



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

Analisis Kerentanan Pesisir Di Pantai Tanjung Lesung Kabupaten Pandeglang

Analysis of Coastal Vulnerability at Tanjung Lesung Beach Pandeglang Regency

Aura Syifa Azzahra¹, Aprillia Findayani², Tjaturahono Budi Sanjoto³, Vina Nurul Husna⁴

¹ Department of Geography, Universitas Negeri Semarang

² Department of Geography, Universitas Negeri Semarang

³ Department of Geography, Universitas Negeri Semarang

⁴ Department of Geography, Universitas Negeri Semarang

ABSTRAK

Pantai Tanjung Lesung, sebagai bagian dari KEK pariwisata di Pandeglang, mengalami tekanan lingkungan yang meningkatkan kerentanannya terhadap perubahan alam. Tujuan penelitian untuk mengetahui bagaimanakah kondisi parameter kerentanan pesisir di Pantai Tanjung Lesung serta menganalisis bagaimanakah tingkat kerentanan pesisir di Pantai Tanjung Lesung. Penelitian ini menggunakan metode Coastal Vulnerability Index, dengan 6 parameter utama yakni geomorfologi, kemiringan, perubahan garis pantai, pasang surut, gelombang, dan kenaikan muka air laut. Analisis dilakukan pada 17 sel dengan total 34 transek menggunakan citra satelit, data sekunder, serta survei lapangan yang diolah melalui SIG dan DSAS. Hasil menunjukkan bahwa nilai CVI berkisar 14,43–39,53 dengan 70% wilayah tergolong rentan hingga sangat rentan. Akresi terjadi di area yang dilindungi struktur seperti *revetment* dan *breakwater*, abrasi tetap dominan di zona terbuka seperti tanjung, belakang *breakwater*, area wisata tanpa vegetasi, dan sekitar dermaga kecil. Faktor oseanografi seperti pasang surut mikro, gelombang 2,28 m, dan kenaikan muka air laut 4,4 mm/tahun turut memperburuk kondisi. Oleh karena itu, strategi zonasi kerentanan, penguatan vegetasi pantai, serta pengendalian pembangunan sangat dibutuhkan untuk menjaga keberlanjutan wilayah pesisir.

ABSTRACT

Tanjung Lesung Beach, as part of the Pandeglang tourism SEZ, is experiencing environmental pressures that increase its vulnerability to natural changes. The purpose of this study is to determine the condition of coastal vulnerability parameters at Tanjung Lesung Beach and to analyze the level of coastal vulnerability at Tanjung Lesung Beach. This study employs the Coastal Vulnerability Index (CVI) method, with six main parameters: geomorphology, slope, shoreline change, tides, waves, and sea level rise. Analysis was conducted on 17 cells with a total of 34 transects using satellite imagery, secondary data, and field surveys processed through GIS and DSAS. The results show that the CVI values range from 14.43 to 39.53, with 70% of the area classified as vulnerable to highly vulnerable. Accretion occurs in areas protected by structures such as revetments and breakwaters, while abrasion remains dominant in open zones such as headlands, behind breakwaters, tourist areas without vegetation, and around small piers. Oceanographic factors such as microtidal fluctuations, 2.28-meter waves, and a 4.4 mm/year sea level rise further exacerbate the conditions. Therefore, strategies for vulnerability zoning, coastal vegetation enhancement, and development control are urgently needed to ensure the sustainability of coastal areas.

Pendahuluan

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan (*archipelagic country*) yang terdiri dari ribuan pulau besar maupun kecil dengan jumlah kurang lebih sekitar 17.504 pulau. Sekitar tiga perempat wilayah Indonesia terdiri atas lautan, mencakup area dengan luas 5,9 juta km². Dengan panjang garis pantai 95.161 km, Indonesia memiliki garis pantai terpanjang di posisi kedua setelah Kanada (Lasabuda, 2013). Wilayah pesisir Indonesia termasuk padat dengan pemukiman dan pembangunan. Sebagian besar kota-kota penting di Indonesia pun terletak di wilayah pesisir.

Wilayah pesisir merupakan daerah pertemuan antara wilayah darat dan laut, dimana wilayah pesisir ke arah darat terdiri dari daratan, baik yang terendam air maupun kering yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut dan pembebasan air asin, sedangkan ke arah laut mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi di darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar (Dahuri et al., 2004). Wilayah pesisir yang memiliki fungsi beragam menyebabkan meningkatnya kebutuhan lahan dan prasarana lainnya, akibatnya timbul berbagai masalah di wilayah pesisir, seperti morfologi pantai yang mengalami perubahan (Permatasari, 2021:44).

Kerentanan lingkungan dan sumber daya pesisir memengaruhi kondisi sosial ekonomi serta budaya masyarakat setempat. Berbagai aktivitas, seperti pembangunan industri, dapat menimbulkan dampak negatif seperti pencemaran, abrasi, maupun akresi. Kemudian ada reklamasi yang mengakibatkan perubahan pola arus dan menyebabkan terjadinya abrasi serta akresi, lalu kawasan perumahan yang menimbulkan limbah rumah tangga, serta pertanian yang berdampak pada sedimentasi dan kontaminasi. Selain itu, adanya pelabuhan serta kegiatan transportasi laut dapat berdampak pada timbulnya pencemaran. Berbagai kerusakan dan polusi lingkungan ini mengancam kelestarian usaha dan atau mata pencarian masyarakat (Hadi, 2005).

Wilayah pesisir memiliki karakteristik yang sangat rentan terhadap perubahan yang terjadi. Kerentanan atau vulnerability merujuk pada tingkatan suatu sistem yang mudah terkena atau tidaknya saat bencana terjadi, pada umumnya prinsip kerentanan akan dimanfaatkan dalam pengembangan strategi pengelolaan resiko bencana (Isdianto et al., 2022:70). Pantai merupakan bagian dari wilayah pesisir yang dipengaruhi oleh proses dinamika di darat dan laut. Di kawasan ini, berlangsung dinamika yang kompleks sehingga dapat memicu perubahan struktur dalam waktu yang relatif singkat (Winarso et al., 2001).

Salah satu faktor utama yang menentukan tingkat kerentanan pesisir adalah aspek geomorfologi. Geomorfologi pesisir berfungsi sebagai indikator penting dalam mengukur seberapa kuat suatu kawasan pesisir mampu menahan dampak dari akresi maupun abrasi akibat naiknya permukaan air laut. Informasi mengenai bentuk atau tipe lahan sangat penting dalam mengevaluasi ketahanan pesisir terhadap proses erosi (Pendleton et al., 2005). Selain itu, geomorfologi berkaitan erat dengan ketinggian atau elevasi wilayah pesisir, yang dapat memengaruhi risiko genangan serta kecepatan perubahan garis pantai dari waktu ke waktu (Hamuna et al., 2018). Proses lainnya yang dapat berpengaruh terhadap tingkat kerentanan wilayah pesisir antara lain laju kemiringan pantai, gelombang, pasang surut dan kenaikan muka air laut (Agustin et al., 2016; Joesidawati, 2016; Sakka et al., 2014).

Selain parameter tersebut, terdapat juga perubahan garis pantai. Garis pantai mengalami dinamika perubahan dalam rentang waktu yang sangat luas, mulai dari hitungan detik hingga jutaan tahun (Sulaiman & Soehardi, 2008). Pola perubahan ini tidak seragam di setiap lokasi, karena dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan. Secara umum, perubahan garis pantai berlangsung secara alami akibat pengaruh gelombang laut, angin, pasang surut, arus laut, serta proses sedimentasi. Selain faktor alam, aktivitas manusia seperti pembangunan tanggul, kanal, dan infrastruktur lainnya di wilayah pesisir juga turut mempercepat perubahan bentuk garis pantai (Yulius & Ramdhani, 2013).

Salah satu dinamika alami yang umum terjadi di wilayah pesisir adalah pengikisan garis pantai akibat aktivitas gelombang dan arus laut yang intens. Proses ini bermula dari hantaman gelombang yang terus-menerus terhadap tebing atau pantai, menghasilkan gaya mekanik yang dapat memecah serta menggerus material batuan. Gelombang kemudian memindahkan material seperti pasir, kerikil, dan batuan ke arah daratan (Istijono et al., 2018). Jika berlangsung secara terus-menerus, proses ini dapat menyebabkan perubahan garis pantai, penyempitan lahan pantai, dan berdampak pada kawasan dataran rendah di sekitarnya. Dampaknya juga dapat dirasakan oleh ekosistem pesisir yang sensitif terhadap perubahan fisik wilayah, seperti hutan mangrove dan terumbu karang (Fajrin et al., 2016).

Perubahan garis pantai yang terjadi mencerminkan dinamika fisik yang dipengaruhi oleh kombinasi faktor alami dan buatan. Salah satu wilayah yang menunjukkan gejala tersebut adalah Kecamatan Panimbang, Kabupaten Pandeglang. Menurut data BNPB, sekitar 400 km garis pantai Indonesia mengalami perubahan signifikan. Di Kecamatan Panimbang, Kabupaten Pandeglang, tercatat terjadi perubahan garis pantai sepanjang 100,337 meter selama periode 2011–2019, dengan rata-rata perubahan sekitar 12,542 meter per

tahun (Wicaksono et al., 2020). Salah satu pantai di wilayah ini yang menunjukkan dinamika garis pantai tersebut adalah Pantai Tanjung Lesung.

Pantai Tanjung lesung merupakan daerah dataran sampai perbukitan dengan ketinggian antara 0 sampai 150 m diatas permukaan laut. Pantai Tanjung Lesung dan sekitarnya merupakan wilayah pesisir yang terbentuk dari endapan lumpur dan pasir selama ribuan tahun. Wilayah ini memiliki berbagai bentuk lahan seperti pantai yang landai dan terdiri dari sungai-sungai kecil. Letaknya yang berbatasan langsung dengan Selat Sunda membuat wilayah ini sangat dipengaruhi oleh pasang surut dan gelombang laut (Mulyadi et al., 2016). Berdasarkan pengamatan citra satelit dalam rentang waktu 1990–2020 yang dianalisis menggunakan DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), wilayah ini menunjukkan dinamika garis pantai yang signifikan dengan nilai perubahan garis pantai (*Net Shoreline Movement*) mencapai 135,08 meter (Mutuqin et al., 2022:236-239).

Dalam konteks ini, memahami kerentanan pesisir Pantai Tanjung Lesung menjadi sangat penting. Tingkat kerentanan pesisir menunjukkan seberapa mudah suatu wilayah pesisir terpengaruh oleh bencana (Isdianto et al., 2022:69). Salah satu penilaian yang dipakai dalam penilaian rentannya suatu wilayah memakai metode *Coastal Vulnerability Index* (CVI). Metode pengukuran kerentanan pesisir menggunakan *Coastal Vulnerability Index* (CVI) telah diperkenalkan oleh Gornitz (1990) dan telah banyak diterapkan dalam penelitian-penelitian mengenai kerentanan pesisir di berbagai negara (Dhiauddin et al., 2017:161).

Analisis kerentanan dapat membantu mengidentifikasi area-area yang paling rentan terhadap kerusakan lingkungan, khususnya yang disebabkan oleh abrasi. Dengan memahami tingkat kerentanan pesisir, langkah-langkah yang diperlukan untuk melindungi wilayah pesisir dapat direncanakan dengan lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerentanan pesisir Pantai Tanjung Lesung guna memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi dinamika dan risiko perubahan wilayah pesisir di kawasan tersebut.

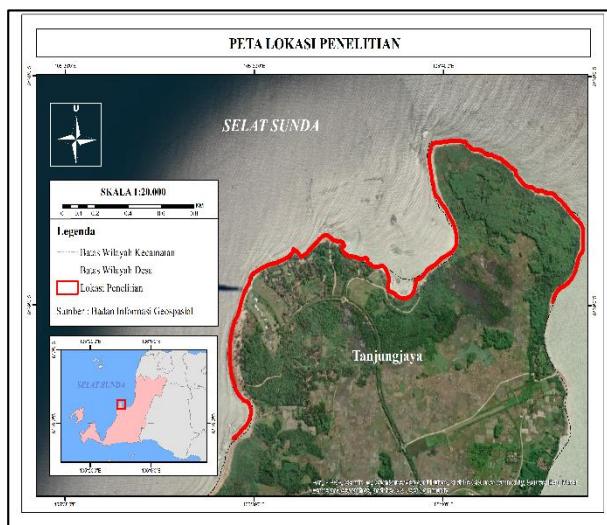
Penelitian ini bertujuan untuk, sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi parameter kerentanan pesisir di Pantai Tanjung Lesung
2. Menganalisis tingkat kerentanan pesisir di Pantai Tanjung Lesung.

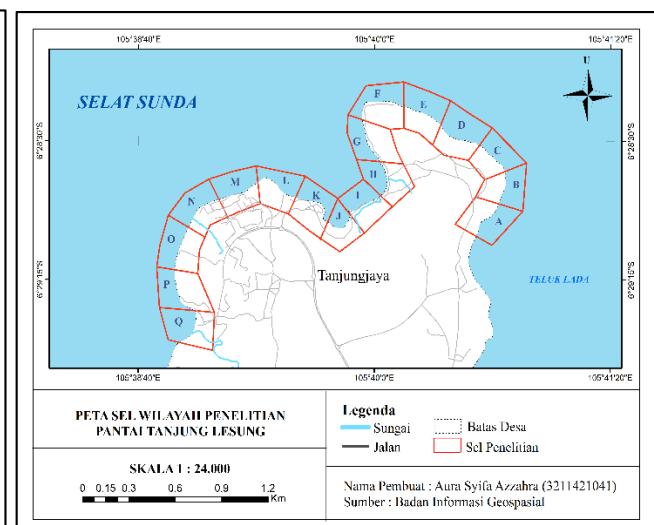
Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Pantai Tanjung Lesung merupakan kawasan wisata pantai yang terletak di Desa Tanjung Jaya, Kecamatan Panimbang, Pandeglang. Kawasan Ekonomi Khusus Wisata Tanjung Lesung merupakan semenanjung kecil yang terletak pada deretan selatan kawasan pariwisata di Pantai Barat Selat Sunda sepanjang 15 Km, dengan luas area sebesar 1.500 Ha. Secara geografis, kawasan Tanjung Lesung berada pada koordinat 6°28'43" LS dan 105°39'21" BT dan berada pada ketinggian 0-150 meter diatas permukaan laut (mdpl). Kawasan ini dipengaruhi oleh arus pasang surut laut yang mengikuti konfigurasi pantai. Penentuan lokasi penelitian ini dilakukan pembagian melalui pembuatan sel dan garis transek untuk memudahkan pengambilan data. Lokasi penelitian dibagi menjadi 17 sel dengan interval jarak yang sama yakni 400 meter, merujuk pada penelitian oleh Jatti & Mardiatno (2023). Pembagian ini dilakukan sebagai upaya penyesuaian terhadap kondisi wilayah yang dijadikan area penelitian tergolong sempit, yakni garis pantai sepanjang 7 km.



Gambar 1. Peta lokasi Penelitian



Gambar 2. Peta Sel Lokasi Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi pustaka, survei lapangan, penginderaan jauh, dan dokumentasi. Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh informasi teoritis dan data sekunder dari berbagai sumber tertulis seperti buku, jurnal, artikel ilmiah, serta laporan yang relevan dengan topik penelitian. Survei lapangan dilakukan secara langsung untuk memperoleh data primer, khususnya terkait kondisi geomorfologi dan kemiringan pantai. Observasi ini memberikan gambaran nyata mengenai kondisi fisik pantai di lokasi studi.

Selain itu, teknik penginderaan jauh digunakan untuk menganalisis perubahan garis pantai dan fitur geomorfologi menggunakan citra satelit. Citra Landsat 7 ETM+ dimanfaatkan dalam analisis *time series* garis pantai periode 2014–2024, sementara Landsat 8 digunakan untuk interpretasi geomorfologi dan perubahan penggunaan lahan, yang semuanya diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Dokumentasi juga dilakukan untuk mendukung bukti visual dari kegiatan pengamatan dan pengukuran lapangan, yang penting dalam menunjang validitas data hasil survei.

Metode Analisis Data

Teknik Analisis data merupakan proses menelaah dan menyusun data secara sistematis dari hasil wawancara, observasi lapangan, dan dokumentasi. Proses ini mencakup pengorganisasian data ke dalam kategori, penguraian menjadi unit-unit informasi, penyusunan pola, sintesis, penentuan hal-hal yang relevan untuk dikaji lebih lanjut, serta penarikan kesimpulan agar informasi yang diperoleh dapat dipahami dengan mudah oleh peneliti maupun pihak lain (Sugiyono, 2012).

Pada penelitian ada beberapa teknik analisis data yang akan digunakan berdasarkan pada tujuan penelitian:

1. Parameter kerentanan pesisir

a. Geomorfologi Pantai

Parameter geomorfologi didapatkan dari hasil interpretasi peta geologi untuk melihat jenis batuan dan struktur di daerah pantai, peta elevasi (DEM) untuk mengetahui tinggi dan bentuk permukaan pantai, serta pengamatan langsung di lapangan untuk memastikan kondisi aktual, seperti jenis material penyusun, bentuk garis pantai, dan ciri-ciri lainnya. Informasi ini digunakan untuk menentukan jenis morfologi pantai berdasarkan klasifikasi yang sesuai dengan metode indeks kerentanan pesisir. Penyusunan data geomorfologi yang diperoleh dikelompokan ke dalam kelas-kelas hasil modifikasi dari Thieler and Hammar-Klose (2000). Kemudian hasilnya adalah berupa peta geomorfologi Pantai Tanjung Lesung.

Tabel 1. Klasifikasi Kelas Kerentanan Pesisir Parameter Geomorfologi

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Geomorfologi	Berbatu, Pesisir bertebing	Tebing ketinggian sedang, pesisir berkelok	Tebing ketinggian rendah, dataran aluvial	Pantai krakal, estuari, laguna	Pantai penghalang, pantai berpasir, rawa garam, delta, dataran lumpur, mangrove, terumbu karang

b. Kemiringan Pantai

Data kemiringan pantai diperoleh berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *Abney Hand Level*, di mana nilai kemiringan sudah langsung terbaca dalam satuan derajat. Untuk analisis lebih lanjut, nilai kemiringan tersebut dikonversi ke dalam persentase kemiringan. Hasil analisis ini kemudian dipetakan untuk melihat distribusi spasial kemiringan pantai di wilayah penelitian. Data yang diperoleh juga dikelompokan ke dalam klasifikasi dari Thieler and Hammar-Klose (2000) yang dimodifikasi oleh López et al., (2016). Kemudian hasilnya adalah berupa peta kemiringan Pantai Tanjung Lesung.

Tabel 2. Klasifikasi Kelas Kerentanan Pesisir Parameter Kemiringan Pantai

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Kemiringan (%)	>12	8-12	4-8	2-4	<2

c. Perubahan Garis Pantai

Data perubahan garis pantai diperoleh melalui analisis menggunakan DSAS untuk menghasilkan nilai NSM (*Net Shoreline Movement*) dan EPR (*End Point Rate*). Nilai EPR merepresentasikan rata-rata

perubahan garis pantai dalam periode tertentu, dihitung berdasarkan jarak dan selang waktu antara garis pantai tertua dan terbaru menggunakan persamaan berikut (Himmelstoss et al., 2018) :

$$\text{NSM} = \text{Posisi garis pantai terakhir} - \text{Posisi garis pantai pertama}$$

Nilai NSM positif menunjukkan bahwa garis pantai mengalami akresi (bergerak ke arah laut), sedangkan nilai negatif menandakan abrasi (bergerak ke arah darat). Setelah NSM dihitung, langkah berikutnya adalah menghitung *End Point Rate* (EPR), yaitu kecepatan perubahan garis pantai per tahun berdasarkan dua garis pantai ekstrem (awal dan akhir). Rumusnya adalah:

$$\text{EPR} = \frac{\text{NSM}}{\text{Jumlah tahun antara dua garis pantai}}$$

Nilai EPR negatif menunjukkan bahwa garis pantai mengalami abrasi, sedangkan nilai EPR positif mengindikasikan akresi. Nilai yang didapatkan kemudian dilakukan pembobotan berdasarkan tabel klasifikasi kerentanan. Hasil analisis perubahan garis pantai ini disajikan dalam bentuk peta untuk menggambarkan distribusi spasial perubahan garis pantai di wilayah penelitian.

Tabel 3. Klasifikasi Kelas Kerentanan Pesisir Parameter Perubahan Garis Pantai

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Perubahan garis pantai (m/tahun)	>12	8-12	4-8	2-4	<2

d. Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh secara sekunder dari hasil pengamatan stasiun pasang surut atau *tide gauge* yang dikelola oleh BMKG. Analisis data pasang surut dilakukan dengan menghitung rentang pasang surut, yaitu selisih antara tinggi air pasang maksimum dan tinggi air surut minimum dalam periode tertentu. Data pasang surut diolah dengan metode Admiralty untuk mendapatkan rata-rata tunggang pasang surut dengan persamaan:

$$\text{Rata-rata tunggang pasang surut} = \text{MHWL} - \text{MLWL}$$

Keterangan:

- *Mean High Water Level* (MHWL) = $Z_0 + (M2 + K1 + O1)$
- *Mean Low Water Level* (MLWL) = $Z_0 - (M2 + K1 + O1)$

Nilai yang didapatkan kemudian dilakukan pembobotan berdasarkan tabel klasifikasi kerentanan. Hasil analisis disajikan dalam bentuk peta untuk menunjukkan pola distribusi rentang pasang surut di wilayah penelitian.

Tabel 4. Klasifikasi Kelas Kerentanan Pesisir Parameter Pasang Surut

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Tunggang Pasut	>6,0	4,1-6,0	2,0-4,0	1,0-1,9	<1,0

e. Tinggi Gelombang

Data tinggi gelombang diperoleh secara sekunder dari hasil pemodelan gelombang yang disediakan oleh *Copernicus Marine Service*, sebuah platform pemantauan oseanografi berbasis satelit dan model numerik. Analisis dilakukan dengan menghitung tinggi gelombang signifikan (*significant wave height*), yaitu rata-rata sepertiga gelombang tertinggi yang teramat selama periode tertentu. Nilai yang diperoleh kemudian diberikan pembobotan berdasarkan kelas kerentanan pesisir. Hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik dan peta distribusi tinggi gelombang untuk menggambarkan karakteristik energi gelombang di wilayah penelitian.

Tabel 5. Klasifikasi Kelas Kerentanan Pesisir Parameter Tinggi Gelombang

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Gelombang (m)	<0,55	0,55-0,85	0,85-1,05	1,5-1,25	>1,25

f. Kenaikan Muka Air Laut

Data kenaikan muka air laut diperoleh dari CCAR Altimetry Data, yang menyediakan data pengukuran satelit dengan resolusi dan akurasi tinggi menggunakan teknologi altimetri satelit berupa tren rata-rata tahunan (mm/tahun). Data yang diperoleh dikelompokan ke dalam kelas-kelas hasil modifikasi dari Thieler and Hammar-Klose (2000). Hasil analisis disajikan dalam bentuk peta untuk

menunjukkan kenaikan muka air laut di wilayah penelitian.

Tabel 6. Klasifikasi Kelas Kerentanan Pesisir Parameter Kenaikan Muka Air Laut

Tingkat Kerentanan	1	2	3	4	5
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
SLR per tahun (mm)	<1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	>3,4

2. Tingkat kerentanan pesisir

Analisis tingkat kerentanan pesisir dilakukan dengan metode *Coastal Vulnerability Index* (CVI) dari (Thieler et al., 2000) dan modifikasi (López et al., 2016). Setiap parameter diberi skor berdasarkan kriteria yang ada pada tabel pembobotan kerentanan pesisir. Keenam parameter, yaitu geomorfologi, kemiringan pantai, kenaikan muka air laut, perubahan garis pantai, pasang surut, dan tinggi gelombang, yang telah dilakukan pembobotan kemudian digabungkan menggunakan rumus indeks kerentanan pesisir sebagai berikut:

$$CVI = \sqrt{\left(\frac{a \times b \times c \times d \times e \times f}{6} \right)}$$

Keterangan :

CVI = *Coastal Vulnerability Index*

a = Nilai x Bobot Variabel Geomorfologi

b = Nilai x Bobot Variabel Kemiringan Pantai

c = Nilai x Bobot Variabel Kenaikan Muka Air Laut

d = Nilai x Bobot Variabel Perubahan Garis Pantai

e = Nilai x Bobot Variabel Pasang Surut

f = Nilai x Bobot Variabel Tinggi Gelombang

Nilai yang didapat dari perhitungan kemudian dianalisa dan diklasifikasikan menurut tingkat kerentanannya (Abdillah & Ramdhan, 2012).

Tabel 7. Klasifikasi Tingkat Kerentanan Pesisir

Batas Persentil	Kelas Kerentanan
0-25 %	Tidak rentan
25-50 %	Sedang
50-75 %	Rentan
75-100 %	Sangat Rentan

Sumber: Thieler and Hammar-Klose (2000) dalam Koroglu et al. (2019)

Hasil indeks kerentanan pesisir yang telah didapatkan kemudian dilakukan overlay peta untuk mengintegrasikan keenam parameter yang dianalisis. Setiap peta parameter yang telah dianalisis diproses menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) seperti ArcGIS. Proses *overlay* dilakukan dengan menyusun peta-peta tersebut dalam satu lapisan peta yang sama untuk mengidentifikasi korelasi antara parameter-parameter yang mempengaruhi kerentanan pantai. Hasil *overlay* peta ini menghasilkan peta kerentanan pesisir yang menggambarkan distribusi spasial kerentanannya berdasarkan kombinasi dari semua parameter yang dianalisis.

Hasil dan Pembahasan

1. Kondisi Parameter Kerentanan Pesisir Pantai Tanjung Lesung

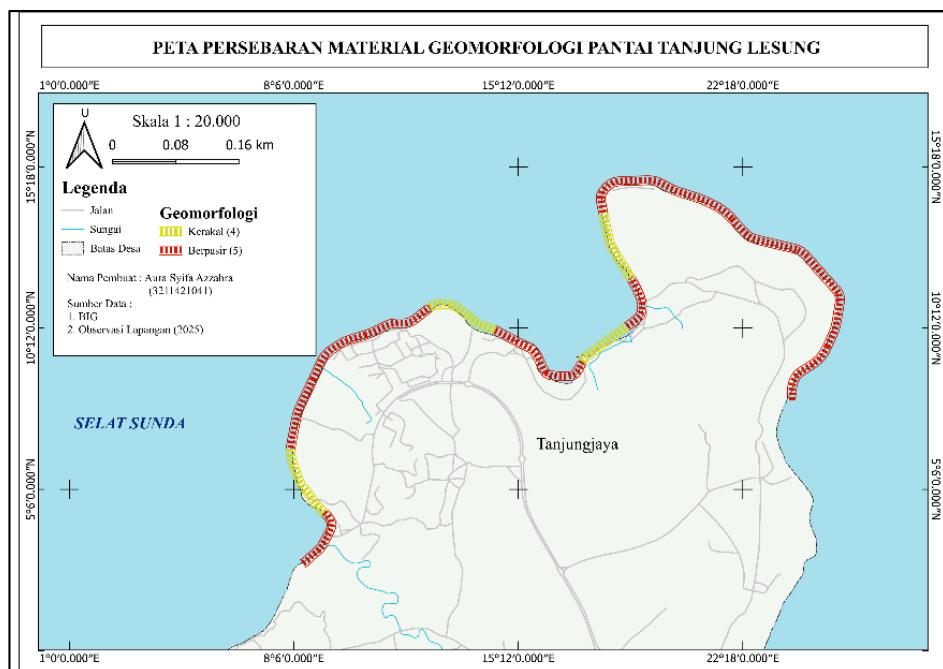
a. Geomorfologi Pantai

Berdasarkan analisis geomorfologi, kawasan pesisir Tanjung Lesung didominasi oleh satuan Batugamping Terumbu, yaitu endapan karbonat yang umumnya terbentuk di lingkungan laut dangkal tropis (Guilcher 1988, dalam Megawati et al., 2016). Keberadaan batugamping terumbu menunjukkan bahwa wilayah ini pada masa lalu merupakan daerah pertumbuhan terumbu karang yang telah mengalami pengangkatan ke permukaan. Namun, hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa permukaan pantai di Tanjung Lesung saat ini didominasi oleh material pasir dengan penyebaran kerakal di beberapa titik, mencerminkan adanya proses sedimentasi aktif. Keberadaan kedua jenis morfologi ini mencerminkan variasi kondisi pesisir yang dipengaruhi oleh berbagai faktor oceanografi dan sedimentasi. Pantai berpasir terbentuk akibat akumulasi sedimen halus dari hasil proses abrasi dan transportasi oleh gelombang serta arus. Sementara itu, morfologi kerakal terbentuk dari akumulasi pecahan batugamping dan sisa bioklastik seperti fragmen karang mati yang telah mengalami pelapukan dan erosi. Perbedaan ini menunjukkan pengaruh langsung dari litologi geologi terhadap tipe

material penyusun pantai, serta variasi energi gelombang di masing-masing zona. Berdasarkan pendekatan dari Thieler & Hammar-Klose (2000), geomorfologi pantai berpasir dikategorikan sebagai penyumbang kerentanan sangat tinggi karena rendahnya resistensi terhadap proses gelombang dan arus.



Gambar 3. Morfologi Kerakal dan Berpasir di Pantai Tanjung Lesung
Sumber: Dokumentasi pribadi (2025)



Gambar 4. Peta Persebaran Material Geomorfologi Pantai

b. Kemiringan Pantai

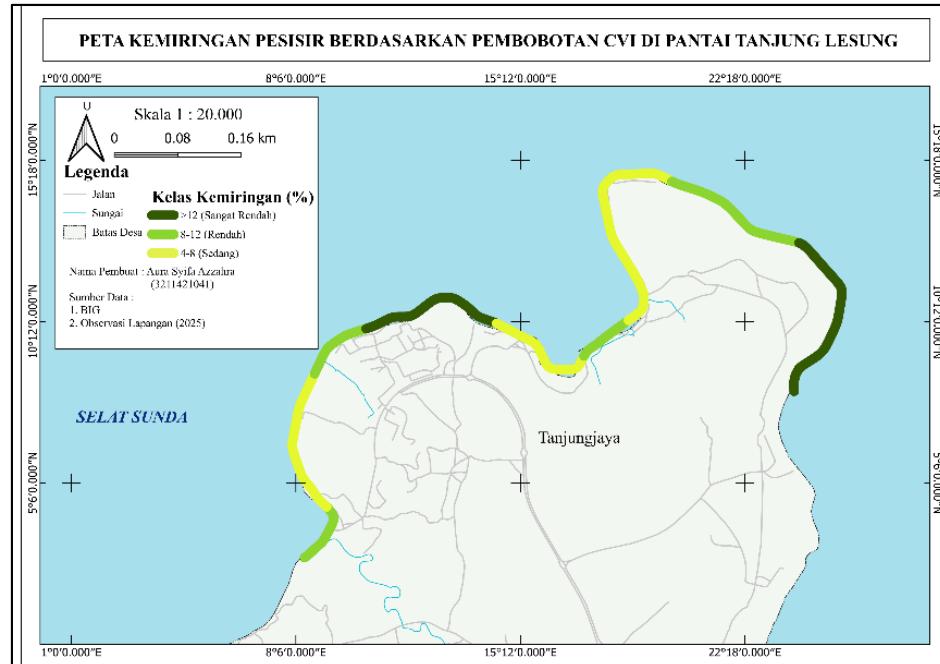
Pengukuran kemiringan pantai dilakukan dari batas terendah pasang surut (Lisnawati (2013) dalam Cahyanto et al., (2014)). Hasil penelitian terhadap parameter kemiringan pantai di Pantai Tanjung Lesung menunjukkan bahwa adanya variasi kemiringan antara 4,7% hingga 18,4%. Nilai slope terendah yakni sebesar 4,7% menunjukkan adanya bagian pantai dengan kemiringan yang sedang. Sementara itu, slope tertinggi sebesar 18,4% mengindikasikan adanya area dengan kemiringan yang lebih curam. Variasi dalam kemiringan ini juga dapat berpengaruh terhadap kerentanan pesisir, di mana pantai dengan kemiringan sedikit cenderung lebih rentan terhadap perubahan garis pantai akibat pasang surut dan gelombang, sementara pantai yang lebih curam cenderung lebih resisten terhadap abrasi tetapi dapat mengalami erosi lebih cepat jika terdapat energi gelombang yang tinggi. Dalam pembobotan CVI modifikasi dari López et al., 2016), pantai dengan kemiringan sedang cenderung memiliki nilai kerentanan lebih tinggi dibandingkan dengan pantai yang lebih curam.

Pada parameter kemiringan pantai Pantai di Tanjung Lesung didominasi oleh kemiringan sedang hingga sangat curam. Sel D, E, F, H, dan I yang terletak di area utara memiliki kemiringan landai karena secara geomorfologis tersusun atas material pasir, yang membentuk lereng dengan gradien rendah. Area ini juga telah dilengkapi dengan struktur pelindung berupa revetment yang berfungsi untuk menahan energi gelombang secara langsung, sehingga mencegah terjadinya pengikisan lereng pantai. Keberadaan revetment juga memicu akumulasi sedimen di depan struktur, yang memperlebar pantai secara horizontal dan memperkuat karakter landainya. Kemiringan yang landai meningkatkan risiko erosi terutama ketika dikombinasikan dengan pasang tinggi dan gelombang besar. Sel setelahnya, pantai menunjukkan kemiringan curam hingga sangat curam. Hal ini disebabkan oleh perubahan karakteristik morfologi pantai dari yang sebelumnya berpasir menjadi area dengan substrat kasar seperti kerakal dan pecahan karang mati. Secara geologi, wilayah ini masih termasuk dalam Formasi Batugamping Terumbu, dan fragmen hasil pelapukan batugamping membentuk pantai dengan partikel lebih kasar yang tidak mudah terdistribusi oleh arus, sehingga membentuk lereng yang lebih tajam.

Tabel 8. Data Kemiringan Berdasarkan Transek

Kode Sel	Garis Transek	Koordinat (X, Y)	Slope (%)	Rata-rata (%)
A	1	-6.480882, 105.678263	15.96	15.48
	2	-6.479394, 105.678887	14.99	
B	3	-6.477987, 105.678900	19.84	18.42
	4	-6.476682, 105.677932	17.00	
C	5	-6.475394, 105.676567	14.78	14.27
	6	-6.474942, 105.674734	13.75	
D	7	-6.473956, 105.673123	9.02	8.67
	8	-6.472535, 105.671372	8.32	
E	9	-6.472029, 105.669686	9.57	11.40
	10	-6.471369, 105.667744	13.23	
F	11	-6.471789, 105.665781	6.56	5.72
	12	-6.473415, 105.665643	4.88	
G	13	-6.475341, 105.666189	5.17	6.25
	14	-6.477479, 105.667694	7.34	
H	15	-6.479251, 105.667653	6.34	6.64
	16	-6.480242, 105.666161	6.94	
I	17	-6.481182, 105.664899	4.06	9.01
	18	-6.482320, 105.664155	13.96	
J	19	-6.482552, 105.662738	8.59	6.22
	20	-6.480901, 105.661373	3.86	
K	21	-6.480139, 105.659808	3.33	7.97
	22	-6.479536, 105.658005	12.61	
L	23	-6.478401, 105.656324	7.09	12.98
	24	-6.479181, 105.655061	18.87	
M	25	-6.479704, 105.653222	17.97	14.17
	26	-6.480512, 105.651304	10.38	
N	27	-6.481608, 105.649739	8.49	9.11
	28	-6.483466, 105.648916	9.74	
O	29	-6.485260, 105.648092	4.05	4.66
	30	-6.487202, 105.647885	5.26	
P	31	-6.488881, 105.648341	4.57	5.43
	32	-6.490425, 105.649764	6.30	
Q	33	-6.492240, 105.649434	6.50	8.06
	34	-6.492952, 105.648214	9.63	

Sumber: Hasil pengukuran lapangan (2025)



Gambar 5. Peta Kemiringan Pesisir Berdasarkan Pembobotan CVI di Pantai Tanjung Lesung

c. Perubahan Garis Pantai

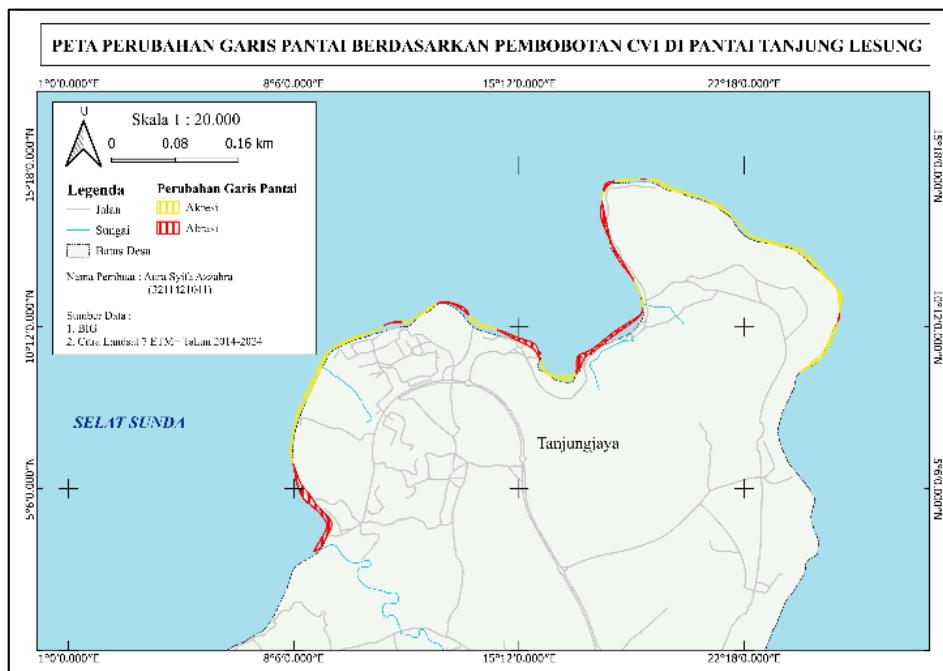
Pengolahan data perubahan garis pantai menggunakan tools *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) dilakukan dengan menganalisis pergeseran garis pantai dari waktu ke waktu melalui pembuatan *baseline*, transek, dan perhitungan laju perubahan menggunakan metode seperti *End Point Rate* (EPR) dan *Net Shoreline Movement* (NSM) untuk mengidentifikasi tren abrasi atau akresi di wilayah kajian. Data yang digunakan adalah digitasi garis pantai dengan tahun yang berbeda (2014 dan 2024), yang selanjutnya dapat digunakan untuk membuat transek sepanjang garis pantai. Nilai abrasi tertinggi ditemukan pada Sel P dengan nilai EPR sebesar -5.74 m/tahun, yang menunjukkan pengikisan garis pantai yang cukup signifikan. Sementara itu, akresi tertinggi terjadi di Sel C dan L dengan nilai EPR +2.15 m/tahun.

Pantai Tanjung Lesung secara umum didominasi oleh proses akresi, terutama di wilayah yang telah dibangun struktur pelindung seperti *revetment* dan tanggul pemecah gelombang. Struktur ini efektif mengurangi energi gelombang dan mendorong pengendapan sedimen, seperti yang terlihat pada Sel A–E dan Sel N–P. Akresi juga terjadi di Sel H akibat sedimentasi dari muara sungai. Namun, abrasi tetap terjadi di titik-titik tertentu, terutama di area yang terekspos langsung ke laut seperti tanjung (Sel F dan G), dan area yang mengalami tekanan aktivitas wisata seperti Sel K dan Q. Selain itu, Sel I yang berdekatan dengan dermaga juga mengalami abrasi akibat terganggunya distribusi sedimen dan peningkatan energi gelombang buatan. Sementara itu, struktur pelindung seperti breakwater di Sel L memang menciptakan akresi lokal, namun juga dapat menimbulkan abrasi di area belakangnya seperti Sel M karena terhambatnya suplai sedimen dari arus sejajar pantai (*longshore drift*). Hal serupa ditemukan oleh Rahmalia et al. (2025) di Pantai Dadap, di mana abrasi lebih besar dari akresi pasca pembangunan breakwater. Di sisi lain, Sel J mengalami penambahan sedimen karena posisinya yang menjorok ke darat. Secara keseluruhan, meskipun akresi mendominasi, abrasi lokal tetap perlu diwaspadai.

Tabel 9. Hasil Perhitungan End Point Rate

Kode Sel	Akresi Tertinggi (m/tahun)	Abrasi Tertinggi (m/tahun)	Rata-rata akresi tertinggi (m/tahun)	Rata-rata abrasi tertinggi (m/tahun)
A	1.67	-0.01	0.835	-0.005
B	1.43		1.37	
C	2.15		1.455	
D	1.55		0.91	
E	1.13		0.97	
F	0.13	-1.64	0.065	-0.82
G	1.95	-2.64	0.975	-1.32
H	0.15	-0.43	0.075	-0.215
I		-1.79		-1.69
J	1.52	-2.01	0.76	-1.005
K		-3.54		-2.325
L	2.15	-0.72	1.075	-0.36
M	0.12		0.12	
N	2.06		1.655	
O	2.13		1.25	
P		-5.74		-2.99
Q		-4.94		-3.615

Sumber: Hasil olah peneliti (2025)



Gambar 6. Peta Perubahan Garis Pantai Berdasarkan Pembobotan CVI di Pantai

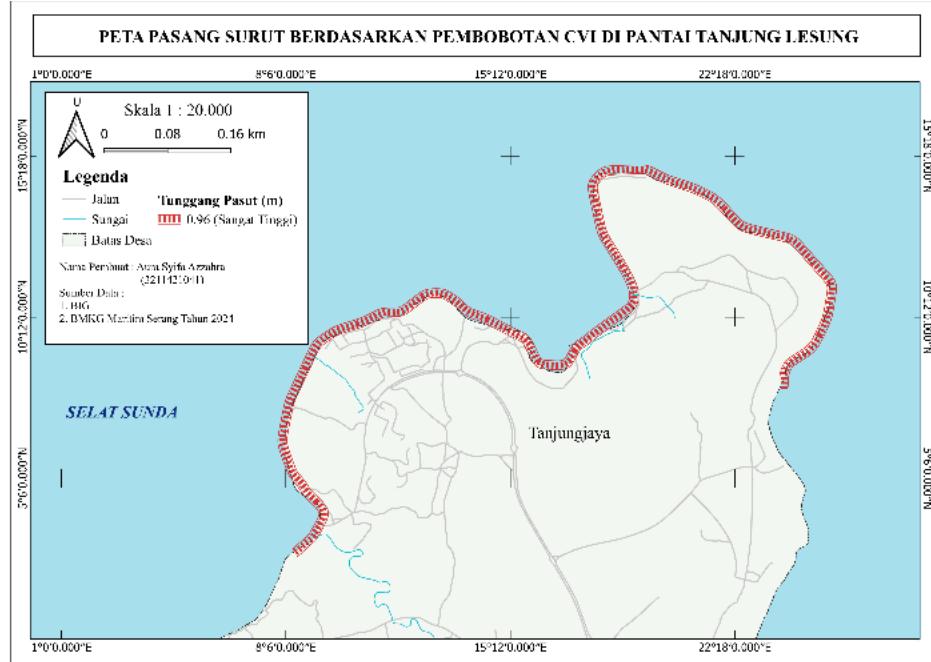
d. Pasang Surut

Analisis pasang surut dengan metode Admiralty dilakukan dengan mengumpulkan data pasut selama 29 hari pada setiap bulan dalam satu tahun untuk memperoleh gambaran pola pasang surut yang lebih representatif terhadap variasi musiman. Di Pantai Tanjung Lesung, data pasang surut yang digunakan yakni periode tahun 2024. Pola pasang surut di lokasi ini kemungkinan menunjukkan tipe tertentu yang mencerminkan karakteristik hidrodinamika setempat. Hasil perhitungan Admiralty mendapatkan rata-rata nilai Formzahl sebesar 0.25 selama tahun 2024, nilai ini menunjukkan tipe pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*) yakni jenis pasang surut yang terjadi dua kali dalam satu hari dengan dua kali pasang dan dua kali surut. Dalam pola ini, masing-masing pasang dan surut memiliki tinggi muka air dan periode waktu yang berbeda (Nontji, 1987). Secara umum, Selat Sunda didominasi tipe campuran condong ke harian ganda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata tunggang pasut di Pantai Tanjung Lesung sebesar 0,96 meter. Apabila nilai tunggang pasut tersebut diproyeksikan dalam pembobotan CVI, maka didapatkan hasil bahwa parameter tunggang pasut di Pantai Tanjung Lesung berada pada kategori kerentanan sangat tinggi.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Admiralty Data Pasang Surut Tahun 2024

Bulan	MSL	HHWL	MHWL	MLWL	LLWL	Formzahl	Tidal Range	
							(cm)	(m)
Januari	72.3	134.8	122.4	26.4	13.9	0.258862	96	0.96
Februari	72.4	135.5	122.8	26.3	13.7	0.261733	96.5	0.965
Maret	72.2	135.1	122.2	26.5	13.6	0.270168	95.7	0.957
April	72.3	134.2	121.6	26.2	13.7	0.263176	95.4	0.954
Mei	72	134.2	122.3	25.3	13.4	0.24443	97	0.97
Juni	72	136.4	124.6	26	14.2	0.238688	98.6	0.986
Juli	72.1	136.6	124.6	26.1	14.1	0.243454	98.5	0.985
Agustus	72.2	133	121.2	25.6	13.8	0.245869	95.6	0.956
September	72	133.1	121	26.1	14.1	0.253534	94.9	0.949
Oktober	72.2	134.6	122.5	25.9	13.8	0.2501	96.6	0.966
November	72.1	135.9	124	25.6	13.8	0.240288	98.4	0.984
Desember	72.4	131.1	119.7	25.7	14.2	0.244043	94	0.94
						0.251185		0.964

Sumber: Hasil olah peneliti (2025)



Gambar 7. Peta Pasang Surut Berdasarkan Pembobotan CVI di Pantai Tanjung Lesung

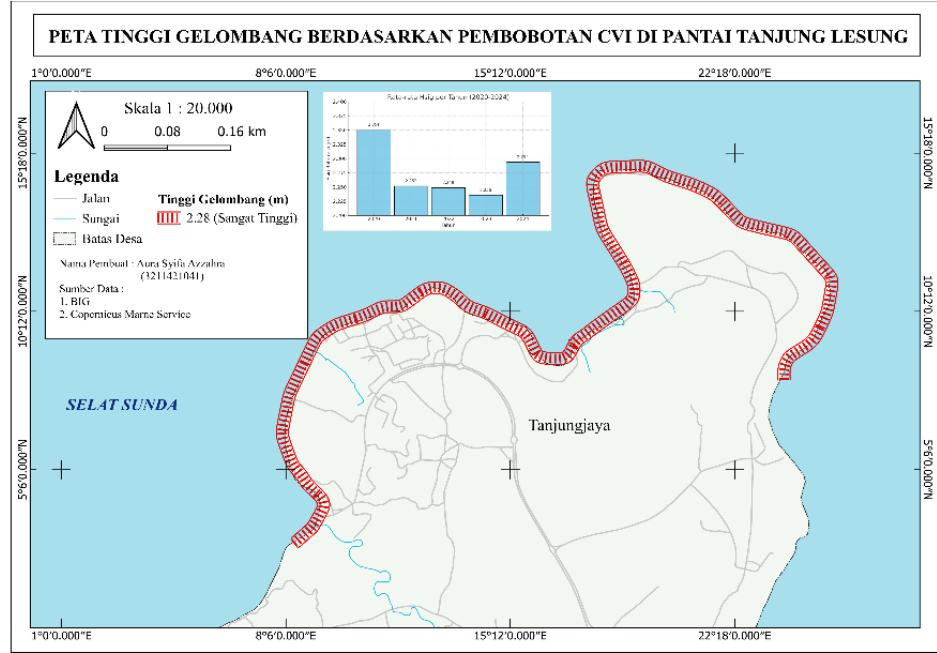
e. Tinggi Gelombang

Hasil parameter gelombang menunjukkan data rata-rata tinggi gelombang signifikan (Hsig) dari tahun 2020 hingga 2024. Nilai Hsig rata-rata selama lima tahun adalah 2.28 m, dengan nilai tertinggi terjadi pada tahun 2021 sebesar 4.84 m, sedangkan nilai terendah tercatat pada tahun 2021 sebesar 0.62 m. Sepanjang lima tahun tersebut, Hsig tercatat dalam kisaran sempit antara 2,236 meter hingga 2,351 meter, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 2,2764 meter. Konsistensi nilai ini mengindikasikan bahwa kondisi gelombang laut di wilayah tersebut cenderung tidak mengalami fluktuasi ekstrem dari tahun ke tahun. Secara umum, tinggi gelombang bervariasi antara sekitar 1 meter hingga lebih dari 4 meter, dengan puncak tertinggi terjadi pada tahun 2021 yakni 4.842 m.

Tabel 11. Rata-rata Gelombang Signifikan

Tahun	Gelombang	Gelombang	Hsig
	Terendah (m)	Tertinggi (m)	Rata-rata (m)
2020	1.214	4.201	2.351
2021	0.626	4.842	2.252
2022	1.007	4.174	2.249
2023	0.933	3.869	2.236
2024	0.987	4.542	2.294
Rata-rata	0.9534	4.3256	2.2764

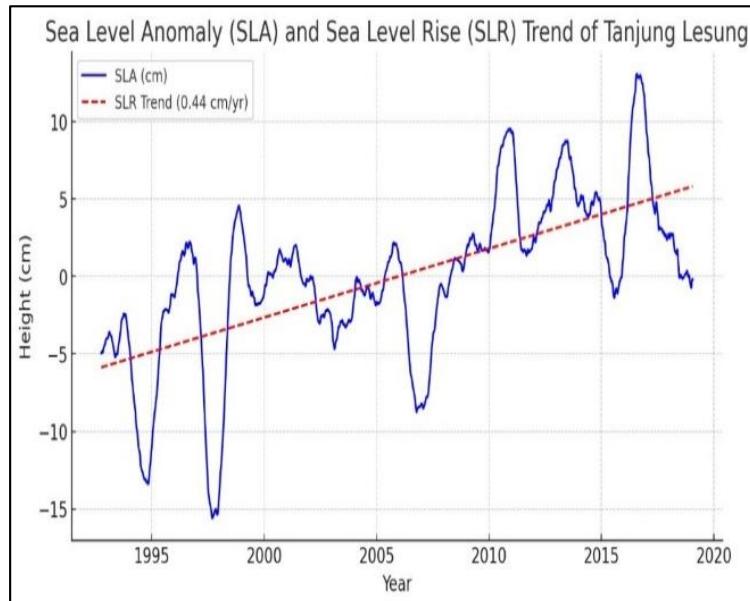
Sumber: Copernicus Marine Service



Gambar 8. Peta Tinggi Gelombang Berdasarkan Pembobotan CVI di Pantai

f. Kenaikan Muka Air Laut

Berdasarkan data altimetri yang diolah oleh CCAR Altimetry Data pada periode 1992–2020, kenaikan muka air laut di wilayah pesisir Tanjung Lesung, menunjukkan tren peningkatan. Data menunjukkan bahwa kenaikan muka air laut di Tanjung Lesung mencapai 4,4 mm per tahun (0,44 cm per tahun), lebih tinggi dibandingkan rata-rata global sebesar $3,0 \pm 0,4$ mm per tahun. Sebagai jalur penghubung antara Laut Jawa dan Samudera Hindia, peningkatan muka air laut di Selat Sunda berpotensi memengaruhi dinamika pesisir serta meningkatkan risiko kerentanan. Oleh karena itu, fenomena ini perlu mendapatkan perhatian khusus karena dapat memberikan dampak signifikan terhadap kawasan pesisir (CCAR, 2024).



Gambar 9. Grafik Sea Level Rise



Gambar 10. Peta Kenaikan Muka Air Laut Berdasarkan Pembobotan CVI di Pantai

2. Kondisi Parameter Kerentanan Pesisir Pantai Tanjung Lesung

Hasil analisis indeks kerentanan pesisir di Pantai Tanjung Lesung menunjukkan variasi tingkat kerentanan di sepanjang garis pantai. Jika dilihat dalam pemetaan CVI, kawasan pesisir dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori, mulai dari tingkat kerentanan sedang hingga sangat rentan. Berdasarkan hasil analisis, disusunlah tabel hasil klasifikasi indeks kerentanan pesisir yang menyajikan informasi tingkat kerentanan pada setiap titik pengamatan atau sel penelitian.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Indeks Kerentanan Pesisir di Pantai

Kode Sel	Parameter						IKP	Persen (%)	Kelas Kerentanan
	Geomorfologi	EPR	Slope	Pasut	Gelombang	SLR			
A	5	3	1	5	5	5	17.68	44.72	Sedang
B	5	2	1	5	5	5	14.43	36.51	Sedang
C	5	2	1	5	5	5	14.43	36.51	Sedang
D	5	3	2	5	5	5	25.00	63.25	Rentan
E	5	3	2	5	5	5	25.00	63.25	Rentan
F	5	3	3	5	5	5	30.62	77.46	Sangat Rentan
G	4	3	3	5	5	5	27.39	69.28	Rentan
H	5	3	3	5	5	5	30.62	77.46	Sangat Rentan
I	4	4	2	5	5	5	25.82	65.32	Rentan
J	5	3	3	5	5	5	30.62	77.46	Sangat Rentan
K	5	5	3	5	5	5	39.53	100.00	Sangat Rentan
L	4	3	1	5	5	5	15.81	40.00	Sedang
M	5	3	1	5	5	5	17.68	44.72	Sedang
N	5	2	2	5	5	5	20.41	51.64	Rentan
O	5	2	3	5	5	5	25.00	63.25	Rentan
P	4	5	3	5	5	5	35.36	89.44	Sangat Rentan
Q	5	5	2	5	5	5	32.27	81.65	Sangat Rentan

a. Klasifikasi Sedang

Wilayah dengan tingkat kerentanan sedang ditemukan pada Sel A, B, C, L, dan M, yang memiliki nilai EPR dalam kategori rendah hingga sedang. Perubahan garis pantai di wilayah ini menunjukkan kecenderungan akresi antara 0,76 hingga 2,15 meter per tahun, dengan abrasi minimum sekitar -0,01 hingga -0,72 meter per tahun. Meskipun terdapat abrasi, sebagian besar area menunjukkan proses akresi, menandakan kestabilan garis pantai. Kemiringan pantai pada sel-sel tersebut tergolong curam, dengan kisaran 13–14%, kemiringan yang curam menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap perubahan garis pantai. Geomorfologi yang didominasi oleh pantai berpasir turut memperkuat dinamika alami wilayah ini. Pada Sel L, keberadaan struktur

pelindung seperti *breakwater* membantu meredam energi gelombang dan mengurangi risiko abrasi, meskipun perlindungan ini tetap memiliki potensi risiko apabila terjadi kerusakan atau perubahan ekstrem pada kondisi oseanografi.



Gambar 11. Kondisi Sel L Kategori Sedang

Sumber: Dokumentasi pribadi (2025)

b. Klasifikasi Rentan

Wilayah dengan kerentanan tinggi mencakup Sel D, E, G, I, N, dan O, dengan nilai EPR sedang hingga tinggi. Sel D dan E mengalami akresi hingga 1,55 m/tahun, akibat suplai sedimen atau pola arus dan gelombang yang mendukung sedimentasi. Sebaliknya, Sel I dan N mengalami abrasi signifikan (-1,59 hingga -1,79 m/tahun), bahkan di Sel I garis pantai sudah sangat dekat dengan vegetasi dan tanpa struktur pelindung. Meski begitu, kemiringan pantai di wilayah ini tergolong curam (8,7–11,4%) dan berada dalam kategori kerentanan rendah. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun area ini mengalami abrasi dan akresi, ketahanan alami terhadap erosi masih cukup baik dibandingkan dengan area yang lebih landai.



Gambar 12. Kondisi Sel I Kategori Rentan

Sumber: Dokumentasi pribadi (2025)

c. Klasifikasi Sangat Rentan

Area dengan tingkat kerentanan sangat tinggi mencakup Sel F, H, J, K, P, dan Q, ditandai oleh nilai EPR tinggi hingga sangat tinggi, terutama di Sel K, P, dan Q yang mencapai -1,11 hingga -5,74 m/tahun. Abrasi yang intens ini diperparah oleh kemiringan pantai yang landai (5,7–6,6%), memudahkan gelombang menjangkau daratan. Geomorfologi wilayah ini didominasi pasir dan kerakal, material yang rentan terkikis gelombang. Sel J dan K juga sangat rentan karena substrat pasir serta abrasi signifikan, khususnya Sel K dengan kehilangan daratan -3,54 m/tahun. Kemiringan 6,2–7,8% di wilayah ini lebih tinggi dibanding Sel F–H, tetapi tetap tergolong sedang. Kondisi diperburuk oleh ketiadaan struktur pelindung dan garis pantai yang sangat dekat dengan vegetasi. Sel O, P, dan Q juga menunjukkan abrasi intensif meski kemiringan tidak curam, menjadikan ketiganya masuk kategori sangat rentan.



Gambar 13. Kondisi Sel K Kategori Sangat Rentan
Sumber: Dokumentasi pribadi (2025)



Gambar 14. Peta Kerentanan Pesisir Pantai Tanjung Lesung

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter Kerentanan Pesisir

Berdasarkan analisis 6 parameter *Coastal Vulnerability Index* (CVI), Pantai Tanjung Lesung memiliki tingkat kerentanan pesisir yang bervariasi, dengan faktor utama meliputi karakteristik geomorfologi pantai, perubahan garis pantai, kemiringan, serta kondisi hidro-oseanografi. Area berpasir dengan kemiringan landai cenderung mengalami akresi akibat perlindungan struktur seperti *revetment* dan *breakwater*, namun beberapa area tetap mengalami abrasi, terutama di tanjung yang terekspos langsung ke laut, area belakang *breakwater*, kawasan wisata tanpa vegetasi alami, serta area yang memiliki dermaga kecil yang mengganggu distribusi sedimen. Selain itu, kondisi pasang surut mikrotidal, gelombang tinggi rata-rata 2,28 meter, dan kenaikan muka air laut sebesar 4,4 mm/tahun turut memperbesar tekanan abrasi di zona-zona terbuka dan tidak terlindungi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada indikasi akresi di sebagian besar garis pantai, namun risiko kerentanan tinggi tetap ada di titik-titik tertentu, sehingga diperlukan pemantauan berkala dan strategi mitigasi terpadu untuk menjaga stabilitas wilayah pesisir dalam jangka panjang.

2. Tingkat Kerentanan Pesisir

Berdasarkan hasil analisis indeks kerentanan pesisir (IKP) di Pantai Tanjung Lesung, dapat disimpulkan bahwa wilayah ini secara umum berada dalam kondisi kerentanan tinggi hingga sangat tinggi. Sebanyak 70% dari total 17 sel pengamatan masuk dalam kategori rentan dan sangat rentan, menunjukkan bahwa tekanan terhadap wilayah pesisir cukup signifikan. Hal ini disebabkan oleh kombinasi faktor fisik dan oseanografi seperti geomorfologi pantai berpasir, kemiringan landai, tingginya laju abrasi (EPR), serta kondisi oseanografi berupa gelombang signifikan, pasang surut mikro, dan kenaikan muka air laut yang semuanya memiliki nilai tinggi. Tidak adanya wilayah dengan klasifikasi kerentanan rendah menegaskan bahwa seluruh pesisir Tanjung Lesung memiliki potensi risiko yang perlu diwaspadai. Secara keseluruhan, tingkat kerentanan pesisir di Pantai Tanjung Lesung jika dirata-ratakan masuk ke dalam kategori rentan.

Saran

Disarankan agar pemerintah memperkuat kebijakan perlindungan pesisir melalui penerapan zonasi wilayah dengan kerentanan tinggi, rehabilitasi ekosistem pesisir seperti mangrove dan cemara laut, serta pengendalian pembangunan di zona sempadan pantai. Pemantauan rutin terhadap dinamika garis pantai dan faktor oseanografi juga penting sebagai dasar mitigasi yang tepat. Masyarakat, khususnya yang bergerak di sektor pariwisata, perlu diberikan edukasi dan pelatihan mengenai pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem pesisir, serta menyesuaikan aktivitas ekonomi dengan daya dukung lingkungan. Sementara itu, peneliti dan pembaca diharapkan menjadikan hasil ini sebagai referensi untuk kajian lanjutan, terutama dalam perencanaan adaptasi perubahan iklim di wilayah pesisir, serta mereplikasi metode ini di lokasi lain guna membandingkan tingkat kerentanan dan efektivitas mitigasi yang diterapkan.

Daftar Pustaka

- Abdillah, Y., & Ramdhani, M. (2012). Pemetaan Tingkat Kerentanan Pesisir Wilayah Kota Pariaman. *Jurnal Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan*, April, 128–148. <http://fpik.bunghatta.ac.id/>
- Agustin, S., Syamsidik, & Fatimah, E. (2016). Penilaian Indeks Kerentanan Fisik Wilayah Pesisir Pantai Barat - Selatan Aceh. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 71–80.
- Cahyanto, N. P., Setiyono, H., & Indrayanti, E. (2014). Studi Profil Pantai di Pulau Parang Kepulauan Karimunjawa Jepara. *Jurnal Oseanografi*, 3(2), 161–166.
- Dahuri, R., Rais, J., & Ginting, S. P. (2004). *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara terpadu* (Cetakan Ke). Pradnya Paramita.
- Dhiauddin, R., Gemilang, W. A., Wisha, U. J., Rahmawan, G. A., & Kusumah, G. (2017). Pemetaan Kerentanan Pesisir Pulau Simeulue Dengan Metode Cvi (Coastal Vulnerability Index). *EnviroScienteae*, 13(2), 157. <https://doi.org/10.20527/es.v13i2.3918>
- Fajrin, F. M., Muskananfola, M. R., & Hendrarto, B. (2016). Karakteristik Abrasi dan Pengaruhnya Terhadap Masyarakat di Pesisir Semarang Barat. *Diponegoro Journal of Maquares*, 5(2), 43–50. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/maquares>
- Hadi, S. P. (2005). *Dimensi Lingkungan Perencanaan Pembangunan*. Gajahmada University Press.
- Hamuna, B., Sari, A. N., & Alianto, A. (2018). Kajian Kerentanan Wilayah Pesisir Ditinjau dari Geomorfologi dan Elevasi Pesisir Kota dan Kabupaten Jayapura, Provinsi Papua. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 6(1).
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2018). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide*. 1–126.
- Isdianto, A., Adibah, F., Haykal, M. F., Irsyad, M. J., Asyari, I. M., & Supriyadi, S. (2022). Indeks Kerentanan Pesisir Ditinjau Dari Geomorfologi, Elevasi, Dan Ancaman Gelombang Untuk Mewujudkan Ketahanan Ekosistem Pesisir. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 8(2), 69–80. <https://doi.org/10.20527/jukung.v8i2.14912>
- Istijono, B., Hakam, A., & Ophiyandri, T. (2018). Investigation of the effects of plant variety and soil sediment to the coastal abrasion in West Sumatra. *International Journal of GEOMATE*, 14(44), 52–57. <https://doi.org/10.21660/2018.44.7236>
- Jatti, A. P., & Mardiatno, D. (2023). Analisis Kerentanan Wilayah Pesisir Terhadap Kenaikan Muka Air Laut Di Kabupaten Bantul. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan*, 7(1), 47–58.
- Joesidawati, M. I. (2016). Penilaian kerentanan pantai di wilayah pesisir Kabupaten Tuban terhadap ancaman kerusakan. *Jurnal Kelautan*, 9(2), 188–198.
- Koroglu, A., Ranasinghe, R., Jiménez, J. A., & Dastgheib, A. (2019). Comparison of Coastal Vulnerability Index applications for Barcelona Province. *Ocean and Coastal Management*, 178(November 2018), 104799. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.05.001>
- Lasabuda, R. (2013). Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Lautan. *Jurnal Ilmiah Platax*, 1(3), 92–101.
- López, M., Ranasinghe, R., & Jiménez, J. A. (2016). A Rapid, Low-Cost Approach to Coastal Vulnerability Assessment at a National Level. *Journal of Coastal Research*, 32(4), 932–945.

- Mulyadi, D., Nur, W., Hendriawan, & Yuliana, S. (2016). Penataan Ruang Berdasarkan Kebencanaan, di Pesisir Kabupaten Pandeglang. *Proseding Geotek Expo*, 685–694.
- Mutaqin, B. W., Kurniawan, I. A., Airawati, M. N., & Marfai, M. A. (2022). Kajian Perubahan Garis Pantai Di Sebagian Wilayah Pesisir Pandeglang, Banten, Periode Tahun 1990-2020. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 14(3), 232–242. <https://doi.org/10.21107/jk.v14i3.9832>
- Nontji, A. (1987). *Laut Nusantara*. Djambatan.
- Pendleton, B. E. A., Thieler, E. R., Williams, S. J., Norton, G. A., & Beavers, R. (2005). *Coastal Vulnerability Assessment of Gateway National Recreation Area (GATE) to Sea-Level Rise (Open-File Report 2004-1257)*.
- Permatasari, I. N. (2021). Kajian Resiko, Dampak, Kerentanan dan Mitigasi Bencana Abrasi Dibeberapa Pesisir Indonesia. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, 3(1), 56. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v3i1.56>
- Rahmalia, F., Indrayanti, E., & Widada, S. (2025). Pengaruh Pembangunan Breakwater Terhadap Perubahan Garis Pantai Di Pantai Dadap Indramayu. 07(01), 87–94. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i1.25624>
- Sakka, S., Paharuddin, P., & Rupang, E. (2014). Analisis kerentanan pantai berdasarkan coastal vulnerability index (CVI) di pantai Kota Makassar. *Jurnal Ilmu Kelautan Dan Ilmu Perikanan*, 24(3).
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Penerbit Alfabeta.
- Sulaiman, A., & Soehardi, I. (2008). *Pendahuluan Geormofologi Pantai Kuantitatif*. BPPT.
- Thieler, E. R., Hammar-klose, E. S., & Hole, W. (2000). National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise : Preliminary Results for the U . S . Pacific Coast. *U.S. Geological Survey*, 78(37), 1997.
- Wicaksono, A. D., Awaluddin, M., & Bashit, N. (2020). Analisis Laju Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode Net Shoreline Movement (Nsm) Dengan Add-in Digital Shoreline Analysis System (Dsas) (Studi Kasus : Pesisir Barat Kabupaten Pandeglang). *Jurnal Geodesi Undip*, 9(2), 21–31. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/26919>
- Winarso, G., Judijanto, & Budhiman, S. (2001). The Potential Application of Remote Sensing Data for Coastal Study. *Asian Conference on Remote Sensing*, 41(2), 183–184.
- Yulius, & Ramdhan, M. (2013). Perubahan Garis Pantai Di Teluk Bungus Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat Berdasarkan Analisis Citra Satelit. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(2), 417–427.