

EFEK TAPAK LOKAL PADA DAERAH KERUSAKAN AKIBAT GEMPABUMI BOGOR 9 SEPTEMBER 2012

LOCAL SITE EFFECT IN DAMAGED AREA DUE TO BOGOR EARTHQUAKE ON SEPTEMBER 9, 2012

Drajat Ngadmanto, Pupung Susilanto, Boko Nurdiyanto, Suliyanti Pakpahan, Masturyono*
Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta
**e-mail: darajata@yahoo.com*

Naskah masuk: 27 Juni 2013; Naskah diperbaiki: 20 Nopember 2013; Naskah diterima: 24 Desember 2013

ABSTRAK

Gempabumi bermagnitudo 4,8 SR mengguncang Bogor dan sekitarnya pada Minggu 9 September 2012. Gempabumi ini berpusat di 6.70° LS dan 106.64° BT, dengan kedalaman 10 km. Akibatnya lebih dari 500 rumah dilaporkan mengalami kerusakan yang tersebar di Kabupaten Bogor dan Sukabumi. Kerusakan terparah terjadi di desa Cibunian dan Purwabakti, Kecamatan Pamijahan, Bogor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek tapak lokal di daerah kerusakan akibat gempabumi Bogor 9 September 2012 berdasarkan pengukuran mikrotremor. Pengambilan data mikrotremor pada penelitian ini dilakukan di 13 titik di desa Cibunian dan Purwabakti yang mengalami kerusakan paling parah. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan portable digital seismograph 3 komponen dengan durasi pengukuran selama 30 menit dan frekuensi sampling 100 Hz. Pengolahan data menggunakan metode HVSr (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*) dengan *software* Geopsy. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan (f_0) di daerah penelitian berkisar antara 1,0 – 7,2 Hz, sementara itu variasi faktor amplifikasi (A) antara 1,0 – 4,1 dimana sebagian besar nilai < 3 . Variasi nilai indeks kerentanan seismik (K_g) berkisar antara 0,4 – 8,9 yang menggambarkan bahwa daerah penelitian mempunyai tingkat kerentanan yang relatif rendah apabila terjadi gempabumi. Sedangkan nilai *ground shear strain* yang terhitung berkisar 2×10^{-4} – 3×10^{-3} , yang mengindikasikan guncangan yang tidak terlalu besar di daerah penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan parah yang terjadi di beberapa lokasi, bukan karena fenomena efek tapak lokal, melainkan lebih dominan disebabkan oleh konstruksi dan kualitas bangunan yang kurang baik.

Kata kunci: gempabumi Bogor, efek tapak lokal, mikrotremor, HVSr

ABSTRACT

On September 9, 2012, a M4.8 earthquake struck Bogor region. The epicenter issued by BMKG was located at 6.70° S and 106.64° E, with a depth of 10 km. The earthquake affected and damaged more than 500 buildings in Bogor and Sukabumi. The worst damage occurred in Cibunian and Purwabakti at Pamijahan District, Bogor. This research aims to determine local site effect due to Bogor earthquake based on microtremor measurements. These measurements were conducted at 13 points in Cibunian and Purwabakti using a digital portable "seismograph 3 components" with 30 minutes duration measurement and 100 Hz sampling frequency. The data processing was utilising the HVSr (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) method on Geopsy software. The results showed that predominant frequency (f_0) ranged from 1.0 to 7.2 Hz, whilst the variation of amplification factor (A) was ranging between 1.0 to 4.1 with values mostly less than 3. Variation of seismic vulnerability index value (K_g) ranged from 0.4 to 8.9, illustrated that the area of study has a relatively low level of earthquake vulnerability. The ground shear strain values varied from 2×10^{-4} to 3×10^{-3} , indicated that the shake was not too large. This suggested that the severe damage was not because of local site effects phenomenon, but dominantly due to low quality of strength and construction of the buildings themselves.

Keywords: Bogor earthquake, local site effect, microtremor, HVSr

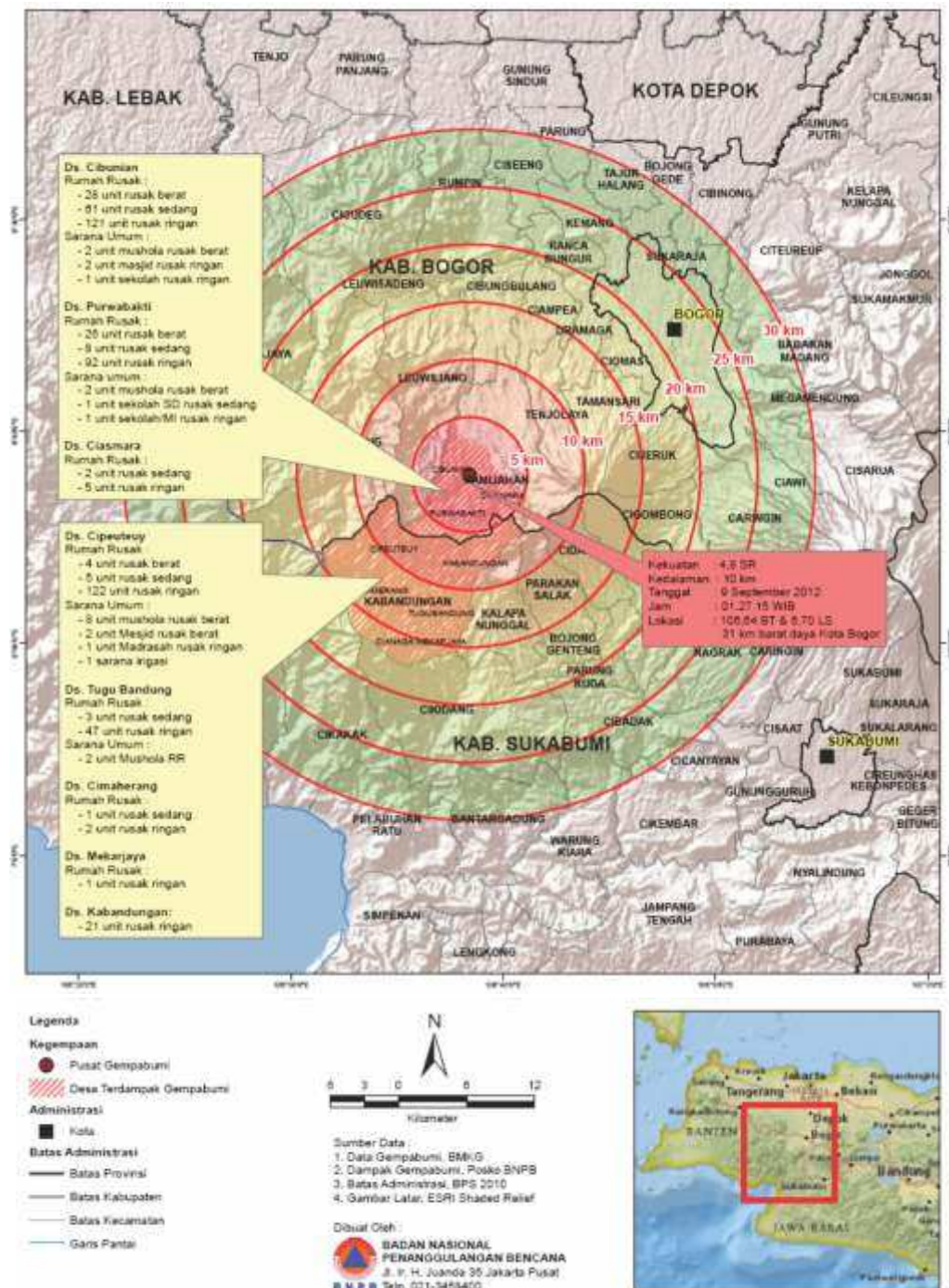
1. Pendahuluan

Gempabumi dengan magnitudo 4,8 SR mengguncang Bogor dan sekitarnya pada Minggu 9 September 2012 dinihari. BMKG menginformasikan gempabumi ini

berpusat di 31 km barat daya Kabupaten Bogor Jawa Barat, tepatnya pada 6.70° LS dan 106.64° BT dengan kedalaman 10 km. Akibatnya lebih dari 500 rumah dilaporkan mengalami kerusakan yang tersebar di Kabupaten Bogor dan Sukabumi. Berdasarkan data

BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), kerusakan terparah terjadi di desa Cibunian dan Purwabakti, Kecamatan Pamijahan, Bogor. Di desa Cibunian ini, sebanyak 28 unit rusak berat, 61 unit rusak sedang dan 121 unit rusak ringan. Untuk sarana umum, 2 unit mushola rusak berat, 2 unit masjid dan 1 unit sekolah rusak ringan. Sedangkan di desa Purwabakti dilaporkan 26 unit rumah rusak berat, 8 unit rumah rusak sedang dan 92 unit rusak ringan. Untuk sarana umum, 2 unit mushola rusak berat, 1 unit sekolah rusak sedang dan 1 unit sekolah rusak ringan. Peta lokasi dan dampak yang diakibatkan gempa bumi Bogor ditampilkan pada Gambar 1.

Ada dua hal yang menarik untuk dipelajari dari gempa bumi Bogor ini. Pertama adalah sumber gempa bumi tersebut, apakah karena pergerakan sesar atau sebab yang lain, sesar mana yang bergerak?. Hal yang kedua adalah kerusakan yang terjadi tampak cukup besar jika melihat magnitudonya tidak terlalu besar ($M < 5$). Pada penelitian ini tidak akan membahas penyebab gempa bumi Bogor tersebut, tetapi akan membahas faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan yang cukup besar pada bangunan.



Gambar 1. Peta Lokasi dan dampak gempa bumi Bogor 9 September 2012 [1].

Efek primer gempabumi adalah kerusakan struktur bangunan baik yang berupa bangunan perumahan rakyat, gedung bertingkat, fasilitas umum, monumen, jembatan dan infrastruktur lainnya, yang diakibatkan oleh getaran yang ditimbulkannya. Secara garis besar, tingkat kerusakan yang mungkin terjadi tergantung dari kekuatan dan kualitas bangunan, percepatan getaran tanah di lokasi bangunan tersebut, maupun kondisi geologi lokal dan geoteknik di lokasi bangunan. Percepatan getaran tanah bergantung pada besar magnitudo gempabumi dan jarak bangunan terhadap sumber gempabumi, sementara kondisi lokal geologi dan geoteknik bergantung pada karakteristik dinamik tanah/batuan dimana bangunan itu berdiri atau sering disebut sebagai efek tapak lokal.

Menurut Anggraeni [2], salah satu faktor efek tapak lokal pada amplifikasi seismik di daerah pegunungan adalah efek topografi yang mempengaruhi respon seismik karena adanya amplifikasi gerakan tanah di sekitar puncak dan de-amplifikasi di sekitar kaki lereng. Penelitian Desa menyebutkan faktor amplifikasi yang besar ditemukan tidak hanya pada puncak bukit tetapi juga pada lereng topografi, sedangkan amplifikasi kecil ditemukan pada bagian lereng yang curam [3]. Jadi efek topografi bukan satu-satunya faktor yang mengendalikan faktor amplifikasi [3], dan Soemitro, [4], menyatakan bahwa faktor-faktor geologi (geometri lapisan serta perbedaan impedansi yang besar antara lapisan dan batuan dasar) lebih dominan terhadap variasi faktor amplifikasi. Kemungkinan dalam banyak kasus adalah karena adanya lapisan lapuk yang ditemukan di bagian puncak bukit yang memperkuat efek topografi [5].

Penelitian ini difokuskan pada analisis data mikrotremor untuk mengetahui karakteristik dinamik tanah/batuan untuk melihat efek tapak lokal pada daerah yang mengalami kerusakan parah/berat akibat gempabumi Bogor. Penelitian ini tidak memperhitungkan efek topografi karena kerusakan di daerah penelitian terjadi pada kondisi topografi yang relatif sama yaitu di lereng perbukitan, dengan asumsi kondisi topografi ini akan memberi efek yang relatif sama pada daerah penelitian.

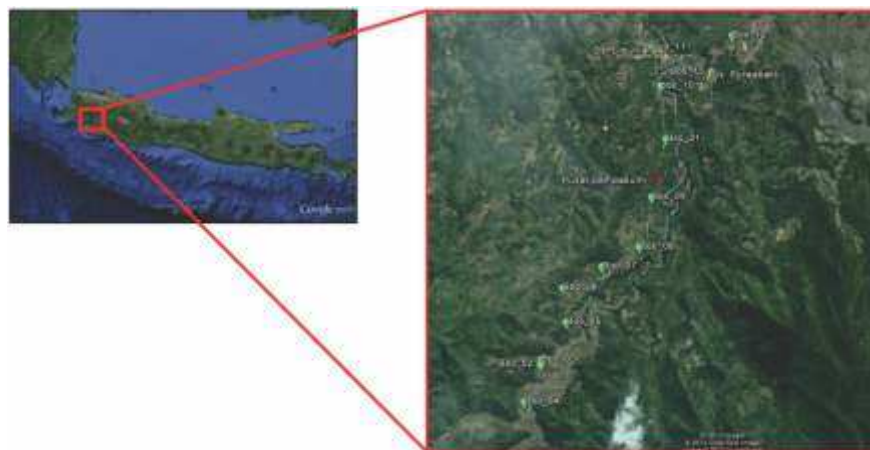
2. Metode Penelitian

Daerah penelitian meliputi desa Cibunian dan desa Purwabakti, Kecamatan Pamijahan Kabupaten Bogor, yang merupakan daerah dengan kerusakan paling parah. Lokasi ini tepatnya berada pada koordinat $6^{\circ}43'09,25''$ - $6^{\circ}43'09,25''$ LS dan $106^{\circ}37'45,52''$ - $106^{\circ}38'51,31''$ BT (Gambar 2). Lokasi titik-titik pengukuran berada di lereng perbukitan dengan ketinggian antara 570 m sampai 730 m.

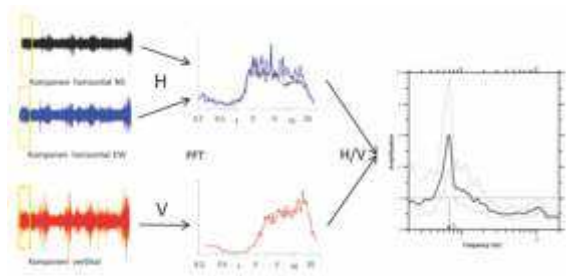
Berdasarkan pembagian fisiografi oleh van Bammelen, daerah penelitian termasuk dalam Zona Bandung yang merupakan daerah gunungapi yang relatif memiliki bentuk depresi dibandingkan zona yang mengapitnya yaitu Zona Bogor dan Zona Pegunungan Selatan [6]. Sebagian besar terisi oleh endapan aluvial dan vulkanik muda (Kuarter) dari produk gunungapi yang terletak pada dataran rendah di daerah perbatasan dan membentuk barisan. Walaupun membentuk zona depresi, ketinggiannya masih terbilang cukup besar mencapai 750 m dpl (di atas permukaan laut). Di beberapa tempat pada zona ini merupakan campuran endapan Kuarter dan Tersier, pegunungan Tersier tersebut yaitu Pegunungan Bayah (Eosen), bukit di Lembah Cimandiri (kelanjutan dari Pegunungan Bayah), Bukit Rajamandala (Oligosen) dan plateau Rongga termasuk dataran Jampang (Pliosen), dan Bukit Kabanaran [6].

Pengambilan data mikrotremor dilakukan di 13 titik pengukuran menggunakan seismometer periode pendek tipe TDL-303 (3 komponen) dengan frekuensi sampling 100 Hz. Lama pengukuran pada setiap titik selama 30 menit. Sementara itu untuk estimasi data kerusakan dilakukan pengamatan di lapangan dan tanya jawab dengan penduduk di sekitar lokasi pengukuran.

Pengolahan data menggunakan metode *HVSR* dengan *software Geopsy* untuk menghitung nilai frekuensi resonansi (f_0) dan puncak spektrum H/V (faktor amplifikasi/ A).



Gambar 2. Lokasi penelitian



Gambar3. Ilustrasi tahapan pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR (dimodifikasi dari Daryono dan Prayitno, 2012)[9]

Gambar 3 menunjukkan ilustrasi tahapan pengolahan data mikrotremor menggunakan metode *HVSR*. Tahap pertama adalah penjendelaan data atau *windowing* dengan jendela waktu tertentu, data dibagi dalam beberapa *window*. Dalam penelitian ini menggunakan *window* 30 detik. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa dalam perekaman data terkadang terekam juga sinyal-sinyal *transient*, sedangkan yang dibutuhkan adalah tremornya. Oleh karena itu dalam melakukan *windowing*, sinyal *transient* tidak diikuti dengan menggunakan algoritma *anti-trigger* berdasarkan pada perbandingan *STA* (*Short Term Average*) / *LTA* (*Long Term Average*). Tahapan selanjutnya adalah perhitungan spektrum *Fourier* dengan *FFT* (*Fast Fourier Transform*) untuk masing-masing *window*. Perhitungan ini dilakukan pada setiap komponen *U-D*, *N-S*, dan *E-W*. Selanjutnya komponen horizontalnya (*N-S* dan *E-W*) disatukan dengan rata-rata kuadrat. Setelah itu dilakukan perhitungan *H/V* untuk masing-masing *window*. Langkah terakhir adalah menghitung rata-rata *H/V* semua *window* untuk mendapatkan nilai *H/V* di setiap titik pengukuran.

Hasilnya adalah kurva spektrum rasio *H/V* sebagai fungsi frekuensi. Dari kurva spektrum *H/V* ini diperoleh informasi frekuensi dominan (*f_o*) dan nilai puncak rasio spektrum *H/V* (*A*) yang merepresentasikan karakteristik dinamis lapisan tanah di lokasi pengukuran. Metode analisis *HVSR* mampu mengestimasi kawasan yang pernah mengalami kerusakan akibat gempa bumi pada masa lalu [7][8]. Intensitas kerusakan tinggi akibat gempa bumi biasanya terjadi pada lokasi dengan pola spektrum mikrotremor dengan frekuensi resonansi rendah dengan puncak spektrum tinggi, sebaliknya intensitas kerusakan rendah terjadi pada lokasi dengan pola spektrum frekuensi resonansi tinggi dengan puncak spektrum mikrotremor rendah.

3. Hasil dan Pembahasan

Distribusi Frekuensi Predominan (*f_o*) dan Faktor Amplifikasi (*A*). Frekuensi dominan (*f_o*) yang terukur di lokasi penelitian berkisar antara 1,0-7,2 Hz. Gambar 4 menunjukkan distribusi frekuensi dominan (*f_o*) pada 13 lokasi pengukuran di desa Cibunian dan Purwabakti. Dari data tersebut menunjukkan adanya variasi *f_o* yang cukup besar, dimana frekuensi yang relatif tinggi (>4) terukur pada titik pengukuran Boo_02, Boo_03, Boo_05, Boo_09

dan Boo_11. Sementara nilai *f_o* yang relatif rendah (<4) terukur pada titik pengukuran Boo_01, Boo_04, Boo_06, Boo_07, Boo_08, Boo_10, Boo_12 dan Boo_1.

Menurut Bard nilai *f_o* berasosiasi dengan kedalaman *bedrock*, nilai *f_o* yang lebih rendah menunjukkan keberadaan *bedrock* yang lebih dalam [3][10]. Sementara itu, menurut Daryono dkk. nilai *f_o* yang lebih besar merupakan cerminan dari material batuan yang lebih masif yang terdapat pada lokasi perbukitan struktural [11].

Hasil sebaran nilai *f_o* ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan lapuk di daerah penelitian cukup bervariasi.

Beberapa peneliti telah membandingkan antara frekuensi dominan (*f_o*) dengan tingkat kerusakan akibat gempa bumi. Salah satunya adalah Panou dkk., hasil penelitiannya menunjukkan adanya korelasi positif, secara kualitatif, antara *f_o* dengan tingkat kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi 1978 di Thessaloniki, Yunani [12]. Kerusakan umumnya terjadi pada sebaran *f_o* yang rendah. Walaupun tidak ada penjelasan fisis yang jelas untuk mendukung ide adanya korelasi antara frekuensi dengan tingkat kerusakan, Panou dkk. menjelaskannya dengan kaitan resonansi tanah dengan bangunan.

Menurut Tuladhar, untuk keperluan mitigasi bencana alam gempa bumi, nilai *f_o* suatu tempat memberi informasi untuk perencanaan bangunan tahan gempa bumi [13]. Struktur bangunan yang memiliki nilai *f_o* sama dengan nilai *f_o* tanah akan mengalami resonansi jika terjadi gempa bumi. Efek resonansi akan memperkuat getaran gempa bumi sehingga menyebabkan bangunan roboh saat terjadi getaran gempa bumi kuat. Selain bahaya resonansi getaran gempa bumi, karakteristik dinamik tanah dengan *f_o* sangat rendah sangat rentan terhadap bahaya vibrasi periode panjang yang dapat mengancam gedung-gedung bertingkat tinggi [14].

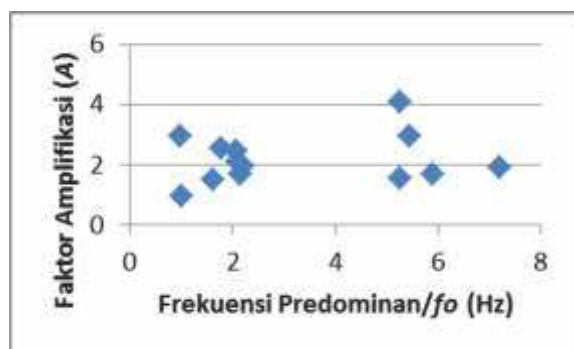


Gambar 4. Distribusi nilai frekuensi dominan (*f_o*) di 13 titik pengukuran

Gambar 5 memperlihatkan distribusi nilai faktor amplifikasi (A) atau puncak spektrum H/V di daerah penelitian, sedangkan Gambar 6 menunjukkan tidak adanya korelasi antara frekuensi dominan dan nilai amplifikasi yang terukur. Sehingga dapat dikatakan bahwa variasi nilai A tidak dipengaruhi oleh ketebalan sedimen. Wang dan Hao, menjelaskan bahwa variasi parameter sedimen (modulus geser, dumping rasio dan densitas) dan saturasi lapisan sedimen mempengaruhi faktor amplifikasi [3][15]. Sehingga faktor geologi sangat dominan terhadap variasi nilai amplifikasi. Sampai saat ini, penggunaan nilai puncak spektrum H/V sebagai nilai amplifikasi di suatu tempat masih menjadi perdebatan para ahli [16], namun beberapa peneliti telah menemukan adanya korelasi antara puncak spektrum H/V dengan distribusi kerusakan gempa bumi [11][12][17][18][19]. Dalam penelitiannya di Bantul, Yogyakarta, Daryono dkk., menemukan bahwa nilai A ternyata memiliki korelasi dengan nilai rasio kerusakan, daerah yang mengalami kerusakan maksimum memiliki nilai A yang lebih besar dan sebaliknya[9]. Nilai faktor amplifikasi (A) atau puncak spektrum H/V di daerah penelitian berkisar antara 1,0 sampai 4,1 dimana hampir seluruhnya di bawah 3. Berdasarkan klasifikasi nilai A dari Setiawan, nilai $A < 3$ ini masuk dalam kategori amplifikasi rendah [20].



Gambar 5. Distribusi nilai faktor amplifikasi (A) di 13 titik pengukuran



Gambar 6. Puncak spektrum H/V (faktor amplifikasi/ A) vs frekuensi dominan (f_0)

Distribusi Indeks Kerentanan Seismik (K_g). Indeks kerentanan seismik adalah indeks kerentanan seismik (K_g), adalah indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi. Nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai puncak spektrum mikrotremor dibagi frekuensi resonansinya, yang dirumuskan sebagai[21]:

$$K_g = A^2 / f_0 \quad (1)$$

Beberapa hasil penelitian sebelumnya, menunjukkan adanya korelasi positif antara distribusi nilai K_g dengan kerusakan akibat gempa bumi [11][17]. K_g tinggi berasosiasi dengan kerusakan yang parah. Untuk menjelaskan indeks kerentanan seismik ini dapat diterangkan dengan perhitungan nilai *ground shear strain*. Nilai *ground shear-strain* (γ) pada lapisan tanah permukaan menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk saling meregang atau bergeser saat terjadi gempa bumi. Menurut Ishihara dengan nilai $\gamma = 1.000 \times 10^{-6}$ tanah menunjukkan karakter non-linear dan pada nilai $\gamma = 10.000 \times 10^{-6}$ tanah dapat terjadi deformasi dan likuifaksi (Tabel 1)[22]. Untuk menghitung *ground shear-strain* lapisan tanah permukaan di suatu tempat saat terjadi gempa bumi, Nakamura, merumuskan:

$$\gamma = \frac{A^2}{f_0} \frac{a}{\pi^2 v_b} \quad (2)$$

dimana A/f_0 adalah indeks kerentanan seismik (K_g), a adalah percepatan maksimum (*peak ground acceleration/PGA*) dan v_b adalah kecepatan gelombang *shear* pada *bedrock* [21]. Perhitungan *PGA* (*peak ground acceleration*) di batuan dasar dalam penelitian ini menggunakan rumus empiris Fukushima dan Tanaka (1990):

$$\log a = 0.41M - \log(R + 0.032 \times 10^{0.41M}) - 0.0034R + 1.30 \quad (3)$$

dimana R adalah jarak terdekat dengan pusat gempa bumi dan M adalah magnitudo gempa bumi [23].

Nilai *PGA* di daerah penelitian didapatkan antara 129 – 132 gal. Dengan asumsi $v_b = 350$ m/det, maka didapatkan nilai $\gamma \approx 10^{-4}$ untuk $K_g \approx 0,3$ dan $\gamma \approx 10^{-3}$ untuk $K_g \approx 3$.



Gambar 7. Distribusi nilai indeks kerentanan seismik (Kg) di 13 titik pengukuran

Gambar 7 menunjukkan distribusi nilai Kg di daerah penelitian yang berkisar antara 0,36 – 8,90. Dari data Kg ini didapatkan nilai γ pada saat terjadi gempabumi Bogor 4,8 adalah sebesar $2 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-3}$. Hal ini menunjukkan bahwa gempabumi Bogor telah menimbulkan dinamika tanah dalam tahap *elasto-plasticity* sampai *plastis* (Tabel 1). Fenomena yang terjadi pada tahap ini adalah kestabilan sampai dengan retakan pada bangunan, tetapi tidak sampai mengalami deformasi/kerusakan parah karena batas γ yang mampu menimbulkan deformasi dan likuifaksi adalah $\gamma \leq 10^{-2}$ atau $Kg \leq 30$.

Data survei lapangan dan hasil analisis selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 2. Kerusakan bangunan dari tidak ada kerusakan sampai kerusakan berat. Dari pengamatan langsung di lapangan dan wawancara dengan penduduk sekitar, bangunan di daerah ini didominasi dengan bangunan tembok dengan atap dari genteng. Kerusakan berat banyak terjadi pada bangunan tembok tetapi tidak dengan konstruksi yang baik. Konstruksi yang baik ditandai dengan adanya pondasi yang terikat dengan *sloof*, yang kemudian dilengkapi dengan kolom yang terikat pada *sloof* dan ring balok, sehingga seluruh kerangka bangunan

terikat secara kuat dan utuh[24]. Banyak bangunan yang rusak berat dikarenakan tidak mempunyai konstruksi yang baik, seperti tidak adanya pondasi, sloof atau kerangka yang kuat. Sementara itu bahan bangunan yang digunakan banyak yang seadanya tanpa memperhatikan kualitas. Banyak batako yang dipasang secara miring tanpa diperkuat dengan plester.

Pada titik pengukuran Boo_04, Boo_09, Boo_11 terjadi kerusakan ringan. Pada titik pengukuran Boo_02 dan Boo_03 terdapat kerusakan yang beragam dari tidak ada kerusakan sampai kerusakan berat. Sementara di titik pengukuran yang lain tidak ada kerusakan.

Tabel 2 menunjukkan sebaran kerusakan bangunan yang terjadi di lokasi penelitian tidak berkorelasi dengan besarnya nilai f_0 , amplifikasi (A), Kg dan γ . Kerusakan berat terjadi pada daerah dengan nilai f_0 yang relatif tinggi (5,44 dan 5,9), amplifikasi yang rendah (1,7 dan 3), Kg yang relatif rendah (0,49 dan 1,61) dan γ yang relatif kecil (2×10^{-4} dan 6×10^{-4}). Dengan kondisi tapak lokal seperti ini seharusnya daerah tersebut masih cukup stabil tanpa menimbulkan kerusakan berat.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kerusakan parah yang terjadi di daerah penelitian bukan karena efek tapak lokal, tetapi lebih disebabkan oleh konstruksi dan kualitas bangunan yang kurang baik. Lokasi γ terbesar yaitu titik Boo_01 tidak dijumpai kerusakan karena memang bangunan di sekitar titik ini mempunyai konstruksi dan kualitas bangunan yang baik. Sementara pada titik Boo_02 dan Boo_03 yang merupakan lokasi paling parah, ditandai dengan banyaknya bangunan yang roboh, justru terhitung γ yang relatif kecil. Hal ini juga dibuktikan dengan kenyataan di lapangan bahwa di lokasi tersebut bangunan yang rusak parah adalah bangunan dengan konstruksi dan kualitas yang kurang baik (Gambar 7.b dan 8.b), sementara bangunan dengan konstruksi dan kualitas yang baik tidak mengalami kerusakan (Gambar 7.a dan 8.a).

Tabel 1. Nilai strain dan dinamika tanah (Ishihara,1982)[16]

Size of Strain	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Phenomena	Wave, Vibration		Crack, Settlement		Landslide, Soil Compaction, Liquefaction	
Dynamic Properties	Elasticity		Elasto-Plasticity		Collapse	
					Repeat-Effect, Speed-Effect of Loading	

Tabel 2. Rekap hasil analisis

No.	Lokasi	Titik	Lat	Lon	fo	A	Kg	PGA	γ	Kerusakan
1.	Kmp. Cipatat Cibunian	Boo_01	-6.698	106.641	1.0	3.0	8.9	132	3×10^{-3}	Tidak ada
2.	Kmp. Muara, ds. Cibunian	Boo_02	-6.715	106.632	5.4	3.0	1.6	130	6×10^{-4}	Berat
3.	Kmp. Muara, ds. Cibunian	Boo_03	-6.715	106.632	5.9	1.7	0.5	130	2×10^{-4}	Berat
4.	Kmp. Muara, ds. Cibunian	Boo_04	-6.718	106.631	1.8	2.5	3.6	129	1×10^{-3}	Ringan
5.	Kmp. Muara, ds. Cibunian	Boo_05	-6.712	106.634	5.3	1.6	0.5	131	2×10^{-4}	Tidak ada
6.	Kmp. Muara, ds. Cibunian	Boo_06	-6.710	106.633	2.1	1.7	1.3	131	5×10^{-4}	Tidak ada
7.	Kmp. Muara 2, ds. Cibunian	Boo_07	-6.708	106.636	2.2	1.9	1.7	132	6×10^{-4}	Tidak ada
8.	Kmp. Muara 3, ds. Cibunian	Boo_08	-6.706	106.639	1.6	1.5	1.4	132	5×10^{-4}	Tidak ada
9.	Kmp. Muara 3, ds. Cibunian	Boo_09	-6.702	106.640	7.2	1.9	0.5	132	2×10^{-4}	Ringan
10.	Kmp. Cipatat Cibunian	Boo_10	-6.694	106.640	1.0	1.0	0.9	132	3×10^{-4}	Tidak ada
11.	Knt. balai desa Cibunian	Boo_11	-6.691	106.640	5.3	4.1	3.2	132	1×10^{-3}	Ringan
12.	Knt. balai desa Purwabakti	Boo_12	-6.690	106.646	2.1	2.4	2.9	131	1×10^{-3}	Tidak ada
13.	Ds. Purwabakti	Boo_13	-6.692	106.644	2.1	2.1	2.0	132	8×10^{-4}	Tidak ada



(a)



(b)

Gambar 7. Dokumentasi bangunan di sekitar titik pengukuran Boo_02, (a) bangunan yang hanya mengalami kerusakan kecil; (b) bangunan yang rusak parah.



(a)



(b)

Gambar 8. Dokumentasi bangunan di sekitar titik pengukuran Boo_03, (a) bangunan yang tidak mengalami kerusakan sama sekali (b) bangunan yang rusak parah.

1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah frekuensi dominan (f_0) yang terukur di lokasi penelitian berkisar antara 1,0 – 7,2 Hz dengan penyebaran yang tidak teratur. Faktor amplifikasi (A) berkisar antara 1,0 sampai 4,1 dimana hampir seluruhnya < 3 yang masuk kategori rendah. *Ground shear strain* yang dihitung sebesar 2×10^{-4} sampai 3×10^{-3} dari gempabumi Bogor ($M=4,8$) dengan indeks

kerentanan seismik (K_g) sebesar 0,36 – 8,90. Kerusakan parah yang terjadi di daerah penelitian bukan karena efek tapak lokal, tetapi lebih dominan disebabkan oleh konstruksi dan kualitas bangunan yang kurang baik.

Daftar Pustaka

- [1] BNPB. (2012). Peta Lokasi dan Dampak Gempa 4,8 SR di Kab. Bogor dan sekitarnya

- (http://geospasial.bnpb.go.id/wp-content/uploads/2012/09/2012-09-11_gempabumi_bogor_48sr.pdf), diakses tanggal 14 Februari 2013)
- [2] Anggraeni, D. (2010). *Modelling the impact of topography on seismic amplification at regional scale*. Tesis, international institute for Geo-information science and earth observation. Enschede, The Netherlands.
 - [3] 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 and Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 11(04), 100-105.
 - [4] Soemitro, R.A.A., Warnana, D.D., Utama, W., & Asmaranto, R. (2011). Assesment to the local site effects during earthquake induced landslide using microtremor measurement (Case Study: Kemuning Lor, Jember Regency – Indonesia). *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 1(5)412-417.
 - [5] Pedersen, H., LeBrun, B., Hatzfeld, D., Campillo, M., & Bard, P.Y. (1994). Ground motion amplitude across ridges. *Bull. seism. Soc. Am.*, 84, 1786-1800.
 - [6] Supartoyo. (2008). *Tektonik Aktif Sesar Cimandiri, Kabupaten Sukabumi, Propinsi Jawa Barat*. Tesis. Magister Teknik Geologi: ITB.
 - [7] Mucciarelli, M., Valensise, G., Gallipoli, M.R. & Caputo, R. (1999). *Reappraisal of A XVI Century Earthquake Combining Historical, Geological and Instrumental Information*. Proceedings of Workshop of E.S.C., Sub-Commission on Historical Seismology, Macerata, Italy.
 - [8] Moisidi, M., Valianatos F., Makris J., Soupios P. & Nikolintaga M. (2004). Estimation of seismic response of historical and monumental sites using microtremors: a case study in the ancient Aptera, Chania, Greece. *Bulletin of The Geological Society of Greece*, Vol. XXXVI.
 - [9] Daryono & Prayitno, B.S. (2012). *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Makalah disajikan dalam Diklat Teknis Seismologi Teknik, Bogor: BMKG.
 - [10] Bard, P.Y. (2000). *Lecture notes on seismology, seismic hazard assessment and risk mitigation*. International Training Course, Postdam.
 - [11] Daryono, Sutikno, Sartohadi, J., Dulbahri, & Brotopuspito, K.S. (2009). *Efek tapak lokal di Graben bantul berdasarkan pengukuran mikrotremor*. International Conference Earth Science and Technology, Yogyakarta: UGM.
 - [12] Panou, A.A., Theodulidis, N., Hatzidimitriou, P.M., Papazachos, C.B., & Stylianidis, K. (2004). Ambient Noise Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio for Assessing Site Effect in Urban Environments: The Case of Thessaloniki City (Northern Greece), *Bulletin of Geological Society of Greece*, Vol. XXXVI.
 - [13] Tuladhar, R., Cuong, N.N.H., & Yamasaki, F. (2004). *Seismic Microzonation of Hanoi, Vietnam Using Microtremor Observations*. Paper No. 2539, 13th, World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
 - [14] Tuladhar, R. (2002). *Seismic microzonation of greather Bangkok using microtremor*. Thesis, Asian Institute of Technology, School of Civil Engineering, Thailand.
 - [15] Wang, S., & Hao, H. (2002). Effects of Random variations of Soil Properties on Site Amplification of seismic Ground Motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(7), 551-564.
 - [16] Nguyen, F., Van Rompaey, G., Teerlynck, H., Van Camp, M., Jougmans, D., & Camelbeeck, T. (2003). Use of Microtremor for Assessing Site Effect in Northern Belgium-Interpretation of The Observed Intensity During The Mag. 5.0 June 11 1938 Earthquake. *Journal of Seismology*, 1(3).
 - [17] Nakamura, Y., Sato, T., & Nishinaga, M. (2000). *Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement*. Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI, Palm Springs California.
 - [18] Cara F., Cultrera, G., Azzara, M., Rubeis, V.D., Giudice, G.D., Giammarinaro, M.S., Tosi, P., Vallone, P. & Rovelli, A. (2006). *Microtremor Measurement in the City of Palermo, Italy*. Istituto di Geofisica Vulcanologia, Via di Vigna Murata, Italy.
 - [19] Jafari, M.K., Ghayamghamian, M.R., Davoodi, M., Kamalian, M., & Sohrabi-Bidar, A. (2005). Site Effect of The 2003 Bam, Iran, Earthquake. *Journal Earthquake Spectra*, 21.
 - [20] Setiawan, J.H. (2008). *Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya*. Tesis, Magister Teknik Geodesi dan Geomatika: ITB.
 - [21] Nakamura, Y. (1997). *Seismic Vulnerability Indices For Ground and Structures Using Microtremor*. World Congress on Railway Research in Florence, Italy.
 - [22] Ishihara, K. (1982). *Introduction to Dynamic Soil Mechanism*. Japan.
 - [23] Fukushima, Y., & Tanaka, T.A. (1990). A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(4), 757-783.
 - [24] Sabaruddin, A. (2013). *Membangun Rumah Sederhana tahan gempa, Pada konstruksi bangunan rumah tembok ½ bata*. (<http://www.pu.go.id/satminkal/balitbang/sni/beritapdf/bgn%20tahan%20gempa%20sederhana.pdf>), diakses tanggal 18 Desember 2013.