

Kajian Perubahan Garis Pantai dan Kerentanan Seismik pada Lokasi Rawan Abrasi Di Pantai Bengkulu Utara

Budi Harlianto^{1*}, Arif Ismul Hadi¹, Lizalidiawati², M. Fikri Azhari²

¹Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu

²Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu

Jl. WR. Supratman, Kandang Limun Bengkulu, 38371

Email: b.harlianto@unib.ac.id

Abstrak

Perubahan garis pantai dapat dikaji melalui data primer maupun sekunder, berupa data foto drone dan data citra dari satelit yang diambil pada lokasi yang sama namun waktu yang berbeda. Hasil analisa kedua data tersebut dapat mengetahui sedimentasi atau abrasi yang menggambarkan perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai secara oseanografi diakibatkan oleh hembusan ombak laut, pasang surut, dan arus laut, jika ditinjau secara geologi perubahan garis pantai disebabkan oleh pengaruh kerentanan seismik atau faktor *site* seperti penyusun pantai dengan struktur lapisan bawah permukaan yang berbeda. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa struktur tersebut melalui nilai Kerentanan Seismik (K_g), PGA (α) dan GSS (γ) yang diperoleh dari pengolahan data mikrotremor. Pengambilan foto drone dilakukan pada 2 lokasi yang setiap lokasinya dilakukan pengukuran data mikrotremor sebanyak 4 titik (durasi 30 menit). Berdasarkan data primer (foto drone) pada tahun 2018 dan 2020 di pantai Bengkulu Bagian Utara terjadi abrasi yang tergolong tinggi dan sedimentasi yang tergolong rendah. Hasil analisis data penelitian ini memperlihatkan laju perubahan garis pantai yang tertinggi pada pantai Serangai 1,49 m/th dan yang terendah terjadi pada Pantai Ketahun 1,46 m/th. Nilai K_g berkisar antara 0,32 sampai 4,76, nilai GSS berkisar 1×10^{-4} , dan nilai α berkisar 93,39 – 236,32 gal. Area yang mengalami perubahan garis Pantai yang tinggi menunjukkan nilai K_g yang relatif tinggi, yaitu mendekati 2,781, serta nilai α tertinggi mencapai 236,32 gal, nilai-nilai tersebut menunjukkan potensi guncangan seismik yang kuat sehingga mudah mengalami abrasi.

Kata kunci: Garis Pantai, Abrasi, Pantai Bengkulu Bagian Utara

Abstract

Study on Coastline Changes and Seismic Vulnerability at Abrasion-Prone Locations in North Bengkulu Coast

Shoreline changes can be studied through primary and secondary data, including drone photography and satellite imagery taken at the same location but at different times. Analysis of these two data sets can reveal sedimentation or abrasion, which reflect shoreline changes. Oceanographically, shoreline changes are caused by the pounding of ocean waves, tides, and ocean currents. Geologically, shoreline changes are caused by the influence of seismic vulnerability or site factors, such as different subsurface structures in coastal structures. The purpose of this study is to analyze these structures through Seismic Vulnerability (K_g), PGA (α) and GSS (γ) values obtained from microtremor data processing. Drone photos were taken at 2 locations, each location with 4 microtremor data measurements (duration 30 minutes). Based on primary data (drone photos) in 2018 and 2020 on the coast of North Bengkulu, abrasion occurred which was classified as high and sedimentation which was classified as low. The results of the data analysis of this study show that the highest rate of shoreline change is at Serangai Beach at 1.49 m/yr, while the lowest is at Ketahun Beach at 1.46 m/yr. The K_g value ranges from 0.32 to 4.76, the GSS value ranges from 1×10^{-4} , and the α value ranges from 93.39 to 236.32 gal. Areas experiencing high shoreline changes show a relatively high K_g value, which is close to 2.781, and the highest α value reaches 236.32 gal, these values indicate the potential for strong seismic shocks so that they are easily abrasion.

Keyword: Shoreline Changes, Abrasion, Northern Bengkulu Beach

PENDAHULUAN

Provinsi Bengkulu terletak di Pulau Sumatera di bagian barat dengan batas samudera Hindia yang panjang garis pantainya ± 586 km di mulai dari Kabupaten Kaur hingga Kabupaten Mukomuko, termasuk salah satunya Kabupaten Bengkulu Utara dengan garis Pantai sepanjang $\pm 262,63$ km (Hadi *et al.*, 2021). Posisi Provinsi Bengkulu yang berbatasan dengan samudera Hindia tersebut menyebabkan terjadinya garis pantai yang berubah cukup signifikan. Garis pantai tersebut dapat berubah karena abrasi yang merupakan pengikisan badan pantai atau sedimentasi yang berupa penambahan daratan (Islam *et al.*, 2022). Proses-proses dinamis di daerah pesisir (*nearshore process*) mengakibatkan terjadinya abrasi atau sedimentasi di pantai, hal ini dikarenakan pantai sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus dan tekanan gelombang (Mutmainah, 2024).

Pengikisan sempadan pantai dapat disebabkan oleh gelombang dan arus laut serta aktivitas tektonik (kegempaan) yang bersifat merusak disebut abrasi (Sahidin *et al.*, 2020). Gelombang laut dan arus laut serta aktivitas kegempaan dapat saling menguatkan dalam menyebabkan perubahan garis pantai, yang menyebabkan garis pantai bertambah ke daratan dan daratan akan berkurang. Aktivitas kegempaan sebagai salah satu faktor penyebab terjadinya abrasi pantai dapat dilihat dari data mikrotremor melalui beberapa parameter, seperti indeks kerentanan seismik (K_g), Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) serta *Ground Share Starin* (GSS). Parameter-parameter tersebut dapat dikaitkan dengan kondisi batuan atau kondisi geologi daerah yang mengalami abrasi. Abrasi pantai di Provinsi Bengkulu khususnya wilayah Bengkulu bagian Utara telah menimbulkan kerugian terhadap sarana Jalan Lintas Barat Sumatra (Jalinbar) dan lingkungan perkebunan serta permukiman masyarakat. Selain kerugian yang dirasakan oleh manusia juga kerugian bagi ekosistem pantai itu sendiri (Lubis *et al.*, 2022).

Penelitian terhadap abrasi di Bengkulu Utara pernah dilakukan oleh Anggraini (2015) yang meneliti struktur lapisan bawah permukaan daerah rawan abrasi Bengkulu Utara dengan metode MASW. Hasil penelitian tersebut menunjukkan lapisan batuan di Desa Serangai Kabupaten Bengkulu Utara kurang stabil, sehingga jika terjadi gangguan dari ombak laut, dan angin serta gejala tektonik (gempa) maka lapisan tersebut akan cepat

terabras. Perubahan garis pantai sudah pernah diteliti oleh Suwarsono *et al.* (2016) dengan mengukur energi hempas gelombang menggunakan Pitometer dan menghitung kekuatan ikat batuan menggunakan cara semprot air, hasilnya pada daerah penelitian terjadi pergeseran garis Pantai berkisar 2-2,5 m/th. Samdara dan Lubis (2016) melakukan penelitian tentang pergeseran garis pantai di Perairan Bengkulu Utara berdasarkan data citra yang diperoleh dari satelit ALOS PALSAR yang resolusi spasialnya antara 2,5-10 m, yang masih tergolong dalam citra resolusi rendah (Hegde, 2024). Hasilnya penelitian tersebut menunjukkan bahwa laju pergeseran garis pantai di Perairan Bengkulu Utara mencapai 25 m/th. Selain itu Hanafi (2018) melakukan kajian untuk melihat pergeseran garis pantai di Perairan Bengkulu Utara berdasarkan data foto Drone yang resolusi spasialnya mencapai orde cm. Namun dalam penelitian ini garis pantai (sebagai banding) yang dijadikan acuan masih bersumber dari peta lama yang dibuat dari data citra satelit yang resolusi spasialnya lebih rendah dibandingkan dengan data dari Drone, perbedaan data tersebut diyakini akan berpengaruh pada hasil penelitian yang sudah dilakukan. Oleh sebab itu, penting dilakukan penelitian kembali dengan membandingkan data yang bersumber sama (drone) untuk mendapatkan hasil yang akurat dengan kualitas yang lebih baik.

Mengacu pada penjelasan di atas, penelitian ini akan menentukan perubahan garis pantai menggunakan data primer (foto Drone) yang diperoleh pada tahun 2018 dan foto Drone yang diperoleh pada tahun 2020 serta ditambah dengan analisis struktur lapisan bawah permukaan berdasarkan data mikrotremor melalui parameter indeks kerentanan seismik, PGA, dan GSS untuk tiap lokasi rawan abrasi Bengkulu bagian Utara.

MATERI DAN METODE

Menurut Prasad dan Kumar (2024) garis pantai dapat mengalami perubahan karena terjadinya abrasi (berkurangnya daratan) atau sedimentasi (bertambahnya daratan). Perubahan ini dominan terjadi pada wilayah pesisir yang merupakan batas antara daratan dan lautan (Aryastana *et al.*, 2016 dan Thangavelu *et al.*, 2021). Perubahan garis pantai tersebut berlangsung dengan kecepatan yang berbeda-beda karena dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk musim dan kondisi gelogik lokal daerah tersebut (Sahidin *et al.*, 2020).

Faktor lain yang cukup berpengaruh terhadap kecepatan perubahan garis pantai disuatu wilayah adalah kondisi geologi lokal yang dapat dipelajari melalui analisa beberapa parameter seperti struktur lapisan bawah permukaan, ketebalan lapisan sedimen, porositas dan permeabilitas batuan (Sugianto *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Refrizon *et al.* (2019) struktur batuan hampir disepanjang pantai Bengkulu bagian Utara didominasi oleh batuan yang tergolong lunak atau lempung. Abrasi yang merupakan bergesernya pantai ke arah daratan (*retrogradation*) jika kejadian tersebut terjadi secara besar-besaran maka akan menimbulkan fenomena longsor (Farid *et al.*, 2016).

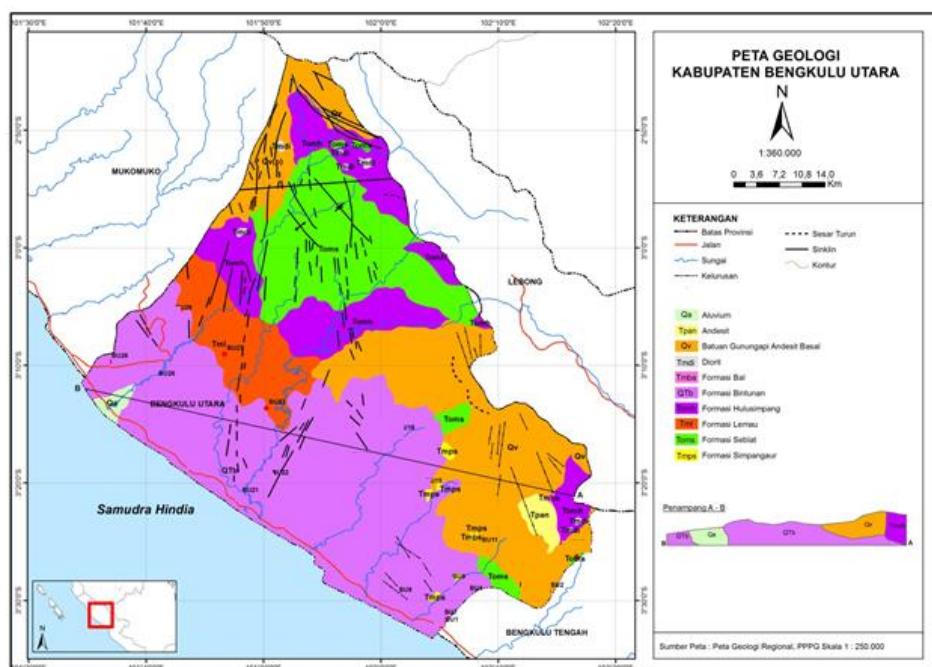
Geologi Kabupaten Bengkulu Utara

Formasi geologi yang terdapat di Kabupaten Bengkulu Utara terdiri dari formasi aluvium, andesit, batuan gunung andesit basla, bintungan, hulusimpang, lemau, sebelat dan simpangaur, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Terkhusus di sekitar lokasi penelitian yakni Pantai Serangai dan Pantai Ketahun berada pada jenis formasi bitunan yang terdiri dari konglomerat dari berbagai material, batu apung dan napal (Fazeza *et al.*, 2024). Kondisi geologi lokal di sepanjang pesisir berperan signifikan dalam menentukan laju erosi. Lapisan geologi yang lunak dan rapuh

memiliki kecenderungan untuk mengalami deformasi dengan mudah, sehingga rentan terhadap fenomena longsor dan abrasi (Farid *et al.*, 2016). Berdasarkan penelitian Refrizon *et al.* (2019), tidak terdapat indikasi batuan keras hingga kedalaman 30 meter di bawah permukaan sepanjang pesisir Kabupaten Bengkulu Utara, yang mengindikasikan struktur batuan bawah permukaan yang relatif tidak stabil.

Mikrotremor

Mikrotremor atau mikroseismik adalah gelombang seismik berukuran kecil yang merambat melalui tanah dan bersumber dari aktivitas alami maupun buatan (Morgan *et al.*, 2022). Data mikrotremor yang direkam di lapangan berupa sinyal dalam domain waktu dengan tiga komponen, yaitu dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal (Anbazhagan *et al.*, 2019). Pengolahan data ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya metode Perbandingan Spektrum Horizontal dan Vertikal (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio* atau HVSR). Dari hasil pengolahan tersebut diperoleh parameter seperti frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0), yang dapat digunakan untuk menganalisis kondisi geologi setempat (Molnar *et al.*, 2022). Sample rate yang digunakan pada akuisisi data microtremor dalam penelitian ini adalah 5 ms (200 Hz).



Gambar 1. Peta Geologi Bengkulu Utara

Kerentanan Seismik, PGA dan GSS

Indeks kerentanan seismik (K_g) merupakan ukuran kekuatan lapisan batuan yang mengalami deformasi akibat gempabumi (Panjaitan *et al.*, 2023). Fatimah *et al.* (2019) menjelaskan bahwa salah satu parameter yang bisa dijadikan acuan dalam mempelajari kerentanan batuan akibat gelombang gempa yaitu parameter kerentanan seismik atau K_g . Nilai K_g ini biasanya menggambarkan seberapa rentannya suatu lapisan untuk mengalami deformasi. Ketika gempa terjadi (Simanjuntak *et al.*, 2017). Menurut Nakamura (2008) nilai K_g diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan rumus:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

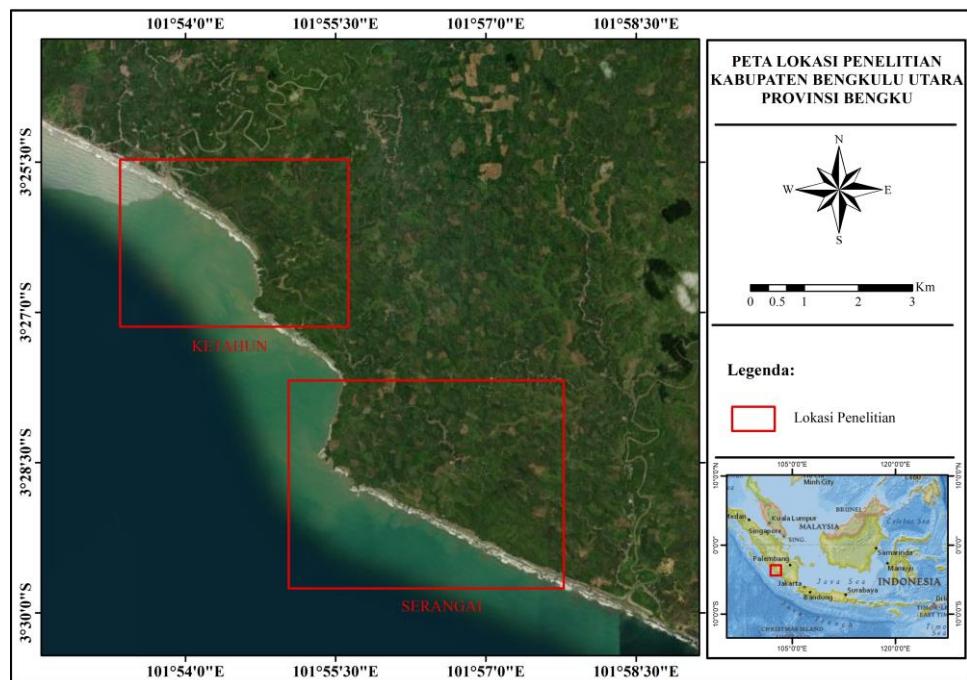
dimana K_g merupakan nilai kerentanan seismik, A_0 merupakan faktor amplifikasi, dan f_0 merupakan frekuensi dominan. Menurut Pratama dan Koten (2021) nilai K_g menunjukkan hubungan yang linear pada setiap titik ukur.

Percepatan maksimum getaran tanah, atau yang dikenal dengan PGA, merupakan ukuran percepatan tertinggi yang terjadi pada suatu wilayah ketika gempa bumi berlangsung. Nilai ini

sangat krusial untuk dianalisis dalam perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa, karena menggambarkan seberapa kuat gempa yang pernah terjadi di daerah tersebut dan dapat membantu dalam menentukan desain struktur yang sesuai dengan Tingkat resiko seismic diwilayah tersebut (Arrahma, 2022). Faktor utama yang memengaruhi besarnya PGA adalah intensitas gempa; semakin tinggi intensitasnya, maka nilai PGA juga akan meningkat. Oleh sebab itu, antara nilai intensitas gempa dan PGA terdapat korelasi yang positif dan searah (Harlianto *et al.*, 2024). Nilai PGA yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan rumus empiris yang menyertakan parameter periode dominan tanah di titik pengukuran, seperti rumus empiris menurut Kanai, 1996 yang dituliskan dengan persamaan:

$$\alpha_s = \frac{5}{\sqrt{T_g}} * 10^{0,61M_w - 1,66 + \frac{3,6}{R_{es}} \log R_{es} - 0,167 - \frac{1,83}{R_{es}}} \quad \dots (2)$$

g tersimpan pada alat diolah dengan menggunakan *software* untuk mendapatkan peta garis pantai. Tahap pertama dilakukan pemanggilan data foto udara yang akan digunakan melalui menu bar *workflow* lalu *add photos*, selanjutnya data foto udara dipilih untuk digunakan pada direktori penyimpanan.



Gambar 2. Peta Lokasi Pengumpulan Data

Tahapan selanjutnya, proses *Build Dense Cloud* adalah proses rekonstruksi model tiga dimensi (3D) dari foto udara yang saling bertampalan. Maka pilihan *Quality* dan *Depth Filtering* akan muncul, lalu pilih *Aggressive*. Pada proses ini untuk menjadikan foto bertampalan memerlukan waktu yang relatif cukup lama tergantung dengan resolusi foto udara yang digunakan dalam pengolahan.

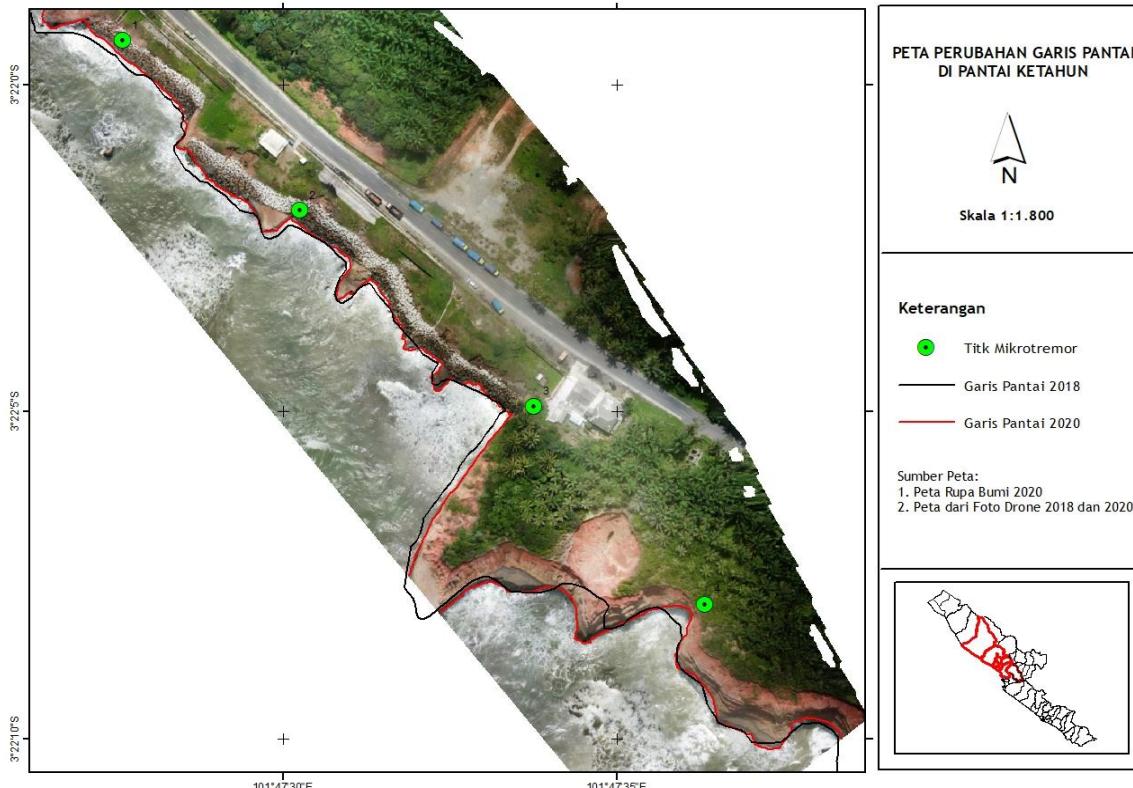
Proses pengolahan data menggunakan *software* ini bertujuan untuk penyatuan data foto udara (*ortho photo*) yang berupa data gambar dalam format *JPG* (*Joint Photographic Group*) yang sangat banyak, kemudian disatukan menjadi satu peta yang utuh dengan kualitas yang baik. Tahapan terakhir yaitu proses matching image kedua garis pantai yaitu peta garis pantai hasil pengolahan foto drone 2019 dan 2020. Setelah itu akan dilakukan tumpang tindih (*overlay*) untuk data sekunder tahun 2011. Kemudian dapat dilakukan analisis terhadap peta perubahan garis pantai Bengkulu Bagian Utara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan peta perubahan garis pantai selama periode 2018 hingga 2020, yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Selain itu, penelitian ini juga menyajikan data berupa nilai percepatan maksimum getaran tanah (α), indeks kerentanan seismik (K_g), serta *ground shear strain* (γ) seperti ditujukan pada Tabel 1.

Berdasarkan Gambar 3 dan 4 secara visual di tiga lokasi penelitian nampak mengalami abrasi dan sedimentasi, abrasi dapat dilihat laut bergerak maju ke arah daratan sedangkan sedimentasi dapat dilihat dari daratan yang bergerak menuju ke arah laut. Gambar-gambar tersebut menjelaskan perubahan garis pantai selama 2 tahun, tahun 2018 ditunjukkan oleh garis hitam sedangkan tahun 2020 ditunjukkan dengan warna merah.

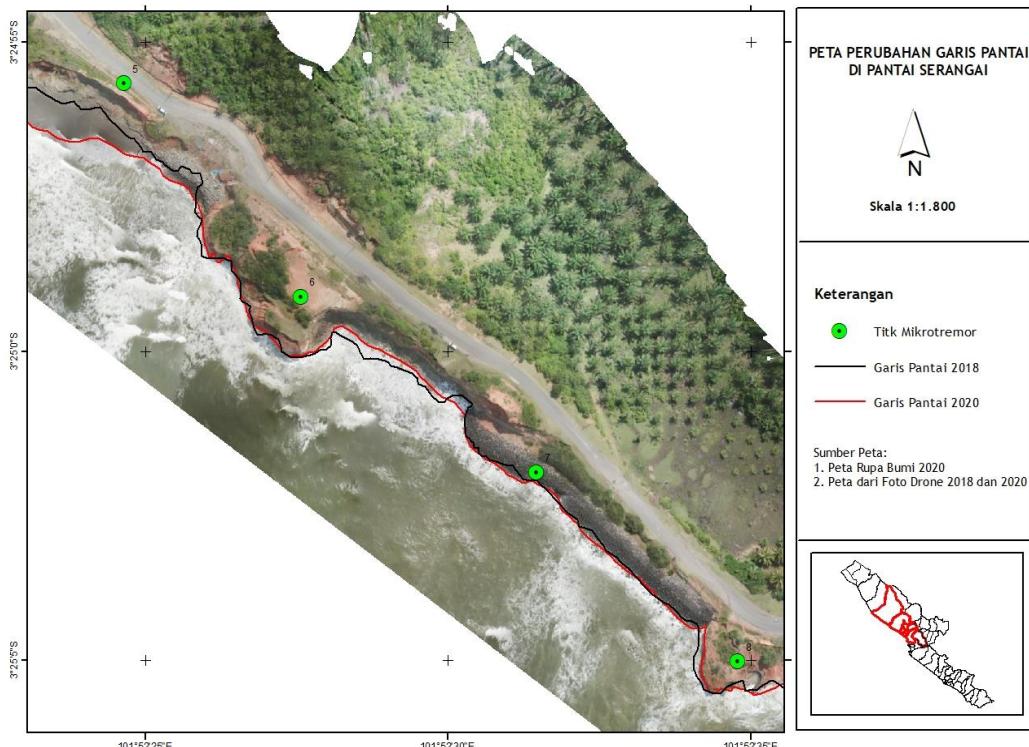
Berdasarkan data primer berupa foto udara dari drone yang diambil pada tahun 2018 dan 2020, menunjukkan adanya perubahan signifikan pada garis pantai di dua lokasi penelitian selama periode 2018–2020, yang dipengaruhi oleh faktor alam dan aktivitas manusia. Abrasi paling cepat terjadi di Pantai Serangai dengan laju sekitar 1,49 m/th, sementara Pantai Ketahun mengalami laju abrasi yang lebih rendah, sekitar 1,46 m/th (Tabel 1).



Gambar 3. Dinamika Garis Pantai di Kawasan Pantai Ketahun

Tabel 1. Laju Perubahan Garis Pantai (m/th)

Lokasi	Laju Perubahan Garis Pantai (m/th)	
	Abrasi	Sedimentasi
Pantai Ketahun	1,460	1,513
Pantai Serangai	1,495	1,638

**Gambar 4.** Dinamika Garis Pantai di Kawasan Pantai Serangai

Selain faktor lingkungan seperti gelombang, angin, dan pasang surut, penelitian ini juga mengkaji pengaruh faktor seismik terhadap perubahan garis pantai melalui nilai indeks kerentanan seismik (K_g), percepatan maksimum getaran tanah (α), dan *ground shear strain* (γ) pada setiap lokasi penentuan perubahan garis pantai.

Nilai K_g merupakan indikator tingkat kerentanan material di lokasi penelitian terhadap guncangan gempa. Nilai K_g tertinggi ditemukan di Pantai Serangai (sekitar 2,78), menunjukkan material di lokasi ini relatif lebih rentan terhadap kerusakan akibat getaran seismik dibandingkan Ketahun ($K_g \sim 1,65$). Kondisi ini sejalan dengan nilai GSS (γ) yang juga relatif lebih tinggi di Pantai Serangai, mengindikasikan deformasi tanah akibat gaya geser yang lebih signifikan, yang secara lengkap disajikan pada Tabel 2.

Nilai PGA (α) tertinggi di Pantai Serangai (hingga 236 gal) mengindikasikan bahwa lokasi ini mengalami percepatan getaran tanah yang cukup besar saat gempa, yang dapat mempercepat proses kerusakan struktur tanah di wilayah pesisir. Hal ini dapat memperkuat mekanisme abrasi melalui peningkatan deformasi tanah, terutama di daerah dengan nilai GSS tinggi.

Garis pantai biasanya mengalami perubahan seiring waktu yang dipengaruhi oleh faktor-faktor alam seperti gelombang laut, angin, pasang surut air laut, arus, serta proses sedimentasi di daerah delta sungai. Selain itu, perubahan garis pantai juga dapat disebabkan oleh gangguan ekologi, seperti pembangunan tanggul, kanal, dan berbagai konstruksi di sekitar wilayah pesisir. Fungsi hutan mangrove yang awalnya sebagai pelindung pantai kini banyak beralih menjadi area budidaya

perikanan, pemukiman, kawasan industri, dan reklamasi, yang turut berkontribusi terhadap perubahan garis pantai.

Dari perspektif oseanografi, abrasi pantai terjadi akibat tekanan gelombang laut yang terus-menerus melemahkan struktur tebing, menyebabkan kemunduran garis pantai. Kondisi ini berpotensi merusak infrastruktur pesisir. Klasifikasi tingkat kerusakan akibat abrasi dijelaskan pada Tabel 3.

Berdasarkan kriteria tersebut maka tingkat kerusakan akibat abrasi di lokasi penelitian ini bila dianggap linier berkisar antara sedang sampai berat ($0,5 - 5,0$ m/th). Lokasi yang tergolong mengalami tingkat kerusakan sedang adalah Pantai Ketahun, sedangkan lokasi yang tergolong mengalami kerusakan berat adalah Pantai Pantai Serangai. Semakin berat tingkat kerusakan di suatu wilayah, maka laju perubahan garis pantai per tahun akan semakin besar, dan sebaliknya. Berdasarkan hasil pengolahan data, terlihat bahwa kecepatan perubahan garis pantai di beberapa area rawan abrasi di Bengkulu Utara bervariasi antar titik lokasi. Hal ini juga berbeda jika dibandingkan

dengan temuan penelitian terdahulu. Kecepatan perubahan garis pantai di Pantai Ketahun yang diperoleh dari analisa data saat ini mendekati hasil penelitian Suwarsono *et al.* (2016) yang dilakukan dengan metode pengukuran langsung, sedangkan jika dibandingkan dengan hasil yang dilakukan oleh peneliti-peneliti lain hasilnya sangat jauh berbeda. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan sumber data yang digunakan, beberapa penelitian terdahulu umumnya menggunakan data sekunder (data citra atau digitasi peta yang sudah ada). Perbandingan kecepatan perubahan garis pantai hasil penelitian ini dengan beberapa penelitian terdahulu di Pantai Ketahun ditunjukkan pada Gambar 5.

Kecepatan perubahan garis pantai di Pantai Serangai hasil analisa data dari penelitian ini dikonfirmasi dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, maka diperoleh kedekatan nilai antara penelitian yang dilakukan oleh Suwarsono *et al.* (2016) yang dilakukan dengan metode pengukuran langsung, sedangkan penelitian-penelitian menghasilkan nilai kecepatan perubahan garis pantai yang sangat

Tabel 2. Nilai-Nilai K_g , α , dan γ Pada Lokasi Penelitian

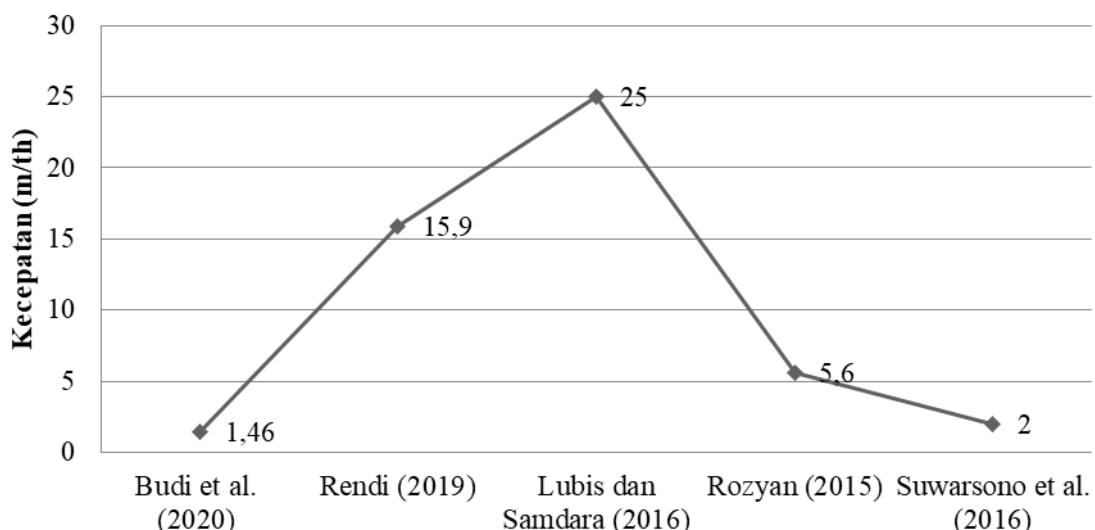
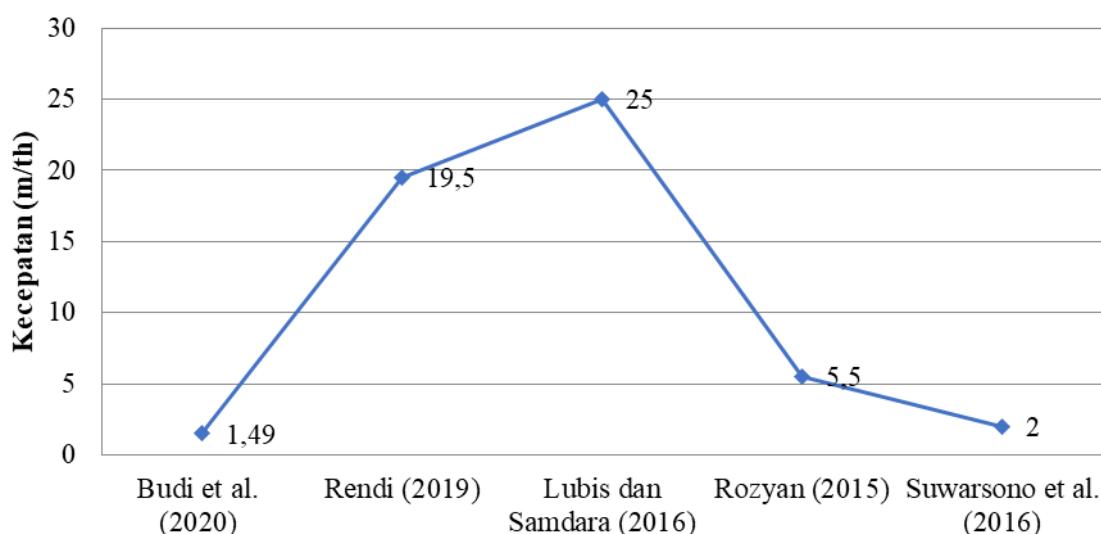
No	LS	BT	A_o	f_o	K_g	α	γ
A Pantai Ketahun							
1	-3,3665	101,7910	1,8730	1,3571	2,5850	108,5073	0,0003
2	-3,3672	101,7917	1,5868	2,0490	1,2289	121,8247	0,0001
3	-3,3680	101,7927	2,1720	4,3580	1,0825	154,6239	0,0002
4	-3,3689	101,7934	2,4681	3,5951	1,6944	145,0407	0,0002
B Pantai Serangai							
5	-3,4155	101,8735	1,8903	0,7624	4,6868	93,3905	0,0004
6	-3,4164	101,8743	1,9184	0,7729	4,7616	93,6810	0,0004
7	-3,4180	101,8764	2,1100	13,9300	0,3196	236,3218	0,0001
8	-3,4181	101,8763	2,3500	4,0700	1,3569	150,5783	0,0002

Tabel 3. Kategori Kerusakan Akibat Abrasi (Setyandito dan Triyanto, 2007)

Kategori Kerusakan	Kecepatan Abrasi (m/th)
Rusak Ringan	<0,5
Rusak Sedang	0,51 – 2,0
Rusak Berat	2,1 – 5,0
Rusak Amat Berat	5,1 – 10,0
Rusak Amat Sangat Berat	>10,1

Tabel 4. Kecepatan Abrasi, Rata-Rata Nilai K_g , α , dan γ pada Masing-Masing Lokasi

Lokasi	Abrasi (m/th)	K_g	α	γ
Pantai Ketahun	1,460	1,648	132,499	0,0002
Pantai Serangai	1,495	2,781	236,321	0,0003

**Gambar 5.** Dinamika perubahan garis pantai di Kawasan Pantai Ketahun**Gambar 6.** Dinamika Perubahan Garis Pantai di Pantai Serangai Berdasarkan hasil penelitian dan hasil penelitian terdahulu

jauh bedanya dengan penelitian ini. Demikian juga di lokasi Pantai Serangai hasil penelitian ini hampir sama dengan penelitian Rozyan (2015) dan tidak begitu jauh dengan hasil yang diperoleh dari penelitian Suwarsono *et al.* (2011) jika

dibandingkan dengan nilai kecepatan perubahan garis pantai yang diperoleh dari hasil penelitian Rendi (2019) dan penelitian yang dilakukan oleh Lubis dan Samdara (2016). Penelitian Rendi (2019) memang menggunakan data primer (foto-

foto drone) namun untuk mendapatkan nilai kecepatan perubahan garis pantainya maka data tersebut dioverlay dengan garis pantai yang diperoleh dari data sekunder (digitasi peta yang sudah ada) yang sumber pembuatan petanya juga belum terlalu akurat. Selain itu faktor lain yang menyebabkan berbedanya hasil penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah adanya upaya dalam penanggulangan abrasi yang dilakukan oleh pemerintah seperti membuat pengaman pantai dan lain-lain pada lokasi-lokasi yang dahulunya rawan abrasi.

Selain terjadi abrasi hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa di lokasi penelitian juga terjadi sedimentasi, sedimentasi tertinggi terjadi pada lokasi Pantai Serangai sedangkan yang terendah terjadi pada lokasi Pantai Padang Betuah. Perbedaan kecepatan sedimentasi ini juga memiliki korelasi dengan kecepatan perubahan garis pantai karena abrasi, dimana daerah yang memiliki tingkat abrasi yang tinggi maka terjadi sedimentasi yang rendah demikian sebaliknya daerah yang mengalami abrasi rendah terjadi sedimentasi yang tinggi. Hal tersebut merupakan sifat alamiah dari alam dimana pada suatu tempat terjadi pengurangan daratan (abrasi) maka akan diimbangi dengan penambahan daratan (sedimentasi) di tempat yang lain.

Hasil analisis menunjukkan hubungan kompleks antara perubahan garis pantai dan parameter seismik. Pantai Serangai memiliki laju abrasi tertinggi dengan nilai K_g dan PGA di lokasi ini relatif lebih tinggi dibanding Pantai Ketahun (Tabel 4). Hal ini mengindikasikan bahwa faktor seismik, karakteristik geologi lokal seperti jenis batuan dan paparan gelombang laut dapat menjadi faktor dominan dalam mempercepat abrasi. Kerentanan seismik yang tinggi menyebabkan struktur tanah lebih mudah mengalami retakan dan pergeseran, sehingga mempengaruhi stabilitas garis pantai secara signifikan.

Variasi perubahan garis pantai juga dipengaruhi oleh faktor geologi, terutama jenis dan struktur material penyusun pantai yang menentukan respons terhadap gelombang laut dan getaran seismik. Material yang lunak dan berbutir halus lebih mudah mengalami abrasi dan deformasi. Selain itu, aktivitas manusia seperti pembangunan tanggul, reklamasi, dan pengalihan fungsi hutan mangrove berkontribusi terhadap perubahan garis pantai dengan mengubah keseimbangan sedimentasi dan abrasi. Pengelolaan

wilayah pesisir di Bengkulu Utara harus mempertimbangkan interaksi antara dinamika perubahan garis pantai dan kerentanan seismik. Mitigasi risiko abrasi dan kerusakan akibat gempa harus dilakukan dengan pendekatan terpadu yang meliputi pemantauan garis pantai, pemetaan kerentanan seismik, dan pengelolaan sumber daya alam pesisir secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan perubahan garis pantai di lokasi studi berkisar antara 1,46 sampai 1,49 m/th, dengan tingkat abrasi tertinggi terjadi di Pantai Serangai. Area ini juga menunjukkan nilai kerentanan seismik (K_g) yang relatif tinggi, yaitu mendekati 2,781, serta nilai PGA (α) tertinggi sebesar 236,32-gal, yang menunjukkan potensi guncangan seismik yang kuat. Selain itu, nilai GSS di seluruh area penelitian berada pada kategori 1×10^{-4} , yang menandakan adanya kerentanan tinggi terhadap amplifikasi getaran tanah, terutama di zona dengan batuan lunak. Korelasi antara tingkat abrasi yang tinggi dengan nilai K_g , PGA, dan GSS yang besar menunjukkan bahwa zona pesisir dengan batuan lunak tidak hanya rentan terhadap abrasi pantai, tetapi juga berisiko tinggi terhadap dampak guncangan gempa. Hal ini mendukung temuan bahwa karakteristik geologi setempat terutama jenis batuan dan struktur tanah mempengaruhi baik proses abrasi maupun tingkat kerentanan seismik. Dengan demikian, penelitian ini berhasil mengidentifikasi bahwa wilayah pesisir dengan perubahan garis pantai yang cepat juga merupakan zona dengan potensi guncangan dan amplifikasi tanah yang tinggi, sehingga perlu menjadi prioritas dalam upaya mitigasi bencana dan penataan ruang wilayah pesisir di Bengkulu Bagian Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- Anbazhagan, P., Srilakshmi, K.N., Bajaj, K., Moustafa, S.S.R., & Al-Arif, 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
- Angraini, L. 2015. Studi struktur lapisan bawah permukaan 2D dengan metode MASW di daerah rawan abrasi pantai Bengkulu Utara. Skripsi S1 Fisika FMIPA, Universitas Bengkulu.

- Arrahma, M., Hadi, A.I., & Harlianto, B. 2022. Studi kecepatan tanah maksimum (PGV), percepatan tanah maksimum (PGA), dan skala intensitas kerusakan (MMI) gempa bumi di Kabupaten Bengkulu Utara. *Navigation Physics: Journal of Physics Education*, 6(1): 2706.
- Aryastana, P., Eryani, I.G.A.P., & Candrayana, K.W. 2016. Perubahan garis pantai dengan citra satelit di Kabupaten Gianyar. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 5(2): 70–81.
- Farid, M., Sunarto, & Suryanto, W. 2016. Mapping of potential tsunami-prone areas in Bengkulu City. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7): 4828–4832.
- Fatimah, S., Widiyantoro, S., Nugraha, A.D., & Koulakov, I. 2019. Kajian karakteristik seismik daerah Lembang menggunakan metode mikrotremor. *Jurnal Geosaintek*, 6(1): 45–53.
- Fazeza, N., Suhendra, Barasa, H., & Halauddin. 2024. Identifikasi potensi daerah rawan banjir berdasarkan nilai resistivitas dan porositas batuan menggunakan metode VES di Desa Batik Nau Kabupaten Bengkulu Utara. *Jurnal Fisika Unand*, 13(3): 343–350.
- Hadi, A.I., Refrizon, R., Halauddin, H., 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): 11. doi: 10.13057/ijap.v11i1.46525
- Hadi, A.I., Sunaryo, Farid, M., Saputro, T., & Nugroho, A. 2024. Analysis of earthquake-prone areas based on the seismic wave velocity, Young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio for disaster risk reduction in Bengkulu City, Indonesia. *Natural Hazards*, 120: 14683–14702. doi: 10.1007/s11069-024-06827-3
- Hanafi, R. 2018. Studi perubahan garis pantai di daerah rawan abrasi Bengkulu Utara menggunakan teknologi unmanned aerial vehicle (UAV). Skripsi S1 Fisika FMIPA, Universitas Bengkulu.
- Hananto, N.D., & Darmawan, D. 2021. Analisis kerentanan pergerakan tanah di Kawasan Puncak, Bogor menggunakan indeks GSS dan CISS. *Jurnal Geoteknik dan Geomekanika*, 22(1): 45–54.
- Harlianto, B., Fadli, D.I., Sumanjaya, E., Hadi, A.I., Maulidiyah, A., Suwarsono, & Purwanto, E.H. 2024. Seismic vulnerability along the Kaur–South OKU Highway in Bengkulu, Indonesia: Planning for more resilient and safer cities. *Indian Geotechnical Journal*, 55(5): 3042–3057. doi: 10.1007/s40098-024-01101-6.
- Hegde, J. 2024. Efficient denoising method to improve the resolution of satellite images. *arXiv preprint*, arXiv:2411.10476.
- 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*, 4(4): 19–33. doi: 10.14710/ijoce.v4i4.15626.
- Kanai, K. 1996. Analysis of the ground motion during an earthquake. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, 35: 309–315.
- Lubis, A.M., Hanpi, 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 unmanned aerial vehicle (UAV)). *Majalah Ilmiah Globe*, 24(2): 81–90.
- Molnar, S., Sirohy, A., Assaf, J., Bard, P.Y., Castellaro, S., Cornou, C., Cox, B., Guillier, B., Hassani, B., Kawase, H., Matsushima, S., Sanchez-Sesma, F.J., & Young, A. 2022. A review of the microtremor HVS method. *Journal of Seismology*, 26(4): 653–685.
- 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): 641. doi: 10.3390/jmse10050641
- Mutmainah, H. 2024. Mitigasi abrasi pesisir menggunakan struktur permeabel di Pulau Sipora. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 27(1): 75–83. doi: 10.15294/jtsp.v27i1/16318.
- Nakamura, Y. 2008. On the H/V spectrum. Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 12–17 October 2008.
- Panjaitan, A.P., Saragih, R., Hutahuruk, A., & Suhendra, S. 2023. Microzonation of landslide potential areas using the microtremor method in the North Bengkulu–Lebong Regency. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal*

- Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 20(2): 120–128.
- Prasad, & Kumar. 2024. Coastal erosion studies: A review. *International Journal of Geosciences*, 5(3): 341–345
- Pratama, I.P.D., & Koten, M.C.R. 2021. Klasifikasi kelas tanah dan indeks kerentanan seismik pada lokasi jaringan sensor seismik di Bali dan Nusa Tenggara. *Wahana Fisika*, 6(2): 90–101. doi: 10.17509/wafi.v6i2.38819
- Refrizon, Sugianto, N., & Bernard, A. 2019. Penentuan stratigrafi kecepatan gelombang geser (Vs) di daerah rawan abrasi Kabupaten Bengkulu Utara menggunakan MASW. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(2): 15–20. doi: 10.36754/jmkg.v6i2.88
- Sahidin, A., Herawati, H., Apriliani, I., Putra, K., & Perdana. 2020. Analysis of abrasion and land accretion 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. *International Journal of Engineering and Sciences*, 13(1): 61–70.
- Simanjuntak, A.B., Yuliyanto, G., & Harmoko, D.U. 2017. Analisis risiko kebencanaan gempabumi data mikrotremor di Desa Fulolo Kecamatan Alasa Kabupaten Nias Utara. *Youngster Physics Journal*, 6(4): 360–367.
- Sugianto, N., Farid, M., & Suryanto, W. 2016. Local geology condition of Bengkulu City based on seismic vulnerability index (Kg). *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7): 4797–4803.
- Suwarsono, Supiyati, & Suwardi. 2016. Zonasi karakteristik kecepatan abrasi dan rancangan teknik penanganan Jalan Lintas Barat Bengkulu bagian utara sebagai jalur transportasi vital. *Makara Journal of Technology*, 15(1): 11–18. doi: 10.7454/mst.v15i1.854
- 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(Suppl.): S225–S235