

Penilaian Kerentanan Wilayah Pesisir Selatan Pulau Bawean terhadap Kenaikan Muka Air Laut

Vulnerability Analysis of Sea Level Rise In The Southern Coast of Bawean Island

Zainul Hidayah*, Agus Romadhon & Yudha Witjarnoko

Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Trunojoyo Madura

*Corresponding Author: zainulhidayah@trunojoyo.ac.id

Abstrak

Pulau Bawean merupakan salah satu pulau kecil di Jawa Timur yang memiliki potensi sumberdaya alam dan jasa lingkungan yang tinggi. Namun dalam beberapa tahun terakhir, terdapat laporan bahwa dampak kenaikan muka air laut mulai terasa di pulau ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan parameter-parameter yang paling berpengaruh pada kerentanan Pulau Bawean khususnya kawasan pesisir di bagian selatan terhadap potensi bencana akibat kenaikan muka air laut. Penelitian dilakukan pada bulan Juli sampai dengan September tahun 2017. Metode yang digunakan adalah kombinasi antara analisis data spasial memanfaatkan data penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG), survey lapangan dan wawancara dengan masyarakat Pulau Bawean. Selanjutnya dilakukan penilaian (skoring) terhadap beberapa parameter utama yang terbagi dalam 3 indeks, yaitu keterbukaan/ketersingkupan, sensitivitas dan kemampuan adaptasi. Hasil perhitungan indeks kerentanan di bagian selatan Pulau Bawean menunjukkan nilai 3,371 yang termasuk kedalam kategori kerentanan rendah.

Kata Kunci: Pulau Bawean; kerentanan; kenaikan muka air laut

Abstract

Bawean island is one of numerous small islands in East Java. This island is famous for its natural resources and high level of environmental services. However in the last few years, effects of sea level rises on the island have been reported. Objective of this research was to identify and determine parameters that have significant impact on the vulnerability of the island due to sea level rise events. This research was conducted from July until September 2017. The method used for this study was a combination of spatial analysis using remote sensing and Geographical Information System (GIS), field survey and interviews with local people. Vulnerability assesment was conducted for three parameters, namely Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity. The results showed that the vulnerability index in the southern part of the island is 3.381. It can be classified as low vulnerability.

Key words: The Bawean Island; vulnerability; sea level rise

Pengantar

Wilayah pesisir memiliki produktivitas paling tinggi namun juga paling rentan dan berpeluang mendapat tekanan dari darat maupun dari laut. Sebagai kawasan yang berbatasan dengan lautan, pantai juga merupakan kawasan yang rawan terjadi permasalahan, seperti halnya masalah abrasi, perikanan tidak ramah lingkungan, penurunan kualitas lingkungan, pendangkalan pantai serta kerusakan ekosistem (Romadhon, 2014). Selain itu, salah satu bentuk bencana lain yang secara gradual mengancam lingkungan pesisir adalah kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim. Berdasarkan data dari Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tahun 2013, rata-rata kenaikan suhu permukaan laut di bumi adalah 0,3-0,6 °C sejak akhir abad ke 19. Apabila menggunakan kecenderungan tersebut, maka pada tahun 2100 suhu permukaan laut di bumi diperkirakan naik hingga 1,4 °C (Andre,

2013; Hidayah *et al.*, 2018). Akibat dari kenaikan suhu permukaan laut tersebut, maka laju pencairan es di kutub utara dan selatan akan semakin cepat dan pada akhirnya akan menyebabkan kenaikan permukaan air laut. Laporan IPCC (2013) menjelaskan bahwa kawasan pesisir pantai Asia Tenggara akan mengalami kenaikan muka air laut 10-15 persen lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata kenaikan muka air laut global. Kenaikan muka air laut di tahun 2050 akan mencapai hingga 50 cm dan 100 cm di tahun 2090. Proses alamiah ini berlangsung sangat lambat tanpa disadari oleh manusia sehingga hasilnya dapat terlihat setelah bertahun-tahun lamanya (Webb & Kench, 2010).

Kerentanan pulau-pulau kecil dapat diartikan kemudahan suatu sistem pulau-pulau kecil mengalami kerusakan. Semakin tinggi tingkat kerentanan suatu pulau, semakin mudah pulau tersebut mengalami kerusakan dimana paling rawan dan rentan terhadap

kenaikan muka air laut (Mimura, 1999). Konsep kerentanan seperti yang dijelaskan oleh McCarthy *et al.* (2001) adalah merupakan fungsi dari karakter, magnitude, laju variasi iklim, sensitivitas dan kapasitas adaptasinya. Sedangkan penjelasan lainnya oleh Kaspersen *et al.* (2003) dan Turner *et al.* (2003) menyebutkan bahwa kerentanan adalah tingkat dimana manusia dan sistem alam akan mengalami kerugian karena gangguan atau tekanan dari luar. Lebih jelas dinyatakan oleh Tahir (2010) bahwa kerentanan wilayah pesisir terhadap perubahan iklim dan kenaikan muka laut adalah tingkat ketidakmampuan wilayah pesisir untuk mengatasi dampak dari perubahan iklim dan kenaikan muka laut.

Studi mengenai dampak kenaikan muka air laut terhadap lingkungan pesisir dan pulau-pulau kecil cukup banyak dilakukan, antara lain di Semarang (Marfai & King, 2008), Banjarmasin (Susandi *et al.*, 2008). Penelitian-penelitian tersebut menyimpulkan bahwa terjadinya kenaikan muka air laut akan memiliki dampak negatif yang luas, tidak hanya bagi lingkungan saja namun juga sangat merugikan dari sisi sosial dan ekonomi. Oleh karena itu, Marfai & King (2008) menyarankan bahwa perlu adanya berbagai cara adaptasi yang dapat diterapkan oleh masyarakat yang tinggal di wilayah yang rentan terhadap kenaikan muka air laut. Untuk menentukan cara adaptasi yang sesuai, maka perlu dilakukan analisis terhadap parameter-parameter yang dianggap menentukan tingkat kerentanan wilayah pesisir terhadap terjadinya kenaikan muka air laut. Menurut Retraubun (2002) pulau kecil memiliki resiko lingkungan yang tinggi, sangat rentan terhadap pencemaran dan kerusakan akibat bencana alam atau perubahan lingkungan yang disebabkan baik alami maupun non-alami. Salah satu pulau kecil yang rentan terhadap kenaikan muka air laut adalah kawasan pesisir Pulau Bawean Kabupaten Gresik.

Pulau Bawean terletak di Kabupaten Gresik yang secara administratif masuk ke dalam Provinsi Jawa Timur. Bawean merujuk pada sebuah kumpulan pulau-pulau kecil yang terletak di kawasan laut Jawa kurang lebih 120 kilometer sebelah utara Surabaya. Secara geografis berada pada koordinat 05°76'49,54" sampai 05°87'13,43" Lintang Selatan

dan 112° 56'90,92" sampai 112°77'63,14" Bujur Timur mempunyai luas wilayah sekitar 11.872 Ha (Dinas Kelautan dan Perikanan Jawa Timur, 2016). Pulau ini cukup terkenal sebagai salah satu destinasi wisata bahari di Jawa Timur. Selain memiliki bentang alam daratan yang unik, Pulau Bawean terkenal memiliki panorama pantai dan bawah air yang menarik karena keberadaan ekosistem lamun dan terumbu karang yang cukup baik kondisinya (Hidayah *et al.*, 2015). Namun menurut keterangan dari Dinas Kelautan Perikanan Jawa Timur yang diperkuat dengan hasil penelitian pendahuluan, didapatkan informasi bahwa di beberapa bagian pulau, khususnya sebelah selatan telah mengalami dampak akibat kenaikan muka air laut. Dampak yang dirasakan antara lain abrasi pantai, banjir air pasang (rob) dan intrusi air laut.

Selanjutnya, berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 64 tahun 2010 tentang mitigasi bencana di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, bahwa upaya analisis tingkat kerentanan pulau-pulau kecil merupakan bagian dari upaya mengurangi resiko bencana secara struktur dan fisik. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap parameter-parameter yang terkait dengan kerentanan pulau kecil akibat kenaikan muka air laut. Penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan parameter-parameter yang paling berpengaruh pada kerentanan Pulau Bawean khususnya kawasan pesisir di bagian selatan terhadap potensi bencana akibat kenaikan muka air laut.

Bahan dan Metode

Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan berupa data-data spasial dan non spasial. Data-data tersebut dikumpulkan secara primer melalui survey lapang dan wawancara dengan pihak-pihak terkait serta secara sekunder melalui pengumpulan data dari berbagai instansi. Jenis dan sumber data dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Metode

Penentuan Bobot dan Nilai Parameter Kerentanan

Penentuan parameter kerentanan menggunakan pendekatan VSD (*vulnerability scoping diagram*)

Tabel 1. Jenis Data yang Digunakan.

Jenis Data	Sumber
Digital Elevation Model (DEM)	ASTER G-DEM
Peta Rupa Bumi (RBI)	Badan Informasi Geospasial
Data Oseanografi dan Meteorologi	Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Perak
Data Demografi	BPS Kabupaten Gresik
Penggunaan Lahan	Intrepetasi Citra Landsat 8
Ekosistem Pesisir	Survey Lapang
Aktivitas Masyarakat dan Dampak Kenaikan Muka Laut	Survey Lapang, Wawancara

(Polsky *et al.*, 2007). Pada pendekatan indeks kerentanan tersebut terdapat 17 parameter yang dikaji, yaitu sebagai berikut: 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).

Metode penskalaan parameter ke dalam nilai-nilai tertentu merupakan salah satu dari sekian banyak pendekatan yang digunakan dalam penentuan indeks. Nilai-nilai tersebut dinyatakan sebagai nilai skor dari setiap parameter. Untuk menghasilkan sebuah indeks tunggal, keragaan data dan indicator perlu distandarisasi ke dalam suatu unit yang sama (Bossel, 1999). Hal ini berguna untuk mereduksi seluruh komponen ke suatu nilai skoring pada beberapa tingkatan. Terdapat bermacam-macam penelitian yang menggunakan tingkatan atau peringkat dan skoring yang digunakan. SOPAC (1999) menggunakan 7 tingkatan (1-7). Untuk menentukan nilai beberapa parameter yang belum pernah digunakan oleh peneliti lainnya, digunakan *linear effect*, yaitu membagi nilai-nilai parameter secara sama kedalam 5 tingkatan (Tabel 2). Selanjutnya dilakukan kuantifikasi untuk mendapatkan nilai kerentanan

seperti yang disajikan pada persamaan-persamaan dibawah ini.

Konsep kerentanan mengacu pada Tahir (2010) di mana kerentanan (V) merupakan fungsi *overlay* dari *exposure* (E), *sensitivity* (S) dan *adaptive capacity* (AC), selanjutnya diekspresikan dalam bentuk matematika sebagai berikut

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

Fungsi tersebut diatas diekspresikan lebih lanjut dalam bentuk persamaan matematika Hamzah (2009) dan juga memiliki kesamaan yang dikembangkan oleh UNU-EHS (2006) :

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

Dengan menjabarkan parameter kerentanan seperti yang diadopsi dari Polsky *et al.* (2007), maka nilai E, S dan AC dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

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

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

Dengan mensubstitusikan persamaan (3), (4) dan (5) ke dalam persamaan (2) diperoleh persamaan

Tabel 2. Bobot dan Nilai Seluruh Parameter.

Parameter	Nilai Skor				
	1	2	3	4	5
a. Exposure					
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 ²)	<75	76-150	151-200	201-400	>400
b. Sensitivity					
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	diatas perairan
c. Kapasitas Adaptasi					
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

indeks kerentanan pulau-pulau kecil (IK-PPK) sebagai berikut:

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

Skala penilaian (skor) setiap parameter adalah 1 sampai 5. Dengan mensubstitusikan nilai maksimum dan minimum ke dalam persamaan (6), diperoleh nilai minimum IK-PPK sebesar 0,20 dan nilai maksimum sebesar 76,00. Dengan menggunakan nilai maksimum dan minimum tersebut, maka skala penilaian tingkat kerentanan pulau-pulau kecil dibagi menjadi 4 kategori (Doukakis, 2005) sebagai berikut :

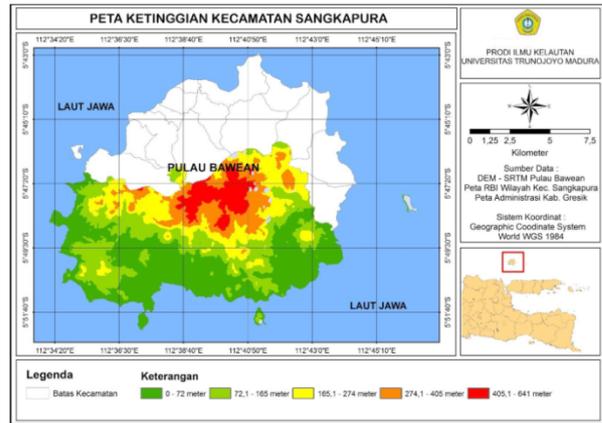
- 0,20 - 6,04 : Kerentanan rendah
- 6,05 - 18,18 : Kerentanan sedang
- 18,19 - 40,48 : Kerentanan tinggi
- 49,49 - 76,00 : Kerentanan sangat tinggi

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Fisik Wilayah

Penelitian ini dilakukan di bagian selatan Pulau Bawean yang secara administratif termasuk dalam wilayah Kecamatan Sangkapura. Kecamatan ini terdiri dari 17 desa dengan total luas wilayah sebesar 11.872 Ha. Kondisi lahan di wilayah ini cukup beragam terdiri dari lahan yang berbukit, berbatu, lahan basah meliputi sawah dan rawa serta terdiri dari lahan kering berupa pemukiman, tegalan dan kebun. Mata pencaharian penduduk Kecamatan Sangkapura sebagian besar (71,85%) adalah petani dan nelayan.

Bagian selatan Pulau Bawean memiliki ketinggian 0-641 m diatas permukaan laut. Hasil analisa topografi, diketahui rentang ketinggian 0-72 m memiliki luasan 1.334 Ha, 72,1–165 m dengan luasan 1.722 Ha, 165,1–274 m memiliki luasan 2.018 Ha, rentang 274,1 – 405 m memiliki luasan 2.426 Ha dan ketinggian 405,1 – 641 m dengan luasan 4.372 Ha. Kemiringan lahan di bagian selatan Pulau Bawean berkisar antara 0-40%. Klasifikasi adalah kemiringan datar (0-8 %) dengan luas 1.334 Ha, sedikit datar (9-15 %) dengan luas sebesar 1.722 Ha, agak curam (16-30 %) dengan luas 2.018 Ha, curam (31-40 %) dengan cakupan luas 2.426 Ha, dan sangat curam (>40 %) dengan cakupan luas sebesar 4.372 Ha (Gambar 1). Kecamatan Sangkapura memiliki dua pulau kecil yaitu Pulau Selayar termasuk dalam wilayah Desa Sungairujung dan Pulau Gili Noko yang termasuk dalam wilayah Desa Sidogedungbatu.



Gambar 1. Peta Ketinggian dan Kemiringan Lereng Wilayah Bagian Selatan Pulau Bawean

Kondisi Ekosistem Pesisir dan Sumberdaya

Habitat pesisir memiliki kemampuan melindungi terhadap gangguan dari luar. Komponen biotik terdiri dari ekosistem karang, mangrove dan lamun, sedangkan komponen abiotik terdiri dari pantai berpasir, pantai berbatu dan pantai berlumpur (Bengen, 2012). Hubungan antara habitat pesisir dan kerentanan pulau berbanding lurus dimana semakin besar proporsi habitat pesisir terhadap daratan, maka semakin tinggi kemampuan perlindungan yang diberikan terhadap daratan pulau tersebut.

Berdasarkan hasil pengamatan lapang dan intrepetasi citra satelit, bagian selatan Pulau Bawean memiliki habitat yang beraneka ragam mulai dari pantai berpasir, bervegetasi hingga berbatu. Ekosistem yang terdapat pada lokasi penelitian yaitu ekosistem hutan mangrove, padang lamun dan terumbu karang (Gambar 2). Luas ekosistem hutan mangrove yang terdeteksi adalah sebesar 23,629 Ha. Sementara itu untuk ekosistem padang lamu memiliki luas sebesar 27,397 Ha dan terumbu karang sebesar 35,521 Ha. Apabila dibandingkan antara luas seluruh ekosistem pesisir dengan luas lokasi penelitian, maka didapatkan perbandingan sebesar 1:37.



Gambar 2. Peta Sebaran Ekosistem Hutan Mangrove, Padang Lamun dan Terumbu Karang di Bagian Selatan Pulau Bawean.

Kondisi Oseanografi

Data yang dipergunakan untuk mendapatkan informasi tentang kondisi oseanografi di lokasi penelitian berasal dari BMKG Perak. Berdasarkan sumber data tersebut

diketahui bahwa tinggi gelombang signifikan (H_s) di perairan bagian selatan Pulau Bawean rata-rata adalah 1,41 m. Selanjutnya dengan menggunakan perhitungan *Least Square* diketahui bahwa tipe pasang surut di perairan tersebut adalah Diurnal (bilangan Formzahl 5,42-5,90) dengan nilai rata-rata tunggang pasang untuk setiap bulannya maksimal 1,77 meter pada bulan Desember dan minimal 1,12 m pada bulan September. Menurut hasil studi literatur dan wawancara dengan masyarakat setempat dapat diperkirakan telah terjadi proses abrasi pantai dengan laju $\pm 0,5$ m/tahun. Melalui metode wawancara juga diketahui bahwa tidak pernah terjadi tsunami di Pulau Bawean. Namun masyarakat tetap merasa khawatir akan timbulnya tsunami mengingat Pulau Bawean terletak di laut lepas.

Penilaian Parameter Kerentanan

Nilai pada indeks *Exposure* (Keterbukaan/Ketersingkupan) memiliki nilai yang beraneka ragam mulai dari tidak rentan, rentan, hingga sangat rentan. Pada parameter oseanografi seperti gelombang dan rata-rata tunggang pasang sama-

Tabel 3. Hasil Analisa Indeks Keterbukaan/Ketersingkupan (*Exposure*)

Parameter	Hasil Perhitungan	Skor	Kategori
Kenaikan Muka Laut (mm/tahun)	0,01 mm/tahun	1	Tidak rentan
Erosi Pantai (m/tahun)	0,5 m/tahun	1	Tidak rentan
Rataan Tunggang Pasang (m)	1,1 - 2,0	3	Cukup Rentan
Tinggi Gelombang (m)	1,1-1,5	3	Cukup Rentan
Frekuensi Kejadian Tsunami	0	1	Tidak rentan
Pertumbuhan Penduduk (%)	2,28%	5	Sangat Rentan
Kepadatan Penduduk (jiwa/km ²)	<75 jiwa/km ²	1	Tidak rentan

Tabel 4. Hasil Analisa Indeks Sensitivitas (*Sensitivity*)

Parameter	Hasil Perhitungan	Skor	Kategori
Elevasi (m)	0-72	5	Sangat Rentan
Slope (%)	0-8	5	Sangat Rentan
Tipologi Pantai	Pantai Berpasir	4	Rentan
Penggunaan Lahan	Pemukiman	5	Sangat Rentan
Letak Pemukiman Penduduk (m)	2-5	2	Agak Rentan

Tabel 5. Hasil Analisa Indeks Kemampuan Adaptasi (*Adaptive Capacity*)

Parameter	Hasil Perhitungan	Skor	Kategori
Luas Habitat Pesisir	lebih kecil	1	Tidak Rentan
Tutupan Terumbu Karang (%)	< 24,9	5	Sangat Rentan
Tutupan Mangrove (%)	< 50	5	Sangat Rentan
Tutupan Lamun (%)	< 29,9	5	Sangat Rentan
Konservasi Laut (Perbandingan)	1-10	1	Tidak Rentan

Tabel 6. Hasil Perhitungan Indeks Kerentanan Pulau Kecil.

Nama Wilayah	Indeks Kerentanan			Nilai Akhir	Status
	<i>Exposure</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>Adaptive</i>		
Pesisir Selatan Pulau Bawean	2,1	4,53	3	3,171	Kerentanan Rendah

sama masuk kedalam kategori cukup rentan dan untuk parameter kenaikan muka air laut yang nilainya sangat kecil masuk dalam kategori tidak rentan. Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara dilapang selama ini tidak pernah terjadi kejadian tsunami sehingga masuk kedalam kategori tidak rentan, sedangkan proses terjadinya erosi sangat kecil terjadi karena masih terjaganya ekosistem pesisir. Nilai parameter pertumbuhan dan kepadatan penduduk terjadi perbedaan yang sangat signifikan dimana pertumbuhan penduduk di bagian selatan Pulau Bawean sangat tinggi yaitu sebesar 6,23% sedangkan untuk keadatan penduduk sebesar 13,28 jiwa/Ha. Perbedaan ini disebabkan banyak pendatang yang berbanding terbalik dengan luas daratan yang masih belum ditempati (Tabel 3).

Hasil perhitungan untuk indeks *Sensitivity* (sensitivitas) menunjukkan hasil yang bervariasi. Namun apabila ditinjau dari nilai setiap parameter, maka menunjukkan rentang agak rentan hingga sangat rentan. Parameter yang berada pada klasifikasi sangat rentan adalah elevasi, slope dan penggunaan lahan. Hal tersebut menunjukkan bahwa secara alami, topografi bagian selatan Pulau Bawean yang relatif landai tergolong sensitif terhadap potensi kenaikan muka air laut. Sementara itu, tipe penggunaan lahan dominan yaitu pemukiman juga berkontribusi dalam kategori tersebut. Pemukiman yang terletak di dekat pantai akan menjadi area yang terdampak cukup besar baik dari sisi lingkungan maupun sosial ekonomi apabila terjadi bencana akibat kenaikan muka air laut. Hasil perhitungan indeks *Sensitivity* disajikan pada Tabel 4.

Selanjutnya untuk penilaian *Adaptive Capacity* (kemampuan adaptasi) menunjukkan bahwa hampir sebagian besar parameter berada pada kategori sangat rentan. Rendahnya tutupan terumbu karang, hutan mangrove dan padang lamun merupakan faktor utama penyebab tingginya tingkat kerentanan bagian selatan Pulau Bawean terhadap bencana pesisir, khususnya akibat kenaikan muka air laut. Ekosistem-ekosistem tersebut secara alami memiliki fungsi untuk melindungi lingkungan pesisir. Namun, fungsi tersebut akan hilang apabila kondisi ekosistem pesisir menjadi rusak akibat faktor alam maupun sebagai dampak aktivitas manusia. Berdasarkan hasil observasi lapangan, dapat diketahui bahwa rusaknya ekosistem mangrove di pesisir selatan Pulau Bawean adalah akibat penebangan liar dan konversi lahan. Sementara itu, penangkapan ikan menggunakan potas dan bahan peledak ditengarai sebagai faktor utama yang menjadikan tutupan lamun dan terumbu karang menjadi terancam. Hasil perhitungan untuk indeks *Adaptive Capacity* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan penentuan

tingkat kerentanan pesisir bagian selatan Pulau Bawean terhadap bencana akibat kenaikan muka air laut. Hasil perhitungan menunjukkan nilai indeks 3,171 yang termasuk dalam tingkat kerentanan rendah. Nilai yang didapat berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat diartikan bahwa untuk jenis bencana akibat kenaikan muka air laut, bagian selatan Pulau Bawean memiliki resiko yang rendah. Apabila ditinjau dari persamaan perhitungan indeks kerentanan (IK-PPK) didapatkan bahwa indeks *Exposure* yang rendah merupakan penyebab tingkat kerentanan lokasi penelitian berada pada kategori kerentanan rendah. Hal tersebut dapat diduga karena faktor-faktor alam yang dapat menjadi pemicu tingginya nilai indeks *Exposure* belum memberikan pengaruh yang signifikan.

Meskipun berdasarkan perhitungan pada penelitian menunjukkan tingkat kerentanan yang rendah, namun perlu digarisbawahi bahwa kerentanan suatu kawasan terhadap bencana alam bersifat dinamis. Hal ini berarti bahwa tingkat kerentanan dapat berubah seiring dengan perubahan faktor-faktor yang mempengaruhinya (Tahir, 2010). Apabila dikaitkan dengan yang terjadi pada lokasi penelitian, kemungkinan tersebut dapat terjadi pada nilai indeks *Exposure*. Perubahan nilai parameter-parameter pada indeks *Exposure* dipengaruhi secara signifikan oleh fenomena global yaitu perubahan iklim yang menyebabkan naiknya suhu bumi, sehingga berakibat naiknya permukaan muka air laut. Nilai yang terukur pada saat adalah rendah, namun apabila kenaikan muka air laut terus terjadi, sangat memungkinkan bahwa nilai indeks *Exposure* akan meningkat dan mempengaruhi hasil perhitungan selanjutnya.

Pencegahan kenaikan muka air laut secara global sangat sulit untuk dilakukan, karena memerlukan upaya penurunan tingkat pencemaran udara akibat gas rumah kaca secara internasional. Ketika hal tersebut membutuhkan upaya yang keras dan memerlukan waktu yang panjang, maka diperlukan upaya lain agar lingkungan Pulau Bawean dapat bertahan terhadap ancaman bencana pada masa yang datang. Apabila ditinjau dari perhitungan IK-PPK maka upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memperbaiki kondisi lingkungan pesisir dengan menambah atau memperbaiki tingkat penutupan hutan mangrove, padang lamun dan terumbu karang. Ketiga ekosistem tersebut dapat dijumpai di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dan memiliki kesatuan ekologi yang saling berinteraksi. McClanahan *et al.*, (2008) menjelaskan bahwa habitat pesisir dan ketiga ekosistem pulau-pulau kecil ini memiliki kemampuan adaptasi terhadap berbagai gangguan dari luar. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam konteks pengelolaan pesisir dan pulau-pulau

kecil, kapasitas adaptif diartikan sebagai kemampuan untuk mengantisipasi dan merespon terhadap perubahan lingkungan. Ekosistem pesisir (mangrove, terumbu karang dan lamun) mempunyai fungsi untuk meminimalisasi dan memulihkan lingkungan dari berbagai ancaman kerusakan. Oleh karena itu, semakin luas ekosistem pesisir di pulau-pulau kecil, maka semakin besar kapasitas adaptif dari pulau tersebut.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan indeks kerentanan pulau-pulau kecil terhadap bencana kenaikan muka air laut, maka bagian selatan Pulau Bawean bisa dikategorikan sebagai kawasan dengan tingkat kerentanan rendah (IK-PPK = 3,371). Nilai ini diakibatkan oleh rendahnya indeks *Exposure*, meskipun kedua indeks lainnya menunjukkan kondisi yang rentan. Penilaian IK-PPK bersifat dinamis, sehingga terdapat kemungkinan nilainya dapat berubah pada masa yang akan datang. Perbaikan kondisi ekosistem hutan mangrove, padang lamun dan terumbu karang direkomendasikan sebagai langkah utama agar tidak terjadi kenaikan tingkat kerentanan di bagian selatan Pulau Bawean.

Saran

Penelitian ini berhasil mengukur tingkat kerentanan pulau-pulau kecil terhadap ancaman kenaikan muka air laut. Namun pada masa yang akan datang dimungkinkan terjadinya perubahan nilai parameter dan indeks secara keseluruhan. Agar hal tersebut dapat diantisipasi, perlu dilakukan pemodelan menggunakan dinamika sistem untuk bisa memprediksi tingkat kerentanan dan dampaknya terhadap lingkungan pesisir, khususnya di bagian selatan Pulau Bawean.

Daftar Pustaka

Andre, C. 2013. Analysis of damages due to marine flooding and evaluation of building costs from insurance data. Perspectives from the Johanna (2008) and Xynthia (2010) Storms PhD Thesis. James Cook University, Australia.

Bengen, D.G. 2012. Pedoman Pengembangan Minawisata Pulau-Pulau Kecil. Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Direktorat Pendayagunaan Pulau-Pulau Kecil. Kementerian Kelautan dan Perikanan Indonesia. Jakarta.

Bossel H. 1999. Indicators for sustainable development: Theory, method, applications. International Institute for Sustainable

Development. Winnipeg, Canada

Daukakis, E. 2005. Coastal vulnerability and risk parameter. *European Water*. 11 (12): 3-7.

Dinas Kelautan dan Perikanan Jatim. 2016. Data Base Pulau-Pulau Kecil Jawa Timur. Laporan Kegiatan (tidak dipublikasikan).

Hamzah, A. 2009. Evaluasi Pembelajaran Matematika. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.

Hidayah, H., D.M. Rosyid & H.D. Armono. 2015. GIS application in monitoring distribution of mangrove ecosystem of Southern Madura. *J. Ecology, Environment and Conservation*. 21 (1) 487-493.

Hidayah, Z., M.K Wardhani & L.M Prayogo. 2018. Modelling sea level rise impact on small islands : case study Gili Raja island of Sumenep Madura. *MATEC Web of Conference Volume 177*. DOI : 10.1051/mateconf/201817701017.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. *Climate Change 2013 : The Physical Basis. The Twelfth Session of Working Group I (WGI-12)*. Stockholom. Swedia.

Kasperson, J.X., R.E. Kasperson, B. Turner, W. Hsieh & W. Hsieh. 2003. Vulnerability to global environmental change. *In: The Social Contours of Risk: Volume II: Risk Analysis, Corporations and the Globalization of Risk* (pp. 245-285). Taylor and Francis. DOI: 10.4324/9781849772549.

Marfai, M.A & L. King. 2008. Coastal flood management in semarang, indonesia. *International journal of geography environment and geology*. Vol.11 No.3 : 89-97. DOI: 10.1007/s00254-007-1101-3.

McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, K.S. White. 2001. *Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. Cambridge.

McClanahan, T.R., J.E. Cinner, J. Maina, N.A.J. Graham, T.M. Daw, S.M. Stead, A. Wamukota, K. Brown, M. Ateweberhan, V. Venus, N.V.C. Polunin. 2008. Conservation action in a changing climate. *Conservation Letter* 1: 53-59. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2008.00008.x.

Mimura, N. 1999. Vulnerability of island countries in the south pasific to sea level rise and climate change. *Climate Research*. 12:137-143.

Polsky, C., R. Neff & B. Yarnal. 2007. Building comparable global change vulnerability assessment: the vulnerability scoping diagram. *Global Environmental Change*. 17: 472-485. DOI:

10.1016/j.gloenvcha.2007.01.005.

- Retraubun, A.S.W. 2002. Pulau-pulau kecil di Indonesia. data dan masalah pengelolaannya. Makalah Lokakarya dalam rangka Penetapan Luas Terumbu Karang, Panjang Pantai, dan Jumlah Pulau di Indonesia Berdasarkan Data Penginderaan Jauh. COREMAP-LIPI.
- Romadhon, A. 2014. Strategi konservasi pulau kecil melalui perikanan berkelanjutan (studi kasus Pulau Gili Labak). *Jurnal Kelautan*. Vol 7 (2): 86-93
- SOPAC. 1999. Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarise national environmental vulnerability profiles. SOPAC Technical Report 275.
- SOPAC (South of Pasific Islands Applied Geoscience Commission). 2005. Environmental vulnerability index: EVI. Description of Indicators. UNEP-SOPAC.
- Susandi, A., I. Herlianti & M. Tamamadin. 2008. Dampak perubahan iklim terhadap ketinggian muka laut di wilayah banjarmasin. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- 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.
- Turner, B.L., II, R.E. Kasperson, P.A. Matson, J.J. McCarthy. R.W. Corell, L. Christensen, N. Eckley, J.X. Kasperson, A. Luers, M.L. Martello, C. Polsky, A. Pulsipher, & A. Schiller. 2003. A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainable Science. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100(8074-8079).
- UNU-EHS (United Nations University). 2006. Vulnerability: A Conceptual And Methodological Review. Source No.3/2006.
- Webb, A.P & P.S. Kench. 2010. The dynamic response of reef islands to sea level rise: evidence from multi-decadal analysis of island change in the central pacific. *Global and Planetary Changes*. Vol 5. No 3. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2010.05.003.