NATURAL B, Vol. 3, No. 1, April 2015

Kajian Mikrotremor dan Geolistrik Resistivitas di Sekitar Jalan Arteri Primer Trans Timor untuk Mitigasi Bencana

Harti Umbu Mala[1)*], Adi Susilo[2)], Sunaryo[2)]

[1)] Program Studi Magister Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang
[2)] Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang

Diterima 25 November 2014, direvisi 14 Februari 2015

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian kajian mikrotremor dan geolistrik resistivitas di sekitar jalan arteri primer Trans Timor untuk mitigasi bencana. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai percepatan tanah maksimum, frekuensi dominan tanah, indeks kerentanan seismik dan pendugaan ketebalan lapisan sedimen. Pengambilan data mikrotremor menggunakan seismometer tiga komponen tipe DS-4A *feedback short-period seismometer* pada 52 titik ukur dengan jarak antar titik 250 m. Nilai frekuensi dominan tanah dan faktor amplifikasi diperoleh dengan metode analisis kurva *Horizontal to Vertical Spectral Rasio* (HVSR). Perhitungan nilai percepatan tanah maksimum menggunakan persamaan empiris Kanai, data periode dominan tanah diperoleh dari hasil konversi nilai frekuensi sedangkan parameter-parameter gempa berdasarkan kejadian gempa 50 tahun dari tahun 1963-2013 dengan magnitudo ≥ 3. Pengukuran geolistrik menggunakan resistivitimeter OYO, dengan susunan eletroda berdasarkan konfigurasi Wenner-Schlumberger, terbagi dalam dua lintasan pengukuran dengan panjang masing-masing lintasan 400 m. Dari hasil penelitian diperoleh nilai percepatan tanah maksimum berkisar antara 80 gal-500 gal dengan tingkat resiko sedang dua sampai tingkat resiko sangat besar satu. Sebaran nilai frekuensi dominan tanah adalah 0,62 Hz–18,27 Hz, sementara distribusi indeks kerentanan seismik berada pada rentang 0,21 dan 21,8. Jenis tanah didominasi aluvium dan *clay* sebagai lapisan penutup *(top soil)* dengan variasi ketebalan dari 10 m sampai 50 m, kemudian ditopang oleh batuan gamping sebagai batuan dasar *(bedrock)*.

Kata kunci : Mikrotremor, PGA, HVSR, Geolistrik Resistivitas, Mitigasi Bencana

ABSTRACT

The research on microtremor and geoelectric resistivity around Trans Timor Primary Artery Road to disaster mitigation, has been done. The aims of this research were to obtain the Peak Ground Acceleration (PGA) value, the soil dominant frequency, seismic vulnerability index and to estimate the thickness of sediment layer. Microtremor data collection was done by using a three-component seismometer, DS-4A feedback short-period, at 52 points with 250 m interval. Dominant frequency and amplification factors were obtained by using curve analysis method, horizontal to vertical spectral ratio (HVSR). The PGA value was calculated using Kanai empirical equations, where the data of dominant period were obtained from the inversion of frequency values while the parameters of the earthquake were based on seismic events in the last 50 years, from 1963 to 2013 with magnitude of ≥ 3. Geoelectric measurements were conducted using a Resistivitymeter OYO, based on Wenner Schlumberger configuration and it was divided into two lines, with length of 400 m each. From the results obtained by PGA value is ranged between 80 and 500 gal with level of risk moderate two to very large one. The distribution value of the soil dominant frequency was 0.62 Hz-18.27 Hz, while the distribution of the seismic vulnerability index ranged from 0.21 to 21.83. The type of soil is dominated by clay and alluvium as top soil and its thickness varies from 10 m to 50 m, strengthened by limestone as bedrock.

Keywords : Microtremor, PGA, HVSR, Geolelectic Resistivity, Disaster Mitigation

---

----
*Corresponding author:
E-mail: hartiumbumala@gmail.com

PENDAHULUAN

Efek goncangan gempa bumi terasa bergantung pada besarnya kekuatan gempa dan kondisi material yang dilaluinya. Getarannya dapat memicu terjadinya bencana ikutan berupa longsor dan amblasan tanah [1]. Kondisi demikian mengakibatkan berbagai kerusakan pada infrastruktur, kerugian ekonomi, dan kehilangan nyawa manusia. Tingkat kerusakan yang terjadi bergantung pada kualitas infrastruktur, kondisi geologi dan geotektonik, besarnya perecepatan tanah maksimum [2] serta indeks kerentanan seismik [3].

Kajian mikrotremor telah banyak digunakan untuk memperkirakan kerusakan yang timbul akibat bancana gempabumi. Kajian ini sangat tepat dan baik dalam memperkirakan tingkat resiko yang disebabkan oleh aktivitas seismik dengan mempertimbangkan kondisi geologi setempat [4].

Nilai percepatan tanah maksimum/*Peak Ground Acceleration* (PGA) diperoleh menggunakan rumusan empiris Kanai. Rumusan ini tidak hanya berdasar pada parameter-parameter gempa, tetapi juga memperhitungkan efek karakteristik geologi setempat yang direpresentasikan oleh nilai periode dominan tanah berdasarkan analisa gelombang mikrotremor [2]. Informasi karakteristik geologi seperti frekuensi alami f_0 (*natural frequency*) dan faktor amplifikasi A_0 dapat diperoleh dengan teknik *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk keperluan pemetaan mikrozonasi dan penentuan indeks kerentanan seismik *Kg* [3].

Frekuensi dominan tanah dan faktor amplifikasi merupakan parameter yang mewakili kondisi geologi setempat. Kedua paremeter ini dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen sehingga informasi ketebalan perlapisan sangat penting dalam menganalisa respon tanah [5]. Metode yang umum digunakan adalah metode geolistrik resistivitas.

Kabupaten Kupang berada pada wilayah Pulau Timor dan merupakan bagian dari Provinsi NTT. Aktivitas kegempaannya cukup tinggi dan berpeluang mengalami kerusakan akibat gempabumi. Diapit oleh lempeng-lempeng tektonik dimana lempeng Indo-Australia menyusup di bawah lempeng Eurasia dan terdapat sesar sungkup di sebelah Utara Flores dan Pulau Wetar menjadi penyebab utama tingginya aktivitas gempa [6].

Desa Oebelo merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Kupang yang dilalui oleh Jalan Trans Timor dan merupakan satu-satunya jalan utama yang menghubungkan semua Kabupaten / Kota di Pulau Timor dengan Negara Timor Leste. Keberadaannya sangat penting dan vital dalam mobilisasi barang dan jasa. Selain itu, wilayah ini berpotensi menjadi daerah perluasan Kota Kupang sebagai Ibu Kota Provinsi. Kondisi geologinya didominasi tanah lempung ekspansif, sangat rawan akan pergeseran dan penurunan. Tingkat seismisitasnya tinggi didominasi gempa-gempa dangkal. Berada pada ketinggian ± 8 - 10 m di atas permukaan laut dengan jarak dari tepi pantai ± 8 km, menambah rawannya pergeseran dan penurunan tanah karena sering tergenang air pada saat musim hujan dan gelombang pasang serta terdapat beberapa patahan lokal.

Berdasarkan gambaran tersebut, maka perlu dilakukan kajian mikrotremor dan geolistrik resistivitas di sekitar jalan arteri primer Trans Timor untuk mitigasi bencana.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian di Desa Oebelo sekitar jalan arteri primer Trans Timor dengan koordinat 123,10903° BT - 123,76206° BT dan 10,10903° LS - 10,11578° LS. Penelitian dilakukan pada bulan Mei-Juli 2014.

Pengukuran dan pengolahan data mikrotremor. Pengambilan data sebanyak 52 titik ukur dengan jarak antar titik 250 m, menggunakan Seismometer tiga komponen tipe DS-4A *feedback short-period seismometer* dan seperangkat alat penunjang lainnya. Data yang terekam dalam bentuk *trace*, kemudian diubah dalam bentuk *miniseed* menggunakan *DataPro* sehingga dapat diolah dengan *Geopsy* untuk menghasilkan kurva HVSR untuk memperoleh nilai frekuensi dominan tanah dan faktor amplifikasi. Nilai frekuensi dominan tanah diiversi dalam bentuk perioda dominan untuk digunakan dalam perhitungan PGA berdasarkan persamaan empiris Kanai, sedangkan nilai amplifikasi faktor digunakan dalam perhitungan indeks kerentanan seismik.

Perhitungan PGA. Perhitungan nilai PGA menggunakan parameter-parameter gempa dan karakteristik geologi setempat. Adapun tahapan-tahapan pengumpulan data adalah:

1. Parameter-parameter gempa yang digunakan dalam perhitungan PGA adalah magnitudo permukaan (*Ms*) dan jarak hiposenter (*H*). Data-data gempa diperoleh dari USGS dan BMKG, dipilih berdasarkan sebaran episenter yang melingkupi daerah Kabupaten Kupang dalam kurun waktu 50 tahun, dari tahun 1963 sampai tahun 2013 dengan magnitudo ≥ 3.
2. Parameter karakteristik geologi setempat direpresentasikan oleh nilai periode dominan tanah (T_0) yang diinversikan dari nilai frekuensi dominan tanah (f_0) hasil pengukuran mikrotremor dengan metode HVSR.
3. Perhitungan nilai PGA menggunakan rumus empiris Kanai [7] dengan memasukkan parameter-parameter pada Point (1) dan (2) di atas:

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_g}} 10^{0,61Ms - \left(1,66 + \frac{3,6}{R}\right)\log R + 0,167 - \frac{1,83}{R}} \quad (1)$$

Dengan α_g nilai percepatan getaran tanah titik pengamatan (gal), *Tg* periode dominan tanah titik pengamatan (s), M_s *magnitudo surface* dan *R* jarak hiposenter (km).

Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik. Indeks kerentanan seismik [4,8] dihitung berdasarkan persamaan berikut,

$$K_g = \frac{A_0^{\,2}}{f_0} \quad (2)$$

Dengan K_g indeks kerentanan seismik, A_0 faktor amplifikasi dan f_0 frekuensi dominan tanah (Hz). Nilai A_0 dan f_0 diperoleh dari pengukuran mikrotremor dengan metode HVSR.

Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen. Pendugaan ketebalan lapisan sedimen dilakukan menggunakan data-data mikrotremor yang mana hasilnya akan dicocokkan dengan hasil pendugaan menggunakan metode Geolistrik. Adapun tahapan perhitungan ketebalan lapisan sedimen dengan mikrotremor adalah

1. Perhitungan menggunakan persamaan,

$$h = \frac{V_S 30}{4 f_0} \quad (3)$$

Dengan, *h* ketebalan lapisan sedimen (m), V_s30 kecepatan gelombang sekunder pada kedalaman 30 m (m/s^2) dan f_0 frekuensi dominan tanah (Hz) [9].

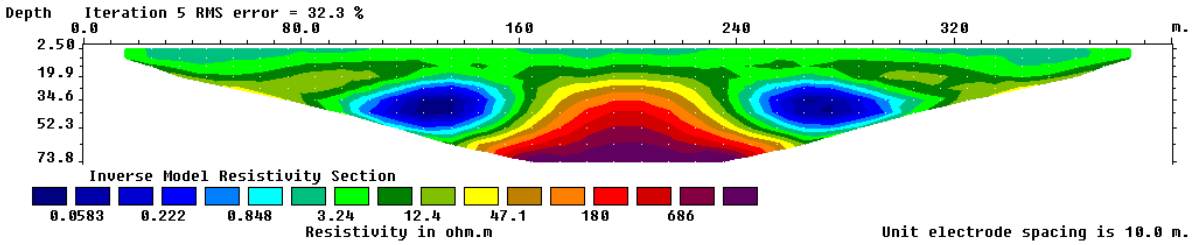
2. Nilai V_s30 di peroleh dari USGS, dipilih koordinat yang melingkupi daerah penelitian. Sebaran nilai V_s30 ini tersebar dengan jarak 1000 m sedangkan jarak titik ukur mikrotremor 250 m, sehingga perlu diinterpolasi untuk mendapatkan nilai V_s30 yang tepat di setiap titik ukur mikrotremor.
3. Nilai f_0 diperoleh dari pengukuran mikrotremor.

Pengukuran Geolistrik. Pengkuran geolistrik terbagi dalam dua lintasan masing-masing di sisi utara dan sisi selatan jalan, panjang lintasan ukur 400 m menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger dengan spasi elektroda 10 meter. Nilai resistivitas semu yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan *software Res2dinv* untuk mendapatkan penampang 2D.

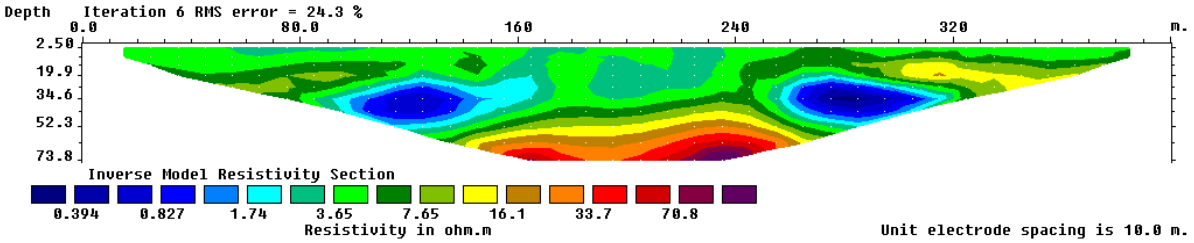
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian. Tanah permukaan di wilayah ini didominasi aluvium yang bersifat *ekspansif*, sedikit bercampur *clay* merah dan *clay* hitam serta pasiran. Terdapat singkapan batu gamping koral. Berada pada dataran rendah yang merupakan daerah pengendapan dan dekat dengan garis pantai. Hal ini menyebabkan ketidakstabilan tanah dan berpotensi bergerak secara terus menerus bahkan mengalami penurunan atau amblasan.

Ketebalan Lapisan Sedimen. Pengkuran dengan metode Geolistrik dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai ketebalan lapisan sedimen dan juga jenis-jenis tanah/ batuan yang menyusun perlapisan tersebut. Penampang 2D hasil inversi dengan *Res2dinv* memberikan gambaran dan informasi yang sangat baik mengenai kondisi tanah dan ketebalan lapisan sedimen.



Gambar 1. Penampang 2D lintasan ukur sebelah Selatan jalan.



Gambar 2. Penampang 2D lintasan ukur sebelah Utara jalan.

Sedangkan lintasan ukur sebelah Utara jalan (Gambar 2), didapati jenis perlapisan yang tidak jauh berbeda dengan jenis perlapisan pada bagian selatan. Lapisan pertama sebagai lapisan penutup (*top soil*) dengan nilai resistivitas berkisar 3,65-16,1 Ωm berupa tanah bercampur *clay* 40% dan tanah aluvium serta terdapat kandungan air tanah. Tidak ditemukan adanya intruisi air laut pada lintasan ukur ini. Lapisan di bawahnya adalah tanah campuran *clay* 20% dan pasir, berada pada kedalaman ± 50 m dengan resistivitas 33,7 Ωm. Lapisan paling dasar adalah *limestone* dengan resistivitas 50 – 70,8 Ωm, kedalaman ± 60 – 70 m.

Berdasarkan gambar penampang 2D hasil pengkuran geolistrik, secara umum daerah penelitian didominasi *clay* dan tanah aluvium dangan ketebalan rata-rata antara 10 – 60 m. Terbentuknya lapisan ini sebagai bagian dari proses sedimentasi dan pengendapan batuan-batuan di sekitar daerah tersebut dan gambaran ini sesuai dengan Peta geologi lembar Kupang-Atambua. Batuan *limestone* diduga sebagai *bedrock* yang menopang lapisan sedimen di atasnya dengan kedalaman antara 60 – 70 m.

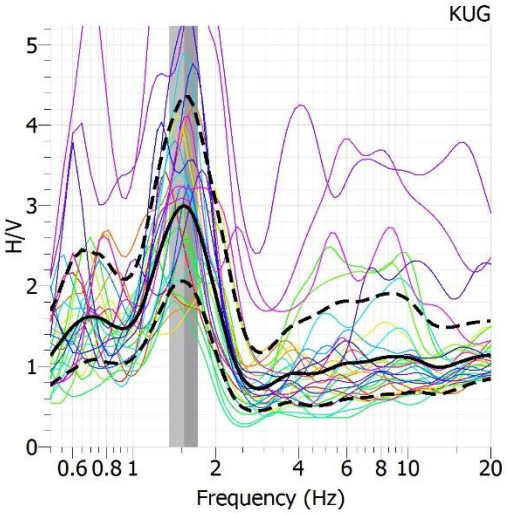
Selain menggunakan geolistrik, kajian mikrotremor juga dapat digunakan untuk menduga ketebalan lapisan sedimen menggunakan persamaan (3). Hasilnya tidak jauh berbeda dan terkonfirmasi cukup baik dengan hasil pendugaan kedalaman batuan dasar menggunakan metode geolistrik.

Data-data kecepatan gelombang S (V_s30) di lokasi pengukuran geolistrik diperoleh dari USGS. Nilai-nilai V_s30 kemudian diinterpolasi dan disesuaikan dengan titik-titk ukur mikrotremor, sehingga diperoleh nilai-nilai V_s30 tepat disetiap titik-titik ukur mikrotremor. Berdasarkan persamaan (3), diperoleh kedalaman batuan dasar pada setiap titik ukur tersebut. Hasil perhitungan diperoleh kedalaman batuan dasar berkisar 5,75 – 137,72 m. Kedalaman batuan dasar yang dangkal berada pada titik-titik ukur dengan frekuensi dominan tanah yang tinggi, sebaliknya kedalaman batuan dasar yang dalam pada titik-titik ukur yang nilai frekuensi dominan tanahnya rendah.

Penggunaan metode mikrotremor dalam memperkirakan kedalaman *bedrock* dan ketebalan lapisan sedimen sebelumnya ini telah dilakukan dan memberikan hasil yang baik oleh beberapa peneliti, diantaranya [10] melakukan penelitian pendugaan ketebalan lapisan sedimen di Teluk Rhine, Jerman sementara [11] di Massachusetts dan [12] di daerah San Joaquin Valley sementara [9] di Bengkulu memanfaatkan kajian ini untuk memperkirakan kedalaman *bedrock*. Hubungan antara kedalaman *bedrock* dan f_0 saling mempengaruhi satu dengan yang lain.

Hasil tersebut hampir sama dengan hasil interpretasi menggunakan metode geolistrik resistivitas serta gambaran dalam peta geologi, sehingga dapat disimpulkan bahwa pendugaan ketebalan sedimen dan kedalaman *bedrock* menggunakan metode mikrotremor dapat memberikan hasil yang baik.

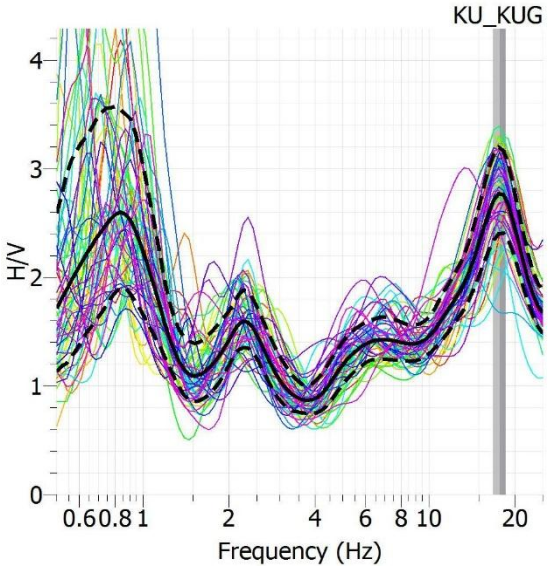
Frekuensi Dominan Tanah. Pengolahan data getaran tanah menggunakan *Software Geopsy* dengan metode HVSR. Hasil dari metode HVSR ini adalah nilai frekuensi dominan tanah dan nilai faktor amplifikasi yang ditandai dengan puncak kurva HVSR. Nilai frekuensi tanah dominan pada saat puncak kurva HVSRnya maksimum [13] seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3. Gambar ini merupakan salah satu bentuk kurva HVSR, berdasarkan data rekaman getaran tanah pada titik H1.1 dengan nilai faktor amplifikasi 3,00 dan frekuensi dominan tanah 1,54 Hz. Kurva HVSR ditunjukkan garis hitam tebal sedangkan nilai frekuensi dominan oleh daerah yang terarsir tepat pada nilai puncak/maksimum kurva HVSR.



Gambar 3. Kurva HVSR pada titik H1.1

Titik pengukuran getaran tanah yang memberikan nilai frekuensi dominan yang tinggi ditunjukkan oleh Gambar 4. Adanya perbedaan ketajaman puncak kurva HVSR diinterpretasikan sebagai akibat perbedaan yang sangat kontras pada impedansi akustik (Z) antara lapisan *top soil* (sedimen) dan lapisan dibawahnya (batuan) serta adanya gangguan angin yang menyebabkan terjadi noise pada rekaman gelombang mikrotremor. Kurva HVSR akan terlihat jelas puncak frekuensinya ketika terdapat perbedaan impedansi akustik yang kontras dengan perbandingan lapisan kedua dan lapisan pertama > 2:1. Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian [11] pada dua daerah yang berbeda karateristik geologi dan kecepatan anginnya.

Kurva HVSR pada Gambar 4 merupakan hasil pengukuran getaran tanah pada titik ukur H2.12. Nilai frekuensi dominannya 18,27 Hz dan faktor amplifikasi 2,48. Kondisi tanah permukaan berupa *clay* bercampur pasir dan terdapat singkapan batu gamping koral. Nilai frekuensi dominan tanah yang tinggi mengindikasikan bahwa lapisan sedimennya tipis dan kedalaman batuan dasarnya rendah. Sebaliknya nilai frekuensi dominan tanah yang rendah menunjukkan bahwa ketebalan lapisan sedimen tebal dan kedalaman batuan dasar yang dalam. Hal ini sesuai dengan hasil interpretasi [14] bahwa peningkatan nilai periode dominan diikuti dengan peningkatan ketebalan lapisan sedimen atau kedalaman batuan dasar.

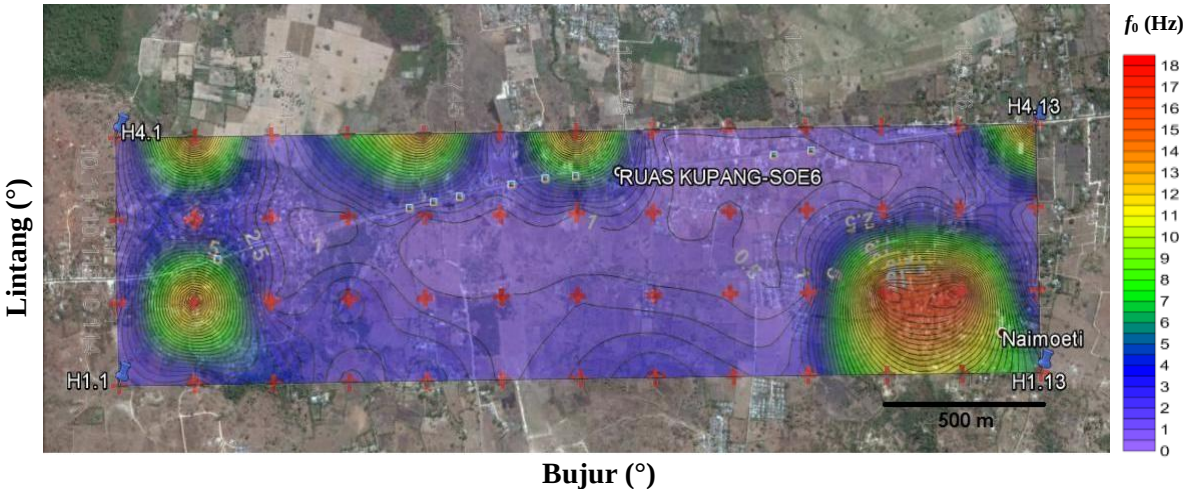


Gambar 4. Kurva HVSR dengan nilai frekuensi dominan tanah tertinggi.

Sebaran nilai frekuensi dominan tanah di daerah penelitian secara umum rendah meskipun di beberapa titik pengukuran terdapat nilai frekuensi dominan yang tinggi. Nilai frekuensi dominan antara 0,62-5,72 Hz tersebar pada 42 titik ukur dan hampir mendominasi daerah penelitian sedangkan nilai frekuensi dominan > 6 Hz hanya tersebar pada 10 titik. Titik-titik ukur dengan nilai frekuensi dominan yang tinggi merupakan daerah dengan karakteristik geologi didominasi batu gamping koral, sedangkan nilai frekuensi dominan yang rendah merupakan daerah yang didominasi tanah aluvium yang lunak/elastis.

Sebaran nilai frekuensi dominan tanah pada

daerah penelitian dapat di lihat pada Gambar 5. Rata-rata nilai frekuensi dominan tanah adalah 3,90 Hz. Jika mengacu pada Tabel 1 maka daerah dengan nilai frekuensi dominan tersebut jumlah tingkat bangunan yang disarankan 2,5 ≤ 5.

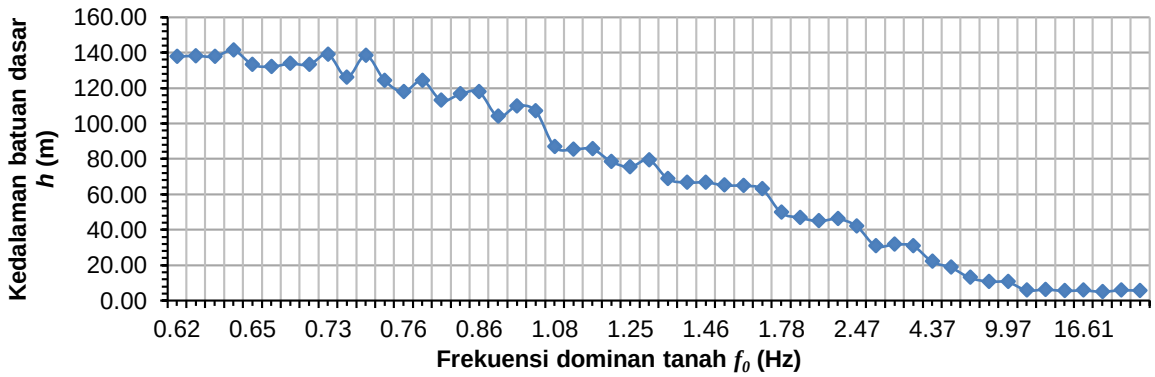


Gambar 5. Sebaran Nilai Frekuensi Dominan Tanah

Tabel 1. Hubungan frekuensi dominan tanah dan jumlah tingkat bangunan yang disarankan [5]

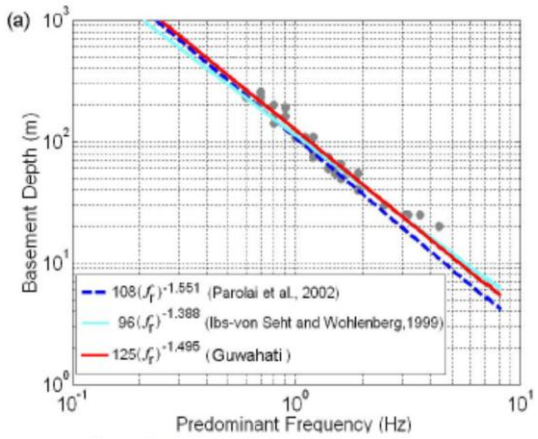
No	Frekuensi dominan tanah (Hz)	Jumlah tingkat bangunan (lantai) yang disarankan
1	0- 2	5 - tingkat tinggi
2	2,01- 4	2,5 ≤ 5
3	4,01-6	2 ≤ 2,5
4	6,01-8	1, 25 ≤ 2,5
5	8,01-10	1 ≤ 1, 25
6	≥ 10	≤ 1

Kurva yang tampak pada Gambar 6 terlihat hubungan antara frekuensi dominan tanah dan kedalaman *bedrock*. Berdasarkan kurva tersebut, terlihat pola distribusi kedalaman batuan dasar yang mengalami penurunan seiring dengan peningkatan nilai frekuensi dominan tanah. Semakin kecil frekuensi dominan tanah maka akan semakin dalam posisi batuan dasar, begitupun sebaliknya. Meskipun pada beberapa titik ada nilai kedalaman batuan dasar yang besar namun secara keseluruhan, kecenderungan kurvanya menurun secara lienar berdasarkan peningkatan frekuensi domian tanah. Hal ini mengindikasikan bahwa frekuensi dominan tanah dipengaruhi oleh kedalaman batuan dasar atau ketebalan lapisan sedimen yang menutupi perlapisan batuan di bawahnya. Lapisan sedimen yang tebal menyebabkan banyaknya gelombang terjebak pada lapisan tersebut sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menjalar sampai ke permukaan semakin lama yang kemudian menghasilkan nilai frekuensi dominan yang kecil.



Gambar 6. Kurva hubungan frekuensi dominan (f_0) tanah dan kedalaman batuan dasar (h)

Hubungan frekuensi dominan tanah dan kedalaman *bedrock* di atas sesuai dengan kurva yang dibuat oleh Zaharia [14] seperti pada Gambar 7. Kurva ini dibuat berdasarkan data-data penelitian yang dilakukan oleh Ibs-von Sehht dan Wolhenberg dan Parolai, dkk pada tahun 2002.



Gambar 7. Hubungan frekuensi dominan tanah dengan kedalaman batuan dasar [14]

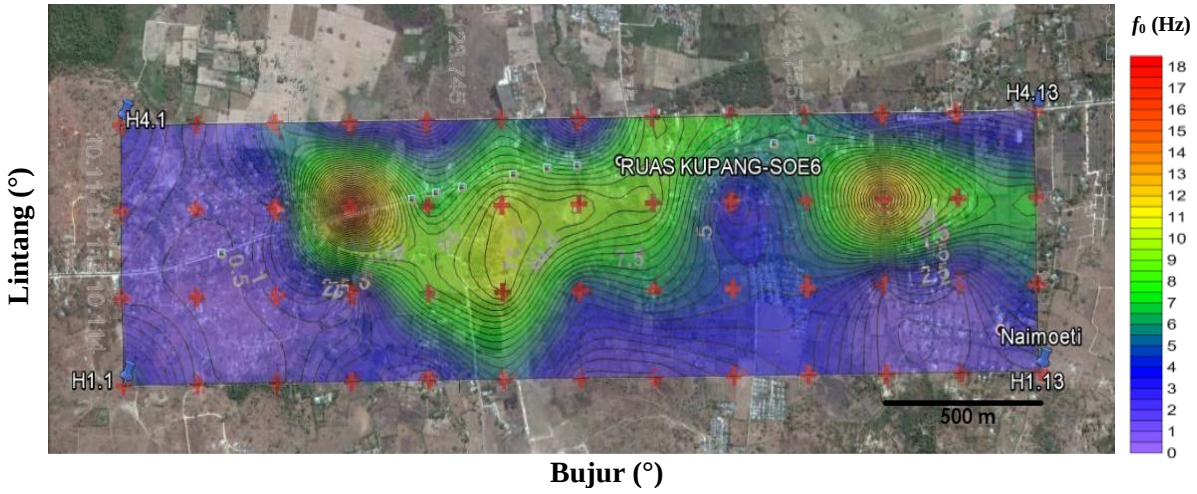
Ibs-von Seht bersama Wolhenberg dan Parolai,dkk melakukan penelitian di Jerman dengan melihat hubungan antara frekuensi dominan tanah dan kedalaman batuan dasar menggunakan metode mikrotremor kemudian membandingkannya dengan hasil bor. Hasil penelitian mereka menunjukkan adanya hubungan yang saling terkait antara kecepatan gelombang geser, frekuensi dominan tanah dan kedalaman *bedrock* [14].

Sebaran frekuensi dominan tanah hasil penelitian menunjukkan kondisi yang sama, dimana ketebalan lapisan sedimen diduga mempengaruhi menurunnya nilai frekuensi dominan tanah. Nilai frekuensi dominan tanah yang kecil cenderung berada di daerah dengan proses sedimentasi yang tinggi begitupun sebaliknya nilai frekuensi dominan tanah yang tinggi tersebar di daerah dengan singkapan batuan gamping dan di sekitar punggungan bukit gamping.

Ketika frekuensi alamiah sebuah bangunan sama atau mendekati nilai frekuensi dominan tanah yang bergetar tepat dibawahnya, maka bangunan tersebut sangat rentan dan beresiko tinggi untuk ambruk karena efek resonansi [14] sehingga dalam pembuatan bangunan tahan gempa perlu mendesain frekuensi alamiah bangunan harus melebihi frekuensi dominan tanah untuk mengurangi dampak kerusakan akibat kejadian gempa bumi [15].

Indeks Kerentanan Seismik. Indeks kerentanan seismik (*Kg*) menunjukkan besaran fisis kerentanan suatu daerah yang terkena dampak akibat goncangan atau pergerakan lapisan batuan. Semakin besar nilai indeks kerentanan seismik maka semakin rentan daerah tersebut terkena dampak goncangan.

Hasil perhitungan *Kg* di daerah penelitian bervariasi, berada pada rentang 0,21 dan 21,83 dengan rata-rata 4,40. Secara umum nilai *Kg* yang mendominsai daerah penelitian berada di bawah 10 sedangkan nilai *Kg* di atas 10 berada pada 6 titik ukur yaitu H2.6, H3.4, H3.6, H.3.7, H3.8 dan H.3.11 yang ditandai dengan indeks warna hijau muda, kuning dan merah seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Sebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik

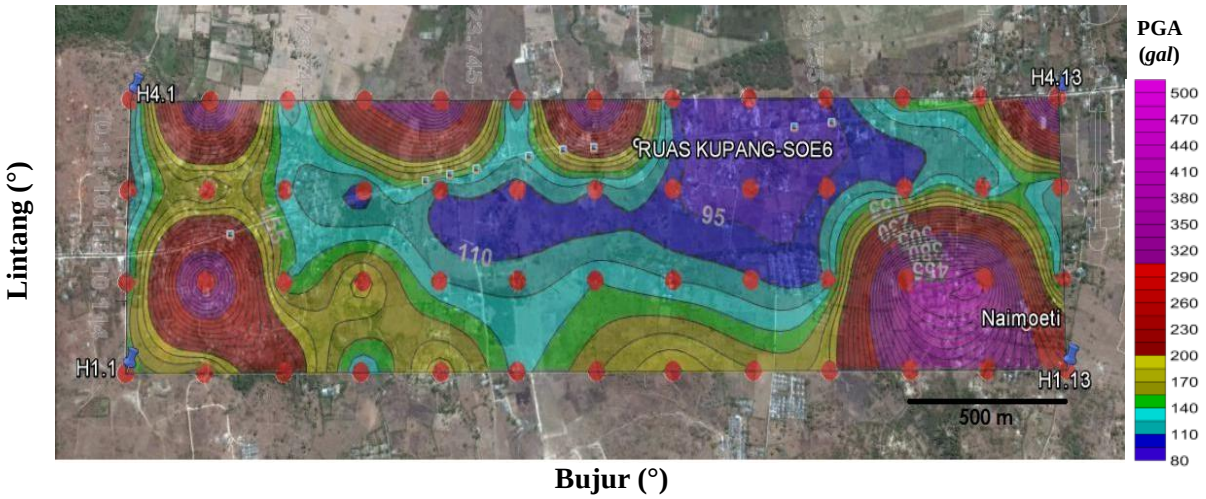
Penelitian-penelitian *Kg* yang telah dilakukan sebelumnya, tidak memberikan suatu rentang nilai yang pasti dan jelas mengenai tingkat kerusakan yang terjadi sehingga sulit untuk mengetahui pada rentang nilai *Kg* yang sebesar berapa akan terjadi kondisi yang berbahaya ataupun sebaliknya. Untuk itu diperlukan penelitian pembanding yang melihat hubungan besaran nilai kerentanan seismik dan tingkat kerusakan yang ada. Penelitian yang dilakukan di Sumbawa [16] mengkomparasikan hasil penelitian *Kg* mereka dengan hasil penelitian *Kg* Daryono tahun 2006 di Daerah Bantul. Nilai *Kg* diatas 10 diperoleh di daerah Bantul yang mengalami kerusakan parah, sedangkan di daerah Nglanggran tidak mengalami kerusakan parah dengan indeks *Kg* dibawah 2. Hasil komparasi tersebut kemudian digunakan untuk menduga kondisi kemungkinan efek gempa bumi yang terjadi di Sumbawa cenderung relatif rendah dengan indeks *Kg* 0,1 - 4,8

Mengacu pada hasil komprasi di atas, maka distrubusi nilai *Kg* di lokasi penelitian dapat di bagi dalam tiga bagian, yaitu rendah dengan indeks *Kg* di bawah 5, sedang dengan indeks *Kg* pada rentang 5-10, dan tinggi dengan indeks *Kg* di atas 10 seperti pada Gambar 8. Indeks *Kg* sedang dan tinggi mendominasi daerah penelitian yang ditandai dengan warna biru muda, hijau, kuning dan merah. Tersebar merata pada daerah yang didominasi sedimen berupa lempungan dan pasiran sedangkan daerah dengan *Kg* rendah kondisi geologinya berupa sebaran singkapan batuan gamping koral dengan indeks warna ungu-biru tua. Sebaran nilai indeks kerentanan seismik di daerah penelitian secara umum memberikan gambaran bahwa daerah tersebut rentan terhadap goncangan yang terjadi.

Jika sebaran nilai *Kg* ini dihubungkan dengan sebaran nilai frekuensi dominan tanah, maka terlihat bahwa daerah dengan nilai *Kg* tinggi berada pada daerah dengan sebaran nilai frekuensi dominan tanah yang rendah dan ketebalan lapisan sedimen yang besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa daerah dengan nilai frekuensi dominan tanah yang rendah dan perlapisan sedimen lunak yang tebal merupakan daerah yang berpotensi terkena dampak gempa bumi dengan tingkat kerusakan yang cukup parah. Kondisi inipun terjadi dengan daerah Graben Bantul yang mengalami kerusakan parah akibat efek tapak lokal saat gempabumi Bantul tahun 2006 dilihat dari sebaran nilai frekuensi dominan tanah yang rendah kurang dari 5 Hz sedangkan di daerah Nglanggran yang tidak mengalami kerusakan parah memiliki nilai frekuensi dominan yang berkisar 10 Hz hingga 13 Hz [16].

Penelitian di Kobe, Jepang menunjukkan bahwa indeks *Kg* tinggi diperoleh di daerah pesisir yang tersusun oleh material aluvium [4], di Intramuros, Pilipina indeks *Kg* tinggi tersebar di daerah bekas rawa dan reklamasi [8] dan di daerah Porong, nilai *Kg* pada rentang 43 - 150 dengan karakteristik geologi berupa sedimentasi delta dan efek luapan lumpur Sidoarjo [3].

Percepatan Tanah Maksimum. Perhitungan nilai percepatan tanah maksimum



Gambar 9. Sebaran nilai percepatan tanah maksimum.

menggunakan formula Kanai. Formula ini tidak hanya berdasarkan pada parameter gempa bumi tetapi juga mempertimbangkan faktor yang dipengaruhi kondisi/ karateristik geologi yang direpresentasikan nilai periode dominan. Parameter-parameter gempa bumi diperoleh berdasarkan data-data USGS dalam kurun waktu 50 tahun (1963-2013) dengan 445 kejadian gempa yang tersebar di seluruh wilayah Kabupaten Kupang. Sedangkan periode dominan tanah diperoleh dari inversi nilai frekuensi dominan tanah hasil pengolahan gelombang mikrotremor dengan metode HVSR.

Sebaran nilai PGA pada Gambar 9 berkisar antara 92,69 gal hingga 503,08 gal dengan rata-rata 190,91 gal. Data gempa memberikan pengaruh terhadap maksimumnya nilai percepatan tanah ini adalah data gempa dengan magnitudo 6,08 SR dengan jarak hiposenter 21 km dan pusat gempa pada kedalaman 16 km.

Daerah penelitian terbagi dalam enam tingkatan resiko. Tingkat resiko sedang dua terdistribusi pada 11 titik ukur mikrotremor dengan indeks warna biru, resiko sedang tiga dengan indeks warna biru muda tersebar di 12 titik ukur, resiko besar satu pada 9 titik ukur dengan indeks warna hijau, resiko besar dua pada 7 titik ukur dengan indeks warna kuning, resiko besar tiga dengan indeks warna merah pada 3 titik dan resiko sangat besar satu tersebar pada 10 titik dengan indeks warna ungu. Hal ini disebabkan oleh kondisi seismisitas yang sangat tinggi dan kondisi tanah yang sangat lunak/elastis didominasi *clay* dan tanah aluvium. Selengkapnya diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat resiko dan Intensitas berdasarkan Nilai PGA lokasi penelitian

No	Tingkat Resiko	PGA (gal)
1	Resiko sedang dua	80 - 99,67
2	Resiko sedang tiga	100,38 - 123,78
3	Resiko besar satu	125,17 - 140,11
4	Resiko besar dua	159,05 - 199,68
5	Resiko besar tiga	206,63 - 280,13
6	Resiko sangat besar satu	306,17 - 503,08

Peningkatan resiko dampak gempa bumi seiring dengan besarnya magnitudo gempa, dekatnya sumber gempa dan kecilnya periode dominan tanah di lokasi yang terkena dampak tersebut. Karakteristik geologi suatu daerah memberikan kontribusi dalam perhitungan nilai PGA sehingga sangat perlu untuk mempertimbangkannya dalam setiap perkiraan tingkat resiko akibat getaran gempa bumi. Untuk daerah dengan jarak hiposenter tidak berbeda secara signifikan sekitar 1 km tidak memberikan perubahan nilai PGA yang signifikan, namun ketika karakteristik geologi lokasinya berbeda (perbedaan nilai periode dominan tanah), maka akan memberikan perubahan yang cukup signifikan terhadap besarnya PGA.

Kerusakan akibat gempa bumi, utamanya karena konstruksi bangunan yang dibangun tidak memperhatikan kondisi geologi dan seismisitas. Tingkat resiko yang direpresentasikan oleh besar kecilnya nilai PGA suatu daerah perlu dipertimbangkan dalam mendesain bangunan yang tahan gempa demi mengurangi kerugian yang terjadi. PGA adalah salah satu faktor kunci untuk menganalisis potensi kerusakan akibat gempa, dan merupakan salah satu parameter bahaya gempa yang dapat diandalkan untuk perencanaan bangunan tahan gempa dan mitigasi bencana, terutama untuk daerah yang rawan gempa [17].

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan berupa sebaran nilai PGA, nilai frekuensi dominan tanah dan indeks kerentanan seismik, maka diperkirakan daerah sekitar jalan arteri primer rentan terhadap goncangan gempa bumi. Untuk mengurangi kerusakan yang terjadi dan demi pengehematan biaya pemeliharaan jalan, maka diharapkan dalam proses desain jalan/bangunan dapat mempertimbangkan nilai parameter-parameter tingkat resiko tersebut dengan membangun jalan tahan gempa yang mampu bertahan pada kondisi dengan tingkat resiko sedang dua sampai tingkat resiko besar satu.

Pengukuran geolistrik resistivitas memberikan gambaran mengenai kondisi perlapisan, ketebalan lapisan dan jenis-jenis tanah di sekitar jalan arteri primer. Berdasarkan hasil olahan data dalam bentuk 2, jenis tanah aluvium dan *clay* mendominasi dengan ketebalan ± 10-60 m ditambah dengan terdapatnya kandungan air tanah yang secara langsung mempengaruhi sifat ekspansifnya tanah tersebut.

Distribusi data-data PGA pada daerah penelitian dapat dijadikan acuan untuk merencanakan bangunan tahan gempa dengan memperhatikan tingkat resiko dari konversi

nilai PGA tersebut. Nilai-nilai frekuensi dominan tanah digunakan sebagai acuan untuk merancang bangunan dengan penentuan frekuensi alamiah bangunan yang lebih besar dari frekuensi dominan tanah demi menghindari terjadinya resonansi antara tanah dan bangunan yang berpotensi timbulnya kerusakan yang parah. Sementara untuk sebaran indeks kerentanan seismik dimanfaatkan untuk memperoleh informasi daerah *zona* lemah yang rentan atau mudah terjadi kerusakan jika dibangun infrastruktur di atasnya demi upaya mitigasi bencana.

KESIMPULAN

Besarnya nilai PGA berkisar antara 80 gal-500 gal. Tingkat resiko sedang dua sampai tingkat resiko sangat besar satu. Berdasarkan sebaran tingkat resiko tersebut, maka disimpulkan bahwa daerah tersebut sangat beresiko terjadi kerusakan akibat gempa sehingga dalam upaya mitigasi bencana, perlu menjadi bahan pertimbangan dan acuan dalam pembangunan.

Sebaran nilai frekuensi dominan tanah antara 0,62 – 18,27 Hz. Nilai frekuensi dominan tanah di daerah penelitian secara umum rendah meskipun di beberapa titik pengukuran terdapat nilai frekuensi dominan yang tinggi.

Distribusi indeks kerentanan seismik berada pada rentang 0,21 dan 21,83. Secara umum nilai *Kg* yang mendominsai daerah penelitian berada di bawah 10. Distrubusi nilai *Kg* di lokasi penelitian dibagi dalam tiga bagian, yaitu rendah dengan indeks *Kg* di bawah 5, sedang dengan indeks *Kg* pada rentang 5-10, dan tinggi dengan indeks *Kg* di atas 10. Dalam pembangunan ataupun upaya mitigasi bencana, perlu menghindari daerah yang memiliki indeks kerentanan yang tinggi (zona lemah) karena sangat mudah mengalami kerusakan ketika terjadi gempa.

Jenis tanah aluvium dan *clay* sebagai lapisan penutup *(top soil)* merupakan lapisan sedimen dengan ketebalan ±10-60 m, kemudian ditopang oleh batuan gamping sebagai batuan dasar *(bedrock)* pada kedalaman 60 m. Pendugaan kedalaman *bedrock* menggunakan metode mikrotremor memberikan hasil yang cukup baik dan akurat seperti hasil yang diperoleh dengan metode geolistrik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak BMKG Kupang yang telah mengijinkan penulis menggunakan alat Seismograf dan pihak Jurusan Fisika FST-UNDANA yang meminjamkan alat Resistivitymeter.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Natawidjaja, D. H., (2008). *Pedoman Analisis Bahaya Dan Risiko Bencana Gempa Bumi*. BNPB/SCDRR: ENTERIM REPORT TERM I.

[2] Edwiza, D. dan S. Novita, (2008). Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai. *Jurnal Teknika Unand*, 2 (**29**).

[3] Susilo, A dan S. H. Wiyono, (2012). Frequency analysis and seismic vulnerability index by using Nakamura methods at a new artery way in Porong, Sidoarjo, Indonesia. *International Journal of Applied Physics and Mathematics* 2 (**4**).

[4] Nakamura, Y., (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's. *Proceeding: 12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand.

[5] Hadi, A. I., Farid, M & Fauzi, Y., (2012). Pemetaan percepatan getaran tanah maksimum dan kerentanan seismik akibat gempa bumi untuk mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu. *SIMETRI, Jurnal Ilmu Fisika Indonesia* 1(**2D**): 1217 81-86

[6] Kreemer, C., Holt, .w. E., Goes, S., and Govers, R (2000), Active deformation in Eastern Indonesia and the Philippines from GPS and seismicity data. *Journal of Geophysical Research*. 105 (**B1**), 663-680.

[7] Douglas, J., (2001). *Ground Motion Estimation Equation 1964-2003*. Imperial College of Science, Technology and Medicine Civil Engineering Department London.

[8] Saita, J., M. L. P. Bautista, Y. Nakamura, (2004). On Relationship Betwen the Estimated Strong Motion Characteristics of Surface Layer and the Earthquake

Damage-Case Study at Intramuros. *Proceeding: Metro Manila, 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada. Paper No. 905.

[9] Refrizon, A.I. Hadi, K. Lestari dan T. Oktari, (2013). Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*.

[10] Ibs-von Seht, M. dan Wohlenberg, Jt (1999), Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(**1**), 250-259.

[11] Lane Jr, J.W., E.A. White, G.V. Steele, and J.C. Cannia, (2008), Estimation of bedrock depth using the horizontal-to-vertical (H/V) ambient-noise seismic method. *Proceeding*: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*. Denver, Colorado. Environmental and Engineering Geophysical Society.

[12] Morelli, T. A., (2013). Depth to Bedrock Estimations Using the H/V Spectral Ratio in the San Joaquin Valley. *The Faculty of the Natural Resources Management and Environmental Sciences Department California Polytechnic State University, San Luis Obispo*

[13] Mirzaoglu, M., & U. Dýkmen, (2003). Application of microtremors to seismic microzoning procedure. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 6(**3**): 143 – 156.

[14] Zaharia, B., M. Radulian, M. Popa, B. Grecu, A. Bala, D. Tataru, (2008), Estimation of the Local Response Using the Nakamura Method for the Bucharest Area. *Romanian Reports in Physics*, 60(**1**): 131–144

[15] Nath, S. K., and Thingbaijam, (2009). Seismic hazard assessment – a holistic microzonation approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Sci., **9**: 1445–1459.

[16] Sunardi, B., Daryono, J. Arifin, P. Susilanto, D. Ngadmanto, B. Nurdiyanto, Sulastri (2012), Kajian Potensi Bahaya Gempabumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 13(**2**): 131-137.

[17] Papadopoulou-Vrynioti, Ky., G.D. Bathrellos, H.D. Skilodimou, G. Kaviris, K. Makropoulos, (2013), Karst collapse susceptibility mapping considering peak ground acceleration in a rapidly growing urban area. *Engineering Geology* **158**: 77-88.