

PEMETAAN VS30 DENGAN MENGGUNAKAN KORELASI ZHAO DI PESISIR CILACAP

Robert Edison, Widjojo Adi Prakoso, Supriyanto Rohadi

Afiliasi Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

e-mail : robert.edison@ui.ac.id

Abstrak. Pada gempa Pangandaran 2006, pesisir Kabupaten Cilacap merupakan salah satu daerah yang mengalami kerusakan paling parah. Hal ini dikarenakan Kabupaten Cilacap terletak dekat dengan zona subduksi yang juga ditandai dengan tingginya aktivitas seismik di daerah tersebut. Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kerusakan pada saat gempa adalah kelas tanah. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah, di antaranya adalah metode mikrotremor dan metode MASW, di mana dalam pengolahannya mikrotremor memanfaatkan respon tanah terhadap getaran untuk memberikan informasi tentang jenis tanah di daerah tersebut, sedangkan MASW menggunakan propagasi gelombang Rayleigh pada permukaan. Setelah itu, periode dominan hasil pengolahan mikrotremor dan Vs30 hasil pengolahan MASW dikorelasikan menggunakan Zhao's Classification, menghasilkan Vs30 berdasarkan analisis regresi. Nilai periode dominan berkisar antara 0,10-1,07 s, sedangkan Vs30 dari korelasi berkisar antara 6,68-461,34 m/s. Kedua analisis menunjukkan bahwa Tritis Kulon terbukti memiliki kerusakan yang lebih parah pada saat gempa karena terdiri dari Tanah Lunak (SE) yang ditunjukkan oleh nilai periode dominan terpanjang dan nilai Vs30 terendah.

Kata Kunci: periode dominan; mikrotremor; Vs30

Abstract. During 2006 Pangandaran earthquake, the coastal Cilacap Regency was one of the areas that suffered the most damage. This is because Cilacap Regency is located close to the subduction zone, which is also indicated by the high seismic activity in the area. One of the factors that affect the level of damage during earthquake is the soil classes. There are methods to classify soil types is to use the microtremor method and the MASW method, where in the processing microtremor utilizes the response of the soil to vibrations to provide information about the type of soil in the area, while MASW used Rayleigh wave propagation on the surface. After that, the dominant period resulted from microtremor processing and Vs30 resulted from MASW processing correlated using Zhao's Classification, resulting Vs30 based on regression analysis. The dominant period value are ranged between 0.10-1.07 s, while the Vs30 from correlation are ranged between 6.68-461.34 m/s. Both analyses shown that Tritis Kulon is shown to have more severe damage during earthquake since it consists of Soft Soil (SE) shown by longest dominant period value and lowest Vs30 value.

Keywords: dominant period; microtremor; Vs30

PENDAHULUAN

Cilacap merupakan salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang terletak di dekat zona subduksi Lempeng Indo-Australia yang bergerak menuju Lempeng Eurasia (Hamilton, 1973), hal ini ditunjukkan dengan banyaknya kejadian gempa yang dirasakan di Kabupaten Cilacap selama sepuluh tahun terakhir (BMKG, 2019). Sebagai contoh, Cilacap merupakan salah satu kabupaten yang mengalami kerusakan paling parah akibat gempa Pangandaran tahun 2006 diperparah dengan letak Cilacap yang berada di dekat sesar Citanduy. Sesar Citanduy membentang dari Ciamis hingga Cilacap Timur Utara, hal ini dibuktikan dengan peristiwa gempa lokal yang dirasakan di Cilacap (Febyani,

2020). Salah satu gempa yang merusak Cilacap dan disebabkan oleh sesar Citanduy adalah gempa pada tanggal 2 September 2019 yang berpusat di Tasikmalaya. Cilacap merupakan salah satu kabupaten yang paling banyak mengalami kerusakan akibat gempa tersebut meskipun pusat gempa jauh dari Cilacap (BNPB, 2009). Gempa dapat diikuti dengan bencana lain seperti kebakaran, tsunami, banjir, tanah longsor, dan lain-lain (Muhaimin dkk., 2016), sehingga diperlukan adanya rencana mitigasi untuk meminimalkan kerugian akibat gempa di Cilacap yang merupakan salah satu kabupaten dengan jumlah penduduk yang terbilang banyak, yaitu 1.963.824 jiwa (BPS, 2022).

Pada saat terjadi gempa, salah satu faktor yang menyebabkan kerusakan adalah reaksi ketika gelombang seismik merambat di dalam tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi, di mana gelombang seismik yang merambat di tanah lunak akan dipantulkan dan diterapkan sehingga menimbulkan guncangan yang lebih hebat daripada gelombang seismik yang merambat di tanah keras. Pada tanah keras, gelombang seismik akan diteruskan melalui bangunan di atas permukaan tanah (Faccioli, 2003). Oleh karena itu, kelas tanah Cilacap harus diketahui untuk mengetahui daerah mana yang lebih parah saat gempa, berdasarkan geomorfologinya, Cilacap terdiri dari dataran berpasir sedangkan sebagian Cilacap terdiri dari fluvial (Hadisumarno dkk., 1982)

Ada banyak cara untuk mengetahui kelas tanah, pengukuran gelombang seismik non-destruktif adalah salah satu yang termurah, tidak memakan waktu lama, namun akurat untuk dilakukan. Dua di antaranya menggunakan pengukuran mikrotremor sebagai metode pasif dan analisis gelombang permukaan multichannel sebagai metode aktif.

Mikrotremor memiliki banyak aplikasi, termasuk melakukan mikrozonasi seismik, dan memahami karakteristik dan amplifikasi situs. *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* (HVSr) adalah metode untuk memperoleh informasi bawah permukaan berdasarkan pengukuran mikrotremor yang dapat digunakan untuk menentukan amplifikasi situs dan frekuensi dominan. Ini adalah metode yang diperkenalkan oleh Nakamura (1989), sedangkan faktor amplifikasi terjadi ketika gelombang seismik terperangkap di dalam tanah. Faktor amplifikasi ditentukan dengan membandingkan komponen amplitudo horizontal di permukaan dengan komponen amplitudo vertikal yang dapat ditulis sesuai dengan persamaan (1).

$$HVSr = \frac{\sqrt{(A_{NORTH-SOUTH})^2 + (A_{WEST-EAST})^2}}{A_V} \quad (1)$$

Setelah faktor amplifikasi dan frekuensi dominan ditentukan, frekuensi dominan kemudian diubah menjadi periode dominan. Periode dominan adalah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang

mikrotremor untuk merambat melalui suatu sedimen atau dipantulkan ke permukaan satu kali (Arifin, 2016). Periode dominan dapat digunakan untuk menentukan karakteristik suatu lokasi (Elnashai & Sarno, 2008). Periode dominan dapat ditulis sebagai:

$$T_G = \frac{1}{f_0} \quad (2)$$

Di mana T_G adalah periode dominan, f_0 adalah frekuensi dominan. Klasifikasi tanah berdasarkan periode dominan dapat diklasifikasikan menjadi lima kelas menggunakan klasifikasi (Zhao dkk., 2006) dan dikorelasikan dengan kelas tanah berdasarkan nilai Vs30 oleh NEHRP (2003), yang kemudian diadopsi dalam SNI 1726:2019, sebagai tertulis dalam tabel di bawah ini:

Tabel 1. Kelas tanah berdasarkan nilai periode dominan dan Vs30

Kelas tanah	T_G (s)	$V_{s30} \left(\frac{m}{s}\right)$
SA (batuan keras)	$T_G < 0,2$	$1500 < V_{s30}$
SB (batuan)		$750 < V_{s30} < 1500$
SC (tanah keras)	$0,2 < T_G < 0,4$	$350 < V_{s30} < 750$
SD (tanah sedang)	$0,4 < T_G < 0,6$	$175 < V_{s30} < 350$
SE (tanah lunak)	$0,6 < T_G$	$V_{s30} < 175$

Vs30 itu sendiri adalah kecepatan gelombang geser rata-rata pada 30 meter pertama lapisan tanah (Liu dkk., 2017). Untuk mencari nilai Vs30 dilakukan analisis multichannel gelombang permukaan (MASW) dalam penelitian ini. MASW adalah teknik eksplorasi seismik yang diperkenalkan oleh Park dkk. (1999). MASW mengevaluasi kekakuan tanah dengan mengukur kecepatan gelombang geser bawah permukaan pada kedalaman yang paling umum maksimum 30 meter, hal ini disebabkan oleh MASW menggunakan sumber aktif seperti palu godam atau penurunan berat badan. Gelombang Rayleigh adalah permukaan yang memiliki paling banyak sinyal tinggi

terhadap *noise* radio selama perambatan gelombang seismik, sebab gelombang *Rayleigh* memiliki gerakannya sendiri dan terdiri dari beberapa interval frekuensi yang memiliki frekuensinya sendiri, keadaan ini disebut dispersi yang digunakan untuk mengukur kecepatan gelombang geser (Kurniawan dkk., 2019). Ini telah membuktikan bahwa gelombang *Rayleigh* adalah alat yang berguna dalam teknik permukaan non-invasif (Nortey dkk., 2018). Beberapa hasil MASW adalah ketebalan tanah, berapa banyak lapisan yang terdiri dari suatu daerah, bahkan batuan dasar rekayasa.

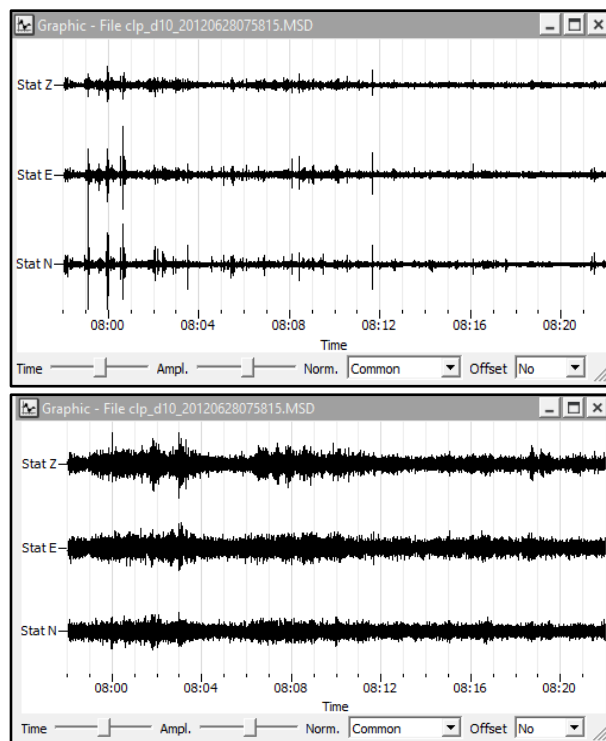
Karena setiap metode memiliki kelemahannya masing-masing (mikrotremor tidak dapat digunakan dengan baik untuk mengarakterisasi tanah permukaan karena merekam semua jenis gelombang seperti aktivitas manusia, angin, pohon, sungai, dll. dan MASW tidak dapat digunakan dengan baik untuk mengarakterisasi kedalaman tanah karena memiliki sumber aktif yang memiliki batasan kedalaman sendiri), korelasi antara kedua metode dilakukan untuk lebih memahami kelas tanah di Pesisir Cilacap. Oleh karena itu, informasi ini dapat digunakan untuk tujuan mitigasi gempa.

METODOLOGI

Secara umum metode dalam penelitian ini mengorelasikan periode dominan dengan $Vs30$ menggunakan klasifikasi Zhao. Pengolahan data mikrotremor terdiri dari tiga langkah besar, yaitu *filtering*, *windowing*, dan penentuan frekuensi dominan berdasarkan faktor amplifikasi maksimumnya. Semua langkah ini dilakukan dalam perangkat lunak *Geopsy*.

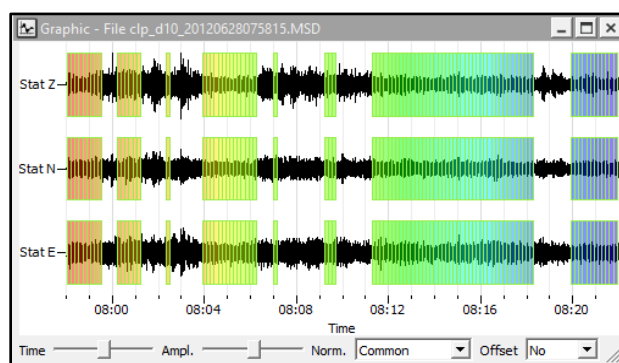
Dalam pengolahan data mikrotremor, tahap pertama menggunakan *low-pass filter* 10 Hz pada *Geopsy*, untuk menghilangkan *noise* pada sinyal mikrotremor yang memiliki nilai frekuensi lebih besar dari 10 Hz, di mana sumber *noise* pada saat pengukuran mikrotremor dapat berasal dari aktivitas yang terjadi pada saat perekaman sinyal, karena seismograf merekam semua getaran yang terjadi selama perekaman, baik dari aktivitas manusia seperti langkah kaki, getaran mobil, pipa air, dan banyak lagi, maupun karena aktivitas alam

seperti pengaruh gelombang (jika merekam di daerah pesisir), hembusan angin, pergerakan pohon, aliran sungai, dan masih banyak lagi, sehingga perlu dilakukan *filtering*. Berikut adalah tampilan sinyal mikrotremor sebelum dan sesudah *filtering*:



Gambar 1. Sinyal mikrotremor sebelum *filtering* (atas). Sinyal mikrotremor sesudah dilakukan *filtering* (bawah).

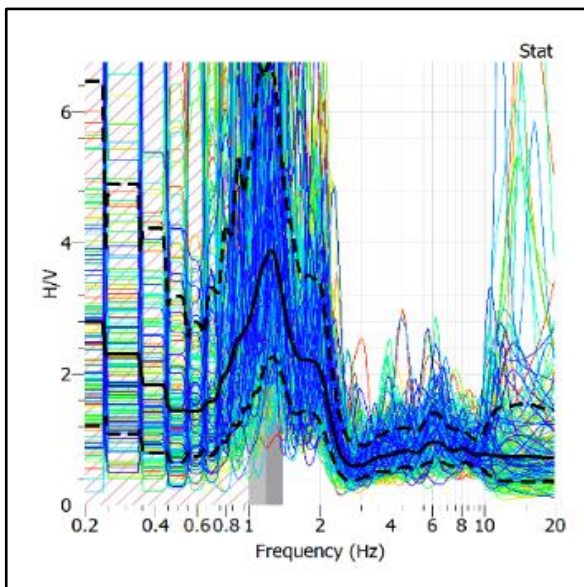
Selanjutnya adalah *windowing*, di mana pada tahap ini dilakukan untuk memilih bagian dari sinyal yang akan dikonversi dari domain waktu ke domain frekuensi. Pada gambar 2 ditampilkan sinyal yang telah melalui proses *windowing* dan akan dikonversikan.



Gambar 2. Proses *windowing*

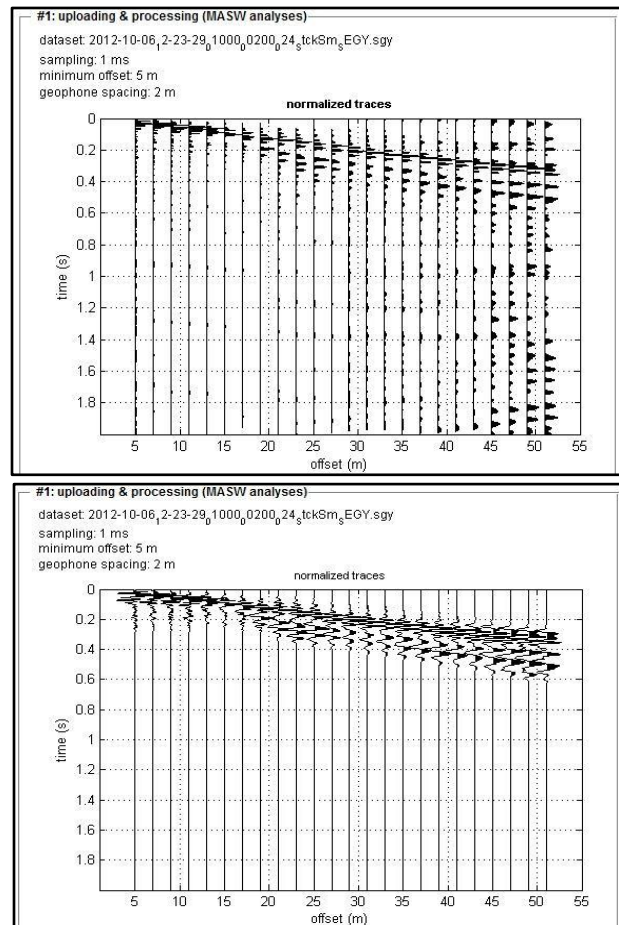
Selanjutnya adalah proses konversi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi yang menghasilkan kurva HVSR, proses ini dilakukan dengan menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*. Frekuensi dominan kurva HVSR ditentukan dengan memilih nilai frekuensi dominan berdasarkan amplifikasi puncak-puncak kurva sesuai petunjuk dari SESAME (2004). Setelah mendapatkan nilai frekuensi dominan, maka dapat dihitung nilai periode dominannya.

Setelah menentukan faktor amplifikasi dan frekuensi dominan sesuai yang ditunjukkan pada gambar 3, maka periode dominan dapat dihitung berdasarkan nilai frekuensi dominan. Untuk pengolahan MASW, sinyal input awalnya bercampur dengan *noise* dari lingkungan pada saat akuisisi data. Pada langkah ini, dilakukan *filtering* seperti yang ditunjukkan sesuai gambar 4. Setelah itu, dilakukan *picking* kurva dispersi sebagaimana diilustrasikan kurva dispersinya pada gambar 5.

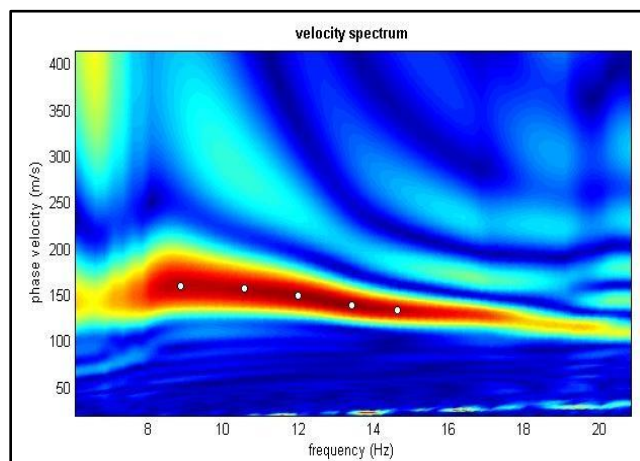


Gambar 3. Kurva HVSR

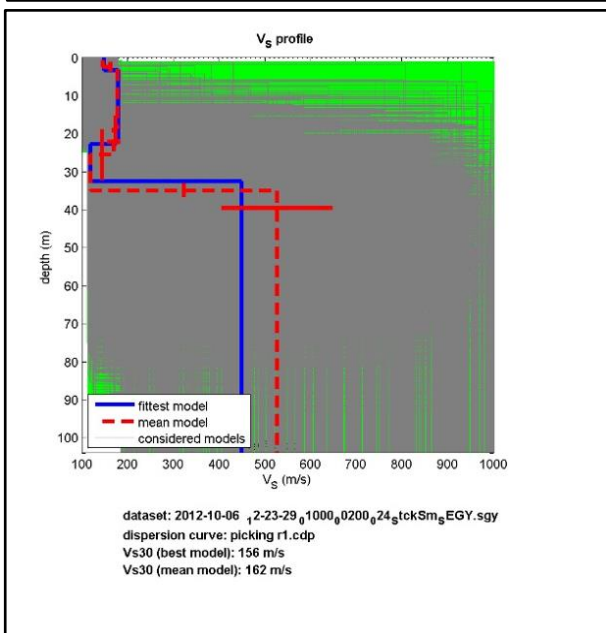
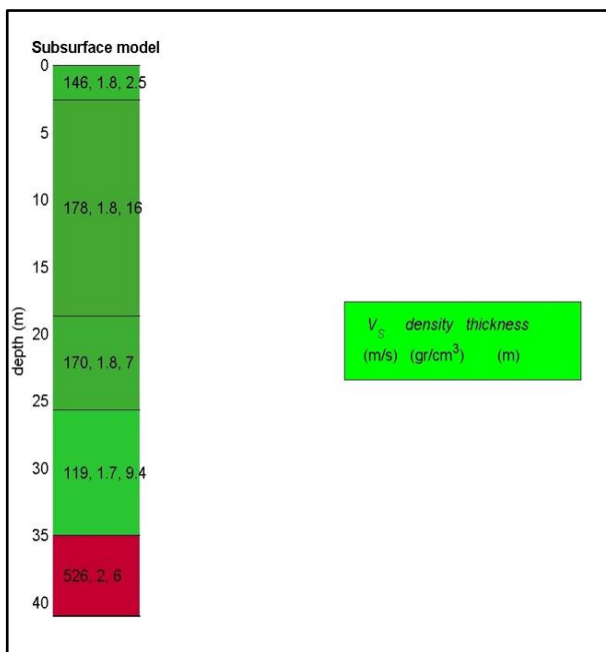
Setelah kurva dispersi diambil, batasan untuk lapisan tanah harus ditetapkan sebelum proses inversi. Setelah proses inversi dilakukan, hasil yang diperoleh adalah model V_p , V_s , V_{s30} , dan kecepatan bawah permukaan.



Gambar 4. Data MASW sebelum dilakukan *filtering* (atas). Data MASW sesudah dilakukan *filtering* (bawah)

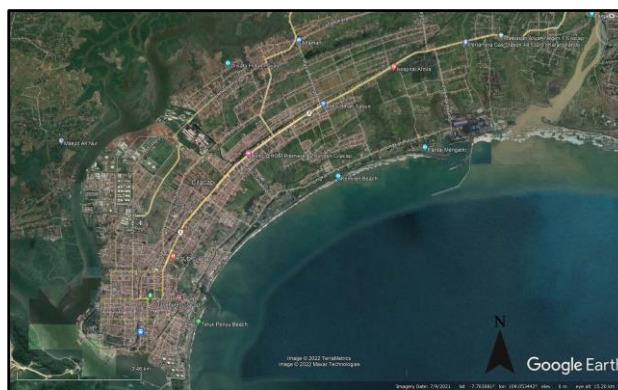


Gambar 5. Pemilihan kurva dispersi



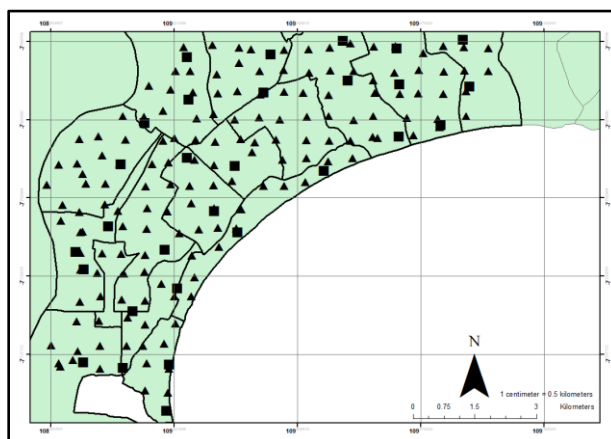
Gambar 6. Hasil pengolahan WinMASW, velocity structure dan V_{s30}

Daerah penelitian berada di bagian pesisir Kabupaten Cilacap dengan letak geografis pada $7^{\circ}30'$ sampai dengan $7^{\circ}45'20''$ Lintang Selatan dan $108^{\circ}4'30''$ sampai dengan $109^{\circ}30'30''$ Bujur Timur ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Lokasi penelitian di Kabupaten Cilacap

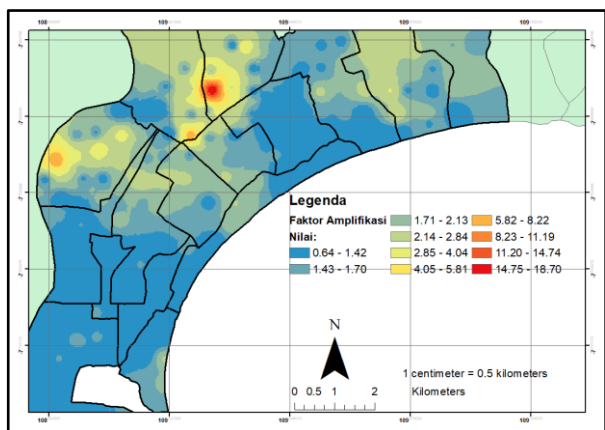
Sementara, data penelitian yang dipergunakan diambil melalui perekaman 130 data mikrotremor sesuai ditunjukkan pada gambar 8 (ditunjukkan oleh simbol segitiga) dan 30 data MASW (ditunjukkan oleh simbol persegi). Data yang dipergunakan disediakan oleh Divisi Penelitian dan Pengembangan Geofisika BMKG.



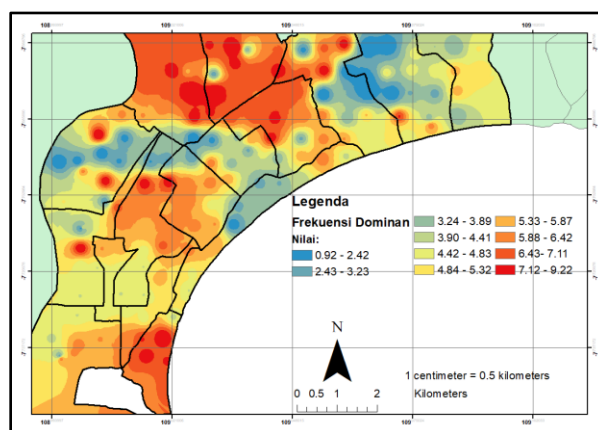
Gambar 8. Titik perekaman data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah analisis dengan menggunakan metode HVSR, dilakukan mikrozonasi faktor amplifikasi yang pemetaannya ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Mikrozonasi faktor amplifikasi



Gambar 10. Mikrozonasi frekuensi dominan

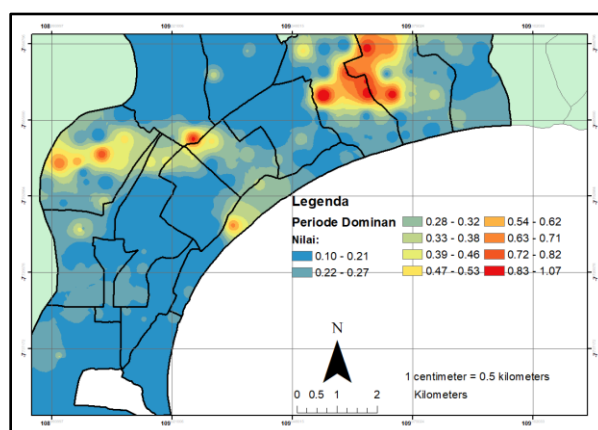
Gelombang seismik akan mengalami amplifikasi pada saat tanah yang dilalui oleh gelombang tersebut lebih lunak dibandingkan tanah di bawahnya. Bila ada perbedaan kontras antara kedua lapisan tersebut, maka akan semakin tinggi pula faktor amplifikasinya (Marjiyono, 2010). Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa pada daerah yang ditunjukkan oleh warna merah, terdapat perbedaan jenis tanah yang kontras, sehingga faktor amplifikasinya tinggi. Sehingga, pada saat terjadi gempa bumi, pada daerah dengan faktor amplifikasi yang tinggi, amplitudo gelombang seismiknya akan terbagi sehingga tingkat kekuatan gempa bumi di wilayah tersebut akan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang berwarna biru. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Arifudin (2018), zona faktor amplifikasi tanah terbagi menjadi 4 zona :

1. Zona faktor amplifikasi rendah: $A_0 < 3$
2. Zona faktor amplifikasi sedang: $3 \leq A_0 < 6$
3. Zona faktor amplifikasi tinggi: $6 \leq A_0 < 9$
4. Zona faktor amplifikasi sangat tinggi: $9 \leq A_0$

Dalam penelitian ini, terdapat empat zona faktor amplifikasi dengan zona faktor amplifikasi tertinggi berada di bagian Cilacap utara dan pada bagian selatan tergolong dalam faktor amplifikasi rendah.

Setelah didapatkan nilai frekuensi dominan dari amplifikasi puncak, dibuat mikrozonasi frekuensi dominan. Peta mikrozonasi berdasarkan frekuensi dominan ditunjukkan pada gambar 10.

Semakin besar nilai frekuensi dominan yang terdapat pada suatu lokasi, maka semakin keras jenis tanah yang berada di wilayah tersebut, di mana nilai frekuensi dominan berbanding terbalik dengan nilai periode dominan. Berdasarkan hasil analisis faktor amplifikasi dan periode dominan ini dapat ditarik kesimpulan bahwa ketebalan sedimen di bawah permukaan memiliki andil dalam tinggi rendahnya faktor amplifikasi, di mana pada wilayah dengan faktor amplifikasi tinggi, ditunjukkan dengan tebalnya sedimen di bawah permukaan dan panjang periode dominannya. Sementara, pada wilayah dengan faktor amplifikasi rendah, ditunjukkan dengan tipisnya sedimen di bawah permukaannya dan periode dominannya pendek. Pemetaan mikrozonasi berdasarkan periode dominan ditunjukkan pada gambar 11.



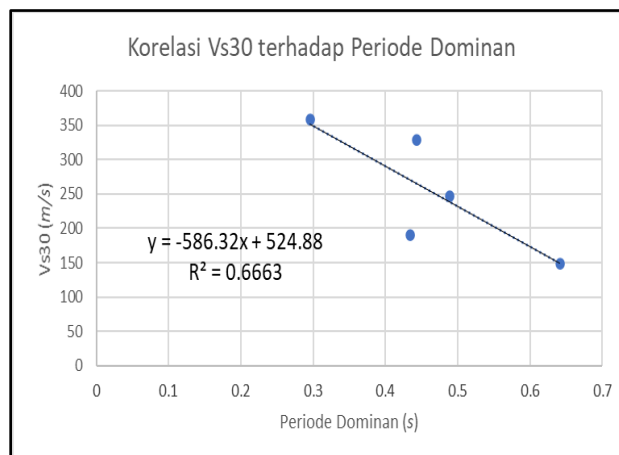
Gambar 11. Mikrozonasi periode dominan

Berdasarkan hasil analisis, daerah penelitian dibagi menjadi 3 kelas tanah (Tanah Lunak, Tanah Sedang, Tanah Keras, Batuan dan Batuan Keras) dengan rentang waktu 0,10-1,07 s, di mana periode dominan terpendek berada di Tritih Kulon yang terdiri dari Batuan Keras atau Batuan (SA atau SB), sedangkan periode dominan terpanjang adalah di Mertasinga yang terdiri dari Tanah Lunak (SE). Pada daerah dengan jenis tanah lunak, gelombang seismik yang merambat akan dipantulkan pada medium dan tidak diteruskan langsung ke permukaan dan bangunan di atasnya, sedangkan pada tanah keras atau batuan, gelombang seismik yang merambat ditransmisikan langsung ke permukaan dan bangunan di atasnya. Dengan demikian, pada saat terjadi gempa, daerah dengan jenis tanah lunak atau periode dominan panjang akan merasakan getaran yang lebih lama dibandingkan dengan daerah dengan jenis tanah keras atau periode dominan pendek.

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa umumnya daerah dengan situs kelas batuan dan tanah keras memiliki elevasi yang lebih tinggi daripada daerah dengan situs kelas tanah sedang dan tanah lunak. Hal ini menunjukkan tidak adanya sedimen di daerah tersebut (Isburhan dkk., 2019). Sedangkan pada daerah dengan elevasi rendah terdapat sedimen pada daerah tersebut yang ditunjukkan dengan nilai periode dominan.

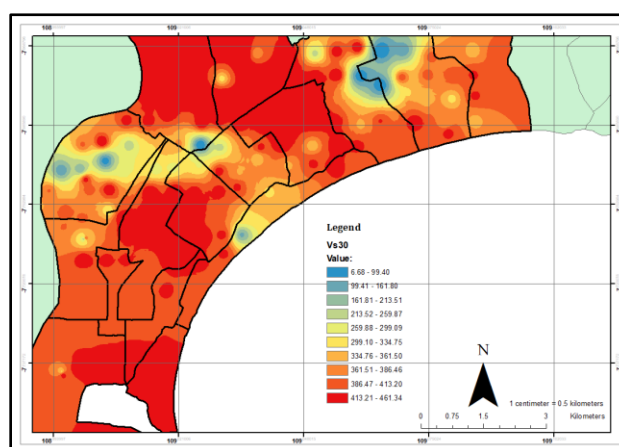
Berdasarkan perbandingan faktor amplifikasi dengan periode dominan, faktor amplifikasi tidak selalu berbanding lurus dengan periode dominan. Hal ini dikarenakan periode yang dominan adalah klasifikasi jenis tanah bawah permukaan, sedangkan faktor amplifikasi dihasilkan pada pertemuan antara media tanah bawah permukaan dengan tanah di bawahnya.

Korelasi antara Vs30 dengan dominan dilakukan dengan *plotting* nilai Vs30 sebagai variabel dependen dengan nilai periode dominan sebagai variabel independen pada titik permukiman mikrotremor dan MASW yang *overlay* ditampilkan pada gambar 12.



Gambar 12. Korelasi Vs30 terhadap periode dominan

Berdasarkan Gambar 12, terlihat bahwa Vs30 berbanding terbalik dengan periode dominan. Semakin tinggi nilai Vs30, semakin rendah nilai periode dominan, hal ini membuktikan penelitian yang dilakukan oleh Zhao (2006). Namun, nilai R² yang mendekati 1 sehingga grafik ini semakin dapat diandalkan. Hal ini disebabkan oleh jumlah sampel korelasi dengan Vs30 yang tinggi dan nilai periode dominan yang rendah. Dengan memanfaatkan relasi antara nilai Vs30 dengan periode dominan, kemudian dibuat peta mikrozonasi Vs30 berdasarkan korelasi tersebut yang ditampilkan pada gambar 13.



Gambar 13. Mikrozonasi Vs30 berdasarkan korelasi Vs30 terhadap periode dominan

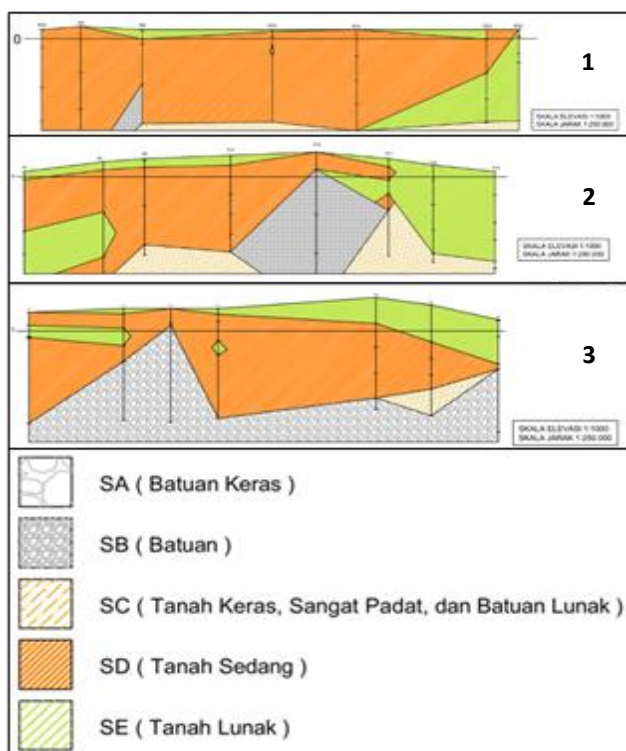
Berdasarkan hasil analisis, daerah penelitian dibagi menjadi 3 kelas (Tanah Lunak, Tanah Sedang, dan Tanah Keras), dengan kisaran 6,68-461,34 m/s, di mana nilai Vs30 terendah berada di Kesugihan

yaitu terdiri dari Tanah Lunak (SE), sedangkan nilai Vs30 tertinggi terdapat di Tritih Kulon yang terdiri dari Tanah Keras (SC). Pada daerah dengan jenis tanah lunak, gelombang seismik yang merambat akan dipantulkan pada medium dan merambat secara perlahan ke permukaan dan bangunan di atasnya, sedangkan pada tanah keras atau batuan, gelombang seismik merambat langsung ke permukaan dan bangunan di atasnya.

Kemudian dibuat penampang *velocity structure* pada lokasi sesuai gambar 14 yang kemudian menghasilkan penampang *velocity structure* seperti ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar 14. Lokasi penampang *velocity structure*



Gambar 15. Penampang *velocity structure*

Dapat dilihat dari penampang *velocity structure* bahwa pada daerah Tritih Kulon memang tersusun diatas tanah lunak dengan kedalaman 28 meter. Hal ini diperoleh berdasarkan penampang *velocity structure* hasil pengolahan MASW sehingga dapat menjelaskan panjangnya nilai periode dominan dan tingginya nilai Vs30 di wilayah tersebut.

Jika kedua mikrozonasi dibandingkan, keduanya menunjukkan pola yang sama mengenai daerah yang memiliki nilai Vs30 tinggi dan periode dominan, serta Vs30 rendah dan nilai periode dominan. Perbedaannya adalah letak persis periode dominan terpanjang pada mikrozonasi periode dominan dan nilai Vs30 terendah pada mikrozonasi Vs30. Dalam perekaman mikrotremor, dikarenakan perekaman yang dilakukan adalah perekaman sumber pasif, sehingga semua input gelombang terekam, sementara pada perekaman data MASW, gelombang yang terekam adalah gelombang Rayleigh aktif hasil dari sumber aktif. Penggabungan kedua metode ini dapat digunakan karena kedua metode perekaman tersebut saling mengkomplementer satu sama lain, di mana mikrotremor tidak dapat memberikan informasi akurat mengenai tanah dekat permukaan, dikarenakan perekaman data di permukaan tercampur dengan *noise*, sementara perekaman MASW tidak dapat memberikan informasi akurat mengenai tanah lebih dari 30 meter dikarenakan menggunakan sumber aktif. Namun kedua mikrozonasi tersebut menunjukkan bahwa Tritih Kulon merupakan kawasan yang perlu diperhatikan atau direncanakan secara matang setiap kali ada rencana pembangunan di kawasan tersebut, karena Tritih Kulon terbukti memiliki nilai periode dominan yang panjang dan nilai Vs30 yang tinggi, sehingga menjadikan kawasan tersebut lebih rentan saat terjadi gempa.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan periode dominannya, Pesisir Cilacap terdiri dari Tanah Lunak, Tanah Sedang, Tanah Keras, Batuan dan Batuan Keras. Sedangkan berdasarkan nilai Vs30, terdiri dari Tanah Lunak,

Tanah Sedang, dan Tanah Keras. Kedua analisis tersebut menunjukkan bahwa Tritih Kulon merupakan kawasan yang terbukti mengalami kerusakan lebih parah pada saat gempa berdasarkan kelas tanahnya. Hal ini ditunjukkan dari besarnya nilai frekuensi dominan, panjangnya nilai periode dominan dan rendahnya nilai Vs30.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan korelasi antara uji seismik dengan uji lapangan seperti CPT atau N-SPT. Penelitian di kecamatan lain di Kabupaten Cilacap juga perlu dilakukan untuk melengkapi informasi mengenai jenis tanah di Kabupaten Cilacap, sehingga dapat melengkapi informasi untuk mitigasi bencana gempa bumi di masa mendatang.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Puslitbang Bidang Geofisika Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang telah menyediakan data mikrotremor dan MASW di Pesisir Kabupaten Cilacap untuk digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara. (2013) 'Penentuan Zona Rawan Guncangan Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya', *Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 2*, 30-40.
- Arifudin, A. M. (2018) 'Karakteristik Situs dan Kerentanan Seismik di Kabupaten Klaten dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) dari Data Mikrotremor', *Thesis*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Cilacap. (2022) *Kecamatan Cilacap Dalam Angka Tahun 2022*. Cilacap: Badan Pusat Statistik Kabupaten Cilacap.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019) 'SNI 1726:2019', *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Elnashai, A. S., & Sarno, L. D. (2008) *Fundamentals of Earthquake Engineering*. United Kingdom: John Wiley & Son.
- Faccioli, E., & Vanini, M. (2003) 'Complex Seismic Site Effect in Sediment-Filled Valleys and Implications on Design Spectra', *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 223-238.
- Febyani, S., Pradhana, M. F., Rivaldy, M., Syafri, I., Nur, A. A., Embara, P., & Nugroho, S. (2020) 'Analisis Kerentanan Gempa pada Jalur Sesar Baribis menggunakan Metode Microearthquake (MEQ)', *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY, Vol. 18, No. 1*, 1-12.
- Hadisumarno, S., Martopo, S., & Sutanto. (1982) 'Remote Sensing of Geographical Features of the Cilacap Region', *International Proceedings of the Workshop on Coastal Resources Management in Cilacap Region* (pp. 17-22). Cilacap: Gadjah Mada University.
- Hamilton, W. (1973) 'Tectonics of Indonesian Region', *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin 6*, 3-10.
- Isburhan, R. W., Nuraeni, G., Ry, R. V., Yudistira, T., Cipta, A., & Cummins, P. (2019) 'Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) Method for Earthquake Risk Determination of Jakarta City with Microtremor Data', *2nd Southeast Asian Conference on Geophysics*.
- Kurniawan, M. F., Koesuma, S., & Legowo, B. (2009) 'Vs30 Mapping and Site Classification in Surakarta City Based on Multichannel Analysis of Surface Waves Method', *7th Asian Physics Symposium*.
- Liu, W., Wang, C., Chen, Q., G, C., & H., J. C. (2017) 'Multiscale Random Field-Based Shear Wave Velocity Mapping and Site Classification', *Proceedings of the Geo-Risk 2017 Conference*.
- Marjiyono. (2010) *Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Muhaimin, Tjahjono, B., & Darmawan. (2016) 'Analisis Risiko Gempabumi di Cilacap Provinsi Jawa Tengah', *J. Il. Tan. Lingk.*, 18 (1), 28-34.
- Nakamura, Y. (1989) 'A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurfaces Using Microtremor on the Ground Surface', *QR of RTRI, Vol. 30, No. 1*, 25-33.
- NEHRP. (2003) *Recommended for Seismic Regulations for New Building and Other Structures*. Washington DC: FEMA.
- Nortey, G., Amarah, T. K., & Amponsah, P. (2018) 'Vs30 Mapping at Selected Sites within the Greater Accra Metropolitan Area', *Journal of African Earth Sciences*.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999) 'Multichannel Analysis of Surface Waves', *Geophysics* 64, 800-808.

SESAME European Research Project. (2004) *Guidelines for The Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. European Commission-Research General Directorate.

Zhao, J. X., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., Sommerville, P. G., Asano, A., Ogawa, H.(2006) 'An Empirical Site-Classification Method for Strong-Motion Stations in Japan Using H/V Response Spectral Ratio', *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 3, 914-925.
