

Assessment of coastal vulnerability to sea level rise: a case study at the coastal area of Kema, North Sulawesi Province, Indonesia

Muh. Gifari Djaelani^{1*}, Adnan S. Wantasen², Ping A. Angmalisang³, Wilmy E. Pelle³, Khristin F.I. Kondoy², Markus T. Lasut¹

¹ Master Program of Aquatic Science, Postgraduate Program, Sam Ratulangi University, Manado, North Sulawesi, Indonesia

² Aquatic Resources Management Program, Faculty of Fisheries and Marine Science, Sam Ratulangi University, Manado, North Sulawesi, Indonesia

³ Marine Science Program, Faculty of Fisheries and Marine Science, Sam Ratulangi University, Manado, North Sulawesi, Indonesia

*Corresponding author: gifaridjaelani10@gmail.com

Received: 10 March 2025 – Revised: 15 April 2025 – Accepted: 20 April 2025

ABSTRACT: Rapid development in coastal areas due to population growth and infrastructure expansion poses the risk of making these areas vulnerable to changes. This situation occurred in the coastal area of Kema District, North Sulawesi Province, Indonesia. This area has potential for economic growth, primarily through fisheries capture, infrastructure, and tourism. However, this potential should be supported by a preventive effort addressing physical and human factors influencing the area. The present study try to address the factors, which aimed to determine the condition of 6 factors (geomorphology, tidal range, shoreline changes, sea level rise, man-made structures, and coastal protection structures) and to assess the coastal vulnerability level of the coast based on those parameters using the coastal vulnerability index (CVI). The research was conducted in several stages, including primary data collection, secondary data collection, and data processing. The results showed (1) the CVI for the coastal protection structures was 4.6 (very high vulnerability); for the sea level rise and the tidal range were 4.0 (high vulnerability); the geomorphology and the shoreline changes were 3.2 and 3.0, respectively, (medium vulnerability); and the man-made structures was 1.4 (very low vulnerability); (2) the vulnerability level of the coast was medium. It is concluded that this area was at a moderate level of vulnerability.

Keywords: coastal vulnerability, coastal vulnerability index, kema coastal area; coastal management

PENDAHULUAN

“Lautan mengalami dampak perubahan iklim dalam skala yang luas akibat perubahan fisik, biologis, dan kimia. Perubahan iklim global, meningkatnya permukaan air laut dan kejadian cuaca ekstrem diperkirakan akan memperburuk keadaan di banyak Wilayah Pesisir termasuk Indonesia” (Mimura, 2000). Menurut Alfiani (2019), “kerentanan pesisir merupakan suatu kondisi dimana proses laju perubahan garis pantai dipercepat oleh berbagai variabel seperti aktivitas manusia dan kondisi alam. Secara umum, kerentanan mengacu pada kerentanan atau ketidakmampuan suatu sistem untuk mengatasi krisis. Tingkat kerentanan dapat dinilai dengan menggunakan parameter fisik, sosial dan ekonomi.”

Pesisir Kema, Kecamatan Kema, Minahasa Utara memiliki pertumbuhan nilai ekonomi dengan kegiatan utama perikanan tangkap, perkembangan infrastruktur dan pariwisata. Data BPS Minut (2024) menyebutkan, bahwa produksi ikan tuna, cakalang dan tongkol (TCT) di tahun 2023 sebesar 11.104,38 ton dan indeks pembangunan manusia (IPM) di Kabupaten Minahasa Utara meningkat dari tahun sebelumnya dari 75,92 menjadi 76,50 pada tahun 2023. Studi kasus tentang Pesisir Kema menurut Rachman (2023) menyatakan, bahwa “Ditinjau dari pengamatan lapangan pada bangunan pengaman pantai yang berada di Pantai Kema dan

Pantai Lilang, memiliki tingkat kerusakan yang sedang hingga cukup tinggi.” Berdasarkan hasil penelitian Corinus *et al.* (2024), Pantai Lilang, Kecamatan Kema, mengalami abrasi sehingga terjadi kemunduran garis pantai. Pesisir Kecamatan Kema menjadi salah satu “kawasan rawan gelombang pasang, tsunami dan abrasi ditetapkan pada Peraturan Daerah Kabupaten Minahasa Utara Nomor 01 Tahun 2013 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Minahasa Utara Tahun 2013-2033” (Peraturan Daerah Kabupaten Minahasa Utara, 2013). Potensi pertumbuhan ekonomi dan sosial yang ada juga harus didukung dengan adanya upaya pencegahan mitigasi risiko rawan bencana terhadap aspek fisik dan manusia yang mempengaruhi wilayah pesisir.

Salah satu metode untuk menilai tingkat kerentanan di wilayah pesisir adalah metode Indeks Kerentanan Pesisir (Coastal Vulnerability Index) yang melihat dari karakteristik parameter fisik dan manusia. “Kajian tentang Indeks Kerentanan Pesisir (Coastal Vulnerability Index) di beberapa wilayah pesisir diperlukan dalam rangka mencegah dampak terhadap ancaman perubahan iklim seperti kenaikan muka air laut (Sea level rise)” (Joesidawati, 2016).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menentukan besaran nilai setiap parameter geomorfologi, pasang surut, perubahan garis pantai, kenaikan muka air

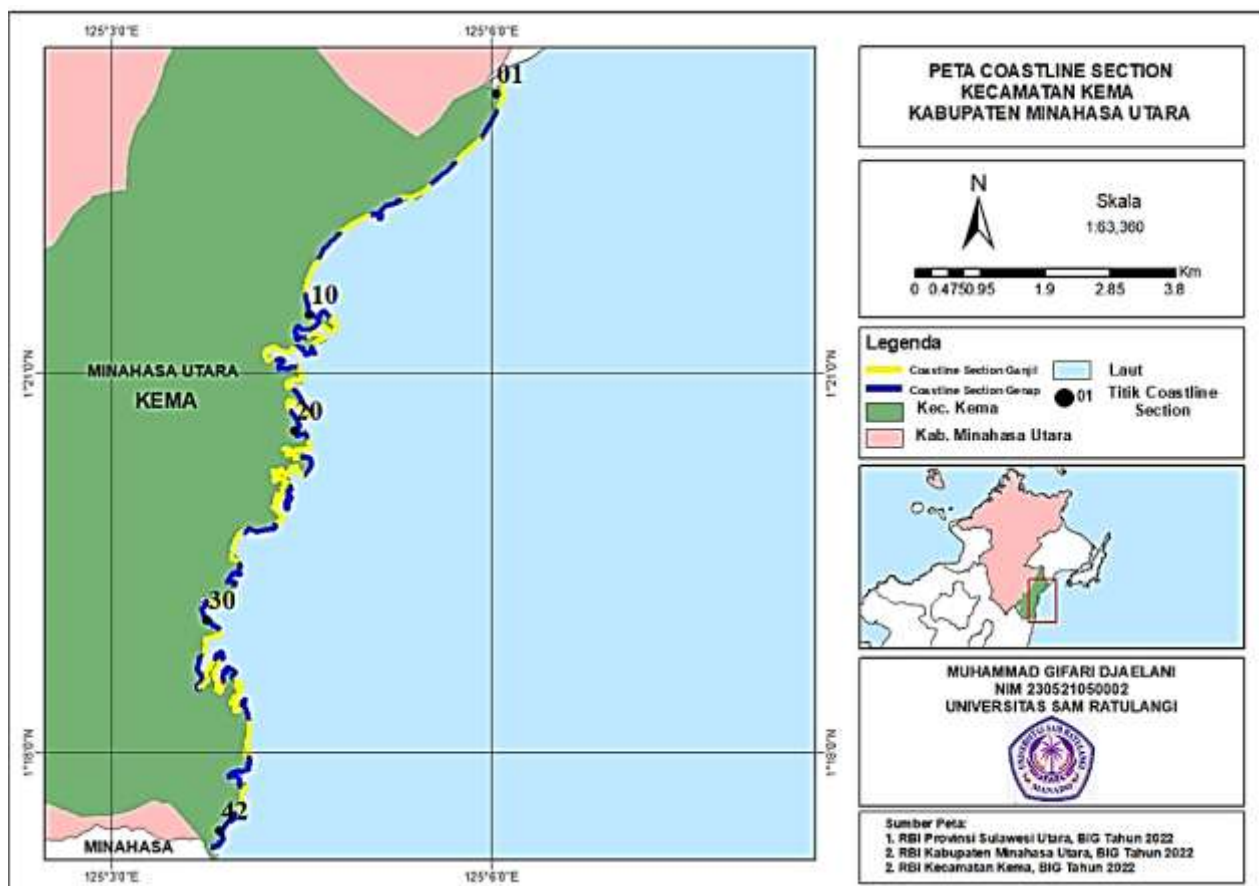


Figure 1. Research location at coastal area of Kema, North Sulawesi Province, Indonesia

laut, rekayasa buatan manusia dan struktur pelindung pantai terhadap kerentanan pesisir Kema, Kabupaten Minahasa Utara dan untuk menilai tingkat kerentanan pesisir di Kema, Kabupaten Minahasa Utara berdasarkan parameter geomorfologi, pasang surut, perubahan garis pantai, kenaikan muka air laut, rekayasa buatan manusia dan struktur pelindung pantai.

MATERIAL DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Juni-Desember 2024 di sepanjang daerah pesisir Kema, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara (Figure 1). Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data primer, sekunder dan pengolahan. Penelitian menggunakan metode purposive random sampling *coastline section* mengacu pada metode penelitian (Pamungkas et al., 2021). Peneliti membuat total 42 *coastline section* dengan setiap *section* memiliki panjang 500 m berdasarkan kondisi lapangan dengan asumsi seluruh *section* pengambilan data yang telah ditentukan dapat mewakili kondisi lapangan secara keseluruhan.

Pengumpulan Data

- Geomorfologi. Data geomorfologi dilakukan secara langsung di setiap *coastline section* dengan pengamatan secara visual untuk melihat kondisi geomorfologi pantai. Pengamatan geomorfologi dimaksudkan untuk melihat karakteristik morfologi pantai di Lokasi Penelitian.

- Pasang Surut. Data pasang surut diperoleh dari UNESCO Sea Level Station Monitoring kemudian disortir untuk waktu peramalannya setiap bulan dari Juni 2019-Mei 2024 dengan interval 1 jam menggunakan perangkat lunak Microsoft excel. Hasil sortir peramalan setiap bulan kemudian dianalisis dengan pengolahan data pasang surut Harmonik Admiralty 29 piamtan yang dikembangkan oleh Doodson menggunakan perangkat lunak Microsoft excel untuk menilai rata-rata tunggang pasut periode Juni 2019-Mei 2024.
- Perubahan Garis Pantai. Data perubahan garis pantai diperoleh dari data sekunder yang diunduh dari Google Earth Pro berupa data digitasi garis pantai 2014 dan 2024 di lokasi penelitian. Data garis pantai yang sudah diekstrak menjadi format Shapefile (.shp) kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS dengan extension perangkat lunak Digital Shoreline analysis System (DSAS) Version 5.1 dengan teknik transek buffering untuk mengetahui nilai akresi, abrasi dan stabil pada perubahan garis pantainya sesuai dengan daerah yang dikaji. Data yang sudah diolah kemudian dibuatkan nilainya setiap *section* di tabel menggunakan Microsoft Excel.
- Kenaikan Muka Air laut. Data kenaikan muka air laut diperoleh dari Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) merupakan data pengamatan satelit altimetri sea surface elevation dalam periode 1 Juli 2014 – 30 Juni 2024. Kemudian diolah menggunakan Google Earth Engine sebagai pengolahan cloud computing untuk

Table 1
Coastal Vulnerability Index assessment categories

Parameter	Sangat Rendah	Rendah	Menengah	Tinggi	Sangat Tinggi	Modifikasi
	1	2	3	4	5	
Geomorfologi	Bertebing tinggi, berbatu	Bertebing menengah, berbatu	Bertebing Rendah berbatu, dataran aluvial	Berbatu kerikil, estuari, laguna	Berpasir, rawa payau, delta, berlumpur	Hammar-Klose et al. (2003)
Perubahan Garis Pantai (m/tahun)	>2	1,0 – 2,0	(-1,0) – 1,0	(-2,0)-(-1,0)	<(-2,0)	Hammar-Klose et al. (2003)
Pasut (m)	<1,0	1,0 - 1,9	2,0 - 4,0	4,1 - 6,0	>6,0	Hammar-Klose et al. (2003)
Kenaikan Muka Air Laut (mm/tahun)	<1	1-2	2-5	5-7	>7	Ozyurt (2007)
Rekayasa Buatan Manusia (%)	<5	5-20	20-30	30-50	>50	Ozyurt (2007)
Struktur Pelindung Pantai (%)	>50	30-50	20-30	5-20	<5	Ozyurt (2007)

Table 2
Determination of vulnerability category from CVI value
([Ozyurt, 2007](#))

Nilai CVI	Tingkat Kategori Kerentanan
$1 \leq CVI < 1,5$	Sangat Rendah
$1,5 \leq CVI < 2,5$	Rendah
$2,5 \leq CVI < 3,5$	Menengah
$3,5 \leq CVI < 4,5$	Tinggi
$4,5 \leq CVI < 5$	Sangat Tinggi

menilai data kenaikan muka air laut di Lokasi Penelitian kemudian disimpan data dengan format (.txt). Pengolahan data selanjutnya dihitung menggunakan perangkat lunak Mirosoft Excel untuk mengetahui nilai rata - rata kenaikan muka air laut dari tahun 1 Juli 2014 – 30 Juni 2024.

- Rekayasa Buatan Manusia. Data rekayasa buatan manusia menggunakan data primer diperoleh dari pengamatan langsung di Lapangan dan dilakukan interpretasi persentase rekayasa hasil buatan manusia setiap *coastline section* sepanjang garis pantai penelitian pada citra satelit Google Earth Pro.
- Struktur Pelindung Pantai. Data struktur pelindung pantai menggunakan data primer diperoleh dari pengamatan langsung di Lapangan berupa bangunan pelindung pantai guna yang digunakan untuk melindungi terhadap erosi, gelombang pasang dan banjir sepanjang garis pantai. Kemudian dilakukan interpretasi persentase bangunan pelindung pantai setiap *coastline section* pada citra satelit Google Earth Pro.

Analisis Data

Menilai indeks kerentanan pesisir menggunakan metode Coastal Vulnerability Index (CVI) di *Coastline Section* Kema, Kabupaten Minahasa Utara berdasarkan parameter [Hammar-Klose et al. \(2003\)](#) (geomorfologi, pasang surut, perubahan garis pantai,) dan [Ozyurt \(2007\)](#) (kenaikan

muka air laut, rekayasa buatan manusia dan struktur pelindung pantai). Parameter yang digunakan dalam menentukan Costal Vulnerability Index (CVI) adalah 6 parameter dengan pembobotan kerentanan pesisir kategori sangat rendah hingga sangat tinggi (Table 1).

Menurut [Ozyurt \(2007\)](#), Setiap parameter aspek fisik dan manusia terhadap kerentanan pesisir kemudian dihitung menggunakan metode CVI melalui persamaan:

$$CVI_{impact} = \frac{(0,5 \times \sum_{i=1}^n PP_n) + (0,5 \times \sum_{i=1}^m HP_m)}{CVI_{least\ vulnerable}}$$

di mana PP: parameter fisik, HP: parameter manusia, n dan m: jumlah parameter fisik dan manusia, CVI least vulnerable: nilai dampak terkecil.

Hasil CVI merupakan hasil nilai Indeks Kerentanan Pesisir, keterangan untuk parameter fisik (PP) adalah geomorfologi, pasang surut, perubahan garis Pantai dan kenaikan muka air laut. Keterangan parameter manusia (HP) adalah rekayasa buatan manusia dan struktur pelindung pantai. Jumlah parameter fisik dan manusia adalah n dan m sedangkan CVI *least vulnerable* dihitung dengan nilai dampak terkecil yaitu jika semua parameter adalah 1. Data hasil pengolahan menggunakan metode CVI kemudian pembuatan *layout* peta menggunakan perangkat lunak ArcGIS berdasarkan kategori nilai CVI (Table 2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geomorfologi

Pengambilan data geomorfologi merupakan pengamatan karakteristik bentang alam pesisir yang dilakukan di *Coastline Section* Kema dengan total 42 *section*. Pengamatan langsung setiap *section* dianggap dapat mewakili daerah penelitian. Hasil

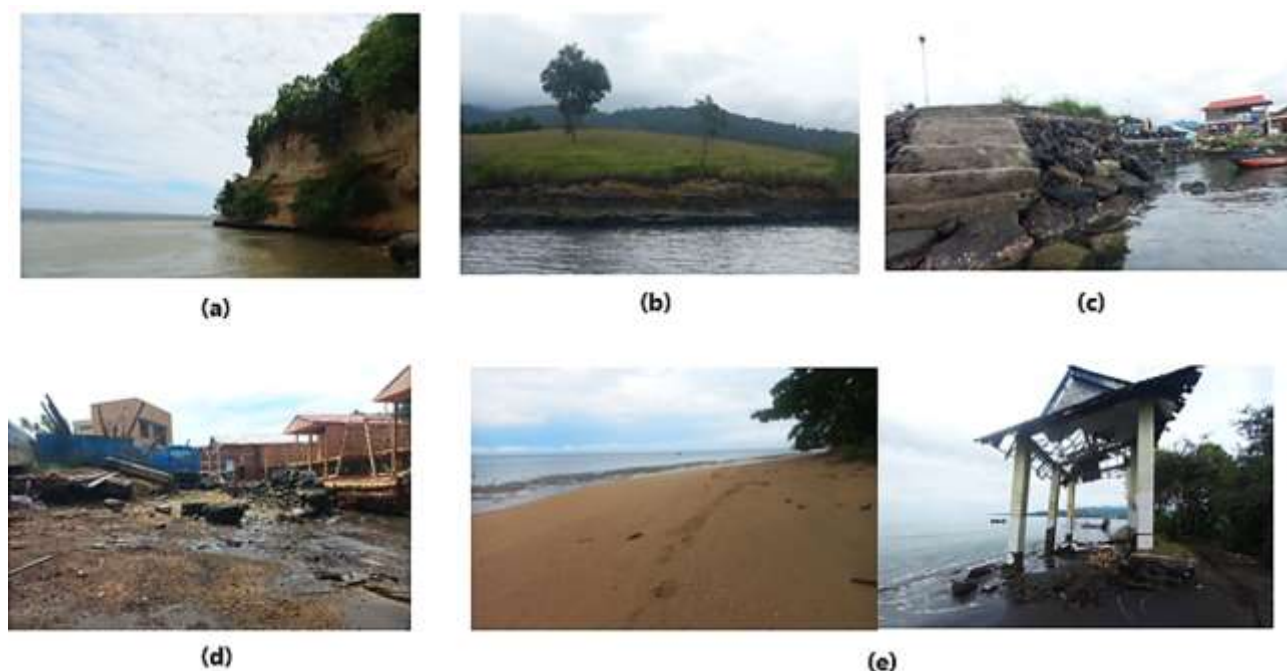


Figure 2. Geomorphological appearance of the coastal area of Kema, North Sulawesi Province, Indonesia

pengamatan, bahwa bentuk geomorfologi pesisir Kema (Figure 2) terbagi menjadi 5 kelas geomorfologi yaitu a) pantai bertebing tinggi berbatu, b) pantai bertebing menengah berbatu, c) pantai bertebing rendah berbatu, d) pantai berbatu kerikil, dan e) pantai berpasir, rawa payau dan berlumpur. Karakteristik geomorfologi pesisir yang dominan di Pesisir Kema yaitu pantai dengan tipe berpasir dan bertebing tinggi berbatu, sehingga kategori kerentanan pesisir memiliki menengah dikarenakan dominan kerentanan sangat rendah dan sangat tinggi hampir sama.

Table 3
Results of tidal component analysis and tidal rise for the period of 2019-2024

Periode	Bilangan Formzahl	Tipe Pasut	Tunggang Pasut (m)
Juni 2019-Mei 2020	0.59	Campuran Condong Harian Ganda	1.63
Juni 2020-Mei 2021	0.78	Campuran Condong Harian Ganda	1.63
Juni 2021-Mei 2022	0.83	Campuran Condong Harian Ganda	1.58
Juni 2022-Mei 2023	0.75	Campuran Condong Harian Ganda	1.59
Juni 2023-Mei 2024	0.71	Campuran Condong Harian Ganda	1.67
Rata-rata	0.73	Campuran condong harian ganda	1.62

Kiolol *et al.* (2019) mengungkapkan, bahwa karakteristik topografi wilayah pesisir di Kecamatan Kema mencakup variasi bentuk lahan yang datar, landai hingga bertebing. Wilayah ini memiliki tipe tekstur yang variasi meliputi aluvial, berpasir, berbatu dan berlumpur. Variasi ini mencerminkan dinamika proses geomorfologi yang dipengaruhi oleh faktor fisik seperti sedimentasi, erosi dan hidrodinamis yang membentuk pola-pola morfologi unik di Sepanjang Pesisir Kema.

Pasang Surut

Hasil pengolahan tunggang pasut dapat dilihat pada Table 3 didapat hasil berkisar antara 1,58-1,67 m dengan rata – rata sebesar 1,62 m. Hasil analisa komponen pasang surut harmonik diketahui bahwa tipe pasang surut di wilayah Pesisir Kema adalah campuran cenderung harian ganda dengan nilai bilangan formzahl 0,73. Pasang surut tipe cenderung harian ganda merupakan pasang surut dimana terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari, tetapi kadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu berbeda.

Rata-rata tunggang pasang surut di Perairan Kota Bitung menunjukkan, bahwa perairan tersebut termasuk dalam kategori pasang surut golongan mikro (microtidal), sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Hamzah *et al.* (2017). Analisis pasang surut yang dilakukan 2008 hingga 2010 menghasilkan rata-rata pasang surut tahunan sebesar 1,55 m. Pasang surut di Perairan Kota Bitung dan sekitarnya dimana berdekatan dengan perairan Kema tergolong tipe pasang surut campuran cenderung harian ganda meskipun dapat bervariasi karena profil pantai dan kedalaman perairan yang berbeda.

Perubahan Garis Pantai

Berdasarkan hasil pengolahan nilai akresi, abrasi dan stabil di Pesisir Kema bisa dilihat pada Table 4 cenderung stabil, hanya *coastline section* 5, 8 dan 12 mengalami abrasi sedangkan *section* 11 dan 29 mengalami akresi. Abrasi yang terjadi ditandai dengan relatif perubahan nilai negatif, sedangkan akresi

Table 4
Results of processing accretion, stability, and abrasion values in 2014-2024

Coastline Section	m/tahun	Keterangan	Coastline Section	m/tahun	Keterangan
1	-0.48	Stabil	22	0.27	Stabil
2	-0.10	Stabil	23	0.02	Stabil
3	0.06	Stabil	24	0.46	Stabil
4	-0.29	Stabil	25	0.05	Stabil
5	-1.41	Abrasi	26	-0.59	Stabil
6	-0.93	Stabil	27	0.00	Stabil
7	-0.74	Stabil	28	-0.08	Stabil
8	-1.24	Abrasi	29	1.45	Akresi
9	0.13	Stabil	30	-0.07	Stabil
10	0.34	Stabil	31	-0.02	Stabil
11	1.21	Akresi	32	0.00	Stabil
12	-1.15	Abrasi	33	0.00	Stabil
13	0.62	Stabil	34	0.00	Stabil
14	0.59	Stabil	35	0.00	Stabil
15	0.00	Stabil	36	0.78	Stabil
16	0.00	Stabil	37	0.02	Stabil
17	-0.02	Stabil	38	-0.12	Stabil
18	0.46	Stabil	39	0.34	Stabil
19	0.00	Stabil	40	0.26	Stabil
20	0.08	Stabil	41	0.27	Stabil
21	0.15	Stabil	42	0.16	Stabil

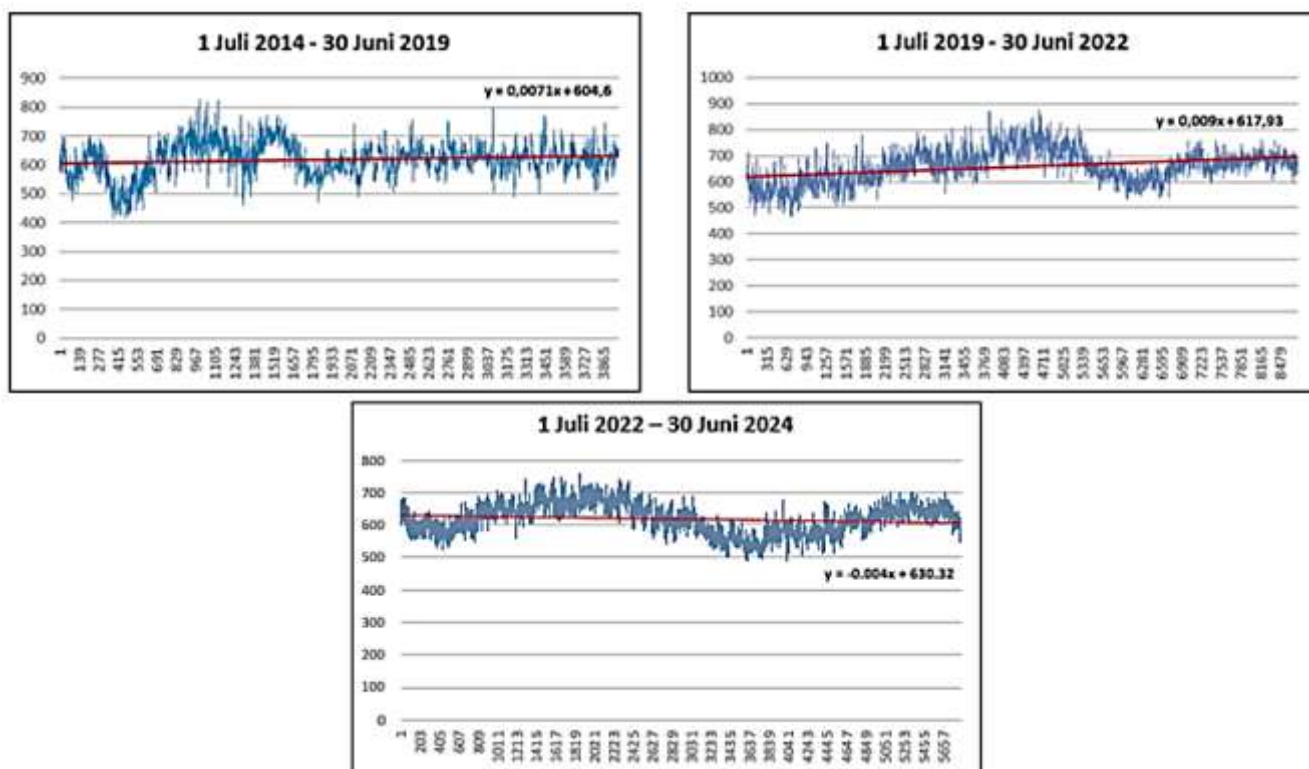


Figure 3. Sea level rise in period of 2014-2024

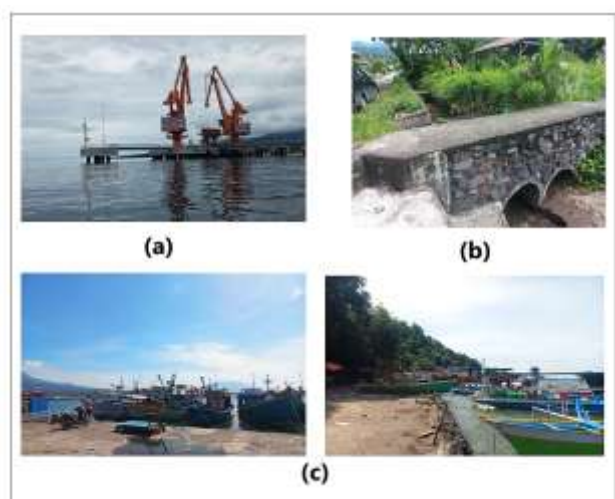


Figure 4. Types of man-made engineering on the Kema Coast

ditandai dengan relatif perubahan nilai yang bernilai positif. Abrasi yang terjadi berkisar antara 1,15 – 1,41 m/tahun, sedangkan akresi berkisar antara 1,21 – 1,45 m/tahun. Hasil analisis menunjukkan terdapat 3 kelas kerentanan yaitu kerentanan tinggi, menengah dan rendah.

Hasil analisis menggunakan data citra menunjukkan kerentanan sedang terhadap perubahan garis pantai sangat dominan dengan nilai laju perubahan garis pantai (-1,0) - (+1,0) m/tahun. Hasil penelitian perubahan garis pantai di pesisir Kema cenderung stabil dan hanya beberapa coastline mengalami erosi sejalan dengan temuan yang dipaparkan oleh [Corinus et al. \(2024\)](#) dalam penelitian di Pantai Lilang, Kecamatan Kema. Dalam penelitian tersebut, analisis menunjukkan, bahwa garis pantai di lokasi tersebut mengalami kemunduran yang diakibatkan oleh erosi yang terus berlangsung.

Kenaikan Muka Air Laut

Hasil pengolahan nilai rata-rata laju kenaikan muka air laut dari tahun 2014 hingga 2024 di Perairan Kema dan sekitarnya (Figure 3). Hasil pengolahan laju rata-rata kenaikan muka air laut dari tahun 2014 hingga 2024 sebesar 6,75 mm/tahun. Kategori nilai indeks kerentanan kenaikan muka air laut termasuk kelas yang tinggi. [Bappenas \(2018\)](#) menyatakan, bahwa proyeksi kenaikan tinggi permukaan laut di Perairan Kota Bitung, yang terletak pada garis pantai yang sama dengan pantai Kema menunjukkan, bahwa pada tahun 2030 tinggi muka air laut diperkirakan akan meningkat sekitar 20 cm relatif terhadap permukaan laut pada tahun 2000.

Rekayasa Buatn Manusia

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di 42 *Coastline Section* Kema ditemukan 3 jenis rekayasa buatan manusia adalah dermaga (a), kanal (b) dan Pelabuhan (c) (Figure 4). 37 *coastline section* tidak ada rekayasa buatan manusia dikarenakan dominan dari kondisi pesisir tidak berpenghuni atau pembuatan rekayasa buatan manusia tidak dibangun dikarenakan bangunan tidak memiliki fungsi yang berguna untuk masyarakat lokal. Dua *coastline section* tergolong dalam kelas kerentanan sangat tinggi dikarenakan memiliki area cover pelabuhan, dermaga dan kanal adalah 50% - 55%. Dominasi pada dermaga dan pelabuhan dikarenakan fungsi bangunan untuk akses transportasi antara



Figure 5. Types of coastal protection structures on the Kema Coast

daratan dan laut dalam aktifitas industri PLTU dan perikanan tangkap, 3 *coastline section* berada pada kelas kerentanan tinggi dengan area cover dermaga 30% - 45%. Perbedaan tingkat kerentanan ini sangat dipengaruhi oleh keberadaan dan intensitas keberadaan rekayasa buatan manusia seperti pelabuhan dermaga dan kanal sebagai fungsi akses kegiatan masyarakat antara laut dan darat. Hasil analisis kerentanan di Pesisir Kema dalam parameter rekayasa buatan manusia memiliki nilai rata-rata adalah 1,4 termasuk kategori sangat rendah. Beberapa *coastline section* memiliki kategori tinggi hingga sangat tinggi cenderung lebih rentan seperti kenaikan permukaan laut dan erosi.

Struktur Pelindung Pantai

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di 42 *Coastline Section* Kema ditemukan 3 jenis struktur pelindung Pantai adalah seawall (a), tidak ada struktur pelindung Pantai (b) dan tanggul batu (c) (Figure 5). Hasil data yang perhitungannya dalam persentase area dikategorikan lima kelas kerentanan yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. 36 *coastline section* tidak memiliki struktur pelindung pantai sehingga dikategorikan kerentanan sangat tinggi. Sebagian besar wilayah ini adalah area tidak berpenghuni atau memiliki pelindung alami seperti vegetasi mangrove yang secara alami mengurangi risiko kerusakan akibat bencana pesisir. 1 *coastline section* memiliki tanggul batu dan seawall yang hanya mencakup 15% dikategorikan kerentanan tinggi. 3 *coastline section* memiliki tanggul batu dan seawall dengan cakupan 60% - 100% dikategorikan sangat rendah sehingga memberikan perlindungan optimal terhadap dampak bencana. 1 *coastline section* memiliki tanggul batu yang mencakup 35% dikategorikan kerentanan rendah. 1 *coastline section* memiliki tanggul batu dan seawall dengan cakupan 25% dikategorikan kerentanan menengah. Dominasi garis pantai di Kecamatan Kema tergolong tidak memiliki struktur pelindung pantai.

Hasil Penelitian struktur pelindung pantai di Pesisir Kema menunjukkan pentingnya penerapan desain yang adaptif terhadap karakteristik lokal untuk mengurangi dampak abrasi dan gelombang pasang, yang selaras dengan studi kasus ([Corinus et al., 2024](#)) di Pantai Lilang, Kecamatan Kema, bahwa tidak adanya bangunan pengaman pantai di Pantai Lilang menyebabkan area pemukiman berdampak langsung oleh

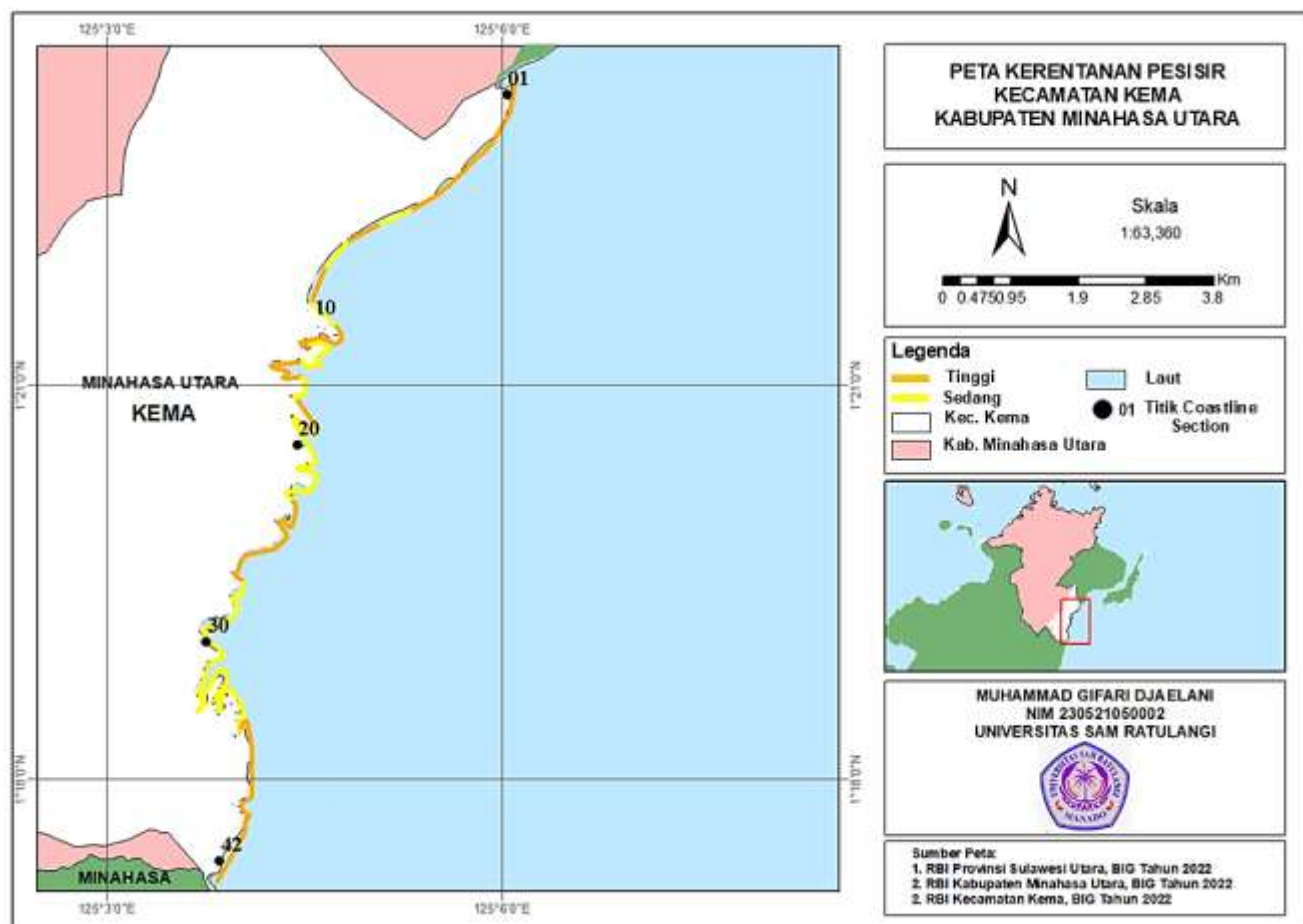


Figure 6. Coastal vulnerability map on the coast of Kema District, North Sulawesi Province, Indonesia

gelombang pasang, sehingga rumah-rumah masyarakat sering kali tergenang air laut.

Analisis Kerentanan daerah pesisir Kema

Hasil analisis CVI menunjukkan, bahwa nilai kerentanan pada 42 *coastline section* berkisar antara 2,7 - 4,3. Tingkat kerentanan tinggi mencakup sepanjang 10,5 km (50%) dari total panjang pesisir. Tingkat kerentanan sedang mencakup sepanjang 10,5 km (50%). Secara keseluruhan, rata-rata tingkat kerentanan pesisir Kema bernilai 3,4 berada pada kategori kerentanan menengah.

Hasil analisis kerentanan pesisir yang dilakukan menunjukkan, bahwa Pesisir Kema memiliki tingkat kerentanan sama besar berada pada kategori sedang dan tinggi. Meskipun demikian, beberapa *coastline section* memiliki tingkat kerentanan sedang yang mendekati kategori tinggi. Berdasarkan studi Loinenak et al. (2015), “wilayah dengan tingkat kerentanan sedang masih dapat dianggap relatif aman. Namun, wilayah tersebut berpotensi mengalami peningkatan kerentanan apabila tidak dikelola secara efektif.” Hasil analisis CVI menunjukkan, bahwa parameter dengan tingkat kerentanan tinggi hingga sangat tinggi yaitu kenaikan muka air laut, pasang surut dan struktur pelindung pantai memerlukan perhatian prioritas. Mitigasi resiko yang dapat dilakukan meliputi melakukan perbaikan dan penguatan struktur pelindung pantai yang ada untuk mengurangi dampak gelombang ekstrem dan pasang surut, pemantauan kenaikan muka air laut secara berkala untuk mengidentifikasi tren perubahan dan meningkatkan kesadaran masyarakat lokal

terhadap ancaman kerentanan pesisir serta pentingnya menjaga keberlanjutan ekosistem pesisir.

Penyebab kerentanan tinggi adalah kombinasi dari parameter geomorfologi berpasir, pasang surut, kenaikan muka air laut dan struktur pelindung pantai yang belum optimal terhadap potensi kerusakan. Oleh karena itu, intervensi mitigasi seperti perbaikan atau penguatan pelindung pantai dan pengelolaan tata ruang pesisir yang lebih adaptif. Peta kerentanan Pesisir Kema dapat dilihat pada Figure 6.

KESIMPULAN

Kerentanan Pesisir Kecamatan Kema Berdasarkan parameter struktur pelindung pantai nilai CVI 4,6 berada pada tingkat sangat tinggi; kenaikan muka air laut dan pasang surut nilai CVI 4,0 berada pada tingkat kerentanan yang tinggi; parameter geomorfologi dan perubahan garis pantai nilai CVI 3,2 dan CVI 3,0; rekayasa buatan manusia nilai CVI 1,4 berada pada tingkat sangat rendah. Hasil analisis menggunakan perhitungan Coastal Vulnerability Index (CVI) yaitu pada tingkat kerentanan sedang.

Ucapan terima kasih. Terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian, penulisan, dan publikasi ini. “Kami menyatakan, bahwa tidak ada konflik kepentingan dengan organisasi manapun mengenai bahan yang didiskusikan dalam naskah ini.”

REFERENSI

- ALFIANI, V. (2019) *Analisis Tingkat Kerentanan Wilayah Pesisir terhadap Bencana Banjir di Kota Pasuruan Jawa Timur*. Thesis, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- BAPPENAS (2018) *Kaji Ulang RAN API: Kajian Basis Ilmiah Proyeksi Iklim Laut*. Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS).
- BPS MINUT (2024) *Kabupaten Minahasa Utara Dalam Angka Tahun 2024*. Airmadidi: Badan Pusat Statistik Kabupaten Minahasa Utara.
- CORINUS, G.C.G., MAMOTO, J.D. and JASIN, M.I. (2024) Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai di Pantai Lilang Kecamatan Kema Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Tekno*, 22(89), pp. 1833-1845.
- HAMMAR-KLOSE, E.S., PENDLETON, E.A., THIELER, E. R. and WILLIAMS, S.J. (2003) *Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise*. Report: 02-233 Virginia: U.S. Geological Survey.
- HAMZAH, J., RAMPENGAN, R.M. and WINDARTO, A.B. (2017) Karakteristik Non-Harmonik Pasang Surut di Perairan Sekitar Kota Bitung. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 2(1), pp. 47-55.
- JOESIDAWATI, M.I. (2016) Penilaian Kerentanan Pantai di Wilayah Pesisir Kabupaten Tuban terhadap Ancaman Kerusakan. *Jurnal Kelautan*, 9(2), pp. 188-198.
- KIOLOL, P.A., MONIAGA, I.L. and ROMPAS, L.M. (2019) Strategi Kepariwisata di Kecamatan Kema Minahasa Utara. *Jurnal Spasial*, 6(3), pp. 670-680.
- LOINENAK, F.A., HARTOKO, A. and MUSKANANFOLA, M.R. (2015) Mapping of Coastal Vulnerability Using The Coastal Vulnerability Index and Geographic Information System. *International Journal of Technology*, 5(1), pp. 819-827.
- MIMURA, N. (2000) *Coastal Impacts of Climate Change and Adaptation in the Asia-Pacific Region*. In: Proceedings of APN/SUVAS/ LOICZ Joint Conference, Kobe, November 2000. Kobe: The Asia-Pacific Network for Global Change Research (APN) and The Science Council of Japan, Construction Research International, pp. 1-87.
- OZYURT, G. (2007) *Vulnerability of Coastal Areas to Sea Level Rise: A Case of Study on Göksu Delta*. Thesis (MSc), Middle-East Technical University. Available online at: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12608146/index.pdf>.
- PAMUNGKAS, R., DIANSYAH, G. and ULQODRY, T. (2021) Pemetaan Kerentanan Pesisir Menggunakan Metode Coastal Vulnerability Index (CVI) di Pesisir Pantai Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan. *MARLIN Marine and Fisheries Science Technology Journal*, 2(1), pp. 107-114. <http://dx.doi.org/10.15578/marlin.V2.I1.2021.1-9>.
- PERATURAN DAERAH KABUPATEN MINAHASA UTARA (2013) *Peraturan Daerah Kabupaten Minahasa Utara Nomor 01 Tahun 2013 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Minahasa Utara Tahun 2013-2033*. Airmadidi: Bupati Minahasa Utara.
- RACHMAN, T. (2023) Analisis Penilaian Kinerja Bangunan Pengaman Pantai Terhadap Penentuan Prioritas Rehabilitas Konstruksi (Studi Kasus Pantai Kema dan Pantai Lilang). *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil Simteks*, 3(1), pp. 43-58.