

Identifikasi Karakteristik Tanah dan Struktur Kecepatan Gelombang Geser Menggunakan Data Mikrotremor di Daerah Lembang, Jawa Barat

Adelia Fatimah^{1,*}, Sesar Prabu Dwi Sriyanto², Bambang Sunardi³, Wandono⁴

¹Stasiun Geofisika Manado, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

²Pusat Gempabumi dan Tsunami, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

³Stasiun Geofisika Yogyakarta, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

⁴Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

*Email: sesar.sriyanto@gmail.com

Submit: 2021-04-12; Revised: 2021-05-26 ; Accepted: 2022-01-18

Abstrak: Lembang menjadi salah satu daerah yang memiliki tingkat bahaya kegempaan yang tinggi karena terletak dekat dengan struktur Sesar Lembang. Sebagai langkah mitigasi, dilakukan identifikasi karakteristik tanah lokal dan pemodelan struktur kecepatan gelombang geser di wilayah ini. Hal ini sangat penting untuk identifikasi daerah-daerah dengan potensi kerentanan bahaya gempabumi yang tinggi berdasarkan efek tanah lokalnya, serta untuk perencanaan dan pengembangan infrastruktur bangunan tahan gempa. Investigasi ini dilakukan menggunakan metode HVSR dan pemodelan inversi eliptisitas gelombang Rayleigh. Data yang digunakan pada metode-metode tersebut adalah data mikrotremor. Data mikrotremor dikumpulkan dengan menempatkan seismograf portabel di 26 titik lokasi pengukuran selama 30 menit untuk masing-masing titik. Hasil dari analisis HVSR menunjukkan bahwa secara umum bagian utara daerah penelitian memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang lebih tinggi daripada bagian selatan. Pola sebaran indeks kerentanan seismik ini selaras dengan pola sebaran nilai amplifikasi yang tinggi dan frekuensi dominan tanah yang rendah di bagian utara daerah penelitian. Pemodelan inversi eliptisitas gelombang Rayleigh menggunakan kurva keluaran HVSR menghasilkan struktur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter di masing-masing titik. Secara umum, kecepatan gelombang geser yang berkisar antara 118-560 m/s meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter (V_{s30}) ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk menilai klasifikasi jenis tanah di lokasi pengukuran. Berdasarkan data yang diperoleh, jenis tanah di seluruh titik pengukuran termasuk dalam jenis tanah sedang dengan rentang nilai V_{s30} antara 194.48 m/s – 246.23 m/s.

Kata kunci: Sesar Lembang, HVSR, eliptisitas gelombang Rayleigh, V_{s30}

Abstract: Lembang is one of the high-level seismic hazard areas because it lies near the Lembang fault structure. In an effort to mitigate its effects, we identify the local soil characteristics and the shear wave velocity structure to lessen its effect. It is essential to investigate areas that are vulnerable to earthquake hazards and then adapt by building

earthquake-resistant infrastructure. The investigation was carried out using the HVSR and Rayleigh wave ellipticity inversion methods. We collected the microtremor data by deploying a portable seismograph at 26 sites for 30 minutes at each location. Generally, the results of the HVSR analysis show that the northern part of the study area has a higher seismic vulnerability index than the southern part. The distribution pattern of the seismic vulnerability index is in line with the spatial pattern of high amplification values and low soil dominant frequency in the northern part of the study area. Rayleigh wave ellipticity inversion using the HVSR output curve produces a shear wave velocity structure up to a depth of 30 meters at each site. In general, the shear wave velocity in the range of 118-560 m/s increases with increasing depth. The average shear wave velocity up to a depth of 30 meters (V_{s30}) can be used as a reference for assessing the classification of soil types at the site. Based on the data obtained, the soil type at all locations is included in the medium soil type with a value range of V_{s30} between 194.48 m/s and 246.23 m/s.

Keywords: Lembang fault, HVSR, Rayleigh wave ellipticity, V_{s30}

1 PENDAHULUAN

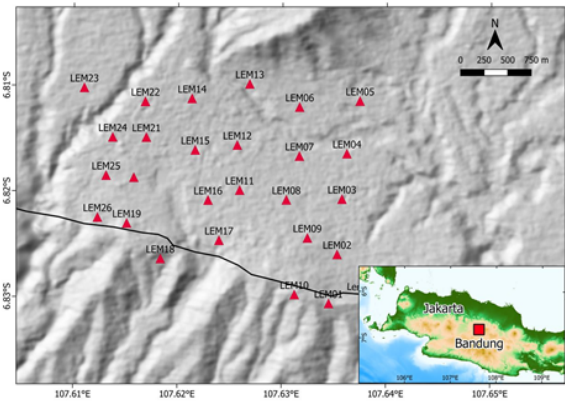
Keberadaan struktur Sesar Lembang di sebelah utara Kota Bandung, Jawa Barat menjadi ancaman bagi masyarakat sekitarnya karena dapat berpotensi menyebabkan bencana gempabumi. Daryono dkk. (2019) menyebutkan bahwa Sesar Lembang yang memiliki panjang 29 km berpotensi menyebabkan gempabumi berkekuatan Mw 6.5-7.0 dengan periode ulang gempabumi 170-670 tahun. Slip rate Sesar Lembang diperkirakan sebesar 6 mm/tahun dengan zona kuncian pada kedalaman 3-15 km (Meilano dkk., 2012). Secara umum, tipe pergerakan sesar adalah geser mengiri namun ada pergerakan normal-oblique di bagian timur (Afnimar dkk., 2015; Supendi dkk., 2018; Nugraha dkk., 2019).

Supendi dkk. (2018) menyebutkan setidaknya telah terjadi 4 gempabumi selama 2009-2015 di sepanjang Sesar Lem-

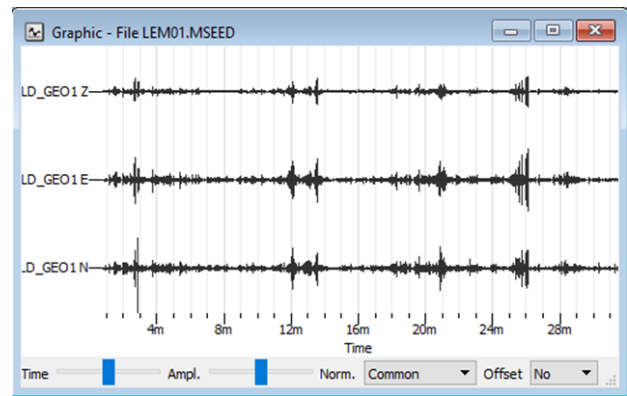
bang. Di tahun 2017, tercatat ada 2 gempabumi terjadi pada tanggal 14 dan 17 Mei 2017 dengan magnitudo masing-masing M 2.8 dan M 2.9 (Nugraha dkk., 2019). Berdasarkan data BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika), gempabumi yang terjadi pada tanggal 21 Juli 2011, 28 Agustus 2011, dan 14 Mei 2017 dirasakan oleh masyarakat dan menyebabkan beberapa rumah rusak. Afmimar dkk. (2015) melaksanakan investigasi lebih lanjut menggunakan jaringan seismik temporer yang dipasang di sekitar Sesar Lembang dalam rentang waktu Mei 2010-Desember 2011. Hasil yang diperoleh menunjukkan ada 9 kejadian gempa bumi dengan rentang magnitudo Mw 0.3 – Mw 2.0 dalam kurun waktu Juli-Oktober 2011. Studi paleoseismologi juga menemukan bahwa setidaknya pernah terjadi 3 gempabumi di masa lalu, yang diperkirakan terjadi pada abad ke-15, 2300-60 tahun sebelum masehi, dan 19620-19140 tahun sebelum sekarang (Daryono dkk., 2019).

Potensi bahaya gempabumi ini perlu diwaspadai karena terdapat daerah pemukiman yang cukup padat di dekat Sesar Lembang, yaitu di Kecamatan Lembang. Data terbaru menunjukkan bahwa jumlah penduduk Kecamatan Lembang sebanyak 196,700 jiwa dengan kepadatan penduduk mencapai 2,058 jiwa/km² (BPS, 2020). Selain memiliki jumlah penduduk yang cukup banyak, daerah ini juga menjadi daerah wisata sehingga resiko bencana gempabumi dapat meningkat pada waktu hari libur. Salah satu upaya mitigasi bencana gempabumi adalah dengan mengidentifikasi karakteristik tanah lokal karena sangat mempengaruhi kerusakan bangunan akibat guncangan gempabumi. Dampak kerusakan di permukaan akibat gempabumi sangat dipengaruhi oleh amplifikasi guncangan yang diakibatkan karena adanya lapisan sedimen dekat permukaan (Maghami dkk., 2021). Hasil identifikasi ini selanjutnya dapat digunakan untuk memetakan lokasi-lokasi dengan indeks kerentanan seismik yang tinggi sehingga dapat menjadi acuan dalam perencanaan dan pengembangan infrastruktur berbasis mitigasi bencana (Vessia dkk., 2020).

Sebelumnya, identifikasi karakteristik tanah dan pemodelan struktur kecepatan gelombang seismik di daerah Lembang telah dilakukan oleh Pranata dkk. (2018) dan Pranata dkk. (2019). Pranata dkk. (2018) mengidentifikasi karakteristik tanah menggunakan metode HVSR sedangkan Pranata dkk. (2019) melakukan pemodelan struktur kecepatan gelombang seismik menggunakan metode *ambient noise tomography* (ANT). Kedua studi tersebut sama-sama menggunakan data ambient noise atau mikrotremor dari 60 seismograf temporer yang dipasang di daerah cekungan Bandung, termasuk di dalamnya wilayah Kecamatan Lembang. Hasilnya telah mencakup daerah cekungan Bandung dengan model struktur kecepatan hingga kedalaman 10 km. Namun demikian, studi-studi tersebut belum mengkaji dalam skala yang lebih detail baik secara horizontal maupun vertikal. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan investigasi pada skala khusus daerah Lembang dengan model struktur kecepatan pada kedalaman dangkal. Struktur kecepatan kedalaman dangkal penting untuk diteliti karena sangat berkaitan dengan pekerjaan rekayasa bangunan tahan gempa.



Gambar 1. Sebaran titik lokasi pengukuran data mikrotremor di daerah Lembang, Jawa Barat. Kotak merah pada gambar inset menunjukkan lokasi penelitian



Gambar 2. Contoh tampilan data mikrotremor 3 komponen pada titik LEM01 yang berdurasi 30 menit

2 DATA DAN METODE

2.1 Data

Penelitian ini menggunakan data pengukuran mikrotremor sejumlah 26 titik yang tersebar di wilayah Lembang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sebelum pelaksanaan survei, terlebih dahulu dibuat rencana lokasi pengukuran dengan jarak grid ±500 meter, namun keberadaan rencana titik pada lokasi yang tidak dimungkinkan menyebabkan adanya pergeseran beberapa titik dari lokasi rencana semula. Akuisisi data mikrotremor dilakukan menggunakan sensor seismograf portable digital TDL-303 dengan durasi ±30 menit untuk tiap titik pengukuran (SESAME, 2004). Setiap data yang diperoleh mengandung 3 komponen seismogram, yaitu komponen horizontal N-S (*North-South*), komponen horizontal E-W (*East-West*), dan komponen vertikal (Z). Contoh data mikrotremor 3 komponen yang diperoleh di lokasi LEM01 ditunjukkan pada Gambar 2.

2.2 HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah lokal adalah metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) menggunakan data mikrotremor. Metode ini sangat terkenal karena cukup mu-

dah dilakukan dan memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi tanah sebenarnya. Issaadi dkk. (2020) juga menyebutkan bahwa metode ini cocok untuk investigasi di daerah perkotaan karena non destruktif, murah, dan cepat implementasinya. Prinsip kerja metode ini adalah dengan membandingkan spektrum sinyal komponen horizontal terhadap spektrum sinyal komponen vertikal dari data rekaman mikrotremor sehingga efek sumber dapat dihilangkan. Nakamura (1989) mengasumsikan bahwa hanya data mikrotremor horizontal saja yang terpengaruh oleh karakteristik tanah lokal, sementara karakteristik spektrum sumber tetap terdapat di komponen vertikal. HVSR dihitung dengan persamaan berikut:

$$HVSR(f) = \sqrt{\frac{A_E(f)^2 + A_N(f)^2}{A_Z(f)^2}} \quad (1)$$

dimana HVSR (f) adalah rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikal, $A_E(f)$ adalah spektrum komponen horizontal timur-barat, $A_N(f)$ adalah spektrum komponen horizontal utara-selatan, dan $A_Z(f)$ adalah spektrum komponen vertikal. Hasil pengolahan metode HVSR yaitu berupa nilai frekuensi dominan dan nilai faktor amplifikasi yang selanjutnya dapat digunakan untuk mendapatkan nilai periode dominan dan nilai indeks kerentanan seismik. Penelitian yang dilakukan oleh Nakamura (1989) menunjukkan bahwa efek lokal, amplifikasi, dan frekuensi dominan merupakan faktor penting dalam mitigasi suatu wilayah terhadap ancaman gempa bumi. Indeks kerentanan tanah berdasarkan mikrotremor juga bermanfaat untuk memprediksi zona rawan likuifaksi (Huang dan Tseng, 2002) dan rekahan tanah akibat gempa bumi.

2.3 Inversi Eliptisitas Gelombang Rayleigh

Kurva hasil keluran metode HVSR dapat diolah lebih lanjut untuk memperoleh struktur kecepatan gelombang seismik kedalaman dangkal menggunakan metode inversi eliptisitas gelombang Rayleigh (Sunardi, 2019). Metode inversi ini adalah proses pemodelan struktur bawah permukaan untuk mendapatkan parameter-parameter elastis kurva dispersi yang sebelumnya tidak diketahui. Langkah pertama yang dilakukan yaitu mengolah data mikrotremor menggunakan metode HVSR untuk mendapatkan eliptisitas gelombang Rayleigh. Tahap selanjutnya yaitu melakukan inversi untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser (Vs) dengan memasukkan parameter model awal yang bersesuaian dengan sifat fisis tanah di wilayah penelitian, seperti kecepatan gelombang geser (V_s), kecepatan gelombang primer (V_p), massa jenis batuan (ρ), dan poisson ratio (σ). Inversi ini memanfaatkan Teknik *Monte Carlo* atau *conditional neighbourhood algorithm* (Sambridge, 1999). Penyelesaian dari proses inversi bergantung pada kemampuan dalam menentukan nilai parameter yang mendekati data eksperimen dengan cara melakukan pengulangan (iterasi), tingkat keakuratan dari proses ini dapat dilihat dari *misfit* (ketidakkcocokan). Perhitungan misfit diperoleh dari persamaan berikut:

Tabel 1. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan SNI 1726:2019 (BSN, 2019)

Klasifikasi Tanah	Vs30 (m/s)
SE (Tanah Lunak)	Vs30 < 175
SD (Tanah Sedang)	175 Vs30 ≤ 350
SC (Tanah Keras, Batuan Lunak)	350 Vs30 ≤ 750
SB (Batuan)	750 Vs30 ≤ 1500
SA (Batuan Keras)	Vs30 > 1500

$$misfit = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i - M_i}{\sigma_i} \right)^2} \quad (2)$$

dengan N merupakan jumlah titik data, D_i adalah data hasil inversi, M_i merupakan model struktur tanah, dan adalah standar deviasi dari data hasil inversi dengan $1 \leq i \leq N$. Jika nilai misfit yang dihasilkan masih tinggi (> 1) maka perlu dilakukan perubahan pada parameter model awal. Sehingga, semakin rendah nilai misfit ($0 \leq misfit < 1$) dari proses iterasi, maka model kecepatan gelombang geser yang diperoleh akan semakin baik.

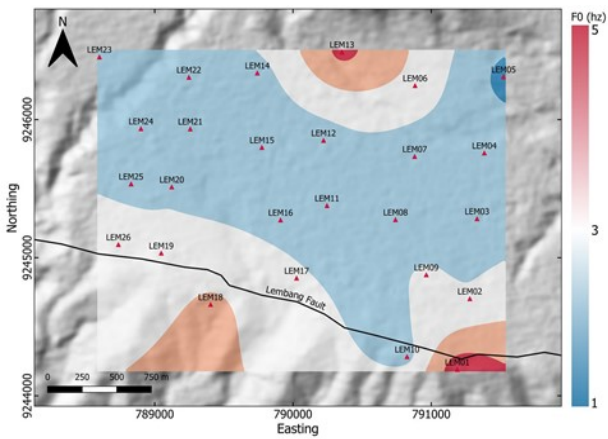
Selanjutnya, pada profil Vs yang diperoleh dari hasil inversi dilakukan perhitungan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (Vs30) menggunakan persamaan berikut:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (3)$$

dimana h_i dan v_i masing-masing menyatakan ketebalan dalam satuan meter dan kecepatan gelombang geser (m/s) pada lapisan ke- i dari total N lapisan di atas 30 m. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai menggunakan tabel jenis tanah SNI 1726:2019 seperti pada Tabel 1.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR menghasilkan kurva pada setiap titik lokasi pengukuran. Nilai tertinggi pada kurva HVSR menunjukkan nilai amplifikasi atau penguatan gelombang seismik dari batuan dasar. Keberadaan lapisan sedimen dekat permukaan yang merupakan lapisan kecepatan rendah menyebabkan terperangkapnya gelombang seismik sehingga terjadi interferensi yang menguatkan guncangan di permukaan (Lee dkk., 2002; Pawirodikromo, 2012). Sementara itu, nilai frekuensi dominan tanah diperoleh dari nilai sumbu-x pada nilai kurva HVSR tertinggi. Hal ini berarti frekuensi dominan tanah merupakan nilai frekuensi pada amplifikasi gelombang seismik tertinggi. Frekuensi dominan tanah di 26 lokasi pengukuran bervariasi antara 1.19 Hz hingga 5.23 Hz. Gambar 3 menunjukkan gambaran spasial dari frekuensi dominan tanah di daerah Lembang. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa daerah utara penelitian cenderung memiliki nilai frekuensi dominan yang lebih rendah dibanding bagian selatan daerah penelitian. Frekuensi dominan di bagian utara berkisar antara 1.19-2.49 Hz, namun ada beberapa titik (LEM06 dan LEM13) yang memiliki frekuensi dominan tinggi di atas 3 Hz. Sedangkan di bagian selatan daerah penelitian frekuensi dominannya lebih tinggi dengan kisaran nilai 2.55-5.23

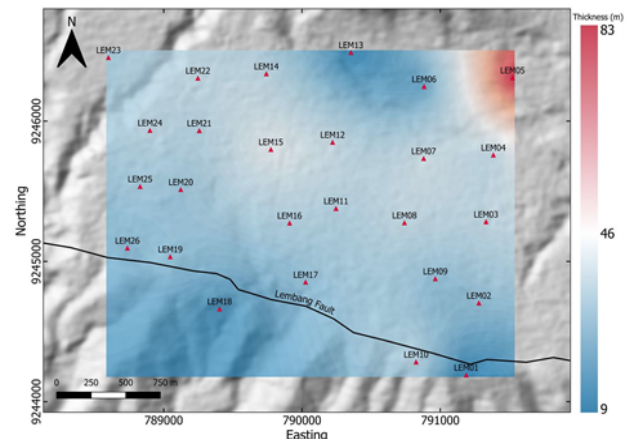


Gambar 3. Peta sebaran frekuensi dominan hasil analisis HVSR

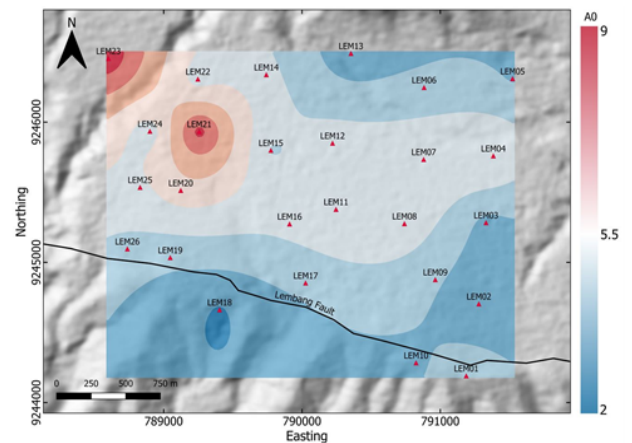
Hz. Frekuensi dominan terendah berada di titik pengukuran LEM05 yang masuk daerah Jayagiri bagian timur dengan nilai frekuensi dominan sebesar 1.19 Hz. Sedangkan, frekuensi dominan tertinggi berada di titik LEM01 yang masuk daerah Pagerwangi. Nilai yang diperoleh ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Marjiyono dan Afnimar (2011) serta Pranata dkk. (2018). Pada daerah yang berdekatan dengan lokasi penelitian ini, kedua penelitian tersebut masing-masing mendapatkan nilai frekuensi dominan 0,14-2,9 Hz dan 1,6-3,47 Hz.

Penelitian Parolai dkk. (2002) dengan sangat jelas menunjukkan hubungan antara frekuensi dominan tanah hasil analisis HVSR dengan ketebalan lapisan sedimen. Nilai frekuensi dominan yang rendah menunjukkan struktur lapisan sedimen yang lunak dan tebal, sedangkan nilai frekuensi dominan yang tinggi menunjukkan lapisan sedimen yang tipis. Berdasarkan persamaan empiris hubungan frekuensi dominan tanah dengan ketebalan lapisan sedimen yang dikembangkan oleh Parolai dkk. (2002), dapat diketahui bahwa ketebalan sedimen di wilayah Lembang bervariasi antara 8.3 hingga 83 meter. Pada Gambar 4 yang menunjukkan sebaran kedalaman sedimen daerah penelitian dapat dilihat bahwa sebagian besar wilayah penelitian memiliki ketebalan sedimen kurang dari 50 meter, hanya lokasi titik pengukuran LEM05 yang memiliki ketebalan sedimen mencapai 83 meter. Lokasi dengan ketebalan sedimen paling tipis berada di titik pengukuran LEM01 yang tepat berada di atas gawir sesar Lembang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai ketebalan sedimen yang tipis di lokasi ini dapat diverifikasi dengan adanya singkapan batuan hasil pengangkatan hanging wall sebelah selatan Sesar Lembang. Gawir Sesar Lembang di daerah ini membentuk *offset* sekitar 300 meter (Junursyah dan Agustya, 2017).

Pada Gambar 5 ditunjukkan sebaran nilai amplifikasi gelombang seismik di daerah penelitian yang bervariasi antara 2.4 hingga 9.3. Secara umum, bagian tengah dan barat laut daerah penelitian menunjukkan nilai amplifikasi yang relatif lebih besar. Nilai ini merepresentasikan tingkat penguatan guncangan yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Berbeda dengan frekuensi dominan, nilai amplifikasi tidak hanya dipengaruhi oleh jenis tanah dan ketebalan sedimen namun juga dipengaruhi oleh saturasi lapisan sedimen serta variasi parameter sedimen yang terdiri dari modulus geser, rasio impedansi, dan densitas (Wang dan Hao, 2002; War-



Gambar 4. Peta ketebalan sedimen daerah penelitian yang diturunkan dari nilai frekuensi dominan tanah

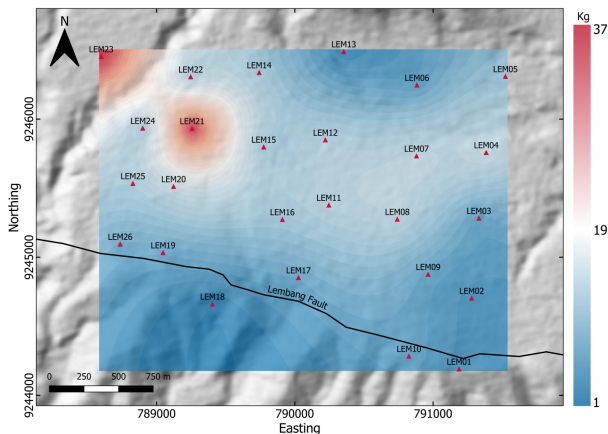


Gambar 5. Peta sebaran nilai amplifikasi gelombang seismik hasil analisis HVSR

nana dkk., 2011; Sungkono dan Triwulan, 2011). Banyaknya parameter yang mempengaruhi amplifikasi gelombang seismik menyebabkan tidak adanya hubungan yang kuat antara nilai amplifikasi dengan nilai frekuensi dominan tanah (Sriyanto dan Ifantyana, 2018; Simanjuntak dkk., 2020).

Variasi nilai indeks kerentanan seismik di wilayah ini berkisar antara 1.5 hingga 37.2. Pada Gambar 6 ditunjukkan bahwa secara umum daerah bagian utara penelitian memiliki kecenderungan bahaya seismik yang lebih tinggi daripada daerah selatan penelitian bila ditinjau dari efek tanah lokalnya. Nilai indeks kerentanan seismik tertinggi berada di Jayagiri bagian barat (LEM21) dan Cikahuripan (LEM23), yaitu masing-masing sebesar 36.2 dan 37.2. Sementara itu, nilai terendah berada di Gudangkahuripan (LEM18), yaitu sebesar 1.55. Hasil ini hampir sama dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pranata dkk. (2018), yang menunjukkan rentang nilai indeks kerentanan seismik di sekitar daerah penelitian berkisar antara 0.6 hingga 31.7.

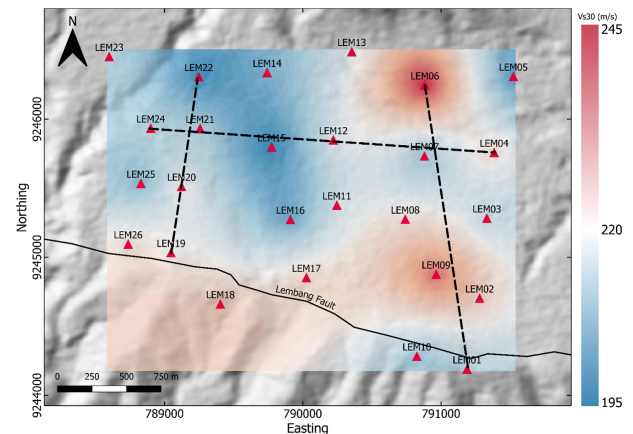
Indeks kerentanan seismik secara umum menggambarkan potensi kerusakan yang bisa diakibatkan oleh guncangan gempa bumi pada bangunan-bangunan di permukaan. Namun demikian, sebaran spasial indeks kerentanan seismik di daerah Lembang belum dapat divalidasi karena hingga



Gambar 6. Sebaran nilai indeks kerentanan seismik yang dikontrol oleh frekuensi dominan dan amplifikasi gelombang seismik

saat ini belum ada catatan sebaran kerusakan akibat gempa bumi di Lembang. Sementara itu, studi [Akkaya \(2020\)](#) menunjukkan bahwa ada korelasi yang kuat hingga 80% antara sebaran nilai indeks kerentanan seismik dengan sebaran kerusakan bangunan akibat gempa bumi Mw 7.1 pada tahun 2011 di Van, Eastern Turkey. [Harsuko dkk. \(2020\)](#) juga menyebutkan bahwa kerusakan akibat gempa bumi Lombok 2018 di daerah barat laut Pulau Lombok sesuai dengan peta indeks kerentanan seismik yang dihasilkan dari analisis HVSR. Namun demikian, ada beberapa daerah yang tidak sesuai antara tingkat kerusakan dengan nilai indeks kerentanan seismik yaitu di daerah utara Pulau Lombok, Kota Mataram, dan Kabupaten Lombok Timur. [Harsuko dkk. \(2020\)](#) menjelaskan bahwa ada 2 faktor lain yang juga berpengaruh pada tingkat kerusakan akibat gempa bumi yaitu nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan konstruksi bangunan.

Pengolahan lanjutan dari kurva HVSR menghasilkan profil kecepatan gelombang geser di setiap titik pengukuran. Profil kecepatan tersebut diperoleh dari proses inversi kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh*. Densitas batuan sangat berpengaruh pada kecepatan gelombang geser, semakin kecil densitas batuan maka semakin kecil pula nilai kecepatan gelombang geser dan sebaliknya ([Sunardi, 2019](#)). Secara umum, kecepatan gelombang geser meningkat seiring bertambahnya kedalaman, yang berkorelasi dengan meningkatnya nilai densitas batuan. Pada kedalaman kurang dari 5 meter, kecepatan gelombang geser di setiap titik sebagian besar sekitar 121 m/s. Terjadi peningkatan kecepatan yang signifikan pada kedalaman 3-5 meter. Kecepatan gelombang geser kisaran 200-250 m/s mendominasi pada kedalaman kurang dari 20 meter. Di kedalaman antara 20-30, nilai kecepatan berkisar antara 250-300 m/s. Ada perbedaan profil kecepatan yang signifikan di lokasi LEM06, dimana terjadi peningkatan kecepatan gelombang geser yang besar mulai kedalaman 28 meter. Hasil inversi gelombang *Rayleigh* menunjukkan kecepatan gelombang geser di titik LEM06 pada kedalaman 28-30 meter mencapai 560 m/s. Anomali kecepatan tinggi ini berasosiasi dengan adanya lapisan tanah yang lebih keras. Lapisan kecepatan dengan nilai diantara 350-750 m/s ini didefinisikan sebagai tanah yang sangat padat atau batuan lunak ([BSN, 2019](#)). Dari model struktur kecepatan ini dapat dilihat bahwa tidak ditemukan lapisan



Gambar 7. Peta sebaran frekuensi dominan hasil analisis HVSR-Peta Vs30 daerah Lembang. Garis hitam putus-putus menunjukkan lokasi garis penampang melintang yang ditunjukkan pada Gambar 8

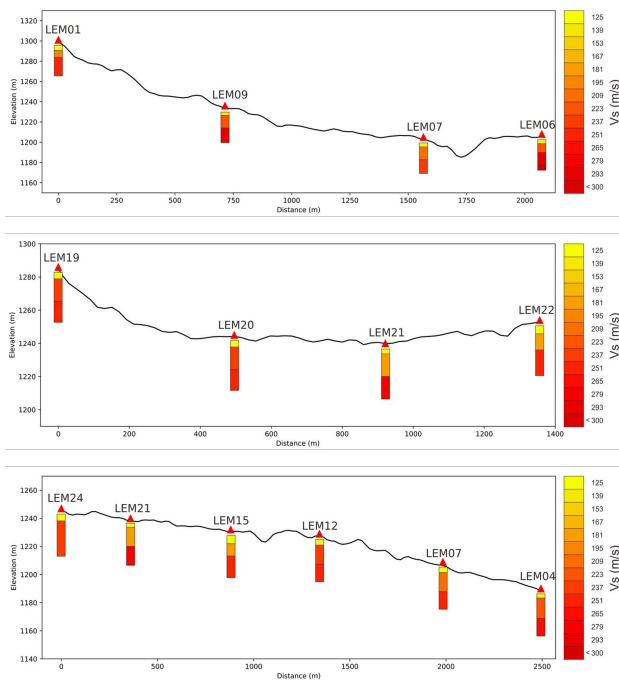
batuan keras hingga kedalaman 30 meter di daerah Lembang karena tidak ada lapisan kecepatan gelombang geser dengan nilai lebih dari 750 m/s ([BSN, 2019](#)). Pada Gambar 8 ditunjukkan penampang melintang nilai Vs sepanjang tiga garis yang ada di dalam Gambar 7.

Estimasi nilai Vs30 yang diperoleh dari rata-rata kecepatan gelombang geser pada lapisan tanah kurang dari 30 meter di daerah Lembang dapat dilihat pada Gambar 7. Secara umum, distribusi nilai Vs30 bervariasi mulai dari 194.48 m/s hingga 246.23 m/s. Zona kecepatan tinggi sebagian besar berada di selatan daerah penelitian, sedangkan kecepatan rendah terdapat di utara daerah penelitian. Nilai Vs30 yang rendah terkonsentrasi di Cikahuripan dan Jayagiri bagian barat dengan nilai Vs30 sebesar 194-212 m/s. Sedangkan untuk nilai Vs30 menengah sampai tinggi berada di Gudangkahuripan, Wangunsari, Lembang, dan sebagian Jayagiri bagian timur, dengan nilai antara 212-246.23 m/s. Nilai Vs30 tertinggi terdapat di titik LEM06 dengan nilai 246.23 m/s, sedangkan nilai Vs30 terendah berada di titik LEM15 yaitu 194.48 m/s.

Menurut SNI 1726:2019, nilai Vs30 dalam rentang 194.48 m/s – 246.23 m/s ini termasuk dalam klasifikasi tipe tanah sedang. Oleh karena itu, seluruh wilayah penelitian ini termasuk dalam klasifikasi tanah sedang. Meskipun telah diperoleh klasifikasi tipe tanah berdasarkan nilai Vs30, namun perlu investigasi lebih lanjut menggunakan metode lain. Dalam SNI 1726:2019 disebutkan bahwa penentuan klasifikasi tipe tanah untuk perencanaan struktur bangunan tahan gempa setidaknya harus memperhitungkan dua dari tiga parameter yang terdiri dari kecepatan rambat gelombang geser rata-rata di dalam lapisan 30 meter paling atas (Vs30), tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 meter paling atas (N), dan kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 meter paling atas (Su) ([BSN, 2019](#)).

4 KESIMPULAN

Data mikrotremor yang diperoleh pada 26 titik di daerah Lembang, Jawa Barat digunakan untuk mengestimasi potensi bahaya seismik dari aspek efek tapak lokal. Pengolahan



Gambar 8. Penampang melintang yang menunjukkan profil kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter sepanjang (a) garis LEM01-LEM06, (b) garis LEM19-LEM22, dan (c) garis LEM24-LEM04. Lokasi masing-masing garis ditunjukkan pada Gambar 7

data menggunakan metode HVSr memperoleh frekuensi dominan tanah dan faktor amplifikasi gelombang seismik. Frekuensi dominan tanah di daerah studi berkisar antara 1.19-5.32 Hz sedangkan faktor amplifikasi berkisar antara 2.4-9.3. Nilai frekuensi dominan ini digunakan untuk mengestimasi ketebalan sedimen permukaan daerah penelitian. Hasil perhitungan menggunakan persamaan empiris menunjukkan bahwa ketebalan sedimen permukaan di daerah Lembang berkisar antara 8.3-83 meter. Frekuensi dominan bersama dengan nilai amplifikasi juga digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik lokasi tersebut. Indeks kerentanan seismik di daerah Lembang berkisar antara 1.5 hingga 37.2. Secara spasial, sebaran frekuensi dominan, nilai amplifikasi, ketebalan sedimen, dan indeks kerentanan seismik memiliki pola yang hampir sama. Secara umum, bagian utara Lembang relatif memiliki indeks kerentanan seismik yang lebih tinggi. Hal ini berkaitan dengan nilai amplifikasi yang lebih tinggi dan lapisan sedimen yang lebih tebal. Kurva hasil perhitungan metode HVSr juga diolah lebih lanjut menggunakan metode inversi eliptisitas gelombang Rayleigh untuk memperoleh struktur kecepatan gelombang geser dekat permukaan. Pada setiap titik pengukuran diperoleh profil kecepatan gelombang geser yang semakin tinggi seiring bertambahnya kedalaman. Dari profil kecepatan ini diperoleh nilai V_{s30} yang berguna sebagai acuan dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Sebaran nilai V_{s30} di lokasi penelitian secara umum lebih tinggi di daerah selatan dan relatif lebih rendah di bagian utara. Nilai V_{s30} di daerah Lembang relatif seragam dalam rentang nilai 194.48 m/s – 246.23 m/s. Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai V_{s30} dalam rentang nilai tersebut termasuk dalam klasifikasi tanah sedang.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan Geofisika STMKG Angkatan 48 dan 51 atas bantu-annya dalam pengumpulan data mikrotremor. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada sivitas akade-mika STMKG atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

Pustaka

- Afnimar, Yulianto, E. dan Rasnid (2015): Geological and tectonic implications obtained from first seismic activity investigation around lebang fault. *Geoscience Letters*, **2**(1), 4, doi:10.1186/s40562-015-0020-5.
- Akkaya, (2020): Availability of seismic vulnerability index (kg) in the assessment of building damage in van, eastern turkey. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **19**(1), 189–204, doi:10.1007/s11803-020-0556-z.
- BPS (2020): Kecamatan lembang dalam angka 2020.
- BSN (2019): Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
- Daryono, M.R., Natawidjaja, D.H., Sapiie, B. dan Cummins, P. (2019): Earthquake geology of the lembang fault, west java, indonesia. *Tectonophysics*, **751**, 180–191, ISSN 0040-1951, doi:10.1016/j.tecto.2018.12.014.
- Harsuko, M.R.C. dkk. (2020): Analysis of h/v ratio curve to estimate seismic hazard vulnerability in lombok island, west nusa tenggara, indonesia. *Jurnal Geofisika*, **18**(1), 1, ISSN 2477-6084, doi:10.36435/jgf.v18i1.432.
- Huang, H.C. dan Tseng, Y.S. (2002): Characteristics of soil liquefaction using h/v of microtremors in yuan-lin area, taiwan. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, **13**(3), 325–338.
- Issaadi, A., Semmane, F., Yelles-Chaouche, A., Galiana-Merino, J.J. dan Layadi, K. (2020): A shear-wave velocity model in the city of oued-fodda (northern algeria) from rayleigh wave ellipticity inversion. *Applied sciences (Basel, Switzerland)*, **10**(5), 1717, ISSN 2076-3417, doi:10.3390/app10051717.
- Junursyah, G.M. dan Agustya, G. (2017): Geological structure interpretation of gunung batu area, lembang, based on the correlation of surface data, resistivity, and geomagnetic. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, **18**, 171–182.
- Lee, W.H., Jennings, P., Kisslinger, C. dan Kanamori, H. (2002): International handbook of earthquake and engineering seismology part a.
- Maghami, S., Sohrabi-Bidar, A., Bignardi, S., Zarean, A. dan Kamalian, M. (2021): Extracting the shear wave velocity structure of deep alluviums of “qom” basin (iran) employing hvsr inversion of microtremor recordings. *Journal of applied geophysics*, **185**(104246), 104246, ISSN 0926-9851, doi:10.1016/j.jappgeo.2020.104246.
- Marjiyono, M. dan Afnimar, A. (2011): Mikrozonasi bahaya gempa bumi di wilayah kota bandung berdasarkan data mikrotremor. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, **21**(1), 41–49.
- Meilano, I. dkk. (2012): Slip rate estimation of the lembang fault west java from geodetic observation. *Journal of disaster research*, **7**(1), 12–18, ISSN 1881-2473, doi:10.20965/jdr.2012.p0012.

- Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, **30**(1).
- Nugraha, A.D. dkk. (2019): The recent small earthquakes around lembang fault, west java, bandung, indonesia. *Journal of physics. IOP Conference series*, **1204**, ISSN 1742-6588, doi:10.1088/1742-6596/1204/1/012083.
- Parolai, S., Bormann, P. dan Milkereit, C. (2002): New relationships between vs, thickness of sediments, and resonance frequency calculated by the h/v ratio of seismic noise for the cologne area (germany). *Bulletin of the seismological society of America*, **92**(6), 2521–2527.
- Pawirodikromo, W. (2012): Seismologi teknik and rekayasa kegempaan.
- Pranata, B. dkk. (2019): Shear wave velocity structure beneath bandung basin, west java, indonesia from ambient noise tomography. *Geophysical journal international*, ISSN 0956-540X, doi:10.1093/gji/ggz493.
- Pranata, B. dkk. (2018): Seismic microzonation of bandung basin from microtremor horizontal-to-vertical spectral ratios (hvsr). doi:10.1063/1.5047289.
- Sambridge, M. (1999): Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm—i. searching a parameter space. *Geophysical journal international*, **138**(2), 479–494, ISSN 0956-540X, doi:10.1046/j.1365-246x.1999.00876.x.
- SESAME (2004): Site effects assessment using ambient excitations.
- Simanjuntak, A.V.H., Asnawi, Y., Umar, M., Rizal, S. dan Syukri, M. (2020): A microtremor survey to identify seismic vulnerability around banda aceh using hvsr analysis. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, **6**(2), 342–358.
- Sriyanto, S.P.D. dan Ifantiana, I. (2018): Analisis efek dampak lokal pada lokasi stasiun seismik di pulau jawa. *JFA (Jurnal Fisika dan Aplikasinya)*, **14**(3), 68–73.
- Sunardi, B. (2019): Vs30 mapping and soil classification in the southern part of kulon progo using rayleigh wave ellipticity inversion. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, **1**(2), ISSN 2623-1182, doi:10.22146/jgise.39780.
- Sungkono, D.D.W. dan Triwulan, W.U. (2011): Evaluation of buildings strength from microtremor analyses. *structure*, **6**, 8.
- Supendi, P., Nugraha, A.D., Puspito, N.T., Widiyanto, S. dan Daryono, D. (2018): Identification of active faults in west java, indonesia, based on earthquake hypocenter determination, relocation, and focal mechanism analysis. *Geoscience letters*, **5**(1), ISSN 2196-4092, doi:10.1186/s40562-018-0130-y.
- Vessia, G., Rainone, M.L., De Santis, A. dan D'Elia, G. (2020): Lessons from april 6, 2009 l'aquila earthquake to enhance microzoning studies in near-field urban areas. *Geoenvironmental disasters*, **7**(1), ISSN 2197-8670, doi:10.1186/s40677-020-00147-x.
- Wang, S. dan Hao, H. (2002): Effects of random variations of soil properties on site amplification of seismic ground motions. *Soil dynamics and earthquake engineering*, **22**(7), 551–564, ISSN 0267-7261, doi:10.1016/s0267-7261(02)00038-6.
- Warnana, D.D., Soemitro, R.A.A. dan Utama, W. (2011): Application of microtremor hvsr method for assessing site effect in residual soil slope. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, **11**(4), 73–78.