

## Perubahan Garis Pantai Rawan Gempabumi di Lokasi Terabrasi Menggunakan Data Geofisika

Viona Azhari Priscilla<sup>1,3</sup>, Muchammad Farid<sup>1,2,3\*</sup>, Lizalidiawati<sup>1</sup>, Andre Rahmat Al Ansory<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu

<sup>2</sup>Pusat Studi Mitigasi Bencana, Universitas Bengkulu

<sup>3</sup>Mitigation and Exploration Laboratory, Lantai 2 Lab. Terpadu FMIPA, Universitas Bengkulu

Jl. WR. Supratman, Bengkulu, 38371

Email: mfarid@unib.ac.id

### Abstrak

Kabupaten Bengkulu Utara mempunyai garis pantai yang panjangnya sekitar 262,63 km dan berada di wilayah rawan Gempabumi yang ditunjukkan dengan besarnya nilai *Peak Ground Acceleration* ( $PGA > 300$ ). Salah satu sumber daya pesisir di Kabupaten Bengkulu Utara yang memberikan manfaat bagi masyarakat setempat adalah kawasan di sepanjang pantai. Namun, manfaat bagi masyarakat sekitar terancam akibat fenomena abrasi di wilayah pesisir. Kabupaten Bengkulu Utara merupakan kabupaten ke-70 di Indonesia yang rentan terhadap bencana abrasi pantai, sehingga masuk dalam kategori kabupaten yang sangat rentan terhadap bencana jenis tersebut. Desa Urai merupakan salah satu wilayah yang rentan terhadap abrasi pantai di Kabupaten Bengkulu Utara. Berdasarkan keadaan yang terjadi di Desa Urai, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kecepatan perubahan garis pantai menggunakan data Citra Satelit dan data Seismik Pasif dalam bentuk kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dengan menggunakan metode HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Hasil penelitian menunjukkan daerah yang mengalami abrasi memiliki kecepatan perubahan garis pantai pada rentang antara 1,41-5,04 m/tahun, dengan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) antara 176,30-237,12 m/s. Daerah yang mengalami abrasi memiliki nilai kecepatan perubahan garis pantai yang tinggi yang didukung dengan nilai  $V_s$  rendah yang mengindikasikan klasifikasi tanah berada pada jenis tanah lunak sampai sedang.

**Kata kunci :** Perubahan Garis Pantai, Kecepatan Gelombang Geser, Seismik Pasif, Desa Urai.

### Abstract

*North Bengkulu Regency has a coastline that is around 262.63 km long and is in an earthquake-prone area as indicated by the high Peak Ground Acceleration value ( $PGA > 300$ ). One of the coastal resources in North Bengkulu Regency that provides benefits to the local community is the area along the coast. However, the benefits for local communities are threatened due to the abrasion phenomenon in coastal areas. North Bengkulu Regency is the 70th district in Indonesia that is vulnerable to coastal abrasion disasters, so it is included in the category of districts that are very vulnerable to this type of disaster. Urai Village is one of the areas vulnerable to coastal erosion in North Bengkulu Regency. Based on the conditions occurring in Urai Village, it is necessary to carry out research to determine the speed of change in the coastline using Satellite Image data and Passive Seismic data in the form of shear wave velocity ( $V_s$ ) using the HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) method. The research results show that areas experiencing abrasion have coastline change speeds in the range of 1.41-5.04 m/year, with shear wave velocities ( $V_s$ ) between 176.30-237.12 m/s. Areas experiencing abrasion have high coastline change velocity values which are supported by low  $V_s$  values which indicate the soil classification is in the soft to medium soil type.*

**Keywords :** *Coastline Changes, Shear Wave Speed, Passive Seismic, Urai Village.*

### PENDAHULUAN

Kabupaten Bengkulu Utara mempunyai garis pantai yang panjangnya sekitar 262,63 km dan berada di daerah zona subduksi lempeng Indo-

Australia dan Eurasia (Hadi *et al.*, 2021). Kondisi ini masuk wilayah rawan Gempabumi, yang ditunjukkan dengan besarnya ancaman guncangan Gempabumi yang dinyatakan dengan besarnya

\*Corresponding author

DOI:10.14710/buloma.v14i1.64643

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 20-06-2024

Disetujui/Accepted : 23-12-2024

nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) lebih besar dari 300 (Farid *et al.*, 2016). Gempabumi adalah peristiwa fisik dimana energi gelombang seismik dilepaskan sebagai akibat dari pergeseran lempeng bumi atau aktivitas vulkanik yang berlangsung secara tiba-tiba (Kapojos *et al.*, 2015). Ancaman Gempabumi akan menjadi risiko jika digabungkan dengan nilai kerentanan seismic di suatu wilayah (Sugianto *et al.*, 2017). Risiko bencana Gempabumi ini ternyata memberikan indikasi terhadap perubahan garis pantai yang ditunjukkan oleh variasi pantai yang menyebabkan penambahan maupun pengurangan daratan (Islam *et al.*, 2022).

Abrasi adalah proses terkikisnya pantai disebabkan oleh kekuatan arus dan gelombang laut. Perubahan garis pantai akan terjadi pada periode waktu yang berbeda-beda, misalnya dari tahun ke tahun (Sahidin *et al.*, 2020). Kabupaten Bengkulu Utara adalah salah satu kabupaten di Provinsi Bengkulu yang paling rentan terhadap bencana gelombang ekstrem dan abrasi pantai (Farid *et al.*, 2014). Desa Urai terletak di Kecamatan Ketahun di Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu yang terkena abrasi, sehingga banyak sarana yang rusak (Refrizon *et al.*, 2023). Salah satu lokasi pengurangan daratan akibat abrasi yang terjadi di Bengkulu Utara

Saat ini, masyarakat dan para pemangku kepentingan sangat membutuhkan informasi perubahan garis pantai agar dapat mempertimbangkan dalam upaya pencegahan. Penelitian tentang kecepatan abrasi sangat penting mengingat seberapa besar pengaruh abrasi terhadap perubahan garis pantai (Lubis *et al.*, 2022). Samdara and Lubis (2016) menyatakan bahwa garis pantai Bengkulu Utara berubah menjadi 25 m/tahun berdasarkan data foto udara. Di lokasi lain, laju perubahan garis pantai di Kabupaten Bengkulu Utara berkisar antara 1,1 - 5,8 m/tahun (Farid *et al.*, 2014). Besarnya nilai perubahan garis pantai diduga karena komposisi batuan bawah permukaan yang tergolong lunak. Refrizon, Sugianto and Bernard (2019) telah melakukan penelitian disepanjang pesisir pantai Bengkulu Utara dengan menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW). Hasil penelitian menunjukkan dominasi lempung lunak di lapisan pertama yang memiliki nilai  $V_s < 180$  m/s, lapisan kedua didominasi oleh tanah kaku yang mempunyai nilai  $180 < V_s < 360$  m/s, dan lapisan ketiga didominasi oleh batuan yang sangat tebal dan lunak yang memiliki nilai  $360 < V_s < 760$

m/s. Maka dari itu, metode pengukuran lainnya dibutuhkan untuk menyelaraskan kecepatan perubahan garis pantai di Bengkulu Utara berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 m dengan frekuensi dominan dan memvalidasi temuan hasil studi sebelumnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan perubahan garis pantai menggunakan data Citra Satelit dan data Seismik Pasif dalam bentuk kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) berdasarkan metode inversi HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) di Desa Urai, Kabupaten Bengkulu Utara. Perubahan garis pantai juga bisa terlihat dengan menggunakan citra satelit. Dengan data citra dapat diketahui perubahan garis pantai selama 16 tahun. Untuk mengetahui sebab-sebab berubahnya garis pantai, salah satunya adalah mengetahui tingkat kekerasan geologi pantainya. Tingkat kekerasan geologi pantai dapat diketahui dari nilai gelombang gesernya (Farid *et al.*, 2016). Nilai gelombang geser ( $V_s$ ) dapat diperoleh dari Inversi HVSR, yaitu metode yang digunakan untuk mengolah data Seismik pasif. Data Seismik pasif diakuisisi langsung menggunakan seismometer periode pendek tiga komponen. Dengan mengetahui nilai  $V_s$ , akan diketahui tingkat kekerasan batuan suatu wilayah (Farid and Hadi, 2018). Suatu wilayah yang memiliki tingkat kekerasan yang rendah (batuan lunak) akan memiliki nilai yang  $V_s$  yang rendah, dan sebaliknya batuan dengan kekerasan tinggi akan memiliki  $V_s$  yang tinggi (Persada *et al.*, 2021).

Karakteristik tiap lapisan dan jenis material penyusun dapat diestimasi berdasarkan nilai  $V_s$ . Dengan diketahuinya perubahan garis pantai dan struktur lapisan bawah permukaan tanah di daerah rentan abrasi dalam menghadapi bahaya abrasi, diharapkan dapat membantu masyarakat dan pemerintah melakukan mitigasi untuk mengurangi resiko menyempitnya daratan di daerah penelitian tersebut.

## MATERI DAN METODE

Pantai adalah bentuk geografis yang terletak di dekat pantai dan terdiri dari pasir (Thangavelu *et al.*, 2021). Batas antara daratan dan lautan adalah wilayah pesisir. Wilayah tersebut sangat dinamis dalam menghadapi perubahan, meliputi perubahan garis pantai (Aryastana *et al.*, 2016).

Perubahan garis pantai dapat terjadi karena abrasi dan akresi (Prasad and Kumar, 2014). Abrasi

adalah proses terkikisnya pantai disebabkan oleh kekuatan arus dan gelombang laut dan akresi adalah proses perubahan garis pantai ke arah laut akibat penambahan atau evolusi garis pantai melalui pengendapan dan pembentukan daratan. Perubahan garis pantai akan terjadi pada periode yang berbeda-beda, misalnya dari tahun ke tahun (Sahidin *et al.*, 2020).

Kecepatan perubahan garis pantai dapat dikaitkan dengan kondisi geologi dan sifat fisik batuan seperti ketebalan lapisan sedimen, struktur lapisan permukaan tanah, tingkat soliditas batuan dan komposisi material (Sugianto *et al.*, 2016). Kondisi batuan di sepanjang pantai Bengkulu Utara ternyata didominasi batuan lunak yang umumnya berupa tanah lempung. Kondisi geologi lokal di sepanjang pantai juga dapat mempengaruhi besarnya laju abrasi, khususnya dalam menekan atau mempercepat terjadinya denudasi pantai. Kondisi geologi yang rawan mengalami deformasi seperti longsor dan abrasi memiliki ciri-ciri kondisi geologi yang lunak dan rapuh (Refrizon *et al.*, 2019).

Longsornya pantai dalam jumlah besar akan menyebabkan garis pantai bergeser ke arah daratan (*retrogradation*) (Farid *et al.*, 2016). Erosi terjadi hampir di sepanjang pantai dengan kecepatan relatif tinggi. Kondisi geologi Formasi Bintunan didominasi oleh lempung tufa dan batu tufa berpasir. Kedua jenis batuan ini terkikis cukup deras. Erosi adalah rusaknya pantai akibat gelombang laut yang terus menerus menghantam dinding pantai (Farid *et al.*, 2014).

### Seismik pasif (*Ambient Noise*)

Seismik pasif adalah gelombang getaran kecil yang terus menerus ditangkap oleh lapisan sedimen permukaan dan kemudian dipantulkan kembali pada frekuensi yang stabil oleh struktur pembatas yang dihasilkan dari getaran mikro yang ada di bawah permukaan dan aktivitas eksternal lainnya (Morgan *et al.*, 2022). Metode HVSR digunakan untuk menganalisis respon tanah melalui analisis Seismik pasif. HVSR digunakan sebagai metode pengolahan data seismik pasif untuk mengidentifikasi frekuensi bawah permukaan seperti frekuensi dominan, frekuensi natural, dan amplifikasi. Metode ini mudah digunakan dan hasilnya sesuai dengan kondisi tanah. Ukuran kebisingan di sekitar lokasi penelitian dilakukan dalam tiga arah: vertikal, timur-barat, dan utara-selatan (Anbazhagan *et al.*, 2019).

Parameter pendukung seperti faktor amplifikasi dan frekuensi dominan diperoleh dari data seismik pasif yang dianalisis menggunakan metode HVSR. Frekuensi dominan merupakan parameter yang dapat menunjukkan keadaan tanah karena dapat memantulkan gelombang di bawah permukaan bumi (Molnar *et al.*, 2022).

Jenis dan kualitas batuan dapat diketahui dengan menggunakan hasil frekuensi dominan yang dapat menjadi nilai frekuensi lapisan bawah permukaan. Perubahan ukuran gelombang seismik yang disebabkan oleh variasi jenis material yang ada di lapisan bawah tanah dikenal sebagai amplifikasi ( $A_0$ ). Ketika gelombang merambat melalui suatu medium, karakteristik sinyal vertikal dan horizontal berubah secara proporsional (Panjaitan *et al.*, 2023).

### Inversi Metode HVSR

Inversi adalah proses menemukan model respon yang sesuai dengan data observasi, biasanya kesesuaian ini direpresentasikan sebagai fungsi tujuan yang perlu diminimalkan (Chen *et al.*, 2022). Kurva dispersi gelombang badan dan kurva HVSR sebenarnya dibandingkan dalam proses inversi HVSR (Persada *et al.*, 2021). Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memanfaatkan data mikrotremor. Metode ini dapat menghasilkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi tanah pada suatu daerah, menghitung indeks kerentanan seismik dan ketebalan lapisan sedimen (Al Ansory *et al.*, 2024).

Untuk mengekstrak data dan kurva HVSR dilakukan inversi. Parameter fisik seperti kedalaman lapisan bawah permukaan ( $h$ ), kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ), dan kecepatan gelombang primer ( $V_p$ ) diperoleh dari temuan proses inversi (Fadhilah *et al.*, 2022).

Aplikasi HV-Inv digunakan untuk menganalisis kurva HVSR lebih lanjut dan menghasilkan profil kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dengan prinsip penyelesaian Monte Carlo (MC) (García-Jerez *et al.*, 2016). Model ini menggunakan lima parameter untuk setiap lapisan yaitu ketebalan, kecepatan gelombang primer ( $V_p$ ), kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ), *rasio poisson* ( $\nu$ ), dan densitas tanah ( $\rho$ ) (Mase *et al.*, 2020).

### Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ )

Ketika kurva inversi HVSR digunakan, kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) bawah permukaan

dapat dihitung untuk membedakan antara sedimen lunak dan lapisan batuan keras. Rata-rata kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dapat dihitung dengan membangkitkan fungsi kecepatan dan kedalaman (Bilson Darko *et al.*, 2020)

$V_{s30}$  adalah data penting untuk karakteristik struktur bawah permukaan yang mencapai kedalaman 30 m dalam teknik geofisika (Ramírez Gaytan *et al.*, 2020). Nilai  $V_s$  30 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{s30} = \frac{30 \text{ m}}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (1)$$

dimana  $d_i$ : ketebalan lapisan profil  $V_s$ ,  $V_{si}$ : adalah kecepatan gelombang geser di setiap lapisan, dan  $n$ : jumlah lapisan sampai dengan kedalaman 30 m yang digunakan untuk memprediksi kelas situs.

#### Akuisisi data Seismik Pasif

Akuisisi data primer dilakukan menggunakan metode geofisika yaitu, Metode Seismik pasif. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan Seismometer *Portable Short Period 3 komponen (2 komponen horizontal dan 1 komponen vertical)*, seperti yang tertera dalam Gambar 2.

Seismometer dirangkai dengan benar sesuai petunjuk penggunaannya. Seismometer akan merekam getaran tanah selama 30 menit untuk setiap lokasi stasiun. Jumlah lokasi stasiun adalah lima lokasi seperti yang tertera dalam peta pada Gambar 3.

Setiap data yang diperoleh selama tiga puluh menit kemudian disimpan dalam format \*.SAF, untuk selanjutnya diolah menggunakan *software Geopsy*, sehingga diperoleh kurva spektrum seperti yang tertera dalam Gambar 4.

Dari salah satu spektrum yang diperoleh tersebut diketahui nilai faktor Amplifikasi ( $A_0$ ) dan frekuensi dominan ( $f_0$ ).

Pada penelitian ini juga digunakan data sekunder berupa data peta garis pantai tahun 2006 dan 2022 untuk mengetahui kecepatan perubahan garis pantai di desa urai berdasarkan data *Google Earth*, Perhitungan nilai ( $v$ ) dengan mengetahui jarak antara perubahan garis pantai dan perubahan tahunan (Mukhtar, 2018) menggunakan persamaan:

$$v = \frac{s}{t} \quad (2)$$

dimana  $v$ : laju perubahan garis pantai (m/s),  $s$ : variasi garis pantai (m), dan  $t$ : waktu selama terjadinya perubahan garis pantai (tahun).



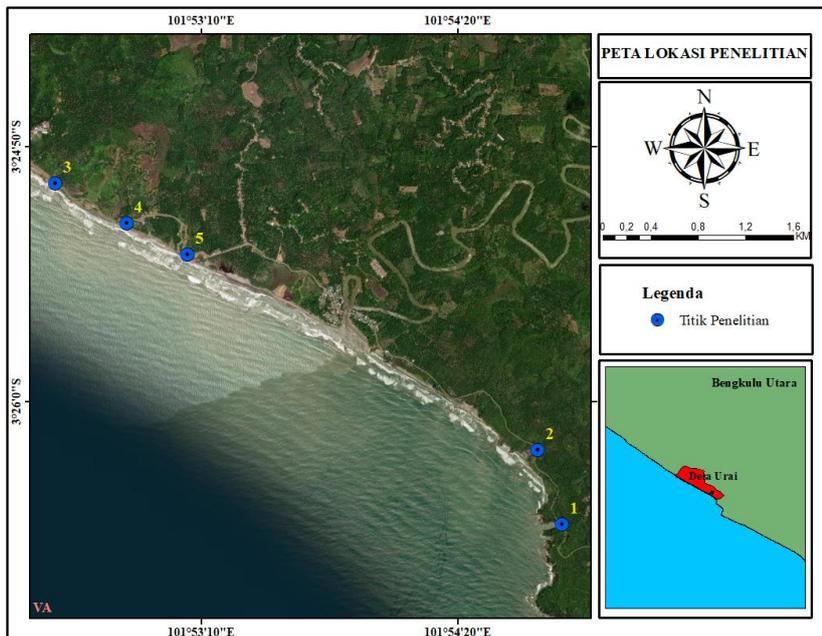
**Gambar 1.** Seismometer *Portable Short Period* yang terdiri dari Seismometer PASI Mod Gemini 2 Sn 1405 dan laptop digitizer.

**Pengolahan Data**

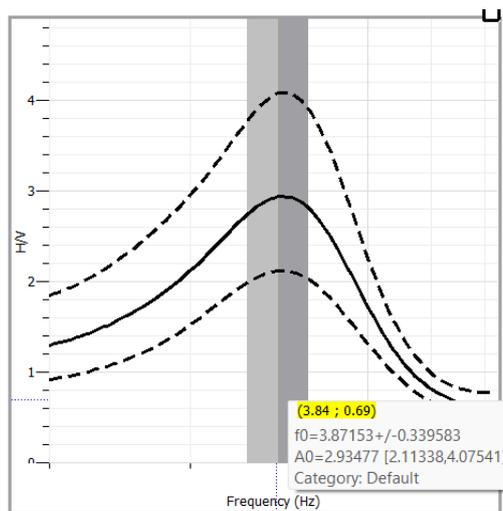
Pengolahan data Seismik Pasif menggunakan *software Geopsy*, diperoleh nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) dan frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan untuk memperoleh nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) digunakan *software OpenHV Invers* (García-Jerez *et al.*, 2016). Berdasarkan SNI 1726:2019 (BSN, 2019), sebuah prosedur perancangan bangunan tahan gempa untuk struktur bangunan dan non-bangunan, tanah dikategorikan ke dalam 5 kategori, yaitu: tanah keras, tanah keras,

batuan sangat padat atau lunak, batuan sedang, dan tanah, berdasarkan nilai  $V_s$  yang dikonversikan ke  $V_{s30}$  seperti yang tertera dalam Tabel 1.

Saat ini, ombak dan arus laut menggerus area bibir pantai, sehingga terjadi perubahan area yang terkikis sejauh beberapa puluh meter dari bibir pantai semula (Lubis *et al.*, 2022). Untuk mengetahui jarak dan laju perubahan garis pantai dari tahun ke tahun bisa diperkirakan dengan mengoverlay peta garis pantai dari tahun 2006 hingga 2022. Dengan memperbesar setiap titik



**Gambar 2.** Peta Lokasi Penelitian



**Gambar 3.** Hasil kurva H/V titik lokasi 1

**Tabel 1.** Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019

Situs Kelas	$V_{s30}$ (m/s)
SA (batuan keras)	> 1500
SB (batuan)	750 – 1500
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 – 750
SD (tanah sedang)	175 – 350
SE (tanah lunak)	< 175

(BSN, 2019).

yang diamati, perubahannya akan terlihat. Dengan menggunakan *Google Earth*, perubahan garis pantai di setiap lokasi setiap tahunnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecepatan perubahan garis pantai dapat dikaitkan dengan kondisi geologi dan sifat fisik batuan seperti ketebalan lapisan sedimen, struktur lapisan permukaan tanah, tingkat soliditas batuan dan komposisi material (Sugianto *et al.*, 2016) maupun faktor oseanografi seperti arus sejajar pantai dan tinggi gelombang (Lubis *et al.*, 2022). Abrasi atau erosi terjadi hampir di sepanjang pantai dengan kecepatan relatif tinggi (Farid *et al.*, 2014). Hal ini dikarenakan kondisi geologi yang rawan mengalami deformasi seperti longsor dan abrasi memiliki ciri-ciri kondisi geologi yang lunak dan rapuh (Refrizon *et al.*, 2019).

Pada Gambar 4, 5, dan 6 menunjukkan peta kecepatan perubahan garis pantai selama 16 tahun yang dibagi menjadi 3 bagian peta. Perubahan garis pantai di setiap wilayah disebabkan oleh pengaruh daerah misalnya variasi morfologi dan struktur lapisan bawah permukaan yang membentuk garis pantai, serta komponen oseanografi, seperti arus laut dan gelombang laut yang berbeda di berbagai tempat. Gelombang laut yang tinggi juga dapat menyebabkan abrasi karena menghempas bagian atas dinding pantai yang lunak (Lubis *et al.*, 2022). Semakin tinggi atau besar nilai kecepatan perubahan garis pantai per tahunnya maka semakin parah kerusakan, sebaliknya semakin kecil nilai kecepatan perubahan garis pantai semakin kecil juga kriteria kerusakannya. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung kecepatan perubahan garis pantai dengan mengetahui perbedaan antara perubahan tahun dan perubahan garis pantai, secara visual pada Gambar 5 nampak daerah penelitian tersebut mengalami pengurangan daratan, dimana dilihat laut maju ke arah daratan.

Tabel 2 menunjukkan nilai kecepatan perubahan garis pantai dan  $V_{s30}$ . Titik penelitian yang mengalami kecepatan perubahan garis pantai paling tinggi yaitu sebesar  $\pm 5.04$  m/tahun dititik T2 dengan  $V_{s30}$  terkecil yaitu 176,2867 m/s. Sedangkan titik penelitian yang mengalami kecepatan perubahan garis pantai terendah pada T4 yaitu sebesar  $\pm 1.4$  m/tahun dengan  $V_{s30}$  terbesar yaitu 237,12 m/s. Rata-rata kecepatan perubahan garis pantai yaitu sebesar  $\pm 3.5$  m/tahun dan nilai  $V_{s30}$  berada pada kisaran 176,2867 - 237,12 4 m/s. Jarak tiap titik berbeda-beda sehingga hasil kecepatan perubahannya berbeda maka garis pantai akan mundur kearah daratan pun berbeda. Berdasarkan nilai laju perubahan garis pantai setiap tahunnya, pengikisan pantai di wilayah pesisir Bengkulu Utara dikategorikan ke dalam tingkat kerusakan yang sangat parah (Lubis *et al.*, 2022). Hal itu disebabkan oleh seberapa kuat ketahanan dan kerapatan tanah dalam menahan terjangan gelombang laut. Mengacu pada klasifikasi situs berdasarkan SNI 1796:2019 (BSN, 2019), nilai kelas situs wilayah penelitian termasuk ke dalam kisaran SD (Tanah Sedang) menurut Tabel 1, dengan nilai  $V_{s30}$  antara 176-360 m/s.

Data rekaman yang didapatkan dari lapangan menghasilkan *noise* akibat pengaruh dari getaran gelombang laut ataupun kendaraan dan aktifitas manusia sehingga diperlukan proses *windowing*. Pada titik ini, data seismik pasif dipisahkan dari data *transient* (sumber spesifik). Setelah itu, dilakukan *smoothing* dengan konstanta koefisien  $b=20$  dan *time windows* 20,00 s. sehingga diperoleh kurva H/V seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.

Amplifikasi mengacu pada amplitudo seismik yang dihasilkan dari perubahan signifikan antara medium keras ke medium yang lebih lunak (Iswanto *et al.*, 2019). Nilai amplifikasi Desa Urai ditunjukkan pada Gambar 7, dan berdasarkan data hasil pengukuran dari lima lokasi pengukuran, nilai

amplifikasinya berkisar antara 1,33 hingga 3,75. Menurut tabel klasifikasi nilai amplifikasi (Tanjung *et al.*, 2019), nilai amplifikasi Desa Urai berada dalam kategori rendah hingga sedang. Nilai

amplifikasi tertinggi ditemukan di titik 1 dan 3, yang berkisar antara 3.27 hingga 3.75, menunjukkan bahwa di desa tersebut lebih rentan terhadap kerusakan abrasi daripada wilayah lain.



**Gambar 4.** Peta Kecepatan Perubahan Garis Pantai 1 di Titik 3, 4 dan 5 (2006-2022)



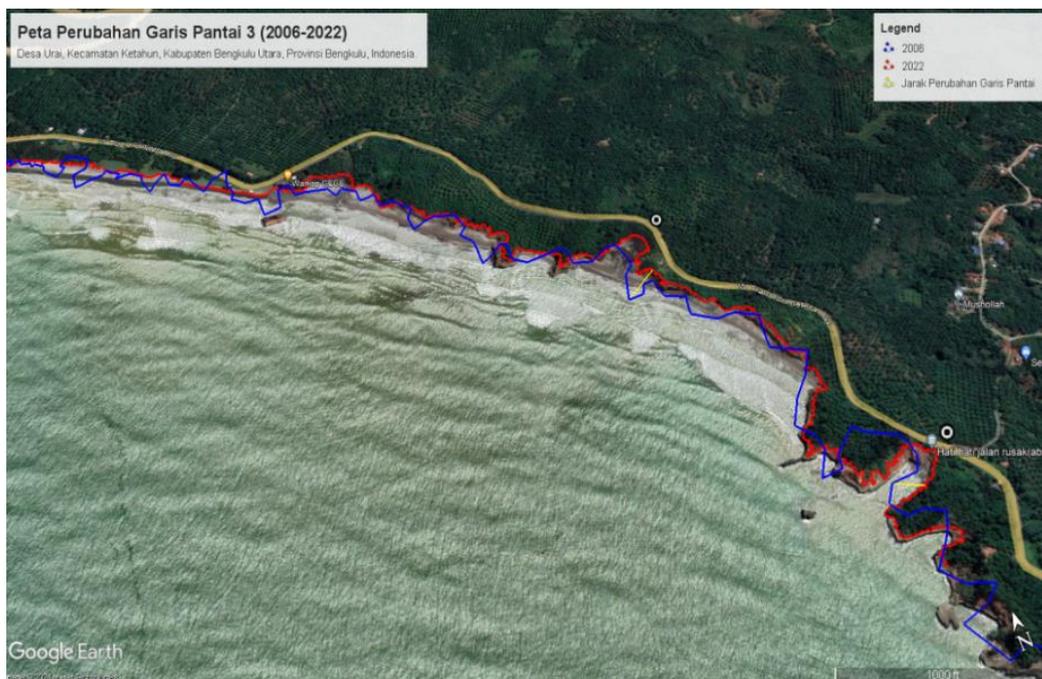
**Gambar 5.** Peta Kecepatan Perubahan Garis Pantai 2 (2006-2022)

Kecepatan gelombang yang melewati medium dan ketebalan lapisan lapuk di bawah permukaan ditunjukkan oleh nilai frekuensi dominan. Semakin besar nilai frekuensi dominan, maka semakin kecil ketebalan lapisan yang lapuk, dan sebaliknya. Jika nilai frekuensi dominan tinggi, menunjukkan bahwa suatu area cenderung memiliki tingkat kerentanan yang rendah (Tanjung *et al.*, 2019). Frekuensi dominan ( $f_0$ ) berkaitan erat dengan kedalaman batuan dasar. Frekuensi dominan ( $f_0$ ) berkaitan erat dengan kedalaman batuan dasar. Keduanya mempunyai korelasi terbalik, yang berarti bahwa nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang rendah diasosiasikan dengan kedalaman batuan dasar yang dalam (Januarta *et al.*, 2020). Berdasarkan Gambar 8, ditinjau dari tabel klasifikasi tanah yang didasarkan pada nilai frekuensi predomnan seismik pasif oleh kanai (Tanjung *et al.*, 2019), nilai frekuensi dominan tertinggi terlihat di titik 2 yaitu 10.43 Hz, maka nilai frekuensi dominan diklasifikasikan sebagai tanah tipe III jenis II yang terdiri dari batuan tersier atau lebih tua atas ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah antara 5-10 m, sehingga tingkat kerentanan di daerah tersebut rendah terhadap abrasi. Sedangkan frekuensi dominan yang terlihat rendah di sekitar titik 1, titik 3, titik 4, dan titik 5 yaitu 2.66-4.21 Hz. Karena itu, nilai frekuensi yang paling umum ditemukan di

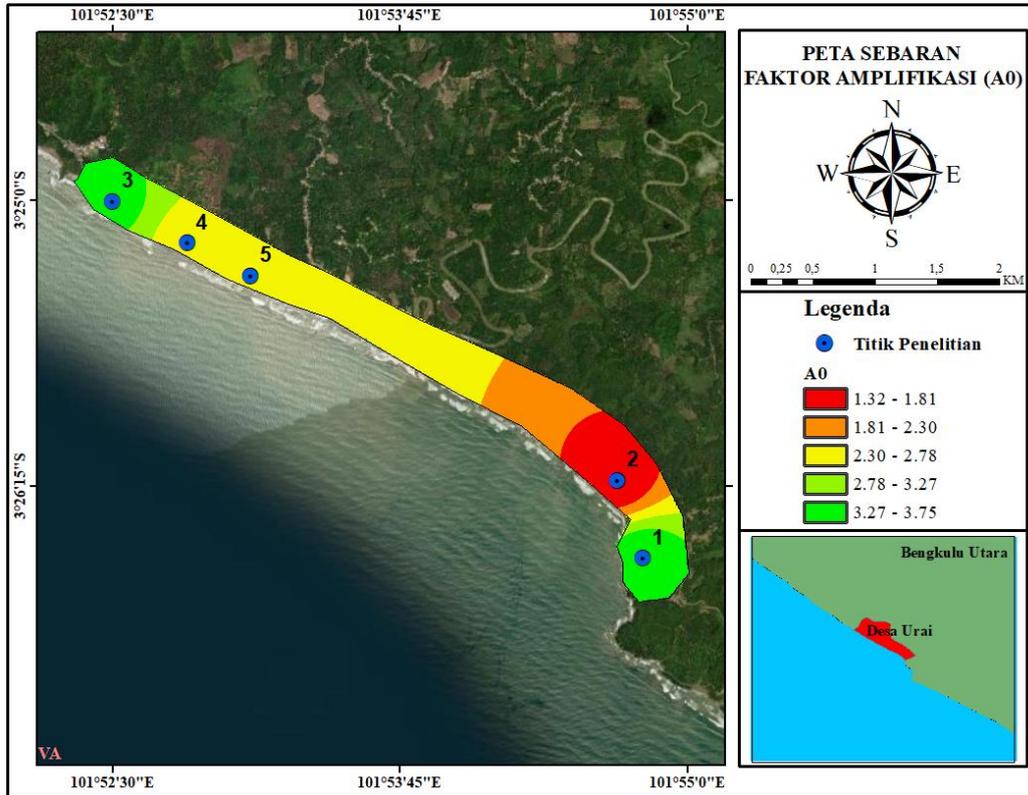
desa urai berada dalam klasifikasi tanah tipe II jenis III yang terdiri dari batuan alluvial dengan ketebalan permukaan sedimen yang termasuk dalam kategori tebal dan ditemukan pada kedalaman 10 - 30 m, karena sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal yang merupakan batuan lunak sehingga tingkat kerentanan di daerah tersebut tinggi terhadap abrasi mengakibatkan kerusakan yang ditimbulkan sangat parah.

Inversi HVSR pada software Hv-inv bertujuan untuk menghitung parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya. Parameter model mencakup 6 parameter untuk masing-masing lapisan (yang meliputi *half space*). Data awal merupakan kurva HVSR hasil pengukuran seismik pasif; kurva ini berfungsi sebagai acuan untuk parameter model untuk menghasilkan best model. Model terbaik diperoleh apabila misfit bernilai kecil dan grafik data lapangan dengan grafik hasil pemodelan bertepatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Sesudah mendapatkan model terbaik, kemudian dilanjutkan pengolahan di *microsoft office excel* untuk mendapatkan Vs30 menggunakan persamaan (1).

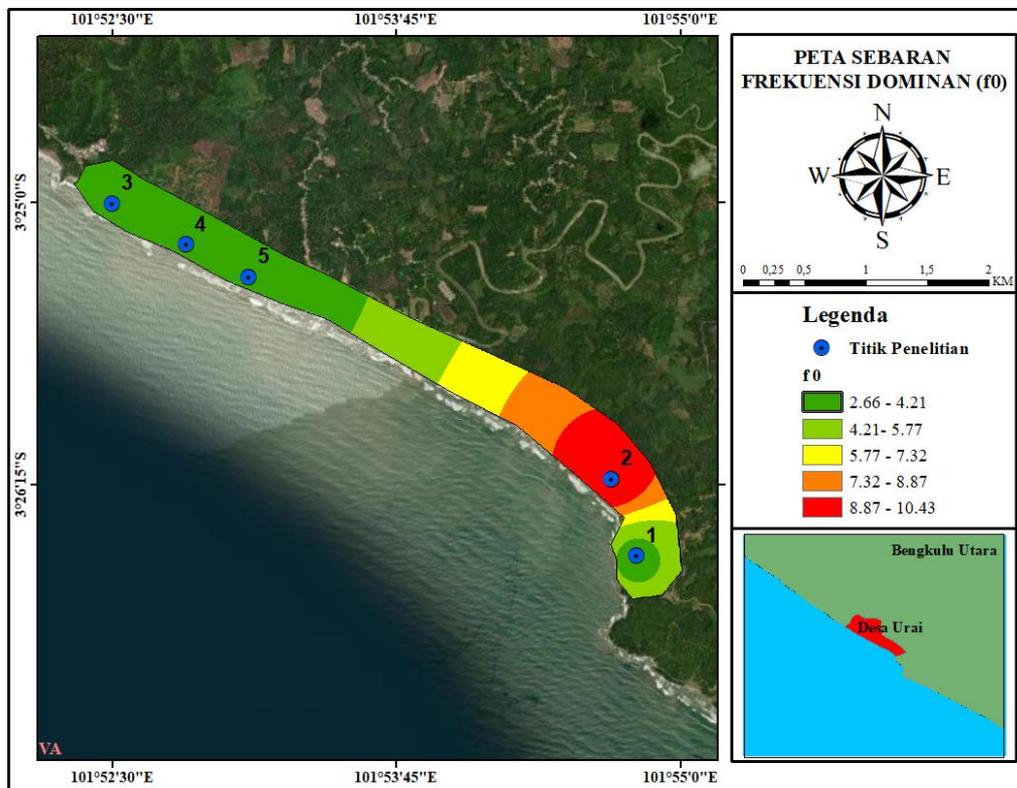
Model ini diinterpretasikan hingga kedalaman 30 m dari permukaan. Nilai Vs dikelompokkan pada tabel klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019 (BSN, 2019), yang menjelaskan jenis material penyusun dan tingkat



**Gambar 6.** Peta Kecepatan Perubahan Garis Pantai 3 di Titik 1 dan 2 (2006-2022)



Gambar 7. Peta sebaran faktor Amplifikasi  $A_0$



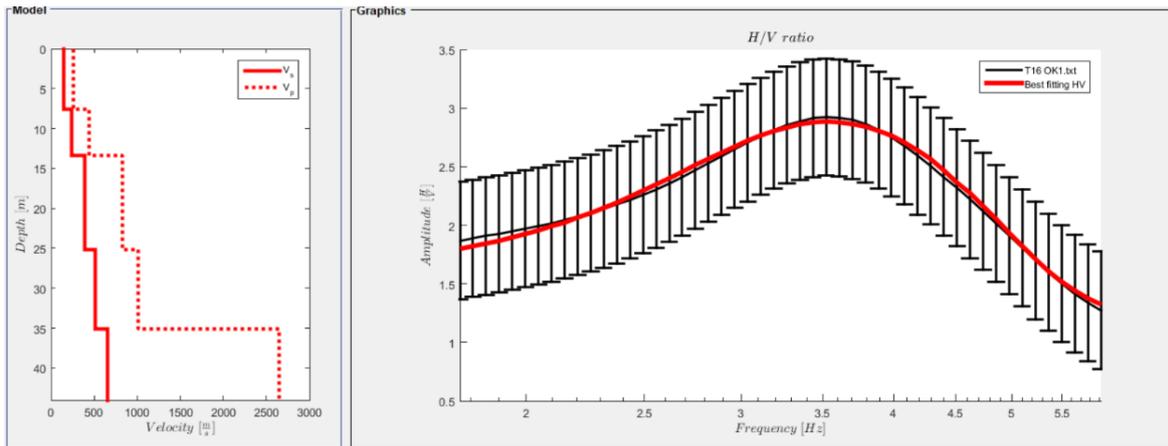
Gambar 8. Peta Sebaran frekuensi dominan  $f_0$

**Tabel 2.** Pengolahan data pertitik lokasi penelitian

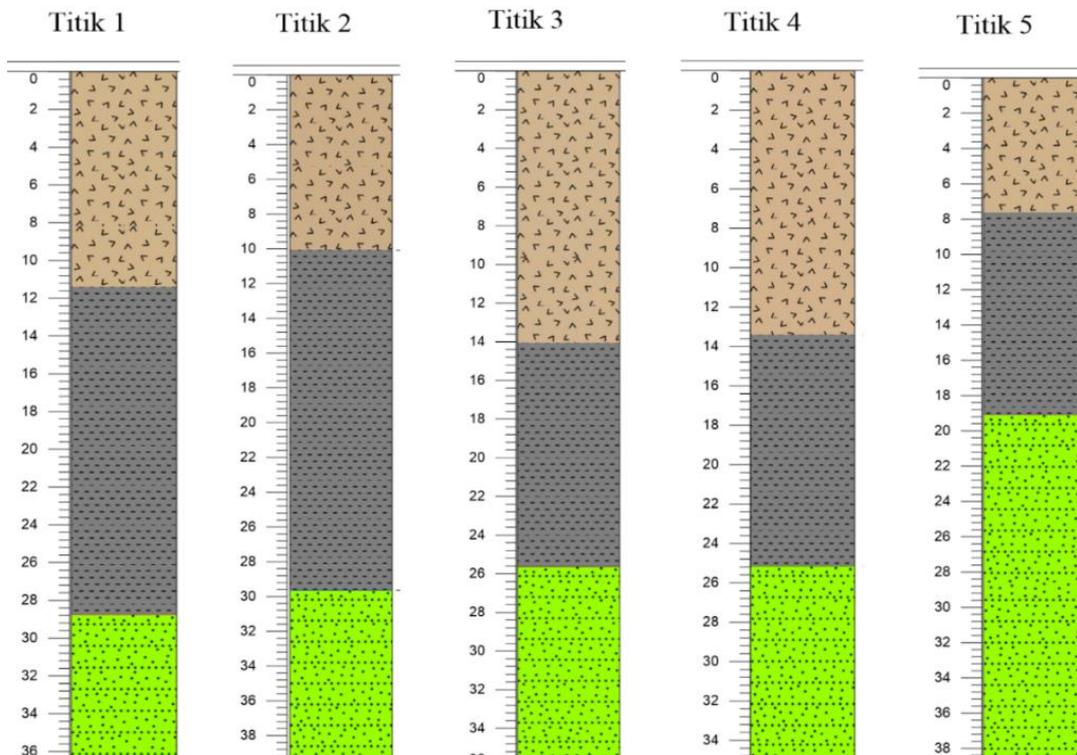
Titik	Layer	Thickness (m)	Vs (m/s)	Density (kg/ $m^3$ )	Di/Vsi	Site Class	Jarak (s)	Waktu (t)	Kecepatan (v)
1	1	8,2	146,53	1020,37	0,055961	D	52 m	16	3.25 m/thn
	2	3,22	248,76	818,36	0,012944				
	3	17,13	332,3	1315,36	0,05155				
	4	7,89	457,86	1727,09	0,017232				
	5	0	957,27	116,69	0				
				Total	0,137688				
2	1	5,28	146,91	1723,18	0,03594	D	80.7 m	16	5.04 m/thn
	2	4,8	186,26	421,01	0,02577				
	3	19,56	215,56	1396,2	0,09074				
	4	9,98	563,01	437	0,017726				
	5	0	725,16	157,21	0				
				Total	0,170177				
3	1	9,66	113	1678,73	0,085487	D	58.5 m	16	3.65 m/thn
	2	4,4	298,09	1930,58	0,014761				
	3	11,57	332,21	876,83	0,034827				
	4	9,87	528,55	742,82	0,018674				
	5	0	716,95	245,42	0				
				Total	0,153748				
4	1					D	22.75 m	16	1.4 m/thn
	2	7,56	143,13	1539,74	0,052819				
	3	5,85	236,95	1223,51	0,024689				
	4	11,75	394,23	1268,43	0,029805				
	5	9,9	515,48	605,81	0,019205				
				Total	0,126518				
5	1	7,61	145,3	1332,37	0,052374	D	68.3 m	16	4.26 m/thn
	2	11,47	221,09	1960,91	0,051879				
	3	9,96	429,74	1152,67	0,023177				
	4	9,42	537,82	212,3	0,017515				
	5	0	863,23	197,58	0				
				Total	0,144946				
			Vs30	206,9741					
Rata-rata									3.5 m/thn

kekerasan batuan. Interpretasi ini memudahkan pemahaman stratifikasi nilai Vs bawah permukaan di wilayah Kabupaten Bengkulu Utara yang rentan terhadap abrasi. Nilai Vs setiap lapisan tanah berbeda-beda hingga kedalaman 30 m. Warna pada profil litologi menunjukkan bahwa

kerapatan dan ketebalan di setiap lapisan berbeda. Jadi, nilai Vs per lapisan dan kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 m akan dihitung untuk setiap titik pengukuran. Interpretasi data berupa profil litologi dihasilkan dengan menggunakan inversi kurva dispersi untuk



Gambar 9. Proses Inversi HVSR pada titik lokasi 4

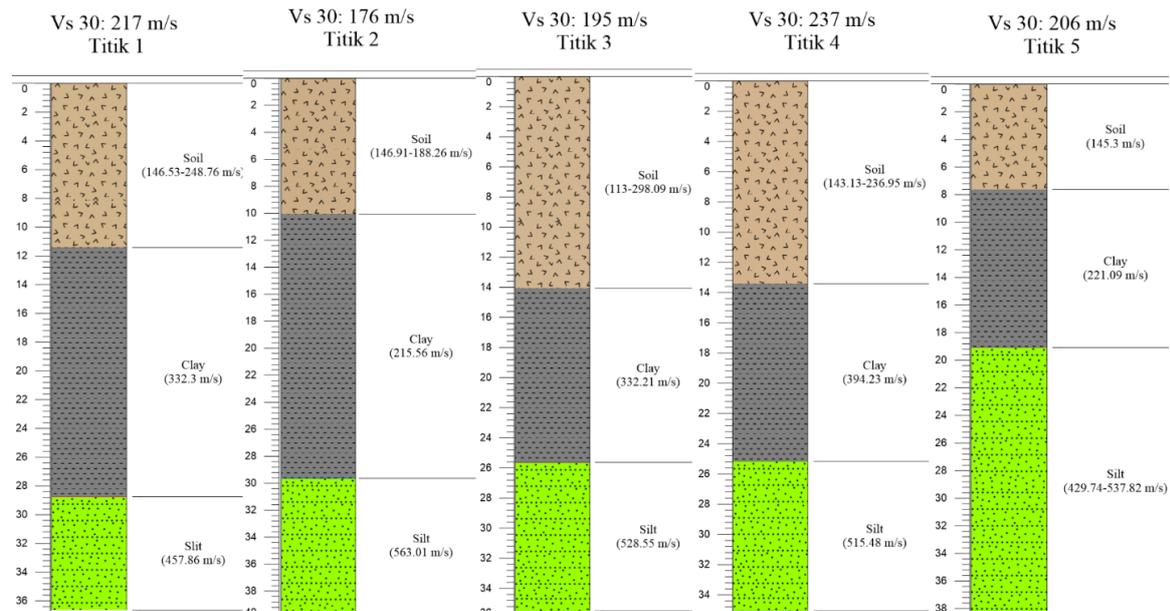


Gambar 10. Model stratigrafi 2D nilai kecepatan gelombang geser di Kabupaten Bengkulu Utara.

mendapatkan model yang terbaik (mendekati sebenarnya) dan jenis material penyusun batuan (Refrizon *et al.*, 2019).

Tingkat kelunakan dan kekerasan lapisan batuan memengaruhi kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ). Perolehan nilai  $V_s$  bawah permukaan hingga kedalaman 30 m di daerah rawan abrasi sepanjang pantai Desa Urai, Bengkulu Utara yang ditunjukkan oleh Gambar 11 didominasi oleh

empat jenis batuan yakni lapisan pertama didominasi oleh *soil* dengan nilai  $V_s < 298$  m/s, lapisan kedua didominasi oleh *claystone* dengan nilai  $394 < V_s < 563$  m/s, lapisan ketiga didominasi oleh *siltstone* dengan nilai  $394 < V_s < 563$  m/s, dan lapisan keempat didominasi oleh *limestone* dengan nilai  $> 563$  m/s di kedalaman lebih dari 30 m. Mengacu pada klasifikasi situs berdasarkan SNI 1796:2019 (BSN, 2019), nilai kelas situs wilayah



**Gambar 11.** Model stratigrafi 1D nilai kecepatan gelombang geser di Kabupaten Bengkulu Utara.

penelitian termasuk ke dalam kisaran SD (Tanah Sedang) menurut Tabel 1, dengan nilai  $V_{S30}$  yang diperoleh antara 176-273 m/s.

Pantai Bengkulu Utara sering mengalami abrasi karena ombak laut yang menghempas di pantai bertemu langsung dengan batuan lunak karena stratigrafi batuan lunak dengan nilai Vs di bawah 180 m/s sangat rawan terhadap berbagai jenis deformasi seperti *crack*, *settlement*, dan *collapse* (Refrizon *et al.*, 2019). Pada lokasi penelitian di Desa Urai, morfologi dan litologi pantai yang terjal dan mempunyai sedikit pasir membuat proses pengikisan pantai lebih mudah terjadi. Kondisi ini juga disebabkan karena dinding pantai berhadapan langsung dengan dinding pantai yang curam, sehingga jarak keduanya tidak terlalu jauh. Ombak laut yang tinggi juga mampu menghantam dinding pantai bagian atas yang lunak, lalu mengakibatkan abrasi. Penghalang pantai alami di daerah tersebut adalah batu napal di bagian bawah yang berguna untuk menahan ombak, akan tetapi batu napal ini bisa hancur seiring berjalannya waktu (Lubis *et al.*, 2022).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di sepanjang pantai Desa Urai Bengkulu Utara telah mengalami kemunduran daratan akibat adanya proses abrasi sehingga mengakibatkan kecepatan perubahan garis pantai. Daerah yang

mengalami kecepatan perubahan garis pantai paling tinggi berada pada titik 2 yaitu  $\pm 5.04$  m/tahun dengan  $V_{S30}$  terkecil yaitu 176,2867 m/s dan nilai frekuensi dominan tertinggi yaitu 10.43 Hz. sedangkan daerah yang mengalami kecepatan perubahan garis pantai paling rendah berada pada titik 4 yaitu  $\pm 1.4$  m/tahun dengan nilai  $V_{S30}$  terbesar yaitu 237,12 m/s dan nilai frekuensi dominan yang rendah yaitu 3.25 Hz. sehingga daerah yang mengalami abrasi memiliki nilai kecepatan perubahan garis pantai yang rendah tetapi memiliki nilai  $V_{S30}$  yang besar dan frekuensi dominan yang rendah dengan klasifikasi tanah yang sama yaitu tanah sedang. Oleh karena itu, tanah yang tergolong sedang menunjukkan bahwa daerah tersebut cenderung rentan terhadap bencana abrasi sehingga dinding tebing pantai mudah terkikis oleh gelombang laut mengakibatkan terjadinya kemunduran daratan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anbazhagan, P., Srilakshmi, K. N., Bajaj, K., Moustafa, S.S.R., & Al-Arifi, N.S.N. 2019. Determination Of Seismic Site Classification Of Seismic Recording Stations In The Himalayan Region Using HVSR Method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116: 304–316. doi: 10.1016/j.soildyn.2018.10.023.
- Al Ansory, A. R., Raihana, H., Farid, M., & Hadi, A. I. 2024. Investigation Of Sediment Layer

- Thickness Estimation At Bengkulu University Hospital Based On Microtremor Data. *Jurnal Geocelbes*, 8(1): 1–10. doi: 10.20956/geocelbes.v8i1.28144.
- Aryastana, P., Eryani, I.G.A.P., & Windy Candrayana, K. 2016. Perubahan Garis Pantai Dengan Citra Satelit Di Kabupaten Gianyar. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 5(2): pp. 70–81.
- Bilson Darko, A., Molnar, S. & Sadrekarimi, A. 2020, Blind Comparison Of Non-Invasive Shear Wave Velocity Profiling With Invasive Methods At Bridge Sites In Windsor, Ontario. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 129: p.105906. doi: 10.1016/j.soildyn.2019.105906.
- Nasional, B.S. 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *SNI 2847-2019*. Jakarta: BSN.
- Chen, C.T., Kuo, C.H., Lin, C.M., Huang, J.Y., & Wen, K.L. 2022. Investigation Of Shallow S-Wave Velocity Structure And Site Response Parameters In Taiwan By Using High-Density Microtremor Measurements. *Engineering Geology*, 297: p.106498. doi: 10.1016/j.enggeo.2021.106498.
- Fadhilah, F.H., Yudistira, T. & Sopyan, Y. 2022. Pemetaan Respons Dinamik Tanah Dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Di Wilayah Kertajati Menggunakan Metode Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio (HVSR). *Jurnal Geofisika*, 20(02): 52–61.
- Farid, M., Sri Brotopuspito, K., Wahyudi., S., & Suryanto, W. 2014. Ground Shear Strain And Rate Of Erosion In The Coastal Area Of North Bengkulu, Indonesia. *Advanced Materials Research*, 896: 521–524. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.896.521.
- Farid, M. & Hadi, A.I. 2018. Measurement Of Shear Strain In Map Liquefaction Area For Earthquake Mitigation In Bengkulu City. *Telkomnika*, 16(4): 1597–1606. doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i4.8043.
- Farid, M., Sunarto., & Suryanto, W. 2016. Mapping Of Potential Areas Tsunami Prone In Bengkulu City. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7): 4828–4832.
- García-Jerez, A., Piña-Flores, J., Sánchez-Sesma, F.J., Luzón, F., & Pertou, M. 2016. A Computer Code For Forward Calculation And Inversion Of The H/V Spectral Ratio Under The Diffuse Field Assumption. *Computers and Geosciences*, 97: 67–78. doi: 10.1016/j.cageo.2016.06.016.
- Hadi, A.I., Refrizon., Halaududin., Lidiawati, L., & Edo, P. 2021. Interpretasi Tingkat Kekerasan Batuan Bawah Permukaan di Daerah Rawan Gempa Bumi Kota Bengkulu. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 11(1): p. 11. doi: 10.13057/ijap.v11i1.46525.
- Islam, H.S., Anugroho, A., Suryoputro, D., & Handoyo, G. 2022. Studi Perubahan Garis Pantai 2017 - 2021 di Pesisir Kabupaten Batang, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 04(04): 19–33.
- Iswanto, E.R., Indrawati, Y. & Riyanto, T.A. 2019. Studi Mikrotremor dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) di Tapak RDE, Serpong. *Eksplorium*, 40(2): p. 105. doi: 10.17146/eksplorium.2019.40.2.5489.
- Januarta, G.H., Yudistira, T., Tohari, A., & Fattah, E.I. 2020. Mikrozonasi Seismik Wilayah Padalarang, Kabupaten Bandung Barat Menggunakan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR). *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 30(2): p. 143. doi: 10.14203/risetgeotam2020.v30.1087.
- Kapojos, C.G., Tamuntuan, G., & Pasau, G. 2015. Analisis Percepatan Tanah Maksimum Dengan Menggunakan Rumusan Esteve Dan Donovan (Studi Kasus Pada Semenanjung Utara Pulau Sulawesi). *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1): p. 99. doi: 10.35799/jis.15.2.2015.92 25.
- Lubis, A.M., Hanapi, R., Sinaga, J., Samdara, R., & Harlianto, B. 2022. Estimasi Perubahan Garis Pantai Daerah Pesisir Kabupaten Bengkulu Utara Dengan Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle ( UAV ) (Estimating Shoreline Changes at Coastal Region of North Bengkulu Regency using). *Majalah Ilmiah Globe*, 24(2): 81–90.
- Mase, L.Z., Farid, M., Sugianto, N., & Agustina, S. 2020. The Implementation of Ground Response Analysis to Quantify Liquefaction Potential Index (LPI) in Bengkulu City, Indonesia. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 6(3): p. 319. doi: 10.22146/jcef.57466.
- Molnar, S., Sirohey, A., Assaf, J., Bard, P. Y., Castellaro, S., Cornou, C., Cox, B., Guillier, B., Hassani, B., Kawase, H., Matsushima, S., Sánchez-Sesma, F. J., & Yong, A. 2022. A Review Of The Microtremor Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio (MHVSR) Method. *Journal of Seismology*, doi: 10.1007/s10950-

- 021-10062-9.
- Morgan, D., Gunn, D., Payo, A., & Raines, M. . 2022. Passive Seismic Surveys for Beach Thickness Evaluation at Different England (UK) Sites. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5). doi: 10.3390/jmse10050667.
- Mukhtar, M.K. 2018. Evaluasi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Multitemporal. *Journal of Geodesy and Geomatics*, 14(1): 66-74.
- Panjaitan, A., Saragih, R., Hutahuruk, A., & Suhendra. 2023. Mikrozonasi Kawasan Potensi Longsor Menggunakan Metode Mikrotremor di Kabupaten Bengkulu Utara-Lebong. *Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 20(2): 2541–1713. doi: 10.20527/14957.
- Persada, Y.D., Ilham., Amaninida, H.D., Ariyanto, P., & Gustono, S.T. 2021. Pendugaan Awal Deposit Emas Wilayah Poboya, Palu Dengan Metode Inversi HVSR. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 7(1): pp. 30–40. <https://doi.org/10.23960/jge.v7i1.122>.
- Prasad, D.H. & Kumar, N.D. 2014. Coastal Erosion Studies—A Review. *International Journal of Geosciences*, 5(03): 341-345. doi: 10.4236/ijg.2014.53033
- Ramírez Gaytan, A., Flores Estrella, H., Preciado, A., Bandy, W.L., Lazcano, S., Alcántara Nolasco, L., Aguirre González, J., & Korn, M. 2020. Subsoil Classification And Geotechnical Zonation For Guadalajara City, México: Vs30, Soil Fundamental Periods, 3D Structure And Profiles. *Near Surface Geophysics*, 18(2): 175–188. doi: 10.1002/nsg.12085.
- Refrizon., Hadi, A.I., Sugianto, N., Al Ansory, A.R., & Raihana, H. 2023. Indonesian Journal of Community Empowerment and Service Sosialisasi Mitigasi Bencana Abrasi Desa Urai Kabupaten Bengkulu Utara. *Indonesian Journal of Community Empowerment and Service*, 3(1): 26–30.
- Refrizon, R., Sugianto, N. & Bernard, A. 2019. Penentuan Stratigrafi Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Di Daerah Rawan Abrasi Kabupaten Bengkulu Utara Menggunakan Metode Multichannel Analysis of Surface Wave (Masw). *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(2): 15–20. doi: 10.36754/jmkg.v6i2.119.
- Sahidin, A., Herawati, H., Apriliani, I., Putra K, & Perdana. 2020. Analysis of Abrasion and Land Acreasion in Coastal Subang District, Indonesia. *Global Scientific Journals*, 8(7): 59–65.
- Samdara, R. & Lubis, A.M. 2016. Shoreline Changes At Northern Coast Of Bengkulu Using PALSAR and Optic Data During 2007-2011. *Journal international Engineering and Sciences*, 1(1): p.1.
- Sugianto, N., Farid, M. & Suryanto, W. 2016. Local Geology Condition Of Bengkulu City Based On Seismic Vulnerability Index (Kg). *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7): 4797–4803.
- Sugianto, N., Frid, M. and Suhendra. 2017. Kondisi Geologi Lokal Kota Bengkulu Berdasarkan Ground Shear Strain (GSS). *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 2: 29–36.
- Tanjung, N.A.F., Yuniarto, H.P. & Widyawarman, D. 2019. Analisis Amplifikasi Dan Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan Fmipa Ugm Menggunakan Metode HVSR. *Jurnal Geosaintek*, 5(2): p. 60. doi: 10.12962/j25023659.v5i2.5726.
- Thangavelu A., Manoj K., Sapna K., Jyothin C.K., Prashanth K.P. 2021. Investigation Of Land Use Cover Patterns Of Sea Shore Vegetation Of Kannur Coast Of Northern Kerala, India Using GIS. *Ecology, Environment and Conservation*, 27: S225–S235.