVSR secara garis besar yaitu input data sinyal, parameter *setting*, *windowing*, transformasi Fourier, *smoothing*, dan kurva H/V (Gambar 3.3). Penentuan puncak kurva H/V mengikuti kriteria dari rekomendasi SESAME European Research Project [7].

Tahapan selanjutnya adalah memasukkan parameter pengolahan data pada kolom processing dalam menu H/V *toolbox*. Dalam penelitian ini menggunakan parameter *smoothing*

Konno-Ohmachi, tapering 5%, dan memilih *squared average* untuk perhitungan pada komponen horizontal. Hasil pengolahan data sinyal berupa kurva HVSR yang berisikan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan indeks kerentanan seismik.



Gambar 2. Tahapan dalam pengolahan data dengan HVSR menggunakan perangkat lunak Geopsy [8].

Berdasarkan nilai periode natural yang diperoleh dari masing-masing seismograf disesuaikan nilainya dengan Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi kelas tanah berdasarkan rentang nilai periode natural [9]

Kelas Tanah	Deskripsi	Periode natural (s)
I	Batu	$T < 0,2$
II	Tanah keras	$0,2 < T < 0,4$
III	Tanah medium	$0,4 < T < 0,6$
IV	Tanah lunak	$0,6 < T$

Kode Sensor	Periode natural (T_n)	Faktor amplifikasi (A_0)	Indeks Kerentanan Seismik (Kg)	Kelas Tanah
ALTI	0.082	4.030	1.330	I
ATNI	0.074	2.867	0.606	I
BASI	0.070	3.445	0.836	I
BATI	0.054	1.516	0.124	I
BNTI	0.202	7.599	11.637	II
BYLI	0.063	4.125	1.076	I
DBNI	0.058	1.421	0.117	I
DNP	0.593	6.535	25.328	III
EDFI	0.140	3.966	2.201	I
IBTI	0.082	4.060	1.350	I
IGBI	0.260	1.737	0.783	II
KBBI	0.637	6.069	23.476	IV
KTTI	0.057	3.403	0.661	I
LMTI	0.149	7.226	7.763	I
LRTI	1.126	3.689	15.328	IV
MMRI	0.391	1.786	1.248	II
NKBI	0.323	2.918	2.752	II
PBLI	0.104	6.391	4.250	I
PDLI	0.101	5.582	3.139	I
PLAI	0.057	1.479	0.124	I
RONI	0.058	2.786	0.449	I
RTBI	0.054	1.294	0.091	I
SOEI	0.046	4.789	1.047	I
SRBI	0.132	1.381	0.252	I
USTI	0.231	5.374	6.670	II
WBSI	0.057	3.244	0.597	I

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, periode dominan dari 26 sensor di Bali dan Nusa Tenggara diperoleh hasil pada Tabel 3. Rentang nilai periode natural berkisar antara 0,046 – 1,126 s dan rentang nilai faktor amplifikasi berkisar antara 1,294 - 7,599.

Periode natural terendah terdapat pada sensor SOEI dan tertinggi pada sensor LRTI. Nilai ini menyatakan bahwa tanah terkeras berada pada lokasi sensor SOEI dan terluak berada pada sensor LRTI.

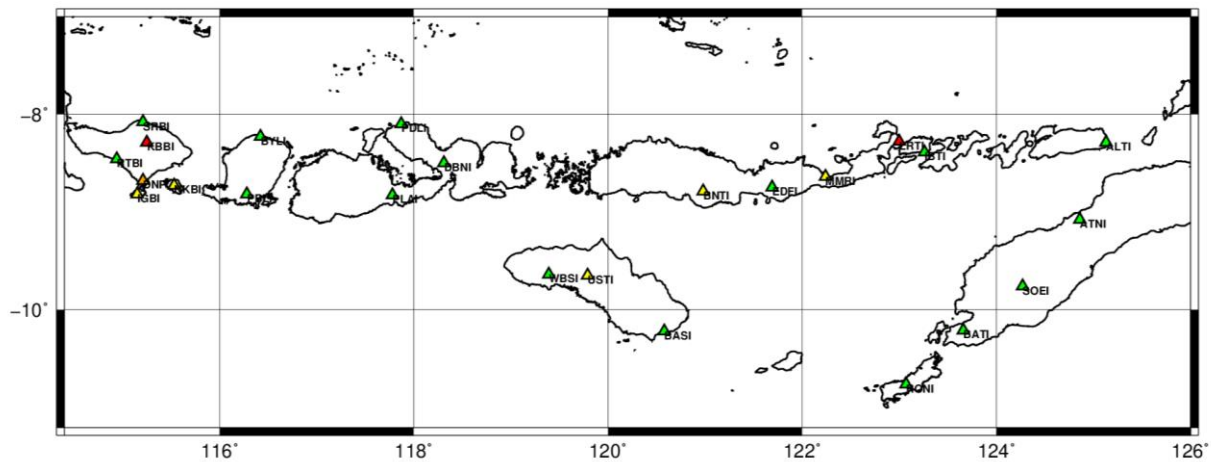
Untuk faktor amplifikasi terendah terdapat pada sensor RTBI dan tertinggi pada sensor BNTI. Sensor RTBI memperbesar amplitudo getaran gempabumi mencapai 1,294 kali sedangkan BNTI mencapai 7,599 kali.

Tabel 3. Nilai periode natural, faktor amplifikasi, periode natural, indeks kerentanan seismik, dan kelas tanah dari setiap sensor.

Dari 26 sensor yang berhasil dilakukan perhitungan HVSr diperoleh 18 sensor dengan kondisi kelas tanah I, 5 sensor pada kelas tanah II, 1 sensor kelas tanah III, dan 2 sensor pada kelas tanah IV. Jika dibandingkan dengan penelitian Sriyanto & Ifantiana [10] sensor di wilayah Bali dan Nusa Tenggara memiliki kondisi tapak lokal yang lebih baik dibandingkan dengan sensor di Pulau Jawa. Kondisi tapak lokal

sensor di Pulau Jawa didominasi oleh kelas tanah IV yang dideskripsikan sebagai tanah lunak. Lokasi sensor di wilayah Bali dan Nusa Tenggara umumnya berada pada kelas tanah I atau berada di atas batuan (*bedrock*).

Pulau dengan lokasi sensor batuan keras berada di Pulau Lombok, Sumbawa, Sumba, dan Timor (Gambar 3). Untuk Pulau Bali dan Flores klasifikasi kelas tanah untuk setiap sensor beragam mulai dari kondisi batuan hingga tanah lunak.

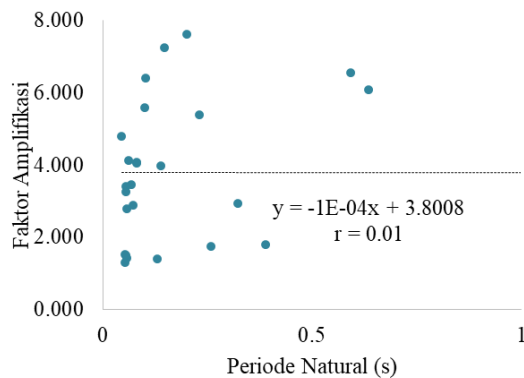


Gambar 3. Sebaran klasifikasi kelas tanah pada lokasi jaringan sensor seismik di wilayah Bali dan Nusa Tenggara dimana kelas I (segitiga hijau), kelas II (segitiga kuning), kelas III (segitiga jingga), dan kelas IV (segitiga merah).

Berdasarkan hasil perhitungan nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, periode dominan dari 24 sensor di Bali dan Nusa Tenggara diperoleh hasil pada Tabel 3. Rentang nilai faktor amplifikasi berkisar antara 1,294 - 7,599 dan rentang periode natural berkisar antara 0,046 - 1,126 s.

Berdasarkan grafik hubungan faktor amplifikasi dan periode natural dengan perhitungan HVSR pada lokasi sensor seismik di Bali dan Nusa Tenggara

(Gambar 4) menunjukkan hubungan yang tidak linier dengan nilai korelasi lemah ($R=0.01$). Ketidaklinearan ini disebabkan oleh nilai faktor amplifikasi tidak hanya dipengaruhi oleh jenis tanah permukaan dan ketebalan sedimen, tetapi disebabkan oleh variasi parameter sedimen (modulus geser, rasio redaman, dan densitas) dan saturasi lapisan sedimen ikut mempengaruhi faktor amplifikasi gelombang [11, 12].

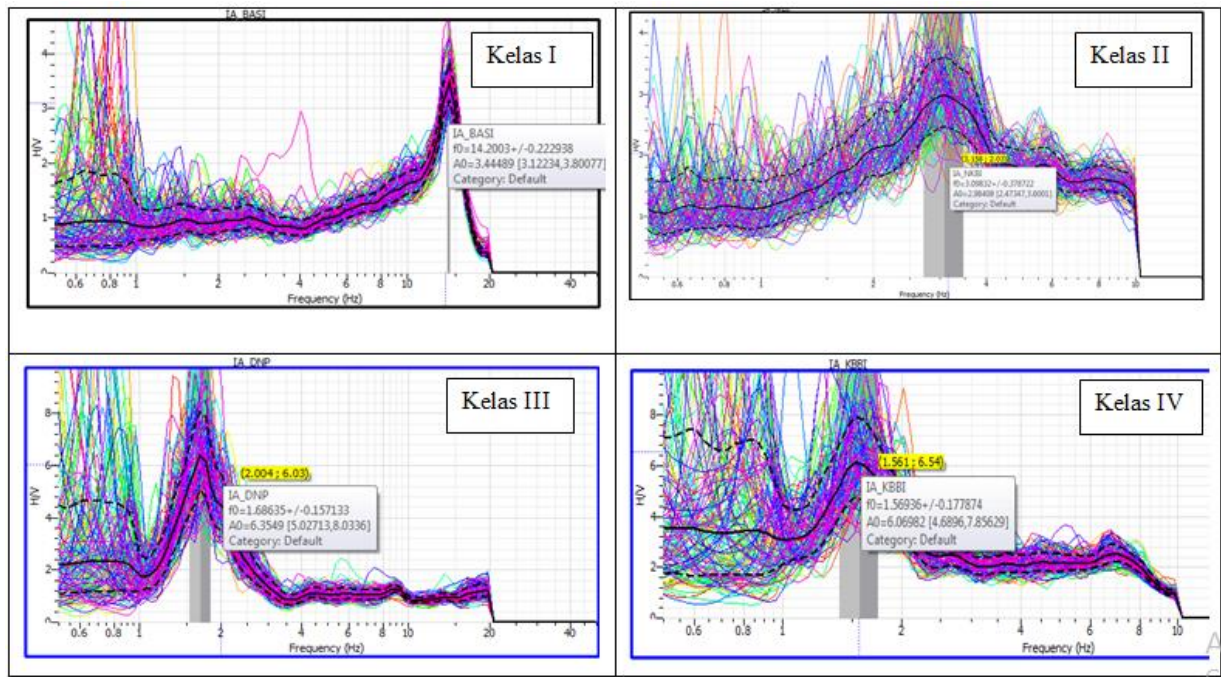


Gambar 4. Grafik hubungan faktor amplifikasi dan periode natural HVSR di lokasi sensor seismik Bali dan Nusa Tenggara.

Hasil perhitungan indeks kerentanan seismik (Tabel 3) menunjukkan bahwa sensor DNP memiliki kerentanan tertinggi yaitu 25,328 sedangkan terendah adalah RTBI 0,091. Hal menarik dari nilai indeks kerentanan seismik ini adalah kedua sensor berada di Pulau Bali. Perbedaan nilai kerentanan seismik menunjukkan bahwa kedua seismometer berada pada kondisi yang jauh berbeda. Berdasarkan klasifikasi kelas tanah, sensor RTBI berada pada kelas tanah I dan DNP berada pada kelas tanah III. Hal ini disebabkan oleh faktor amplifikasi dan periode dominan yang tinggi pada sensor DNP dan sebaliknya pada sensor RTBI.

Berdasarkan Refrizon, dkk. [13] nilai $K_g < 3$ memiliki indeks kerentanan tanah yang rendah, $3 < K_g < 6$ merupakan kategori sedang, dan $K_g > 6$ merupakan kategori tinggi. Dari 26 sensor seismik di Bali dan Nusa Tenggara, 6 lokasi sensor memiliki indeks kerentanan seismik tinggi, 2 lokasi sensor dengan indeks kerentanan seismik sedang, dan 18 lokasi sensor dengan indeks kerentanan seismik rendah. Selain DNP, indeks kerentanan seismik tinggi berada pada lokasi sensor KBBI, BNTI, LRTI, LMTI, dan USTI. Sampel hasil analisis HVSR untuk setiap kelas tanah tersaji pada Gambar 5.

Pratama, dkk. [14] dan Mursitanyo, dkk [15] telah melakukan pengujian sensor secara berdampingan pada lokasi sensor DNP yaitu membandingkan sensor Broadband dengan Short-period. Hasil analisis frekuensi dominan pada Short-period berada pada rentang 1,60 - 1,70 Hz atau dalam periode dominan berada pada rentang 0,588 - 0,625 s yang menunjukkan kondisi batuan alluvial. Hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan sensor yang berbeda menunjukkan hasil yang serupa.



Gambar 5. Sampel hasil analisis HVSR untuk setiap klasifikasi kelas tanah dari kelas I sampai dengan kelas IV berturut-turut diwakili oleh sinyal BASI, NKBI, DNP, dan KBI.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis HVSR dari 26 sinyal sensor seismik di wilayah Bali dan Nusa Tenggara yang berhasil dianalisis terdapat 18 sensor berada pada batuan keras, 5 sensor pada tanah keras, 1 sensor pada tanah medium, dan 2 sensor pada tanah lunak. Untuk perhitungan indeks kerentanan seismik menunjukkan hasil 6 lokasi sensor memiliki indeks kerentanan seismik tinggi, 2 lokasi sensor dengan indeks kerentanan seismik sedang, dan 18 lokasi sensor dengan indeks kerentanan seismik rendah. Sebagian besar lokasi sensor di wilayah Bali dan Nusa Tenggara berada pada batuan keras dan memiliki indeks

kerentanan seismik yang rendah, sehingga jaringan sensor di wilayah ini dapat memberikan hasil magnitudo lokal yang baik. Hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan sensor yang berbeda menunjukkan hasil yang serupa. Selanjutnya perlu dilakukan survey lapangan terutama pada sensor dengan kondisi tanah lunak untuk mengurangi faktor amplifikasi dan periode dominan pada kedudukan sensor.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BMKG atas data sinyal yang digunakan dalam penulisan ini.

6. Referensi

1. Trnkoczy, A., Bormann, P., Hanka, W., Holcomb, L. G., Nigbor, R. L., Shinohara, M., Shiobara, H., Suyehiro, K. (2012). *Site Selection, Preparation and Installation of Seismic Stations*. - In: Bormann, P. (Ed.), *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)*, Potsdam: Deutsches Geo Forschungs Zentrum GFZ, 1-139. Doi: https://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2_ch7
2. Partono, W., Irsyam, M., R.W, S., & Maarif, S. (2013). Komparasi Nilai Faktor Amplifikasi Tanah dengan Pendekatan SSA dan HVSR pada Wilayah Kecamatan Tembalang Kota Semarang. *Teknik*, Vol. 34(3), hal. 141-149. <https://doi.org/10.14710/teknik.v34i3.6983>
3. Sungkono & Santosa, B. J. (2011). Karakterisasi Kurva Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Permodelan. *Jurnal Neutrino*, Vol. 4(1), hal. 1-15. Doi: <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1662>
4. Nakamura, Y., (2008). *On The H/V Spectrum*, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
5. Herak, M., 2008. Model HVSR-A Matlabs Tool to Model Horizontal to Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise. *Computers Geosciences*, p. 1514-1526.
6. Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, *Quarterly Report of RTRI*, 30:1, p.25-33.
7. SESAME, 2004. *Guidelines for The Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*, Europe: SESAME European research project.
8. Tawakal, M. I., 2019. Analisis Struktur Bawah Permukaan Jawa Timur Menggunakan Inversi Ambient noise Rasio Spektrum Horizontal dan Vertikal (HVSR), *Tesis*. Fakultas Matematika Dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
9. Zhao, J. X., dkk. (2006). Attenuation Relations of Strong

- Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96 (3), hal. 898–913. Doi: <https://doi.org/10.1785/0120050122>
10. Sriyanto, S. P. D. & Ifantyana, I. (2018). Analisis Efek Tapak Lokal pada Lokasi Stasiun Seismik di Pulau Jawa. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 14(3), hal. 68-73. Doi: <http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v14i3.3745>
11. Wang, S., & Hao, H. (2002). Effects of random variations of soil properties on site amplification of seismic ground motions. *Soil Dyn. and Earth. Eng.*, Vol. 22(7), pp. 551-564.
12. Warnana, D.D., Soemitro, R.A.A., Utama, W. (2011). Application of Microtremor HVSR Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, Vol.11(4), pp. 73-78.
13. Refrizon, A. I. Hadi, K. Lestari, & Oktari, T. (2013). Analisis Percepatan Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata FMIPA UNILA*.
14. Pratama, I P. D., Priyanto, D. K., Negara, P. K. G. A. (2020). Ambient Noise Analysis During Nyepi in Denpasar Using Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) Method. *Jurnal Geofisika*, Vol 18(1), hal. 23-26. <http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v18i1.424>
15. Mursitanyo, A., Suarbawa, K. N., & Septiadhi, A. (2015). Analisis Efek Tapak Lokal dari Geologi Tanah di Badung Selatan dan Kota Denpasar dengan Survei Mikrotremor (Studi Kasus Gempa bumi Nusadua 13 Oktober 2011). *Buletin Fisika*, Vol. 16(2), hal. 16-23. ISSN 2580-9733