

# Kerentanan Kawasan Pesisir Terhadap Bencana Kenaikan Muka Air Laut (*Sea Level Rise*) di Indonesia

(A literature review)

Nabila Afifah Azuga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prodi Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

Korespondensi: [officialnabilaafifahazg@gmail.com](mailto:officialnabilaafifahazg@gmail.com)

## Abstrak

Wilayah pesisir diartikan sebagai daerah peralihan antara ekosistem darat dan ekosistem laut. Kawasan pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan, baik yang terjadi di daratan maupun di lautan. Salah satu bentuk tekanan yang mengancam keberlanjutan pembangunan wilayah pesisir adalah fenomena kenaikan muka air laut (*sea level rise*). Fenomena kenaikan muka air laut itu sendiri merupakan akibat yang ditimbulkan dari adanya ekspansi dan kontribusi es karena meningkatnya pencairan sebagai dampak dari pemanasan global. Prediksi pada tahun 2100 akan terjadinya kenaikan permukaan air laut sebesar 0,26 hingga 0,98 meter. Kenaikan muka air laut dapat dianalisis menggunakan *trendline* berdasarkan *slope* bulanan untuk menentukan rata-rata kenaikan muka air laut per tahun. Selain itu, untuk menentukan kerentanan daerah pesisir terhadap bencana ini dapat ditentukan melalui dua aspek yaitu aspek kerentanan geofisika dan aspek kerentanan sosial ekonomi.

**Kata kunci:** kawasan pesisir, kerentanan bencana, kenaikan muka air laut

## Abstract

*Coastal area is defined as a transitional area between land ecosystems and marine ecosystems. Coastal areas are very vulnerable to environmental pressures, both on land and at sea. One form of pressure that threatens the sustainability of coastal areas almost all over the world is the phenomenon of sea level rise. The phenomenon of sea level rise itself is a result of the expansion and contribution of ice due to increased of melting ice as a result of global warming. It is predicted that in 2100 there will be a rise of sea level that reach 0.26 to 0.98 meters. Sea level rise can be analyzed using a trendline based on monthly slopes to determine the average of sea level rise per year. In addition, to determine the vulnerability of coastal areas to sea level rise, it can be determined through two aspects: aspects of geophysical vulnerability and aspects of socio-economic vulnerability.*

**Key words:** coastal area, coastal vulnerability, sea level rise

DOI: <https://doi.org/10.30649/jrkt.v3i2.41>

## PENDAHULUAN

Pesisir diartikan sebagai daerah peralihan antara ekosistem darat dan ekosistem laut. Secara ekologis, batas daratan daerah pesisir mencakup wilayah yang masih dipengaruhi oleh proses-proses fisis laut seperti pasang-surut, angin laut, dan intrusi air laut. Sedangkan secara administrasi yaitu batas terluar sebelah hulu dari desa pantai atau jarak definitif secara arbiter 2 km dari garis pantai. Untuk batas ke arah laut, secara

ekologis kawasan laut yang masih berada dalam pengaruh proses-proses alami di daratan seperti proses sedimentasi, mengalirnya air tawar ke laut, dan daerah-daerah laut yang masih terdapat pengaruh kegiatan-kegiatan manusia di daratan. Kemudian, untuk batas administrasi yakni batas 4 mil dari garis pantai ke arah laut (Effendy, 2009).

Kawasan pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan, baik yang terjadi di daratan maupun di lautan. Salah satu bentuk tekanan yang mengancam keberlanjutan wilayah pesisir hampir di seluruh dunia adalah fenomena kenaikan muka air laut (*sea level rise*) (Syah, 2013). Dalam penelitian Fahruri (2007) dan Yanuar (2008) memaparkan bahwa bencana yang ditimbulkan dari kenaikan muka air laut memiliki tingkat resiko yang berpotensi besar terjadi di wilayah pantai, dimana nilai tertinggi yang menyamai nilai kerentanan bencana yang ditimbulkan oleh tsunami.

Fenomena kenaikan muka air laut (SLR) itu sendiri merupakan akibat yang ditimbulkan oleh adanya perubahan pada arus laut, dan perubahan densitas yang sangat berkaitan erat satu dengan lainnya. Perubahan komponen tersebut di suatu wilayah akan mempengaruhi perubahan fisis di wilayah lainnya, termasuk perubahan muka air laut pada daerah pesisir sebagai dampak dari kenaikan suhu laut (Landerer *dalam* Yin *dalam* IPCC, 2018). Walaupun perubahan suhu dan salinitas di laut memberikan kontribusi secara signifikan pada perubahan muka air laut, namun faktor utama yang paling berperan dalam naiknya permukaan air laut adalah kenaikan suhu akibat dari adanya ekspansi dan kontribusi es karena meningkatnya pencairan sebagai dampak dari perubahan iklim (Gregory dan Low *dalam* IPCC, 2018).

Khasanah dan Marza (2017) juga menjelaskan bahwa pemanasan global memberikan pengaruh yang signifikan pada perbedaan kondisi atmosfer bumi yang mempengaruhi peningkatan suhu dan distribusi curah hujan serta mencairnya es di kutub dan mengarah pada perubahan muka air laut. Hal ini akan menjadi masalah besar jika air laut tersebut telah mencapai ke daratan dan menimbulkan kerusakan di wilayah pesisir (Isdianto dkk., 2014).

Dikutip dari laporan IPCC (2013) bahwa kawasan pesisir Asia Tenggara akan mengalami kenaikan muka air laut sekitar 10 hingga 15 persen lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata kenaikan muka air global. Sedangkan untuk di wilayah Indonesia, Samyono dari Pusriskel KKP pada tahun 2014 meramalkan bahwa akan terjadi kenaikan muka air laut mencapai 0,76 cm per tahun dan diprediksikan pada 25 tahun mendatang muka air laut akan naik hingga 19 cm.

Fenomena kenaikan muka air laut, akan memiliki dampak buruk yang luas, baik dari kerugian segi ekonomi maupun kerusakan lingkungan (Hidayah dkk., 2018). Lebih dari itu, bahaya yang ditimbulkan dari kenaikan muka air laut adalah dapat memperkecil

luas daratan akibat tergenangnya daerah-daerah pantai yang tidak berlereng, mempertinggi abrasi pantai, merusak pemukiman, dan menenggelamkan pulau-pulau kecil (PPK) (Syah, 2013).

Kerentanan kawasan pesisir dan PPK dapat diartikan mudahnya suatu kawasan tersebut mengalami kerusakan. Semakin besar tingkat kerentanan suatu wilayah, maka akan semakin mudah wilayah tersebut mengalami kerusakan dan akan semakin cepat terpapar oleh suatu bencana (Mimura *dalam* Hidayah dkk., 2018).

Tahapan dalam memberikan analisa kerentanan dan bencana di suatu wilayah ditetapkan dengan memberikan pertimbangan pada kriteria kerentanan geofisika, kerentanan sosial, dan kerentanan ekonomi (Isdianto dkk., 2014).

Maka dari itu, paper ini ditulis dengan tujuan untuk memberikan informasi mengenai bencana kenaikan muka air laut, bahaya yang ditimbulkan dari fenomena ini, dan analisis kerentanan kawasan pesisir terhadap kenaikan muka air laut.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan dengan studi literatur dari beberapa sumber jurnal yang membahas mengenai dampak bencana kenaikan muka air laut, kajian kerentanan wilayah pesisir, dan upaya mitigasi bencana kenaikan muka air laut.

Dampak kenaikan muka air laut dijelaskan secara deskriptif oleh Afifah dkk. (2017), kajian kerentanan di wilayah pesisir dikaji secara deskriptif dan kuantitatif dengan menggunakan suatu indeks untuk menjelaskan tingkat kerentanan area terhadap kenaikan muka air laut seperti yang dipaparkan oleh Pratahanzal dkk. (2021), Joesidawati (2017), dan Radjwanne dan Szlafsztain *dalam* Sulma (2012). Kemudian, upaya mitigasi bencana kenaikan muka air laut dipaparkan secara deskriptif dengan mengacu pada UU Nomor 24 Tahun 2007.

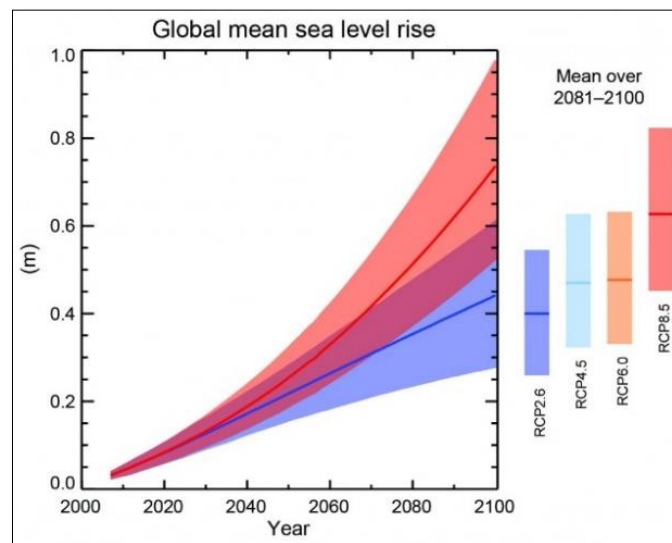
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Kenaikan Muka Air Laut (*Sea Level Rise*)**

Kenaikan muka air laut adalah kejadian naiknya muka laut akibat dampak buruk adanya fenomena perubahan iklim efek dari pemanasan global (Khasanah dan Julanda, 2017). Pemanasan global didasari oleh adanya peningkatan temperatur di lapisan atmosfer, air laut, dan daratan. Pemanasan global sendiri terjadi karena adanya tekanan terhadap lingkungan, seperti perusakan hutan, penggunaan energi yang berlebihan, pembakaran bahan bakar fosil dalam industri dan kendaraan serta emisi gas rumah kaca yang terperangkap di atmosfer (Sulma, 2012).

Dampak dari perubahan iklim, seperti: terjadi pemanasan global, menyebabkan timbulnya pertukaran massa air dan es antara daratan dan lautan sehingga menimbulkan perubahan pada *global mean sea level* (GMSL). Akibatnya semua wilayah di bumi mengalami perubahan permukaan air laut, setelah terjadinya penambahan massa komponen tersebut ke dalam lautan (Lorbarcher dkk., 2012).

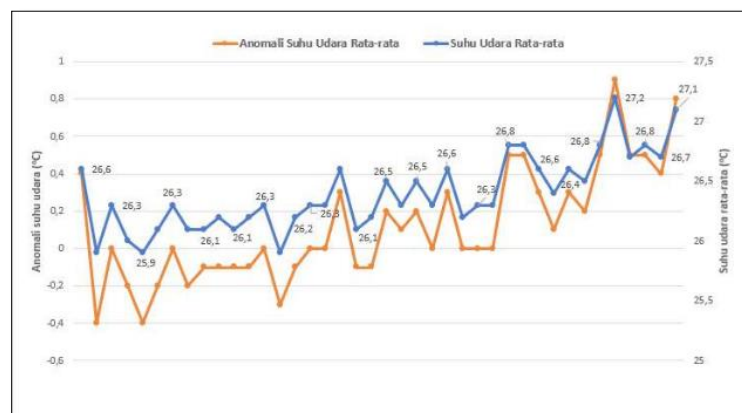
Prediksi GMSL pada tahun 2100 adalah terjadinya kenaikan permukaan air laut sebesar 0,26 hingga 0,98 meter akibat adanya ekspansi termal dan pencairan glasial (Gambar 1).



Gambar 1. Ramalan Global Mean Sea Level (GMSL) Tahun 2100

(Sumber: reefresilience.org)

Secara rata-rata tahunan, selama 30 tahun terakhir (1981 – 2020), suhu udara di Indonesia fluktuatif berkisar antara 25,9 °C – 27,2 °C. tercatat terjadi kenaikan suhu udara sebesar 1 °C (Gambar 2).



Gambar 2. Anomali dan Suhu Udara Rata-rata Bulan Agustus Tahun 1981 – 2020

(Sumber: bmg.go.id)

*World Meteorological Organization* (WMO) menginformasikan bahwa ada lebih dari 90 persen panas yang terperangkap oleh emisi karbon manusia disimpan di lautan, hanya sekitar 2,3 persen saja yang menghangatkan atmosfer, sedangkan sisanya untuk mencairkan salju dan es serta menghangatkan daratan. Saat atmosfer secara perlahan mulai mengalami kenaikan suhu, lapisan permukaan laut juga akan menghangat, sehingga volume air laut akan membesar dan menaikkan tinggi permukaan laut. Akibat pemanasan, mencairnya kutub es merupakan faktor utama penambah volume air di lautan (Badan Pusat Statistik, 2020).

Peristiwa kenaikan muka air laut dikelompokkan ke dalam dua bagian, yaitu kenaikan muka air laut jangka panjang dan kenaikan muka air laut jangka pendek. Dalam jangka panjang, kenaikan muka laut dapat diakibatkan oleh perubahan volume air laut (*eustatic change*) atau perubahan lokal termasuk didalamnya adalah kenaikan atau penurunan tanah (*isostasy effect*). Terjadinya kenaikan atau penurunan tanah dapat diakibatkan karena perubahan suhu atau densitas interior bumi (*thermal isostasy*), keberadaan es (*glacia isostasy*), keberadaan air (*hydro isostasy*), keluarnya magma dari dalam bumi (*volcanic isostasy*), dan erosi serta pengendapan sedimen (*sediment isostasy*). Adanya patahan tektonik (naik ataupun turun) juga dapat menyebabkan perubahan muka laut. Perubahan *ocean basin* yang disebabkan adanya pemekaran dasar laut atau sedimentasi dasar laut serta perubahan massa air akibat tutupan es kutub yang mencair dapat menyebabkan perubahan volume air laut. Untuk jangka pendek, perubahan muka air laut dapat terjadi akibat dinamika fisis laut seperti gelombang, angin, pasang surut air laut, dan badai siklon (Afifah dkk., 2017).

Kenaikan muka air laut menurut Khasanah dan Marza (2017) dapat dianalisis dengan menggunakan *trendline*. *Trend* kenaikan muka air laut dihitung berdasarkan *slope* bulanan untuk menentukan rata-rata kenaikan muka air laut per tahun. Untuk melihat *trend* kenaikan tinggi muka air laut melalui hasil pengolahan visualisasi data secara temporal (Gambar 3) digunakan persamaan Gregory (2008) :

$$y = ax + b$$

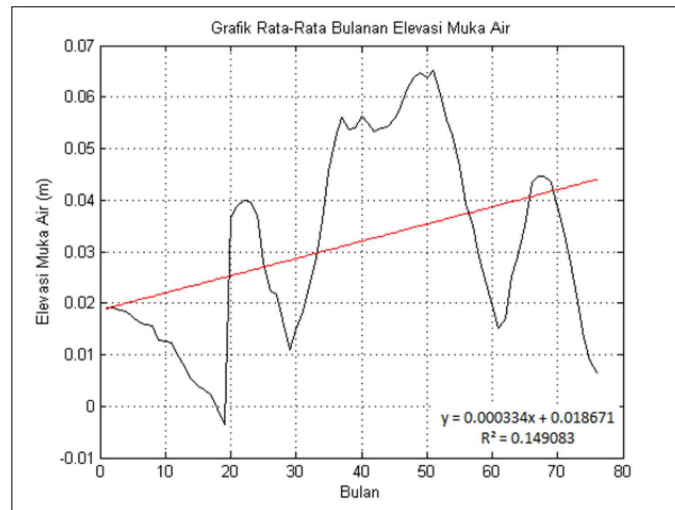
$$\text{Tren} = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{\Sigma ta}$$

Dengan, y : variabel dependen atau tak bebas yang dicari, dalam hal ini yaitu tren kenaikan muka air laut.

x : variabel independen atau bebas yang menyatakan waktu, dalam hal ini yaitu jumlah bulan.

a : koefisien regresi yang menyatakan ukuran kemiringan garis (*slope*).

b : titik perpotongan garis dengan sumbu y.



Gambar 3. Visualisasi Temporal Data *Sea Surface Height Anomalies* (SSHA) Tahun 2010-2016 pada Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) 573

(Sumber: Khasanah dan Marzuki, 2017).

### Dampak Kenaikan Muka Air Laut

Kawasan pesisir Indonesia ditempati oleh hampir 60% penduduknya. Berbagai kegiatan sosial dan ekonomi berlangsung di wilayah pesisir, karena tidak sedikit juga kota-kota besar di Indonesia berada di daerah pesisir. Kawasan ini juga digunakan sebagai pusat perdagangan dan pariwisata, selain itu juga merupakan penghubung antar pulau sehingga wilayah pesisir bernilai ekonomi tinggi.

Bencana kenaikan muka air laut dapat membawa dampak yang sangat buruk bagi negara kepulauan, seperti: Indonesia, yang memiliki garis pantai sepanjang 81.000 km serta laut dengan luas mencapai 3,1 juta km<sup>2</sup> (Dahuri, 2001), karena fenomena ini dapat menyebabkan terkikisnya garis pantai ke arah darat sehingga akan mempercepat laju erosi pantai berpasir, menimbulkan banjir di daerah pesisir, serta kerusakan pada infrastruktur, seperti: rumah masyarakat, dermaga, dan bangunan lainnya (Khasanah, 2015). Kemungkinan terburuk yang akan terjadi adalah ancaman tenggelamnya daratan di sekitar wilayah pesisir yang mengakibatkan masyarakat kehilangan tempat tinggal, kehilangan sumber mata pencaharian, dan tak jarang bencana ini dapat memakan korban jiwa.

### Penilaian Kerentanan Wilayah Pesisir Terhadap Bencana Kenaikan Muka Air Laut Analisis Kerentanan Geofisika

Penilaian kerentanan wilayah pesisir dilakukan dengan menggunakan *Coastal Vulnerability Index* (CVI). Metode ini memberikan penilaian terhadap indeks pada setiap

variabel yang akan dianalisis dan diklasifikasikan sesuai *range* nilai tertentu (Prathanazal dkk., 2021).

Sebagian besar CVI menggunakan parameter kerentanan geofisika yang merupakan modifikasi dari (Pendleton dkk. dan Gornitz dkk. *dalam* Joesidawati, 2017), seperti: tingkat abrasi dan akresi, bentuk geomorfologi pantai, kemiringan pantai, rerata tinggi gelombang, besar *range* pasang surut, dan kenaikan muka laut relatif. Adapun pembobotan kerentanan berdasarkan parameter geofisika yang telah dijabarkan di atas, diklasifikasikan seperti Tabel 1.

Tabel 1. Pembobotan Parameter Geofisika Kerentanan Pantai Terhadap Ancaman Kerusakan

No	Parameter	Bobot/Kelas Kerentanan				
		Tidak rentan	Kurang rentan	Sedang	Rentan	Sangat rentan
		1	2	3	4	5
1	Geomorfologi Pantai (GF) <sup>(1)</sup>	Tebing Tinggi	Tebing Sedang	Tebing rendah, dataran alluvial	Estuarine, Laguna	Pantai berpasir, Rawan, payau, paparan lumpur, delta, mangrove, karang
2	Ketinggian Permukaan Tanah (Elevasi/E) (dalam m) <sup>(2)</sup>	>30,0	20.1-30.0	10.1-20.0	5.1-10.0	0.0-5.0
3	Jarak pasang-surut Rata-rata (TR) (dalam m) <sup>(3)</sup>	> 6.0	4.0-6.0	2.0-4.0	1.0-2.0	< 1.0
4	Tinggi Gelombang Signifikan (SWH) (dalam m) <sup>(3)</sup>	< 0.55	0.55-0.85	0.85-1.05	1.05-1.25	> 1.25
5	Kenaikan Muka Air Laut Relatif (KMR) (dalam mm/th) <sup>(3)</sup>	< 1.8	1.8-2.5	2.5-3.0	3.0-3.4	> 3.4
6	Perubahan Garis pantai Relatif (PGP)	Hasil perhitungan Perubahan Garis pantai disesuaikan kondisi lapangan (adanya akresi, erosi). Ada 2 Acuan skor				
	Perubahan Garis pantai Relatif (m/th) (akresi dan abrasi) <sup>(3)</sup>	> 2.0 (akresi)	1.0-2.0 (akresi)	-1.0-1.0 (stabil)	-2.0- -1.0 (abrasi)	< -2.0 (abrasi)
	Perubahan Garis pantai Relatif (m/th) (abrasi) <sup>(4)</sup>	0	0-1	1.01-5	5.01-10	> 10

(Sumber: Thieler dan Hammar-Klose; Gornitz dkk.; Pendleton dkk.; Boruff dkk.; Joesidawati, 2017)

Indeks kerentanan pesisir dihitung dengan formulasi sebagai berikut :

$$CVI = \frac{\sqrt{\text{parameter A} \times \text{parameter B} \dots \dots * \text{parameter ke} - n}}{\Sigma \text{parameter}}$$

Dengan, CVI: Indeks Kerentanan Pesisir

Setelah diperoleh nilai dari hasil perhitungan indeks kerentanan pesisir, selanjutnya nilai tersebut akan dikelompokkan dalam lima tingkatan, yaitu 1) tidak rentan, 2) kurang rentan, 3) sedang, 4) rentan, dan 5) sangat rentan. Pengelompokan tingkatan tersebut dilakukan dengan membagi berdasarkan persen dengan kisaran antar tingkatan sebesar 20%. Jika, nilai indeks kurang dari sama dengan 20% termasuk kelas tidak rentan, untuk nilai 20% – 40% termasuk dalam kelas kurang rentan, nilai 40%

– 60% kelas sedang, 60% – 80% masuk dalam kelas rentan, dan lebih dari 80% masuk kelas sangat rentan (Joessidawati, 2017).

### Analisis Kerentanan Sosial Ekonomi

Dikutip dari hasil penelitian Sulma (2012), untuk menganalisa aspek kerentanan sosial ekonomi diawali dengan melakukan *Multi Criteria Analysis* (MCA), guna melakukan standarisasi nilai variabel berdasarkan *Social Vulnerability Index* (SoVI) dan normalisasi nilai indeks kerentanan.

Untuk nilai standar masing-masing variabel penyusun indeks kerentanan sosial ekonomi pada setiap unit yang dianalisis dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$X_{in} = (x_{in} - \min x_{in}) / (\max x_i - \min x_i)$$

Dengan,  $X_{in}$  : nilai standar dari variabel ke-i pada unit analisis ke-n  
 $x_{in}$  : nilai asli dari variabel ke-i pada unit analisis ke-n  
 $\max x_i$  : nilai i variabel tertinggi  
 $\min x_i$  : nilai variabel terendah

Melalui hasil standarisasi, tiap variabel memiliki kisaran minimum dan maksimum antara 0 – 1. *Range* variabel dibagi ke dalam 5 kategori, yaitu 1) sangat rendah (<0,2), rendah (0,2 – 0,4), sedang (0,4 – 0,6), tinggi (0,6 – 0,8), dan sangat tinggi (>0,8).

Selanjutnya, indeks SoVI dihitung dengan menggunakan rumus:

$$SoVI = \Sigma (bobot\ variabel * ranking) / 3$$

Dengan bobot setiap variabel ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Bobot Variabel Penyusun Indeks Kerentanan Sosial Ekonomi (SoVI)

Variabel	Bobot
Penggunaan lahan	0,5
Kepadatan penduduk	0,25
Persentase jumlah penduduk miskin	0,125

(Sumber: Radjwanne dan Szlafsztein dalam Sulma, 2012)

Dalam penelitian lain, Hidayah dkk. (2018) melakukan penentuan parameter kerentanan dengan pendekatan *Vulnerability Scoping Diagram* (VSD) yang diadaptasi dari (Polsky dkk., 2007). Pada indeks kerentanan ini, terdapat 17 variabel yang dikaji yaitu erosi pantai (ER), kenaikan muka air laut (SR), tinggi gelombang (GL), rata-rata tunggang pasang (PS), kejadian tsunami (TS), pertumbuhan (PD) dan kepadatan penduduk (KP), elevasi (EL) dan slope (SL), tipologi pantai (TP), penggunaan lahan (PL), tipologi pemukiman penduduk (PP), habitat pesisir (HP), ekosistem mangrove (MR), ekosistem lamun (LM), ekosistem terumbu karang (TK) dan konservasi laut (KL).



Lebih lanjut, metode penskalaan variabel dijelaskan ke dalam *range* nilai tertentu yang dinyatakan sebagai skor dari setiap variabel yang dianalisis. Terdapat berbagai macam tingkatan skoring untuk menentukan tingkat kerentanan, namun dalam penelitiannya digunakan skoring dari SOPAC (1999) dengan menggunakan 7 tingkatan (1-7). Nilai-nilai dari variabel tersebut secara sama dibagi ke dalam 5 tingkatan (Tabel 3).

Tabel 3. Bobot dan Nilai Seluruh Variabel

Parameter	Nilai Skor				
	1	2	3	4	5
<b>a. Exposure</b>					
Kenaikan Muka Laut (mm/tahun)	<4,99	5-99,9	10-14,99	15-25	>25
Erosi Pantai (m/tahun)	<0,5	0,5-2	2-5	5-10	10
Rataan Tunggang Pasang (m)	<0,50	0,51-1,0	1,1-2,0	2,1-4,0	>4
Tinggi Gelombang (m)	<0,50	0,51-1	1,1-1,5	1,5-2	>2
Frekuensi Kejadian Tsunami	0	1	2-3	4-10	>10
Pertumbuhan Penduduk (%)	<0,5	0,5-1,0	1,1-1,5	1,5-2	>2
Kepadatan Penduduk (jiwa/km <sup>2</sup> )	<75	76-150	151-200	201-400	>400
<b>b. Sensitivity</b>					
Elevasi (m)	405,1-641	274,1-405	165,1-274	72,1-165	0-72
Slope (%)	>40%	31-40	16-30	15-8	0-8
Tipologi Pantai	bervegetasi	berbatu	berkerikil	berpasir	hasil endapan
Penggunaan Lahan	lahan terbuka	budidaya laut	budi daya pertanian	pertanian	pemukiman
Letak Pemukiman Penduduk	ketinggian > 5 m	2-5 m	belakang sempadan pantai	sekitar pantai	diasat perairan
<b>c. Kapasitas Adaptasi</b>					
Luas Habitat Pesisir	lebih kecil atau sama	2x lebih besar	3x lebih besar	4x lebih besar	> 5x lebih besar
Tutupan Terumbu Karang (%)	75-100	50-74,9	25-49,9		0-24,9
Tutupan Mangrove (%)	> 70		50-70		< 50
Tutupan Lamun (%)	> 60		30-59,9		0-29,9
Konservasi Laut (Perbandingan)	0	1-10	11-25	26-40	>50

(Sumber: Hidayah dkk., 2018)

Konsep analisis kerentanan mengacu pada Tahir (2010), dengan ketentuan kerentanan (V) merupakan fungsi *overlay* dari *exposure* (E), *sensitivity* (S) dan *adaptive capacity* (AC), yang dinyatakan dalam bentuk matematika sebagai berikut :

$$V = f(E, S, AC) \dots\dots\dots(1)$$

Selanjutnya, persamaan di atas dituliskan lebih lanjut dalam persamaan matematika oleh Hamzah (2009) dan juga memiliki kesamaan dari persamaan yang dikembangkan oleh UNU-EHS (2006) :

$$V = (E \times S) / AC \dots\dots\dots(2)$$

Dengan menjabarkan variabel kerentanan yang diadopsi dari (Polsky dkk., 2007). Untuk nilai E, S, dan AC dirumuskan sebagai berikut :

$$E = 0,41 (SR \times ER) + 0,21 GL + 0,14 PS + 0,14 TS + 0,10 (PD \times KD) \quad (3)$$

$$S = 0,43 EL + 0,21 TP + 0,14 SL + 0,11 PL + 0,11 PP \quad (4)$$

$$AC = 0,40 HP + 0,20 TK + 0,20 MR + 0,10 LM + 0,10 KL \quad (5)$$

Kemudian, dengan mensubstitusi persamaan (3), (4), dan (5) ke dalam persamaan (2), maka diperoleh persamaan indeks kerentanan pulau-pulau kecil (IK-PPK) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$IK - PPK = (E \times IS) / IAC \dots\dots\dots(6)$$

Skala skoring setiap variabel adalah 1 – 5. Untuk nilai minimum IK-PPK adalah 0,20 dan nilai maksimum adalah 76,00. Dengan mendapatkan nilai maksimum dan minimum tersebut, maka skala penilaian tingkat kerentanan PPK terbagi ke dalam empat kategori (Doukakis *dalam* Hidayah dkk., 2018), yaitu :

- 0,20 – 6,04 : kerentanan rendah
- 6,05 – 18,18 : kerentanan sedang
- 18,19 – 40,48 : kerentanan tinggi
- 40,49 – 76,00 : kerentanan sangat tinggi

### **Upaya Mitigasi Bencana Kenaikan Muka Air Laut**

Pengertian mitigasi dalam UU Nomor 24 Tahun 2007 adalah serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.

Dalam buku pedoman mitigasi bencana alam dan pulau-pulau kecil yang diterbitkan oleh Departemen Kelautan dan Perikanan (DKP) pada tahun 2004, menjelaskan ada beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mitigasi bencana kenaikan muka air laut, upaya mitigasi tersebut terbagi menjadi dua kelompok yaitu mitigasi struktural dan mitigasi non struktural.

### **Upaya Mitigasi Struktural**

Upaya struktural merupakan upaya fisik atau teknis yang bertujuan untuk melindungi lingkungan pesisir dan PPK yang sangat rentan terhadap bencana. Adapun upaya penanggulangan secara fisis antara lain :

1. Membuat sistem perlindungan pantai baik yang bersifat dinamis seperti penanaman mangrove dan bersifat statis, seperti: pembuatan deretan groin, tanggul, *breakwater*, *seawall*.
2. Meninggikan bangunan dan jalan.
3. Memindahkan segala bentuk fasilitas dan lahan pantai ke arah daratan yang jauh dari jangkauan air laut.
4. Penyesuaian sistem drainase.

### **Upaya Mitigasi Non Struktural**

Upaya non struktural merupakan upaya non teknis yang terkait dengan penyesuaian dan peraturan tentang kegiatan manusia agar sejalan dan sesuai dengan

upaya mitigasi struktural. Adapun beberapa kegiatan yang masuk ke dalam upaya mitigasi non struktural adalah sebagai berikut :

1. Menyusun kebijakan untuk pemerintah terkait *stakeholder* mengenai pembuatan sistem pelindung pantai.
2. Penyusunan regulasi yang mengatur izin bangunan terhadap lahan yang terkena erosi akibat kenaikan muka air laut.
3. Membangun sistem peringatan dini kenaikan muka air laut dengan memasang alat pemantauan kenaikan muka air laut dan pengamatan pasang surut air laut yang ditempatkan pada setiap pelabuhan atau daerah pemukiman masyarakat pesisir.
4. Membuat peta kerentanan daerah yang rawan terhadap bencana.

## KESIMPULAN

Kenaikan muka air laut merupakan bencana yang ditimbulkan akibat adanya perubahan iklim pengaruh dari pemanasan global. Sebagai negara kepulauan, yang hampir 60% masyarakatnya tinggal di kawasan pesisir, Indonesia sangat rentan terdampak bahaya dari bencana ini.

Untuk menentukan tingkat kerentanan sebagai upaya untuk melakukan mitigasi bencana, ada beberapa aspek yang perlu dianalisis seperti aspek kerentanan geofisika dan aspek kerentanan sosial ekonomi.

Dalam upaya mitigasi bencana kenaikan muka air laut, dilakukan dengan mitigasi struktural (secara fisis atau teknis) dan mitigasi non struktural (secara non teknis).

## REFERENSI

- Afifah, I.N., Hamzah L., Mutiara R.P. Farrah H. Dominik O I., dan Muhammad F. 2017. Kajian Bahaya Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Pesisir Jakarta. *Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan XIV & Kongres X ISOI*. Tanjungpinang. Hal : 331-341.
- Dahuri, Rokhimin. 2001. Pengelolaan Ruang Wilayah Pesisir dan Lautan Seiring dengan pelaksanaan Otonomi Daerah. *Jurnal Mimbar*. Vol 17 (2). Hal : 139-171.
- Departemen Kelautan dan Perikanan (DKP). 2004. Pedoman Mitigasi Bencana Alam di Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Jakarta.
- Effendy, Mahfud. 2009. Pengelolaan Wilayah Pesisir Secara Terpadu:Soulsi Pemanfaatan Ruang, Pemanfaatan Sumberdaya dan Pemandaatan Kapasitas Asimilasi Wilayah Pesisir yang Optimal dan Berkelanjutan. *Jurnal Kelautan*. Vol 2 (1). Hal : 81-86.
- Fahruri, S. 2007. Studi Tata Guna Lahan Kawasan Pesisir Teluk Prigi-Trenggalek Berbasis Indeks Kerentanan Bencana. Tesis Magister Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Gregory, J. 2008. Sea Level Rise. Planet Earth. [Online]. Tersedia : [www.nerc.ac.uk/planetearth/stories/93](http://www.nerc.ac.uk/planetearth/stories/93). Diakses pada Minggu, 25 April pukul 19.20 WIB.

- Hidayah, Z., Agus R., dan Yudha W. 2018. Penilaian Kerentanan Wilayah Pesisir Selatan Pulau Bawean terhadap Kenaikan Muka Air Laut. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*. Vol 20 (2). Hal : 87-94.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Climate Change 2013: The Physical Sciences Basis. Contributing of Working Group I to the Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 1535 pp. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2018. Sea Level Change.
- Isdianto, A., Wahyudi C., dan Kriyo S. 2014. Zonasi Wilayah Pesisir Akibat Kenaikan Muka Air Laut. *Jurnal Pemukiman*. Vol 9 (3). Hal : 148-157.
- Joedidawati, M.I. 2017. Pengolahan Data Penginderaan Jauh Untuk Penentuan Parameter CVI (*Coastal Vulnerability Index*) Terhadap SLR Kawasan Pesisir Tuban. *Prosiding Seminar Nasional Unirow Tuban*. Jawa Timur. Hal : 92-100.
- Khasanah, I.W dan Julanda N Y. 2017. Kenaikan Muka Air Laut Perairan Sumatera Barat Berdasarkan Data Satelit Altimetri Jason-2. *Jurnal Geomatika*. Vol 23 (1). Hal : 1-8.
- Khasanah, U.N dan Marza I M. 2017. Analisis Kenaikan Muka Air Laut Menggunakan Data Altimetri untuk Aplikasi Mitigasi Perubahan Iklim di Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) 573. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4*. Hal : 265-270.
- Samyono, Wida Hanayasashi. 2014. Kenaikan Muka Laut Indonesia 0,76 cm Per Tahun. [Online]. Tersedia : <http://pusriskel.litbang.kkp.go.id/index.php/home/390-kenaikan-muka-laut-indonesia-076-cm-per-tahun>. Diakses pada Sabtu, 24 April pukul 19.15 WIB.
- Sulma, Sayidah. 2012. Kerentanan Pesisir Terhadap Kenaikan Muka Air Laut (Studi Kasus: Surabaya dan Daerah Sekitarnya). Tesis Program Magister Ilmu Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Depok.
- Syah, Achmad Fachruddin. 2013. Pengukuran Daerah Genangan di Pesisir Bangkalan Akibat Naiknya Muka Air Laut. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. Vol 5 (1). Hal : 67-71.
- Tahir, A. 2010. Formulation Of Environmental Vulnerability Index For Small Islands: Case Of Kasu Island-Batam, Barrang Lompo Island Makasar, and Saonek Island-Raja Ampat. Central Library of Bogor Agricultural University.
- Yanuar, Y. 2008. Studi Kerentanan Bencana Alam Wilayah Pesisir Pantai Barat Kabupaten Serang Provinsi Banten Berbasis Sistem Informasi Geografis. Tesis Magister Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.