



Kajian Kerentanan Fisik dan Sosial Ekonomi Untuk Pengelolaan Lingkungan Kawasan Pesisir Kabupaten Bintan

Assessment of On Physical and Socio-Economic Vulnerability For Coastal Environmental Management in Bintan Regency

Ariko Vega Munandhar¹

Program studi Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Bachtiar Wahyu Mutaqin

Departemen Geografi Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Djati Mardiatno

Departemen Geografi Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Artikel Masuk : 25 Oktober 2024

Artikel Diterima : 8 Desember 2025

Tersedia Online : 31 Desember 2025

Abstrak: Kawasan pesisir memiliki interaksi berbagai komponen dari daratan, lautan serta aktivitas manusia yang dihadapkan oleh kenaikan muka air laut, sehingga menjadi wilayah paling rentan di bumi. Kabupaten Bintan memiliki Kawasan pesisir yang berhadapan dengan laut terbuka dan mengalami perkembangan sektor wisata. Tujuan penelitian yaitu menilai kerentanan kawasan pesisir Kabupaten Bintan. Penilaian menggunakan integrated Coastal Vulnerability index (ICVI) berdasarkan parameter fisik dan sosial ekonomi yang dikombinasikan dengan Analytic Hierarchy Process (AHP). Hasil Penelitian menunjukkan kerentanan fisik pada kategori sedang (1,79%), tinggi (17,77%), dan sangat tinggi (80,45%) dengan kontribusi terbesar yaitu bentuk lahan dan elevasi. Semakin tinggi tingkat kerentanan fisik menunjukkan bentuk lahan yang lebih rentan dengan elevasi yang semakin rendah. Kerentanan sosial ekonomi berada pada kategori rendah (1,02%), sedang (51,19%), tinggi (6,89%), dan sangat tinggi (40,11%) dengan kontribusi terbesar yaitu kepadatan penduduk. Semakin tinggi tingkat kerentanan sosial ekonomi menunjukkan semakin tinggi nilai dan sistem sosial ekonomi suatu wilayah. Tingkat kerentanan wilayah berada pada kategori sedang (9,72%), tinggi (48,30%) dan sangat tinggi (41,98%). Kategori sangat tinggi menunjukkan permukiman kepadatan tinggi di kerentanan fisik sangat tinggi. Kategori tinggi menunjukkan tidak terdapat permukiman padat namun memiliki lokasi wisata dan jalan di tingkat kerentanan fisik tinggi. Kategori sedang menunjukkan hanya terdapat lokasi wisata dan jalan pada kerentanan fisik sedang. Strategi pengelolaan kawasan pesisir tingkat kerentanan sangat tinggi melalui integrasi pola protektif dan akomodatif, tingkat kerentanan tinggi melalui pola protektif dan ,tingkat kerentanan sedang melalui pola akomodatif dan

¹ Korespondensi Penulis: Ariko Vega Munandhar

Email: arikovegamunandhar@mail.ugm.ac.id

How to Cite

Munandhar, A. V., Mutaqin, B. W., & Mardiatno, D. (2025). KAJIAN KERENTANAN FISIK DAN SOSIAL EKONOMI UNTUK PENGELOLAAN LINGKUNGAN KAWASAN PESISIR KABUPATEN BINTAN. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 13(3), 72-91. <https://doi.org/10.14710/jwl.13.3.72-91>

mundur. Penerapan strategi diintegrasikan dengan konsep Integrated Coastal Zone Management (ICZM) yang memperhatikan kondisi ekosistem, sosial dan kelembagaan.

Kata Kunci: Bintan, ICVI, Kawasan Pesisir, Kerentanan, Pengelolaan

Abstract: Coastal areas are affected by various components from land, sea, and human activities threatened by sea level rise, making it one of the most vulnerable on earth. Bintan Regency has coastal areas facing the open sea and coastal development in the tourism sector. The research aims to assess the vulnerability of Bintan's coastal areas for coastal management. The methodology used is the Integrated Coastal Vulnerability Index (ICVI) integrated with Analytic Hierarchy Process (AHP). The results showed that the physical vulnerability is moderate (1,79%), high (17,77%), and very high (80,45%). The largest contribution is landform and elevation. Higher levels of physical vulnerability indicate areas with more vulnerable landforms and lower elevations. Socio-economic vulnerability is low (1,02%), moderate (51,19%), high (6,89%), and very high (40,1%). The largest contribution is population density. The higher the level of socioeconomic vulnerability, the higher the value and socioeconomic system in an area. Integrated coastal vulnerability is moderate (9,72%), high (48,30%), and very high (41,98%). Very high vulnerability has high-density settlements in areas of very high physical vulnerability. High vulnerability has tourist sites and roads without dense settlements in areas of high physical vulnerability. Moderate Vulnerability only has tourist sites and roads in areas of moderate physical vulnerability. Coastal management for very high vulnerability is based on integrated protective and accommodative strategies. High vulnerability is based on protective strategies. Moderate vulnerability is based on accommodative and retreat strategies. These strategies are integrated with Integrated Coastal Zone Management, which considers ecosystem, social, and institutional.

Keywords: Bintan, ICVI, Coastline, Vulnerability, Management

Pendahuluan

Permasalahan global seperti perubahan iklim yang terjadi saat ini menyebabkan kawasan pesisir menjadi lebih rentan terhadap suatu bahaya (Fitton et al., 2021; Mondal et al., 2022). Perubahan kondisi alam dan peningkatan aktivitas manusia menyebabkan perubahan sistem dan proses di kawasan pesisir dalam menghadapi atau merespons suatu bahaya (De Serio et al., 2018; Pramanik et al., 2016). Salah satu bahaya di kawasan pesisir yaitu kenaikan muka air laut yang semakin meningkat. Kenaikan muka air laut dapat memberikan tekanan pada sistem lingkungan dan infrastruktur pesisir, perubahan profil pesisir, intrusi air laut, erosi, banjir dan kerusakan ekosistem (Nadya & Salim, 2023).

Kawasan pesisir memiliki interaksi berbagai komponen lingkungan dari daratan, lautan serta aktivitas manusia yang kemudian dihadapkan oleh kenaikan muka air laut sehingga menjadi wilayah paling rentan di bumi (Imran et al., 2020). Kerentanan kawasan pesisir merupakan tingkatan terhadap suatu sistem dan proses di kawasan pesisir dalam menghadapi atau merespons suatu ancaman bencana (Pasaribu et al., 2022). Tingkat kerentanan dipengaruhi berbagai kondisi fisik seperti geomorfologi, perubahan garis pantai, ketinggian permukaan tanah, kemiringan pantai, pasang surut, gelombang, kenaikan muka air laut dan pasang surut (Hamuna et al., 2018; Joesidawati, 2016; Sakka et al., 2014). Kerentanan juga akan meningkat di wilayah dengan kepadatan penduduk dan aktivitas sosial ekonomi yang tinggi (Armenio et al., 2017; Maanan et al., 2018).

Penilaian tingkat kerentanan kawasan pesisir sangat penting bagi Indonesia yang merupakan negara kepulauan. Kabupaten Bintan memiliki kawasan pesisir yang berhadapan dengan Laut Cina Selatan serta perkembangan pada sektor pariwisata yang merupakan aktivitas sosial ekonomi yang paling dominan (Suhana et al., 2021). Perkembangan pada sektor pariwisata menyebabkan alih fungsi lahan menjadi sarana

akomodasi pariwisata di wilayah pantai menjadi fasilitas akomodasi wisata yang meningkat setiap tahun, sehingga 80% lahan di pantai telah dimiliki oleh pengembang untuk membangun sarana wisata (Miswanto, 2018). Informasi mengenai tingkat kerentanan merupakan bagian yang diperlukan dalam penerapan pelestarian dan perlindungan kawasan pesisir (Sekovski et al., 2020). Informasi tersebut dapat diperoleh melalui kajian dengan memanfaatkan penelitian terdahulu sebagai acuan penilaian kerentanan.

Penelitian terdahulu yang banyak dilakukan di Indonesia sebagian besar didasarkan pada penilaian terhadap kondisi fisik namun belum mempertimbangkan kondisi sosial ekonomi di kawasan pesisir. Penelitian kerentanan pada Kabupaten Demak menunjukkan bahwa variasi kerentanan diakibatkan oleh parameter perubahan garis pantai (Primasti et al., 2021). Penilaian kerentanan di Bali dilakukan menggunakan parameter geomorfologi, elevasi pantai, laju perubahan garis pantai, laju perubahan muka air laut, jarak pasang surut, dan gelombang signifikan (Hastuti et al., 2022). Penelitian mengenai kerentanan kawasan pesisir di utara dan timur Pulau Bintan dengan menggunakan tujuh variabel fisik yaitu geomorfologi, kemiringan pantai, ketinggian permukaan tanah, perubahan garis pantai,, gelombang, pasang surut, dan perubahan muka air laut (Suhana et al., 2021). Penelitian terdahulu menunjukkan penilaian kerentanan dilakukan hanya berdasarkan kondisi fisik suatu wilayah. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan menilai kerentanan kawasan pesisir Kabupaten Bintan dengan mengintegrasikan kondisi fisik dan sosial ekonomi guna menyusun strategi pengelolaan lingkungan yang sesuai dengan tingkat kerentanan. Kawasan pesisir Kabupaten yang berhadapan dengan Laut Cina Selatan dan terjadi pertumbuhan pariwisata menjadikan kawasan pesisir yang representatif bagi kawasan pesisir di Indonesia yang menghadapi tekanan fisik dan sosial secara bersamaan. Dengan demikian, penelitian ini dapat memanfaatkan sebagai dasar penilaian kerentanan pesisir di Indonesia yang memiliki karakteristik yang sama.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Pulau Bintan khususnya kawasan pesisir timur dan utara yang merupakan wilayah administrasi Kabupaten Bintan di Provinsi Kepulauan Riau. Wilayah kajian mengikuti garis pantai dengan Panjang ± 117.67 km. Lokasi penelitian tersebut memiliki kesamaan karakteristik yaitu mengalami tekanan secara fisik dan sosial ekonomi. Secara geografis lokasi kawasan pesisir tersebut berhadapan dengan Laut Cina Selatan. Kawasan pesisir tersebut dimanfaatkan untuk pariwisata, konservasi padang lamun, dan permukiman. Pariwisata menjadi aktivitas sosial ekonomi yang paling dominan pada Kabupaten Bintan (Suhana et al., 2021). Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data yang Digunakan

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer ini yaitu data observasi dan data hasil wawancara pakar. Data sekunder didapat dari studi literatur dan instansi seperti citra satelit, digital elevation model nasional (DEMNAS), data Hidro-oceanografi, peta sistem lahan, peta rupa bumi Indonesia (RBI), jumlah penduduk dan daftar pariwisata Kabupaten Bintan. Penentuan responden dilakukan dengan purposive sampling yang ditujukan pada pakar yang memiliki pemahaman mengenai dinamika dan pengelolaan kawasan pesisir. Data tersebut digunakan untuk mendapat nilai kenaikan muka air laut dan variabel kerentanan.

Data kenaikan muka air laut diperoleh dari sea level tahun anomaly (SLA) 1993-2023 oleh Copernicus Climate Change Service dengan mempertimbangkan ketersediaan data serta kesesuaiannya dalam menggambarkan dinamika kenaikan muka air laut.. Penggunaan data sea level anomaly (SLA) karena menggambarkan ketinggian muka air laut tanpa efek dinamis seperti tekanan atmosfer dan pasang surut air laut (Setianingsih et al., 2018).

Variabel parameter fisik terdiri dari bentuk lahan (*Landform*), perubahan garis pantai, elevasi, pasang surut, dan gelombang. Bentuk lahan diperoleh citra Landsat 8 OLI tahun 2023, DEMNAS, Peta sistem lahan dan observasi lapangan. Perubahan garis pantai diperoleh dari citra Landsat 5 TM tahun 1993, citra Landsat 7 ETM+ tahun 2003, dan citra Landsat 8 OLI tahun 2013 dan 2023 yang diolah menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Rentang waktu 30 tahun dengan interval 10 tahun digunakan berdasarkan ketersediaan data serta pertimbangan terhadap perkembangan wilayah yang mulai terlihat pada tahun 1993. Data Elevasi diperoleh dari DEMNAS yang memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi yaitu 0,27 arc-second dibandingkan resolusi data DEM Internasional yaitu 3 arc-second. Pasang surut diperoleh dari data pasang surut Badan Informasi Geospasial (BIG) tahun 2023 dengan menggunakan metode admiralty yang merupakan metode yang efisien, akurat dan fleksibel dalam menggambarkan kondisi pasang surut (Ulum & Khomsin, 2013). Gelombang diperoleh dari data *significant wave height* (SWH) 1993-2023 oleh European Centre For Medium- Range Weather Forecast (ECMWF) dengan menggunakan stasiun

terdekat pada lokasi penelitian dengan mempertimbangkan ketersediaan data serta perkembangan pada wilayah penelitian.

Variabel parameter sosial ekonomi terdiri dari jalan, land use/land cover (LU/LC) lokasi pariwisata dan kepadatan penduduk. Jalan diperoleh dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:50.000. Land use/ land cover (LU/LC) dari citra Landsat 8 OLI tahun 2023 melalui klasifikasi terbimbing yang kemudian divalidasi melalui Google Earth dan observasi lapangan. Data Lokasi pariwisata diperoleh Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Bintan. Kepadatan penduduk terdiri dari data jumlah penduduk dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kepulauan Riau dan luas wilayah desa/kelurahan diperoleh dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:50.000.

Analisis Data

Analisis Kenaikan Muka Air Laut

Analisis Kenaikan muka air laut digunakan untuk menentukan batas kajian analisis kerentanan serta menggambarkan intensitas genangan. Batas wilayah untuk analisis data variabel kerentanan ditentukan berdasarkan jarak terjauh potensi kenaikan muka air laut terhadap wilayah daratan. Penentuan batas kajian tersebut berdasarkan overlay terhadap tinggi genangan akibat kenaikan muka air laut dan elevasi. Perhitungan genangan dilakukan berdasarkan proyeksi kenaikan muka air laut menggunakan regresi linier. Perhitungan genangan dilakukan menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2 (Hidayah et al., 2023).

$$\text{Tinggi Genangan} = \text{HHWL} - \text{MSL} \quad (1)$$

$$\text{Prediksi genangan} = \text{Tinggi genangan} + (\text{SLR} \times (t_1 - t_0)) \quad (2)$$

Keterangan

HHWL = *Highest High Water Level*

MSL = *Mean Sea Level*

SLR = *Sea Level Rise*

t₁ = Tahun Akhir

t₀ = Tahun Awal

Analisis Kerentanan

Analisis variabel kerentanan dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif yang diklasifikasikan berdasarkan skor pada setiap variabel. Klasifikasi tersebut digunakan untuk menilai tingkat kerentanan fisik, sosial ekonomi dan wilayah. Klasifikasi dilakukan berdasarkan penelitian terdahulu yang memiliki kesesuaian dan kesamaan metode dan karakteristik lokasi penelitian. Klasifikasi skor dapat dilihat pada Tabel 1. Metode yang digunakan untuk menilai tingkat kerentanan yaitu integrated Coastal Vulnerability index (ICVI) yang dikombinasikan dengan Analytic Hierarchy Process (AHP).

Tabel 1. Penentuan Skor Tingkat Kerentanan

No	Parameter	Klasifikasi				
		1	2	3	4	5
		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
1	Bentuk Lahan <i>Landforms/ Features</i>)	Pantai bertebing tinggi berbatu	Pantai bertebing menengah berbatu	Pantai bertebing rendah berbatu	Pantai berbatu, estuari, laguna	Pantai berpasir, rawa, mangrove, delta, berlumpur, lamun
2	Perubahan garis pantai (m/thn)	> (+2.0)	(+1.0)-(+2.0)	(-1.0)-(+1.0)	(-2.0)-(-1.0)	< (-2.0)
3	Elevasi (m)	> 30	20 - 30	10 - 20	5 - 10	0 - 5

No	Parameter	Klasifikasi				
		1	2	3	4	5
		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
4	Kenaikan muka air laut (mm/tahun)	< 1,8	1,8- 2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	> 3,4
5	Pasang surut (m)	< 1.0	1.0 – 2.0	2.0 – 4.0	4.0 – 6.0	> 6.0
6	Gelombang (m)	<0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	> 2
7	Jalan (km) ^(b)	> 2.0	1,6-2,0	1.0-1.5	0.5-1.0	< 0.5
8	Land use/ land cover (LU/LC)	Badan Air	Terbuka, mangrove dan padang rumput	Hutan	pertanian	Kawasan terbangun, perkotaan dan industri
9	Lokasi pariwisata	-	Tidak ada	-	Ada	-
10	Kepadatan penduduk (jiwa/Km ²)	< 150	150-300	300-500	500-1000	>1000

Sumber : Ariffin et al., 2023; Hamuna et al., 2018; Hastuti et al., 2022; Joesidawati, 2016; Oktaviani et al., 2023; Ramnalis et al., 2023; Rumahorbo et al., 2023

AHP ss diperoleh konsisten, sebaliknya apabila CR > 0,10 (10%) maka perlu evaluasi kembali matrik yang diperoleh (Alwi & Mutaqin, 2022).

Integrated Coastal Vulnerability index (ICVI) merupakan metode yang menggabungkan nilai kerentanan variabel fisik dan sosial ekonomi yang memiliki bobot tertentu pada setiap variabelnya sehingga dapat menggambarkan kerentanan total kawasan pesisir secara spasial. Perhitungan tingkat kerentanan dilakukan dengan persamaan 3, persamaan 4, dan persamaan 5 (Charuka et al., 2023).

$$\text{Physical Vulnerability Index (PVI)} = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 \dots \quad (3)$$

$$\text{Socio – economic Vulnerability Index (SVI)} = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 \dots \quad (4)$$

$$\text{Integrated Coastal Vulnerability index (ICVI)} = (PVI + SVI)/2 \quad (5)$$

Keterangan :

W = bobot

X = skor kerentanan

Tingkat kerentanan kawasan pesisir diklasifikasikan menjadi kategori sangat tinggi (4-5), tinggi (3-4), sedang (2-3), dan rendah (Pasaribu et al., 2022). Penentuan parameter yang dominan terhadap kerentanan dilakukan dengan penentuan rasio perbandingan antara PVI dan SVI (Tano et al., 2018). Penentuan parameter dominan digunakan untuk menggambarkan kondisi kerentanan untuk pengelolaan kawasan pesisir. Kontribusi antara PVI dan SVI dapat ditentukan kategori persamaan berikut

1. Apabila SVI/PVI<1 atau PVI > SVI maka kontribusi parameter fisik lebih dominan pada suatu wilayah
2. Apabila SVI/PVI>1 atau PVI < SVI maka kontribusi parameter Sosial ekonomi lebih dominan pada suatu wilayah
3. Apabila SVI/PVI=1 atau PVI = SVI maka kontribusi parameter fisik dan sosial ekonomi sama/seimbang

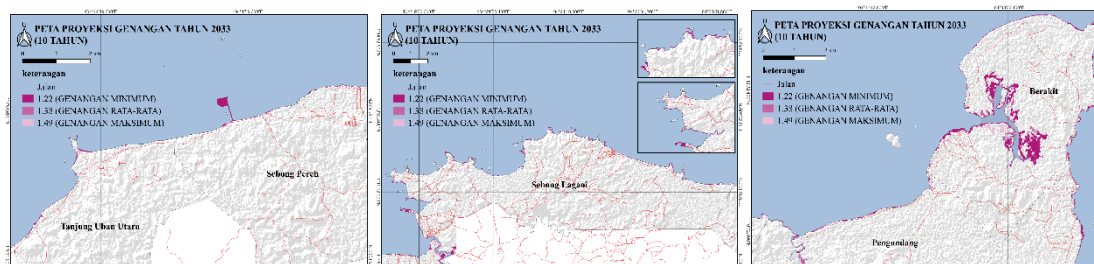
Hasil dan Pembahasan

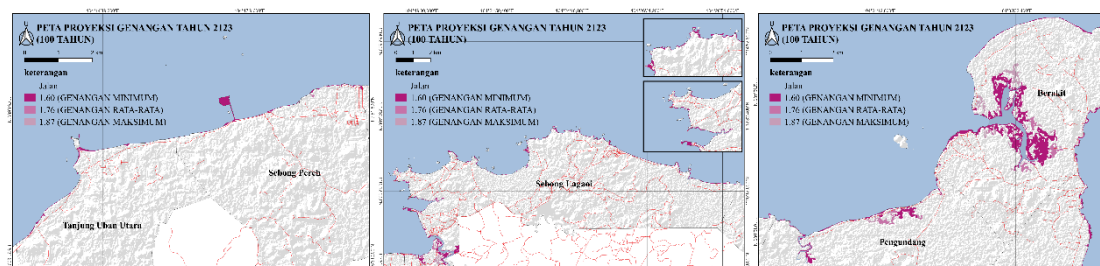
Kenaikan Muka Air Laut

Kenaikan muka air laut yaitu di wilayah Kabupaten Bintan tahun 1993-2023 yaitu 4,2 mm/tahun. Penelitian Handoko et al. (2020) menunjukkan nilai kenaikan muka air laut Indonesia tahun 1993-2018 yaitu 4,6 mm/tahun. Penelitian Sulaiha et al. (2020) menunjukkan nilai kenaikan muka air laut wilayah Laut Jawa dan Laut Cina Selatan tahun 2002-2019 yaitu 4,1 mm/tahun. Kondisi di lokasi penelitian menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan penelitian sebelumnya di wilayah regional yang sejenis. Pemanasan global dan perubahan iklim yang terjadi menimbulkan salah satu potensi bencana yaitu kenaikan muka air laut. Suhu rata-rata global pada tahun 2001-2020 meningkat hingga 1,09 oC daripada tahun 1850-1900 (IPCC, 2023). Kondisi tersebut menyebabkan kenaikan permukaan laut akibat peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh mencairnya es di kawasan kutub. Kenaikan muka air laut memengaruhi berbagai proses di kawasan pesisir yang berdampak pada kerentanan atau kemampuan kawasan pesisir untuk menghadapi suatu bencana (Joesidawati, 2016). Identifikasi kenaikan muka air laut kawasan pesisir Kabupaten Bintan dilakukan melalui peta potensi banjir pesisir. Potensi banjir pesisir disusun melalui proyeksi genangan berdasarkan tren kenaikan muka air laut.

Proyeksi genangan selama 100 tahun menunjukkan tinggi genangan maksimum di wilayah Kabupaten Bintan yaitu 1,87 m dan 2,09 m. Tinggi genangan di pesisir utara timur lebih tinggi dibandingkan pesisir utara diakibatkan lokasi yang menghadap lautan terbuka sehingga menghasilkan kondisi pasang surut yang berbeda. Kondisi tersebut sesuai dengan penelitian Pamungkas, (2018) bahwa kisaran tertinggi nilai pasang surut di kawasan pesisir utara Pulau Bangka yang merupakan perairan terbuka lebih tinggi dibandingkan wilayah selatan Pulau Bangka yang merupakan perairan selat sadai.

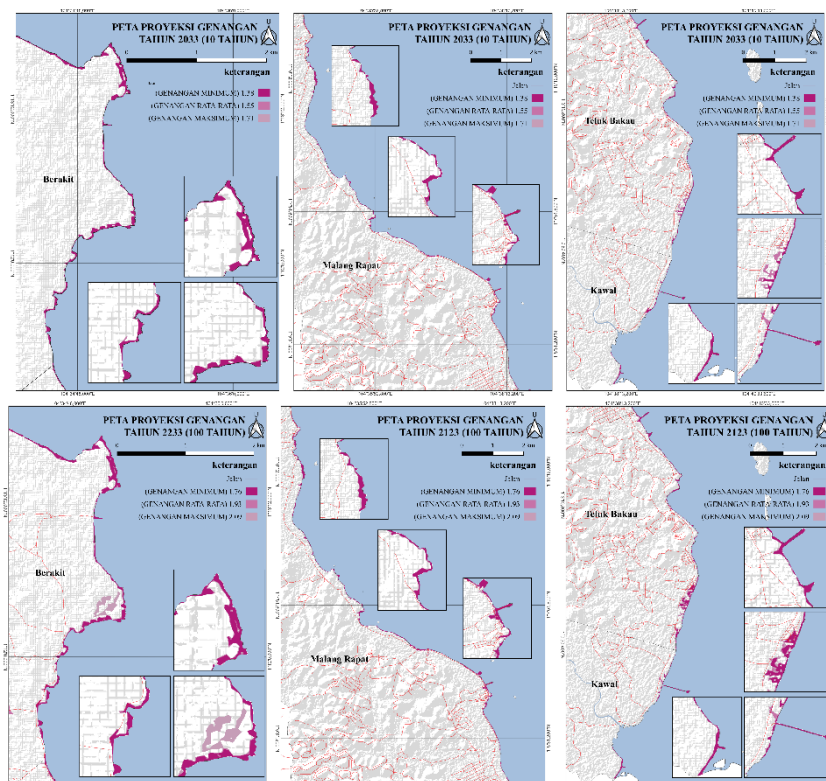
Proyeksi genangan skenario 10 tahun utara Pulau Bintan menunjukkan luas total wilayah yang tergenang yaitu 361,6 Ha dengan luas genangan tertinggi pada Berakit. Proyeksi genangan 100 tahun menunjukkan peningkatan luas wilayah yang tergenang menjadi 557.1 Ha. Kondisi tersebut menunjukkan genangan tidak hanya terjadi pada garis pantai namun meluas hingga ± 500 meter dari garis pantai di wilayah Pengundang. Peta tinggi genangan kawasan pesisir utara dapat dilihat pada Gambar 2. Proyeksi genangan skenario 10 tahun pada timur menunjukkan luas total wilayah yang tergenang yaitu 60,9 Ha dengan luas genangan tertinggi pada Malang Rapat. Berdasarkan proyeksi genangan pada skenario 100 tahun menyebabkan peningkatan luas wilayah yang tergenang menjadi 92,2 Ha. Peta tinggi genangan kawasan pesisir utara dapat dilihat pada Gambar 3. Validasi lapangan menunjukkan wilayah dengan potensi genangan terjadi di wilayah mangrove dan pantai berpasir yang memiliki elevasi yang rendah. Selain itu, berdasarkan hasil wawancara kejadian banjir pesisir terjadi bulan Desember-April akibat angin monsoon. Berdasarkan hasil analisis kenaikan muka air lau maka penentuan Batas wilayah kajian kerentanan yaitu 500 meter dari garis pantai yang merupakan jarak genangan terjauh dari garis pantai.





Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gambar 2. Peta Genangan Utara Pulau Bintan

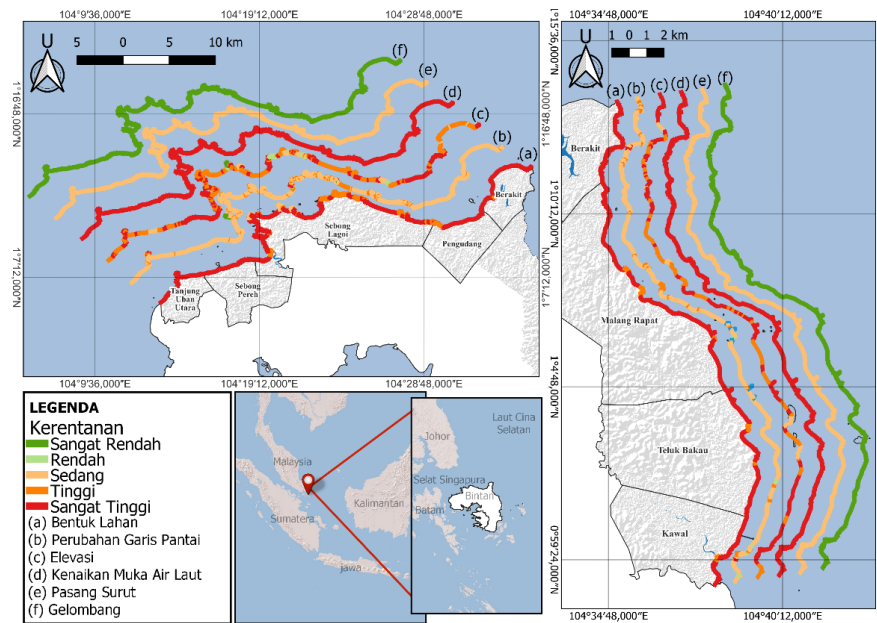


Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gambar 3. Peta Genangan Timur Pulau Bintan

Kerentanan Fisik

Kerentanan fisik mencerminkan kondisi fisik kawasan pesisir dalam menghadapi, menanggulangi dan bertahan dari kenaikan muka laut (Yanti et al., 2019). Kondisi fisik ditinjau dari bentuk lahan, elevasi, perubahan garis pantai, kenaikan muka air laut, pasang surut dan gelombang. Bentuk lahan menggambarkan kondisi fisik dan resistansi kawasan pesisir dalam kemampuannya menghadapi erosi yang disebabkan kenaikan muka air laut. Elevasi, perubahan garis pantai, kenaikan muka air laut, pasang surut dan gelombang, pasang surut menggambarkan kondisi fisik dan resistansi kawasan pesisir terhadap genangan atau banjir (Oktaviani et al., 2023). Penilaian kerentanan berdasarkan parameter fisik dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gambar 4. Peta Kerentanan variabel Fisik

Kawasan pesisir Pulau Bintan menunjukkan bentuk lahan pantai bertebing rendah berbatu, pantai berbatu, pantai berpasir, estuary, rawa dan mangrove. Berdasarkan bentuk lahan kawasan pesisir utara memiliki kategori sangat tinggi (79,33%), tinggi (16,49%), dan sedang (4,18%). Kawasan pesisir timur pulau bintan memiliki kategori sangat tinggi (92,94%), tinggi (7,61%). Bentuk lahan dengan kategori sangat tinggi terdiri dari pantai berpasir, rawa, dan mangrove. Tingkat kerentanan yang tinggi pada pantai berpasir karena kemampuan menahan dampak terhadap genangan air laut dan erosi yang buruk (Ramnalis et al., 2023). Bentuk lahan basah yang ditumbuhi vegetasi pada pesisir memiliki karakteristik yang sensitif terhadap kenaikan muka air laut karena kondisinya yang terkait erat dengan muka air laut dan erosi (Hastuti et al., 2022). Keberadaan Pantai dengan batuan granit sesuai dengan kondisi geologi Pulau Bintan yang memiliki formasi granit karena terletak dalam jalur timur granit Asia Tenggara (Setiadi et al., 2021).

Perubahan garis pantai kawasan pesisir Kabupaten Bintan sebagian besar mengalami abrasi. Kondisi tersebut diakibatkan bentuk lahan berpasir (Ramnalis et al., 2023). Selain itu, abrasi di wilayah dengan bentuk lahan berbatu sebagian besar diakibatkan akibat hilangnya material pasir yang sebelumnya berada di atas batuan tersebut. Wilayah mengalami abrasi sebesar 0,79 m/tahun dengan abrasi tertinggi berada di Sebung Lagoi sebesar 1,14 m/tahun, sedangkan di kawasan pesisir timur mengalami abrasi sebesar 0,60 m/tahun dengan abrasi tertinggi berada di Kawal sebesar 1,14 m/tahun. Kawasan pesisir utara lebih besar mengalami abrasi dibandingkan wilayah timur. Nilai abrasi yang lebih rendah di kawasan pesisir timur Pulau Bintan diakibatkan oleh terdapatnya wilayah berbatu serta dari pembangunan *waterbreaker* dan keberadaan mangrove pada beberapa wilayah. Kondisi tersebut menyebabkan pengaruh pasang surut, gelombang dan arus laut yang menyebabkan abrasi menjadi berkurang (husain et al., 2021; Suhana et al., 2021).

Sebagian besar Kawasan pesisir Kabupaten Bintan merupakan perbukitan yang bergelombang lemah serta dataran aluvial yang landau (Witasari & Prasetyo, 2020). Elevasi di kawasan pesisir utara dengan jarak 500 meter dari garis pantai berkisar 0-65 meter. Kondisi topografi pada utara Pulau Bintan didominasi oleh relief yang landai dan bergelombang. Meskipun demikian, terdapat wilayah dengan kategori bukit curam yang rendah pada Sebung Lagoi. Elevasi kawasan pesisir utara kepulauan Bintan terdiri dari

kategori sangat rendah (1,18%), rendah (3,79%), sedang (7,06%), tinggi (48,66%) dan sangat tinggi (39,31%). Elevasi di kawasan pesisir timur berkisar 0-42 meter. Elevasi kawasan pesisir timur terdiri dari kategori sedang (7,31%), tinggi (37,20%) dan sangat tinggi (55,49%). Elevasi menentukan potensi terhadap terjadinya perubahan garis pantai dan banjir pesisir akibat kenaikan muka air laut (Hamuna et al., 2018).

Kenaikan Muka air laut tahun 1993-2023 berkisar 4,15-4,35 mm/tahun. Kenaikan muka air laut di wilayah perairan Kabupaten Bintan termasuk kategori sangat tinggi. Hasil analisis menunjukkan terjadi perubahan kategori kerentanan jika dibandingkan dengan penelitian oleh Suhana et al. (2021) yang dilakukan pada tahun 2020. Perubahan dan perbedaan kondisi kenaikan muka air laut dapat diakibatkan jangka waktu dan metode perhitungan yang berbeda. Kenaikan muka air laut merupakan dampak dari perubahan iklim dan pemanasan global. Kenaikan muka air laut memberikan tekanan pada sistem lingkungan dan infrastruktur pesisir, perubahan profil pesisir, intrusi air laut, erosi, banjir dan kerusakan ekosistem (Nadya & Salim, 2023)

Wilayah pulau bintan menunjukkan tipe *pasang surut mixed tide prevailing semi-diurnal*. Tipe tersebut memiliki kondisi pasang surut di mana dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, namun dengan tinggi dan periode berbeda (Arif et al., 2019). Rata-rata rentang pasang surut pada tahun 2023 Pulau Bintan yaitu 209.92 cm dan kawasan pesisir timur yaitu 238.88 cm. Nilai tersebut menunjukkan kategori rentang pasang surut mesotidal. Skoring Parameter tingkat kerentanan nilai yang diperoleh termasuk dalam kategori sedang. Pasang surut sangat berkaitan dengan kejadian genangan pada pesisir. Pasang surut dalam penilaian kerentanan digunakan untuk menggambarkan variabel yang berhubungan dengan erosi dan pergerakan sedimen di kawasan pesisir (Hastuti et al., 2022).

Tinggi gelombang rata-rata tahunan yang mencapai garis pantai untuk kawasan pesisir Kabupaten Bintan yaitu berkisar antara 0.18-0.37 meter. Nilai gelombang tertinggi yaitu berada di Berakit. Berdasarkan penelitian Suhana et al. (2021)) menunjukkan significant wave height (SWH) minimum yang berkisar antara 0.10-0.50 mendominasi kawasan pesisir timur dan utara Pulau Bintan. Namun pada kondisi tertentu dapat meningkat hingga 3.2 meter di kawasan pesisir utara dan 2.90 meter di kawasan pesisir timur yang terjadi pada puncak musim selatan (Juni-Agustus) dan musim utara (Desember-Februari) akibat kecepatan angin yang meningkat. Tinggi gelombang digunakan sebagai indikator energi gelombang, yang mencerminkan dampaknya terhadap erosi pantai. Gelombang dengan energi lebih besar berkaitan dengan erosi pantai yang lebih cepat dan lebih intens (Hastuti et al., 2022). Nilai gelombang berdasarkan skoring parameter tingkat kerentanan nilai yang diperoleh termasuk dalam kategori sangat rendah.

Pembobotan variabel pada parameter fisik menunjukkan nilai CR <10% sehingga pembobotan pada parameter fisik dapat digunakan. Pembobotan pada parameter fisik dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai bobot terbesar yaitu variabel bentuk lahan dengan nilai 0,427 (42,7%). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa variabel tersebut memiliki kontribusi tertinggi terhadap tingkat kerentanan. Penelitian Ramnalis et al. (2023) menunjukkan tingkatan pembobotan yang serupa namun terdapat variabel yang lebih tinggi yaitu kemiringan (slope). Meskipun terdapat perbedaan nilai pembobotan pada setiap variabel, namun tingkatan pembobotan memiliki urutan yang hampir serupa. Bentuk lahan merupakan variabel yang penting karena menunjukkan tingkat derajat ketahanan dan erodibilitas pada terhadap kenaikan muka air laut (Charuka et al., 2023; Ramnalis et al., 2023). Nilai pembobotan tersebut kemudian digunakan dalam menentukan tingkat kerentanan fisik.

AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)K. D. Goepel Version 07.07.2022 | Free web based AHP software on: <https://bpmsg.com>

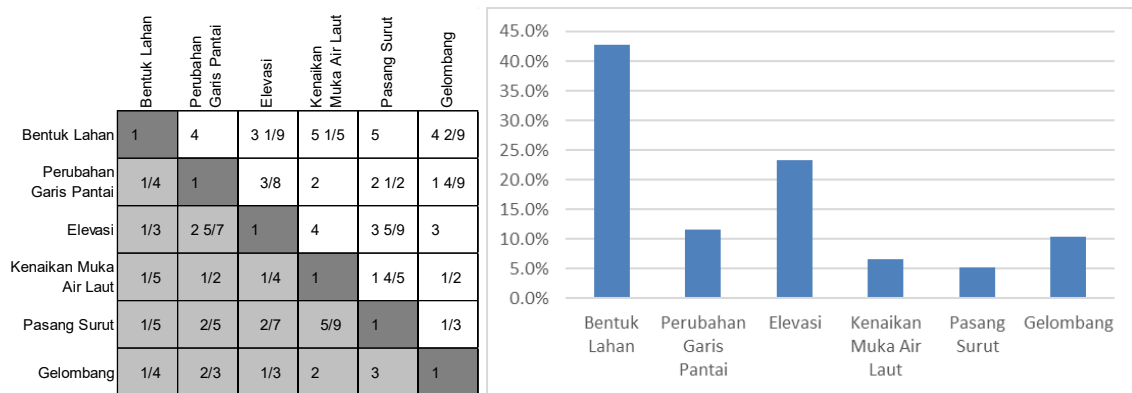
n= 6 Number of criteria (2 to 10) Scale: 1 AHP 1-9

N= 3 Number of Participants (1 to 20) α : 0.1 Consensus: 88.4%

p= 0 selected Participant (0=consol.) 2 7 Consolidated

Table	Criterion	Comment	Weights	+/-
	1 Bentuk Lahan		42.7%	15.2%
	2 Perubahan Garis Pantai		11.7%	2.2%
	3 Elevasi		23.3%	6.9%
	4 Kenaikan Muka Air Laut		6.6%	1.6%
	5 Pasang Surut		5.2%	1.9%
	6 Gelombang		10.5%	2.9%

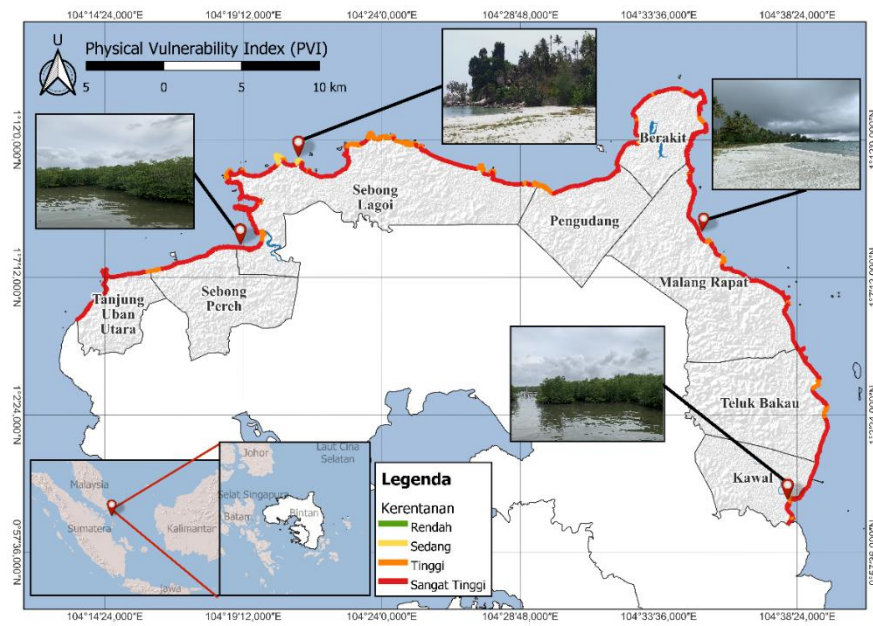
Result	Eigenvalue	Lambda: 6.216	MRE: 29.3%
	Consistency Ratio	0.37 GCI: 0.13 Psi: 5.0% CR: 3.4%	



Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gambar 5. Pembobotan Analytic Hierarchy Process (AHP) Parameter Fisik

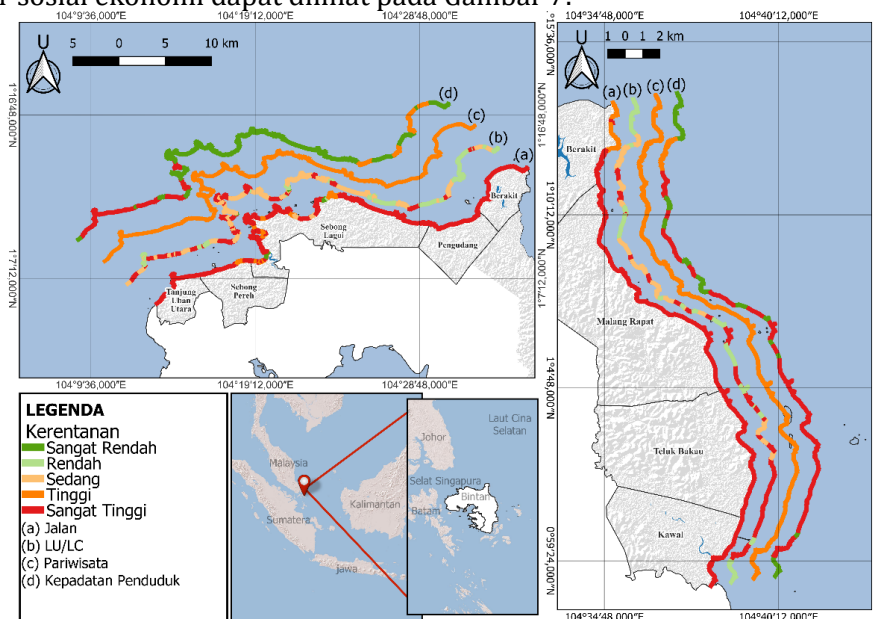
Tingkat kerentanan berdasarkan parameter fisik menunjukkan di wilayah utara memiliki nilai PVI yaitu 2.46-4,76 yang didominasi dengan kategori tingkat kerentanan sangat tinggi (76,32%). Terdapat beberapa wilayah pada bagian utara dengan tingkat kerentanan sedang (2,74%) dan tinggi (20,94%). PVI di wilayah timur memiliki nilai 3,35-4,48 yang didominasi dengan kategori tingkat kerentanan sangat tinggi (88,43%) dan beberapa wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi (11,57%). Wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi dan sangat tinggi menunjukkan karakteristik bentuk lahan berpasir dengan elevasi yang rendah, sedangkan pada tingkat kategori sedang memiliki bentuk lahan pesisir pantai bertebing rendah berbatu. Tingkat kerentanan fisik seluruh wilayah penelitian yaitu didominasi dengan tingkat kerentanan sangat tinggi (80,45%) dan sebagian lainnya pada tingkat kerentanan sedang (1,79%) dan tinggi (17,77%). Peta kerentanan fisik Kabupaten Bintan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta Tingkat Kerentanan Fisik Kabupaten Bintan

Kerentanan Sosial Ekonomi

Kerentanan sosial ekonomi mencerminkan tingkat kerapuhan sosial dan ekonomi serta kemampuan masyarakat dalam menghadapi, menanggulangi dan bertahan terhadap bahaya (Putra & Silfiana, 2020). Kondisi sosial ekonomi dalam kajian kerentanan dapat dinilai berdasarkan kepadudukan, penggunaan/tutupan lahan, jalan dan lokasi pariwisata. Penilaian terhadap kerentanan sosial ekonomi dilakukan dengan memperhatikan kondisi masyarakat yang berkaitan dengan nilai kepentingan dan kebutuhan dalam mendukung proses sosial dan ekonomi pada suatu wilayah. Penilaian kerentanan berdasarkan parameter sosial ekonomi dapat dilihat pada Gambar 7.



Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gambar 7. Kerentanan variabel Sosial ekonomi

Keberadaan jalan menunjukkan ketersambungan penggunaan lahan. Keberadaan jalan di wilayah Kabupaten Bintan memiliki jarak yang sebagian besar berdekatan dengan garis pantai. Namun. Keberadaan jalan pada kawasan pesisir utara terdiri dari kategori sangat rendah (1,31%), rendah (0,26%), sedang (1,70%), tinggi (9,40%) dan sangat tinggi (87,33%). Kawasan pesisir timur terdiri dari kategori tinggi (9,74) dan sangat tinggi (90,26%). Keberadaan jalan yang berdekatan di kawasan pesisir menunjukkan kerentanan yang tinggi terhadap kenaikan muka air laut (Noor & Abdul Maulud, 2022). Selain sebagai penghubung aktivitas sosial ekonomi antara wilayah, gangguan pada jaringan jalan akibat bencana alam dapat mengakibatkan terputusnya jalur dan meningkatkan dampak karena berperan penting dalam evakuasi, bantuan pasca bencana, dan pemulihan (Shaji, 2021).

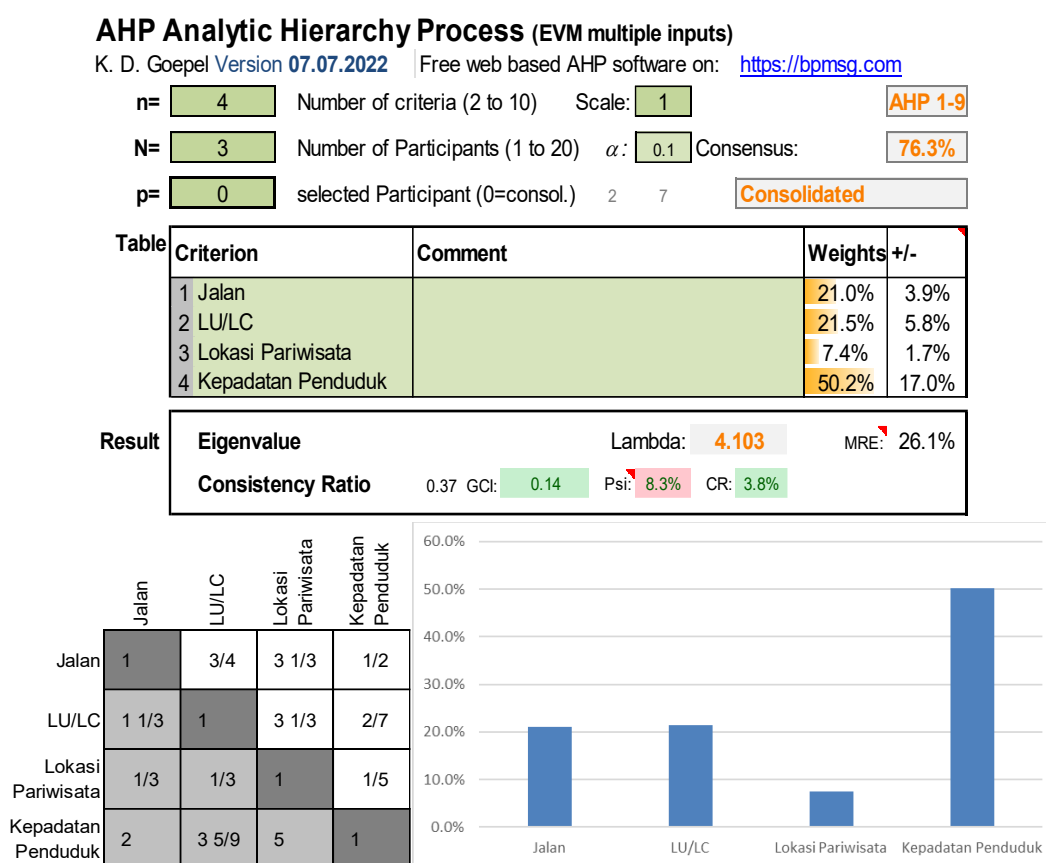
Land use/land cover (LU/LC) merupakan faktor penting dalam menentukan kerentanan kawasan pesisir (Mahapatra et al., 2015). Klasifikasi dilakukan berdasarkan nilai sosial ekonomi yang dapat dirasakan oleh manusia (Hastuti et al., 2022; Mahapatra et al., 2015). LU/LC juga dapat mengidentifikasi aktivitas manusia pada suatu lokasi. LU/LC Kabupaten Bintan didominasi oleh keberadaan hutan. LU/LC kawasan pesisir utara terdiri dari kategori sangat rendah (0,39%), rendah (23,77%), sedang (47,46%) dan sangat tinggi (28,38%). Kawasan pesisir timur terdiri dari kategori rendah (31,59%), sedang (29,96%) dan sangat tinggi (38,58%). Keberadaan lahan terbangun akibat perubahan lahan dan peningkatan penduduk di kawasan pesisir menyebabkan tingkat kerentanan yang lebih tinggi terhadap suatu bencana seperti banjir, gelombang tinggi, genangan dan berbagai bencana lainnya (Sudha Rani et al., 2015)

Pariwisata berperan dalam menggerakkan kegiatan sosial dan ekonomi melalui ketersediaan lapangan kerja dan pendapatan masyarakat (Makmun et al., 2021). Sektor pariwisata merupakan aktivitas sosial ekonomi yang paling dominan pada Kabupaten Bintan (Suhana et al., 2021). Kegiatan pariwisata pada Kabupaten Bintan menunjukkan suatu dampak terhadap alih fungsi menjadi sarana akomodasi yang meningkat setiap tahun. sebesar 80% lahan di pantai telah dimiliki oleh pengembang untuk membangun sarana wisata (Miswanto, 2018). Lokasi wisata sebagian besar berdekatan dengan garis pantai. Di kawasan pesisir utara pulau bintan terdapat 40 lokasi wisata, sedangkan pada kawasan pesisir timur terdapat 38 lokasi yang berdekatan dengan garis pantai dan terdiri dari resor dan wisata pantai. Lokasi yang mendekati garis pantai akan lebih mudah terpapar dan mengalami kerugian secara sosial ekonomi. Selain itu, keberadaan lokasi wisata akan mengakibatkan semakin banyak orang yang berkumpul sehingga menimbulkan kerugian yang cukup besar.

Kepadatan penduduk dinilai berdasarkan dampak potensial yang dari suatu bahaya berdasarkan kerugian ekonomi atau korban jiwa (Lins-de-Barros, 2017; Meddah et al., 2023). Kepadatan pada kawasan pesisir utara yaitu 1267.36 jiwa/km². Jumlah dan kepadatan penduduk tertinggi yaitu pada Tanjung Uban. Kondisi tersebut menunjukkan karakteristik permukiman yang padat dan berdekatan. Kepadatan penduduk kawasan pesisir utara terdiri dari kategori sangat rendah (65,54%), Tinggi (10,78%) dan sangat tinggi (23,68%). Kepadatan pada kawasan pesisir timur yaitu 1638.30 jiwa/km². Jumlah penduduk tertinggi berada pada Kawal, sedangkan kepadatan tertinggi pada Teluk Bakau. Kondisi tersebut menunjukkan Kawal memiliki karakteristik permukiman dengan bangunan yang lebih sedikit. Kepadatan penduduk pada kawasan pesisir timur terdiri dari kategori sangat rendah (31,62%), Tinggi (7,23%) dan sangat tinggi (62,15%). Karakteristik wilayah dengan kepadatan penduduk yang lebih padat menunjukkan potensi kerugian yang lebih besar karena semakin banyak penduduk dan infrastruktur (Shaji, 2021).

Pembobotan pada parameter sosial ekonomi menunjukkan nilai CR <10% sehingga pembobotan pada parameter sosial ekonomi dapat digunakan. Pembobotan pada parameter sosial ekonomi dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai bobot terbesar pada variabel

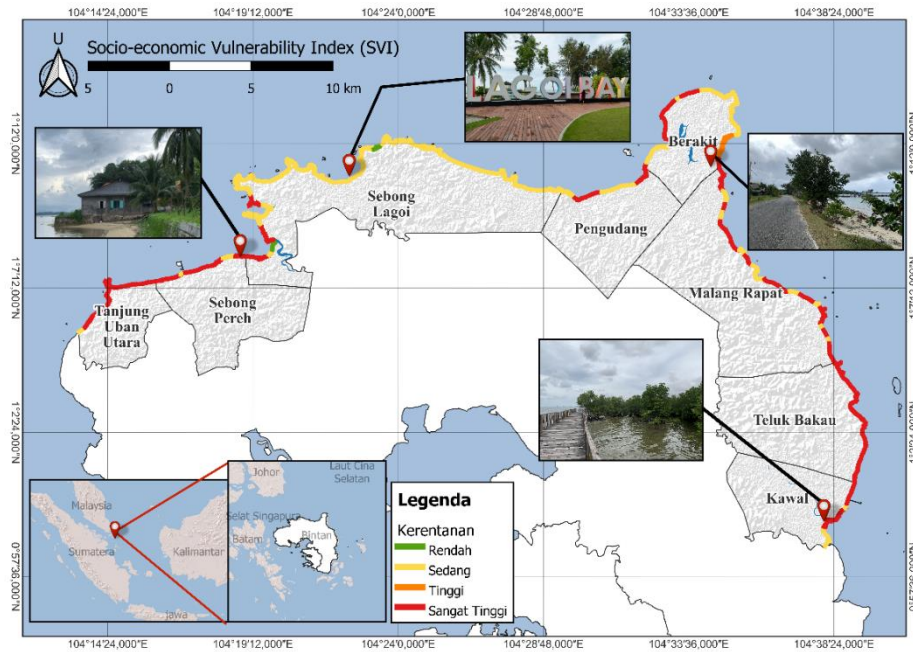
kepadatan penduduk dengan nilai 0,502 (50,2%). Kondisi tersebut menunjukkan kepadatan penduduk memiliki kontribusi tertinggi terhadap tingkat kerentanan. Penelitian Ramnalis et al. (2023) menunjukkan tingkatan pembobotan yang serupa meskipun terdapat penggunaan variabel lain yang berbeda. Kepadatan penduduk menjadi variabel yang penting karena menunjukkan kondisi nilai sosial ekonomi pada suatu wilayah terkait dengan paparan dan kerugian yang dialami akibat kenaikan muka air laut (Helmy Ariffin et al., 2020; Ramnalis et al., 2023).



Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gambar 8. Pembobotan Analytic Hierarchy Process (AHP) Parameter Sosial Ekonomi

Tingkat kerentanan berdasarkan parameter sosial ekonomi menunjukkan di wilayah utara memiliki nilai SVI yaitu 1,65-4,93 yang di dominasi dengan kategori tingkat kerentanan sedang (63,97%). Terdapat beberapa wilayah pada bagian utara dengan tingkat kerentanan rendah (1,57), tinggi (7,61%) dan sangat tinggi (26,85%). Nilai SVI pada timur pulau bintan memiliki nilai 3,54-4,86 yang di dominasi dengan kategori tingkat kerentanan sangat tinggi (64,88%). Terdapat beberapa wilayah pada bagian timur dengan tingkat kerentanan sedang (29,27%) dan tinggi (5,84%). Wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi dan sangat tinggi menunjukkan terdapatnya permukiman dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Tingkat kerentanan sedang menunjukkan tidak terdapatnya kepadatan penduduk namun terdapat jalan yang sangat dekat dengan garis pantai. Tingkat kerentanan sedang bergantung pada kondisi LU/LC yang sebagian besar merupakan hutan. Tingkat kerentanan sosial ekonomi seluruh wilayah penelitian di dominasi oleh sedang (51,19%) dan sangat tinggi (40,11%). Selain itu terdapat wilayah dengan tingkat kerentanan rendah (1,02%) dan tinggi (6,89%). Peta kerentanan sosial ekonomi dapat dilihat pada Gambar 9.



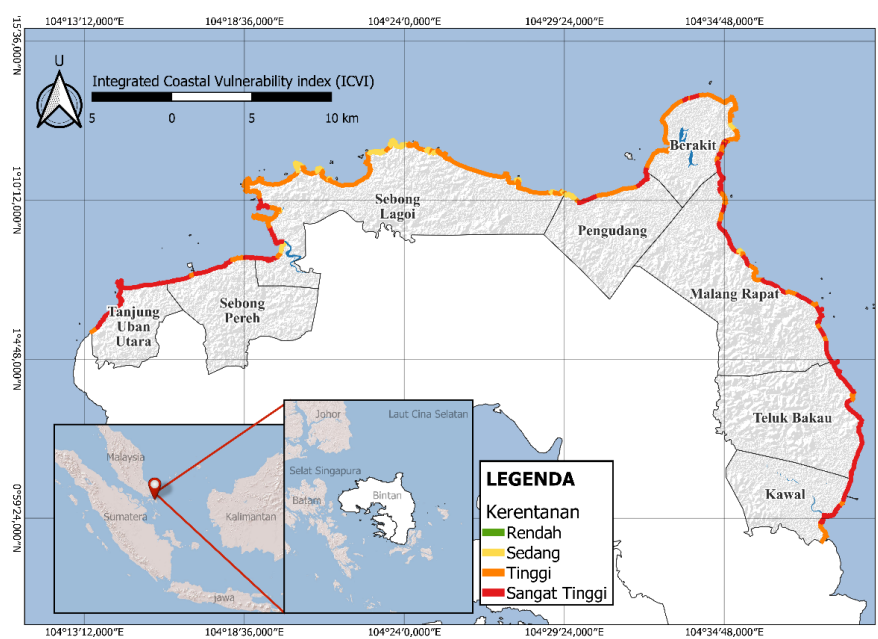
Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gambar 9. Peta Tingkat Kerentanan Sosial Ekonomi Kabupaten Bintan

Tingkat Kerentanan Kawasan Pesisir

Kerentanan wilayah pesisir merupakan tingkatan terhadap suatu sistem dan proses secara fisik dan sosial ekonomi suatu wilayah dalam menghadapi atau merespons suatu ancaman bencana (Pasaribu et al., 2022). Penentuan tingkat kerentanan wilayah dilakukan dengan metode Integrated Coastal Vulnerability Index (ICVI). Tingkat kerentanan wilayah total menunjukkan di wilayah utara memiliki nilai ICVI yaitu 2,38 – 4,65 yang didominasi dengan kategori tingkat kerentanan tinggi (57,83%) dan beberapa wilayah dengan tingkat kerentanan sedang (13,19%), dan sangat tinggi (28,97%). Wilayah timur memiliki nilai ICVI yaitu 2,90 – 4,60 yang didominasi dengan kategori tingkat kerentanan sangat tinggi (66,18%) dan beberapa wilayah dengan tingkat kerentanan sedang (2,19%), tinggi (31,63%). Kategori sangat tinggi menunjukkan keberadaan permukiman dengan kepadatan tinggi yang berada pada kerentanan fisik yang sangat tinggi. Kategori tinggi menunjukkan tidak terdapat permukiman yang padat namun memiliki lokasi wisata dan jalan pada tingkat kerentanan fisik yang tinggi. Kategori sedang menunjukkan hanya terdapat lokasi wisata dan jalan pada kerentanan fisik yang sedang. Tingkat kerentanan wilayah total pada seluruh wilayah penelitian didominasi tingkat kerentanan tinggi (48,30%) dan sangat tinggi (41,98%). Terdapat beberapa wilayah dengan tingkat kerentanan sedang (9,72%). Peta kerentanan sosial ekonomi dapat dilihat pada Gambar 10.

Kawasan pesisir utara menunjukkan sebagian besar kontribusi kerentanan akibat kondisi fisik (71,59%) daripada sosial ekonomi (28,41%). Kawasan pesisir timur menunjukkan sebagian besar kontribusi kerentanan akibat kondisi sosial (63,91%) daripada fisik (36,09%). Berdasarkan kondisi fisik kawasan pesisir utara dan timur memiliki karakteristik hampir serupa. Kondisi sosial ekonomi kawasan pesisir timur memiliki nilai yang lebih tinggi. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh keberadaan lokasi permukiman dengan kepadatan tinggi yang berada dekat dengan garis serta terletak hampir di sepanjang kawasan pesisir.



Gambar 10. Peta Tingkat Kerentanan Wilayah Kabupaten Bintan

Pengelolaan Kawasan pesisir

Manajemen pengelolaan lingkungan di kawasan pesisir harus dilandasi prinsip perlindungan dan pelestarian lingkungan sehingga pemanfaatan wilayah tidak mengakibatkan kerusakan dan peningkatan kerentanan dalam menghadapi bencana (Angkotasari et al., 2017). Strategi pengelolaan dilakukan sesuai dengan kelas kerentanan pada masing-masing wilayah. Wilayah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi menunjukkan keberadaan permukiman dengan kepadatan tinggi yang berada pada kondisi fisik yang rentan terhadap kenaikan muka air laut. Pengelolaan lingkungan dilakukan dengan integrasi pola protektif dan pola akomodatif. Pola protektif dapat dilakukan dengan pembuatan seawall, peninggian kawasan dan pembangunan zona penyangga. Pola akomodatif dilakukan dengan pembuatan lokasi evakuasi, penyuluhan dan penyadaran masyarakat terkait kenaikan muka air laut, simulasi penanggulangan banjir rob dan meningkatkan kelembagaan siaga bencana.

Wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi memiliki kerentanan fisik yang lebih tinggi. Wilayah dengan ini memiliki karakteristik tanpa permukiman yang padat namun memiliki nilai sosial ekonomi berupa keberadaan lokasi wisata dan jalan yang berdekatan dengan garis pantai. Pengelolaan lingkungan dapat dilakukan melalui pola protektif. Penerapan pola protektif harus disesuaikan dengan pemanfaatan wilayah yang sebagian besar sebagai pariwisata yaitu dengan pembuatan seawall, pemecah ombak dan penanaman mangrove. Selain itu dalam mendukung pola protektif dapat melibatkan masyarakat dalam menjaga kelestarian mangrove melalui penyuluhan terhadap pentingnya pelestarian mangrove serta penanaman kembali terhadap mangrove yang telah rusak.

Wilayah dengan tingkat kerentanan sedang memiliki tingkat kerentanan fisik dan sosial ekonomi yang hampir seimbang. Perbandingan antara PVI dan SVI menunjukkan bahwa PVI sedikit lebih dominan. Wilayah dengan tingkat kerentanan sedang menunjukkan tidak terdapatnya permukiman padat, namun memiliki aktivitas wisata. Pengelolaan lingkungan dilakukan melalui pola akomodatif dan mundur. Pengelolaan lingkungan dilakukan dengan penerapan sempadan pantai dalam pengembangan wisata resor dan bangunan lainnya, peningkatan sistem drainase pada lokasi wisata, peningkatan sistem

peramalan dan peringatan dini terhadap gelombang tinggi dan banjir rob, serta penerapan dan perubahan prinsip pariwisata menjadi ecotourism bahari.

Penerapan strategi akomodatif dan mundur dapat diintegrasikan dengan strategi penggunaan ekosistem (Use of Ecosystem strategies). Penggunaan ekosistem dalam menghadapi kenaikan muka air laut dapat menurunkan pengaruh dari gelombang serta pertumbuhannya dapat mengimbangi kenaikan muka air laut melalui penumpukan sedimen. Strategi tersebut juga dapat memberikan manfaat lain di luar perlindungan kawasan pesisir seperti mendukung pariwisata, perikanan dan mengurangi konsentrasi gas rumah kaca (Gracia et al., 2018). Keberhasilan penerapan strategi dengan memanfaatkan ekosistem sangat bergantung pada kondisi kawasan pesisir secara fisik dan sosial. Secara fisik kondisi yang dapat memengaruhi terdiri dari proses hidrodinamika kelautan, proses erosi dan kualitas lingkungan perairan, sedangkan secara sosial terkait dengan aktivitas manusia terhadap suatu ekosistem tersebut (Gracia et al., 2018). Oleh sebab itu, penerapannya dapat dilakukan dalam suatu kerangka konsep Integrated Coastal Zone Management (ICZM)

Integrated Coastal Zone Management (ICZM) merupakan kegiatan dan proses yang bersifat dinamis dalam pemanfaatan dan pengelolaan kawasan pesisir secara berkelanjutan sesuai dengan kondisi lingkungan secara fisik dan sosial ekonomi serta melibatkan berbagai pihak (Ablain et al., 2015; Ramdhan, 2021). Kurangnya penerapan konsep tersebut dapat dilihat berdasarkan kondisi lapangan dengan adanya beberapa bangunan yang tidak memperhatikan kesesuaian lahan. Berdasarkan penelitian Alamsah & Hidayah, (2023) di wilayah Tanjung Uban Utara terdapat 201 (68,14%) bangunan yang melanggar sempadan pantai. Secara garis besar penerapan konsep sebagai dasar strategi pada masing-masing wilayah dengan tingkat kerentanan tertentu berdasarkan ekosistem, sosial dan kelembagaan (Ramdhan, 2021). Oleh sebab itu, perumusan strategi pengelolaan lingkungan tidak hanya terbatas dalam tahap penyusunan namun juga dalam pelaksanaan dan pengawasan.

Kesimpulan

Tingkat kerentanan fisik kawasan pesisir Kabupaten Bintan terdiri dari kategori sedang, tinggi dan sangat tinggi dengan pengaruh terbesar oleh bentuk lahan dan elevasi. Sebagian besar kawasan pesisir Kabupaten Bintan (80,45%) berada pada kerentanan fisik yang sangat tinggi. Semakin tinggi tingkat kerentanan fisik menunjukkan bentuk lahan yang lebih rentan seperti lahan berpasir dengan elevasi yang semakin rendah. Tingkat kerentanan sosial ekonomi terdiri dari kategori sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah dengan kontribusi akibat kepadatan penduduk. Tingkat kerentanan sosial ekonomi yang sedang (51,19%) dan sangat tinggi (40,11%) mendominasi di kawasan pesisir Kabupaten Bintan. Wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi dan sangat tinggi menunjukkan terdapatnya permukiman dengan kepadatan penduduk yang tinggi. Semakin tinggi tingkat kerentanan sosial ekonomi menunjukkan semakin tinggi nilai dan sistem sosial ekonomi. Tingkat kerentanan kawasan pesisir Kabupaten Bintan memiliki kategori tingkat kerentanan tinggi (48,30%) dan sangat tinggi (41,98%). Sebagian besar kawasan pesisir Kabupaten Bintan memiliki kerentanan kawasan pesisir tinggi yang menunjukkan tidak terdapat permukiman yang padat namun memiliki lokasi wisata dan infrastruktur jalan di wilayah dengan kondisi fisik yang rentan. Pendekatan penilaian kerentanan yang menggabungkan kerentanan fisik dan sosial ekonomi memberikan gambaran yang lebih komprehensif. Hasil penelitian dapat memberikan dasar yang kuat terhadap kebijakan dalam merancang strategi pengelolaan kawasan pesisir yang lebih sesuai dengan tingkat kerentanan. Strategi yang dapat dilakukan yaitu protektif, akomodatif, dan mundur diintegrasikan melalui Integrated Coastal Zone Management (ICZM) dengan memperhatikan kondisi ekosistem, sosial dan kelembagaan.

Daftar Pustaka

- Ablain, M., Cazenave, A., Larnicol, G., Balmaseda, M., Cipollini, P., Faugère, Y., ... Benveniste, J. (2015). Improved sea level record over the satellite altimetry era (1993-2010) from the Climate Change Initiative project. *Ocean Science*, 11(1), 67–82. <https://doi.org/10.5194/OS-11-67-2015>
- Alamsah, M., & Hidayah, U. (2023). Evaluasi Penggunaan Lahan Di Kawasan Sempadan Pantai Tanjung Uban Kecamatan Bintan Utara. *Plano Madani: Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 12(1), 75–84. <https://doi.org/10.24252/JPM.V12I1.41237>
- Alwi, M., & Mutaqin, B. W. (2022). Geospatial mapping of tsunami susceptibility in Parangtritis coastal area of Yogyakarta, Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences* 2022 15:15, 15(15), 1–15. <https://doi.org/10.1007/S12517-022-10608-2>
- Angkotasari, A. M., Nurjaya, W., & Natih, N. M. N. (2017). Analisis Perubahan Garis Pantai Di Pantai Barat Daya Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 3(2), 11–22. <https://doi.org/10.24319/jtpk.3.11-22>
- Arif, M., Hendri, A., Suprayogi, I., Jurusan Teknik Sipil, M., Teknik, F., & Riau, U. (2019). Analisis Pasang Surut Di Pantai Dumai Menggunakan Metode Least Square 15 Piantan. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Dan Sains*, 6(0), 1–9. Retrieved from <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/23274>
- Ariffin, E. H., Mathew, M. J., Roslee, A., Ismailuddin, A., Yun, L. S., Putra, A. B., ... Lee, L. H. (2023). A multi-hazards coastal vulnerability index of the east coast of Peninsular Malaysia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 84, 103484. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2022.103484>
- Armenio, E., De Serio, F., & Mossa, M. (2017). Analysis of data characterizing tide and current fluxes in coastal basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3441–3454. <https://doi.org/10.5194/HESS-21-3441-2017>
- Charuka, B., Angnuureng, D. B., Brempong, E. K., Agblort, S. K. M., & Antwi Agyakwa, K. T. (2023). Assessment of the integrated coastal vulnerability index of Ghana toward future coastal infrastructure investment plans. *Ocean & Coastal Management*, 244, 106804. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2023.106804>
- De Serio, F., Armenio, E., Mossa, M., & Petrillo, A. F. (2018). How to Define Priorities in Coastal Vulnerability Assessment. *Geosciences* 2018, Vol. 8, Page 415, 8(11), 415. <https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES8110415>
- Fitton, J. M., Addo, K. A., Jayson-Quashigah, P. N., Nagy, G. J., Gutiérrez, O., Panario, D., ... Stempel, P. (2021). Challenges to climate change adaptation in coastal small towns: Examples from Ghana, Uruguay, Finland, Denmark, and Alaska. *Ocean & Coastal Management*, 212, 105787. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2021.105787>
- Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., Oakley, J. A., & Williams, A. T. (2018). Use of ecosystems in coastal erosion management. *Ocean & Coastal Management*, 156, 277–289. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2017.07.009>
- 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), 1–14. <https://doi.org/10.14710/jwl.6.1.1-14>
- Hastuti, A. W., Nagai, M., & Suniada, K. I. (2022). Coastal Vulnerability Assessment of Bali Province, Indonesia Using Remote Sensing and GIS Approaches. *Remote Sensing* 2022, Vol. 14, Page 4409, 14(17), 4409. <https://doi.org/10.3390/RS14174409>
- Helmy Ariffin, E., Syakir Zufayri Zulfakar, M., Shahida Redzuan, N., Joseph Mathew, M., Fadzil Akhir, M., Bakhiah Baharim, N., ... Aieni Mokhtar, N. (2020). Evaluating The Effects Of Beach Nourishment On Littoral Morphodynamics At Kuala Nerus, Terengganu (Malaysia). *Penerbit UMT Journal of Sustainability Science and Management*, 15, 29–42. <https://doi.org/10.46754/jssm.2020.07.005>
- Hidayah, Z., Ilhami, S. A. A., As-Syakur, A., Wiyanto, D. B., & Wirayuhanto, H. (2023). Pemodelan Spasial Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Pesisir Selatan Kabupaten Tulungagung Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Nasional*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.15578/JKN.V18I1.10796>
- husain, firman, Paroka, D., & Rahman, S. (2021). Penggunaan Pemecah Gelombang Terendam Untuk Mengurangi Abrasi Di Pulau Lamputang. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik*, 3(2), 65–70. <https://doi.org/10.24853/JPMT.3.2.65-70>

- Imran, Z., Sugiarto, S. W., & Muhammad, A. N. (2020). Coastal vulnerability index aftermath tsunami in Palu Bay, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 420(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/420/1/012014>
- IPCC. (2023). : *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva.
- Joesidawati, M. I. (2016). Penilaian Kerentanan Pantai Di Wilayah pesisir Kabupaten Tuban Terhadap Ancaman Kerusakan. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), 188–198. <https://doi.org/10.21107/jk.v9i2.1667>
- Lins-de-Barros, F. M. (2017). Integrated coastal vulnerability assessment: A methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical and environmental dimensions - Case study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. *Ocean & Coastal Management*, 149, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.OCECOAMAN.2017.09.007>
- Maanan, M., Maanan, M., Rueff, H., Adouk, N., Zourarah, B., & Rhinane, H. (2018). Assess the human and environmental vulnerability for coastal hazard by using a multi-criteria decision analysis. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(6), 1642–1658. <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1421452>
- Mahapatra, M., Ramakrishnan, R., & Rajawat, A. S. (2015). Coastal vulnerability assessment using analytical hierarchical process for South Gujarat coast, India. *Natural Hazards*, 76(1), 139–159. <https://doi.org/10.1007/S11069-014-1491-Y/TABLES/12>
- Makmun, M. D. M., Muryani, C., & Wijayanti, P. (2021). The tourism impact on the social economic life of community in Ngargoyoso Sub-district, Karanganyar Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 683(1), 012114. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/683/1/012114>
- Meddah, R. Y., Ghodbani, T., Senouci, R., Rabehi, W., Duarte, L., & Teodoro, A. C. (2023). Estimation of the Coastal Vulnerability Index Using Multi-Criteria Decision Making: The Coastal Social–Ecological System of Rachgoun, Western Algeria. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 12838*, 15(17), 12838. <https://doi.org/10.3390/SU151712838>
- Miswanto, S. (2018). Dampak Pembangunan Industri Pariwisata Terhadap Alih Fungsi Lahan (Studi Tentang Kehidupan Sosial Budaya Masyarakat Desa Teluk Bakau, Kecamatan Gunung Kijang, Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau). *Jurnal Nasional Pariwisata*, 10(1), 14. <https://doi.org/10.22146/JNP.59463>
- Mondal, M., Biswas, A., Haldar, S., Mandal, S., Mandal, P., Bhattacharya, S., & Paul, S. (2022). Climate change, multi-hazards and society: An empirical study on the coastal community of Indian Sundarban. *Natural Hazards Research*, 2(2), 84–96. <https://doi.org/10.1016/J.NHRES.2022.04.002>
- Nadya, & Salim, A. (2023). Pengaruh Sea Level Rise di Wilayah Perkotaan Indonesia. *Riset Sains Dan Teknologi Kelautan*, 6(1), 52–55. <https://doi.org/10.62012/SENSISTEK.V6i1.24248>
- Noor, N. M., & Abdul Maulud, K. N. (2022). Coastal Vulnerability: A Brief Review on Integrated Assessment in Southeast Asia. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 595. <https://doi.org/10.3390/jmse10050595>
- Oktaviani, L., Rahmawati, A., Muta, & Khalifa, A. (2023). Pemetaan Kerentanan Wilayah pesisir Terhadap Kenaikan Muka Air Laut Di Kabupaten Lebak Banten. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 15(1), 49–63. <https://doi.org/10.29244/JITKT.V15i1.43870>
- Pamungkas, A. (2018). Karakteristik Parameter Oseanografi (Pasang-Surut, Arus, dan Gelombang) di Perairan Utara dan Selatan Pulau Bangka. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1), 51–58. <https://doi.org/10.14710/BULOMA.V7i1.19042>
- Pasaribu, R. P., Kabul, P. A., Waluyo, & Devi, A. F. (2022). Pemetaan Tingkat Kerentanan Pesisir Dengan Metode CVI (Coastal Vulnerability Index) Di Kabupaten Indramayu. *Maspari Journal : Marine Science Research*, 14(2), 133–145. <https://doi.org/10.56064/MASPARI.V14i2.19007>
- Pramanik, M. K., Biswas, S. S., Mondal, B., & Pal, R. (2016). Coastal vulnerability assessment of the predicted sea level rise in the coastal zone of Krishna–Godavari delta region, Andhra Pradesh, east coast of India. *Environment, Development and Sustainability*, 18(6), 1635–1655. <https://doi.org/10.1007/S10668-015-9708-0/FIGURES/9>
- Primasti, T. P. G., Hariyadi, H., Rochaddi, B., Widada, S., & widiaratih, rikha. (2021). Pemantauan Kerentanan Fisik di Pesisir Kabupaten Demak (Studi Kasus Perubahan Garis Pantai). *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), 44–54. <https://doi.org/10.14710/IJOCE.V3i1.9997>
- Putra, A. R., & Silfiana, S. (2020). Resiko Kerentanan Masyarakat Perkotaan Terhadap Bahaya Banjir di Kelurahan Margagiri, Kecamatan Bojonegara, Kabupaten Serang. *Jurnal Kebijakan Pembangunan Daerah*, 4(1), 62–

76. <https://doi.org/10.37950/JKPD.V4I1.92>
- Ramdhan, M. (2021). Dampak dan Adaptasi Kerentanan Pesisir di Pantai Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. *Indonesian Journal of Earth Sciences*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.52562/INJOES.V1I1.15>
- Ramnalis, P., Batzakis, D.-V., & Karymbalis, E. (2023). Applying two methodologies of an integrated coastal vulnerability index (ICVI) to future sea-level rise: Case study: southern coast of the Gulf of Corinth, Greece. *Geoadria*, 28(1), 7–24. <https://doi.org/10.15291/GEOADRIA.4234>
- Rumahorbo, B. T., Warpur, M., Tanjung, R. H. R., & Hamuna, B. (2023). Spatial Analysis of Coastal Vulnerability Index to Sea Level Rise in Biak Numfor Regency (Indonesia). *Journal of Ecological Engineering*, 24(3), 113–125. <https://doi.org/10.12911/22998993/157539>
- Sakka, S., Paharuddin, P., & Rupang, E. (2014). Analisis Kerentanan Pantai Berdasarkan Coastal Vulnerability Index (CVI) Di Pantai Kota Makassar. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 24(3), 49–53. <https://doi.org/10.35911/TORANI.V24I3.237>
- Setianingsih, W., Sasmito, B., & Bashit, N. (2018). Analisis Sea Level Rise Di Laut Utara Jawa Terhadap Perubahan Garis Pantai Wilayah Demak Pada Tahun 2006-2016. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(2), 53–64. <https://doi.org/10.14710/JGUNDIP.2018.20657>
- Sekovski, I., Del Río, L., & Armaroli, C. (2020). Development of a coastal vulnerability index using analytical hierarchy process and application to Ravenna province (Italy). *Ocean & Coastal Management*, 183, 104982. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2019.104982>
- Setiadi, S. S. M. T. I., Aryanto, N., & Nurdin, N. (2021). Delineasi Batuan Granit dan Sedimen Daerah Bintan dan Sekitarnya, Kepulauan Riau Berdasarkan Analisis Data Gayaberat. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 22(3), 143–152. <https://doi.org/10.33332/JGSM.GEOLOGI.V22I3.594>
- Shaji, J. (2021). Evaluating social vulnerability of people inhabiting a tropical coast in Kerala, south west coast of India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56, 102130. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2021.102130>
- Sudha Rani, N. N. V., Satyanarayana, A. N. V., & Bhaskaran, P. K. (2015). Coastal vulnerability assessment studies over India: a review. *Natural Hazards*, 77(1), 405–428. <https://doi.org/10.1007/S11069-015-1597-X/TABLES/7>
- Suhana, M. P., Shafitri, L. F., Putra, R. D., Nugraha, A. H., Koenawan, C. J., Idris, F., ... Syakti, A. D. (2021). Characteristics of Sea Waves Condition at The Northern and Eastern of Bintan Island within Period of 2015-2019. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 695(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/695/1/012038>
- Suhana, Mario Putra, Putra, R. D., Shafitri, L. F., Muliadi, M., Khairunnisa, K., Nurjaya, I. W., & Natih, N. M. N. (2021). Tingkat Kerentanan Pesisir Di Utara Dan Timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau Tahun 2020. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 11(1), 11–27. <https://doi.org/10.24319/JTPK.11.11-27>
- Sulaiha, F., Handoko, E. Y., & Yuwono, Y. (2020). Studi Variasi Permukaan Laut Di Wilayah Laut Jawa Dan Laut China Selatan Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason. *Geoid*, 15(2), 172–178. <https://doi.org/10.12962/J24423998.V15I2.6953>
- Tano, R. A., Aman, A., Toualy, E., Kouadio, Y. K., François-Xavier, B. B. D., Addo, K. A., ... Addo, K. A. (2018). Development of an Integrated Coastal Vulnerability Index for the Ivorian Coast in West Africa. *Journal of Environmental Protection*, 9(11), 1171–1184. <https://doi.org/10.4236/JEP.2018.911073>
- Ulum, M., & Khomsin, K. (2013). Perbandingan Akurasi Prediksi Pasang Surut Antara Metode Admiralty Dan Metode Least Square. *Geoid*, 9(1), 65–72. <https://doi.org/10.12962/J24423998.V9I1.746>
- Witasari, Y., & Prasetyo, S. (2020). Adaptasi Masyarakat Nelayan Terhadap Kerentanan Fisik Pesisir Pulau Bintan. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 4(3), 428–435. <https://doi.org/10.21776/UB.JFMR.2020.004.03.16>
- Yanti, V., Meilianda, E., & Syamsidik, S. (2019). Analisis Pengaruh Parameter Fisik Terhadap Indeks Kerentanan Pantai (CVI) di Kawasan Pantai Banda Aceh dan Sekitarnya (Studi Kasus Pada Kawasan Ujung Puncu Sampai Ujung Batee). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 2(2), 123–133. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v2i2.13212>