

Analisis Karakteristik Dinamika Tanah Berdasarkan Data Mikrotremor di Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat

Uzlifatul Azmiyati*¹, Kirbani Sri Brotopuspito² dan Suprpto Dibyosaputro³

¹Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Nahdlatul Ulama NTB,

²Dosen Jurusan Geofisika FMIPA, Universitas Gadjah Mada,

³Dosen Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada,

*email: u.azmiyati@gmail.com

Abstrak; Gempabumi diketahui sebagai fenomena alam yang menimbulkan kerugian yang sangat besar baik secara moral maupun material. Berdasarkan beberapa kasus gempabumi merusak di dunia, diketahui bahwa tingkat kerusakan akibat gempabumi tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya kekuatan gempabumi dan jarak suatu daerah dari pusat gempabumi tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik dinamika tanah. Kota Mataram sebagai ibukota Provinsi Nusa Tenggara Barat yang padat penduduk (6.741 jiwa/km²) merupakan bagian dari wilayah Indonesia yang rawan terhadap bencana gempabumi menjadi lokasi penelitian ini. Karakteristik dinamika tanah diperoleh berdasarkan analisis data mikrotremor yang ada di Kota Mataram dengan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) yang menghasilkan nilai frekuensi alami tanah (f_0) dan faktor amplifikasi tanah (A_0). Frekuensi alami dan faktor amplifikasi menjadi input untuk menghitung karakteristik dinamika tanah lainnya yaitu periode dominan (T_g), dan indeks kerentanan seismik (K_g). Hasil analisis menunjukkan bahwa pola spektrum mikrotremor Kota Mataram menghasilkan frekuensi alami rendah (0,13–10,96 Hz) dengan faktor amplifikasi tinggi (3,04–6,59), dan nilai periode dominan tinggi (0,02–2,25 detik). Hal tersebut menunjukkan bahwa Kota Mataram memiliki lapisan sedimen yang tebal dan batuan dasar yang dalam. Indeks kerentanan seismik tinggi ditunjukkan di bagian barat Kota Mataram. Hasil analisis dinamika tanah yang telah dilakukan dapat menjadi langkah dalam mitigasi bencana gempabumi di Kota Mataram Nusa Tenggara Barat.

Kata kunci: Gempa bumi, HVSr, Karakteristik Dinamika Tanah, Mikrotremor, Mitigasi Bencana

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah yang rawan terhadap bencana gempabumi tektonik. Hal ini disebabkan karena pertemuan antar lempeng tersebut yang membentuk daerah penunjaman atau subduksi (*subduction zone*). Oleh sebab itu kepulauan Indonesia memiliki aktivitas seismik yang tinggi.

Gempabumi telah dikenal sebagai fenomena alam yang menimbulkan efek bencana paling besar baik secara moral maupun materil, karena terjadi secara tiba-tiba dan sampai saat ini belum dapat diprediksi secara akurat kapan dan dimana terjadinya serta berapa kekuatannya. Beberapa bencana lain juga dapat disebabkan oleh gempabumi seperti tsunami, tanah longsor, kebakaran, banjir dan hancur serta robohnya bangunan gedung. Tidak ada langkah yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya gempabumi, hanya

dampak yang ditimbulkannya yang dapat dikurangi. Pengetahuan mengenai gempabumi menjadi sangat penting karena berhubungan erat dengan kehidupan manusia, khususnya di Kota Mataram. Mengingat Kota Mataram sebagai ibukota Provinsi Nusa Tenggara Barat yang menjadi pusat pemerintahan, pendidikan, perdagangan dan jasa. Hal ini mendorong terjadinya migrasi yang berdampak pada peningkatan jumlah penduduk. Kota Mataram yang padat penduduk (6.741 jiwa/km²) akan meningkatkan potensi korban jika terjadi gempabumi (BPS Kota Mataram, 2013). Oleh sebab itu analisis bahaya gempabumi harus dilakukan. Beberapa kasus gempabumi merusak di dunia, diketahui bahwa tingkat kerusakan akibat gempabumi tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya kekuatan gempabumi dan jarak suatu daerah dari pusat gempabumi namun juga dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal atau efek tapak lokal

(*local site effect*) yang berhubungan dengan karakteristik dinamika tanah.

Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis karakteristik dinamika tanah yaitu faktor amplifikasi (A_0), frekuensi natural tanah (f_0), periode dominan (T_g), indeks kerentanan seismik (K_g), *danground shear strain* (γ). Hasil analisis ini dapat menjadi bagiandari langkah mitigasi untuk mengurangi risiko bencana gempa bumi pada waktu yang akan datang.

BAHAN DAN METODE

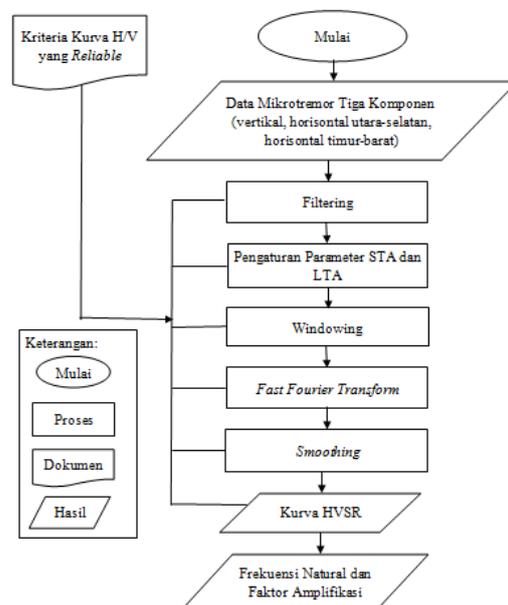
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengukuran mikrotremor di Kota Mataram yang telah dilakukan oleh Pusat Survei Geologi pada tahun 2013. Mikrotremor merupakan getaran alami (*ambient vibration*) bawah permukaan tanah yang diakibatkan oleh dua sumber utama yaitu aktivitas alam dan aktivitas manusia (Nakamura, 2008). Hasil pengukuran mikrotremor yang menghasilkan nilai frekuensi lebih dari 1 Hz biasanya dihubungkan dengan sumber yang berasal dari aktivitas manusia, sedangkan jika nilai frekuensi yang dihasilkan lebih kecil dari 1 Hz (antara 0,005 dan 0,3 Hz) dikaitkan dengan sumber yang berasal dari aktivitas alam (Claudet et al., 2006). Pengukuran mikrotremor menghasilkan data getaran tanah berupa sinyal yang terekam dalam tiga komponen yaitu komponen vertikal (Z), horizontal utara-selatan (N-S) dan horizontal barat-timur (W-E). Data geologi berupa peta geologi wilayah Kota Mataram juga digunakan sebagai bahan untuk membantu menjelaskan hasil analisis data mikrotremor.

Data mikrotremor diolah dengan menggunakan *software* Geopsy dengan menerapkan metode *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio* (HVSR). Metode HVSR dinyatakan dengan membandingkan antara komponen horizontal dengan komponen vertical mikrotremor (Nakamura, 1989). Metode HVSR dinyatakan dalam persamaan 1.

$$\frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \frac{\sqrt{[(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2]}}{S_{vertikal}}$$

S_{HS} adalah spectrum komponen horisontal di lapisan sedimen, sedangkan S_{VS} adalah spectrum komponen vertikal di lapisan sedimen.

Hasil dari analisis dengan metode HVSR adalah parameter frekuensi natural tanah (f_0) dan factor amplifikasi (A_0). Proses pengolahan mikrotremor dengan Geopsy diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Data Mikrotremor di Geopsy

Pada pengolahan data mikrotremor tersebut digunakan *band pass* filter dengan rentang nilai 0,1 Hz – 20 Hz, lebar window 45 detik, dan koefisien *bandwidth* 15. Nilai frekuensi natural dan faktor amplifikasi menjadi input untuk menghitung periode dominan tanah (T_g) dan indeks kerentanan seismik (K_g). Periode dominan tanah ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_g = \frac{1}{f_0} \quad (2)$$

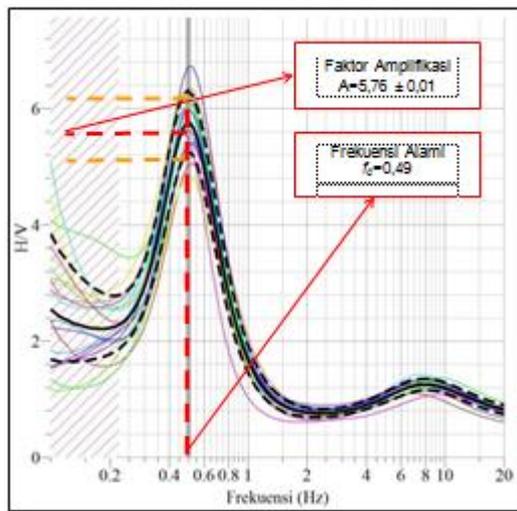
Sedangkan indeks kerentanan seismic ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (3)$$

Interpolasi spasial dengan aplikasi GIS diterapkan pada masing-masing karakteristik dinamika tanah yang dihasilkan sehingga dapat diketahui persebaran spasialnya di Kota Mataram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

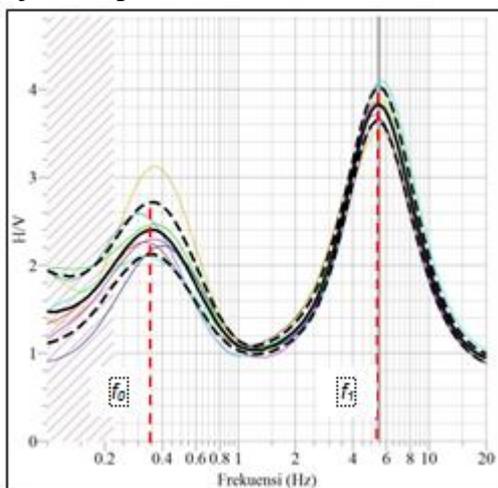
Hasil akhir pengolahan data mikrotremor dengan Geopsy adalah kurva spektrum H/V yang menunjukkan puncak spectrum pada frekuensi maksimum (dominan). Kurva spektrum H/V yang dihasilkan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Hasil Analisis HVSR pada Titik 104.

Garis warna-warni menunjukkan nilai frekuensi yang telah dipilih pada proses windowing. Garis hitam tebal menunjukkan nilai frekuensi spectrum rata-rata yang dihasilkan, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan nilai standar deviasi frekuensinya.

Hasil analisis yang diperoleh menunjukkan bahwa kurvas pektrum H/V yang dihasilkan ada yang memiliki satu puncak dan dua puncak. Kurvas pektrum H/V dengan satu puncak dihasilkan pada titik-titik pengukuran yang dekat dengan pantai seperti pada titik 104 di atas. Sedangkan pada titik-titik pengukuran yang jauh dari pantai memiliki dua puncak spektrum H/V dengan nilai $f_0 < f_1$ seperti pada titik 313 yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Hasil Analisis HVSR pada Titik 313

Menurut SESAME (2004), analisis HVSR yang menghasilkan dua puncak spektrum

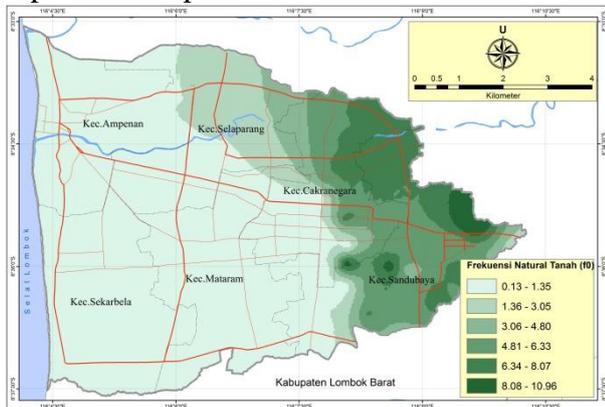
dengan $f_0 < f_1$ mengindikasikan daerah tersebut memiliki lapisan sedimen (*soft deposits*) yang tipis. Selain itu, kurva spektrum H/V dengan dua puncak juga mengindikasikan adanya pengaruh kegiatan industri di titik pengukuran.

3.1. Frekuensi natural tanah (f_0) dan factor amplifikasi (A_0)

Parameter yang dihasilkan dari pengolahan data mikrotremor adalah frekuensi resonansi atau frekuensi alami tanah (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Frekuensi alami tanah adalah parameter penting yang harus diketahui untuk keperluan mitigasi bencana gempa bumi karena berhubungan dengan perencanaan bangunan tahan gempa bumi. Struktur bangunan yang memiliki nilai frekuensi alami sama dengan frekuensi alami tanah akan mengalami resonansi jika terjadi gempa bumi. Efek resonansi akan memperkuat getaran bangunan sehingga menyebabkan bangunan roboh dengan cepat ketika terjadi gempa bumi kuat. Thuladar (2002) menyatakan bahwa, selain bahaya resonansi getaran gempa bumi, nilai frekuensi alami tanah yang sangat rendah rentan terhadap bahaya vibrasi periode panjang yang dapat mengancam gedung-gedung bertingkat tinggi.

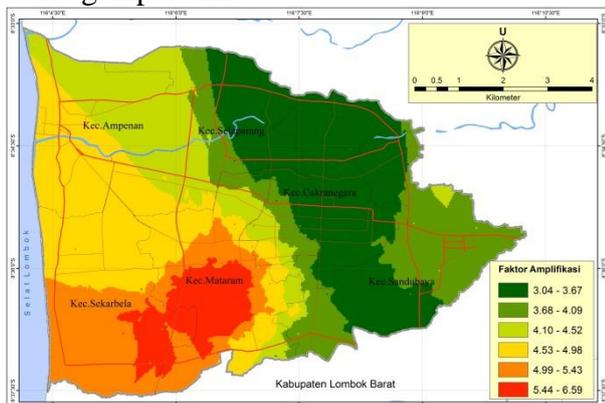
Sebaran nilai f_0 Kota Mataram berkisar antara 0,13 Hz sampai 10,96 Hz. Nilai f_0 rendah tersebar dominan di bagian barat Kota Mataram yang mencakup Kecamatan Ampenan, Sekarbela, Mataram, sebagian Kecamatan Cakranegara dan Selaparang. Nilai f_0 tinggi tersebar di bagian timur Kota Mataram yaitu di Kecamatan Sandubaya dan sebagian Kecamatan Cakranegara. Berdasarkan formasi geologinya nilai f_0 rendah diperoleh pada formasi aluvium yang tersusun atas kerakal, kerikil pasir, lempung, gambut, dan pecahan koral. Hal ini memperkuat penelitian-penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan Nakamura (1989), Nakamura et al. (1996), Parolai et al. (2001) yang menyatakan bahwa f_0 yang rendah berhubungan dengan tanah yang lunak dan ketebalan lapisan sedimen. Nilai f_0 yang rendah mengindikasikan lapisan batuan dasar di daerah tersebut semakin dalam, artinya bahwa daerah tersebut memiliki lapisan sedimen yang tebal. Nilai f_0 dipengaruhi oleh kecepatan gelombang geser (V_{s30}) dan

ketebalan lapisan sedimen. Hal inilah yang menyebabkan terjadi perbedaan nilai f_0 di Kota Mataram. Nilai f_0 yang rendah yaitu kurang dari 1 Hz, juga menunjukkan bahwa getaran mikrotremor yang terekam lebih banyak dipengaruhi oleh aktivitas alam, seperti yang diungkapkan Claudet et al. (2006). Sebaran nilai f_0 Kota Mataram diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Sebaran Frekuensi Natural Tanah Kota Mataram

Faktor amplifikasi (A_0) di Kota Mataram ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat bahwa nilai A_0 yang dihasilkan berkisar antara 3,04 sampai 6,59. Nilai A_0 tinggi dengan kisaran nilai antara 4,53 sampai 6,59 mendominasi di bagian barat Kota Mataram yaitu di Kecamatan Sekarbela, Mataram dan sebagian Kecamatan Ampenan. Sedangkan nilai A_0 rendah dengan kisaran nilai antara 3,04 sampai 4,09, ditunjukkan dengan warna hijau mendominasi bagian timur Kota Mataram yaitu di Kecamatan Selaparang, Cakranegara, dan Sandubaya. Faktor amplifikasi merupakan nilai yang menyatakan kelipatan amplitudo getaran tanah. Hal ini berarti bahwa faktor amplifikasi menunjukkan berapa kali tanah tersebut akan memperbesar kekuatan suatu gempa bumi.



Gambar 5. Peta Sebaran Faktor Amplifikasi Tanah Kota Mataram

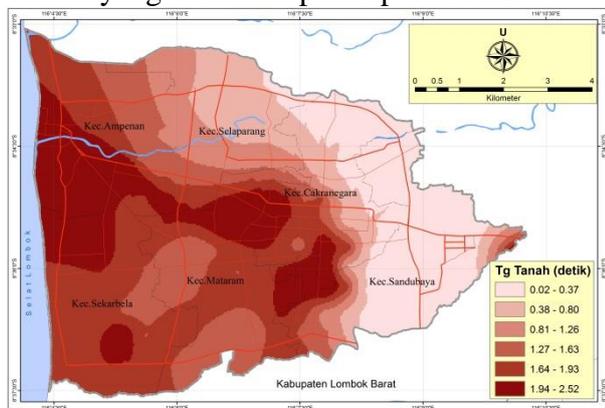
Pola spektrum mikrotremor di Kota Mataram menunjukkan pola spektrum yang menghasilkan frekuensi alami tanah (f_0) rendah dengan puncak spektrum (A_0) yang tinggi. Pola spektrum mikrotremor berhubungan dengan intensitas kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa bumi, dimana frekuensi resonansi rendah dengan puncak spektrum tinggi dapat menimbulkan intensitas kerusakan yang tinggi. Hal ini disebabkan karena nilai f_0 rendah menyebabkan amplifikasi atau penguatan yang tinggi terhadap gelombang gempa bumi. Hal ini berarti bahwa jika terjadi suatu gempa bumi, maka gelombang gempa bumi tersebut akan dikuatkan sesuai dengan nilai amplifikasi di Kota Mataram serta dapat menghasilkan resonansi hingga menyebabkan kerusakan bangunan jika frekuensi alami bangunan sama dengan nilai f_0 tanah. Selain itu, f_0 yang rendah menimbulkan periode yang panjang atau tinggi sehingga gelombang gempa bumi tersebut akan semakin lama terjebak di lapisan sedimen tanah yang kemudian dapat mengancam bangunan yang ada di atasnya.

3.2. Periode dominan tanah (T_g)

Periode dominan tanah (T_g) merupakan suatu besaran yang menyatakan jumlah dominan getaran yang terjadi di dalam lapisan tanah yang diukur pada waktu satu detik. Nilai T_g menjadi salah satu karakteristik dinamika tanah yang mencerminkan ketebalan lapisan sedimen wilayah setempat. Semakin besar nilai T_g di suatu tempat maka semakin tebal lapisan sedimen di tempat tersebut, demikian pula sebaliknya. Nilai T_g adalah berbanding terbalik dengan nilai f_0 . Jika nilai f_0 rendah maka nilai T_g akan tinggi, begitupun sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut nilai T_g dipengaruhi oleh nilai f_0 .

Persebaran nilai T_g di Kota Mataram ditunjukkan pada Gambar 6 dengan kisaran nilai antara 0,02 detik sampai 2,52 detik. Dapat dilihat bahwa nilai T_g tinggi dominan di Kota Mataram bagian barat meliputi Kecamatan Ampenan, Sekarbela, Mataram, sebagian Kecamatan Cakranegara dan Selaparang. Sedangkan, nilai T_g rendah mendominasi bagian timur Kota Mataram yang meliputi Kecamatan Sandubaya,

sebagian Kecamatan Cakranegara dan Selaparang. Nilai T_g yang tinggi di bagian barat Kota Mataram menunjukkan bahwa lapisan sedimen di wilayah ini lebih tebal jika dibandingkan dengan Kota Mataram bagian timur. Semakin ke timur lapisan sedimen semakin tipis. Jika dilihat dari kondisi geologi Kota Mataram, maka hal tersebut dapat diterima karena bagian barat Kota Mataram didominasi oleh formasi aluvium yang tersusun atas batuan kerikil, kerakal, pecahan koral, dan pasir. Sedangkan bagian timur Kota Mataram sudah mendekati formasi lekopiko dan kalibabak yang terdiri dari batuan yang lebih kompak seperti breksi.



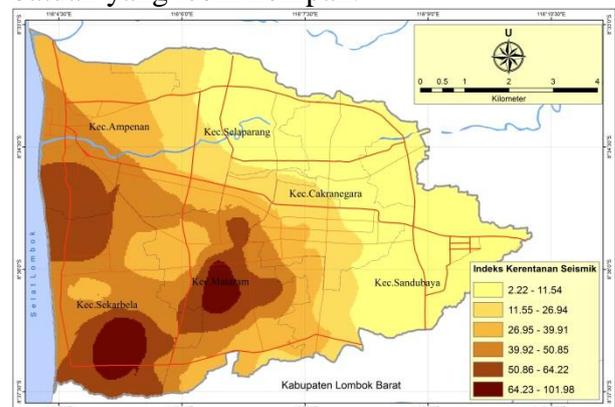
Gambar 6. Peta Sebaran Periode Dominan Tanah Kota Mataram

Berdasarkan hasil analisis, terlihat bahwa nilai T_g tinggi menempati daerah yang memiliki nilai f_0 rendah. Hal ini berarti bahwa pada daerah tersebut memiliki lapisan sedimen yang tebal dan letak batuan dasar yang dalam. Penjelasan tersebut berlaku sebaliknya untuk daerah yang memiliki nilai T_g rendah dengan f_0 tinggi. Daerah yang memiliki nilai T_g rendah dengan f_0 tinggi menunjukkan bahwa lapisan sedimen di daerah tersebut lebih tipis dan letak batuan dasar yang dangkal.

Nilai periode dominan tanah yang tinggi dapat mengancam bangunan-bangunan yang berada di atasnya. Hal ini disebabkan karena periode tinggi atau panjang berarti bahwa suatu gelombang gempa bumi tersebut akan bervibrasi lebih lama, membutuhkan waktu yang lebih lama untuk berhenti. Semakin lama gelombang tersebut bervibrasi maka kesempatan untuk merusak bangunan di atasnya juga semakin besar.

3.3. Indeks kerentanan seismik (K_g)

Analisis yang telah dilakukan menghasilkan sebaran nilai K_g seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dengan kisaran nilai antara 2,22 sampai 101,98. Nilai K_g tinggi antara 39,92 sampai 101,98 mendominasi Kota Mataram bagian barat yaitu di Kecamatan Mataram, Sekarbela dan Ampenan. Nilai K_g rendah antara 2,22 sampai 26,94 mendominasi bagian timur Kota Mataram meliputi Kecamatan Sandubaya, Cakranegara dan sebagian Kecamatan Selaparang. Daerah yang memiliki nilai K_g tinggi adalah daerah yang dekat dengan laut. Kemudian nilai K_g semakin rendah ke bagian timur menuju wilayah yang lebih tinggi dan lebih jauh dari laut, yang lapisan sedimennya lebih tipis karena sudah dekat dengan formasi batuan yang lebih kompak.



Gambar 7. Peta Sebaran Indeks Kerentanan Seismik Kota Mataram

Nilai K_g yang tinggi di bagian barat Kota Mataram mengindikasikan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan yang tinggi di wilayah tersebut. Sedangkan nilai K_g yang rendah di bagian timur Kota Mataram mengindikasikan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan yang rendah. Hal ini merujuk pada definisi K_g yang merupakan suatu indeks atau angka yang menunjukkan gambaran tingkat kerentanan lapisan tanah di permukaan akibat terjadinya perubahan bentuk apabila terjadi gempa bumi. Semakin tinggi nilai K_g maka kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap gempa bumi semakin tinggi, begitu sebaliknya semakin rendah nilai K_g maka kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap gempa bumi semakin rendah.

Berdasarkan nilai K_g yang dihasilkan, kerentanan lapisan tanah permukaan Kota Mataram tinggi terletak di bagian barat. Formasi geologi yang mendominasi bagian

barat Kota Mataram adalah formasi aluvial yang tersusun atas kerakal, kerikil pasir, lempung, gambut, dan pecahan koral. Hal ini memperkuat indikasi bahwa wilayah ini memiliki tingkat kerentanan lapisan tanah yang tinggi jika terjadi gempa bumi. Penelitian yang pernah dilakukan Daryono (2011) juga menghasilkan nilai K_g tinggi pada daerah dengan sedimen lunak. Di bagian timur Kota Mataram memiliki kerentanan yang rendah disebabkan karena wilayah ini sudah berdekatan dengan formasi geologi kalibabak dan lekopiko yang tersusun atas batuan yang lebih kompak atau solid jika dibandingkan formasi geologi aluvium.

Indeks kerentanan seismik yang tinggi di bagian barat Kota Mataram mengindikasikan bahwa daerah tersebut memiliki potensi kerusakan bangunan yang tinggi atau parah jika terjadi gempa bumi. Sedangkan di bagian timur Kota Mataram menunjukkan indikasi bahwa daerah tersebut memiliki potensi kerusakan bangunan yang rendah atau tidak parah jika terjadi gempa bumi, dilihat dari indeks kerentanan seismiknya.

Hasil dari analisis karakteristik dinamika tanah yang telah dilakukan dapat menjadi tinjauan dalam membangun bangunan tahan gempa di Kota Mataram. Sebaran spasial yang dihasilkan dapat mempermudah zonasi wilayah yang rawan terhadap bahaya gempa bumi.

SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah frekuensi natural tanah Kota Mataram memiliki frekuensi natural yang rendah dengan factor amplifikasi tinggi. Nilai frekuensi natural yang berbeda di Kota Mataram dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen. Frekuensi natural yang rendah menyebabkan periode dominan tanah yang tinggi. Indeks kerentanan seismik yang tinggi dominan di bagian barat Kota Mataram dikarenakan wilayah tersebut dominan terdiri dari lapisan sedimen pasir dan kerikil. Di bagian timur Kota Mataram, indeks kerentanan seismik yang dihasilkan rendah karena material penyusun lapisan tanah lebih kompak.

Pada penelitian selanjutnya dapat mengkaji percepatan getaran maksimum tanah dan nilai ground shear strain di Kota

Mataram. Kajian terhadap frekuensi alami bangunan dengan melakukan pengukuran mikrotremor langsung pada bangunan juga perlu dilakukan. Bangunan yang akan dibangun di Kota Mataram hendaknya dibangun dengan frekuensi alami yang tidak sama dengan frekuensi alami tanah yaitu rata-rata sebesar 1,5 Hz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tersusunya naskah penelitian ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran selama analisis data dan penyusunan naskah. Terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Kirbani Sri Brotopuspito dan Dr. Suprpto Dibyosaputro, M.Sc. yang dengan sabar membimbing dalam penelitian dan penyusunan naskah penelitian. Kepada Pusat Survei Geologi atas izin yang diberikan untuk melakukan penelitian dan kepada semua pihak yang telah mendukung penulis diucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Claudet, S.B., Cotton, F., dan Band, P.Y.(2006). The Nature of Noise Wavefield and its Applications for Site Effects Studies. *Earth Science Review* 79 (2006) 205-227, doi:10.1016/j.earscirev.2006.07.004.
- Daryono.(2011). *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi. Program Pascasarjana Fakultas Geografi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface, *Quarterly Report Railway Technical Research Institute*, Tokyo, Vol. 30, 25-33.
- Nakamura, Y., Sato, T., and Nishinaga, M.(1996). Local Site Effect Of Kobe Based On Microtremor Measurement. *System and Data Research Co., Ltd*, 3-25-3 Fujimidai, Kunitachi-shi, Tokyo, 186-0003, Japan.
- Nakamura, Y.(2008). On The H/V Spectrum, *The 14th World Conference on*

Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing China.

- Parolai, S., Bormann, P., dan Milkert, C.(2001). Assessment of the Resonansi Frequency of the Sedimentary Cover in the Cologne Area (Germany) Using Noise Measurements. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 5, pp 541-564.
- SESAME. (2004). *Guidelines For The Implementation of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibration Measurements and Interpretation*. Deliverable D23.12, University of Potsdam, http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES_Reports.htm, diunduh jam 11.00 WIB, tanggal 10/12/2014.
- Tuladhar, R., Cuong, N.N.H., dan Yamazaki, F. (2004). *Seismic Microzonation Of Hanoi, Vietnam Using Microtremor Observations*. In Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 2539