

Studi Penilaian Kerentanan Elevasi dan Kemiringan Pesisir Pulau Biak Terhadap Kenaikan Muka Air Laut

Baigo Hamuna

Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Ilmu Kelautan dan Perikanan, FMIPA Universitas Cenderawasih. Jln. Kamp.
Wolker. Waena. Papua
e-mail korespondensi: bhamuna@yahoo.com.sg

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 18 Agustus 2025
Disetujui : 12 November 2025
Terbit Online : 30 November 2025

Kata Kunci:

Elevasi pesisir,
Kemiringan pesisir,
Digital Elevation Model,
Data DEMNAS,
Kerentanan pesisir

ABSTRAK

Penilaian kerentanan wilayah pesisir terhadap kenaikan permukaan laut merupakan salah satu aspek penting dalam menilai dampak perubahan iklim. Studi ini bertujuan untuk menganalisis dan memetakan secara spasial tingkat kerentanan elevasi dan kemiringan wilayah pesisir Pulau Biak (Kabupaten Biak Numfor) terhadap ancaman kenaikan permukaan laut. Area studi dibatasi hingga 500 m dari garis pantai ke arah daratan (383 grid cells). Kami menggunakan data Digital Elevation Model (DEM) dari DEM-Nasional (DEMNAS) yang diproduksi oleh Badan Informasi Geospasial, Indonesia untuk menentukan kerentanan elevasi dan kemiringan pesisir. Perangkat lunak ArcMap 10.8.1 digunakan untuk pengolahan data DEM dan analisis spasial kerentanan pesisir. Hasil studi menunjukkan distribusi spasial tingkat kerentanan pesisir yang berbeda antara variabel elevasi dan kemiringan pesisir. Tingkat kerentanan berdasarkan variabel elevasi pesisir antara lain kategori risiko sangat rendah 52,52% (127,08 km), kategori risiko rendah 20,96% (50,71 km), kategori sedang 17,21% (41,63 km), kategori risiko tinggi 6,71% (12,22 km) dan kategori risiko sangat tinggi 2,62% (6,33 km). Adapun variabel kemiringan pesisir menghasilkan tingkat kerentanan risiko sangat rendah 26,11% (63,19 km), risiko rendah 33,96% (82,19 km), risiko sedang 20,04% (48,49 km), risiko tinggi 18,37% (44,46 km) dan risiko sangat tinggi 1,51% (3,66 km). Variabel kemiringan pesisir memberikan tingkat kerentanan yang lebih tinggi dibandingkan elevasi pesisir. Namun, kedua variabel tersebut secara bersama memberikan tingkat kerentanan yang tinggi untuk wilayah pesisir Distrik Biak Kota dan tingkat kerentanan yang rendah untuk wilayah pesisir Distrik Yendidori dan Bondifuar

PENDAHULUAN

Pesisir dan pulau-pulau kecil adalah wilayah yang strategis, tetapi juga sangat rentan terhadap perubahan lingkungan dan aktivitas manusia. Saat ini, banyak wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di dunia sedang menghadapi berbagai tekanan, baik sebagai akibat dari perkembangan pembangunan maupun akibat terjadinya perubahan iklim. Konsekuensinya, pengelola wilayah pesisir perlu merencanakan dan mengelola wilayah pesisir sesuai dengan kondisi alamiahnya dan berfokus pada penyelamatan ekosistemnya. Perubahan iklim dapat berdampak serius terhadap wilayah pesisir, baik aspek fisik, sosial, dan ekonomi. Salah satu dampak perubahan iklim akibat proses penamasan global yang menjadi masalah penting di wilayah pesisir adalah fenomena kenaikan permukaan laut (Nicholls, 1998; Marfai dan King, 2008; Triana and Wahyudi, 2020). Kerentanan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dapat diartikan sebagai kemudahan suatu sistem pesisir dan pulau-pulau kecil untuk rusak, dimana wilayah tersebut sangat rawan dan rentan terhadap bencana pesisir, termasuk kenaikan permukaan laut (Mimura, 1999). Kenaikan permukaan laut akan memiliki

dampak negatif yang luas, tidak hanya bagi lingkungan saja namun juga sangat merugikan dari sisi sosial dan ekonomi, terutama di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (Marfai dan King, 2008). Kenaikan permukaan laut akan memiliki efek negatif yang signifikan terhadap masyarakat dan ekonomi, terutama di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (Mars, 1999).

Fenomena kenaikan permukaan laut telah ditunjukkan pada pengamatan pasang surut di seluruh dunia. Kenaikan permukaan laut tersebut disebabkan oleh adanya peningkatan temperatur global yang mencairkan massa es, terutama di Antartika dan memperluas massa air laut (Gonzalez et al., 2018). Secara global, prediksi kenaikan permukaan laut yang diproyeksikan dengan mengamati tide gauges adalah 1,80 mm/tahun selama 70 tahun terakhir (Douglas, 2001). Menurut Wuebbles et al. (2017), diprediksi akan terjadi Global Mean Sea Level (GMSL) yang akan meningkat 9-18 cm pada tahun 2030, 15-38 cm pada tahun 2050 dan 30-130 cm pada tahun 2100. Menurut laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (2013), diprediksi akan terjadi peningkatan tinggi muka air laut sekitar 10-15% di wilayah

pesisir Asia Tenggara. Peningkatan tersebut lebih tinggi dari rata-rata kenaikan muka air laut global. Secara khusus, berbagai studi menggunakan data satelit altimeter menyimpulkan telah terjadi peningkatan tinggi muka air laut di Indonesia dengan peningkatan yang berkisar 0,72-14,10 mm/tahun (Susanto et al., 2010; Zikra et al., 2015; Handoko et al., 2019). Di perairan Indonesia, selain akibat perubahan iklim global, fenomena alam yang ekstrim dapat memiliki keterkaitan dengan variabilitas permukaan air laut dan secara spasial sangat homogen dalam skala tahunan dan dekade, termasuk El Niño dan La Niña (Fenoglio-Marc et al., 2012).

Proyeksi kenaikan permukaan laut telah mendorong banyak studi untuk mengidentifikasi potensi dampaknya dan menentukan variabel-variabel penting yang berkontribusi terhadap kerentanan wilayah pesisir terhadap kenaikan permukaan laut (Pendleton et al., 2010). Beberapa variabel penting yang berperan dalam menilai tingkat kerentanan pesisir terhadap kenaikan tinggi permukaan laut, diantaranya elevasi dan kemiringan wilayah pesisir yang memiliki nilai perubahan yang konstan. Elevasi wilayah pesisir merupakan tingkat ketinggian di atas permukaan laut rata-rata. Ini sangat terkait dengan seberapa lemah wilayah pesisir terhadap bahaya genangan air laut (Gornitd, 1991; Shaw et al., 1998; Hamuna et al., 2018). Begitupun kemiringan pantai yang sangat berkaitan erat dengan risiko relatif genangan, tetapi juga menjadi indikator terhadap potensi kecepatan mundurnya garis pantai (Thieler and Hammar-Klose, 2000; Nageswara Rao et al., 2008; Gaki-Papanastassiou et al., 2010; Lopez Royo et al., 2016; Koroglu et al., 2019). Banyak studi yang hanya menggunakan salah satu dari keduanya untuk penilaian kerentanan wilayah pesisir. Walaupun elevasi dan kemiringan wilayah memiliki pendekatan yang relatif sama (kemiringan pantai sebagai rasio antara elevasi dan lebar pantai), tetapi akan memberikan penilaian kerentanan pesisir yang berbeda dan dapat memberikan kemudahan untuk penilaian kerentanan jika dilakukan secara terpisah (Koroglu et al., 2019). Dengan demikian, kajian tentang kerentanan variabel elevasi dan kemiringan wilayah pesisir secara spasial sangat penting, sehingga wilayah pesisir yang akan

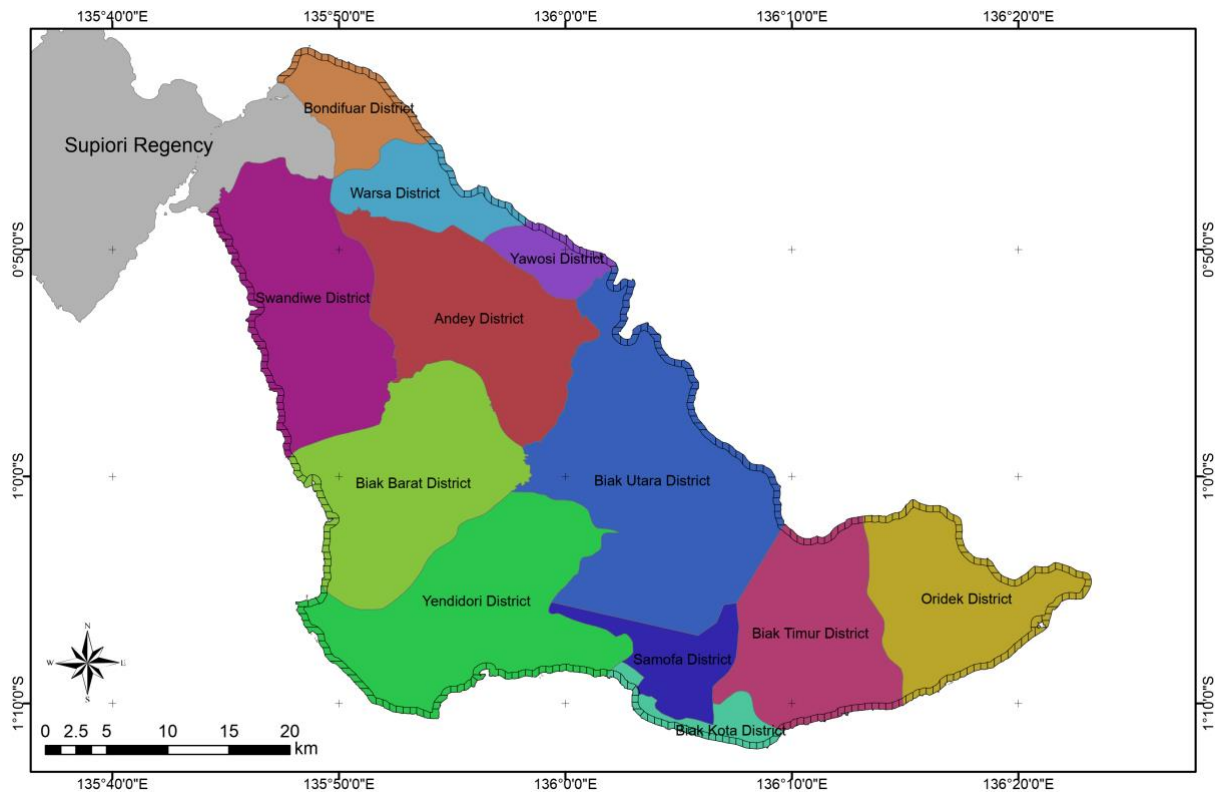
terancam dapat diidentifikasi dan diestimasi lebih awal jika terjadi peningkatan permukaan laut di masa mendatang.

Pulau Biak merupakan salah satu pulau kecil di Indonesia yang terletak di sebelah utara Pulau Papua (Provinsi Papua). Secara geografis, Pulau Biak berada di Samudera Pasifik, sehingga secara tidak langsung termasuk pulau yang rentan terhadap bencana pesisir. Hasil studi Rumahorbo et al. (2022) menegaskan bahwa garis pantai Pulau Biak cenderung mengalami ancaman, dimana dalam beberapa tahun terakhir telah mengalami abrasi - 6,65 sampai -13,16 m dengan rate abrasi berkisar - 0,76 sampai -1,50 m/tahun. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi untuk mengkaji variabel pesisir yang lain untuk menilai kerentanan wilayah pesisir Pulau Biak. Studi ini bertujuan untuk menganalisis dan memetakan secara spasial tingkat kerentanan elevasi dan kemiringan wilayah pesisir Pulau Biak (Kabupaten Biak Numfor) terhadap ancaman kenaikan permukaan laut. Hasil studi ini diharapkan dapat menyajikan informasi dasar secara spasial terkait wilayah pesisir Pulau Biak yang rentan dan dapat digunakan untuk membantu dalam proses perencanaan pengelolaan pesisir dan mitigasi dampak perubahan iklim.

BAHAN DAN METODE

Deskripsi Area Studi

Pulau Biak terletak di utara Pulau Papua (Indonesia) dan juga berada di perairan Samudera Pasifik. Selain itu, Pulau Biak terletak tepat di Jalur Patahan Sorong, yaitu jalur gempa yang memanjang dari Kepulauan Sula di Maluku hingga Papua. Pada studi ini, area studi hanya di wilayah pesisir Kabupaten Biak Numfor. Wilayah pesisir Kabupaten Biak Numfor kaya akan sumberdaya alam pesisir, seperti terumbu karang dan ikan karang (Rumkore et al., 2019), mangrove (Tablaseray et al., 2018; Hamuna et al., 2019), padang lamun (Dewi et al., 2017) dan potensi pariwisata pesisir dan laut di sepanjang wilayah pesisir (Rumpaidus et al., 2019). Secara administrasi, Kabupaten Biak Numfor terdiri dari 19 distrik, namun hanya 12 distrik yang berada di Pulau Biak. Area studi hanya di distrik-distrik yang memiliki wilayah pesisir (10 distrik; kecuali Distrik Samofa dan Distrik Andey) (Gambar 1). Adapun area studi dibatasi hingga 500 m dari garis pantai dan terbagi menjadi 383 grid cells.



Gambar 1. Peta lokasi studi di wilayah pesisir Pulau Biak (Kabupaten Biak Numfor) dan grid cell batas area studi sejauh 500 m dari garis pantai

Akuisisi dan Pengolahan Data Digital Elevation Model

Digital Elevation Model (DEM) adalah model digital yang merepresentasikan permukaan topografi bumi (tanah kosong) tidak termasuk bangunan, pohon, dan objek permukaan lainnya (United States Geological Survey, 2010). DEM dapat memberikan data atau informasi elevasi dan kemiringan suatu wilayah yang memudahkan dalam proses interpretasi. Pada studi ini, data elevasi dan kemiringan Pulau Biak diperoleh dari DEM-Nasional (DEMNAS) yang diproduksi oleh Badan Informasi Geospasial yang dapat didownload dari website <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas>.

DEMNAS dihasilkan dari beberapa sumber data, antara lain data IFSAR (resolusi 5 m), TERRASAR-X (resolusi 5 m), dan ALOS PALSAR (resolusi 11.25 m). DEMNAS menggunakan datum vertikal EGM2008 dengan resolusi spasial adalah 0.27-arcsecond dalam format data Geotiff 32bit float.

Setelah data DEM didownload, dilakukan penggabungan (mosaic citra) dari 6 file data DEM sehingga menjadi 1 file DEM. Hasil mosaic tersebut disimpan menggunakan sistem proyeksi Universal Transverse Mercator (UTM53S) dan datum World Geodetic System (WGS84). Data DEM dipotong sesuai area studi menggunakan batas wilayah Kabupaten Biak Numfor (format Shp.) dari website

<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>.

Selanjutnya, data DEM dikonversi menjadi polygon feature (format Shp.) untuk menghasilkan data elevasi dan kemiringan. Seluruh proses pengolahan data DEM hingga menghasilkan peta spasial kerentanan elevasi dan kemiringan menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8.1.

Analisis Data

Banyak kriteria kerentanan wilayah pesisir berdasarkan variabel elevasi dan kemiringan pesisir yang telah usulkan oleh para peneliti. Pada studi ini, penentuan tingkat kerentanan elevasi di wilayah pesisir mengacu pada Gornitz (1991), sedangkan kerentanan kemiringan pesisir mengacu pada Pendleton et al. (2010). Kedua referensi tersebut lebih ideal diterapkan pada studi ini karena sesuai dengan lokasi area studi yang berada di Samudera Pasifik dan merupakan oceanic island. Tingkat kerentanan dikelompokkan menjadi lima kategori yang mengacu pada perhitungan Coastal Vulnerability Index (Tabel 1). Grid cells 500 m × 500 m (yang dipotong oleh garis pantai hingga 500 m dari garis pantai) digunakan untuk analisis spasial tingkat kerentanan elevasi dan kemiringan wilayah pesisir.

Tabel 1. Kategori tingkat kerentanan pesisir berdasarkan variabel elevasi dan kemiringan pesisir

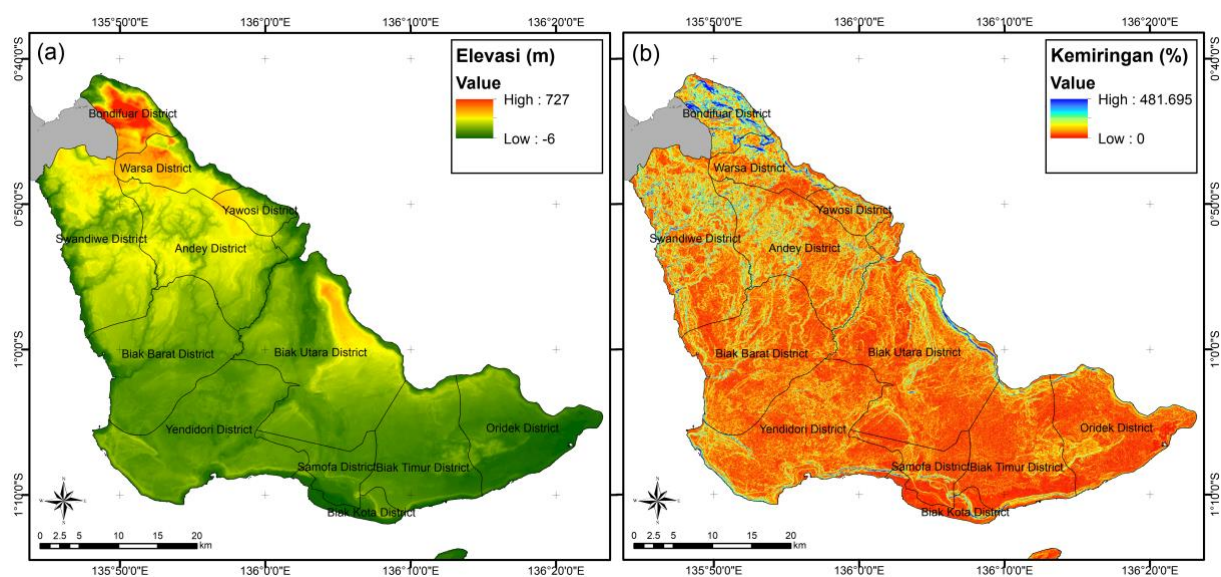
Variabel	Risiko sangat rendah	Risiko rendah	Sedang	Risiko tinggi	Risiko sangat tinggi
Elevasi (m)	>30	20,1-30	10,1-20	5,1-10	<5
Kemiringan pesisir (%)	>14,7	10,9-14,69	7,75-10,89	4,6-7,74	<4,59

HASIL

Elevasi dan Kemiringan Wilayah Pulau Biak

Gambar 2 menyajikan tingkat elevasi dan kemiringan wilayah di Pulau Biak (khusus di Kabupaten Biak Numfor). Secara umum, elevasi dan kemiringan di area studi adalah sangat bervariasi. Terdapat 5 distrik di bagian utara (Distrik Bondifuar, Warsa, Yawosi, Andey, dan Swandiwe) memiliki elevasi yang relatif didominasi oleh elevasi sedang (>300 m), dimana elevasi tertinggi berada di Distrik Bondifuar sekitar 727 m (Gambar 2a). Sedangkan elevasi rendah ditemukan di sepanjang wilayah pesisir, namun elevasi yang paling terendah ditemukan di wilayah pesisir Distrik Oridek yang berada -6 m dibawah tinggi permukaan laut rata-rata. Area tersebut merupakan area yang dominan ditumbuhi oleh vegetasi mangrove.

Tingkat kemiringan wilayah Kabupaten Biak Numfor sangat bervariasi, dimana daerah pesisir dengan elevasi rendah memiliki kemiringan yang landai, sedangkan area pedalaman didominasi kemiringan yang terjal (Gambar 2b). Berdasarkan data Rencana Pengelolaan Hutan Jangka Panjang KPHL Biak Numfor (Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung Model Biak Numfor, 2014), tingkat kemiringan wilayah Kabupaten Biak Numfor didominasi oleh kemiringan >45% (89.422,93 ha) dibandingkan kemiringan 8-15% (49.404,25 ha), 15-45% (41.136,47 ha) dan 0-8% (2.902,56 ha). Tingkat kemiringan >45% dominan berada di elevasi 100-300 m, sedangkan tingkat kemiringan 0-8%, 8-15%, dan 15-45% dominan di elevasi <100 m.



Gambar 2. Peta Ketinggian dan Kemiringan Pulau Biak: (a) elevasi pesisir dan (b) kemiringan pesisir

Indeks Kerentanan Elevasi Pesisir

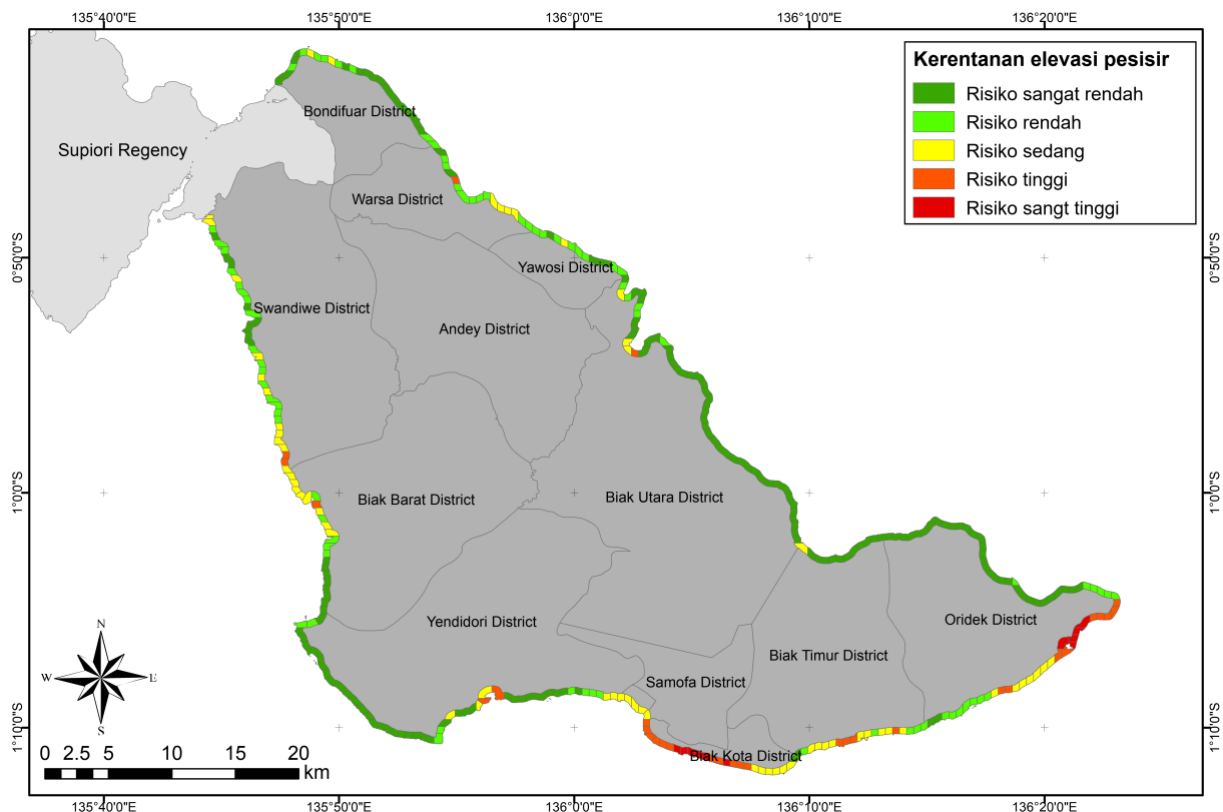
Gambar 3 menunjukkan distribusi spasial indeks kerentanan elevasi pesisir Pulau Biak. Kategori risiko sangat rendah terhadap kenaikan permukaan laut banyak ditemukan di sepanjang wilayah pesisir di sebelah utara Pulau Biak, terutama di Distrik Biak Utara, Distrik Bondifuar, dan bagian utara Distrik Biak Timur dan Distrik Oridek. Sedangkan di bagian selatan Pulau Biak, kategori risiko sangat rendah ditemukan di sepanjang wilayah pesisir Distrik Yendidori.

Kategori risiko rendah banyak ditemukan di Distrik Swandiwe, Warsa dan Yawosi. Kategori risiko sedang banyak terdapat di bagian selatan Distrik Biak Timur dan Oridek, Distrik Biak Barat (perbatasan dengan Distrik Swandiwe), dan bagian barat dan timur Distrik Biak Kota (perbatasan dengan Distrik Yendidori dan Biak Timur). Adapun kategori risiko tinggi dan risiko sangat tinggi terhadap ancaman kenaikan permukaan air laut dominan ditemukan di Distrik Biak Kota dan bagian timur Distrik Oridek, sedangkan di distrik lainnya (Distrik Swandiwe, Biak Barat, Yendidori, Biak

Timur, Biak Utara, dan Warsa) hanya ditemukan dalam area spasial yang sangat kecil.

Persentase kerentanan elevasi pesisir antara kelima kategori kerentanan adalah 52,52% (127,08 km) untuk risiko sangat rendah, 20,96% (50,71 km) untuk risiko rendah, 17,21% (41,63 km) untuk risiko sedang, 6,71% (12,22 km) untuk risiko tinggi dan 2,62% (6,33 km) untuk risiko sangat tinggi (Tabel 2). Dengan demikian, sebagian besar elevasi wilayah pesisir Pulau Biak yang berjarak 500 m dari

garis pantai termasuk kategori risiko sangat rendah, dimana pada rentang jarak tersebut didominasi elevasi tinggi (>30 m). Adapun wilayah pesisir Distrik Biak Kota didominasi kategori sedang hingga risiko sangat tinggi karena elevasi wilayah pesisir cenderung lebih rendah dan landai (elevasi <20 m), sehingga termasuk kategori yang sangat rentan karena semakin tinggi kemungkinan genangan air akibat kenaikan muka air laut.



Gambar 3. Peta spasial indeks kerentanan elevasi di wilayah pesisir Pulau Biak

Tabel 2. Indeks kerentanan elevasi pesisir berdasarkan panjang garis pantai (dalam km)

Distrik	Kategori Kerentanan				
	Risiko sangat rendah	Risiko rendah	Risiko sedang	Risiko tinggi	Risiko sangat tinggi
Biak Barat	5,97	2,91	5,32	0,71	-
Biak Kota	0,49	-	7,76	8,17	2,80
Biak Timur	8,73	4,13	7,34	-	-
Biak Utara	30,91	2,78	0,80	0,63	-
Bondifuar	13,30	3,64	0,62	-	-
Oridek	23,19	7,94	8,72	4,22	3,53
Swandiwe	8,24	12,18	6,22	-	-
Warsa	3,46	5,06	2,83	0,58	-
Yawosi	3,73	3,86	0,63	-	-
Yendidori	29,06	8,21	1,39	1,92	-

Indeks Kerentanan Kemiringan Pesisir

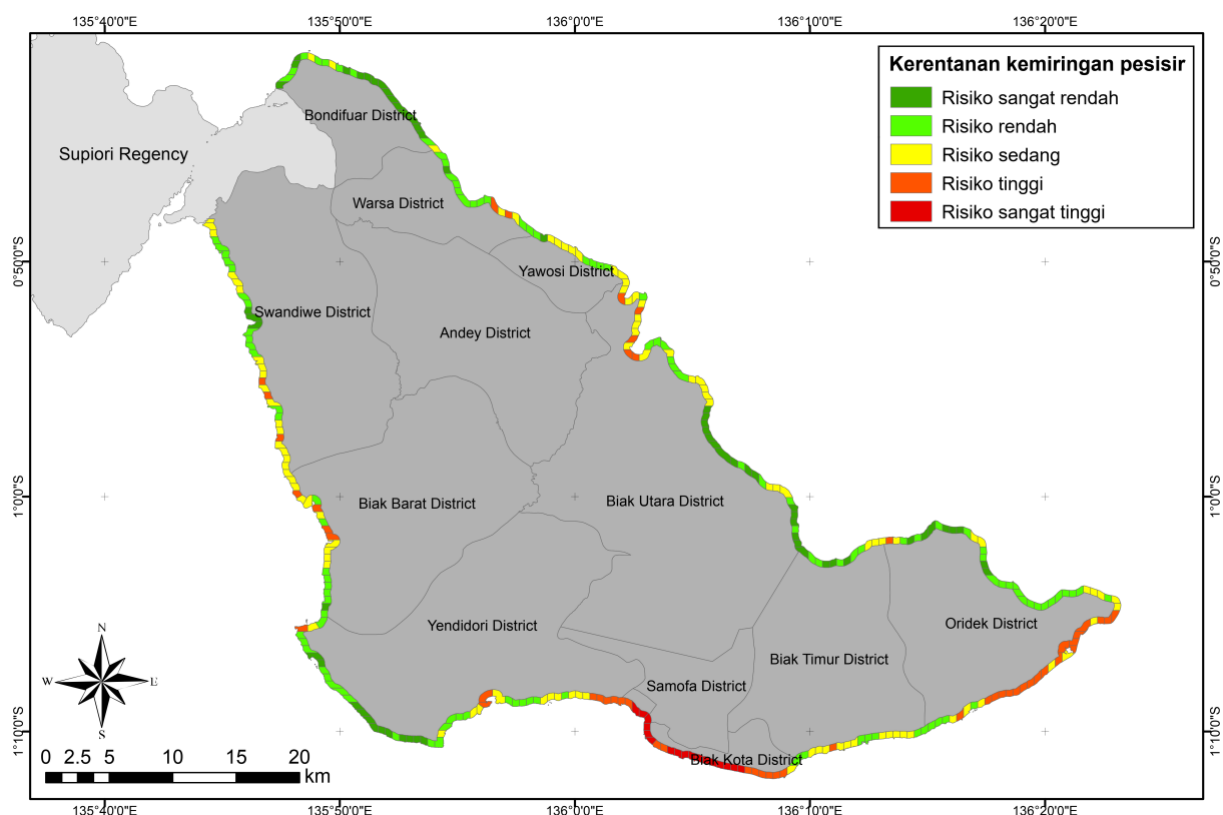
Distribusi spasial kerentanan kemiringan wilayah pesisir Pulau Biak ditunjukkan pada Gambar 4. Secara umum, kategori kerentanan

kemiringan pesisir sangat bervariasi dari kategori risiko sangat rendah hingga kategori risiko tinggi, kecuali di Distrik Biak Kota yang didominasi oleh kategori risiko tinggi dan

risiko sangat tinggi. Kategori risiko rendah dan risiko sedang terdapat di wilayah pesisir semua distrik. Kategori risiko tinggi tidak ditemukan di Distrik Bondifuar dan Yawosi, dimana kedua distrik tersebut hanya terdapat 3 kategori yaitu kategori risiko sangat rendah, risiko rendah dan risiko sedang. Hanya di Distrik Biak Kota yang tidak ditemukan kategori risiko sangat rendah. Namun, hanya di Distrik Biak Kota yang ditemukan kategori risiko sangat tinggi.

Persentase kerentanan elevasi pesisir antara kelima kategori kerentanan adalah 26,11% (63,19 km) untuk risiko sangat rendah, 33,96% (82,19 km)

untuk risiko rendah, 20,04% (48,49 km) untuk risiko sedang, 18,37% (44,46 km) untuk risiko tinggi dan 1,51% (3,66 km) untuk risiko sangat tinggi (Tabel 3). Berdasarkan distribusi spasial kerentanan kemiringan pesisir, maka sepanjang wilayah pesisir Distrik Biak Kota dan bagian selatan Distrik Oridek merupakan wilayah yang sangat rentan dan berisiko tinggi ketika terjadi kenaikan permukaan laut dan bencana pesisir lainnya. Tingkat kemiringan wilayah pesisir yang landai akan semakin besar peluang terjadinya bencana pesisir akibat peningkatan tinggi permukaan air laut dan memungkinkan terjadinya kemunduran garis pantai (terjadi proses abrasi atau erosi pantai).



Gambar 4. Peta spasial indeks kerentanan lereng di wilayah pesisir Pulau Biak

Tabel 3. Indeks kerentanan kemiringan pesisir berdasarkan panjang garis pantai (dalam km)

Distrik	Kategori Kerentanan				
	Risiko sangat rendah	Risiko rendah	Risiko sedang	Risiko tinggi	Risiko sangat tinggi
Biak Barat	1.63	5.97	4.51	2.81	-
Biak Kota	-	0.49	1.13	13.94	3.66
Biak Timur	4.51	8.64	6.47	0.59	-
Biak Utara	10.97	11.11	10.66	2.37	-
Bondifuar	12.49	3.86	1.22	-	-
Oridek	7.77	18.84	6.40	14.60	-
Swandiwe	6.73	9.97	8.14	1.80	-
Warsa	2.80	6.30	1.28	1.55	-
Yawosi	0.65	4.89	2.67	-	-
Yendidori	15.65	12.11	6.02	6.81	-

PEMBAHASAN

Pada studi ini, informasi kerentanan wilayah pesisir di Pulau Biak telah ditentukan dan disajikan secara spasial berdasarkan variabel elevasi pesisir maupun kemiringan pesisir. Hasil keduanya relatif mirip, namun kemiringan pesisir memberikan tingkat kerentanan yang lebih tinggi dibandingkan elevasi pesisir. Kedua variabel tersebut memberikan tingkat kerentanan yang tinggi untuk wilayah pesisir Distrik Biak Kota, dan tingkat kerentanan yang rendah untuk wilayah pesisir Distrik Yendidori dan Bondifuar. Penilaian yang cukup kontras adalah kategori kerentanan pesisir di Distrik Biak Utara, dimana tingkat kerentanan di sepanjang wilayah pesisir didominasi kategori risiko sangat rendah berdasarkan variabel elevasi pesisir, sedangkan variabel kemiringan pesisir memberikan kategori yang bervariasi (kategori risiko sangat rendah hingga risiko tinggi). Hal ini mendukung pernyataan Koroglu et al. (2019) bahwa walaupun mewakili pendekatan yang sama, variabel elevasi dan kemiringan pesisir akan memberikan perbedaan dalam penilaian kerentanan pesisir. Terlepas dari kemiripan dan perbedaan pengkategorian kerentanan pesisir dari kedua variabel tersebut, perlu diingat bahwa batasan area penilaian kerentanan pada studi ini adalah sejauh 500 m dari garis pantai. Jarak tersebut cukup jauh untuk penilaian kerentanan di wilayah pesisir yang didominasi oleh elevasi yang tinggi. Konsekuensinya adalah banyak desa-desa di wilayah pesisir yang berjarak sangat dekat dengan garis pantai (sekitar <250 m) dengan elevasi yang rendah dapat terkategori sebagai wilayah dengan kerentanan yang rendah.

Elevasi dan kemiringan pesisir dapat dianggap sebagai variabel yang berkontribusi terhadap kerentanan dan perubahan wilayah pesisir, terutama apabila melakukan penilaian kerentanan pada skala ribuan kilometer (Pendleton et al., 2010). Keduanya merupakan variabel pesisir yang relevan dan dapat mempengaruhi proses morfologi dan hidrodinamika di wilayah pesisir seperti laju sedimentasi, karakteristik gelombang, distribusi ukuran sedimen, dan penggenangan dataran rendah (Athanasios et al., 2019; Oloyede et al., 2022), dimana kemiringan pesisir merupakan indikator utama terjadinya risiko genangan (Gaki-Papanastassiou et al., 2010). Selain itu, kemunduran garis pantai akan lebih cepat terjadi di wilayah pesisir dengan kemiringan rendah atau landai

dibandingkan wilayah pesisir yang lebih curam (Nageswara Rao et al., 2008; Gaki-Papanastassiou et al., 2010). Dengan demikian, dampak kenaikan permukaan laut tidak akan signifikan di wilayah pesisir yang curam, berbeda dengan pesisir yang landai, dimana dampak kenaikan permukaan laut dapat menenggelamkan sejumlah besar daratan di pesisir (Nageswara Rao et al., 2008), dan memungkinkan terjadinya genangan air laut secara permanen di wilayah pesisir dengan elevasi yang rendah di dekat garis pantai (Koroglu et al., 2019).

KESIMPULAN

Hasil studi ini telah menyajikan distribusi spasial tingkat kerentanan pesisir Pulau Biak berdasarkan variabel elevasi dan kemiringan pesisir yang diekstrak dari data Digital Elevation Model (DEM). Kedua variabel yang digunakan menghasilkan tingkat kerentanan yang berbeda secara spasial. Variabel kemiringan pesisir memberikan tingkat kerentanan yang lebih tinggi dibandingkan elevasi pesisir. Namun, kedua variabel tersebut secara bersama memberikan tingkat kerentanan yang tinggi untuk wilayah pesisir Distrik Biak Kota, dan tingkat kerentanan yang rendah untuk wilayah pesisir Distrik Yendidori dan Bondifuar. Untuk mendapatkan indeks kerentanan pesisir dan sebagai upaya mitigasi, diperlukan studi yang komprehensif terhadap variabel lainnya yang dapat berkontribusi pada tingkat kerentanan pesisir terhadap risiko kenaikan permukaan laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Athanasios, P., van Dongeren, A., Giardino, A., Voudoukas, M., Gaytan-Aguilar, S. and Ranasinghe, R. 2019. Global distribution of nearshore slopes with implications for coastal retreat. *Earth System Science Data* 11: 1515–1529.
- Dewi, C.S.U., Subhan, B. dan Arafat, D. 2017. Keragaman, kepadatan, dan penutupan lamun di Pulau Biak, Papua. *Depik: Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan* 6(2): 122–127.
- Douglas, B.C. 2001. Sea level change in the era of the recording tide gauge. In: Sea Level Rise (B.C. Douglas, M.S. Kearney, S.P. Leatherman, Eds). Academic Press, San Diego.
- Fenoglio-Marc, L., Schöne, T., Illigner, J., Becker, M., Manurung, P. and Khafid. 2012. Sea level change and vertical motion from satellite altimetry, tide gauges and GPS in the Indonesian region. *Marine Geodesy* 35(SUPPL. 1): 137–150.

- Gaki-Papanastassiou, K., Karymbalis, E., Poulos, S.E., Seni, A. and Zouva, C. 2010. Coastal vulnerability assessment to sea-level rise based on geomorphological and oceanographical parameters: the case of Argolikos Gulf, Peloponnese, Greece. *Hellenic Journal of Geosciences* 45: 109–122.
- Gonzalez, P., Garfin, G.M., Breshears, D.D., Brooks, K.M., Brown, H.E., Elias, E.H., Gunasekara, A., Huntly, N., Maldonado, J.K., Mantua, N.J., Margolis, H.G., McAfee, S., Middleton, B.R. and Udall, B.H. 2018. Southwest. In: Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II (D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart, Eds.). U.S. Global Change Research Program, Washington DC.
- Gornitz, V. 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 89: 379–398.
- Hamuna, B., Kalor, J.D. and Tablaseray, V.E. 2019. The impact of tsunami on mangrove spatial change in eastern coastal of Biak Island, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering* 20(3): 1–6.
- Hamuna, B., Sari, A.N. dan 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.
- Handoko, E.Y., Yuwono, Y. and Ariani, R. 2019. Analisis kenaikan muka air laut Indonesia tahun 1993-2018 menggunakan data altimetri. *Geoid* 15(1): 58–64.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. Climate change 2013: the physical science basis. In: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley, Eds). Cambridge University Press, Cambridge.
- Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung Model Biak Numfor. 2014. Rencana Pengelolaan Hutan Jangka Panjang KPHL Biak Numfor. Pemerintah Kabupaten Biak Numfor, Kabupaten Biak Numfor.
- Koroglu, A., Ranasinghe, R., Jiménez, J.A. and Dastgheib, A. 2019. Comparison of coastal vulnerability index applications for Barcelona Province. *Ocean and Coastal Management* 178: 104799.
- Lopez Royo, M., Ranasinghe, R. and 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.
- Marfai, M.A. and King, L. 2008. Potential vulnerability implications of coastal inundation due to sea level rise for the coastal zone of Semarang city, Indonesia. *Environmental Geology* 54(6): 1235–1245.
- Mimura, N. 1999. Vulnerability of island countries in the south pacific to sea level rise and climate change. *Climate Research* 12: 137–143.
- Nageswara Rao, K., Subraelu, P., Venkateswara Rao, T., Hema Malini, B., Ratheesh, R., Bhattacharya, S., Rajawat, A.S. and Ajai, A. 2008. Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast India through remote sensing and GIS. *Journal of Coastal Conservation* 12: 195–207.
- Nicholls, R.J. 1998. Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 27(32-34): 1455–1466.
- Oloyede, M.O., Williams, A.B., Ode, G.O. and Benson, N.U. 2022. Coastal vulnerability assessment: a case study of the Nigerian coastline. *Sustainability* 14: 2097.
- Pendleton, E.A., Thieler, E.R. and Williams, S.J. 2010. Importance of coastal change variables in determining vulnerability to sea- and lake-level change. *Journal of Coastal Research* 261: 176–183.
- Rumahorbo, B.T., Warpur, M., Hamuna, B. and Tanjung, R.H.R. 2022. Analysis of shoreline changes along the coastal area of Biak Island (Biak Numfor Regency, Indonesia) using multitemporal Landsat images. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 10(1): 3861–3870.
- Rumkorem, O.L.Y., Kurnia, R. and Yulianda, F. 2019. Association between coral community cover with coral reef fish at east coast of Biak Island, Biak Numfor Regency. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 11(3): 615–625.
- Rumpaidus, G.A., Putra, A.M. dan Widyatmaja, I.G.N. 2019. Strategi Pengembangan Destinasi Pariwisata Kabupaten Biak Numfor Provinsi Papua. *Jurnal Kepariwisata dan Hospitalitas* 3(2): 22–42.
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.-H., Solomon, S. 1998. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. *Bull. Geol. Surv. Can.* 505: 1–79.
- Susanto, K.E., Marfai, M.E. and Mardiatno, D. 2010. Proyeksi kenaikan permukaan laut dan dampaknya terhadap banjir genangan kawasan pesisir. *Majalah Geografi Indonesia* 24(2): 101–120.

-
- Tablaseray, V.E., Pairin, M.R.A., Fakdawer, N. and Hamuna, B. 2018. Pemetaan sebaran dan kerapatan mangrove di pesisir timur Pulau Biak, Papua menggunakan citra satelit Landsat 8. *Jurnal Perikanan dan Kelautan* 8(1): 31-39.
- Thieler, E.R. and Hammar-Klose, E.S. 2000. National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Pacific Coast. U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-178.
- Triana, K. and Wahyudi, A.J. 2020. Sea level rise in Indonesia: the drivers and the combined impacts from land subsidence. *ASEAN Journal on Science & Technology for Development* 37(3): 115-121.
- United States Geological Survey. 2010. Digital Elevation Model (DEM) Creation and Analysis. Science Education Lesson, United States Geological Survey.
- Wuebbles, D.J, Easterling, D.R, Hayhoe, K., Knutson, T., Kopp, R.E., Kossin, J.P. and Wehner, M.F. 2017. Our globally changing climate. Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment. Washington DC: U.S. Global Change Research Program.
- Zikra, M., Suntoyo, S. dan Lukijanto, L. 2015. Climate change impacts on Indonesian coastal areas. *Procedia Earth and Planetary Science* 14: 57-63.