



## Potensi Penguatan Gelombang Gempabumi oleh Sedimen Permukaan: Studi Kasus Daerah Pantai Utara Kendal

### *The Site Amplification Potency by Surface Sediment: Case Study North Coast of Kendal Regency*

J.B. Januar H. Setiawan, Hidayat, Ahmad Setiawan, Riecca Oktavitania dan Marjiyono

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122  
 email : [jhsetia@gmail.com](mailto:jhsetia@gmail.com)

Naskah diterima : 01 Februari 2021, Revisi terakhir : 08 Maret 2021 Disetujui : 10 Maret 2021, Online : 10 Maret 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.22.1.25-31p>

**Abstrak** - Daerah Kendal merupakan salah satu kawasan strategis nasional yang akan dikembangkan. Secara geologi bagian utara daerah ini tersusun oleh aluvium yang merupakan sedimen lunak dan dapat menyumbang resiko penguatan gelombang gempabumi. Kajian karakteristik geologi permukaan telah dilakukan di daerah ini dengan menggunakan kombinasi metode mikrotremor stasiun tunggal dan bersusun. Data mikrotremor bersusun yang dilakukan di 10 lokasi di daerah Kendal digunakan untuk *sounding* kecepatan gelombang geser secara 1D. Dalam penelitian ini pemodelan kondisi bawah permukaan didekati dengan model sederhana dua lapis dengan mempertimbangkan kontras kecepatan gelombang geser terbesar. Adapun data mikrotremor stasiun tunggal dilakukan di 208 lokasi, digunakan untuk memetakan ketebalan lapisan sedimen permukaan. Kecepatan gelombang geser lapisan sedimen permukaan di daerah ini berkisar antara 80-180 m/detik yang mencerminkan batuan sangat lunak. Batuan yang mengalasi sedimen permukaan mempunyai kecepatan gelombang geser antara 280-433 m/detik yang diduga masih merupakan fasies aluvium yang lebih tua. Hasil perhitungan nilai penguatan gelombang oleh lapisan sedimen permukaan diperoleh nilai 1,1 – 1,87 dengan zona berpenguatan gelombang tinggi menempati daerah sekitar pantai dan pinggiran sungai besar. Hasil kajian ini diharapkan dapat digunakan untuk bahan pertimbangan dalam penataan ruang wilayah yang akan dikembangkan.

**Katakunci** : mikrotremor stasiun bersusun, mikrotremor stasiun tunggal, kecepatan gelombang geser, penguatan gelombang, tataruang wilayah.

*Abstract* - Kendal regency area is one of the national strategic areas that will be developed. Geologically, the northern part of this area consist of alluvium which are soft sediments that may contribute to the risk due to site amplification. Surface geological characteristics have been studied in this area using a combined-mikrotremor array and single station measurement. The mikrotremor array data carried out in 10 sites which are spread evenly over the Kendal area were used for 1D shear wave velocity sounding. In this research, modeling of subsurface geological conditions was approached with a simple two-layer model by considering the largest shear wave velocity contrast. The single station mikrotremor data were carried out in 208 sites, used to map the thickness of the surface sediment layer. The shear wave velocity of the surface sediment layer in this area ranges from 80-180 m/s, which reflects very soft sediment. The sediment layer that underlies the surface sediment has a shear wave velocity between 280-433 m/s which is predicted to be the older facies of alluvium. The results of the analyses of the site amplification by the surface sediment layer obtained values of 1.1 - 1.87 with the high amplification zone are occupying the area around the coast and the banks of large rivers. The results of this study are expected to be used as spatial planning consideration for the areas which are to be developed.

**Keyword** : array mikrotremor, single station mikrotremor, shear wave velocity, site amplification, spatial planning.

## PENDAHULUAN

Daerah pantai utara P. Jawa secara ekonomi lebih berkembang jika dibandingkan bagian sisi selatan. Morfologi di daerah pantai utara P. Jawa umumnya merupakan dataran rendah yang menghadap langsung ke Laut Jawa. Kondisi fisiografis yang lebih nyaman menjadikan wilayah ini berkembang menjadi kota-kota pelabuhan dan pusat-pusat perdagangan sejak lama, seperti: Jakarta, Cirebon, Tegal, Pekalongan, Kendal, Semarang, Jepara, Rembang, Tuban Gresik hingga Surabaya. Beberapa kota sudah berkembang menjadi kota metropolitan (Jakarta, Semarang, Surabaya) sebagai pusat perdagangan dan pemerintahan.

Pemerintah telah menetapkan beberapa kawasan strategis nasional sebagai upaya mendorong munculnya pusat-pusat pertumbuhan baru antara lain Kawasan Kedungsepur (Kendal-Demak-Ungaran-Semarang-Salatiga-Purwadadi) sebagai salah satu kawasan yang akan dikembangkan. Pemerintah telah memutuskan akan mempercepat pengembangan kawasan ini, dengan Kota Semarang sebagai kota inti dan kota lainnya sebagai kota satelit. Khususnya di daerah Kendal, pengembangan wilayah bahkan sudah berjalan dengan pembangunan Kawasan Industri Kendal dan Pelabuhan Kendal.

Pengembangan kawasan memerlukan kajian identifikasi potensi yang ada di wilayah tersebut, baik potensi yang bersifat positif maupun potensi negatif, misalnya potensi kebencanaan. Potensi kebencanaan perlu dipertimbangkan dalam rangka mengurangi dampak negatif ketika bencana tersebut terjadi. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi telah melakukan kajian mengenai potensi kebencanaan gempabumi, khususnya kajian seismik pasif untuk mengetahui potensi penguatan gelombang gempabumi oleh lapisan sedimen permukaan di wilayah Pantai Utara Kendal. Sebaran nilai penguatan gelombang telah dipetakan. Daerah dengan nilai penguatan gelombang tinggi mempunyai resiko yang lebih besar mengalami guncangan tanah ketika terjadi gempabumi. Begitu pula sebaliknya, daerah-daerah dengan nilai penguatan gelombang rendah memiliki resiko rendah. Daerah daerah seperti ini dapat dipertimbangkan sebagai daerah yang layak untuk dikembangkan.

## GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

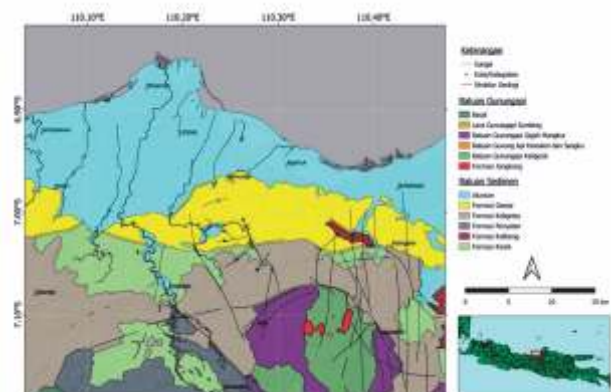
Lumbanbatu (2009) dan Poedjoprajitno dkk. (2009) menyatakan bahwa beberapa struktur geologi di sekitar Kendal merupakan sesar aktif karena memotong batuan berumur Kuartar (Formasi Damar).

Namun demikian, berdasarkan catatan kegempaan oleh aktifitas sesar tersebut belum pernah menimbulkan gempabumi di daerah ini. Thanden dkk. (2006) menampilkan struktur sesar tersebut dalam peta geologi Lembar Semarang dan Magelang skala 1:100.000 (Gambar 1) berupa batas litologi antara batuan Formasi Kerek dan Formasi Damar. Sesar ini memanjang dari selatan Kota Semarang hingga selatan wilayah Kabupaten Kendal. Beberapa sesar lokal yang berumur lebih muda berarah baratlaut-tenggara hingga utara-selatan memotong sesar besar ini. Sesar-sesar lokal tersebut umumnya merupakan sesar dengan pola radial dari Gunung Ungaran.

Batuan tertua yang tersingkap di daerah penelitian adalah batuan Formasi Kerek berupa perselingan batulempung, napal, batupasir tufan, konglomerat, breksi vulkanik dan batugamping. Batulempung berwarna abu-abu muda sampai tua, gampingan, di beberapa tempat bersisipan dengan batulanau, setempat mengandung fosil foram, moluska dan koral. Batugamping umumnya berlapis, kristalin, dan pasirannya mempunyai ketebalan total lebih dari 400 m. Batuan Formasi Kerek ini berumur Miosen Tengah.

Formasi Damar yang menempati perbukitan di selatan dataran Kendal berumur Plio-Plistosen, terdiri atas batupasir tufan, konglomerat dan breksi vulkanik. Batupasir mengandung mineral mafik, felspar dan kuarsa. Adapun breksi vulkanik mungkin diendapkan sebagai lahar. Formasi ini sebagian bukan-laut yang diindikasikan dari fosil vertebrata.

Endapan paling muda di daerah ini menempati daerah dataran berupa aluvium yang terdiri atas, kerakal, kerikil, pasir dan lanau.



Sumber: modifikasi dari Thanden dkk, (2006)

**Gambar 1.** Peta geologi daerah Kendal dan sekitarnya.

**LANDASAN TEORI**

Secara alamiah sedimen permukaan adalah berlapis-lapis karena terjadi beberapa kali proses sedimentasi dalam skala waktu geologi. Umumnya batuan yang lebih tua berada di bawah / dalam, dan mempunyai rapat massa lebih besar karena menerima beban yang lebih berat. Kondisi batuan yang berlapis-lapis tersebut akan mempengaruhi tingkah laku penjarangan gelombang seismik. Gelombang seismik yang datang dari lapisan batuan lebih pejal ke lapisan batuan yang lebih lunak akan mengalami penguatan amplitudo. Secara umum untuk suatu daerah dengan *multi layer* sedimen, besarnya nilai penguatan gelombang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$A = \sum_{i=0}^N \left( \frac{\rho_i V_{Si}}{\rho_{(i+1)} V_{S(i+1)}} \right) \exp \left( -\frac{\pi f_{oi} h_i}{Q_i V_{Si}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

dengan

- A : besarnya nilai penguatan gelombang
- i : rapat masa batuan lapisan ke i
- V<sub>Si</sub>: Kecepatan gelombang geser pada batuan lapisan ke i
- h<sub>i</sub> : ketebalan lapisan batuan ke i
- f<sub>oi</sub>: frekuensi resonan oleh lapisan batuan ke i
- Q<sub>i</sub> : faktor kualitas lapisan batuan ke i.

Namun demikian dalam aplikasi di lapangan untuk memodelkan geologi bawah permukaan *multi layer* secara lateral untuk wilayah yang luas terlalu rumit, sehingga dalam kajian ini perhitungan nilai penguatan gelombang (*site amplification*) akan didekati dengan model dua lapis batuan. Bila ditinjau persamaan amplifikasi gelombang di atas, maka parameter yang menyumbang nilai penguatan terbesar adalah nilai kontras impedansi ( $\rho \cdot V_s$ ) antara lapisan batuan, sehingga model dua lapis yang akan dipilih adalah model lapisan dengan nilai kontras impedansi terbesar. Untuk model kondisi geologi bawah permukaan dua lapis, secara matematik persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut:

$$A_2 = \left( \frac{\rho_b V_{Sb}}{\rho_s V_{Ss}} \right) \exp \left( -\frac{\pi f_o h_s}{Q_s V_{Ss}} \right) \dots \dots \dots (2)$$

dengan

- A<sub>2</sub> : besarnya nilai penguatan gelombang model 2 lapis
- s : rapat masa batuan sedimen permukaan
- b : rapat masa lapisan batuan yang mengalasi sedimen permukaan
- V<sub>ss</sub>: Kecepatan gelombang geser lapisan batuan sedimen permukaan

- V<sub>sb</sub>:Kecepatan gelombang geser lapisan batuan yang mengalasi sedimen permukaan
- h<sub>s</sub>: ketebalan lapisan sedimen permukaan
- f<sub>o</sub>: frekuensi resonan oleh lapisan batuan sedimen permukaan
- Q<sub>s</sub>:faktor kualitas lapisan batuan sedimen permukaan

**METODOLOGI**

Metode sismik pasif yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode mikrotremor, yakni dengan mengkombinasikan metode mikrotremor stasiun bersusun (*array station microtremor*) dan mikrotremor stasiun tunggal (*single station microtremor*). Mikrotremor stasiun bersusun adalah pengukuran mikrotremor secara bersamaan (*simultant*) dengan paling sedikit 4 seismometer dengan konfigurasi tertentu. Pengukuran ini dimaksudkan untuk *sounding* 1D kecepatan gelombang geser pada titik ukur. Pengukuran dilakukan di sejumlah titik yang tersebar merata di daerah penelitian. Pemodelan dilakukan dengan pendekatan 2 lapis batuan untuk setiap titik ukur, untuk selanjutnya dilakukan interpolasi secara lateral sehingga diperoleh peta sebaran ketebalan lapisan sedimen permukaan (h<sub>s</sub>), sebaran kecepatan gelombang geser lapisan sedimen permukaan (V<sub>ss</sub>) dan sebaran kecepatan lapisan gelombang geser lapisan yang mengalasi sedimen permukaan (V<sub>sb</sub>).

Peta sebaran ketebalan lapisan sedimen permukaan yang diperoleh dari data mikrotremor stasiun bersusun sifatnya kasar, karena hanya merupakan hasil interpolasi dari beberapa titik ukur. Untuk memperoleh sebaran nilai ketebalan sedimen permukaan yang lebih rinci, maka dilalukan pengukuran mikrotremor stasiun tunggal, yaitu pengukuran mikrotremor dengan menggunakan satu unit seismometer 3 komponen. Pengukuran biasanya dilakukan pada titik-titik grid dengan ukuran tertentu di seluruh daerah penelitian. Pengukuran mikrotremor stasiun tunggal juga dimaksudkan untuk memperoleh nilai frekuensi dominan tanah yang berkaitan dengan ruang resonan / ketebalan sedimen permukaan. Secara matematik hubungan frekuensi dominan tanah dengan ketebalan sedimen permukaan adalah sebagai berikut:

$$\frac{1}{f_o} = \frac{4h_s}{V_{Ss}} \dots \dots \dots (3)$$

atau

$$h_s = \frac{V_{Ss}}{4f_o} \dots \dots \dots (4)$$

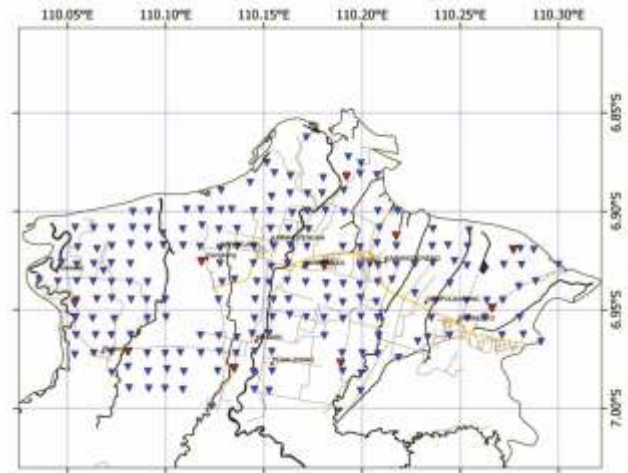
Berdasarkan persamaan di atas, maka untuk setiap titik ukur dapat dihitung nilai ketebalan sedimen permukaannya dengan masukan  $V_{ss}$  yang diperoleh dari hasil pemodelan mikrotremor stasiun bersusun. Dengan data-data yang diperoleh dari hasil pemodelan mikrotremor stasiun bersusun dan hasil perhitungan frekuensi dominan tanah dari mikrotremor stasiun tunggal, maka nilai faktor penguatan gelombang (persamaan 2) dapat dihitung. Untuk memperoleh nilai standar penguatan gelombang yang lebih baku, maka spektrum amplifikasi dilakukan pembobotan dengan *design respon spectra* dari SNI 1726:2019 (BSN, 2019).

Pengukuran mikrotremor stasiun tunggal untuk wilayah pantai utara Kendal dilakukan di 208 titik ukur yang tersebar terutama pada daerah dataran aluvium, sedangkan pengukuran mikrotremor stasiun bersusun dilakukan di 10 titik ukur (Gambar 2). Pengukuran mikrotremor stasiun bersusun dilakukan menggunakan 10 buah seismometer secara simultan dengan konfigurasi *triangle nested* dengan ukuran segitiga terbesar mencapai 40 m. Dengan demikian, lokasi yang memungkinkan untuk pengukuran mikrotremor stasiun bersusun adalah tanah lapang yang luas, misalnya lapangan bola yang tersebar di wilayah Kendal.

## HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Secara morfologi daerah penelitian merupakan dataran rendah dimana bahan rombakan dari pembukitan di bagian selatan, mengendap di daerah ini, dan pada umumnya berupa pasir lempungan. Lumbanbatu (2009) menyatakan bahwa proses erosi dan pengendapan aluvium di daerah pantai utara Kendal ini dipengaruhi oleh fenomena genanglaut, susutlaut dan adanya aktifitas tektonik. Hal senada juga disampaikan Poedjoprajitno dkk. (2009) bahwa lingkungan pengendapan aluvium di daerah ini mengalami dua fase tektonik.

Wardhana dkk. (2014) memodelkan kondisi bawah permukaan berdasarkan data gayaberasat wilayah Kota Semarang dan sekitarnya, menyatakan bahwa batuan yang mengalasi aluvium di daerah tersebut berupa batuan vulkanik yang menumpang di atas Formasi Damar. Kota Semarang dan Kendal merupakan wilayah yang bersebelahan dan secara fisiografis memiliki karakteristik sama, sehingga kondisi bawah permukaan dangkal kedua wilayah ini diperkirakan memiliki kemiripan. Batuan vulkanik yang mengalasi aluvium di wilayah ini diperkirakan merupakan *engineering bedrock* yang mempunyai kecepatan gelombang geser di atas 750 m/detik.



**Gambar 2.** Sebaran titik ukur mikrotremor stasiun bersusun (segitiga warna merah) dan stasiun tunggal (segitiga warna biru) di daerah Pantai Utara Kendal.

Dalam penelitian ini, data bawah permukaan diperoleh dari pemodelan kecepatan gelombang geser berdasarkan inversi data mikrotremor stasiun bersusun. Metode ini dapat menjadi metode alternatif yang murah dan cepat sebagai pengganti data bor (Moon dkk., 2019). Adapun untuk memperoleh ketebalan sedimen lunak permukaan dilakukan dengan menggunakan mikrotremor stasiun tunggal. Kombinasi kedua metode ini cukup efektif untuk memetakan karakteristik sedimen permukaan berupa kecepatan gelombang geser sedimen permukaan dan lapisan batuan yang mengalasinya serta ketebalan lapisan sedimen permukaan. Parameter-parameter tersebut yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai faktor penguatan gelombang di permukaan tanah (Seht, 2014).

Pemodelan sedimen bawah permukaan didekati dengan model sederhana dua lapis, dengan asumsi bahwa penyumbang penguatan gelombang terbesar di permukaan berasal dari kontras impedansi antar lapisan batuan yang paling tinggi, atau rasio kecepatan gelombang geser antara batuan alas dan sedimen permukaan yang paling besar. Dengan demikian, nilai penguatan gelombang oleh sedimen permukaan yang diperhitungkan berasal dari lapisan yang mempunyai kontras kecepatan terbesar terhadap lapisan sedimen permukaan.

Dalam kasus penelitian karakteristik sedimen permukaan di daerah Kendal ini, batuan yang mengalasi sedimen permukaan memiliki nilai kecepatan gelombang geser sekitar 430 m/detik. Contoh model bawah permukaan hasil inversi data mikrotremor stasiun bersusun titik A06 ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai kecepatan gelombang geser tersebut masih termasuk ke



dalam batuan lunak yang diperkirakan merupakan fasies aluvium yang lebih tua. Kontras impedansi antara *engineering bedrock* terhadap fasies aluvium tua tersebut diperkirakan lebih rendah dibandingkan kontras impedansi antara lapisan sedimen permukaan dan fasies aluvium tua, sehingga nilai penguatan gelombang terbesar tidak selalu berasal dari *engineering bedrock*.

Interpolasi nilai kecepatan gelombang geser sedimen permukaan hasil pemodelan data mikrotremor stasiun bersusun di 10 lokasi yang tersebar di daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai kecepatan gelombang geser berkisar antara 80-180 m/detik yang dikategorikan sebagai batuan sangat lunak. Berdasarkan pengamatan di lapangan batuan ini umumnya merupakan pasir lempungan. Secara umum zona kecepatan rendah berada di bagian timur daerah penelitian dan secara gradual meninggi ke arah barat.

Seperti halnya lapisan sedimen permukaan, sebaran kecepatan gelombang geser fasies aluvium yang lebih tua juga diinterpolasi dari model 1D dari pengukuran di 10 lokasi *sounding*. Hasil pemodelan kecepatan gelombang geser lapisan fasies aluvium tua berkisar antara 280-433 m/detik. Secara lateral sebaran nilai kecepatan gelombang geser fasies aluvium tua ditunjukkan dalam Gambar 5. Zona kecepatan rendah masih menempati posisi yang sama dengan lapisan sedimen permukaan, diduga daerah ini sejak pengendapan aluvium tua merupakan cekungan. Adapun zona kecepatan tinggi berubah secara drastis, yakni di bagian tengah, ujung barat dan timur daerah penelitian.

Dari kedua peta tersebut ditambah data ketebalan lapisan sedimen permukaan hasil perhitungan data mikrotremor stasiun tunggal, maka dengan persamaan (2) dapat dipetakan nilai faktor penguatan gelombang gempabumi oleh lapisan sedimen permukaan dan selanjutnya dilakukan pembobotan dengan design respon spectra setempat.

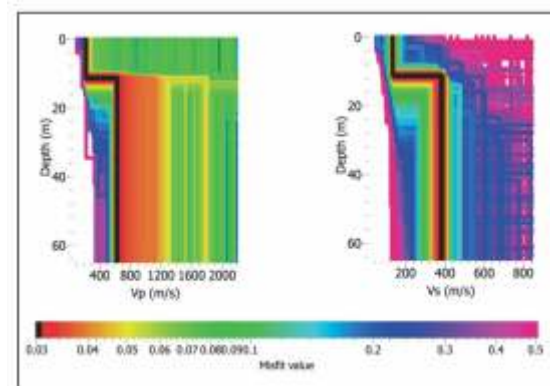
Huang dkk. (2019) menyatakan bahwa kerusakan bangunan di permukaan tanah terutama disebabkan oleh penguatan gelombang gempabumi yang merambat dari batuan yang lebih keras ke dalam lapisan soil/aluvium. Pemetaan nilai penguatan gelombang di suatu wilayah yang akan dikembangkan diperlukan untuk mengetahui tingkat resiko guncangan tanah ketika gempabumi terjadi. Dengan mengetahui sebaran nilai penguatan gelombang, maka ketidak sesuaian peruntukan lahan akan dapat dihindari.

Sebaran nilai penguatan gelombang untuk daerah Kendal disajikan dalam Gambar 6. Besaran penguatan

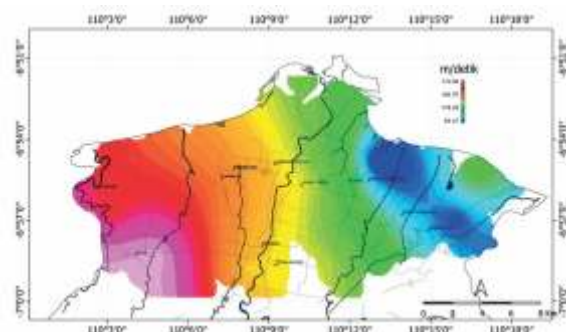
gelombang berkisar antara 1,1 – 1,87. Daerah dengan nilai penguatan gelombang tinggi umumnya menempati daerah pinggiran pantai dan pinggiran sungai yang kemungkinan berkaitan dengan umur pengendapan yang paling muda, sehingga tingkat konsolidasinya paling rendah. Daerah dengan nilai penguatan gelombang rendah menempati bagian tenggara daerah penelitian.

Implementasi data sebaran nilai penguatan gelombang (*site amplification*) di dalam penataan ruang merupakan salah satu upaya mitigasi. Dalam catatan sejarah kegempaan, kerusakan bangunan dan infrastruktur oleh guncangan tanah umumnya tidak selalu linear terhadap jarak dari pusat gempabumi. Kerusakan bangunan pada wilayah yang luas mengikuti pola tertentu yang berkaitan dengan karakteristik sedimen permukaannya. Hal serupa dinyatakan Stanko dkk. (2019) dan Foti dkk. (2019) bahwa data *seismic site amplification* sebagai salah satu data krusial untuk diterapkan dalam penataan ruang.

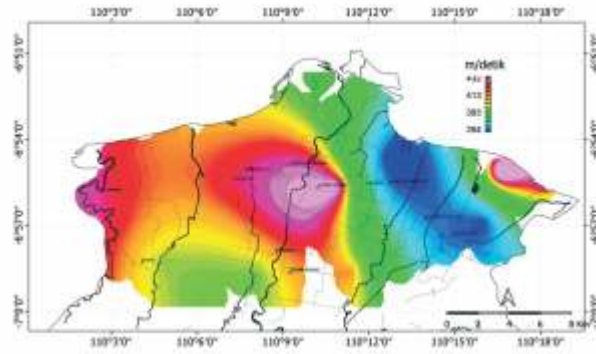
Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam penataan ruang di daerah ini, mengingat daerah Kendal merupakan salah satu kawasan strategis yang dikembangkan pemerintah. Adapun kondisi tata guna lahan daerah sekitar pantai saat ini umumnya merupakan area usaha perikanan berupa tambak, daerah pertanian, pemukiman.



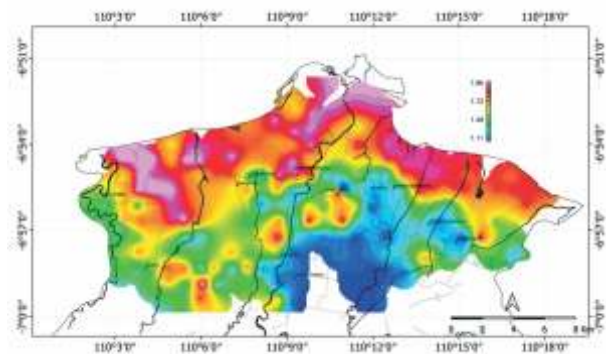
Gambar 3. Model kecepatan gelombang primer (kiri) dan kecepatan gelombang geser (kanan) di titik A06 Kendal.



Gambar 4. Sebaran nilai kecepatan gelombang geser lapisan sedimen permukaan daerah Kendal.



**Gambar 5.** Sebaran nilai kecepatan gelombang geser fasies aluvial tua daerah Kendal.



**Gambar 6.** Sebaran penguatan nilai gelombang daerah Kendal. Nilai penguatan tinggi berada di sekitar pantai.

## KESIMPULAN

Kombinasi survei mikrotremor stasiun tunggal dan mikrotremor stasiun bersusun efektif dan murah untuk mengetahui karakteristik sedimen permukaan terkait potensi penguatan gelombang gempa bumi. Metode ini bersifat *non-invasive* sehingga dapat diterapkan di wilayah kota besar. Hasil perhitungan nilai penguatan gelombang untuk daerah Kendal berkisar antara 1,1 hingga 1,87. Nilai penguatan gelombang tinggi menempati bagian utara daerah penelitian terutama di sekitar pantai dan pinggiran sungai besar. Adapun daerah berpenguatan gelombang rendah menempati terutama bagian tenggara daerah penelitian. Daerah berpenguatan

gelombang tinggi memiliki resiko yang lebih besar untuk dilakukan pengembangan. Daerah ini juga tidak direkomendasikan untuk dibangun fasilitas vital dan strategis.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Survei Geologi yang telah memberikan kesempatan bagi tim pengembangan seismik pasif untuk karakterisasi sedimen permukaan yang diimplementasikan di daerah ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada teman-teman teknisi yang telah membantu dalam akuisisi data mikrotremor.

## ACUAN

- BSN, 2019. *SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Foti, S., Aimar, M., Ciancimino, A. and Passeri, F., 2019. Recent Developments in Seismic Site Response Evaluation and Microzonation. *Proceedings of the XVII ECSMGE-2019*.
- Huang, D., Wang, G., Du, C. and Jin, F., 2019. Seismic Amplification of Soil Ground with Spatially Varying Shear Wave Velocity Using 2D Spectral Element Method. *Journal of Earthquake Engineering*, <https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1654946>.

- 
- Lumbanbatu, U.M., 2009. Perkembangan Dataran Pantai (Coastal Plain) Daerah Kendal Propinsi Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 19(4): 225-237
- Moon, S.W., Subramaniam, P., Zhang, Y., Vinoth, G. and Ku, T., 2019. Bedrock Depth Evaluation Using Microtremor Measurement: Empirical Guidelines at Weathered Granite Formation in Singapore. *Journal of Applied Geophysics*, 171(103866): 1-9.
- Poedjoprajitno, S., Moechtar, H. dan Hidayat, S., 2009. Perubahan Lingkungan Pengendapan Hubungannya dengan Tektonik Kuartar : Studi Kasus Geologi Kuartar di Wilayah Dataran Rendah Aluvial Hingga Pantai Sepanjang Maron-Sikucingkaraja Kecamatan Gemuruh, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 19(2): 107-116
- Secht, M., 2014. Microzonation Studies using Microtremor Manual. German-Indonesia Technical Cooperation Mitigation of Georisks Document Series.
- Stanko, D., Markušić, S., Gazdek, M., Sankovic, V., Slukan, I. and Ivancic, I., 2019. Assessment of the Seismic Site Amplification in the City of Ivanec (NW Part of Croatia) Using the Microtremor HVSR Method and Equivalent-linear Site Response Analysis. *Geosciences*, 9(312): 1-25
- Thanden, R.E, Sumadirdja, H., Richards, P.W., Sutisna, K., dan Amin, T.C., 1996. *Peta Geologi Lembar Semarang dan Magelang, Jawa Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Wardhana, D.D., Harjono, H. dan Sudaryanto, 2014. Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Gayaberat. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 24: 53-64.
-