



Studi *Site Effect* Dengan Indikator Percepatan Getaran Tanah Maksimum, Indeks Kerentanan Seismik, *Ground Shear Strain* Dan Ketebalan Lapisan Sedimen Di Kecamatan Muara Bangkahulu Kota Bengkulu

Refrizon¹, Suhendra², Irkhos³ dan Yeni Sartika Manurung⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu, Indonesia

Diterima 26 April 15; Disetujui 20 Juni 2015

Abstrak - Penelitian mikroseismik telah dilakukan di Kecamatan Muara Bangkahulu sebanyak 14 titik pengukuran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah berdasarkan sebaran nilai percepatan getaran tanah maksimum (*PGA*), indeks kerentanan seismik (IKS), *ground shear strain* (*GSS*) dan ketebalan lapisan sedimen (*h*). Penelitian ini juga bertujuan untuk memperkirakan kerentanan tanah terhadap bencana gempabumi yang bermanfaat untuk perencanaan, pengembangan dan pembangunan. Proses pengambilan data menggunakan seismometer dengan waktu rekaman 30 menit. Data tersebut diolah menggunakan perangkat lunak *Geopsy*. Perhitungan nilai *PGA* menggunakan persamaan Kanai dan Fukushima untuk *event* data gempabumi Bengkulu 12 September 2007 dengan $M_w = 8,5$. Nilai *PGA* yang dihasilkan antara 184,22 gal sampai 532,92 gal. Sebaran nilai indeks kerentanan seismik antara 0,56 sampai 7,95. Sebaran nilai *ground shear strain* antara $5,14 \times 10^{-3}$ sampai $7,42 \times 10^{-4}$. Ketebalan lapisan sedimen (*h*) antara 8,13 meter sampai 61,31 meter. Nilai *PGA*, IKS, *GSS* dan *h* terbesar berada di Pantai Kualo yang diperkirakan memiliki tingkat resiko besar terhadap bencana gempabumi dengan korelasi $>74\%$. Nilai indikator tingkat kerawanan terhadap dampak gempa sangat dipengaruhi oleh faktor *site effect* atau kondisi geologi setempat dari suatu daerah sehingga tidak cukup dengan mengukur satu parameter saja.

Keyword: *PGA, indeks kerentanan seismik, ground shear strain, ketebalan lapisan sedimen, mikrotremor, HVSR, Muara Bangkahulu*

1. Pendahuluan

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu provinsi yang terletak pada pertemuan lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia yang merupakan generator utama aktivitas gempa bumi tinggi. Gerakan yang diakibatkan kedua lempeng tersebut bisa menimbulkan terjadinya patahan aktif yang merupakan generator seismisitas di belahan Sumatera ini. Bengkulu juga berada di antara dua patahan aktif yakni patahan Semangko dan Mentawai. Kondisi di atas menjadikan Provinsi Bengkulu sebagai daerah paling rawan terhadap bencana gempa bumi [1].

Kota Bengkulu berada dalam kawasan tersebut, yaitu daerah yang sering mengalami dampak aktivitas tektonik. Gempa bumi yang terjadi di sekitar Kota Bengkulu dalam kurun waktu 1963-2011 tercatat rata-rata 25 kali/tahun dengan M_w sekitar 3,6-7,9 [2]. Muara Bangkahulu merupakan salah satu kecamatan di Kota Bengkulu yang mempunyai tingkat resiko terkena bencana gempabumi

tektonik yang disebabkan oleh posisi tektonik dan kondisi geologinya sehingga menimbulkan kerusakan pada saat gempabumi terjadi [3].

Kerusakan bangunan akibat gempabumi yang terjadi memberikan dampak negatif terhadap masyarakat maupun pemerintah baik dalam segi perekonomian maupun sosial. Faktor yang mempengaruhi kerusakan akibat gempabumi adalah kekuatan dan kualitas bangunan, kondisi geologi dan geotektonik lokasi bangunan serta percepatan tanah daerah lokasi gempabumi terjadi [4]. Salah satu cara untuk mengkaji faktor kondisi geologi adalah *PGA* melalui studi mikroseismik. Studi di Ratu Agung Kota Bengkulu membuktikan bahwa nilai *PGA* bersesuaian dengan daerah yang parah kerusakannya akibat gempa bumi dan sebaliknya daerah yang memiliki nilai percepatan getaran tanah lebih kecil tidak terlalu parah dampak kerusakan bangunannya. Nilai indeks kerentanan seismik bersesuaian dengan ketebalan sedimen, kekerasan sedimen dan batuan dasar terhadap tingkat kerusakan pada saat terjadi gempa

bumi [5]. Batuan dasar yang berbeda di Kota Bengkulu memiliki nilai PGA yang dapat diasosiasikan dengan jenis batuanannya [6].

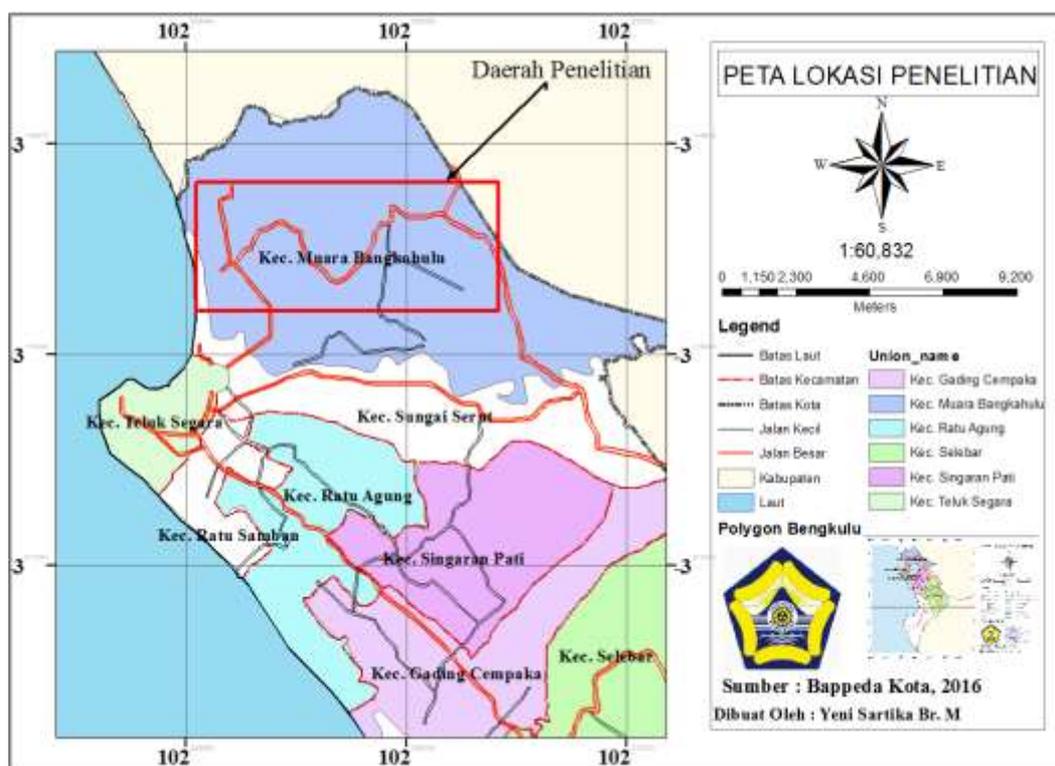
Kecamatan Muara Bangkahulu akan dikembangkan menjadi daerah pusat perkantoran pemerintahan, pusat pelayanan pendidikan tinggi, dan daerah pemukiman penduduk yang akan melakukan pembangunan fisik prasarana kota. Pengembangan pembangunan untuk rumah dan pemukiman warga serta sarana dan prasarana yang baru memerlukan pengetahuan tentang kondisi geologi lokal dan karakteristik batuan guna merancang bangunan yang aman dan tepat untuk mengurangi dampak bencana gempa bumi dan kerugian secara ekonomi.

Dari keadaan diatas, dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana karakteristik tanah dan sebaran indikator keadaan geologi batuan berdasarkan studi *local site effect* dengan indikator PGA, IKS, GSS dan h dari pinggir pantai hingga menjauhi pantai di sekitar Kecamatan Muara Bangkahulu yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah dari sebaran nilai indikator PGA, IKS, GSS dan h serta akhirnya akan dapat

memperkirakan kerentanan tanah yang rawan terhadap bencana gempa bumi di sekitar Kecamatan Muara Bangkahulu.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sekitar Kecamatan Muara Bangkahulu Kota Bengkulu (Gambar 1). Titik pengukuran ditempatkan di 14 titik stasiun pengukuran dengan jarak antar titik ± 500 m. Lokasi penelitian secara geografis terletak antara : -03.77206 LS sampai -03.76725 LS dan 102.26328 BT sampai 102,31113 BT. Pengambilan data pada setiap titik pengukuran berupa data posisi dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*) dan data mikrotremor dengan menggunakan Seismometer *Portable Short Period* (Seismometer PASI Model Gemini 2). Data yang didapatkan dari pengukuran ini adalah berupa rekaman gelombang getaran dengan durasi perekaman selama 30 menit. Data yang diperoleh dari lapangan dalam format SAF yang kemudian diolah dengan menggunakan *software Geopsy* yang mengacu pada aturan SESAME 2004 untuk menganalisis data mikrotremor yang menghasilkan parameter frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) [7].



Gambar 1. Peta lokasi penelitian [8]

Data yang digunakan adalah pengukuran mikrotremor secara langsung (data primer) dan gempa bumi Bengkulu Mw = 8,5 tanggal 12 September 2007 (data sekunder). Data primer diperoleh dari survei mikrotremor yang dilakukan di 14 titik dan data sekunder berupa data magnitudo gempabumi dan data V_{s30} dari USGS. Data gempabumi digunakan untuk menentukan nilai PGA baik metode Kanai maupun metode Fukushima dan Tanaka, dan data primer hasil pengukuran mikrotremor yang outputnya dalam bentuk parameter frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) berguna untuk menentukan indikator PGA Metode Kanai, IKS, GSS dan h.

Nilai PGA yang dihitung dengan Metode Kanai (1966) menggunakan persamaan 2.1 yaitu [9]:

$$\alpha = \frac{5}{\sqrt{T_g}} 10^{(0,61M) - \left(1,66 + \frac{3,60}{R}\right) \log R + 0,167 - \frac{1,83}{R}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

α = Nilai PGA (gal)

T_g = Periode dominan (s)

M = Magnitudo gempa bumi (Mw)

R = Jarak hiposenter (km)

Dengan :

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (2.1a)$$

dan

$$\Delta = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$$

dengan : X_1 = Lintang episenter ($^\circ$)

X_2 = Lintang stasiun pengukuran ($^\circ$)

Y_1 = Bujur episenter ($^\circ$)

Y_2 = Bujur stasiun pengukuran ($^\circ$)

Δ = Jarak episenter ($1^\circ = 111,1$ km)

h = Kedalaman sumber gempa (km)

Selain menggunakan persamaan Kanai, percepatan getaran tanah maksimum (PGA) juga dihitung dengan menggunakan persamaan Fukushima dan Tanaka [10] yang merupakan persamaan untuk perhitungan di batuan dasar seperti yang dirumuskan dibawah ini :

$$\log A = 0.41 M - \log(R + 0.032 \times 10^{0.41M}) - 0.0034R + 1.30 \quad (2.1c)$$

Dimana :

A = Nilai percepatan getaran tanah maksimum di titik pengukuran (gal)

R = Jarak hiposenter ke titik pengukuran (km)

M = Magnitudo gempa bumi (Ms)

Nilai IKS dapat dihitung dengan persamaan Nakamura [11] yaitu :

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2.2)$$

Dimana :

K_g = IKS

A_0 = faktor amplifikasi tanah

f_0 = frekuensi dominan tanah (Hz)

Nilai GSS dapat dihitung dengan persamaan Nakamura [12] yaitu :

$$\gamma = K_g \times \alpha (10^{-6}) \quad (2.3)$$

Dimana :

γ = GSS

K_g = IKS

α = Percepatan tanah maksimum (gal)

Nilai ketebalam lapisan sedimen (h) dapat dihitung dengan persamaan Nakamura [12] yaitu :

$$H = \frac{V_s}{4f_0} \quad (2.1b) \quad (2.4)$$

Dimana,

V_s = Kecepatan gelombang S pada sedimen (m/s)

H = Ketebalan lapisan sedimen (m)

f_0 = Frekuensi dominan (Hz)

3. Hasil dan Pembahasan

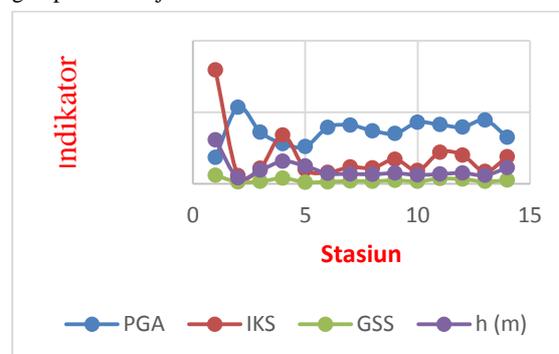
Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui karakteristik tanah dan gambaran profil sebaran dari nilai PGA, IKS, GSS dan h serta memperkirakan kerentanan tanah terhadap bencana gempabumi di Muara Bangkahulu. Hasil perhitungan yang diperoleh dari indikator PGA, IKS, GSS dan h disetiap pengukuran dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Tabel Hasil Perhitungan setiap Indikator.

STA	Data Titik Pengukuran		PGA (gal)		IKS	GSS		h (m)
	Lat	Long	Kanai	F&T		Kanai	F&T	
YS 01	-3.77	102.26	184.22	98.50	7.95	1.47×10^{-3}	7.42×10^{-4}	61.31
YS 02	-3.77	102.27	532.92	97.73	0.56	2.96×10^{-4}	5.14×10^{-5}	8.13
YS 03	-3.76	102.27	360.40	97.05	1.09	3.92×10^{-4}	9.99×10^{-5}	19.02
YS 04	-3.76	102.27	280.55	96.50	3.40	9.54×10^{-4}	3.11×10^{-4}	31.23
YS 05	-3.76	102.28	259.49	96.10	1.00	2.60×10^{-4}	9.13×10^{-5}	24.72
YS 06	-3.77	102.28	394.01	96.07	0.78	3.09×10^{-4}	7.13×10^{-5}	14.42
YS 07	-3.77	102.29	409.85	95.75	1.16	4.75×10^{-4}	1.05×10^{-4}	13.69
YS 08	-3.76	102.29	369.81	95.19	1.10	4.08×10^{-4}	9.93×10^{-5}	13.23
YS 09	-3.76	102.29	351.03	94.71	1.70	5.98×10^{-4}	1.53×10^{-4}	14.67
YS 10	-3.76	102.29	428.05	94.21	0.93	3.97×10^{-4}	8.26×10^{-5}	12.28
YS 11	-3.76	102.30	412.37	94.08	2.19	9.05×10^{-4}	1.95×10^{-4}	13.52
YS 12	-3.77	102.30	395.71	93.85	2.00	7.92×10^{-4}	1.78×10^{-4}	14.96
YS 13	-3.76	102.31	444.34	93.11	0.85	3.79×10^{-4}	7.51×10^{-5}	11.89
YS 14	-3.77	102.31	323.83	93.21	1.87	6.06×10^{-4}	1.65×10^{-4}	22.46

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai terbesar pada setiap indikator secara umum berada pada titik stasiun YS 01 yang berada di Pantai Kualo yang memiliki tingkat resiko yang besar (rawan) terhadap bencana gempa bumi dan memiliki jenis batuan yang lunak. Nilai terkecil untuk semua indikator secara umum berada pada titik stasiun YS 03 yang dianggap memiliki tingkat resiko yang kecil terhadap bencana gempa bumi dan memiliki jenis batuan yang keras. Berdasarkan Tabel 1 di atas juga dapat dilihat bahwa nilai setiap indikator pada setiap stasiun memperlihatkan sebaran nilai yang tidak merata yang disebabkan oleh faktor *site effect* atau kondisi geologi setempat. Sesuai hasil korelasi keempat indikator yang terlihat pada tabel 4.6 bahwa daerah penelitian dengan persentasi korelasi >74% yang berada pada titik stasiun YS 01, YS 04, YS 11, YS 12 dan YS 14 memiliki tingkat resiko yang besar terhadap bencana gempa bumi. Hasil korelasi dengan persentasi >24% yang berada pada titik pengukuran YS 05, YS 09 memiliki tingkat resiko yang sedang terhadap bencana gempa bumi dan korelasi

dengan persentasi <24% yang berada di titik stasiun YS 02, YS 03, YS 06, YS 07, YS 08, YS 10, YS 13 memiliki tingkat resiko yang kecil terhadap bencana gempa bumi. Hasil penelitian yang telah mengkaji setiap indikator menyatakan bahwa nilai PGA, IKS, GSS yang besar dan ketebalan lapisan sedimen yang tebal akan memiliki tingkat resiko bencana gempa bumi yang besar akan mengalami kerusakan parah pada bangunan apabila gempa bumi terjadi.



Gambar 2. Grafik hubungan nilai PGA, IKS, GSS dan h

Berdasarkan grafik dan hasil korelasi penelitian yang dilakukan di Muara Bangkahulu yang dimulai dari pinggir pantai sampai menjauhi daerah pantai terlihat bahwa daerah pantai tepat di titik stasiun YS 01 memiliki nilai yang tinggi, ini bersesuaian dengan penelitian Nakamura [12], diketahui bahwa daerah pantai yang merupakan dataran aluvial dan reklamasi memiliki indeks kerentanan seismik yang tinggi. Namun dari keempat indikator yang dikaji yaitu PGA, IKS, GSS dan H, di

daerah pantai salah satu indikator yaitu indikator PGA memiliki nilai yang rendah, ini diduga disebabkan oleh faktor *noise* di daerah setempat pengukuran, seperti pengaruh kendaraan roda dua, roda empat dan pengaruh gelombang laut yang kuat, selain itu diduga ini juga disebabkan oleh ingkatnya waktu perekaman, diketahui bahwa pengukuran dilakukan tidak jauh dari pinggir jalan sehingga banyak *noise*.

Tabel 2 Hasil Distribusi Nilai Setiap Indikator

Stasiun	PGA (gal)	IKS	GSS	h (m)
YS 01	<	>	>	>
YS 02	>	<	<	<
YS 03	>	<	<	<
YS 04	>	>	>	>
YS 05	<	<	<	>
YS 06	>	<	<	<
YS 07	>	<	<	<
YS 08	>	<	<	<
YS 09	>	<	<	<
YS 10	>	<	<	<
YS 11	>	>	>	<
YS 12	>	>	>	<
YS 13	>	<	<	<
YS 14	>	<	<	>

. Kesimpulan

Berdasarkan tabel diatas disimpulkan bahwa nilai PGA, IKS, GSS yang paling besar dan ketebalan lapisan sedimen yang tebal secara umumnya ada pada titik stasiun YS 01 yang lokasinya berada di pantai Kualo yang diperkirakan memiliki tingkat resiko yang cukup besar terhadap bencana gempabumi sedangkan nilai PGA, IKS, GSS terkecil dan ketebalan lapisan sedimen yang paling tipis pada umumnya ada di titik stasiun YS 03 yang lokasinya berada di Gedung pendidikan kedokteran lama. Berdasarkan hasil penelitian dari setiap indikator dapat disimpulkan bahwa daerah sekitar pantai terdiri dari batuan lunak (*alluvial*) memiliki tingkat resiko yang besar terhadap bencana gempa bumi. Dari tabel

tersebut juga dapat disimpulkan bahwa besar kecil nilai setiap indikator bergantung pada faktor *site effect* atau kondisi geologi setempat dari suatu daerah. Selain itu diketahui pula bahwa untuk mengetahui suatu daerah dikatakan rawan terhadap bencana gempa bumi tidak cukup dari satu parameter atau indikator saja.

Daftar Pustaka

[1]. Hadi, A.I., Suhendra, dan Efriyadi, 2010, “Studi Analisis Parameter Gempa Bengkulu Berdasarkan Data Single-Station dan Multi-Station serta Pola Sebarannya” Berkala Fisika ISSN : 1410 – 9662 Vol. 13, No. 4

[2]. Febriani, Y., Daruwati, I., Hatika, R. G. 2013. *Analisis Nilai Peak Ground Acceleration Dan Indeks Kerentanan Seismic Berdasarkan Data*

- Mikroseismik Pada Daerah Rawan Gempabumi Di Kota Bengkulu.* Universitas Pasir Pengaraian. Jurnal Ilmiah Education Research Vol. 2 No. 2.
- [3]. Westra, P. 2010. *Kontribusi Geologi Dalam Pembangunan Kota Wilayah Bengkulu Paska Gempa Bumi.* Jurnal Penelitian UNIB, Vol. XVI, No. 1.
- [4]. Edwiza, D dan Novita, S. 2008. *Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai.* UNAND. Vol. 2 No. 29 Thn. XV.
- [5]. Refrizon, Hadi, A. I., Lestari, K., Oktari, T. 2013. *Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu.* Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, Lampung
- [6]. Sugianto, N. 2012. *Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum Setiap Jenis Batuan Geologi Di Kota Bengkulu.* Skripsi Sarjana, Jurusan Fisika FMIPA UNIB, Bengkulu.
- [7]. Chatelaine, J., L., Bertrand, G., Fabrizio, C., Anne-Marie, D., Kuvvet, dan A., Pierre-Yves, B. 2007. *Evaluation of the Influence of Experimental Conditions on H/V Results from Ambient Noise Recordings.* Bull Earthquake Eng.
- [8]. BAPPEDA Kota Bengkulu. 2016. *Peta Administrasi.* diunduh tanggal 16 februari 2016. Tersedia : http://bappeda.bengkulukota.go.id/rencana-tata-ruang-wilayah-rtrw- peta_peta-administrasi_pg-58.html
- [9]. Kanai, K. 1966. *Improved Empirical Formula For Characteristics Of Stray (Sic) Earthquake Motions.* Page 1-4 of: Proceedings of the Japanese Earthquake symposium.
- [10]. Fukushima, Y., dan Tanaka, T. 1990. *A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan.* Bulletin of the Seismological Society of America.
- [11]. Nakamura, Y. 2008. *On The H/V Spectrum.* The 14th World Conference of Earthquake Engineering, Beijing, China.
- [12]. Nakamura, Y. 1997. *Seismic Vulnerability Indices For Ground and Structures Using Microtremor.* World Congress on Railway Research in Florence. Italy