

**KEPEKAAN LINGKUNGAN EKOSISTEM MANGROVE TERHADAP
TUMPAHAN MINYAK DI KECAMATAN UJUNG PANGKAH, GRESIK**
*(Environmental Sensitivity of Mangrove Ecosystem to Oil Spillage
in Ujung Pangkah Subdistrict, Gresik)*

Arif Prasetyo^{1*}, Nyoto Santoso², dan/and Lilik Budi Prasetyo²

¹Pusat Kajian Biodiversitas dan Rehabilitasi Hutan Tropika, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor
Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga Bogor 16680; Telp: +62 251 8621677, Fax +62 251 8621256

²Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor
Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga Bogor 16680; Telp: +62 251 8626806, Fax +62 251 8626886

*Email: arif.prasetyo@live.com

Tanggal diterima: 7 Juli 2017; Tanggal direvisi: 23 November 2017; Tanggal disetujui: 15 Desember 2017

ABSTRACT

Mangrove ecosystem in the Sub-district of Ujung Pangkah, the District of Gresik, has an important role for human life, flora and fauna in the estuary of Bengawan Solo river. The existence of the mangrove ecosystem has been threatened by pollution through oil spillage from industrial activities both onshore and offshore. The aim of the study was to determine the environmental sensitivity of mangrove ecosystem against oil spillage using Geographical Information System application. Study result showed that 8.16% of the total area in Ujung Pangkah was categorized as very sensitive, and mainly located in mudflat area which was used mostly for fish cultivation. Sensitivity was dominated by sensitive category as much as 82.67% (5,919.61 ha in the mainland and 4,765.68 ha in an ocean area).

Key words: Environmental sensitivity, Geographical Information System, mangrove ecosystem, oil spillage.

ABSTRAK

Ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik memiliki peran yang penting dalam kehidupan manusia, flora, dan fauna di delta Sungai Bengawan Solo. Keberadaan ekosistem mangrove tersebut terancam oleh polusi dari tumpahan minyak, baik dari aktivitas industri di daratan, maupun di perairan. Tujuan penelitian ini adalah menentukan tingkat kepekaan lingkungan ekosistem mangrove terhadap tumpahan minyak di Kecamatan Ujung Pangkah, Gresik dengan menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis. Hasil penelitian menunjukkan terdapat sekitar 8,16% dari total luas kawasan di Kecamatan Ujung Pangkah yang masuk ke dalam kategori sangat peka, dan terletak secara dominan pada daerah *mudflat* yang digunakan sebagai lahan tambak. Tingkat kepekaan didominasi oleh katagori peka (82,67%), terletak di daratan seluas 5.919,61 ha dan di lautan seluas 4.765,68 ha.

Kata kunci: Kepekaan lingkungan, Sistem Informasi Geografis, ekosistem mangrove, tumpahan minyak.

I. PENDAHULUAN

Hutan mangrove (bakau) memainkan peran penting dalam berbagai hal berkaitan dengan lanskap pesisir, dan masyarakat sangat bergantung untuk memanfaatkan kekayaan sumber daya alam habitatnya (Rotich, Mwangi, & Lawry, 2016). Berdasarkan surat keputusan Direktur Jenderal Kehutanan No.60/Kpts/Dj/I/1978, hutan mangrove merupakan

tipe hutan yang khas, dan terbentang di sepanjang pantai atau muara sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Hutan mangrove dapat bertindak sebagai penyangga infrastruktur alami melawan bahaya alam, menjadi zona penyangga dan perlindungan erosi garis pantai (Takagi, 2017; Lundquist, Carter, Hailles, & Bulmer, 2017). Keberadaan ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah

Kabupaten Gresik memegang peran yang sangat penting bagi kehidupan mahluk hidup di sekitarnya. Masyarakat menggunakan ekosistem mangrove melalui konversi lahan menjadi tambak. Konversi lahan ekosistem mangrove mengakibatkan luas hutan mangrove menurun, dan terjadinya abrasi (Purnawan, 2012). Proses sedimentasi pun terus terjadi melalui aliran Sungai Bengawan Solo. Penumpukan sedimen akan membantu proses regenerasi vegetasi mangrove dan stabilisasi sedimen pantai (Giesen, Wulffraat, Zieren, & Scholten, 2007).

Keberadaan ekosistem mangrove termasuk yang berada di Kecamatan Ujung Pangkah sangat rentan terhadap pencemaran berupa tumpahan minyak (Duke, 2016). Kerentanan terjadi dikarenakan di kawasan tersebut dikenal sebagai tempat cadangan beberapa juta metrix ton minyak. Semenjak tahun 2007 lapangan minyak yang berlokasi di Kecamatan Ujung Pangkah telah dieksploitasi oleh PT Hess (Indonesia-Pangkah) Ltd. (Hardianto, Burhan, & Wahyudi, 2014). Melalui aktivitas pengeboran, dilaporkan pada tahun 2012 telah terjadi pencemaran minyak di sekitar perairan laut yang diakibatkan kebocoran pipa (Sucipto, 2012). Pencemaran berupa tumpahan minyak tidak akan terjadi hanya dikarenakan oleh kebocoran pipa tetapi banyak kasus terjadi akibat rembesan alami dari dasar laut karena kecelakaan tanker, kegiatan bongkar muat minyak, aktivitas pelabuhan, semburan dari proses produksi dan eksplorasi ataupun limbah buangan dari kegiatan yang berada di areal hulunya (Hidayat & Siregar, 2017).

Tumpahan minyak terhadap vegetasi mangrove menyebabkan gangguan fisik, berupa daun yang menguning dan berguguran, dan yang lebih parah terjadi kematian (Rikandi, 2013). Kejadian yang terus-menerus dan berlangsung dalam waktu yang lama akan mengakibatkan kehilangan ekosistem mangrove secara permanen (NOAA, 2012). Apabila ekosistem mangrove mengalami gangguan

secara ekologis, maka fungsi sosial dan ekonominya akan terganggu (Muarif, 2016). Mayoritas lahan di Kecamatan Ujung Pangkah merupakan tambak (BPS, 2015) yang kualitasnya sangat tergantung pada kualitas ekosistem mangrove di daerah tersebut.

Dalam upaya mengantisipasi kemungkinan adanya pencemaran lingkungan ekosistem mangrove lebih lanjut, maka diperlukan adanya strategi pengelolaan ekosistem yang tepat untuk menanggulangi hal tersebut. Tujuan penelitian ini adalah membangun model tingkat kepekaan ekosistem mangrove berdasarkan pembobotan variabel yang teridentifikasi, dan melakukan penilaian kepekaan lingkungan ekosistem mangrove terhadap tumpahan minyak di Kecamatan Ujung Pangkah, Kabupaten Gresik.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-April 2017 di kawasan pesisir pantai Kecamatan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik. Pada bulan-bulan ini kondisi pesisir pantai masih dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

B. Metode Penelitian

1. Tahapan Pelaksanaan

Pengumpulan data di lapangan dilakukan dengan melakukan *ground truthing* dengan GPS untuk mengidentifikasi tipe penutupan lahan, analisis vegetasi dengan pengukuran dalam skala plot untuk mengetahui kerapatan pohon, serta wawancara melalui kuisioner. Wawancara dilakukan untuk menggali informasi tentang kondisi ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah dengan responden dari Bappeda Kabupaten Gresik, Dinas Kelautan Kabupaten Gresik, Kepada Desa, dan kelompok nelayan. Selain itu, dilakukan verifikasi lapangan tentang variabel yang

mempengaruhi Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) di ekosistem mangrove yang diadopsi dari NOAA (2002). Indeks ini mempertimbangkan kondisi kerentanan daerah pantai, kerentanan ekologi ekosistem mangrove, dan kerentanan sosial.

2. Analisis Data

Analisis tipe penutupan lahan dilakukan terhadap citra satelit Landsat tahun 2006 dan 2016 menggunakan metode *object based image analysis* (OBIA). Metode OBIA dipilih karena memiliki kemampuan untuk mempertimbangkan berbagai sifat objek gambar seperti nilai spektral, spasial, kontekstual, hingga secara tekstur untuk klasifikasi citra satelit (Höbbling et al., 2017). Dari proses klasifikasi penutupan lahan ini didapatkan data berupa tipe penutupan lahan, perubahan garis pantai, tipe habitat, dan tempat yang bernilai penting bagi masyarakat. Korelasi dari analisis vegetasi dengan *advance vegetation index* (AVI) digunakan untuk memetakan kondisi kerapatan tegakan di hutan mangrove.

Penilaian IKL dilakukan dengan metode *multi criteria decision analysis* (MCDCA) untuk melakukan pembobotan masing-masing variabel di dalam masing-masing indeks kepekaan. Untuk menentukan bobot dari masing-masing variabel, dilakukan dengan metode *analytic hierarchy process* (AHP). Pembobotan masing-masing variabel terkait akan dikombinasikan melalui matriks seperti pada Tabel 1 (Saaty, 2008).

Tabel (Table) 1. Matriks perbandingan berpasangan (*Pairwise comparison matrix*)

	a ₁	a ₂	...	a _n
a ₁	a ₁₁	a ₁₂	...	a _{1n}
a ₂	a ₂₁	a ₂₂	...	a _{2n}
...
a _m	a _{m1}	a _{m2}	...	a _{mn}

Nilai a₁₁ adalah nilai perbandingan variabel a₁ (baris) terhadap a₁ (kolom)

yang menyatakan hubungan seberapa jauh tingkat kepentingan a₁ (baris) dibandingkan dengan a₁ (kolom). Dalam penelitian ini, tingkat kepentingan tersebut dibagi menjadi sembilan tingkat (Tabel 2).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Hasil penelitian menunjukkan terdapat 12 variabel yang berpengaruh terhadap IKL di ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah. Kedua belas variabel tersebut dikategorikan menjadi tiga bagian berdasarkan tipe kerentanannya, yaitu kerentanan pantai (Tabel 3), kerentanan ekologi (Tabel 4), dan kerentanan sosial (Tabel 5). Model dari ketiga indeks kerentanan tersebut disajikan berikut ini.

Model indeks kerentanan pantai (IKP) di Kecamatan Ujung Pangkah yaitu:

$$IKP = 0,6SL + 0,34SB + 0,06PP$$

Dimana:

- IKP = Indeks Kerentanan Pantai
- SL = Slope pantai (derajat)
- SB = Substrat (tipe substrat)
- PP = Perubahan pantai (m)

Model indeks kerentanan ekologi (IKE) ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah yaitu:

$$IKE = 0,06K + 0,21PL + 0,3JS + 0,16JP + 0,27H$$

Dimana:

- IKP = Indeks kerentanan ekologi
- K = Kerapatan individu
- PL = Penutupan lahan
- JS = Jarak dari sungai
- JP = Jarak dari pantai
- H = Habitat

Model indeks kerentanan sosial di Kecamatan Ujung Pangkah yaitu:

$$IKS = 0,58P + 0,26T + 0,12Kp + 0,05Z$$

Kp = Kepadatan penduduk

T = Tempat bernilai penting

Z = Zona perikanan tangkap masyarakat

Dimana:

IKS = Indeks kerentanan sosial

P = Pekerjaan

Tabel (Table) 2. Skala penilaian perbandingan berpasangan (*Scoring scale of the pairwise comparison matrix*)

Tidak penting (<i>Not important</i>)					Penting (<i>Important</i>)			
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Mutlak (<i>Absolute</i>)	Sangat (<i>Strong</i>)	Cukup (<i>Quite</i>)	Agak lebih (<i>Slight</i>)	Sama (<i>Equal</i>)	Agak lebih (<i>Slight</i>)	Cukup (<i>Quite</i>)	Sangat (<i>Strong</i>)	Mutlak (<i>Absolute</i>)

Tabel (Table) 3. Variabel kerentanan pantai (*Coastal vulnerability variable*)

No.	Variabel (<i>Variable</i>)	1	2	3	4	5
		Sanagt rentan (<i>Very vulnerable</i>)	Rentan (<i>Vulnerable</i>)	Cukup rentan (<i>Quite vulnerable</i>)	Kurang rentan (<i>Less vulnerable</i>)	Tidak rentan (<i>Not vulnerable</i>)
1	Kemiringan (<i>Slope</i>) (⁰)	0-1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4
2	Substrat (<i>Substrate</i>)	Lumpur (<i>Mud</i>)	Lumpur berpasir (<i>Sandy mud</i>)	Pasir berlumpur (<i>Muddy sand</i>)	Pasir (<i>Sand</i>)	Batu (<i>Rock</i>)
3	Perubahan (<i>Change</i>) (m)	Abrasi (<i>Abrasion</i>) > 300	Abrasi (<i>Abrasion</i>) 0 - 300	Stagnan (<i>Stagnant</i>)	Akresi (<i>Accretion</i>) 0 -300	Akresi (<i>Accretion</i>) > 300

Tabel (Table) 4. Variabel kerentanan ekologi (*Ecological vulnerability variable*)

No.	Variabel (<i>Variable</i>)	1	2	3	4	5
		Sangat rentan (<i>Very vulnerable</i>)	Rentan (<i>Vulnerable</i>)	Cukup rentan (<i>Quite vulnerable</i>)	Kurang rentan (<i>Less vulnerable</i>)	Tidak rentan (<i>Not vulnerable</i>)
1	Kerapatan (<i>Density</i>) (n/ha)	145 < <i>n</i>	115 < <i>n</i> ≤ 145	85 < <i>n</i> ≤ 115	55 < <i>n</i> ≤ 85	<i>n</i> < 55
2	Penutupan lahan (<i>Land cover</i>)	Tambak/ badan air (<i>Ponds</i>)	Hutan mangrove (<i>Mangrove forest</i>)	Permukiman (<i>Housing</i>)	Semak (<i>Bush</i>)	Lahan terbuka (<i>Barren land</i>)
3	Jarak dari sungai (<i>Distance from river</i>) (m)	0 - 100	100 - 200	200-300	300-400	>400
4	Jarak dari pantai (<i>Distance from beach</i>)	0-100	100 - 200	200-300	300-400	>400
5	Habitat (<i>Habitat</i>)	Lumpur (<i>Mud flat</i>)	Hutan (<i>Forest</i>)	Sungai (<i>River</i>)	Tambak (<i>Ponds</i>)	Lainnya (<i>Other</i>)

Tabel (Table) 5. Variabel tingkat kerentanan sosial (*Social vulnerability variable*)

No.	Variabel (Variable)	1	2	3	4	5
		Sangat rentan (<i>Very vulnerable</i>)	Rentan (<i>Vulnerable</i>)	Cukup rentan (<i>Quite vulnerable</i>)	Kurang rentan (<i>Less vulnerable</i>)	Tidak rentan (<i>Not vulnerable</i>)
1	Tempat bernilai penting (<i>High value area</i>)	Budidaya dan penangkapan ikan, (<i>Cultivation and fish catchment</i>)	Tempat wisata, hutan (<i>Tourist attraction, forest</i>)	Pelabuhan, (<i>Port</i>)	Permukiman, (<i>Housing</i>)	Lainnya, (<i>Others</i>)
2	Mata pencaharian (<i>Livelihood</i>)	Nelayan (<i>Fisherman</i>)	Petani tambak (<i>Fish farmer</i>)	-	-	Lainnya, (<i>Other</i>)
3	Kepadatan penduduk (<i>Population density</i>)	>16 ind/ha	12-16 ind/ha	8-12 ind/ha	4-8 ind/ha	< 4 ind/ha
4	Zona perikanan tradisional (<i>Traditional fisheries zone</i>)	0-4 mil	4 - 12 mil	> 12 mil	-	Daratan (<i>Mainland</i>)

Untuk menghitung indeks kepekaan lingkungan ekosistem mangrove, diperoleh dengan menjumlahkan hasil ketiga indeks tersebut sebagai berikut:.

$$IKL = IKP + IKE + IKS$$

Dimana:

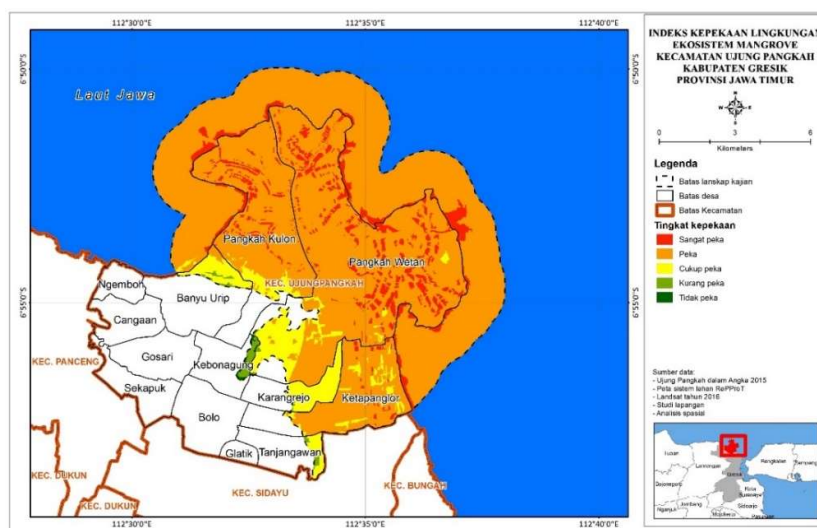
IKL = Indeks kepekaan lingkungan ekosistem mangrove

IKP = Indeks kerentanan daerah pantai

IKE = Indeks kerentanan ekologi ekosistem mangrove

IKS = Indeks kerentanan sosial

Berdasarkan hasil penjumlahan dari ketiga indeks di atas, menunjukkan nilai *IKL* berkisar antara 2,11 hingga 14,33. Untuk menyederhanakan tingkatan kepekaan lingkungan, dilakukan pengelompokan ulang nilai yang dikategorikan menjadi lima kelas (Gambar 1 dan Tabel 6).



Gambar (Figure) 1. Kepekaan lingkungan Kecamatan Ujung Pangkah (*Environmental sensitivity of the Ujung Pangkah Sub District*)

Tabel (Tabel) 6. Tingkat kepekaan lingkungan ekosistem mangrove (*Environmental sensitivity level of the mangrove ecosystem*)

No.	Skor (Score)	Tingkat kepekaan (Sensitivity level)	Daratan (Mainland) (ha)	Laut (Ocean) (ha)	Luas (Area) (ha)
1	$IKL \leq 4,55$	Sangat peka (<i>Extreme</i>)	689,50	365,71	1.055,21
2	$4,55 < IKL \leq 7$	Peka (<i>High</i>)	5.919,61	4.765,68	10.685,29
3	$7 < IKL \leq 9,44$	Cukup peka (<i>Moderate</i>)	1.064,81	12,27	1.077,08
4	$9,44 < IKL \leq 11,89$	Kurang peka (<i>Low</i>)	91,85	0,00	91,85
5	$IKL > 11,89$	Tidak peka (<i>Very low</i>)	15,22	0,00	15,22
Total (<i>Total</i>)			7.780,99	5.143,66	12.924,65

Sebesar 8,16% dari luas kawasan di Kecamatan Ujung Pangkah termasuk dalam kategori sangat peka yang terbagi dalam dua lokasi, yaitu daratan seluas 689,50 ha dan di lautan sebesar 365,71 ha. Adapun tingkat kepekaan yang paling dominan di lokasi ini terletak pada kategori peka dengan persentase sebesar 82,67% (10.685,29 ha). Tipe ini paling luas terdapat di daratan (5.919,61 ha), mayoritas berupa tambak sedangkan di lautan seluas 4.765,68 ha. Tingkat kepekaan yang termasuk dalam kategori sangat peka teridentifikasi hampir di semua *mudflat area* di sepanjang pesisir Desa Banyu Urip, Desa Pangkah Wetan dan Desa Pangkah Kulon (Gambar 1). Karakteristik *mudflat* yang berlumpur, terletak di bagian paling tepi dari daratan, merupakan areal yang sangat peka terhadap tumpahan minyak.

B. Pembahasan

Sebanyak 12 buah variabel, diantaranya: kemiringan pantai, jenis substrat, perubahan pantai, kerapatan, penutupan lahan, jarak ke sungai dan pantai dan habitat, dipilih berdasarkan pengaruhnya dampak yang akan terjadi akibat tumpahan minyak. Pengaruh dan dampak setiap variabel terhadap tumpahan minyak dipilih berdasarkan NOAA (2002) yang menjelaskan bahwa variabel terpilih akan mampu mempercepat dan atau memperlambat penyebaran, laju pengendapan dan kemudahan dalam pembersihan tumpahan minyak. Diperoleh indeks kerentanan fisik

pantai (IKP), indeks kerentanan ekologi (IKE), dan indeks kerentanan sosial (IKS) ekosistem mangrove, dengan bentuk formula, $IKP = (0,6SL) + (0,34SB) + (0,06PP)$; $IKE = 0,06K + 0,21PL + 0,3JS + 0,16JP + 0,27H$; dan $IKS = 0,58P + 0,26T + 0,12Kp + 0,05Z$.

Indeks kepekaan sebuah ekosistem atas perubahan lingkungan yang terjadi, misalnya cemaran tumpahan minyak, sangat ditentukan oleh respon ekosistem tersebut. Respon ekosistem ditunjukkan oleh sebuah katagori nilai (IKL) yang menyatakan tidak peka sampai sangat peka. Nilai yang diperoleh sangat ditentukan oleh ekosistem itu sendiri dalam menerima, dan menolak dampak dari tumpahan minyak. Kepekaan terhadap tumpahan minyak mengasumsikan bahwa ekosistem mangrove terkena ceceran minyak, dan menggambarkan efek relatif dari paparan tersebut (IPIECA, 2016). Limbah minyak terdiri dari senyawa yang sangat kompleks, dan sulit terurai sehingga menjadi jenis substrat yang paling serius mencemari lingkungan (Hidayat & Siregar, 2017). Kompleksitas senyawa yang dimiliki minyak menyebabkan beberapa minyak memiliki kepadatan yang tinggi, dan tenggelam kedalam air sehingga mempercepat terjadinya sedimentasi. Duke & Burns (1999) melaporkan bahwa tumpahan minyak yang terjadi di perairan Australia sejak tahun 1970 mengkontaminasi hutan mangrove seluas 221 ha, 13 ha hutan mangrove mati, dan diperlukan waktu

yang cukup lama (5-30 tahun) untuk mengembalikannya ke kondisi semula.

Sebanyak 8,16% atau seluas 1.055,21 ha kawasan Kecamatan Pangkah merupakan kawasan ekosistem mangrove yang sangat peka terhadap tumpukan minyak. Kawasan ekosistem tersebut teridentifikasi berupa pantai berlumpur (*mudflat*) yang terletak di Desa Banyu Urip, Desa Pangkah Wetan, dan Desa Pangkah Kulon. Tingkat kepekaan yang mendominasi kawasan ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah adalah peka (82,67%) berupa kawasan tambak yang menandakan bahwa sebagian besar kawasan akan mengalami potensi kerusakan yang tinggi, baik secara ekonomi, sosial dan ekologi. Berdasarkan hasil penelitian ini, ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah yang memiliki nilai kepekaan sangat peka dan peka harus menjadi prioritas utama dalam upaya pencegahan dan pemulihan limbah berupa tumpahan minyak.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Terdapat tiga model indeks kerentanan di ekosistem mangrove Kecamatan Ujung Pangkah, yaitu IKP = $(0,6SL) + (0,34SB) + (0,06PP)$; IKE = $0,06K + 0,21PL + 0,3JS + 0,16JP + 0,27H$; dan IKS = $0,58P + 0,26T + 0,12Kp + 0,05Z$. Nilai IKL ekosistem mangrove berkisar dari kelas tidak peka hingga sangat peka. Tingkat kepekaan lingkungan terluas terdapat dalam kategori peka yang mayoritas berupa tambak, sedangkan daerah dengan nilai kepekaan dengan kategori sangat peka sebesar 8,16% mayoritas terdapat di lokasi pantai berlumpur (*mudflat*) dan tambak.

B. Saran

Optimalisasi peran pemerintah daerah Kabupaten Gresik dalam upaya pelestarian ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah perlu ditingkatkan

terutama untuk kawasan ekosistem yang memiliki tingkat kepekaan peka dan sangat peka. Peran masyarakat dan para pihak dalam upaya mempertahankan fungsi dan manfaat ekosistem mangrove di Kecamatan Ujung Pangkah sebagai sistem penyangga kehidupan perlu terus digali, diedukasi dan diteliti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Choisun dan Bapak Ahmad dari Desa Pangkah Wetan serta semua pihak yang telah membantu pelaksanaan kegiatan penelitian, berupa pengumpulan data, pengolahan dan analisa data, penulisan dan perbaikan *manuscript* tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS. (2015). *Kecamatan Ujung Pangkah dalam Angka 2015*. Gresik: BPS.
- Duke, N. C. (2016). Oil spill impacts on mangroves: Recommendations for operational planning and action based on a global review. *Marine Pollution Bulletin*, 109 (2), 700–715.. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.082>
- Duke, N. C., & Burns, K. A. (1999). Fate and effects of oil and dispersed oil on mangrove ecosystems in Australia. *Environmental Implications of Offshore Oil and Gas Development in Australia Further Research A Compilation of Three Scientific Marine Studies*.
- Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M., & Scholten, L. (2007). *Mangrove Guidebook for Southeast Asia. Mangrove guidebook for Southeast Asia*. <https://doi.org/10.1086/346169>
- Hardianto, Y., Burhan, R. Y. P., & Wahyudi, A. (2014). Kajian biomarka fraksi hidrokarbon alifatik minyak mentah lapangan Ujung Pangkah, Gresik. *Jurnal Sains dan Seni*, 1(1), 1–9.

- Hidayat, A., & Siregar, C. A. (2017). *Telaah mendalam tentang Bioremediasi: Teori dan aplikasinya dalam upaya konservasi tanah dan air*. Bogor: IPB Press – Bogor.
- Hölbling, D., Eisank, C., Albrecht, F., Vecchiotti, F., Friedl, B., Weinke, E., & Kociu, A. (2017). Comparing Manual and Semi-Automated Landslide Mapping Based on Optical Satellite Images from Different Sensors. *Geosciences*, 7 (2), 37-57. <https://doi.org/10.3390/geosciences7020037>
- IPIECA. (2016). *Impacts of oil spill on shorelines; Good practice guidelines for incident management and emergency response personnel*. London: IPIECA.
- Lundquist, C., Carter, K., Hailes, S., & Bulmer, R. (2017). *Guidelines for Managing Mangroves (Mānawa) Expansion in New Zealand*. New Zealand: National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd.
- Muarif. (2016). *Pengembangan Indeks Kepekaan Ekologi (IKE) Ekosistem Mangrove terhadap Tumpahan Minyak*. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- NOAA. (2002). *Environmental Sensitivity Index Guidelines Version 3.0*. Seattle, Washington: Hazardous Materials Response Division, Office of Response and Restoration, NOAA Ocean Service.
- NOAA. (2012). *Mangrove; Planning and Response Considerations*. Seattle, Washington: National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd. Series No. 85. Seattle: NOAA.
- Purnawan, G. M. (2012). *Land Use Control of Mangrove Forest Conversion in Ujungpangkah District Gresik Regency. Final Project – RP09 1333*.
- Rikandi, N. (2013). *Analisis metode Indeks Kepekaan Lingkungan ekosistem mangrove terhadap tumpahan minyak, studi kasus di wilayah pesisir Kabupaten Subang*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Rotich, B., Mwangi, E., & Lawry, S. (2016). *Where Land Meets the Sea: A Global Review of the Governance and Tenure Dimensions of Coastal Mangrove Forests*. CIFOR and USAID Tenure and Global Climate Change Program, Bogor, Indonesia and Washington, DC.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences (IJSSCI)*, 1(1) 83-97..
- Sucipto, A. (2012). *Tumpahan Minyak di Perairan Gresik Diteliti*. <http://regional.kompas.com/read/2012/11/01/21532747/Tumpahan.Minyak.k.di.Perairan.Gresik.Diteliti>. Diakses tanggal 1 Desember 2017.
- Takagi, H. (2017). Design Considerations of Artificial Mangrove Embankments for Mitigating Coastal Floods - Adapting to Sea-level Rise and Long-term Subsidence. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*. <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-61>