

MIKROZONASI BAHAYA GEMPA BUMI DI WILAYAH KOTA BANDUNG BERDASARKAN DATA MIKROTREMOR

Marjiyono dan Afnimar

Pusat Survei Geologi

Jl. Diponegoro No. 57 Bandung - 40122

Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Perminyakan dan Pertambangan, ITB

Sari

Bandung merupakan salah satu kota metropolitan yang berkembang cukup pesat dan secara tektonik terletak di sekitar jalur tektonik aktif. Kondisi geologi permukaan wilayah ini bervariasi dari endapan sangat lunak hingga batuan vulkanik yang keras. Daerah berbatuan lunak tersebut berpotensi mengalami penguatan gelombang bila terjadi gempa bumi. Karakterisasi geologi permukaan perlu dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat kerentanan dalam upaya memitigasi bahaya gempa bumi di wilayah ini. Sehubungan dengan hal tersebut, telah dilakukan pengukuran mikrotremor di 97 titik ukur yang tersebar di wilayah Kota Bandung. Pengolahan data mikrotremor dilakukan berdasarkan metode Nakamura (*HVSR, horizontal to vertical spectral ratio*) untuk memperoleh nilai faktor penguatan. Hasil pengolahan menunjukkan nilai faktor penguatan untuk wilayah Kota Bandung berkisar antara 2,1 hingga 17, dengan sebaran faktor penguatan tertinggi berada di bagian tenggara wilayah penelitian. Sebaran faktor penguatan sangat tinggi ini secara umum bersesuaian dengan endapan lakustrin (endapan danau). Nilai faktor penguatan tersebut selanjutnya dijadikan dasar dalam penentuan tingkat kerentanan relatif terhadap bahaya gempa bumi.

Kata Kunci : mikrotremor, efek geologi permukaan, faktor penguatan, metode Nakamura.

Abstract

Bandung is one of the metropolitan city which rapidly developed and tectonically located in the vicinity of active tectonic lines. The surface geology condition of this region vary from very soft sediments to hard volcanic rocks. The soft sediment area has potential to experience amplification when an earthquake occurs. Characterization of surface geology is necessary to identify vulnerability level in order to mitigate the earthquake hazard in this region. In this regard, we have conducted microtremor measurements in 97 sites which are spread throughout the city of Bandung. Data processing is based on the Nakamura method (HVSR) to obtain the value of amplification factor. The results show the value of amplification factor ranged from 2.1 to 17, with the highest amplification factor distribution in the southeastern of the research area. Distribution of this very high amplification factors are broadly corresponded with lacustrine sediment (lake sediment). The amplification factor scores were then used as the basis in determining the level of relative vulnerability to earthquake hazards.

Keywords : microtremor, effect of surface geology, amplification factor, Nakamura methods.

Latar Belakang Masalah

Kondisi fisiografi Kota Bandung berupa dataran tinggi yang dikelilingi perbukitan, mempunyai daya tarik yang tinggi sebagai daerah pemukiman, yang dalam perkembangannya menjadi pusat pemerintahan, industri, perdagangan dan pendidikan. Berbagai sarana penunjang kehidupan seperti perumahan, jaringan jalan, perkantoran, dan sarana lainnya telah dibangun di kota ini. Perkembangan jumlah penduduk dari tahun ke tahun menunjukkan peningkatan yang signifikan. Data kependudukan pada tahun 2010 menunjukkan jumlah penduduk

Kota Bandung sebanyak 2.393.633 juta jiwa (BPS Jawa Barat, 2010).

Dari segi kebencanaan, wilayah Kota Bandung berada cukup dekat dengan sumber-sumber gempa bumi. Tercatat ada beberapa sesar yang telah menunjukkan aktifitasnya, diantaranya Sesar Lembang, Sesar Cicalengka, Sesar Cileunyi-Tanjungsari, Sesar Jati, dan Sesar Legok Kole (Marjiyono drr., 2007), bahkan dua sesar diantaranya telah menimbulkan gempa bumi merusak yang banyak menimbulkan kerugian (Kertapati dan Putranto, 1991). Disamping itu wilayah Kota Bandung juga dipengaruhi oleh kegempaan yang bersumber dari aktivitas penunjaman kerak samudera di selatan P. Jawa.

Pada berbagai kejadian gempa bumi menunjukkan kerusakan yang terjadi tidak selalu linear terhadap jarak ke pusat gempa dan pada umumnya bersifat setempat-setempat sesuai kondisi geologi permukaannya. Daerah dengan kondisi geologi permukaan yang lunak cenderung mengalami efek yang lebih besar dibanding daerah berbatuan keras (Gurler, dr, 2000, Sorensen, dr, 2006). Daerah kerusakan pada umumnya berada pada daerah berbatuan lunak seperti alluvial, soil yang tebal, dan produk-produk gunung api yang belum mengalami konsolidasi.

Secara geologis bagian utara Kota Bandung tersusun oleh batuan vulkanik produk dari gunung Tangkubanprahu yang umumnya merupakan batuan keras. Ke arah selatan di bagian barat, batuan merupakan endapan kipas fluvial yang didominasi oleh pasir tufan, sedangkan pada bagian timur merupakan daerah endapan danau purba (lakustrin). Secara fisik material endapan danau purba ini merupakan endapan lempung yang lunak, sehingga daerah ini lebih beresiko ketika mengalami guncangan gempa bumi.

Karakterisasi geologi permukaan dalam rangka penilaian resiko terhadap potensi bahaya gempa bumi dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan pengukuran percepatan tanah saat terjadi gempa, pemboran, pengukuran *SPT* (*standard penetration test*), *SCPT* (*seismic cones penetration test*), dan pengukuran cepat rambat gelombang geser (*shear*). Namun demikian metode-metode tersebut sangat mahal dan memakan waktu. Sehubungan dengan hal tersebut, pengukuran mikrotremor diharapkan dapat menjadi metode alternatif yang murah dan cepat untuk memetakan karakteristik geologi permukaan dalam upaya memitigasi terhadap bahaya gempa bumi.

Tinjauan Pustaka

Hubungan antara kondisi geologi permukaan dengan respon gelombang sudah sejak lama dipahami para ahli seismologi. Okuma, dr. (2000) mengamati respon percepatan gelombang pada 52 stasiun pengamatan yang tersebar di Miyazaki, P. Kyushu, Jepang ketika terjadi gempa bumi berskala 5,5 mb yang berpusat di selatan pulau ini pada 16 Desember 1998. Hasil perekaman menunjukkan respon percepatan tinggi pada batuan lunak sedangkan pada batuan keras respon percepatan menunjukkan nilai

yang rendah. Hasil yang serupa juga diperoleh oleh Molnar dr., (2007) yang membandingkan respon spektra rekaman gempa bumi dan rekaman mikrotremor di barat daya British Columbia dan Victoria.

Nakamura (1989) meneliti karakteristik respon lapisan geologi permukaan terhadap getaran dengan memanfaatkan *ambient noise* (mikrotremor). Sebuah pendekatan dilakukan dengan mengkaji rasio antara spektrum komponen vertikal terhadap komponen horisontal, yang kemudian dikenal dengan metode Nakamura atau *HVSR* (*horizontal to vertical spectral ratio*). Hasilnya menunjukkan nilai yang konsisten dari beberapa kali pengamatan pada rasio spektrum, yakni nilai puncak spektrum (faktor penguatan, *amplification factor*) dan nilai frekuensi dominan.

Dalam kasus-kasus kejadian gempa bumi merusak, metode Nakamura dapat menjelaskan korelasi antara daerah kerusakan bangunan dengan karakteristik dinamik geologi permukaan. Gurler dr. (2000) melakukan pengukuran mikrotremor di daerah kerusakan akibat gempa bumi Michoacan 1985 di daerah *Mexico City*. Hasil kajian menunjukkan daerah dengan kerusakan berat berada pada zona berpenguatan tinggi yang umumnya merupakan daerah endapan lakustrin. Alkaz dr. (2007) juga mengkaji kaitan tingkat kerusakan bangunan di Kishinev, Moldova dalam kejadian gempa bumi Vrancea 30 Agustus 1986 terhadap nilai faktor penguatan. Hasil kajian ini menunjukkan ada korelasi linear antara tingkat kerusakan bangunan dengan nilai faktor penguatan.

Geologi Daerah Penelitian

Tinjauan geologi dalam kajian ini difokuskan pada litologi wilayah Kota Bandung yang didasarkan pada Peta Geologi Lembar Bandung (Silitonga, 2003). Gambar 1 menunjukkan peta geologi wilayah Kota Bandung yang di kompilasi dari Peta Geologi Lembar Bandung. Secara umum batuan yang menutupi wilayah Kota Bandung dapat dibagi menjadi lima satuan batuan yang semuanya berumur Kuartar. Batuan paling muda di kawasan ini adalah endapan danau yang didominasi oleh lempung tufan. Sedimen ini menempati bagian tenggara wilayah Kota Bandung.

Bagian barat laut wilayah Kota Bandung ditutupi oleh endapan piroklastik berupa tuf pasir yang berasal dari Gunung Dano dan Gunung Tangkubanprahu. Pada endapan ini juga ditemukan lahar lapuk berwarna kemerahan, lapili dan breksi. Lapisan piroklastik ini menutupi satuan endapan tuf berbatuapung produk dari Gunung Tangkubanprahu. Endapan ini didominasi oleh pasir tufan. Penyebaran batuan ini sampai di bagian barat daya wilayah Kota Bandung.

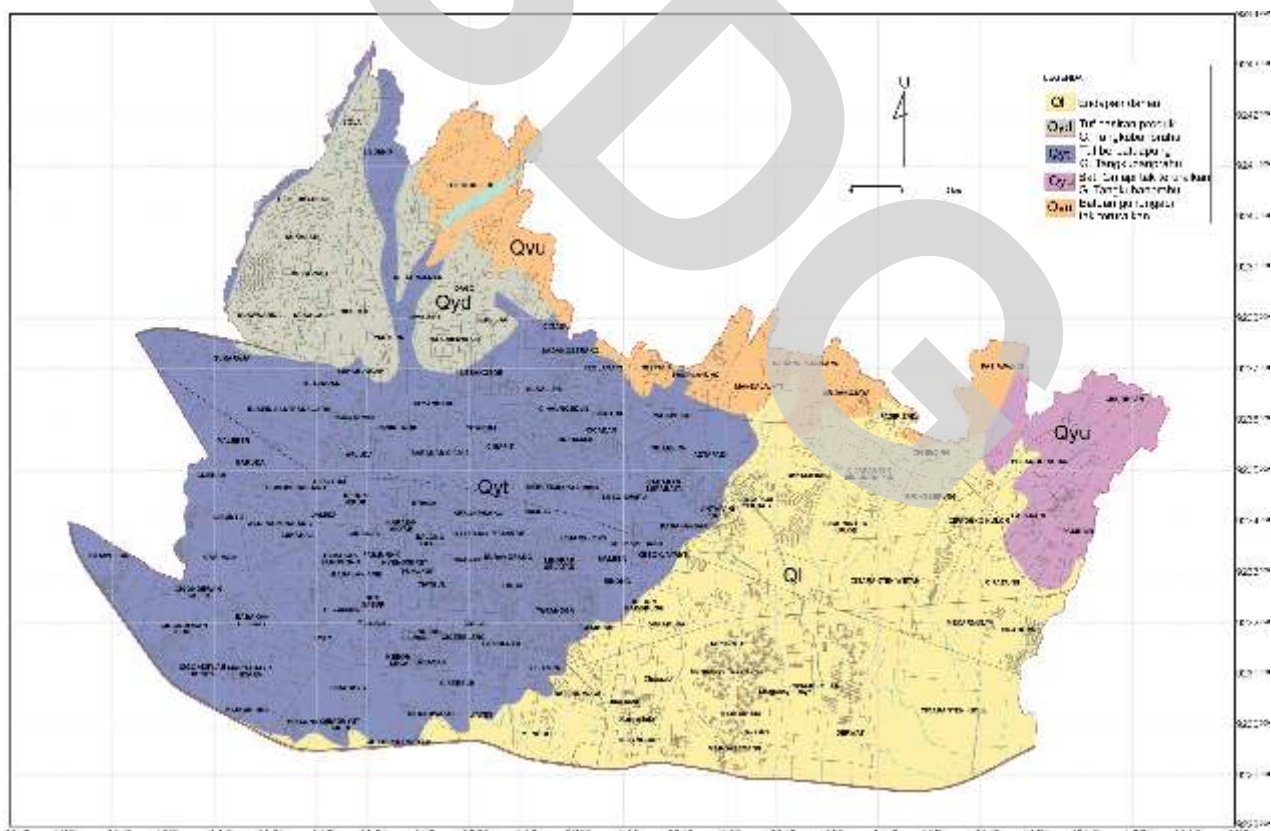
Bagian utara Kota Bandung ditempati oleh dua satuan batuan gunung api tak teruraikan (*undifferentiated*). Pada bagian barat, batuan didominasi oleh breksi gunung api, sedangkan di bagian timur didominasi oleh pasir tufan. Kedua satuan batuan ini merupakan produk dari Gunung Tangkubanprahu.

Metodologi

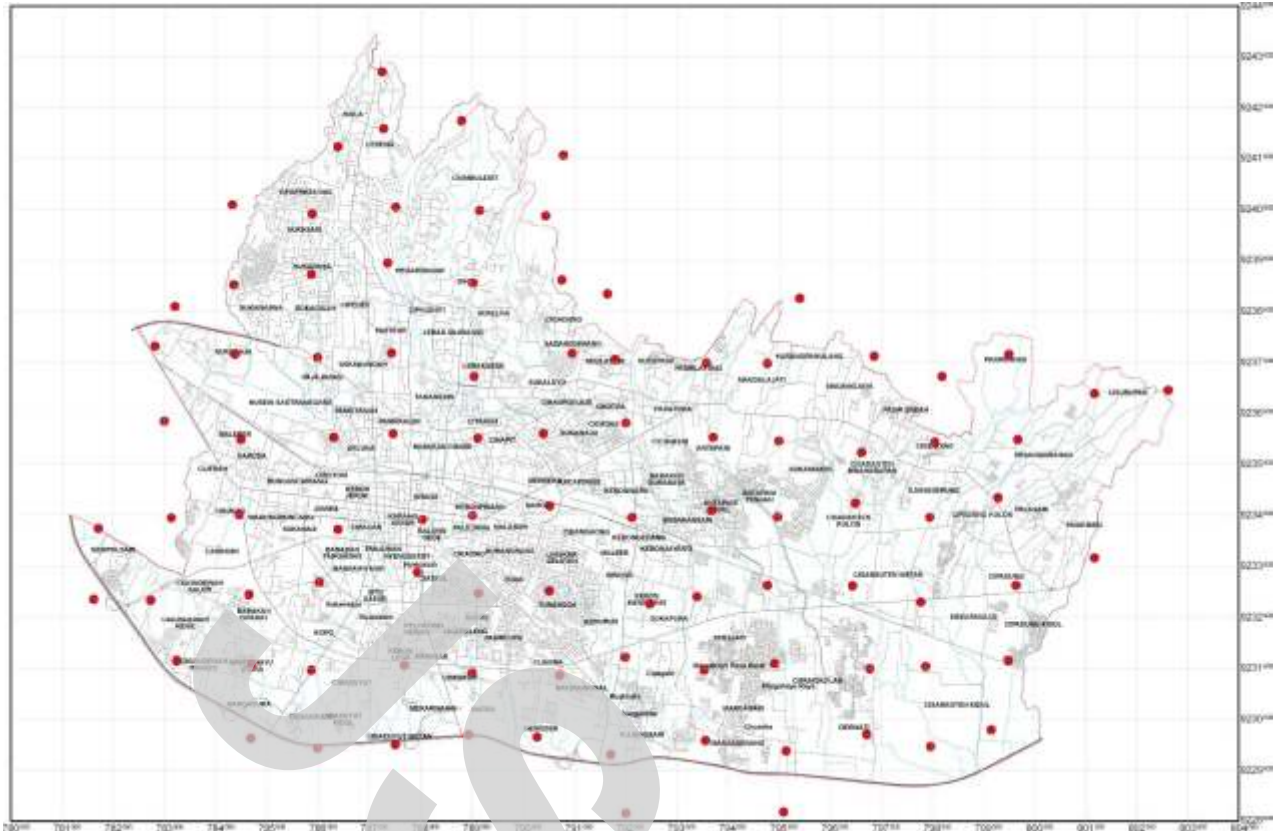
Pengumpulan data mikrotremor dilakukan di 97 titik ukur yang tersebar di wilayah Kota Bandung. Pada awalnya pengukuran dilakukan pada grid 1,5 km X 1,5 km, namun untuk menghindari gangguan (*noise*)

dilakukan penggeseran titik ukur (Gambar 2). Pengukuran dilakukan dengan seismometer tipe L4C-3D tiga komponen dengan frekuensi natural 1 Hz, sedangkan perekaman data dilakukan dengan data logger Datamark tipe LS 7000 XT, dengan interval cuplikan 0.01 detik (100 Hz). Pengukuran dilakukan pada daerah yang relatif jauh dari gangguan seperti lalu lintas, kegiatan mesin, kegiatan manusia dan sebagainya.

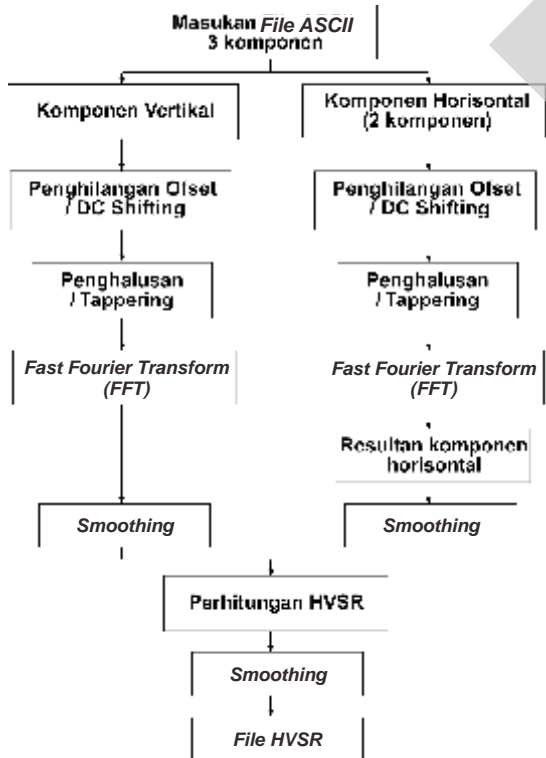
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Hvmax*. Secara garis besar proses pengolahan data digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3. Untuk meningkatkan tingkat keyakinan serta melihat konsistensi dari data hasil perhitungan *HVSR*, dilakukan lima kali pengolahan untuk setiap titik ukur dari lima sampel terpilih, selanjutnya diambil nilai rata-ratanya. Hasil pengolahan berupa grafik spektrum (frekuensi vs faktor penguatan) untuk seluruh titik ukur. Nilai faktor penguatan maksimum dari masing-masing titik ukur selanjutnya dipetakan untuk seluruh daerah penelitian.



Gambar 1. Peta geologi wilayah Kota Bandung, dikompilasi berdasarkan peta geologi Lembar Bandung (Silitonga, 2003).



Gambar 2. Sebaran titik ukur mikrotremor di wilayah Kota Bandung.



Gambar 3. Diagram alir proses perhitungan HVSr.

Diskusi

Sudah sejak lama para ahli teknik kegeamaan memahami bahwa batuan lunak menyerap energi gelombang kemudian menyalurkan energi menjadi amplitudo gelombang yang lebih besar. Hal ini dapat diamati dengan jelas pada seismogram hasil perekaman dari stasiun yang beralaskan batuan lunak mempunyai amplitudo gelombang lebih besar dibandingkan seismogram yang berasal dari stasiun pengamatan yang beralaskan batuan keras. Demikian juga daerah yang berada pada batuan lunak (misalnya endapan alluvial) akan cenderung lebih terasa goncangannya dibandingkan daerah yang berbatuan keras bila dilanda gempa bumi.

Metode Nakamura yang awalnya diterapkan dalam teknik sipil bidang transportasi kereta api, telah berkembang menjadi metode yang populer dalam kajian risiko terhadap bahaya guncangan gempa bumi berdasarkan karakteristik geologi permukaan. Metode ini telah terbukti menunjukkan kestabilan nilai puncak faktor penguatan dan frekuensi dominan tanah (Okuma dr., 2000), sehingga telah banyak dipergunakan secara luas dalam analisa risiko terhadap bahaya guncangan gempa bumi.

Secara litologi Kota Bandung didominasi oleh batuan produk gunung api. Pada bagian utara berupa endapan piroklastik serta material aliran. Batuan vulkanik ini umumnya merupakan batuan keras yang terdiri atas breksi vulkanik, lava, lahar, tuf, dan bongkah-bongkah andesit produk Gunung Tangkubanprahu. Batuan ini dicirikan oleh morfologi perbukitan. Pada bagian barat daya, morfologi cenderung berupa landaian karena litologi berupa pasir tufan yang mudah tererosi. Poedjoprajitno (2010) menyatakan daerah ini merupakan endapan kipas fluvial gunung api (*fluviovolcanic fan*). Di bagian tenggara wilayah Kota Bandung, litologi berupa endapan danau purba (lakustrin) yang didominasi oleh material lempung lunak.

Hasil pengolahan data mikrotremor wilayah Kota Bandung menunjukkan variasi nilai faktor penguatan berkisar antara 2,1 sampai 17. Secara umum bentuk respon spektrum *HVSR* dapat dibagi menjadi dua, yakni spektrum puncak tunggal dan puncak lebih dari satu / kompleks. Bentuk spektrum satu puncak umumnya berada pada bagian selatan wilayah penelitian yang ditempati oleh bahan rombakan (baik endapan kipas fluvial gunung api maupun endapan danau purba). Sedangkan pada bagian utara wilayah Kota Bandung yang berbatuan keras, respon spektrum *HVSR* umumnya mempunyai spektrum banyak puncak (kompleks). Nilai frekuensi dominan tanah (frekuensi yang bersesuaian dengan puncak – puncak spektrum) berkisar antara 0,14 detik sampai 2,94 detik. Nilai ini merupakan frekuensi resonan tanah yang berkaitan dengan geometri media dimana gelombang geser terjebak, sehingga besarnya nilai frekuensi ini tergantung dari kedalaman bidang pemantulnya. Bila kondisinya ideal yakni lapisan permukaan bersifat homogen dan lapisan di bawahnya mempunyai beda impedan yang signifikan maka spektrum yang diharapkan berupa satu puncak. Sementara itu bentuk spektrum yang kompleks diperkirakan berkaitan dengan struktur internal pada soil / endapan sedimen lunak akibat proses pengendapan.

Respon spektrum *HVSR* pada daerah berbatuan keras di bagian utara menunjukkan nilai faktor penguatan yang bervariasi dari rendah sampai tinggi. Gambar 4 menunjukkan contoh respon spektrum di daerah bagian utara wilayah Kota Bandung yang berbentuk kompleks.

Nakamura (2000) menyatakan bahwa nilai faktor penguatan tanah berkaitan dengan kontras impedan antara lapisan permukaan terhadap lapisan di bawahnya. Bila kontras impedan kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya. Variasi nilai faktor penguatan di daerah ini kemungkinan disebabkan oleh variasi batuan alas di bawah lapisan permukaan. Di bagian timur laut daerah penelitian, sekitar utara Ujungberung dimana daerah ini mempunyai faktor penguatan rendah, soil umumnya berupa pasir tufan lapuk yang masih relatif kompak. Lapisan soil ini merupakan lapisan permukaan hasil pelapukan batu pasir tufan yang berada di bawahnya. Kontras impedan antara soil dan batuan asalnya di daerah ini tidak cukup besar sehingga faktor penguatan berkisar antara rendah sampai sedang.

Di daerah sekitar utara Cicaheum nilai faktor penguatan gelombang menunjukkan nilai yang relatif tinggi. Hal ini diduga batuan yang mengalasi lapisan permukaan merupakan batuan keras misalnya lava sehingga kontras impedan dengan lapisan soil cukup besar.

Kondisi topografi perbukitan terjal di daerah ini mempengaruhi struktur internal lapisan soil yang cenderung tak beraturan karena merupakan kombinasi bahan longsor dan material hasil proses pelapukan. Ketidak homogenan soil tersebut yang diperkirakan menyebabkan bentuk spektrum yang kompleks.

Di bagian barat daerah penelitian yang berupa kipas fluvial gunung api, lapisan permukaan berupa tuf pasir yang merupakan bahan rombakan dari batuan piroklastik di atasnya. Tuf pasir ini secara fisik kemungkinan relatif homogen, yang dicerminkan oleh spektrum *HVSR* di daerah ini yang berbentuk satu puncak. Secara fisik material tuf pasir ini cukup keras sehingga mempunyai nilai impedan yang besar. Beda impedan tuf pasir dengan batuan alasnya diperkirakan relatif kecil yang menyebabkan secara umum faktor penguatan di daerah ini rendah. Gambar 5 menunjukkan contoh spektrum *HVSR* di daerah dengan litologi pasir tufan.

Pada bagian tenggara daerah penelitian, litologi berupa endapan danau purba. Cekungan danau purba ini memanjang dari sekitar Cicalengka di bagian timur hingga sekitar utara Soreang di bagian

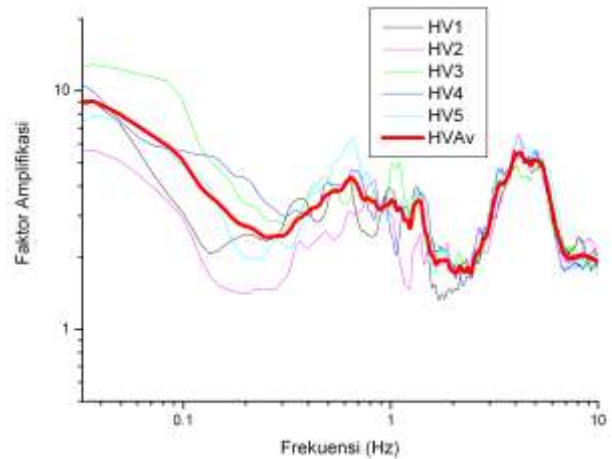
barat. Genesa pembentukan cekungan ini masih menjadi perdebatan bagi para ahli geologi. Beberapa ahli geologi memperkirakan cekungan Bandung ini merupakan cekungan antar pegunungan (*intermountain basin*) yang terisi material rombakan dari daerah sekitarnya yang lebih tinggi. Dam (1994) berpendapat bahwa pengendapan di dalam Cekungan Bandung dimulai sekitar 126.000 tahun yang lalu, berupa batuan klastika gunung api. Diduga batuan ini mengalasi endapan danau purba tersebut. Secara fisik material endapan cekungan Bandung ini sangat lunak sehingga mempunyai kontras impedan yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan batuan alas yang berupa batuan klastika gunung api. Hipotesis ini sejalan dengan nilai faktor penguatan tanah di daerah ini yang sangat tinggi. Contoh spektrum *HVSR* untuk daerah endapan cekungan Bandung dapat dilihat pada Gambar 6.

Endapan danau purba ini secara fisik diperkirakan relatif homogen, hal ini menyebabkan secara umum spektrum *HVSR* daerah endapan cekungan Bandung berbentuk sederhana / puncak tunggal.

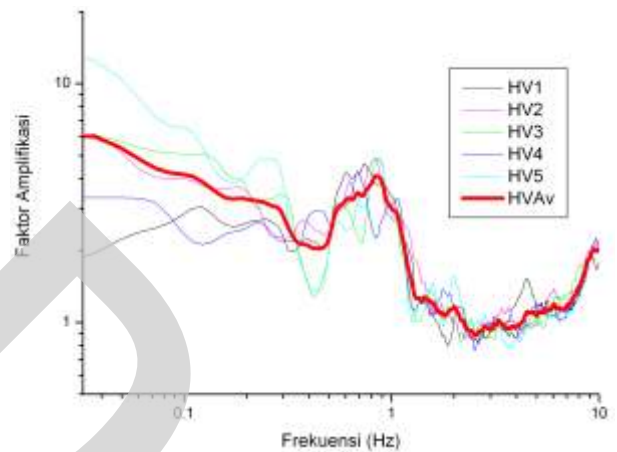
Efek geologi permukaan terhadap tingkat kerusakan bangunan pada kejadian-kejadian gempa bumi besar sudah tidak diragukan. Yang menjadi permasalahan adalah metode yang efektif dan efisien dalam mengkarakterisasi geologi permukaan yang direpresentasikan dalam parameter fisis tertentu. Dalam banyak kasus, nilai faktor penguatan dan efek resonansi gelombang gempa terhadap frekuensi alamiah tanah menunjukkan korelasi yang bagus terhadap tingkat kerusakan. Pemetaan faktor penguatan tersebut dapat digunakan untuk mendelineasi daerah-daerah yang rawan mengalami penguatan gelombang gempa bumi dan daerah - daerah yang relatif aman untuk dikembangkan.

Faktor penguatan gelombang untuk Kota Bandung menunjukkan pola penguatan sangat tinggi terjadi pada wilayah bagian tenggara yang secara umum ditempati oleh endapan danau purba (lakustrin). Pada bagian utara dan barat wilayah Kota Bandung yang merupakan batuan vulkanik, nilai faktor penguatan bervariasi.

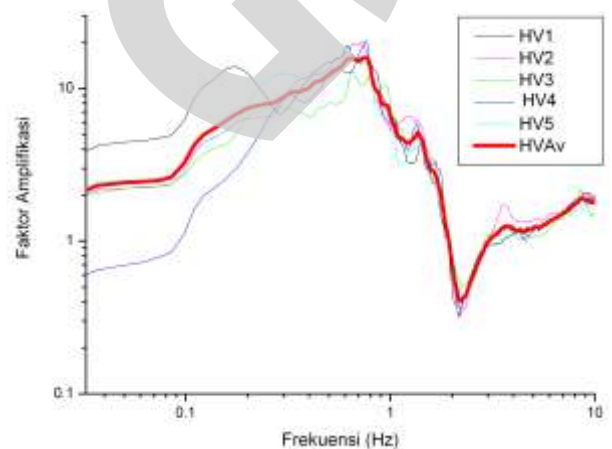
Untuk menyederhanakan gambaran pola penguatan, selanjutnya dilakukan pengelompokan nilai faktor penguatan, yakni zona berpenguatan rendah (0-3), zona berpenguatan sedang (3-6), zona berpenguatan



Gambar 4. Spektrum *HVSR* daerah Hegarmanah, faktor penguatan menunjukkan nilai 5,3 dan nilai frekuensi dominan tanah 4,04 Hz.



Gambar 5. Spektrum *HVSR* daerah Asia-Afrika, puncak spektrum menunjukkan nilai 4,1 dan periode dominan tanah 0,88 Hz.



Gambar 6. Spektrum *HVSR* daerah Gedebage, puncak spektrum menunjukkan nilai 16,5 dan periode dominan tanah 0,77 Hz.

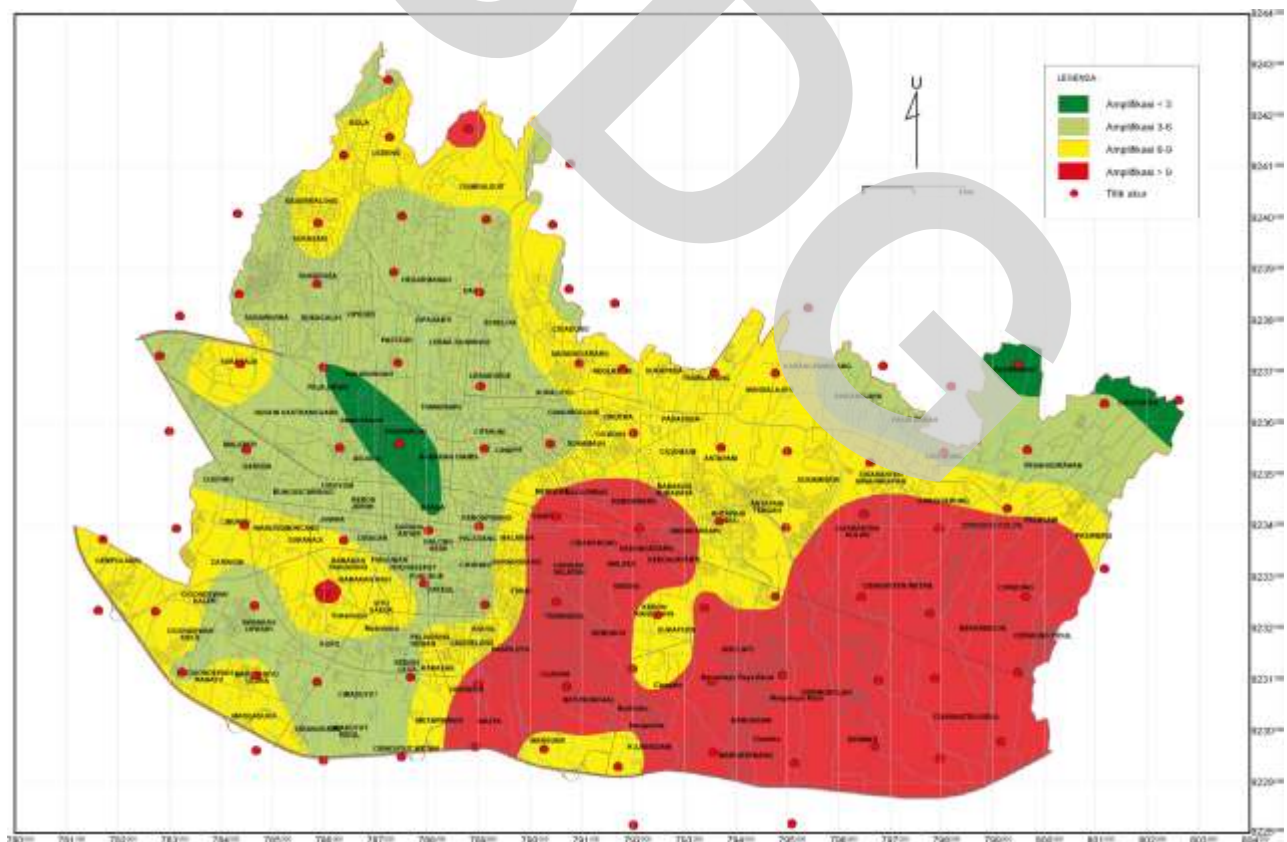
tinggi (6-9) dan zona berpenguatan sangat tinggi (>9). Gambar 7 menunjukkan hasil zonasi berdasarkan faktor penguatan gelombang untuk wilayah Kota Bandung. Untuk selanjutnya zonasi ini dianggap menunjukkan tingkat kerawanan relatif terhadap bahaya gempa bumi. Zona berpenguatan gelombang sangat tinggi (warna merah) merupakan zona paling rawan terhadap bahaya guncangan gempa bumi. Zona ini tidak direkomendasikan untuk dikembangkan. Pembangunan sarana-sarana vital seperti rumah sakit, fasilitas penunjang pembangkitan energi, kantor-kantor pemerintahan dan sebagainya sebaiknya dibangun di zona berpenguatan gelombang rendah atau sedang (hijau tua – hijau muda).

Dalam kaitan dengan kebencanaan gempa bumi, maka usaha yang perlu dilakukan adalah mengenali potensi bencana baik sumbernya (sesar aktif, subduksi) maupun efek dari geologi permukaan. Dari indikasi kejadian gempa bumi, sumber-sumber gempa bumi yang berupa sesar aktif sudah banyak

terpetakan. Namun demikian potensi bencana dari efek geologi permukaan belum banyak dikembangkan. Mikrozonasi berdasarkan karakteristik geologi permukaan dapat memberikan informasi dasar bagi pemerintah untuk dipertimbangkan dalam penyusunan tata ruang wilayah.

Dari segi kebencanaan gempa bumi wilayah Kota Bandung berada cukup dekat dengan sumber-sumber gempa bumi. Begitu pula dari segi karakteristik geologi permukaan yang tercermin dari faktor penguatan, sebagian wilayah kota ini berpotensi mengalami penguatan gelombang bila diguncang gempa bumi.

Karakteristik dinamik tanah yang diestimasi dari data mikrotremor di wilayah Kota Bandung ini diharapkan dapat dijadikan informasi dasar bagi usaha mitigasi bencana dan dapat diimplementasikan oleh pemerintah dalam rencana tata ruang wilayah.



Gambar 7. Nilai faktor penguatan gelombang wilayah Kota Bandung.

Kesimpulan

Nilai faktor penguatan untuk wilayah Kota Bandung hasil pengolahan data mikrotremor berkisar antara 2,1 sampai 17. Nilai ini menunjukkan tingkat kerawanan relatif terhadap bahaya gempa bumi.

Kota Bandung, disamping dekat dengan sumber-sumber gempa, sebagian wilayah ini juga berpotensi mengalami penguatan gelombang karena faktor geologi permukaan. Hasil pengukuran mikrotremor menunjukkan nilai faktor penguatan sangat tinggi (> 9 kali) terjadi di bagian tenggara wilayah Kota Bandung. Wilayah berpenguatan sangat tinggi ini berkorelasi bagus dengan kondisi geologi permukaan yang berupa endapan lakustrin yang bersifat lunak. Wilayah ini disimpulkan sebagai zona yang rawan terhadap bahaya guncangan gempa bumi. Sedangkan bagian lain dari wilayah ini, nilai faktor

penguatan bervariasi tergantung beda impedan antara endapan permukaan yang umumnya berupa soil dan batuan alasnya yang kemungkinan berupa lava atau breksi vulkanik.

Bentuk respon spektrum *HVSR* diperkirakan berkaitan dengan struktur internal dari lapisan geologi permukaan. Pada lapisan batuan yang relatif homogen, bentuk respon spektrum cenderung berupa spektrum sederhana, sedangkan pada batuan dengan struktur internal yang relatif acak bentuk spektrum menjadi lebih kompleks.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Ir. Soemantri Poedjoprajitno, Dipl.G. dan Ir. Kamawan yang telah meluangkan waktu untuk diskusi batuan wilayah daerah penelitian.

Acuan

- Alkaz, V., Isicko, E. dan Zaicenco, A., 2007. Site Response Assessment Via a Multidistiplinary Approach : Kishinev City, Republic of Moldova. *Proceeding of International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation*, Bucharest, Romania, pp 240-243.
- BPS Jawa Barat, 2010. *Hasil Sensus Penduduk Tahun 2010 Wilayah Propinsi Jawa Barat*. Badan Pusat Statistik Jawa Barat, Bandung.
- Dam, M. A. C., 1994. *The Late Quaternary Evolution of The Bandung Basin, West-Java, Indonesia*. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Gurler, E.D., Nakamura, Y., Saita, J. & Tsutomu, S., 2000, *Local Site Effect of Mexico City Based on Microtremor Measurement, Proceeding of 6th International Conference on Seismic Zonation*, California, USA, p 65-77.
- Kertapati, E. dan Putranto, E.K., 1991. *Katalog Gempa Bumi Merusak Indonesia*. Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Marjiyono, Soehaimi, A., dan Kamawan, 2007. Identifikasi Sesar Aktif Daerah Cekungan Bandung Berdasarkan Citra dan Kegempaan. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, Vol XVIII, Bandung, hal 81-88.
- Molnar, S., Cassidy, J.F., Manohan, P.A., Onur, T., Ventura, C. & Ressenberg, A., 2007. *Earthquake Site Response Studies Using Microtremor Measurement In Southwestern British Columbia*. Proceeding of 9th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Canada, pp 410-419.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly report Railway Technical Research Institute, Tokyo p 25-33.
- Nakamura, Y., 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. Proceeding of 12nd World Conference of Earthquake Engineering, Toronto, 2000, CD ROM Paper No 2656.

- Okuma, Y., Harada, T., Yamazaki, F. & Matsuoka, M., 2000. *Site Amplification Characteristics in Miyazaki Prefecture, Japan Using Microtremor and Seismic Record*. Proceedings 6th International Conference on Seismic Zonation, Tokyo, Japan, CD ROM, 6p paper no 11.
- Poedjoprajitno, S., 2010. *Peta Foto Geomorfologi Pulau Jawa dan Madura*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi.
- Silitonga, P.H., 2003. *Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Sorensen, M.B., Oprsal I., Sylvette B.C., Kuvvet A., Martin Mai, P., Pulido N. and Yalciner, C., 2006. *Local Site Effects in Atakoy, Istanbul, Turkey Due to a Future Large Earthquake in The Marmara Sea*. Geophysics Journal Vol 167, 2006, pp 1413-1424 .

JSDG