



Karakteristik Faktor Penguatan Gelombang Gempabumi oleh Lapisan Lunak Permukaan, Studi Kasus di Wilayah Perkotaan Cianjur dan Sekitarnya

Characteristics of Earthquake Ground Motion Amplification by Shallow Soft Soil Layers: A Case Study of the Cianjur Urban Area and Surroundings

Marjiyono*, Hidayat, Nimas Nurul Hamidah, Shofi Iqtina Hawan, Johannes Bosco Januar
Herry Setiawan, Shofi Andriani

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

*E-mail: marjiyono@esdm.go.id

Submit: 26 June 2025, Revised: 6 November 2025, Approved: 14 November 2025, Online: 24 November 2025

DOI: 10.33332/jgsm.geologi.v26i4.1009

Abstrak- Disamping dekat dengan sumber gempabumi, wilayah perkotaan Cianjur juga beresiko terhadap penguatan gelombang gempabumi oleh lapisan lunak litologi permukaan. Endapan soil yang cukup tebal di kawasan ini berpotensi menguatkan gelombang ketika terjadi gempabumi. Hasil pemodelan data mikrotremor array di 18 titik ukur diperoleh kecepatan gelombang geser soil berkisar antara 50 m/det. - 308 m/det. Endapan soil ini menumpang di atas batuan vulkanik yang memiliki kecepatan gelombang geser antara 246 m/det – 1415 m/det. Adapun ketebalan soil berdasarkan pemodelan data mikrotremor single station di 189 titik ukur berkisar antara 2 m – 62 m. Nilai faktor penguatan gelombang oleh lapisan soil ini berkisar antara 1 - 2,4 kali dengan zona penguatan tinggi berada di daerah Cugenang, Warungkondang dan Cilaku. Berdasarkan catatan, ketiga wilayah tersebut mengalami intensitas guncangan maksimum sebesar VII-VIII skala MMI.

Kata kunci: penguatan gelombang, lapisan lunak permukaan, mikrotremor array, mikrotremor single station.

Abstract- The Cianjur urban area is exposed to a substantial risk, particularly near the seismic source and due to site amplification, resulting from a soft surface layer. The fairly thick soil deposits potentially amplify seismic waves when an earthquake occurs. According to the microtremor array that was deployed on 18 locations, soil shear wave velocity ranges from 50 m/sec to 308 m/sec. This soil deposit lies above volcanic rock that has shear wave velocities ranging from 246 m/s to 1415 m/s. Single-station microtremor data modelling on 189 sites revealed that the soil thickness varies between 2 m and 62 m. The calculated site amplification of the research area ranges from 1 to 2.4 times, indicating that the Cugenang, Warungkondang, and Cilaku regions have significant amplification zones. Historical records showed that the highest shaking intensity in the three regions ranged from VII to VIII of the MMI scale.

Keywords: site amplification, soft surface layer, array microtremor, single station microtremor.

LATAR BELAKANG

Kejadian Gempabumi Cianjur 22 November 2022 telah menguak tabir bahwa di bawah wilayah Cianjur terdapat sesar aktif yang selama ini belum teridentifikasi. Kerugian akibat gempabumi ini sebanyak 268 jiwa meninggal dan lebih dari 2.000 rumah mengalami kerusakan (Supartoyo, dkk, 2023). Kerusakan yang cukup masif ini tidak terlepas dari kondisi geologi permukaan yang relatif lunak. Lapisan litologi permukaan yang lunak yang menumpang di atas batuan yang lebih keras cenderung mengakibatkan penguatan gelombang (Marjiyono, 2016). Keberadaan sesar aktif di daerah ini menjadi faktor resiko tersendiri yang setiap saat bisa menimbulkan bencana.

Secara geologi wilayah perkotaan Cianjur didominasi oleh endapan vulkanik produk dari Gunungapi Gede-Pangrango. Pada umumnya endapan ini berupa batupasir tufaan dan breksi (Sudjatmiko, 1972). Batuan-batuan tersebut di permukaan umumnya dalam kondisi lapuk yang dapat diamati pada pinggiran sungai dan *slope area* (Tejakusuma, dkk., 2023). Daerah pinggiran perkotaan yang umumnya merupakan *cultivated area*, kondisi soil dapat diamati berupa material lempungan. Soil dan material lepas bahan rombakan dari batuan vulkanik ini menjadi lapisan permukaan yang bersifat lunak yang dialasi oleh batuan vulkanik yang lebih kompak. Kondisi ini memberikan potensi penguatan gelombang yang bisa meningkatkan kekuatan goncangan pada kejadian gempabumi.

Sebagai daerah tempat konsentrasi penduduk dan berbagai bangunan fasilitas layanan pemerintahan dan layanan sosial masyarakat lainnya, area perkotaan Cianjur yang saat ini berkembang cukup pesat, perlu mempertimbangkan potensi kebencanaan geologi dalam pengembangan wilayah, khususnya potensi bencana gempabumi yang secara historis pernah terjadi di kawasan ini.

Kajian geoteknik dengan memodelkan kondisi fisik bawah permukaan secara akurat perlu dilakukan untuk mengestimasi potensi penguatan gelombang (Uyanik, dkk., 2024). Pengukuran mikrotremor *array* dan mikrotremor *single station* dilakukan dengan tujuan untuk memahami karakteristik geologi permukaan di wilayah ini. Sebaran lateral nilai penguatan gelombang dapat memberikan gambaran besaran kerentanan wilayah terhadap bahan goncangan tanah. Parameter

ini dapat menjadi salah satu data dasar dalam penataan ruang wilayah demi mengurangi dampak bencana gempabumi di kemudian hari.

Geologi Daerah Penyelidikan

Daerah perkotaan Cianjur dan sekitarnya ditempati oleh batuan gunungapi Kuarter berupa lahar dan breksi (Qyg), (Gambar 1). Penyebaran material vulkanik ini cukup luas dari puncak Gunung Gede Pangrango hingga tinggian di sebelah timur Ciranjang. Di wilayah perkotaan Cianjur endapan vulkanik ini membentuk morfologi dataran yang dibatasi oleh tinggian perbukitan di bagian utara dan selatan yang ditempati oleh batuan vulkanik yang lebih tua berupa breksi andesitik berselingan dengan lava andesitik (Qot), (Sudjatmiko, 1972).

Struktur geologi yang berkembang terutama di bagian tenggara kota Cianjur pada batupasir Formasi Citarum dengan pola umum timur timur laut - barat barat daya yang merupakan bagian dari sistem sesar geser mengiri regional yang dikenal sebagai Sesar Cimandiri. Sesar ini memanjang dari sekitar Pelabuhanratu hingga Padalarang dan diperkirakan menyambung dengan Sesar lembang di utara Bandung dengan panjang hampir 100 km (Hutabarat, 2023). Beberapa sesar yang lebih muda memotong sesar ini berarah barat laut-tenggara hingga hampir utara-selatan. Berdasarkan kejadian gempabumi terakhir yang terjadi di wilayah ini juga teridentifikasi adanya sesar baru berorientasi relatif utara barat laut – selatan tenggara di barat laut kota Cianjur yang dikenal sebagai Sesar Cugenang.

METODOLOGI

Beberapa parameter yang cukup penting di dalam kajian karakteristik faktor penguatan gelombang seismik oleh lapisan lunak di permukaan diantaranya adalah : kecepatan gelombang geser baik untuk lapisan permukaan maupun lapisan batuan yang mengalasinya, ketebalan endapan permukaan, frekuensi dominan tanah dan faktor kualitas dari lapisan permukaan. Dalam penyelidikan ini pemodelan kecepatan gelombang geser dilakukan dari inversi data mikrotremor *array* yang diukur di 18 lokasi di wilayah perkotaan Cianjur dan sekitarnya (Gambar 2). Pengukuran mikrotremor *array* dilakukan dengan 10 seismometer secara simultan dengan konfigurasi triangle nested (lihat inset Gambar 2). Aperture

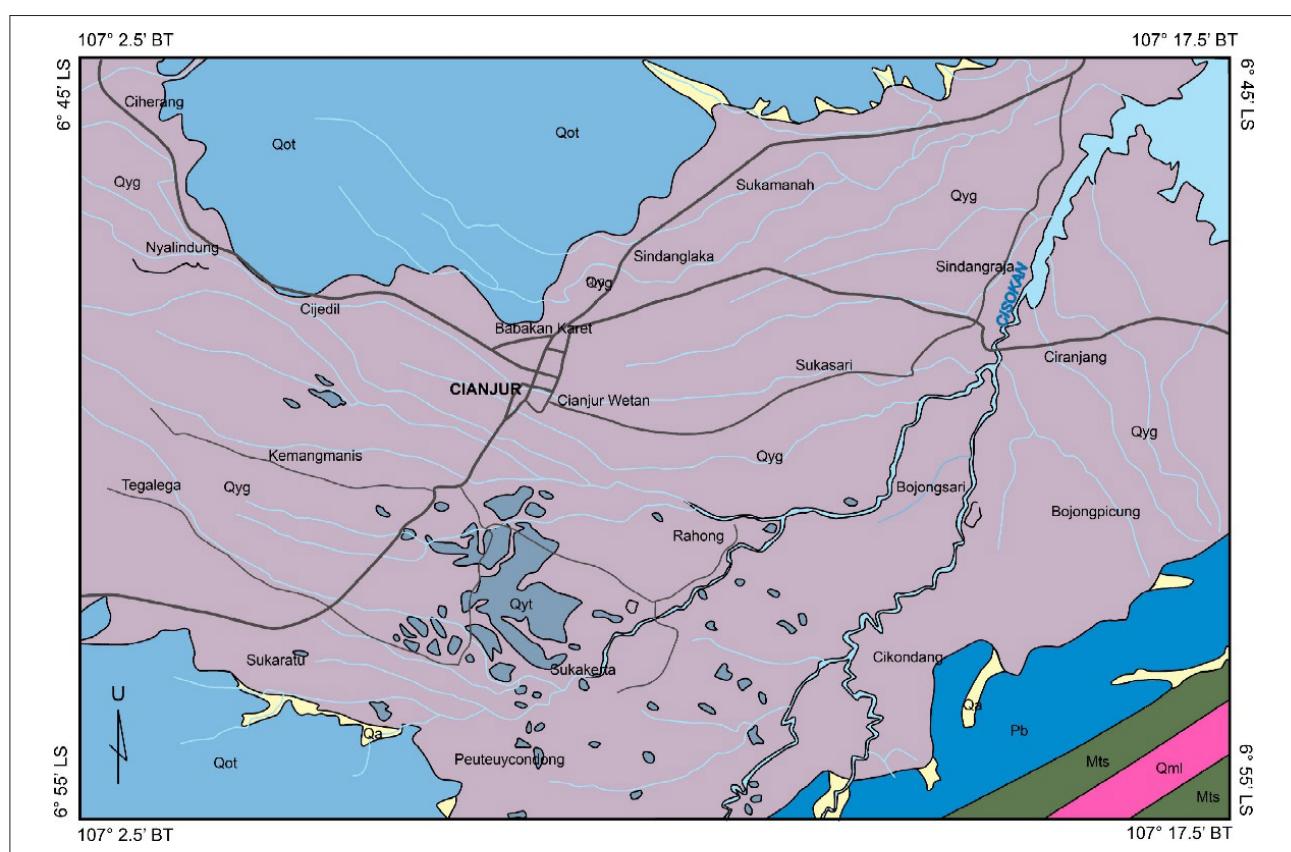
konfigurasi array berkisar antara 3 m - 20 m.

Pengolahan data mikrotremor array dilakukan dengan algoritma Spatial Autocorrelation (Aki, 1957), kemudian dilakukan inversi dengan algoritma Divers dari perangkat lunak Geopsy. Pendekatan pemodelan dilakukan dengan pemodelan sederhana dua (2) lapis dimana lapisan pertama / atas mewakili lapisan lunak permukaan dan lapisan kedua diduga batuan vulkanik yang lebih kompak.

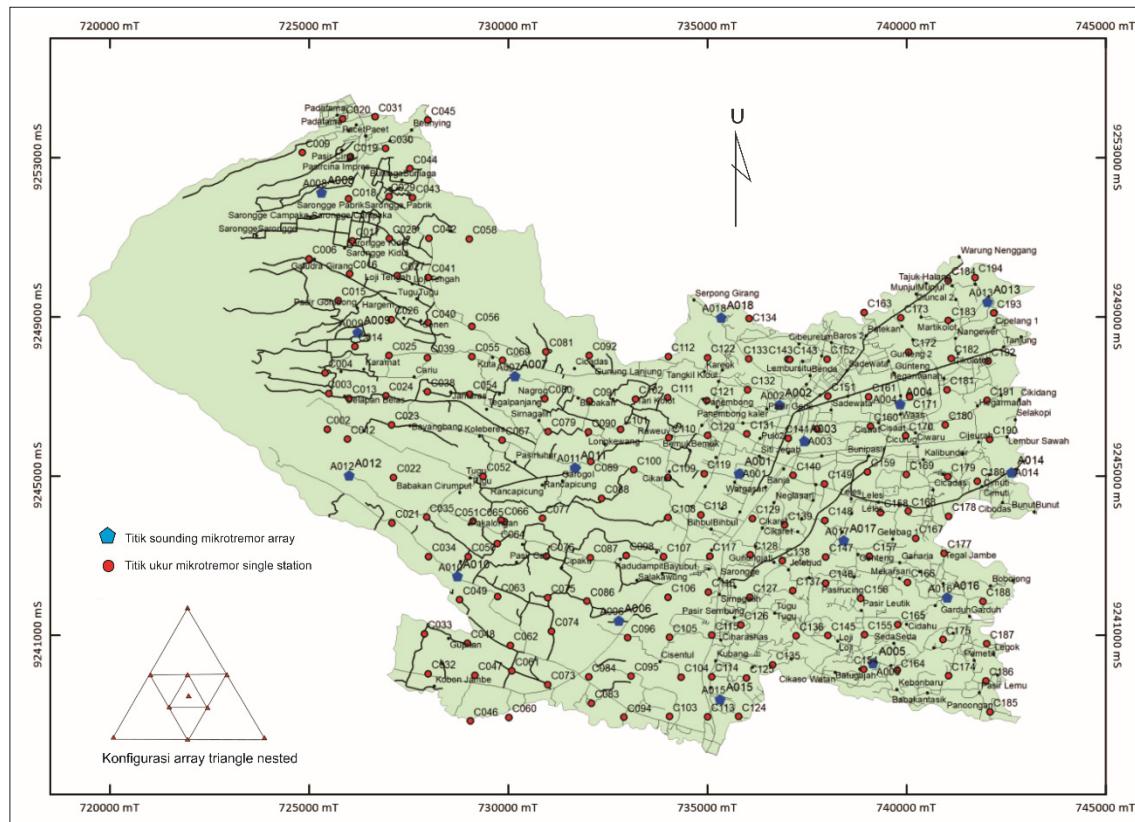
Secara lateral sebaran nilai kecepatan gelombang geser kedua lapis batuan ini diinterpolasi dari 18 model 1D data mikrotremor array tersebut. Adapun

ketebalan lapisan permukaan dihitung berdasarkan data mikrotremor single station, dimana ketebalan lapisan lunak di permukaan berbanding terbalik dengan frekuensi dominan tanah terukur dan berbanding langsung dengan kecepatan gelombang geser lapisan permukaan.

Dalam kajian ini mikrotremor single station diukur di 189 lokasi (lihar gambar 2) dengan jarak rata-rata antar titik pengukuran mikrotremor kurang lebih 1 km. Akuisisi data dilakukan dengan seismometer Geobit tipe C-100 dengan durasi perekaman masing-masing sekitar 30 menit.



Gambar 1. Peta geologi daerah perkotaan Cianjur dan sekitarnya (dimodifikasi dari Sudjatmiko, 1972)



Gambar 2. Sebaran titik ukur mikrotremor array dan single station

DASAR TEORI

Secara alamiah kondisi geologi bawah permukaan adalah berlapis-lapis karena proses pengendapan terjadi secara bertahap. Umumnya batuan yang lebih tua berada di bawah / dalam, dan mempunyai rapat massa lebih besar karena menerima tekanan yang lebih berat. Kondisi batuan yang berlapis-lapis tersebut akan mempengaruhi tingkah laku penjalaran gelombang seismik. Gelombang seismik yang datang dari lapisan batuan lebih pejal ke lapisan batuan yang lebih lunak akan mengalami penguatan amplitudo.

Namun demikian dalam tataran praktis perhitungan nilai faktor penguatan gelombang dengan model geologi bawah permukaan *multi layer* sulit untuk diterapkan, terutama dalam akuisisi data untuk penentuan frekuensi dominan tanah yang berkaitan dengan masing-masing layer batuan secara individual. Pendekatan yang lebih *applicable* adalah dengan model dua lapis batuan yang mewakili kontras impedansi terbesar antar kedua lapisan batuan tersebut, karena parameter ini yang menyumbang nilai faktor penguatan paling dominan. Untuk model kondisi geologi bawah permukaan dua lapis, secara matematik nilai faktor penguatan gelombang adalah

sebagai berikut (Prabowo, dkk., 2016) :

$$A_2 = \left(\frac{\rho_b V_{sb}}{\rho_s V_{ss}} \right) \exp \left(- \frac{\pi f_o h_s}{Q_s V_{ss}} \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

- A_2 = besarnya nilai penguatan gelombang model 2 lapis
 ρ_s = rapat masa batuan sedimen permukaan
 ρ_b = rapat masa lapisan batuan yang mengalasi sedimen permukaan
 V_{ss} = kecepatan gelombang geser lapisan batuan sedimen permukaan
 V_{sb} = Kecepatan gelombang geser lapisan batuan yang mengalasi sedimen

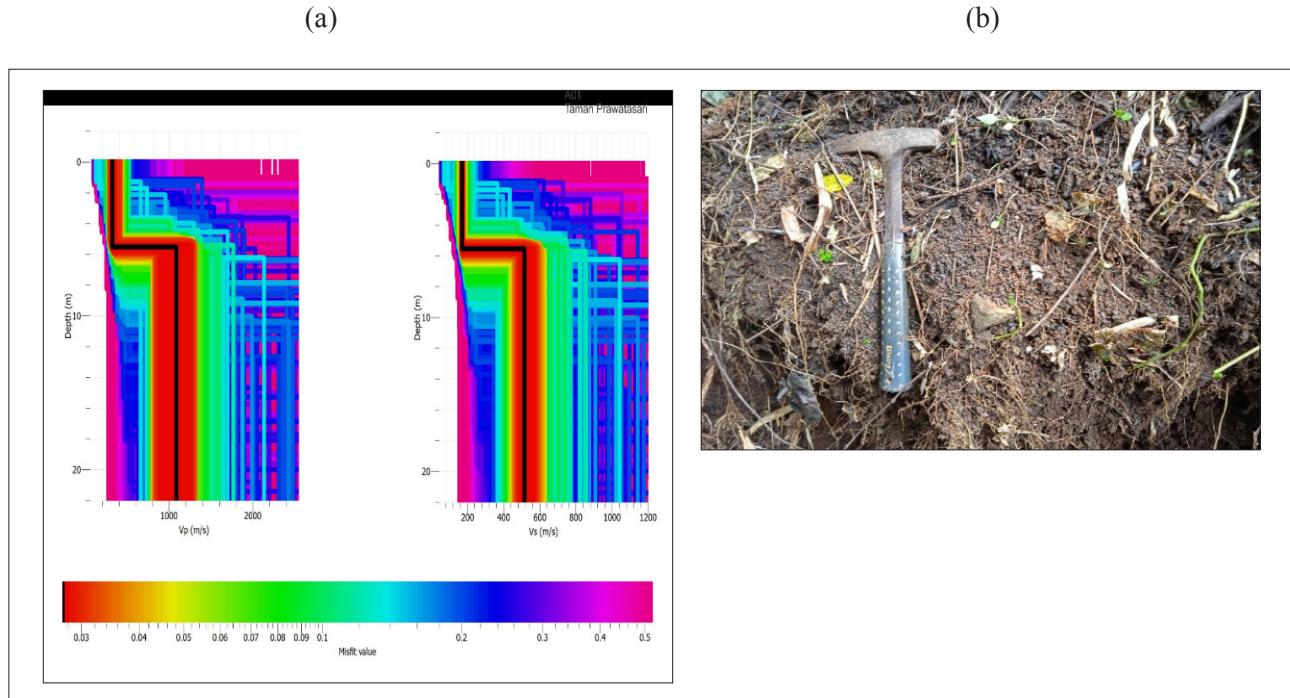
DISKUSI

Secara umum litologi permukaan perkotaan Cianjur dan sekitarnya merupakan endapan produk G. Gede-Pangrango. Berdasarkan pengamatan di lapangan litologi permukaan umumnya dalam kondisi lapuk berupa *soil* yang cukup tebal. Disamping itu, di area-area dengan morfologi relatif rendah terjadi

pengendapan bahan rombakan oleh proses fluvial. Kedua jenis material ini yang umumnya menyusun lapisan permukaan lunak yang menumpang di atas batuan vulkanik yang lebih keras.

Hasil inversi data mikrotremor *array* umumnya menunjukkan hasil yang cukup baik yang dapat

dilihat dari nilai *missfit*nya. Contoh profil kecepatan gelombang di lokasi pengukuran A01 (Lapangan Prawatasari) ditunjukkan pada Gambar 3 (a). Pada lokasi ini lapisan lunak permukaan berupa *soil* yang cukup tebal yang diamati di tebing sungai sebelah barat lapangan Prawatasari (Gambar 3 (b)).



Gambar 3. Profil kecepatan gelombang geser hasil inversi data microtremor array di titik A01

Hasil inversi menunjukkan lapisan permukaan ini memiliki kecepatan gelombang geser sebesar 176 m/detik. Adapun batuan yang mengalami *soil* ini diduga merupakan batuan vulkanik yang merupakan batuan asal dari *soil* ini yang masih relatif segar dengan kecepatan gelombang geser sebesar 516 m/detik.

Secara keseluruhan hasil inversi data mikrotremor *array* di daerah penyelidikan, lapisan permukaan memiliki kecepatan gelombang geser berkisar antara 50 m/detik - 308 m/detik. Berdasarkan SNI 1726-2019 (BSN, 2019), rentang kecepatan gelombang geser ini termasuk ke dalam kategori *soil* lunak hingga *soil* medium. Sebaran besaran kecepatan gelombang geser lapisan permukaan untuk seluruh daerah penyelidikan dapat dilihat pada Gambar 4.

Sebaran kecepatan gelombang geser lapisan permukaan menunjukkan zona kecepatan relatif tinggi menempati bagian tengah daerah penyelidikan dan membentuk

pola memanjang berarah relatif timur laut-barat daya. Zona kecepatan paling tinggi berada di sekitar pusat kota. Hal ini dapat dipahami karena area ini lapisan permukaan telah mengalami konsolidasi oleh rapatnya pemukiman dan infrastruktur. Adapun daerah sebelah barat area pusat kota yang juga memiliki kecepatan gelombang geser umumnya merupakan area persawahan.

Zona kecepatan gelombang geser rendah menempati bagian tenggara dan barat daerah penyelidikan. Secara morfologi daerah bagian tenggara ini merupakan area paling rendah di daerah penyelidikan, sehingga zona kecepatan gelombang geser rendah ini kemungkinan berkaitan dengan endapan fluvial di daerah ini. Adapun di ujung barat daerah penyelidikan yang juga memiliki kecepatan gelombang geser rendah umumnya merupakan daerah tinggian berupa area perkebunan dan hutan.

Berdasarkan hasil perhitungan ketebalan lapisan lunak permukaan dari data mikrotremor *single station* diperoleh nilai ketebalan berkisar antara 2 m hingga 62 m. Sebaran ketebalan lapisan permukaan menunjukkan adanya pola cekungan di bagian tengah daerah penyelidikan yang memanjang berarah relatif timur timur laut-barat barat daya (Gambar 5). Pola ini diduga merupakan pola paleomorfologi awal sebelum terkubur menjadi dataran saat ini.

Parameter berikutnya yang cukup penting dalam perhitungan faktor penguatan gelombang adalah besaran kecepatan gelombang geser batuan yang mengalasi lapisan permukaan. Dalam kasus di wilayah perkotaan Cianjur dan sekitarnya, batuan yang mengalasi lapisan lunak permukaan diyakini berupa batuan produk Gunung Gede Pangrango yang masih relatif segar. Hasil pemodelan menunjukkan lapisan batuan ini memiliki kecepatan gelombang geser berkisar antara 246 m/detik hingga 1415 m/detik dengan pola sebaran seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Kondisi fisis lapisan batuan ini ternyata cukup berbeda dibandingkan sebaran kecepatan gelombang geser lapisan permukaan. Daerah zona kecepatan gelombang geser tinggi menempati bagian tengah dengan pola memanjang relatif utara-selatan, serta sedikit di bagian tenggara daerah penyelidikan. Zona ini memiliki kecepatan gelombang geser diatas 750 m/detik yang termasuk dalam kategori batuan sedang (BSN, 2019). Selebihnya di luar area tersebut memiliki kecepatan gelombang geser kurang dari 750 m/detik yang termasuk dalam kategori soil keras atau batuan lunak. Pola sebaran kecepatan gelombang geser batuan ini kemungkinan berkaitan dengan tingkat kesegaran dan jenis batuan di bawah permukaan, namun demikian perlu dikaji lebih jauh untuk memahami secara lebih mendalam.

Berdasarkan persamaan (1), faktor utama yang paling berpengaruh dalam perhitungan nilai penguatan gelombang adalah kontras impedans antara lapisan batuan lunak permukaan dan lapisan batuan yang mengalasinya. Adapun parameter-parameter yang lain pengaruhnya relatif kecil. Namun demikian dalam kajian ini tidak dilakukan pengukuran sampel densitas batuan, sehingga nilai kontras impedans dapat didekati dengan nilai kontras kecepatan gelombang geser (Kokusho dan Sato, 2008). Hasil perhitungan

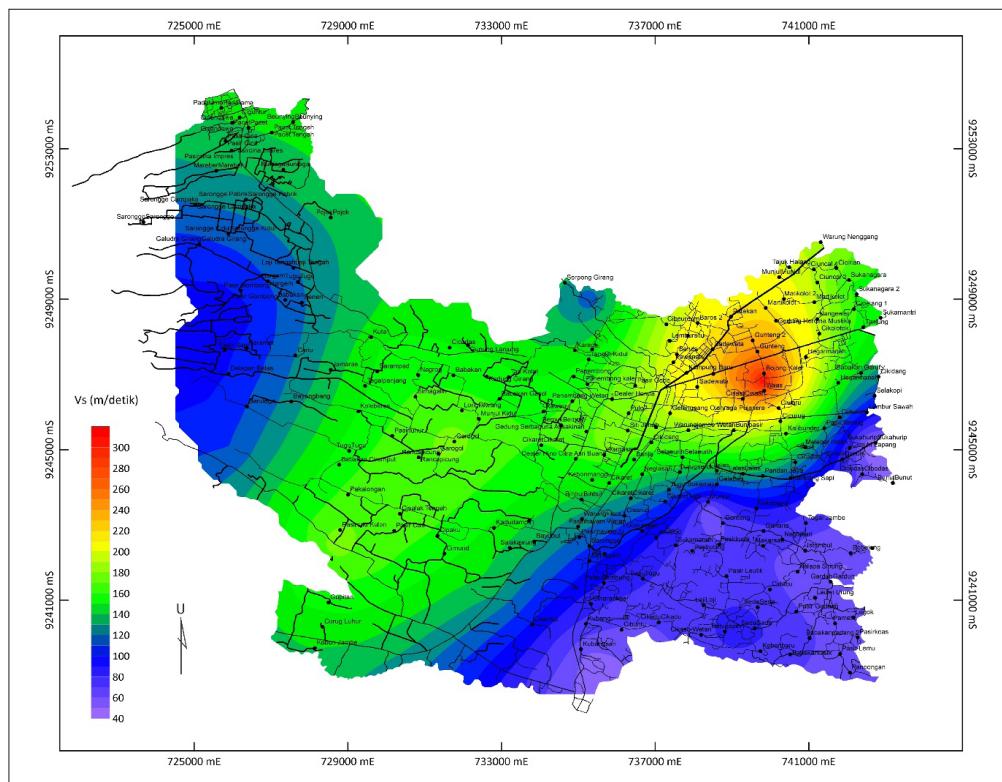
nilai faktor penguatan gelombang dalam kajian ini disajikan dalam Gambar 7.

Nilai faktor penguatan gelombang daerah penyelidikan berkisar antara 1-2,4 kali. Nilai penguatan gelombang 1 artinya gelombang gempabumi tidak mengalami penguatan. Pola sebaran anomali relatif tinggi menempati bagian utara barat area penyelidikan yakni di wilayah Kecamatan Cugenang dan bagian selatan daerah penyelidikan yang memanjang berarah barat-timur dari wilayah Kecamatan Warungkondang di bagian barat hingga Kecamatan Cilaku di timur. Di luar area tersebut umumnya memiliki nilai faktor penguatan gelombang yang relatif rendah.

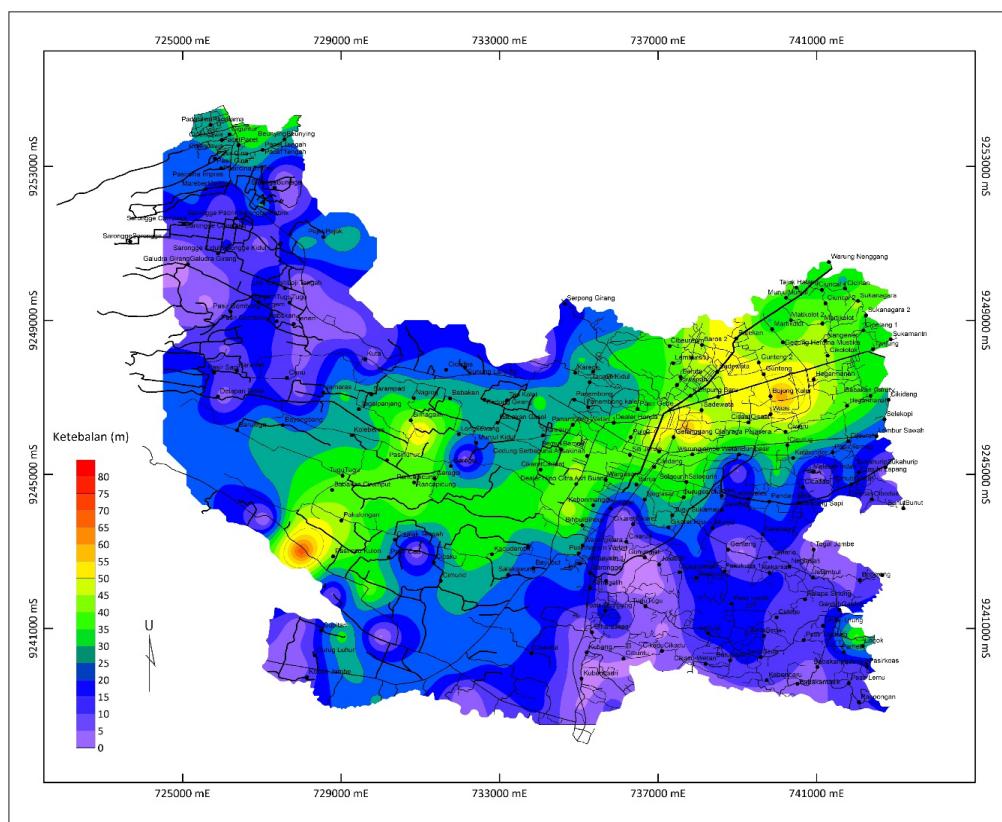
Berdasarkan catatan kerusakan pemukiman dan infrastruktur akibat kejadian Gempabumi Cianjur 22 Nopember 2022, daerah terparah terjadi di Kecamatan Cugenang yang mengalami intensitas guncangan tanah terbesar, yakni pada skala VIII MMI (Supartoyo, dkk., 2023). Disamping dekat dengan pusat gempabumi, kuatnya guncangan ini juga merupakan efek dari penguatan gelombang oleh lapisan permukaan. Kerusakan berat bangunan umumnya terjadi pada *non engineered building*. Adapun wilayah Kecamatan Warungkondang dan Kecamatan Cilaku yang juga merupakan zona nilai faktor penguatan gelombang relatif tinggi memiliki intensitas guncangan tanah pada VII skala MMI.

Kesesuaian tingkat intensitas guncangan tanah dan nilai faktor penguatan gelombang di ketiga kecamatan ini cukup memberikan gambaran bahwa parameter faktor penguatan gelombang dapat memberikan indikasi potensi resiko terhadap bahaya gempabumi, sehingga parameter ini dapat digunakan sebagai salah satu data dasar dalam penataan ruang wilayah berbasis kebencanaan.

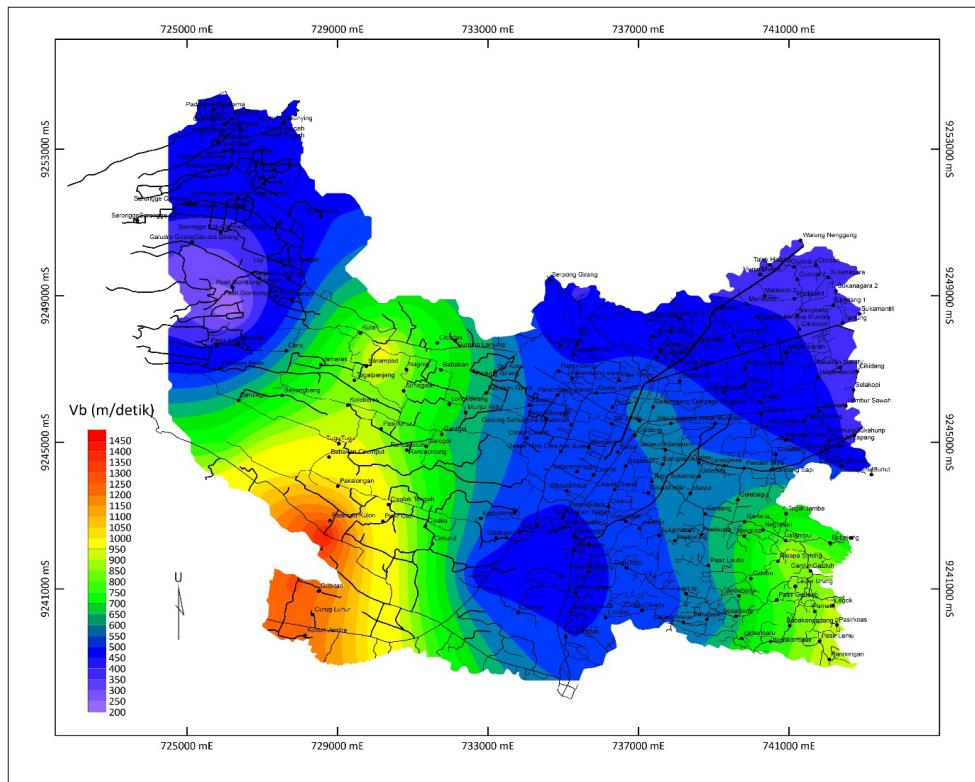
Dalam penerapannya sebagai salah satu komponen data dasar penataan ruang wilayah, maka nilai faktor penguatan gelombang dapat diklasifikasikan menjadi zona kerentanan tinggi, sedang dan rendah yang dikenal sebagai mikrozonasi seismik (*seismic microzonation*). Pengembangan wilayah lebih lanjut dapat diarahkan pada zona-zona berkerentanan rendah. Adapun zona berkerentanan tinggi dapat dimanfaatkan untuk pengembangan sektor-sektor beresiko rendah seperti, pertanian, perkebunan, kehutanan dan sebagainya.



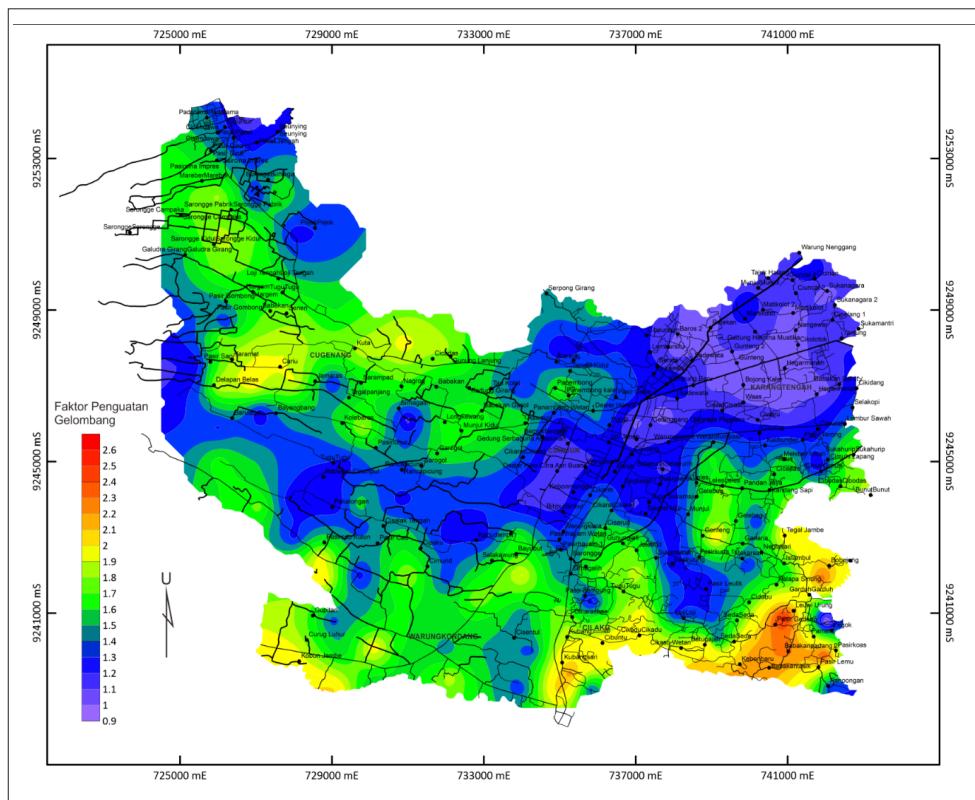
Gambar 4. Sebaran kecepatan gelombang geser lapisan lunak permukaan daerah perkotaan Cianjur dan sekitarnya.



Gambar 5. Ketebalan lapisan lunak permukaan daerah perkotaan Cianjur dan sekitarnya.



Gambar 6. Sebaran lapisan batuan yang mengalasi lapisan lunak permukaan yang diinterpretasikan sebagai batuan produk Gunung Gede Pangarango yang relatif masih segar.



Gambar 7. Sebaran nilai faktor penguatan gelombang (*site amplification*). Parameter ini menunjukkan tingkat kerentanan relatif terhadap guncangan tanah ketika terjadi gempabumi.

KESIMPULAN

Area perkotaan Cianjur dan sekitarnya merupakan area yang cukup berkembang, berbagai fasilitas pemerintahan, layanan umum, pendidikan, komersial dan fasilitas pariwisata telah dibangun di area ini. Namun demikian secara historis wilayah ini pernah dilanda bencana gempabumi merusak dengan jumlah korban yang tidak sedikit. Kondisi ini menyiratkan bahwa area ini dekat dengan struktur geologi aktif yang bisa terjadi lagi di masa yang akan datang. Disamping itu resiko bencana juga berasal dari kondisi litologi permukaan setempat yang berpotensi mengalami penguatan gelombang ketika gempabumi terjadi. Penyiapan data dasar kebencanaan dalam menunjang perencanaan perkotaan dimasa mendatang perlu dilakukan untuk mengurangi dampak kejadian bencana. Salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai indikator tingkat resiko adalah nilai faktor penguatan gelombang.

Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa nilai faktor penguatan gelombang di area penyelidikan berkisar antara 1 hingga 2,4 kali. Zona faktor penguatan gelombang tinggi menempati bagian utara barat

daerah penyelidikan, yakni di wilayah Kecamatan Cugenang yang diidentifikasi sebagai area kerusakan terparah. Zona faktor penguatan gelombang tinggi juga menempati bagian selatan daerah penyelidikan dengan pola memanjang berarah barat-timur dari wilayah Kecamatan Warungkondang di barat hingga Kecamatan Cilaku di timur.

Sebaran nilai faktor penguatan gelombang dapat memberikan gambaran potensi guncangan tanah, sehingga dapat menjadi salah satu komponen dalam penataan ruang wilayah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Survei Geologi, yang telah mengijinkan tim penyelidikan Karakteristik Sedimen Permukaan Daerah Perkotaan Cianjur dan Sekitarnya untuk melakukan kajian di area ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada para teknisi yang telah membantu menyiapkan peralatan dan proses akuisisi data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K. 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthquake Res. Inst. 35, p415–456.
- Sudjatmiko, 1992, Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Supartoyo, Sukahar Eka Adi Saputra, Kristianto, S.R. Sinung Baskoro, Anjar Heriwaseso, Sumaryono, Atep Kurnia, M. Wachyudi Memed, Selasian Gussyak, Hidayat, G.m. Lucky Junursyah, Joko Wahyudiono, Agus Budianto, M.n. Kartadinata, Nannang Suryono, Aji Suteja, M. Ervan, Yayan Sopyan, Agus Garniwan, Haunan Afif, Athanasius Cipta, Ujang Jajat Solehudin, Nur Rokhman, Yasa Suparman, Asep Sutia Erawata, M. Nizar Firmansyah, Yohandi Kristiawan, Eep Ridwan Firdaus, Andrikni Wiria Kusumah, Sony Mawardi, Novie N. Afatia, Godwin Latuputty, Ginda Hasibuan, Muhammad Agung Akrom Fahmi, Taufiq Wira Buana, Agus Budi anto, dan Imam Catur Priambodo, 2023. Bumi Cianjur Berguncang: Geologi Menyelidiki dan Memitigasi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral.
- Tejakusuma, I.G., Prawiradisastra, F., Sugianti, K., Tohari, A., Zakaria, Z., Trisnafiah, S., Fitriani, R., Putra, D.B., Martireni, A.P., dan Budiman, B., 2023. Characteristics of Landslides Induced by an Earthquake from a Hidden Strike-Slip Active Fault in the Cianjur Area of West Java, Proceeding of the 15th AIWEST-DR 2023.
- Marjiyono, 2016. Potensi Penguatan Gelombang Gempabumi oleh Sedimen Permukaan Kota Mataram, Nusa

Tenggara Barat, Jurnal Lingkungan dan Kebencanaan Volume 7 No. 3 2016.

Uyanik, O., Oncu, Z., Uyanik, N.A. dan Ekin, N., 2024. Seismic Microzonation and Geotechnical Modeling Studies Considering Local Site Effects for İnegöl Plain (Bursa Turkey), Earth and Space Science Vol 11 2024

Hutabarat, L.E., 2023. Tinjauan Geologis Gempa Cianjur November 2022, e-Jurnal Rekayasa teknik Sipil dan Lingkungan Vol. 4, No. 1 April 2023.

Prabowo, U.N., Marjiyono, Sismanto, 2016. Amplifikasi dan Atenuasi Gelombang Seismik di Lapisan Sedimen Permukaan, Jurnal Sciencetech, Vol 2, April 2016.

BSN, 2019. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2019.

Kokusho, T., dan Sato, K., 2008. Site Amplification Formula for Seismic Zonation Based on Downhole Array Records During Strong Earthquakes, Proceeding of The 14th World Conference on Earthquake Engineering October12-17, 2008, Beijing, China.
