Kelas Situs Tanah Kota Banda Aceh Berdasarkan Nilai Periode Dominan Mikrotremor

Site Class of Banda Aceh City Based on Dominant Period of Microtremor

Cecep Sulaeman dan Akhmad Solikhin

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi
Jalan Diponegoro No. 57, Bandung, Indonesia

Naskah diterima tanggal 13 Januari 2017, selesai direvisi tanggal 07 November 2017,
dan disetujui 10 November 2017

e-mail: cecepsula@gmail.com

ABSTRAK

Pengukuran mikrotremor di Kota Banda Aceh telah dilakukan untuk mengetahui periode dominan dan nilai faktor amplifikasi guncangan gempa bumi. Pengukuran dilakukan pada 92 titik ukur memakai seismometer 3 komponen model Lennartz LE-3D berperiode natural 5 detik dan perekam digital model SARA SL-06 24 bit. Peta mikrotremor Kota Banda Aceh terdiri atas periode dominan dan H/V amplifikasi. Periode dominan Kota Banda Aceh menunjukkan terdapat tiga kelas situs tanah yaitu : kelas situs C (tanah keras) dengan nilai periode dominan $0,2 \text{ detik} < T \leq 0,4 \text{ detik}$, kelas D (tanah kaku) dengan nilai periode dominan antara 0,4 detik hingga 0,6 detik, dan kelas E (tanah lunak) dengan nilai periode dominan di atas 0,6 detik. Kelas situs D dan E menyebar hampir ke semua kecamatan sementara kelas situs C hanya terdapat di Kutaraja. Nilai H/V amplifikasi Kota Banda Aceh bervariasi antara 1,98 hingga 5,88.

Kata kunci : periode dominan, amplifikasi, kelas situs tanah.

ABSTRACT

Microtremor measurement was conducted to obtain dominant period and site amplification factor of Banda Aceh City. The measurements were carried out in 92 sites in the city using 3-component-seismometer Lennartz LE-3D with natural period 5 s and data logger model SARA SL-06 24 bit. The microtremor map of Banda Aceh City consists of dominant period and H/V amplification factor maps. The dominant period of Banda Aceh City consisting of three site classes are C (hard soil) with dominant period $0.2 \text{ s} < T \leq 0.4 \text{ s}$, D (stiff soil) with dominant period between 0.4 s to 0.6 s, and E (soft soil) with dominant period greater than 0.6 s. Site class D and E areas stretch out almost in all subdistricts, while C class is only in Kutaraja. The H/V amplification value of Banda Aceh city varies between 1.98 and 5.88.

Keywords : dominant period, amplification, site class.

PENDAHULUAN

Kota Banda Aceh merupakan Ibu Kota Provinsi Aceh yang termasuk ke dalam kawasan rawan terhadap guncangan gempa bumi. Sumber gempa bumi yang mengancam wilayah Banda Aceh diantaranya berasal dari aktivitas penunjaman Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia. Sesar di darat yang dekat dengan Kota Banda Aceh adalah Sesar Seulimeum dan Sesar Aceh. Dua sesar ini diperhitungkan dalam pembuatan peta bahaya gempa bumi (*Team for Revision of Seismic Hazard Maps of Indonesia, 2010*). Kejadian gempa bumi besar yang disertai tsunami 26 Desember 2004 di Banda Aceh adalah akibat aktivitas penunjaman lempeng tersebut di atas.

Kuat dan lamanya guncangan yang ditimbulkan gempa bumi selain bergantung pada kekuatan dan jarak pusat gempa bumi juga bergantung pada karakteristik tanah (Kramer, 1996). Salah satu karakteristik tanah tersebut dapat dipelajari dari nilai periode dominan atau kecepatan gelombang geser (V_s) tanah setempat. Amplifikasi guncangan

gempa bumi sebanding dengan, $\frac{1}{\sqrt{V_s \cdot \rho}}$

dengan V_s adalah kecepatan gelombang geser dan ρ adalah densitas tanah (Aki dan Richards

1980 dalam Kanli drr., 2006). Dalam studi ini akan dibahas hasil kajian mikrotremor berupa periode dominan dan H/V amplifikasi.

Secara tektonik, Pulau Sumatra merupakan bagian dari Paparan Sunda (Hamilton, 1979). Paparan Sunda bergerak 6 ± 3 mm/th ke tenggara relatif terhadap lempeng Eurasia (Bock drr., 2003). Aktivitas tektonik di Indonesia bagian barat didominasi oleh penunjaman Lempeng Samudra Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia bergerak 67 ± 7 mm/th dengan arah $N11^\circ E \pm 4^\circ$ relatif terhadap lempeng Eurasia (Tregoning, drr., 1994). Aktivitas tektonik tersebut mengakibatkan terbentuknya zona subduksi di bagian barat Pulau Sumatra, zona prisma akresi, cekungan muka, jalur magmatik yang membentuk gunung api di Pulau Sumatra, cekungan belakang, dan struktur geologi, khususnya sesar Sumatera. Sesar Sumatera yang berarah barat laut – tenggara ini terbagi menjadi beberapa segmen. Menurut Sieh dan Natawidjaja (2000), Sesar Sumatera dibagi menjadi sembilan belas segmen. Berdasarkan peta geologi Lembar Banda Aceh (Bennett drr., 1981) satuan batuan yang terdapat di Kota Banda Aceh adalah aluvium (Qh) yang terdiri atas kerikil, pasir, dan lumpur (Gambar 1).

Gambar 1. Peta geologi lembar Banda Aceh (Bennet, 1981).

METODE PENELITIAN

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun kegiatan manusia, seperti angin, gelombang laut, lalu lintas, dan pabrik. Dalam studi ini analisis mikrotremor memakai metode *Horizontal Vertical to Spectral Ratio* (H/V) yang dikembangkan oleh Nakamura (1989). Nakamura merumuskan sebuah fungsi transfer HVSr mikrotremor. Efek penguatan gelombang pada komponen horizontal ditunjukkan dengan persamaan

$$S_E(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_E(\omega)} \dots\dots\dots(1)$$

$H_S(\omega)$ dan $H_E(\omega)$ masing-masing spektrum mikrotremor komponen horizontal pada permukaan dan pada batuan dasar. Efek penguatan pada komponen vertikal dinyatakan dengan persamaan:

$$A_s(\omega) = \frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)} \dots\dots\dots(2)$$

$V_S(\omega)$ dan $V_B(\omega)$ masing-masing spektrum mikrotremor komponen vertikal pada permukaan dan pada batuan dasar. Pada proses reduksi efek gelombang sumber dengan spektrum penguatan horizontal $S_E(\omega)$ dilakukan normalisasi terhadap spektrum penguatan vertikal $A_s(\omega)$, sebagai berikut:

$$S_M(\omega) = \frac{S_E(\omega)}{A_s(\omega)}$$

$$S_M(\omega) = \frac{H_S(\omega)/V_S(\omega)}{H_B(\omega)/V_B(\omega)} \dots\dots\dots(3)$$

$S_M(\omega)$ merupakan fungsi transfer untuk lapisan sedimen, karena komponen mikrotremor pada batuan keras sama ke segala arah, maka

$H_B(\omega)/V_B(\omega)=1$, sehingga:

$$S_M(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}$$

Komponen horizontal terdiri dari komponen utara-selatan dan barat-timur, sehingga persamaan (3) menjadi:

$$S_M(\omega) = \frac{\sqrt{(H_{SN}(\omega))^2 + (H_{EW}(\omega))^2}}{V_S(\omega)} \dots\dots\dots(4)$$

$H_{SN}(\omega)$ dan $(H_{EW}(\omega))$ masing-masing adalah spektrum mikrotremor komponen horizontal utara - selatan dan barat - timur. Nakamura (1989) menyatakan bahwa karena ada kesamaan rasio spektrum H/V dengan transfer gelombang dari batuan dasar ke permukaan maka nilai frekuensi natural dan amplitudo rasio spektrum pada frekuensi puncak merupakan nilai amplifikasi tanah. Frekuensi natural rendah menunjukkan daerah tersebut rentan terhadap guncangan gempa bumi karena merupakan daerah lapisan lunak, dan bila frekuensi natural tinggi, maka daerah tersebut merupakan daerah batuan keras. Nilai frekuensi natural dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lunak dan kecepatan rata-rata gelombang geser, sehingga hasil dari metode H/V memperkirakan nilai kecepatan gelombang geser. Zhao, drr (2004) telah mendefinisikan kelas situs tanah berdasarkan periode dominan mikrotremor dan menghubungkannya dengan kelas situs tanah yang dibuat oleh *National Earthquake Hazard Reduction Program* (NEHRP) (BSSC,2003), seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kelas Situs Tanah Berdasarkan Nilai Periode dominan (Zhao, 2004)

Kelas situs tanah	Periode dominan situs tanah (T)	Kecepatan gelombang geser rata-rata (Vs30)	Kelas situs NEHRP
SC I: (Rock/stiff soil)	T < 0,2 detik	Vs30 > 600 m/s	A+B
SC II: (Hard soil)	0,2 detik ≤ T < 0,4detik	300 m/s < Vs30 ≤ 600 m/s	C
SC III: (Medium soil)	0,4detik ≤ T < 0,6detik	200 m/s < Vs30 ≤ 300 m/s	D
SC IV: (Soft soil)	T ≥ 0,6 detik	Vs30 ≤ 200 m/s	E

Hubungan frekuensi dominan dengan ketebalan sedimen dapat diperoleh dari hubungan

$$f_0 = \frac{V_s}{4h} \dots\dots\dots(5)$$

V_s adalah kecepatan rata-rata gelombang geser pada lapisan sedimen dan h adalah tebal lapisan (Mucciarelli, 2008). Nilai periode dominan mikrotremor diperoleh berdasarkan hubungan $T=1/f_0$.

Dalam studi ini nilai kecepatan gelombang geser rata-rata sampai kedalaman 30 m dari permukaan (V_{s30}) diperoleh dengan memberikan nilai $h = 30$ m pada persamaan 5. Pengukuran mikrotremor di Kota Banda Aceh memakai seismometer 3 komponen model Lennartz LE-3D berperiode natural 5 detik dengan perekam digital model SARA SL-06 24 bit. Lama pengukuran rata-rata 25 menit pada setiap titik pengukuran. Jumlah titik pengukuran sebanyak 92 titik dengan jarak antar titik rata-rata 1 km yang menyebar di Kota Banda Aceh (Gambar 2). Perangkat lunak yang dipakai

untuk memperoleh kurva H/V adalah Geopsy versi 2.9 (Wathelet, 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Contoh seismogram mikrotremor pada titik C044 diperlihatkan pada Gambar 3. Seismogram selanjutnya dipilah dengan mengatur *short term average* (STA) dan *long term average* (LTA) untuk menghilangkan getaran yang tidak periodik, seperti terlihat pada Gambar 4. STA merupakan rata-rata amplitudo jangka pendek, sementara LTA merupakan rata-rata amplitudo jangka panjang. Seismogram mikrotremor dalam domain waktu tersebut diubah ke domain frekuensi kemudian ditentukan kurva H/V. Puncak kurva H/V untuk titik ukur C044 memiliki nilai frekuensi dominan 1,48364 Hz dengan amplitudo H/V 2,31927.

Hasil pengukuran di 92 titik ukur memperlihatkan nilai frekuensi dominan mikrotremor di Kota Banda Aceh bervariasi antara 0,26 Hz hingga 1,87 Hz (Gambar 5). Daerah yang memiliki nilai

Gambar 2. Sebaran titik ukur mikrotremor di Kota Banda Aceh.

Gambar 3. Seismogram mikrotremor di titik C044 komponen vertikal (atas), utara (tengah), dan timur (bawah) terekam selama 28 menit.

bangunan dapat disesuaikan antara frekuensi alamiah bangunan dengan frekuensi dominan mikrotremor supaya tidak terjadi resonansi. Sebagai contoh di Kota Banda Aceh untuk daerah dengan nilai frekuensi dominan mikrotremor antara 0,5 Hz hingga 1,0 Hz disarankan untuk tidak dibangun bangunan tinggi (lebih dari empat lantai). Sementara untuk daerah dengan nilai frekuensi dominan mikrotremor 0,26 Hz hingga kurang dari 0,5 Hz, dan 1,1 Hz hingga 1,87 Hz tidak ada dalam tabel tersebut. Namun, dapat diperkirakan untuk daerah dengan nilai frekuensi dominan kurang dari 0,26 Hz yang mendekati nilai 0,17 Hz juga dapat diartikan sebagai lapisan sedimen tebal disarankan tidak dibangun bangunan

Gambar 4. Seismogram mikrotremor dipilah berdasarkan nilai STA/LTA (kiri) dan kurva H/V seismogram di titik C044 (kanan).

frekuensi dominan $f \leq 0,26$ (warna merah) hanya ada sedikit di Kecamatan Meuraxa sebelah barat daya. Daerah dengan nilai frekuensi dominan 0,26 Hz $< f < 0,5$ Hz (warna kuning), dan 0,5 Hz $< f < 1,0$ Hz (warna hijau) menyebar di semua kecamatan di Kota Banda Aceh. Sementara daerah dengan nilai frekuensi dominan 1,1 Hz $< f \leq 1,87$ Hz (warna biru) sebarannya di batas Kecamatan Bandaraya - Jayabaru, Kecamatan Luengbata, Kecamatan Kutatara, dan Kecamatan Syiah Kuala.

Kramer (1995, dalam Slob dr., 2002) mengkarakterisasi tipe gedung berdasarkan frekuensi alamiah seperti tampak pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut pembangunan

Gambar 5. Frekuensi domian Kota Banda Aceh hasil pengukuran mikrotremor

Tabel 2. Tipe Frekuensi Alamiah Bangunan (Kramer, 1995; dalam Slob dr., 2002)

Tipe objek struktur bangunan	Frekuensi alamiah (Hz)
Bangunan 1 lantai	10
Bangunan 2 lantai	5
Bangunan 3-4 lantai	2
Bangunan tinggi	0,5-1
Bangunan beresiko tinggi	0,17

berisiko tinggi. Sementara untuk daerah dengan nilai frekuensi dominan $1,1 \text{ Hz} < f \leq 1,87 \text{ Hz}$ yang dapat diartikan daerah dengan lapisan sedimen paling tipis di Kota Banda Aceh.

Nilai periode dominan di Kota Banda Aceh diklasifikasi ke dalam kelas situs tanah berdasarkan klasifikasi Zhao (2004) dan dituangkan ke dalam peta seperti tampak pada Gambar 6. Terdapat tiga kelas situs tanah di Kota Banda Aceh, yaitu kelas situs C, D, dan E. Kelas situs C dengan nilai periode dominan $0,2 \text{ detik} < T \leq 0,4 \text{ detik}$ berada di Kecamatan Kutaraja. Kelas D dengan nilai periode dominan $0,4 \text{ detik} < T \leq 0,6 \text{ detik}$ menyebar hampir di semua kecamatan. Sementara kelas situs E dengan nilai periode dominan di atas 0,6 detik menyebar di kecamatan Meuraxa, Jayabaru, Kutaalam, dan Uleekareng. Menurut klasifikasi Zhao (2004), kelas C merupakan tanah keras, kelas D merupakan tanah medium identik

dengan tanah kaku menurut klasifikasi NEHRP (BSSC, 2003), dan kelas E merupakan tanah lunak. Nilai periode dominan mencerminkan ketebalan lapisan sedimen. Daerah dengan nilai lebih besar dari 0,6 detik merupakan lapisan sedimen yang tebal.

Nilai H/V amplifikasi Kota Banda Aceh bervariasi antara 1,96 hingga 5,88 (Gambar 7). H/V amplifikasi 1,98 hingga 4 tersebar hampir di semua kecamatan, sementara H/V amplifikasi di atas 4 terdapat di Kecamatan Kutaraja, Meuraxa, Kutaalam, dan Bandaraya.

Nilai Vs30 Kota Banda Aceh dominan kurang 200 m/detik, kecuali di Kecamatan Kutaraja nilai Vs30 antara 200 m/det. hingga 300 m/det. (Gambar 8).

Gambar 6. Kelas situs tanah Kota Banda Aceh hasil pengukuran mikrotremor.

Gambar 7. H/V amplifikasi tanah Kota Banda Aceh hasil pengukuran mikrotremor.

KESIMPULAN

Berdasarkan sebaran periode dominan (T) mikrotremor tanah Kota Banda Aceh dapat diklasifikasi menjadi tiga kelas situs, yaitu kelas situs C, D, dan E. Kelas situs C dengan nilai

Gambar 8. Vs30 Kota Banda Aceh dihitung dari nilai frekuensi dominan pada kedalaman 30 m.

periode dominan $0,2 \text{ detik} < T \leq 0,4 \text{ detik}$ (tanah keras) hanya berada di Kecamatan Kutaraja. Kelas D dengan nilai periode dominan $0,4 \text{ detik} < T \leq 0,6 \text{ detik}$ (tanah kaku) menyebar hampir di semua kecamatan. Sementara kelas situs E dengan nilai periode dominan di atas $0,6 \text{ detik}$ (tanah lunak) menyebar di Kecamatan Meuraxa, Jayabaru, Bandaraya, Kutaalam, dan Ulekareng. Nilai H/V amplifikasi Kota Banda Aceh berkisar antara 1,96 hingga 5,88. Nilai Vs30 Kota Banda Aceh umumnya kurang dari 200 m/det.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Edi Prasodjo sebagai Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Ir. Gede Suantika, M.Sc. sebagai Kepala Bidang Mitigasi Gempa Bumi dan Gerakan Tanah, Dr. Ir. Sri Hidayati sebagai Kepala Subbidang Gempa Bumi, dan Ir. Roni sebagai Pejabat Pembuat Komitmen atas persetujuannya pada penyelidikan ini. Terima kasih disampaikan pula kepada rekan-rekan dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelidikan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bennet, J.d., Bridge, D.McC., Cameron, N.R., Djunuddin, A., Ghazali, S.A., Jeffrey, D.H., Kartawa, W., Keats, W., Rock, N.M.S., Thomson, S.J., dan Wandoyo, R., 1981. *Peta Geologi Lembar Banda Aceh*, Pusat Penelitian dan Pengembang Geologi.
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J. F., Stevens, C. W., McCaffrey, R. C., Subarya, S. S., Puntodewo, O., dan Calais, E., 2003. Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. B8, 2367, doi:10.1029/2001JB000324, 2003.
- Building Seismic Safety Council (BSSC), 2003. *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures* (FEMA 450), Washington D.C.
- Hamilton, W., 1979. Tectonics of the Indonesian region, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 1078, 345 h.
- Kanlı, A. I., Tildy, Pe'ter, Pro'nay, Zsolt, Pınar, Ali, dan Hermann, La'szl'o, 2006. VS30 mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW

- Turkey, *Geophys. J. Int.* 165, 223 – 235.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice -Hall, Inc., h.1 - 2.
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quatrely Reports of the Railway Technical Research Institute, Tokyo*, 30, 25 - 33.
- Sieh, K., dan Natawidjaja, D., 2000. Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105, 28,295-28,326.
- Slob, S., Hack, Robert, Scarpas, Tom, Bemmelen, Bas van, dan Duque, Adriana, 2002. *Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment. Durban, South Africa*, 16 - 20 September 2002 - J. L. van Rooy and C. A. Jermy, editors, ISBN No. 0-620-28559-1.
- Team for Revision of Seismic Hazard Maps of Indonesia, 2010. Development of Seismic Hazard maps of Indonesia for Revision of Seismic Hazard Map in SNI 03-1726-2002/.
- Tregoning, P., Brunner, F.K., Bock, Y., Puntodewo, S.S.O., McCaffrey, R., Genrich, J.F., Calais, E., Rais J., dan Subarya, C., 1994. First Geodetic Measurement of Convergence Across the Java Trench, *Geophysical Research Letters*, Vol. 21, No. 19, h.2135 - 2138.
- Wakamatsu, K., Matsuoka, M., dan Hasegawa, K., 2006. Gis Based Nation Wide Hazard Zoning Using The Japan Engineering Geomorphologic Classification Map, *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering April 18-22,2006*, San Francisco, California, USA.
- Wathelet, Marc, 2011. Geophysical Signal Database for Noise Array Processing (Geopsy) Version 2.9, <http://www.geopsy.org/>.
- Zhao, J., Irikura, Kojiro, Zhang, Jian, Fukushima, Yoshimitsu, Somerville, Paul G., Asano, Akihiro, Saiki, Taketoshi, Okada, Hidenobu, dan Takahashi, Toshimasa, 2004. Site Classification for Strong Motion Stations in Japan using H/V response Spectral, 13 the World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004 Paper No. 1278.