



Kajian Resistensi Tanah Berdasarkan Variasi Kecepatan Gelombang Geser (V_s) di Kawasan Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu

Roky Suprandani*, Lindung Zalbuin Mase, Fepy Supriani, Rena Misliniyati, Khairul Amri
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

*Email korespondensi : g1b021056.rokysupandani@mhs.unib.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v23i1.22575>

Received: 21 Mei 2025; Revised: 17 September 2025; Accepted: 27 September 2025

ABSTRAK

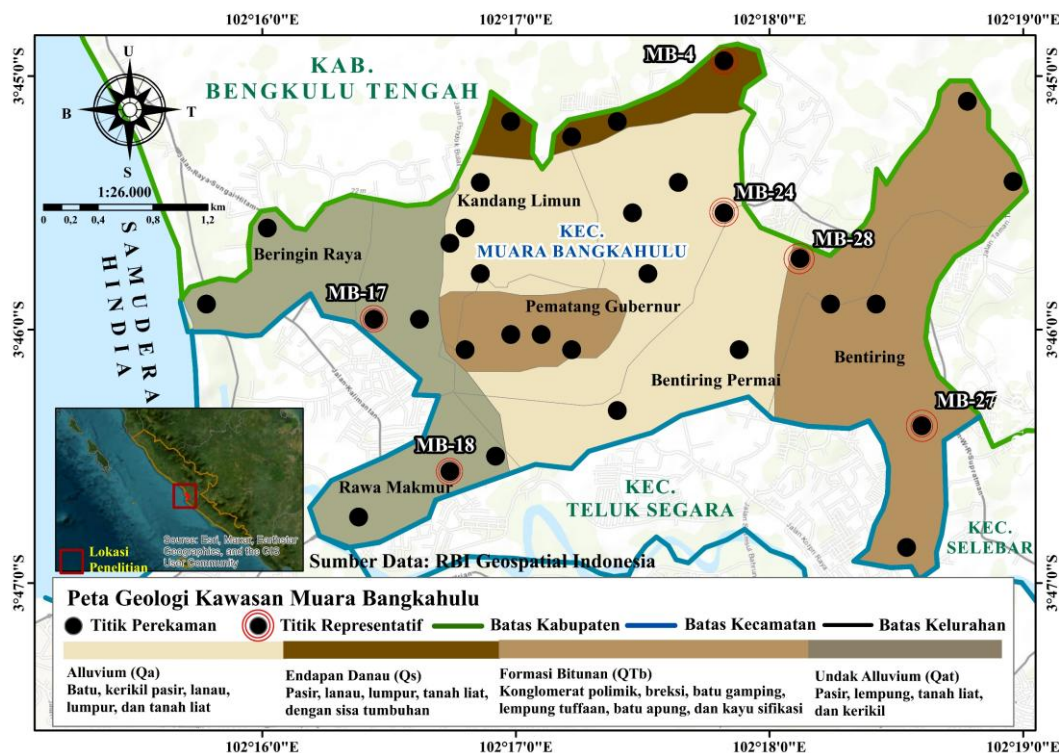
Kawasan Muara Bangkahulu merupakan kawasan yang rentan terhadap aktivitas seismik karena terletak di zona subduksi serta keberadaan patahan aktif Sumatera dan Mentawai. Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan peta mikrozonasi berdasarkan variasi kecepatan gelombang geser (V_s) pada kedalaman 10 hingga 50 m (V_{s10} s.d. V_{s50}). Data yang digunakan adalah kecepatan gelombang geser (V_s) hasil survei mikrotremor. Enam titik representatif dipilih berdasarkan persebaran permukiman dan fasilitas publik. Pengolahan data V_s dilakukan untuk mendapatkan nilai V_{s10} , V_{s20} , V_{s30} , V_{s40} , V_{s50} kelas situs, dan nilai *Ground Amplification factor* (GAF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar titik penelitian tergolong kelas situs C (tanah keras, batuan lunak) dan D (tanah sedang) dengan rentang V_{s10} , V_{s20} , V_{s30} , V_{s40} , V_{s50} berkisar antara 290,3 - 534,7 m/s. Kawasan Muara Bangkahulu didominasi oleh nilai GAF sedang hingga tinggi berkisar antara 0,8 s.d. 2,0. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam memahami karakteristik tanah yang dinamis sebagai informasi penting untuk perencanaan tata ruang dan mitigasi risiko gempa bumi di kawasan Muara Bangkahulu.

KATA KUNCI: Amplifikasi; Gempa bumi; Kecepatan gelombang geser (V_s); Kelas situs; Muara Bangkahulu

ABSTRACT

Muara Bangkahulu area is vulnerable to seismic activity because it is located in the subduction zone and the presence of active Sumatra and Mentawai faults. This study aims to present a microzonation map based on the variation of shear wave velocity (V_s) at a depth of 10 to 50 m (V_{s10} to V_{s50}). The data used is the shear wave velocity (V_s) from microtremor survey. Six representative points were selected based on the distribution of settlements and public facilities. V_s data processing was conducted to obtain V_{s10} , V_{s20} , V_{s30} , V_{s40} , V_{s50} , site class, and Ground Amplification factor (GAF) values. The results showed that most of the study points belonged to site classes C (hard soil, soft rock) and D (medium soil) with V_{s10} , V_{s20} , V_{s30} , V_{s40} , V_{s50} values ranging from 290,3 – 534,7 m/s. The Muara Bangkahulu area is dominated by moderate to high GAF values ranging from 0.8 to 2.0. This research is expected to be a reference in understanding dynamic soil characteristics as important information for spatial planning and earthquake risk mitigation in the Muara Bangkahulu area.

KEYWORDS : Amplification; Earthquake; Shear wave velocity (V_s); Site class; Muara Bangkahulu



Gambar 1. Kondisi geologi Muara Bangkahulu dan sebaran titik perekaman mikrotremor

PENDAHULUAN

Kota Bengkulu merupakan daerah yang mengalami kontak langsung dengan hamparan Samudera Hindia. Kota Bengkulu berada di tiga zona tektonik, yaitu Patahan Sumatra, Patahan Mentawai, dan Subduksi Sumatera. Tiga zona tektonik inilah yang rutin menyebabkan gempa di bagian barat pulau Sumatera termasuk Kota Bengkulu (Mase et al., 2021a). Selama dua dekade terakhir telah terjadi dua gempa besar di Kota Bengkulu. Gempa pertama pada 4 Juni 2000 (magnitudo 7,9) disebut gempa Bengkulu-Enggano dan gempa kedua pada 12 September 2007 (magnitudo 8,6) disebut gempa Bengkulu-Mentawai (Mase, 2017b). Gempa yang terjadi di area patahan umumnya mengakibatkan dampak desktruktif yang tinggi, terutama pada bangunan (Adampira et al., 2015).

Kota Bengkulu terdiri atas 6 formasi geologi yang beragam (Mase et al., 2021a).

, kondisi geologi Muara Bangkahulu dan Sebaran titik perekaman mikrotremor memperlihatkan kawasan Muara Bangkahulu terdiri atas 4 formasi geologi yang didominasi oleh Endapan Alluvium (Qa) di bagian tengah, Formasi Bitunan (QTb) di bagian timur, sedikit Endapan Rawa (Qs) di bagian utara,

dan Undak Alluvium (Qat) di pesisir sebelah barat. Informasi terkait litologi bawah permukaan penting untuk mengidentifikasi dampak kerusakan seismik (Hadi et al., 2021).

Kawasan Muara Bangkahulu merupakan salah satu wilayah dengan peran strategis sebagai pusat perkotaan yang multifungsi (Farid & Mase, 2020a). Beberapa bangunan fungsional seperti pusat pendidikan (Kampus utama Universitas Bengkulu), kawasan pusat pemerintahan (Kantor walikota), kawasan perdagangan dan jasa (Pasar dan ruko), kawasan sarana pelayanan masyarakat (Kantor Kecamatan dan Polres Muara Bangkahulu), dan kawasan pusat pertahanan dan keamanan (Lembaga Pemasyarakatan Wanita Kelas II B Bengkulu) (Farid et al., 2024). Menurut (Zahara et al., 2024; Nugraha et al., 2024a). Resiko gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas tektonis dan kondisi geologis ini dapat menyebabkan berbagai kerusakan yang besar terhadap struktur bangunan di daerah tersebut.

Penelitian kegempaan di Kota Bengkulu telah banyak dilakukan sebelumnya. (Mase, 2018), melakukan penelitian mengenai keandalan perancangan percepatan spektral terhadap gempa bumi di Kota Bengkulu.

Penelitian menemukan bahwa pada perambatan gelombang geser, percepatan spektral di Kota Bengkulu melebihi batas yang ditetapkan dalam desain. (Mase, 2020), melakukan penelitian mengenai kerentanan seismik di Kota Bengkulu. Penelitian tersebut merekomendasikan agar faktor kegempaan dipertimbangkan dalam perancangan struktur bangunan serta perencanaan tata ruang kota. (Mase et al., 2021a), telah melakukan analisis bahaya seismik dengan melakukan mikrozonasi di Kota Bengkulu dan menemukan bahwa kondisi geologi wilayah tersebut didominasi oleh formasi Qs dan Qat dengan klasifikasi situs C dan D. (Farid et al., 2024), melakukan studi kegempaan di kawasan Muara Bangkahulu dengan membandingkan hasil metode linier dan nonlinier ekuivalen dalam memprediksi respons seismik. Penelitian tersebut memberikan pemahaman mendalam mengenai respon tanah pada gempa bumi. (Adrian et al., 2025), melakukan kajian resistensi tanah di Kabupaten Kepahiang dengan komponen V_s . Hasilnya daerah tersebut didominasi oleh kelas situs C dan D dengan resistensi relatif sedang. Kajian serupa juga telah dilakukan oleh (Febiana et al., 2025), yang menyoroti resistensi tanah di kawasan pesisir Kota Bengkulu dan menemukan daerah tersebut memiliki resistensi tanah relatif sedang dan berpotensi likuifaksi.

Studi kegempaan di Kota Bengkulu telah banyak dilakukan, namun belum ada studi terkait resistensi tanah yang secara khusus menyoroti Kecamatan Muara Bangkahulu. Kajian ini dilakukan untuk melengkapi penelitian terdahulu. Kajian bertujuan untuk menganalisa hubungan antara kecepatan gelombang geser (V_s) dan resistensi tanah melalui pemetaan dua dimensi berbasis GIS, dengan parameter VS_{10} , VS_{20} , VS_{30} , VS_{40} , dan VS_{50} , kelas situs, dan ground amplification factor (GAF). Hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran resistensi tanah

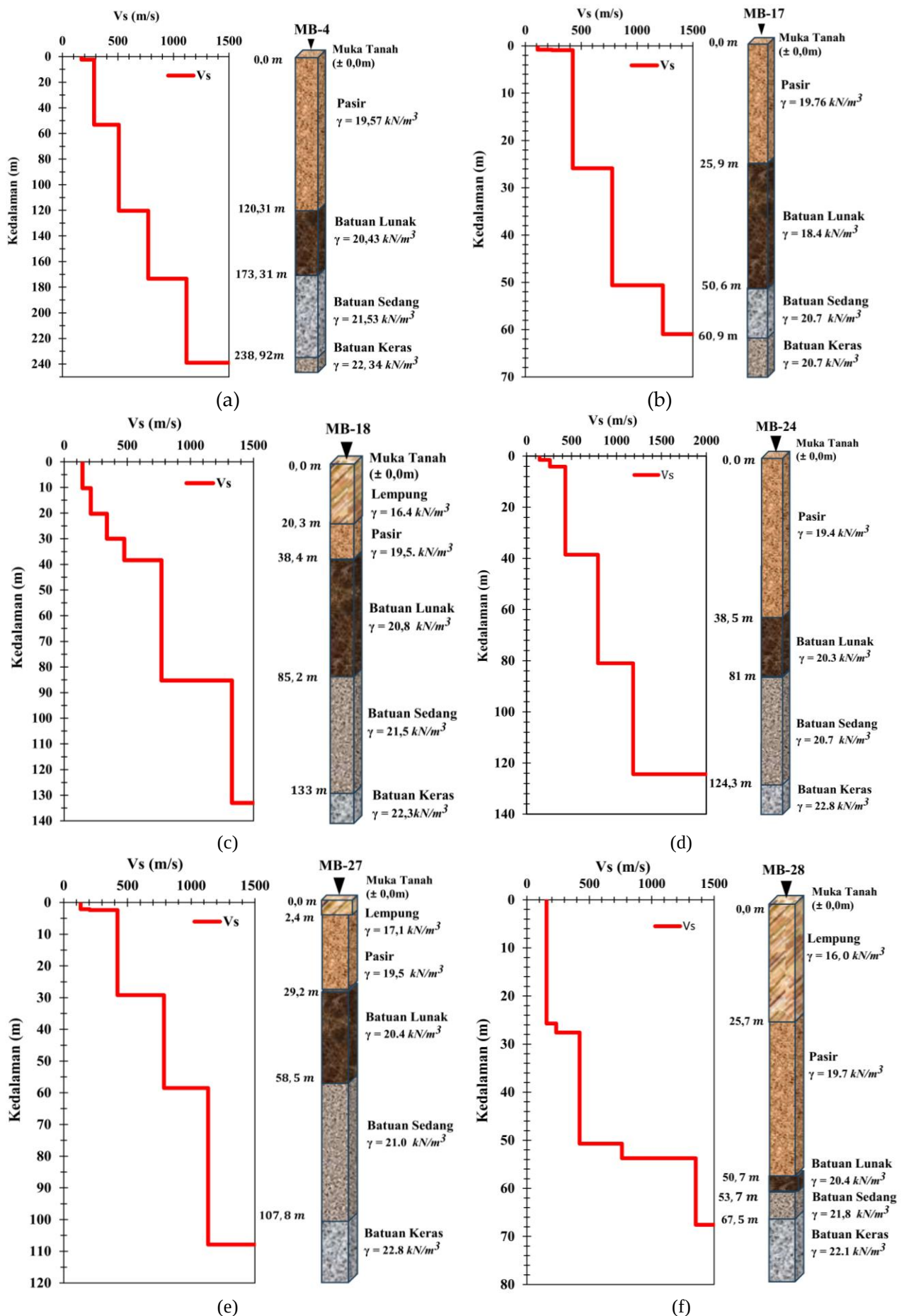
sebagai upaya untuk memahami karakter dinamis tanah, sehingga dapat diaplikasikan untuk kebutuhan tata ruang, perancangan struktur bangunan di kawasan ini.

METODE PENELITIAN

Data dan Lokasi Penelitian

Kajian diawali dengan studi literatur mengenai kondisi tektonik, geologi, dan kajian terkait risiko gempa di wilayah tersebut. Kajian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Laboratorium Geoteknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bengkulu pada tahun 2018-2019. Data tersebut merupakan hasil pengolahan akhir dari pengukuran mikrotremor dengan inversi *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). HVSr adalah teknik pengolahan mikrotremor untuk menghasilkan struktur bawah permukaan (Harsuko et al., 2020). Data yang diperoleh mencakup profil kecepatan gelombang geser (V_s) dan profil perlapisan tanah. Kedua data ini digunakan sebagai dasar dalam analisis untuk menentukan variasi nilai V_s serta karakteristik geoteknik lapisan tanah di wilayah penelitian.

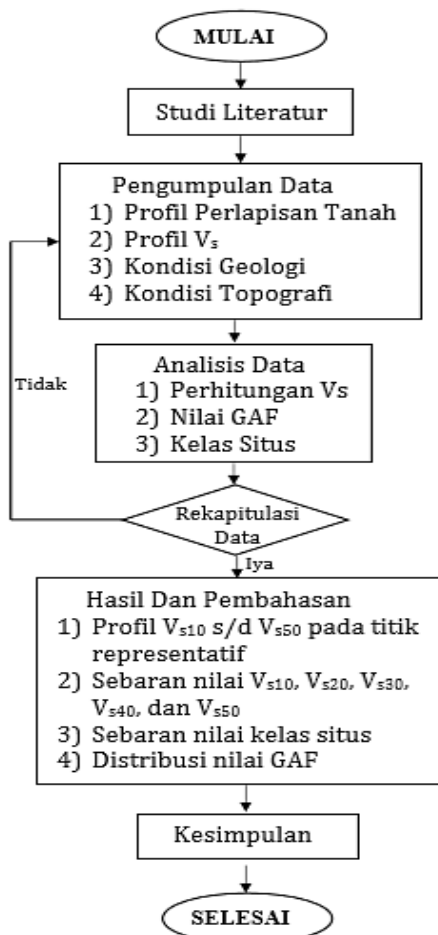
Gambar 2 merupakan grafik nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dan data perlapisan tanah pada titik representatif. Data V_s tersebut merupakan input utama untuk menghasilkan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 10 hingga 50 m (VS_{10} , VS_{20} , VS_{30} , VS_{40} , dan VS_{50}), peta sebaran kelas situs, dan peta sebaran nilai GAF. Titik pengukuran mikrotremor dilakukan di beberapa lokasi seperti terlihat dalam Gambar 1. Titik pengukuran mikrotremor ada sebanyak 32 titik dan dipilih sebanyak 6 titik representatif, yakni MB-4 (Endapan Danau), MB-17 (Undak Alluvium), MB-18 (Undak Alluvium), MB-24 (Alluvium), MB-27 (Formasi Bitunan), dan MB-28 (Formasi Bitunan). Daerah-daerah tersebut dipilih sebagai titik representatif berdasarkan sebaran 4 jenis formasi litologi yang berbeda.



Gambar 2. Grafik V_s dan profil perlapisan tanah di titik representatif (a) MB-4, (b) MB-17, (c) MB-18, (d) MB-24, (e) MB-27, (f) MB-28

Teknik Pengolahan Data

Gambar 3 menunjukkan bagan alur penelitian. Kajian dimulai dengan pengumpulan data berupa data profil kecepatan gelombang geser (V_s), profil perlapisan tanah, Kondisi geologi, dan topografi di kawasan Muara Bangkahulu. Kecepatan gelombang geser (V_s) dan profil perlapisan tanah merupakan input utama yang diolah. Data dianalisa menggunakan persamaan teknis kemudian hasil perhitungan diinterpretasikan dengan perangkat lunak ArcGIS sehingga didapatkan peta sebaran V_{s10} , V_{s20} , V_{s30} , V_{s40} , V_{s50} , kelas situs, dan *Ground Amplification Factor* (GAF). (Kruiver et al., 2017) mengatakan suatu wilayah dapat diidentifikasi karaktersitik bahaya seismik berdasarkan pada nilai rata-rata kecepatan gelombang geser V_s hingga kedalaman 30 m.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Nilai V_{s30} merupakan salah satu parameter yang penting untuk

mengidentifikasi kelas situs tanah jika dilihat pada Tabel 1. Dalam Penelitian ini, nilai V_{s30} digunakan sebagai dasar perhitungan nilai GAF. (Wibowo & Huda, 2020) mengatakan, nilai V_s hingga kedalaman 30 m dimanfaatkan untuk menentukan nilai GAF. Berdasarkan (FEMA, 2015), nilai V_s dapat dihitung dengan pers (1) dan nilai GAF dapat dihitung berdasarkan pendekatan (Midorikawa et al., 1994) dengan pers. (2).

$$V_s d_i = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (1)$$

Dengan d_i adalah ketebalan per lapisan tanah yang ditinjau, V_{si} adalah kecepatan gelombang geser tiap lapisan, dan V_s adalah kecepatan gelombang geser (m/s),

$$\log(GAF) = 1,35 - 0,47 \log V_{s30} \pm 0,18 \quad (2)$$

Dengan GAF adalah *Ground amplification factor* dan V_{s30} adalah kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 m.

GAF mengacu pada perbesaran gelombang gempa yang terjadi akibat adanya perbedaan yang mencolok antar lapisan. Amplifikasi dikontrol oleh impedansi yang kontras antara lapisan sedimen (pasir dan lempung) dengan batuan dasar yang ada di bawahnya. Menurut (Sari et al., 2024), respon tanah dan kekakuan tanah dapat dinilai dengan parameter kecepatan gelombang geser (V_s). Nilai V_s dapat menjadi acuan dalam memprediksi pengaruh kondisi lokal suatu daerah dalam memahami respon seismik pada lapisan tanah dan batuan di bawahnya (Mas Arifudin & Sipil, 2021). (NEHRP, 2020) memberikan standar klasifikasi situs berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Parameter yang didapatkan diolah dengan pemetaan dua dimensi GIS yang menggunakan metode interpolasi *Inverse*

Distance Weighted (IDW) dan *Ordinary Kriging* dengan *Model Semivariogram Spherical*. Perbandingan hasil dari kedua metode membantu pembaca memahami perbedaan maupun persamaan yang muncul dari pendekatan interpolasi yang digunakan. Langkah ini penting karena analisis spasial tidak hanya bergantung pada angka kuantitatif, tetapi juga membutuhkan interpretasi visual agar pemahaman menjadi lebih menyeluruh.

Tabel 1. Kategori Situs dari (NEHRP, 2020)

Klasifikasi NEHRP	Deskripsi	V_{s30} (m/s)
A	Batuan keras	>1500
B	Batuan	760-1500
C	Tanah keras, batuan lunak	360-760
D	Tanah sedang	180-360
E	Tanah lunak	<180

Inverse Distance Weighting (IDW) adalah metode interpolasi spasial yang memperkirakan nilai pada lokasi tanpa data berdasarkan rata-rata berbobot, di mana titik yang lebih dekat memiliki pengaruh lebih besar dibandingkan titik yang lebih jauh. (Wong, 2017). Sedangkan *kriging* adalah metode interpolasi spasial yang memodelkan data sebagai variabel acak dan menggunakan variogram untuk menentukan bobot berdasarkan jarak serta kemiripan antar titik (Cosentino et al., 2023). Kriging populer dalam analisis spasial karena menghasilkan prediksi yang akurat, khususnya pada data geologi (Boumpoulis et al., 2023).

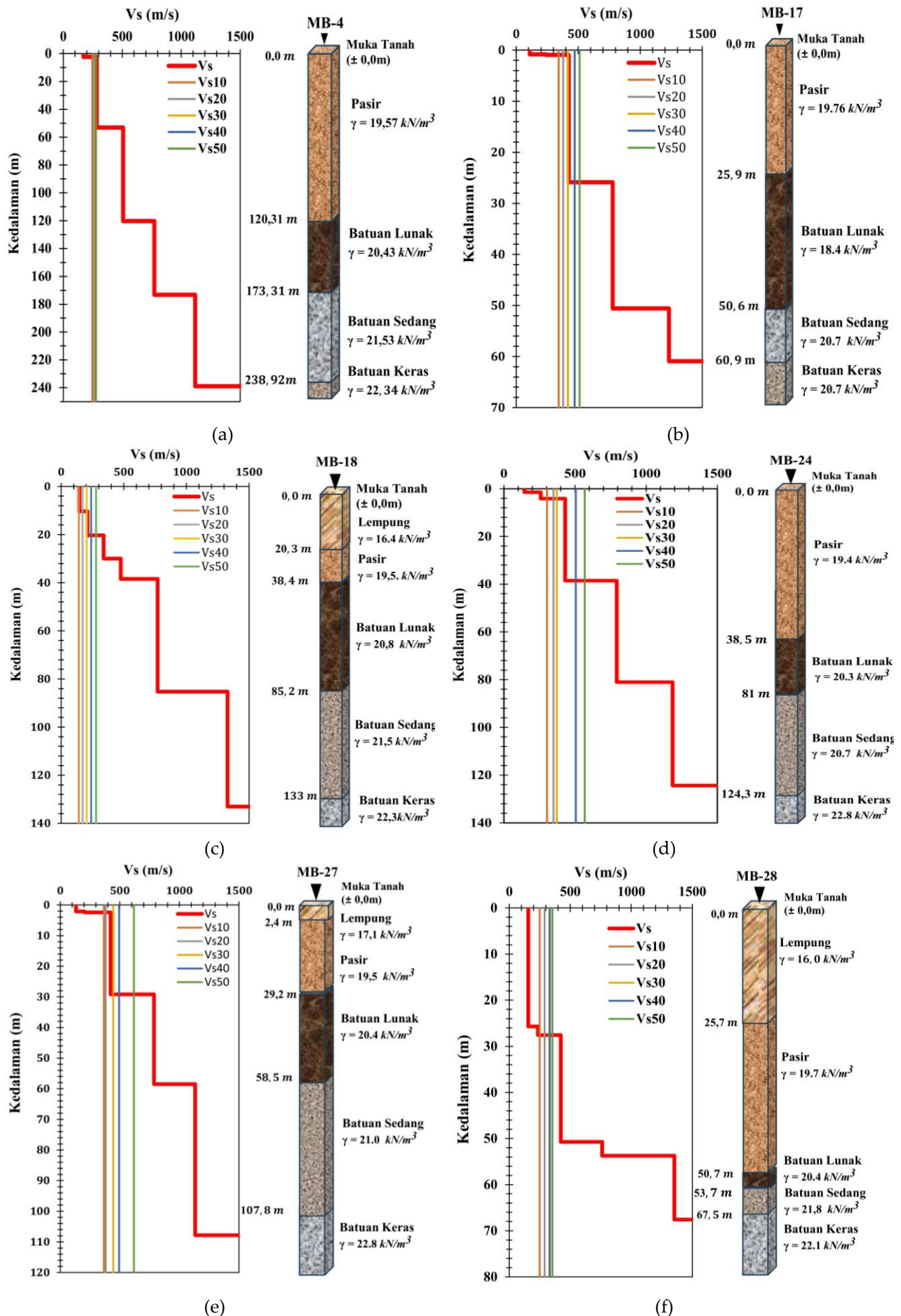
HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil V_s dan Perlapisan Tanah pada Titik Representatif

Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan salah satu nilai penting untuk menganalisa karakteristik dinamis tanah dan merupakan input yang krusial dalam analisa rekayasa geoteknik, seperti respon tanah terhadap beban seismik (Adhikari et al., 2023; Ayele et al., 2022; Mousavi et al., 2024). Efek tanah lokal bervariasi tergantung dari kondisi geologi di kawasan tersebut. Meskipun

berada di daerah yang sama efek gempa bumi berbeda tergantung dari kondisi tanah (Arifudin, 2021). Gambar 4 menunjukkan grafik variasi V_s dan profil perlapisan tanah pada titik representatif. Tanah keras pada titik MB-4 (Gambar 4a) ada pada kedalaman lebih dari 100 m, MB-17 (Gambar 4b) pada kedalaman 25,9 m, titik MB-18 (Gambar 4c) pada kedalaman 38,4 m, titik MB-24 (Gambar 4d) pada kedalaman 38,5 m, titik MB-27 (Gambar 4e) pada kedalaman 29,2 m, dan titik MB-28 (Gambar 4f) pada kedalaman 50,7 m, ini berarti pada kedalaman rendah hingga sedang kawasan Muara bangkahulu masih didominasi oleh sedimen pasir dan lempung. Hasil temuan ini memperkuat pendapat dari (Mase et al., 2024), yang mengatakan bahwa batuan keras akan ditemukan pada kedalaman bervariasi mulai dari 5 sampai 99 m lebih di daerah di sepanjang aliran sungai Muara Bangkahulu, termasuk Muara Bangkahulu.

Nilai V_s memiliki korelasi yang erat dengan densitas (kerapatan) batuan. Semakin keras batuan diikuti Nilai V_s yang semakin tinggi dan semakin lunak batuan maka nilai V_s akan semakin kecil (Sunardi dkk., 2019). Gambar 4 membuktikan bahwa nilai V_s cenderung meningkat seiring dengan kedalaman tanah. Rata-rata nilai V_s pada kedalaman 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, dan 50 m secara berurutan sebesar 290,3 m/s, 359,5 m/s, 410,6 m/s, 474,0 m/s, dan 534,7 m. Berdasarkan hasil pengolahan nilai V_s , kawasan Muara Bangkahulu termasuk kawasan dengan nilai V_s yang cenderung rendah tanah pada kedalaman dangkal hingga sedang didominasi oleh pasir dan lempung, sehingga rentan terhadap dampak seismik yang lebih besar akibat guncangan gempa bumi. (Hollender et al., 2018), mengatakan area dengan nilai V_s rendah yang termasuk dalam kelas situs C dan D akan mengalami dampak yang signifikan akibat gempa bumi. Hasil ini juga didukung penelitian (Farid & Mase, 2020b), yang menyoroti area Muara bangkahulu memiliki indeks kerentanan gempa yang lebih tinggi di banding area lain di Kota Bengkulu.



Gambar 4. Grafik profil V_{s10} s.d. V_{s50} (a) MB-4, (b) MB-17, (c) MB-18, (d) MB-24, (e) MB-27, dan (f) MB-2

Sebaran Profil V_{s10} , V_{s20} , V_{s30} , V_{s40} , dan V_{s50}

Profil rata-rata kecepatan gelombang geser (V_s) pada kedalaman 10 m merepresentasikan resistensi tanah pada kedalaman dangkal, kedalaman 20 s.d. 30 m resistensi tanah pada kedalaman sedang, dan kedalaman 40 s.d. 50 m resistensi tanah pada kedalaman dalam. Nilai V_s yang dihasilkan akan bervariasi sesuai dengan jenis tanah dan kedalaman. Nilai V_s yang tinggi mengindikasikan tanah yang lebih kaku dan padat, artinya tanah tersebut memiliki resistensi yang lebih tinggi terhadap deformasi (Anbazhagan et al., 2016). **Error! Reference source not found.**, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 secara berurutan adalah peta sebaran nilai V_{s10} , V_{s20} , V_{s30} , V_{s40} , dan V_{s50} .

Hasil analisis interpolasi antara IDW dan Kriging memiliki kesamaan visual tanpa perbedaan yang signifikan. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh kerapatan titik penelitian yang meningkatkan akurasi interpolasi, namun dilihat dari hasil interpolasi IDW menunjukkan batas warna yang lebih tegas sehingga cocok dalam kondisi data pengukuran tidak terlalu banyak, tetapi ingin menonjolkan pengaruh lokal masing-masing titik. Metode *Kriging* menghasilkan interpolasi yang cenderung lebih halus dan cenderung mengurangi ketelitian variasi lokal sehingga pada kajian ini, metode IDW memiliki keunggulan mampu merepresentasikan variasi lokal secara lebih detail.

Pada daerah penelitian, hasil menunjukkan nilai V_s sangat bervariasi yang divisualisasikan dengan variasi gradasi warna yang berbeda. Pada kedalaman 10 m (V_{s10}), kedalaman 20 m (V_{s20}), kedalaman 30 m (V_{s30}), kedalaman 40 m (V_{s40}), dan kedalaman 50 m (V_{s50}) secara berurutan memiliki rata-rata nilai 290,3 m/s, 359,5 m/s, 410,6 m/s, 474,0 m/s, dan 534,7 m. Berdasarkan hasil analisa, terlihat adanya peningkatan nilai V_s seiring bertambahnya kedalaman tanah. Peningkatan nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin mencapai tanah dalam yang keras nilai V_s akan semakin tinggi

sehingga dapat mengurangi efek kerusakan selama gempa (Kharebov et al., 2019).

Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 menampilkan variasi warna yang beragam, warna merah sampai oranye cenderung memiliki nilai V_s yang rendah menunjukkan tanah di kawasan tersebut cenderung lunak yang mengindikasikan kerusakan yang lebih tinggi terhadap gempa bumi. Warna kekuningan memiliki nilai V_s yang sedang, dan warna hijau muda sampai hijau muda memiliki nilai V_s yang tinggi menunjukkan tanah di kawasan tersebut cenderung lebih kaku. Kondisi demikian dipengaruhi oleh litologi bawah permukaan yang beragam. Wilayah di bagian utara Muara Bangkahulu tersusun atas Formasi Bitunan (QTb) dengan penyusun kompak dan solid sehingga meningkatkan resistensi tanah sedangkan di area pesisir tepatnya sebelah barat Muara Bangkahulu didominasi oleh Undak Alluvium (Qat) dengan penyusun yang lebih lemah. Hasil yang didapat sejalan dengan penelitian (Mase & Refrizon, 2021b), mengatakan bahwa daerah utara Muara Bangkahulu memiliki resistensi tanah lebih tinggi dibandingkan daerah sepanjang pantai barat Bengkulu. Dengan mempertimbangkan hasil analisa, daerah di bagian utara Muara Bangkahulu lebih aman karena resistensi tanahnya lebih tinggi dibanding dengan kawasan barat Muara Bangkahulu.

Sebaran Nilai Kelas Situs

Gambar 10 merupakan sebaran nilai kelas situs. Pada Tabel 1, NEHRP (2020) mengklasifikasikan kelas situs tanah berdasarkan nilai V_{s30} . Dengan mengacu pada ketentuan NEHRP (2020) yang ditunjukkan Tabel 1, tanah di kawasan Muara Bangkahulu didominasi oleh kelas situs C dan kelas situs D. Kelas situs C ditandai oleh warna kuning dengan nilai V_{s30} antara 360 s.d. 760 (m/s). Nilai tersebut menggambarkan bahwa tanah di kawasan tersebut termasuk dalam kategori tanah keras, batuan lunak. Sementara itu, kelas situs D ditandai dengan merah, dengan nilai V_{s30} antara 180 s.d. 360 (m/s), sehingga termasuk dalam

kategori tanah sedang. Titik perekaman MB-4, MB-17, MB-18, MB-24, MB-27, dan MB-28 berada pada kelas situs C dengan rentang nilai V_{s30} antara (328,6 m/s s.d. 696 m/s) dan Titik MB-18 termasuk dalam kelas situs D dengan nilai V_{s30} sebesar 204,3 m/s.

Daerah dengan kelas situs C lebih aman daripada kelas situs D terhadap efek gempa bumi, artinya kawasan utara adalah kawasan yang lebih aman dibandingkan kawasan dekat dengan garis pantai. Temuan ini didukung oleh Mase et al., (2021a), yang melaporkan bahwa kawasan daerah Muara Bangkahulu didominasi kelas situs C dan D. Wills et al., (2015), mengatakan wilayah dengan nilai V_{s30} yang rendah mengakibatkan dampak seismik yang lebih besar. (Al Hanipa et al., 2025) menemukan bahwa selama gempa Bengkulu-Mentawai tidak ditemukan kerusakan yang signifikan di daerah bagian utara dengan kelas situs C, hal ini karena daerah ini tersusun atas Formasi Bitunan yang kompak dan mengurangi efek guncangan selama gempa berlangsung.

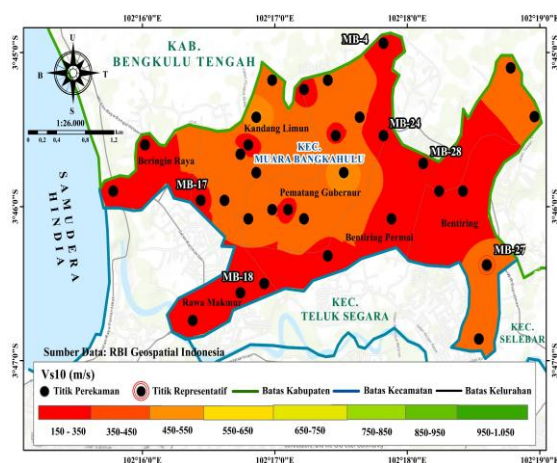
Sebaran Nilai Ground Amplification Factor (GAF)

Amplifikasi dipengaruhi oleh kondisi setempat terutama kekakuan/resistensi tanah, ketebalan, dan lapisan bawah tanah tersebut (Jahanandish et al., 2017). Nilai GAF merujuk pada penguatan gelombang yang terjadi pada lapisan tanah, semakin besar amplifikasi maka semakin besar potensi kerusakan pada wilayah tersebut (Saputra, 2023). Gambar 11 adalah sebaran peta kelas situs metode IDW dan

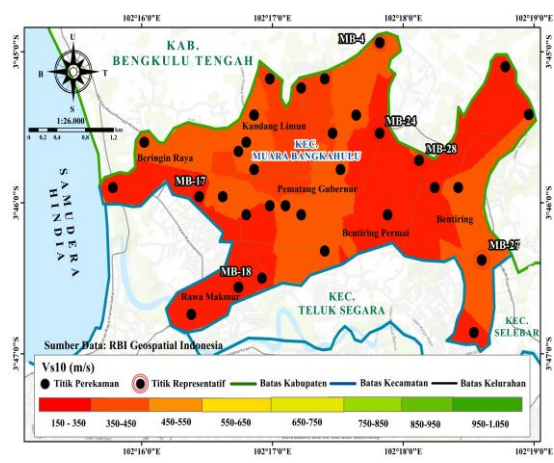
metode *Kriging*.

Memahami hubungan ini bisa membantu mengurangi ketidakpastian saat memprediksi gerakan tanah dan menghitung potensi bahaya gempa untuk merancang bangunan dan infrastruktur yang aman terutama di daerah dengan aktivitas seismik tinggi seperti kawasan Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu. Gambar 11 menunjukkan nilai GAF memiliki rentang nilai GAF berkisar antara 0,8 s.d. 2. GAF rendah ditandai oleh warna hijau hingga hijau muda (0,8-1,2), GAF sedang ditandai oleh warna kuning hingga oranye (1,2-1,6), dan GAF tinggi ditandai oleh warna Merah (1,6-2,0). Nilai GAF bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan, walaupun pada formasi batuan yang sama. Nilai GAF yang semakin besar menandakan sedimen di daerah tersebut semakin lunak (Janah et al., 2022). Pada daerah penelitian jenis tanah pada kedalaman dangkal didominasi oleh pasir dan lempung, sedangkan pada kedalaman sedang hingga dalam didominasi oleh batuan lunak, sedang, hingga keras.

Zona dengan nilai GAF tertinggi ada pada wilayah pesisir pantai Muara Bangkahulu sedangkan zona dengan GAF cukup rendah ada pada zona utara berdasarkan Gambar 13. Mengacu pada kelas situs sebelumnya, hasil analisis ini menunjukkan bahwa zona yang berada di kelas situs C (zona utara) memiliki amplifikasi yang lebih rendah dibandingkan dengan zona kelas situs D (zona selatan/garis pantai).

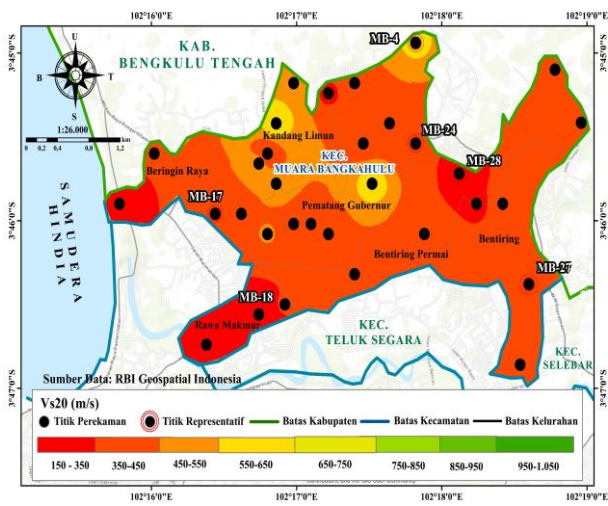


(a)

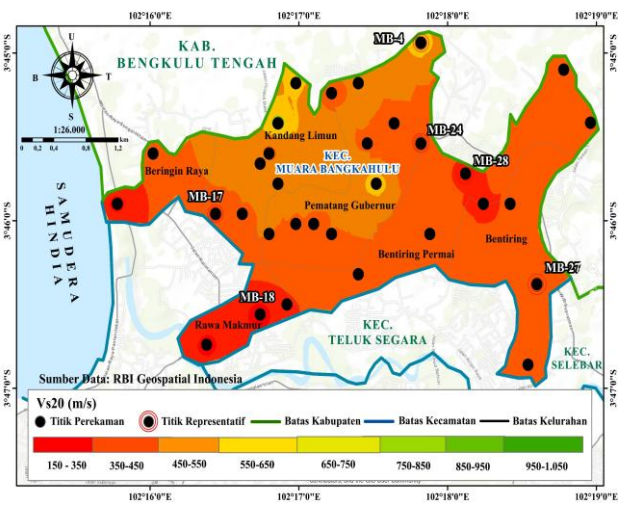


(b)

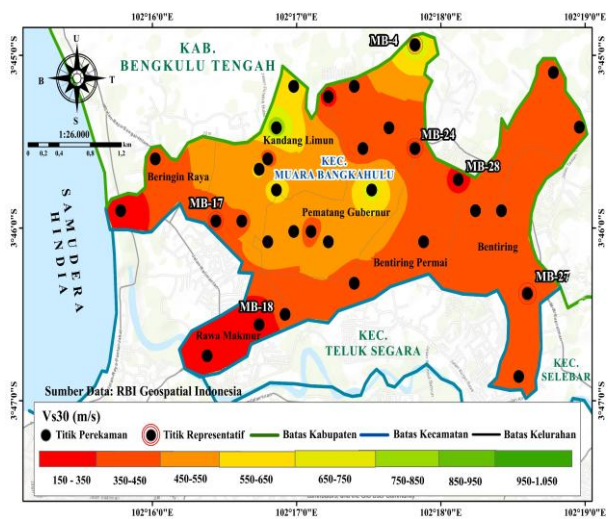
Gambar 5. Peta sebaran V_{s10} (a) metode IDW, (b) metode *Kriging*



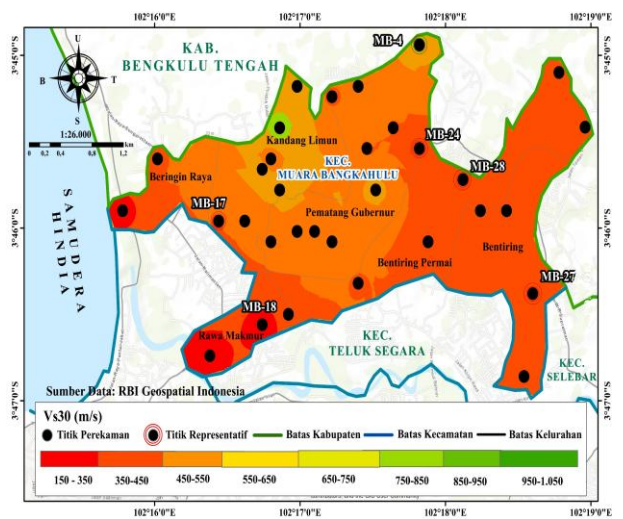
(a)



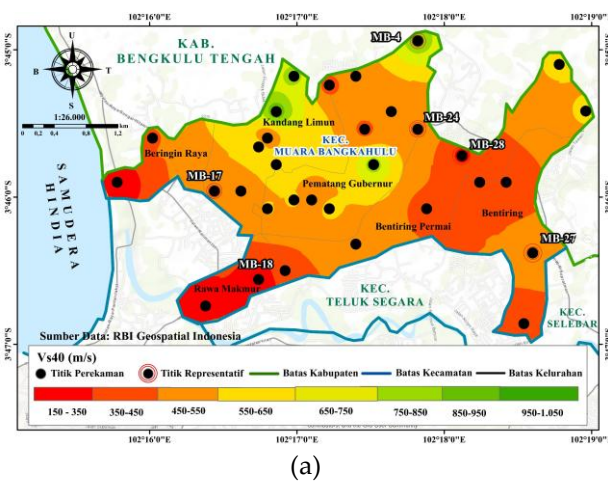
(b)

Gambar 6. Peta sebaran V_{s20} (a) metode IDW, (b) metode *Kriging*

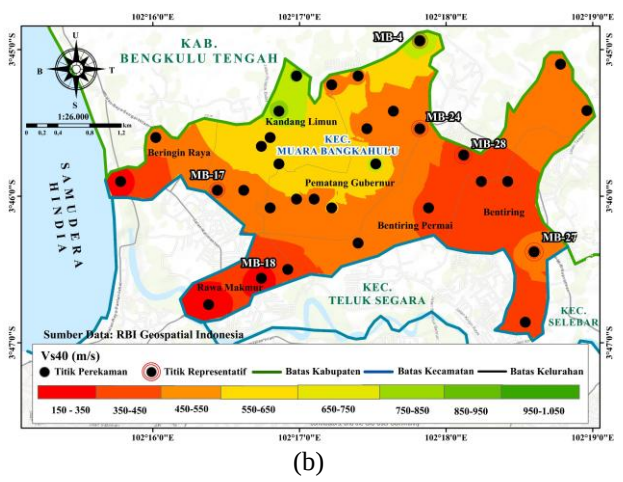
(a)



(b)

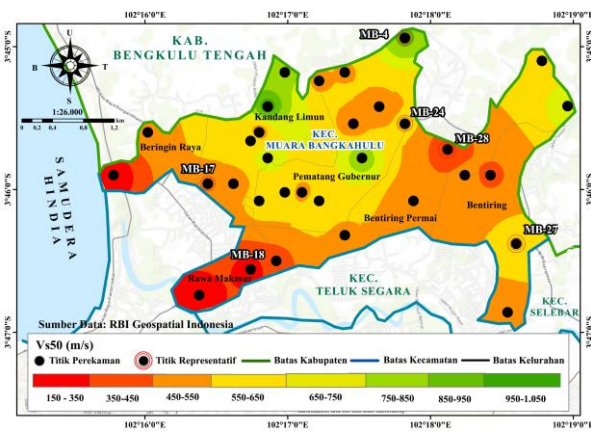
Gambar 7. Peta sebaran V_{s30} (a) metode IDW, (b) metode *Kriging*

(a)

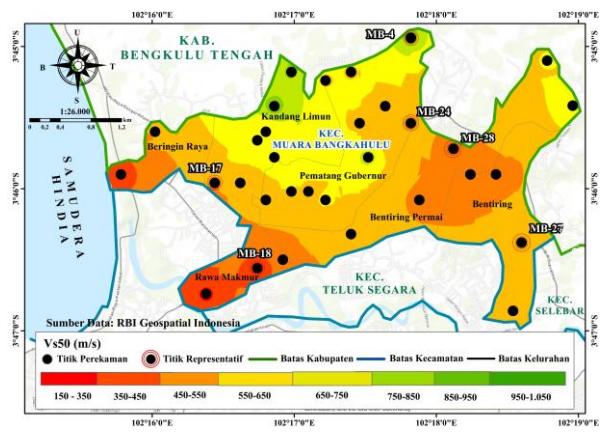


(b)

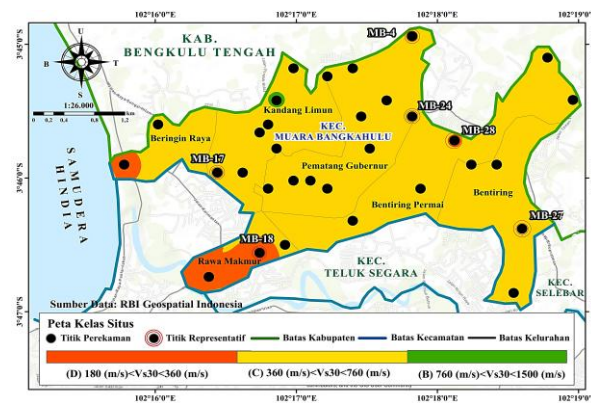
Gambar 8. Peta sebaran V_{s40} (a) metode IDW, (b) metode *Kriging*



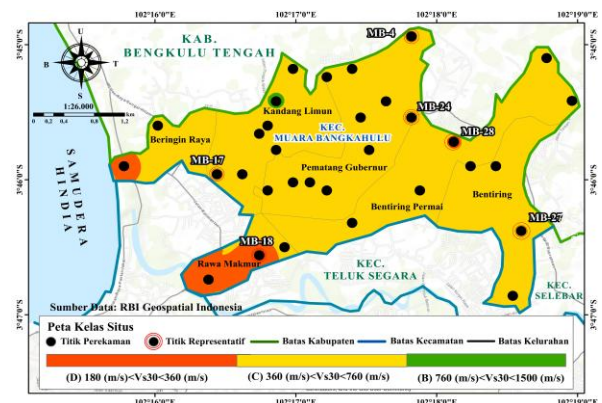
(a)



(b)

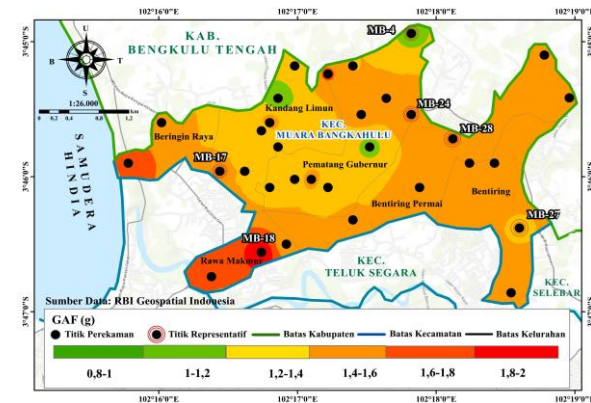
Gambar 9. Peta sebaran V_{s50} (a) metode IDW, (b) metode Kriging

(a)

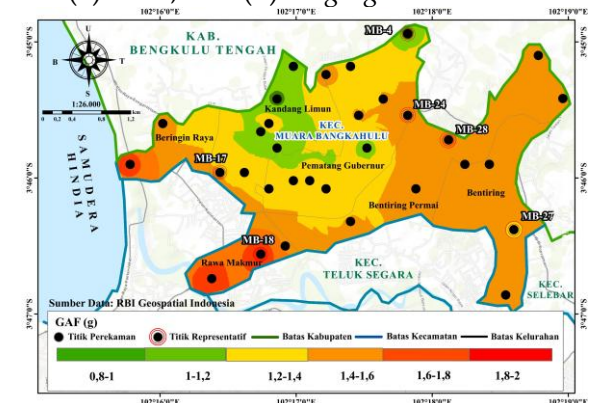


(b)

Gambar 10. Peta kelas situs metode (a) IDW, dan (b) Kriging



(a)



(b)

Gambar 11. Peta GAF (a) metode IDW, (b) metode Kriging

barat). Hasil analisa beriringan dengan pernyataan (Parihar & Anbazhagan, 2020), amplifikasi akan membesar pada tanah dengan nilai V_{s30} yang rendah. Persentase nilai GAF rendah (0,8-1,2) sebanyak 8,4%, sedang (1,2-1,6) sebanyak 75%, dan tinggi (1,6-2) sebanyak 9,4%.

Perbedaan nilai GAF ini juga dipengaruhi oleh perbedaan pada lapisan tanah. Pada kedalaman dangkal sampai sedang (10 hingga

30 m) terdiri atas lapisan lempung dan pasir, sedangkan bantuan lunak, batuan sedang, dan batuan keras ditemukan pada kedalaman dalam (40 hingga 50 m lebih). Hasil analisa didukung oleh penemuan (Al Hanipa et al., 2025), yang mengatakan area utara Bengkulu Muara Bangkahulu memiliki amplifikasi yang lebih rendah dibandingkan daerah sepanjang pantai Bengkulu, sehingga di sepanjang pantai akan mudah terjadi likuifaksi akibat gempa.

KESIMPULAN

Kajian ini menghasilkan peta sebaran V_{s10} , V_{s20} , V_{s30} , V_{s40} , V_{s50} , peta kelas situs, dan peta sebaran nilai *Ground Amplification factor* (GAF) di kawasan Muara Bangkahulu. Hasilnya menunjukkan bahwa kelas situs C (tanah keras, batuan lunak) di bagian utara relatif lebih aman, sedangkan kelas situs D (tanah sedang) di bagian pesisir pantai Muara Bangkahulu memiliki resistensi tanah relatif lebih rendah. Kawasan Muara Bangkahulu termasuk kawasan yang memiliki nilai GAF yang cukup tinggi sehingga berpotensi tinggi pada peningkatan gelombang seismik. Oleh karena itu, perlunya perancangan bangunan tahan gempa dan teknik stabilitas yang lebih ketat. Sebagai rekomendasi teknis temuan ini dapat menjadi acuan pedoman teknis dengan mengintegrasikan peta mikrozonasi ke dalam standar desain bangunan tahan gempa melalui kolaborasi Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda), Dinas Pekerjaan Umum, dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Untuk penelitian lanjutan, disarankan melakukan kajian mendalam terkait respon dinamis tanah dengan data geoteknik lebih detail dan menyertakan simulasi skenario gempa yang bervariasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tim Unit Riset Bencana Gempa Geoteknik Universitas Bengkulu yang telah membantu dalam menyediakan data sekunder dan membantu dalam proses analisis sehingga hasil penelitian ini dapat tertuang dalam naskah ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

Adampira, M., Alielah, H., Panji, M., & Koohsari, H. (2015). Comparison of equivalent linear and nonlinear methods in seismic analysis of liquefiable site response due to near-fault incident waves: a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(5), 3103-3118. <https://doi.org/10.1007/S12517-014-1399-6>

Adhikari, S. R., Molnar, S., & Wang, J. (2023).

Seismic microzonation mapping of Greater Vancouver based on various site classification metrics. *Frontiers in Earth Science*, 11(August), 1–

11. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1221234>

- Adrian, M. N., Mase, L. Z., Hardiansyah, H., Misliniyati, R., Supriani, F., Refrizon, R., Chaiyaput, S., & Likitlersuang, S. (2025). A Case Study of Soil Resistance Microzonation Based on Shear Wave Velocity. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 12(5), 1-21. <https://doi.org/10.1007/S40515-025-00595-8/METRICS>
- Al Hanipa, R., Kamal, T. M., Fikri, M. H., Mase, L. Z., Misliniyati, R., Supriani, F., & Refrizon. (2025). Advancements in integrated seismic vulnerability Assessment using geophysical approaches. *Acta Geophysica*, 73(5), 4037–4057. <https://doi.org/10.1007/S11600-025-01573-X/METRICS>
- Anbazhagan, P., Uday, A., Moustafa, S. S. R., & Al-arifi, N. S. N. (2016). Correlation of densities with shear wave velocities and SPT N values. *Journal of Geophysics and Engineering*, 13, 320. <https://doi.org/10.1088/17422132/13/3/320>
- Annisa Zahara, Mase, L. Z., Fepy Supriani, Rena Misliniyati, & Khairul Amri. (2024). Studi Perbandingan Linier Ekuivalen dan Nonlinier pada Respon Seismik di Daerah Pesisir. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 160–176. <https://doi.org/10.31849/SIKLU.S.V10I2.20670>
- Arifudin, A. (2021). Kecepatan Gelombang Geser (V_s) Dan Ketebalan Sedimen (H) Di Kabupaten Klaten Dari Data Mikrotremor. *Teknisia*, XXVI(1). <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol26.iss1.art6>
- Ayele, A., Woldearegay, K., & Meten, M. (2022). Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) to Estimate the Shear Wave Velocity for Engineering Characterization of Soils at Hawassa Town, Southern Ethiopia. *International Journal of Geophysics*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7588306>
- Boumpoulis, V., Michalopoulou, M., &

- Depountis, N. (2023). Comparison between different spatial interpolation methods for the development of sediment distribution maps in coastal areas. *Earth Science Informatics*, 16(3), 2069–2087. <https://doi.org/10.1007/S12145-023-01017-4>
- Cosentino, N. J., Opazo, N. E., Lambert, F., Osses, A., & van 't Wout, E. (2023). Global-Krigger: A Global Kriging Interpolation Toolbox With Paleoclimatology Examples. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 24(6), e2022GC010821. <https://doi.org/10.1029/2022GC010821>
- Farid, M., & Mase, L. Z. (2020a). Implementation of seismic hazard mitigation on the basis of ground shear strain indicator for spatial plan of Bengkulu city, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 18, 199–207. <https://doi.org/10.21660/2020.69.24759>
- Farid, M., & Mase, L. Z. (2020b). Implementation of Seismic Hazard Mitigation on the Basis of Ground Shear Strain Indicator for Spatial Plan of Bengkulu City, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 18(69), 199–207. <https://doi.org/10.21660/2020.69.24759>
- Farid, M., Misliniyati, R., Amri, K., Zalbuin Mase, L., Supriani, F., Supratman Rd No, W., Limun, K., & Bangkahulu, M. (2024). Seismic Response In Muara Bangkahulu Sub-District, Bengkulu City, Using The Concept Of Wave Propagation. *Jurnal Pensil : Pendidikan Teknik Sipil*, 13(3), 314–329. <https://doi.org/10.21009/JPENSIL.V13I3.45746>
- Febiana, S., Mase, L. Z., Supriani, F., Misliniyati, R., & Amri, K. (2025). Mikro zonasi Resistensi Tanah Berdasarkan Variasi Kecepatan Gelombang Geser di Kawasan Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 13(02). <https://doi.org/10.23960/JTAF.V13I02.516>
- FEMA. (2015). NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures, FEMA Volume II: Part 3 Resource Papers. *Building Seismic Safety Council, II*(September), 174.
- Hadi, A. I., Refrizon, Halaudin, Liza Lidiawati, & Edo, P. (2021). Interpretasi Tingkat Kekerasan Batuan Bawah Permukaan di Daerah Rawan Gempa Bumi Kota Bengkulu, *INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*. <https://jurnal.uns.ac.id/ijap/article/view/46525/31429>
- Harsuko, M. R. C., Zulfakriza, Z., Nugraha, A. D., Sarjan, A. F. N., Widiyantoro, S., Rosalia, S., Puspito, N. T., & Sahara, D. P. (2020). Investigation of Hilbert–Huang Transform and Fourier Transform for Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio Analysis: Understanding the Shallow Structure in Mataram City, Lombok, Indonesia. *Frontiers in Earth Science*, 8, 560427. <https://doi.org/10.3389/FEART.2020.00334/BIBTEX>
- Hollender, F., Cornou, C., Dechamp, A., Oghalaei, K., Renalier, F., Maufroy, E., Burnouf, C., Thomassin, S., Wathelet, M., Bard, P. Y., Boutin, V., Desbordes, C., Douste-Bacqué, I., Foundotos, L., Guyonnet-Benaize, C., Perron, V., Régnier, J., Roullé, A., Langlais, M., & Sicilia, D. (2018). Characterization of site conditions (soil class, VS30, velocity profiles) for 33 stations from the French permanent accelerometric network (RAP) using surface-wave methods. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(6), 2337–2365. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0135-5>
- Jahanandish, M., Zafarani, H., & Shafiee, A. H. (2017). Implementation of the Square-Root-Impedance Method to Estimate Site Amplification in Iran Using Random Profile Generation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(1), 456–467. <https://doi.org/10.1785/0120160119>
- Janah, M. A., Katriani, L., Wibowo, N. B., & Darmawan, D. (2022). Kajian Indeks Bahaya Gempabumi dengan Metode Intensitas Guncangan Permukaan di Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*, 9(1), 37–42. <https://doi.org/10.21831/fisika-s1.v9i1.17976>
- Kharebov, C. S., Zaalishvili, V. B., Zaks, T. V., Baskaev, A. N., Archireeva, I. G., Gogichev, R.

- R., Maysuradze, M. V., & Chitishvili, M. I. (2019). *Influence of Soils on Impact Parameters of Seismic Effect*. <https://doi.org/10.2991/CIGGG-18.2019.31>
- Kruiver, P. P., van Dedem, E., Romijn, R., de Lange, G., Korff, M., Stafleu, J., Gunnink, J. L., Rodriguez-Marek, A., Bommer, J. J., van Elk, J., & Doornhof, D. (2017). An integrated shear-wave velocity model for the Groningen gas field, The Netherlands. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(9), 3555–3580. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0105-y>
- Mas Arifudin, A., & Sipil, J. T. (2021). Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Dan Ketebalan Sedimen (H) Di Kabupaten Klaten Dari Data Mikrotremor. *Teknisia*, XXVI(1), 52–60. <https://doi.org/10.20885/TEKNISIA.VOL26.ISS1.ART6>
- Mase, L. Z. (2017). Liquefaction Potential Analysis Along Coastal Area of Bengkulu Province due to the 2007 Mw 8.6 Bengkulu Earthquake. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 49(6), 721–736. <https://doi.org/10.5614/J.ENG.TECHNOL.SCI.2017.49.6.2>
- Mase, L. Z. (2018). Reliability study of spectral acceleration designs against earthquakes in Bengkulu City, Indonesia. *International Journal of Technology*, 9(5), 910–924. <https://doi.org/10.14716/IJTECH.V9I5.621>
- Mase, L. Z. (2020). Seismic Hazard Vulnerability of Bengkulu City, Indonesia, Based on Deterministic Seismic Hazard Analysis. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(5), 5433–5455. <https://doi.org/10.1007/S10706-020-01375-6/METRICS>
- Mase, L. Z., Isdianty, S., & Amri, K. (2024). Numerical analyses to observe the performance of a monumental building at the University of Bengkulu, Indonesia. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 39(4), 23–39. <https://doi.org/10.17794/rgn.2024.4.3>
- Mase, L. Z., Refrizon, Rosiana, & Anggraini, P. W. (2021). Local Site Investigation and Ground Response Analysis on Downstream Area of Muara Bangkahulu River, Bengkulu City, Indonesia. *Indian Geotechnical Journal*, 51(5), 952–966. <https://doi.org/10.1007/S40098-020-00480-W/METRICS>
- Mase, L. Z., Sugianto, N., & Refrizon. (2021a). Seismic hazard microzonation of Bengkulu City, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/S40677-021-00178-Y/FIGURES/11>
- Mase, L. Z. N. S., & Refrizon. (2021b). Seismic hazard microzonation of Bengkulu City, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-021-00178y>
- Midorikawa, S., Matsuoka, M., & Sakugawa, K. (1994). *Site Effects on Strong Motion Records Observed During The 1987 Chhiba-Ken-Toho-Oki, Japan Earthquake, Japan*.
- Mousavi, Z., Bayat, M., & Feng, W. (2024). Machine Learning Models for Predicting Shear Wave Velocity of Soils. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1334(1). <https://doi.org/10.1088/17551315/1334/1/012039>
- NEHRP. (2020). *NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-2082-1)*.
- Nugraha, G. G., Mase, L. Z., Supriani, F., Misliniyati, R., & Amri, K. (2024). Respon Seismik Tanah pada Kawasan Aliran Sungai Muara Bangkahulu Bagian Hilir Kota Bengkulu. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 22(4), 335. <https://doi.org/10.12962/J2579891X.V22I4.20588>
- Parihar, A., & Anbazhagan, P. (2020). Site Response Study and Amplification Factor for Shallow Bedrock Sites. *Indian Geotechnical Journal*, 50(5), 726–738. <https://doi.org/10.1007/S40098-020-00410-W/METRICS>
- Saputra, E. (2023). Pengembangan Peta Spektra Percepatan Peta Kategori Desain Seismik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 61. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.824>
- Sari, E. Y., Mase, L. Z., Hardiansyah, H., Misliniyati, R., & Amri, K. (2024). Implementasi Metode Linier Ekuivalen Dan Nonlinier Dalam Memprediksi Respons Seismik Area Kampung Melayu,

Kota Bengkulu. *Jurnal Geosaintek*, 10(2), 159–172. <https://doi.org/10.12962/J25023659.V10I2.1723>

Wibowo, N. B., & Huda, I. (2020). Analisis Amplifikasi, Indeks Kerentanan Seismik Dan Klasifikasi Tanah Berdasarkan Distribusi Vs30 D.I.Yogyakarta Analysis Of Amplification, Seismic Vulnerability

Index And Soil Clasification Based On Vs30 In Yogyakarta. *Buletin Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika*, 1(2), 21–31.

Wong, D. W. S. (2017). Interpolation: Inverse-Distance Weighting. *International Encyclopedia of Geography*, 1–7. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.WBIEG0066>