

PERCEPATAN PERGERAKAN TANAH MAKSIMUM DAERAH CEKUNGAN BANDUNG: STUDI KASUS GEMPA SESAR LEMBANG

L. Handayani, D. Mulyadi, Dadan D. Wardhana, dan Wawan H. Nur

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jalan Sangkuriang Bandung - 40135
Telp. 022 250365, email: lina@geotek.lipi.go.id

SARI

Daerah cekungan Bandung dengan populasi sangat tinggi memerlukan peta kebencanaan gempabumi. Hal ini terutama karena sumber gempa bumi Sesar Lembang yang diduga aktif di sisi utaranya. Peta kerentanan bencana gempa bumi ini dibuat berdasarkan perhitungan percepatan gerakan tanah maksimum dengan menggunakan persamaan atenuasi Boore (1997), dengan model gempa bumi berkekuatan $M_w = 6$ bersumber dari aktivitas Sesar Lembang. Sebagai data masukan berupa kecepatan gelombang seismik S yang diperoleh melalui klasifikasi formasi geologi. Hasil perhitungan menunjukkan adanya tiga daerah dengan tingkat kerentanan yang tinggi, yaitu daerah sekitar pusat gempa, dataran rendah di selatan Bandung, dan sisi barat Bandung. Adapun faktor penentu tingginya nilai percepatan tanah maksimum ialah jarak suatu tempat dari sumber gempa bumi dan jenis formasi batuanannya.

Kata kunci: percepatan gerakan tanah maksimum, Sesar Lembang, Cekungan Bandung

ABSTRACT

The highly populated Bandung Basin needs a seismic hazard map, especially due to the existence of Lembang Fault on the north of the area. In this paper, the seismic hazard map was constructed based on calculation of peak ground acceleration (PGA) using Boore's (1997) empirical attenuation relationship. The model was an assumed earthquake with moment magnitude (M_w) of 6 that was caused by Lembang Fault activity. Data input consists of velocity of seismic wave S, that was obtained through geological unit classification. The result shows three zones with highest PGA values: near the seismic source, lowland at the south of Bandung, and a small area at the west of Bandung. The most significant factors on high PGA values are the distance from the source of an earthquake and the geological unit of an area.

Keywords: peak ground acceleration, Lembang Fault, Bandung Basin

PENDAHULUAN

Bandung, sebagai daerah yang sangat padat penduduk dan infrastruktur, memiliki resiko tinggi terhadap bahaya gempa bumi. Kedudukan kota ini yang relatif jauh dari sumber gempa bumi penunjamanan lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia menyebabkan pengaruh langsung gempa bumi yang berasal dari sumber tersebut cukup rendah. Namun adanya Sesar Lembang di sebelah Utara kota ini menyebabkan tingkat bahaya gempa bumi akibat aktivitas pergerakan sesar tersebut harus dipertimbangkan. Sesar Lembang yang memanjang dari G. Manglayang hingga Cimahi masih belum diketahui secara pasti tingkat aktivitasnya. Pengukuran GPS pada tahun 2006 hingga 2007 tidak menunjukkan adanya pergerakan yang signifikan (Abidin *et al.*, 2008). Dinamika bentangalam di sekitar Lembang menunjukkan

kesan bahwa kegiatan terakhir sesar terjadi dalam kurun waktu Holosen atau kurang dari 10 ribu tahun yang lalu (Natawidjaja *et al.*, 2004). Pemantauan gempa bumi mikro oleh Pusat Survei Geologi pernah mencatat gempa Cihideung 19 September 1999 dengan magnitudo 3.1, dapat dihubungkan dengan aktivitas Sesar Lembang ini (Marjiyono *et al.*, 2008). Gempa yang bersumber dari Sesar Lembang mungkin disebabkan oleh tingkat tegangan yang terkumpul pada sesar tersebut belum terlepas, dan dikhawatirkan suatu saat terlepas dan akan terjadi gempa berkekuatan sangat besar.

Jika dilihat dari formasi batuanannya, secara umum Kota Bandung dan sekitarnya bisa dikategorikan memiliki tingkat kerentanan gempa bumi yang sangat tinggi. Dataran rendah di tengah Bandung yang merupakan pusat danau Bandung purba merupakan dataran rendah yang diisi oleh endapan aluvial yang sangat rentan terhadap getaran seismik. Sementara daerah pegunungan yang mengitari

Bandung pada umumnya terbentuk oleh batuan gunung api yang lebih kuat menahan getaran (Silitonga, 1973; Alzwar *et al.*, 1992; Koesmono *et al.*, 1996; Sujatmiko, 1972).

Perhitungan perkiraan pergerakan tanah akibat gempa bumi telah dilakukan oleh RADIUS Project (PAU-ITB, 1999) dan Soehaimi *et al.* (2004). Kedua peta tersebut meliputi daerah Kotamadya Bandung dan menunjukkan kecenderungan percepatan tanah yang berbeda. Pada peta dari RADIUS, nilai percepatan gerakan di Bandung bagian utara relatif lebih rendah daripada percepatan di Bandung bagian selatan dan timur. Sementara peta dari Soehaimi *et al.* (2004), menunjukkan kecenderungan nilai percepatan tanah yang menaik dari Bandung bagian barat daya ke arah timur laut. Hal ini disebabkan oleh adanya sumber gempa bumi di sekitar Gunung Halu yang mempunyai aktivitas pada tahun 2005 dan gempa bumi Cicalengka (1999).

Pada tulisan ini, nilai percepatan tanah dihitung dengan pendekatan yang lain. Pertama, dengan membuat asumsi bahwa gempa bumi terjadi akibat aktivitas Sesar Lembang. Dan kedua, dengan memasukkan unsur kecepatan seismik V_s untuk kedalaman 30 m ke dalam persamaan atenuasi. Hasilnya berupa peta percepatan tanah maksimum yang menunjukkan zona-zona dengan nilai percepatan tinggi di cekungan Bandung bagian Selatan dan Barat.

METODOLOGI

Persamaan Atenuasi

Percepatan tanah maksimum ($PGA = Peak Ground Acceleration$) dihitung berdasarkan hubungan atenuasi (*attenuation relations*). Terdapat banyak hubungan atenuasi empirik yang telah dipublikasikan. Persamaan empirik hubungan atenuasi tersebut pada umumnya diperoleh dari analisis kejadian-kejadian gempa tercatat atau dari rekaman *accelerograph* yang mencatat kejadian gempa bumi. Karena sedikitnya data gempa tercatat dan tidak adanya rekaman *accelerograph* di lokasi penelitian ini, penentuan hubungan atenuasi secara khusus tidak dapat dilakukan. Untuk mengatasinya, kami menggunakan persamaan Boore 1997 (dari

Douglas, 2001) yang diperoleh dari penelitian di pantai barat amerika utara. Daerah tersebut kami anggap dapat mewakili karena kondisi tektoniknya yang hampir serupa, yaitu dalam zona subduksi dan adanya segmen-segmen sesar geser (*strike slip fault*).

Persamaan atenuasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\log Y = b_1 + b_2 (M - 6) + b_3 (M - 6)^2 + b_4 r + b_5 \log r + b_6 (\log V_{s30} - \log V_A)$$

$r = \sqrt{d_2^2 + h_2^2}$, d adalah jarak episentrum, M adalah magnitudo gempa, V_{s30} adalah kecepatan gelombang S pada kedalaman 30 m dan Y adalah percepatan tanah horizontal dalam satuan g . Dengan asumsi bahwa gelombang gempa bumi yang diperhitungkan adalah komponen horizontal berarah tak tentu (*randomly-oriented*), konstanta-konstanta berikut diperoleh Boore dari penelitiannya (Douglas, 2001):

$$b_1 = -0.105, b_2 = 0.229, b_3 = 0, b_4 = 0, b_5 = -0.778, h = 5.57, b_6 = -0.371 \text{ dan } V_A = 1400$$

Persamaan tersebut digunakan untuk menyusun peta bahaya kegempaan untuk daerah Bandung dan sekitarnya. Di sini dibuat satu model peta bahaya yaitu bahaya gempa bumi akibat aktivitas Sesar Lembang. Titik episentrum yang digunakan tercantum dalam Gambar 2 (bintang putih). Kekuatan gempa bumi yang digunakan adalah gempa dengan magnitudo (M_w) = 6. Perolehan data V_{s30} diuraikan pada bagian berikut ini.

Karakterisasi Kecepatan V_{s30}

Klasifikasi daerah penelitian (*site classification*) yang baik diperlukan dalam perhitungan pergerakan tanah. Salah satu metode dalam menentukannya adalah berdasarkan kecepatan gelombang S (*shear wave*) untuk 30 m lapisan tanah teratas. Gelombang S dipilih karena melalui gelombang inilah respons dari jenis tanah yang dilalui gelombang seismik dianggap penting karena efeknya terhadap kerusakan yang mungkin terjadi.

Sehubungan dengan sulitnya memperoleh data seismik untuk menentukan kecepatan gelombang seismik di lokasi penelitian, maka dilakukan pendekatan berdasarkan peta geologi permukaan dan hubungannya dengan kecepatan gelombang S (*shear*). Wills *et al.* (2000) memetakan V_{s30} daerah

California dengan mengkategorikan V_{s30} untuk suatu formasi berdasarkan umur dan sifat fisik formasi tertentu dengan dipandu oleh hasil pengukuran lapangan kecepatan gelombang S . Dalam tulisan ini, interpretasi karakteristik satuan-satuan formasi geologi dilakukan dengan membandingkannya dengan satuan formasi geologi yang digunakan oleh Wills *et al.* (2000). Kondisi geologi daerah Bandung tentunya berbeda dengan California. Namun, dengan kisaran kecepatan gelombang yang cukup lebar, langkah yang dilakukan oleh Wills tersebut dapat ditiru. Secara garis besar, formasi geologi dibagi menjadi tiga kelompok: batuan keras (B, *hardrock*, batuan malihan, dan batuan gunung api), batuan lunak (C, *softrock*, batuan sedimen), dan endapan aluvial (D). Batuan beku yang di anggap berumur

relatif lebih muda dikategorikan sebagai BC. Sementara batuan sedimen berumur Miosen atau lebih muda dikategorikan sebagai CD.

Peta geologi yang digunakan adalah peta geologi dengan skala 1:100.000 yang merupakan kompilasi dari Peta Geologi Lembar Bandung (Silitonga, 1973), Lembar Garut dan Pameungpeuk (Alzwar *et al.*, 1992), Lembar Cianjur (Sujatmiko, 1972) dan Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru (Koesmono *et al.*, 1996). Tabel 1 menerangkan bagaimana klasifikasi satuan formasi geologi dikonversikan menjadi besaran kecepatan gelombang seismik S . Dengan menerapkan konversi tersebut ke dalam peta geologi, diperoleh peta sebaran kecepatan gelombang seismik S (V_{s30}) seperti tampak pada Gambar 1.

Tabel 1. Karakterisasi Kecepatan Gelombang S (Berdasarkan Wills *et al.*, 2000)

Formasi geologi	Kategori Vs30	Kisaran Perkiraan Kecepatan Gelombang S (m/detik)
Qvu, Batuan Gunungapi tak Teruraikan Qob, Breksi, lahar produk G. Api Sunda	B	> 760
Qmt, Tufa dan lahar G. Malabar Qgpk, Tufa dan breksi G. Guntur, Pangkalan dan Kendang Qmm, Tufa dan lava G. Mandalawangi Qyu, Batuan gunungapi tak teruraikan G. Tangkubanparahu Qyt, Tufa dan batuapung Produk G. Tangkubanparahu Qyd, Tufa pasir produk G. Tangkubanparahu	BC	555 - 1000
PB, Breksi tufaan, lava batupasir, konglomerat	CD	270 - 555
Ql, Endapan danau	D	180 - 360

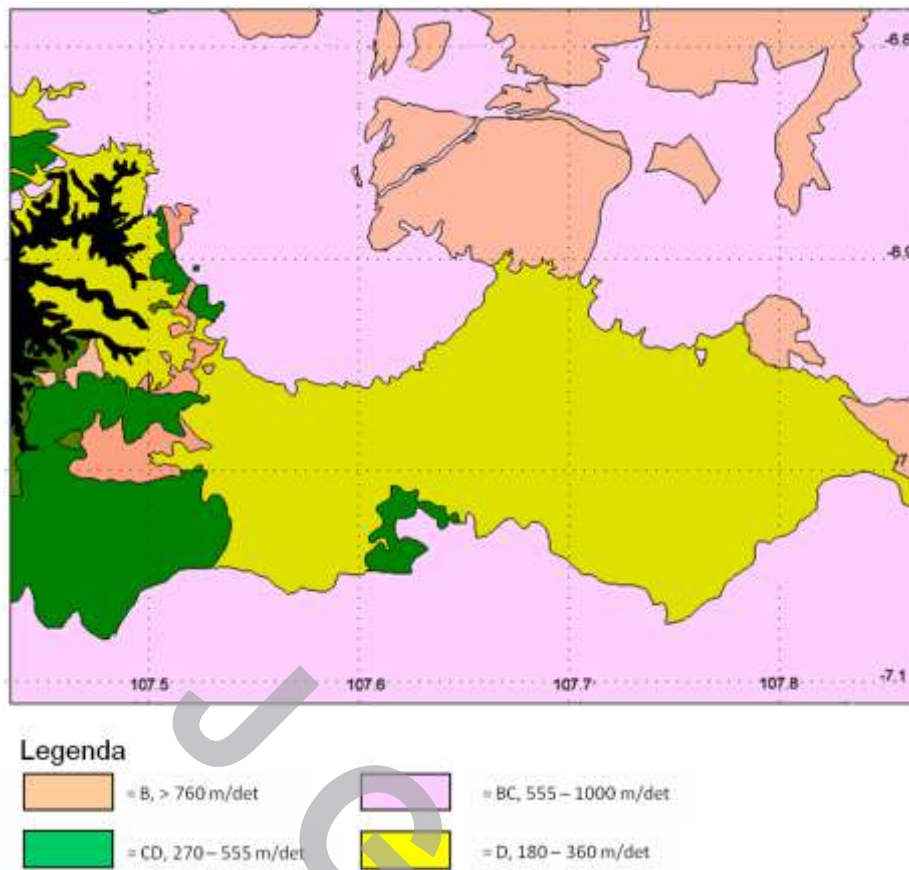
HASIL DAN ANALISIS

Hasil perhitungan percepatan tanah maksimum akibat gempa yang disebabkan oleh aktivitas Sesar Lembang digambarkan di Gambar 2. Selain di daerah sekitar sumber gempa, tampak bahwa percepatan gerakan tanah tinggi (0,2 g) terjadi di sebelah timur kota Bandung sekitar Cicadas – Ujungberung – Kiaracandong. Percepatan tanah sedang di alami daerah Padalarang – Batujajar di bagian Barat. Percepatan gerakan tanah yang relatif tinggi di daerah yang jauh dari sumber gempa sesuai dengan formasi geologi daerah tersebut yang berupa endapan danau Kuartar.

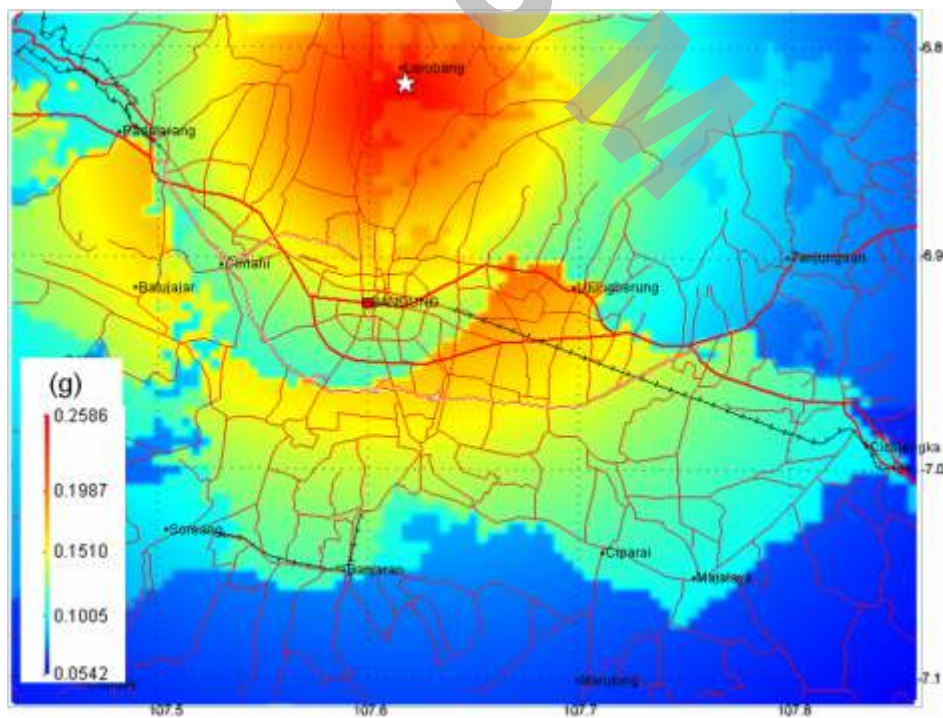
Daerah sebelah timur dan selatan (warna biru) menunjukkan nilai percepatan yang sangat kecil.

Daerah tersebut merupakan bagian dari pegunungan yang mengitari cekungan Bandung yang terbentuk terutama dari endapan gunung api Kuartar. Endapan gunung api membentuk batuan beku yang cukup kokoh dan mampu meredam getaran gempa bumi yang tidak terlalu besar.

Lingkaran luar Kota Bandung (Padalarang – Cimahi – Cicaheum) yang berwarna kehijauan hingga biru muda (0,1 g) juga sesungguhnya berada pada zona endapan gunung api. Namun, karena letaknya yang cukup dekat dengan sumber gempa, maka percepatan tanah maksimum daerah ini cukup tinggi. Walaupun demikian, nilai percepatannya tidak setinggi daerah di selatannya yang lebih jauh dari sumber gempa tetapi berada pada zona endapan danau yang lemah.



Gambar 1. Peta kecepatan seismik gelombang S (V_{s30}).



Gambar 2. Peta percepatan pergerakan tanah maksimum daerah Bandung dengan sumber gempa di Sesar Lembang (lokasi episentrum = bintang putih).

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada umumnya, Kota Bandung dan sekitarnya rentan terhadap kejadian gempa bumi yang bersumber pada Sesar Lembang. Namun terdapat dua lokasi yang memiliki kerentanan yang paling tinggi dilihat dari nilai percepatan gerakan tanahnya. Pertama, daerah Lembang karena daerah tersebut ada pada lintasan sesar atau sangat dekat dengan sumber gempa, kedua, zona yang terletak di formasi

batuan endapan danau, yaitu daerah di selatan Kota Bandung. Perlu diteliti lagi dengan lebih detail jenis batuan atau tutupan tanah untuk memperoleh peta mikrozonasi yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Riset ini didanai oleh DIPA Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI tahun anggaran 2008, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.

ACUAN

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Kato, T., Ito, T., Meilano, I., Gumilar, I., Gamal, M., Sidik, T., Harjono, H., Kimata, F., Subarya, S., 2008. Inter-Seismic Deformation Studies in West Java using GPS Surveys. *International Conference on Tsunami Warning (ICTW)*, Bali, 12-14 November 2008.
- Alzwar, M., Akbar, N., Bachri, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Douglas, J., 2001. *A comprehensive worldwide summary of strong motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000)*. ESEE Report No. 01-1., Imperial College, UK.
- Koesmono, M., Kusnama, Suwarna, N., 1996. *Peta Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Marjiyono, Soehaimi, A. dan Kamawan, 2008. Identifikasi Sesar Aktif Cekungan Bandung Dengan Data Citra Landsat dan Kegempaan. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 18 (2): 81-88.
- Natawidjaja, D.H., Widarto, D.S., Kertapati, E, 2004. Sesar Lembang, dari Fakta sampai Potensi Bencana. *Paparan dalam Lokakarya Dinamika Cekungan Bandung*, 21-22 Desember 2004.
- RADIUS Project (Risk Assessment Tools for Diagnostic of Urban Areas against Seismic Disaster). Pemda Kodya Bandung, IDNDR and ITB, Final Report, 1999.
- Silitonga, P.H., 1973. *Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Soehaimi, A., Kertapati, K., Setiawan, J., Seismotektonik dan Parameter Dasar Teknik Kegempaan wilayah Jawa Barat, Bandung dan sekitarnya. *Paparan dalam Lokakarya Dinamika Cekungan Bandung*, 21-22 Desember 2004.
- Sujatmiko, 1972. *Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Wills, C.J. M. Petersen, W.A. Bryant, M. Reichle, G.J. Saucedo, S. Tan, G. Taylor, and J., Treiman, 2000. A site conditions map for California based on geology and shear wave velocity. *Bull. Seism. Soc. Am.* 90: S187-S208.