

## INDEKS KEPEKAAN LINGKUNGAN EKOSISTEM MANGROVE TERHADAP TUMPAHAN MINYAK: STUDI KASUS DI PESISIR SUBANG, JAWA BARAT

### *ENVIRONMENTAL SENSITIVITY INDEX OF MANGROVE ECOSYSTEM TO OIL SPILL: A CASE STUDY AT SUBANG COASTAL AREA, WEST JAVA*

Novit Rikardi<sup>1\*</sup>, I Wayan Nurjaya<sup>2</sup>, & Ario Damar<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan, IPB University, Bogor, 16129, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

\*E-mail: novitrikardi@gmail.com

#### ABSTRACT

*The mangrove ecosystem in Subang Coastal is potentially effected due to oil spills. The oil spill in this area can be caused by an accident of petroleum exploitation. Therefore, it needs to anticipate and plan comprehensively for environmental protection from oil spills. Environmental sensitivity index (ESI) analysis can be used to classify the level of sensitivity of the mangrove ecosystem to the oil spill. This study aims to calculate the ESI for mangrove ecosystems in Subang coastal areas. ESI was formed by combining the Vulnerability Index (VI), Ecological Index (EI), and Socio-economic Index (SI). Secondary data was collected by study literature. The primary data was conducted from 13 locations. The parameters in VI are coastal slope, tidal type, tidal range, wave height, substrate type, and mangrove distance from the coastline. The parameters in EI are mangrove zonation, mangrove density mangrove diversity, age of mangrove, protected species, and mangrove conservation status. The parameter in SI consists of social and economic components. The result showed that the mangrove ecosystem of the Subang coastal area has a sensitivity status from moderate to sensitive. Among 13 locations, only three locations were classification sensitive to the oil spill. The locations were Tegal Tike, Anggaranu, and Tanjung. Although the study areas are dominated by the moderate sensitivity category, however, the protection of the mangrove ecosystem from oil spills should be prioritized.*

**Keywords:** *Environmental Sensitivity Index, mangrove ecosystem, oil spill*

#### ABSTRAK

Ekosistem mangrove di daerah pesisir Subang berpotensi terdampak oleh tumpahan minyak. Tumpahan minyak di daerah tersebut bisa bersumber dari kecelakaan pada kegiatan eksploitasi minyak bumi. Oleh karena itu, diperlukanantisipasi dan rencana yang komprehensif untuk melindungi lingkungan dari tumpahan minyak. Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) dapat digunakan untuk mengklasifikasi tingkat kepekaan ekosistem mangrove terhadap tumpahan minyak. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung IKL ekosistem mangrove di daerah pesisir Subang. IKL dibentuk dari gabungan Indeks Kerentanan (IK), Indeks Ekologi (IE) dan Indeks Sosial ekonomi (IS). Data sekunder diperoleh dengan cara studi literatur, sedangkan pengambilan data primer dilakukan di 13 lokasi pengamatan. Parameter IK terdiri dari kemiringan pantai, tipe pasang surut, rentang pasang surut, tinggi gelombang, tipe substrat dan jarak mangrove dari bibir pantai. Parameter IE terdiri dari zonasi mangrove, kepadatan mangrove, keragaman mangrove, umur mangrove, keberadaan spesies dilindungi dan status konservasi mangrove. Parameter IS terdiri dari komponen sosial dan komponen ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di pesisir Subang memiliki tingkat kepekaan dari cukup peka hingga peka. Dari 13 lokasi pengamatan, hanya 3 lokasi yang memiliki status peka terhadap tumpahan minyak. Daerah tersebut adalah Tegal Tike, Anggaranu, dan Tanjung. Walaupun tingkat kepekaan daerah pengamatan didominasi oleh kategori cukup peka, namun perlindungan ekosistem mangrove dari tumpahan minyak harus menjadi prioritas.

**Kata kunci:** Indeks Kepekaan Lingkungan, ekosistem mangrove, tumpahan minyak

## I. PENDAHULUAN

Pencemaran akibat tumpahan minyak tidak hanya menimbulkan pencemaran di perairan, tapi juga bisa menimbulkan pencemaran di daerah pesisir. Salah satu ekosistem pesisir yang sangat rentan terhadap tumpahan minyak adalah hutan mangrove (Hoff *et al.*, 2014; Duke, 2016). Tumpahan minyak dapat menyebabkan kematian mangrove akibat minyak menutupi pori-pori akar yang menghalangi transfer oksigen atau akibat zat kimia beracun yang terkandung dalam minyak (Hoff *et al.*, 2014; Kuzhaeva & Berlinskii, 2018; Zhang *et al.*, 2019). Tumpahan minyak di ekosistem mangrove tidak hanya berdampak pada mangrove itu sendiri, tapi juga organisme lain yang hidup di habitat mangrove (Duke, 2016).

Jenis dan jumlah minyak yang masuk ke ekosistem mangrove memengaruhi tingkat kerusakan yang terjadi di ekosistem mangrove. Tumpahan minyak yang terjadi dalam waktu lama tidak hanya mengakibatkan kematian mangrove tetapi juga bisa menyebabkan hilangnya ekosistem mangrove (Michel & Fingas, 2016). Mardiastuti *et al.* (2020) melaporkan bahwa tumpahan minyak yang terjadi di Pulau Rambut, Kepulauan Seribu kemungkinan akan berdampak terhadap ekosistem mangrove dalam jangka panjang. Connolly *et al.* (2020) juga melaporkan bahwa tumpahan minyak yang terjadi di Teluk Spencer, Australia pada tahun 1992 menyebabkan kerusakan ekosistem mangrove yang cukup parah. Hasil analisis foto udara mengindikasikan bahwa belum terjadi pemulihan mangrove pada daerah yang tercemar berat selama 10 tahun dan pertumbuhan mangrove baru terlihat diantara 10-25 tahun setelah terjadinya tumpahan minyak dan diduga pemulihan mangrove total baru terjadi setelah 55 tahun (Connolly *et al.*, 2020).

Pada bulan Juli tahun 2019 telah terjadi kecelakaan tumpahan minyak di perairan Kabupaten Karawang akibat

terjadinya kebocoran gas pada salah satu sumur milik “Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java*” (PHE ONWJ). Kejadian tersebut tidak hanya berdampak terhadap ekologi, namun juga berdampak terhadap perekonomian masyarakat yang menggantungkan hidup di sekitar perairan tersebut. Pesisir Subang, Jawa Barat memiliki kawasan hutan mangrove seluas 9.188,78 ha (BPS, 2017) yang berpotensi terdampak jika terjadi tumpahan minyak. Kejadian tumpahan minyak di wilayah ini dapat bersumber dari kecelakaan pada operasi eksploitasi minyak bumi yang berada di sekitar wilayah Subang.

Pembersihan minyak di ekosistem mangrove sangat sulit dilakukan. Hal tersebut karena ekosistem mangrove sulit untuk diakses (Hoff, 2014; Duke, 2016). Selain itu, penanganan pembersihan yang salah dapat merusak mangrove itu sendiri (Hoff, 2014; Duke, 2016). Upaya pembersihan minyak di ekosistem mangrove juga membutuhkan biaya yang sangat mahal (Hoff, 2014; Zhang *et al.*, 2019; Onyena & Sam, 2020). Oleh karena itu, diperlukan antisipasi dan rencana yang komprehensif untuk dapat melindungi lingkungan ekosistem mangrove dari tumpahan minyak sehingga dapat meminimalkan dampak pencemaran minyak.

Salah satu upaya awal yang dapat dilakukan untuk meminimalkan dampak pencemaran minyak di ekosistem mangrove adalah dengan memetakan lokasi yang berpotensi tercemar tumpahan minyak berdasarkan pada kepekaan lingkungan wilayah tersebut terhadap tumpahan minyak. Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) merupakan sebuah indeks yang dapat menentukan tingkat sensitifitas/kepekaan lingkungan terhadap potensi tumpahan minyak yang disajikan dalam bentuk peta. IKL mengompilasi informasi mengenai Indeks Kerentanan (IK), Indeks Ekologi (IE), dan Indeks Sosial ekonomi (IS) (Petersen *et al.*, 2002; DNV, 2011).

Metode yang digunakan dalam membentuk IKL perlu disesuaikan dengan daerah/lokasi yang akan terdampak terhadap tumpahan minyak, sehingga lebih efektif dan efisien dalam menentukan tingkat kepekaan daerah tersebut terhadap tumpahan minyak (Wahyudin, 2013). Ketepatan suatu indeks dalam menggambarkan kondisi lingkungan juga ditentukan oleh ketepatan dalam memilih parameter-parameter pembentuknya. Pemilihan parameter harus bersifat objektif sehingga relevan sebagai parameter. Kajian untuk mendapatkan alasan ilmiah yang kuat terhadap hubungan parameter dengan kerentanan dan ekologi mangrove terhadap tumpahan minyak dapat dilakukan melalui studi literatur (Muarif *et al.*, 2017). Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) ekosistem mangrove di pesisir Subang, Jawa Barat terhadap tumpahan minyak.

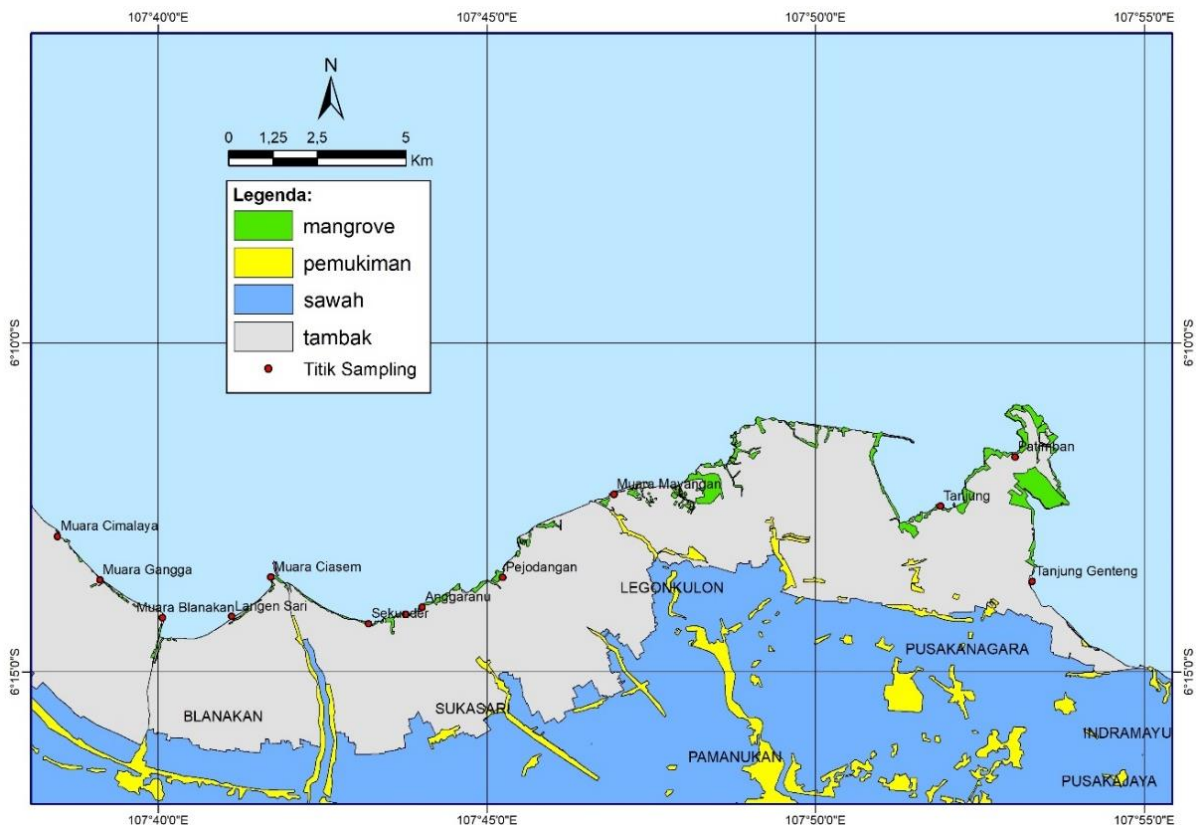
## II. METODOLOGI

### 2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-April 2012. Studi kasus dilakukan di wilayah pesisir Kabupaten Subang, Jawa Barat yang berbatasan langsung dengan pantai dan masih dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Penelitian dilakukan pada 13 lokasi pengamatan yaitu Muara Cilamaya, Muara Gangga, Muara Blanakan, Langen Sari, Muara Ciasem, Sekunder, Tegal Tike, Anggaranu, Pejodangan, Muara Mayangan, Tanjung, Patimban, dan Tanjung Genteng (Gambar 1).

### 2.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dan data sekunder. Data primer bersumber dari



Gambar 1. Peta ekosistem mangrove dan lokasi pengambilan sampel di pesisir Subang.  
 Figure 1. Map of mangrove ecosystem and sampling location in Subang coastal area.

hasil survei dan pengukuran langsung dilapangan, sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur dan instansi terkait. Data primer yang dikumpulkan adalah data ekosistem mangrove, data fisik pantai, dan data sosial ekonomi terkait dengan mangrove. Data ekosistem mangrove yang dikumpulkan terdiri dari jenis dan keragaman mangrove (Bengen, 2004), kerapatan mangrove (Kusmana, 1997), umur mangrove (Kusmana, 1997) serta jenis-jenis satwa yang dilindungi. Pengambilan data mangrove menggunakan metode kombinasi antara metode jalur dengan metode garis berpetak (Kusmana, 1997). Data fisik pantai terdiri dari substrat pantai dan jarak mangrove dari bibir pantai. Data terkait sosial ekonomi dikumpulkan dengan metode wawancara secara langsung dengan masyarakat di sekitar lokasi pengamatan. Data sekunder yang digunakan yaitu data kemiringan pantai yang diperoleh dari *U.S Geological Survey* tahun 2012 yang selanjutnya dibandingkan dengan kondisi di lapangan dan studi literatur, data pasang surut, angin dan tinggi gelombang yang

diperoleh dari Pusat Hidrografi dan Oseanografi Angkatan Laut (PUSHIDROSAL). Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) skala 1: 50.000 edisi 1 tahun 2000 diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) serta citra satelit *Quickbird* tahun 2010 dari Seameo BIOTROP.

### 2.3. Pengelompokan dan Penentuan Parameter

IKL dibentuk dari tiga indeks yaitu Indeks Kerentanan (IK), Indeks Ekologi mangrove (IE), dan Indeks Sosial ekonomi (IS) mangrove. Masing-masing kategori penyusun IK dan juga IE dijabarkan menjadi beberapa parameter. Parameter yang digunakan dalam membentuk IK dan IE disusun berdasarkan pendekatan pustaka. Parameter yang dipilih adalah parameter yang terkait dengan faktor-faktor yang dapat memengaruhi kepekaan ekosistem mangrove terhadap tumpahan minyak. Pemilihan parameter selanjutnya disesuaikan dengan data yang diperoleh di lokasi penelitian. Parameter yang digunakan untuk menyusun IK adalah kemiringan pantai, tipe pasang

Tabel 1. Parameter dan kelas indeks kerentanan mangrove.  
*Table 1. Parameters and class of mangrove vulnerability index.*

No.	Parameter	Unit	Score					Reference
			1	2	3	4	5	
1.	Coastal slope	Degree	>20	20-11	10-6	5-2	<2	Gibb et al., 1992
2.	Tidal type	-	-	diurnal	mixed tide prevailing diurnal	mixed tide prevailing semi-diurnal	semi-diurnal	Wyrcki, 1961
3.	Tidal range	Meter	<1	1-1.9	2-4	4.1-6	>6	Gibb et al., 1992
4.	Wave height	Meter	< 1	-	1-2.5	-	>2.5	Habibie et al., 2018
5.	Type of substrate	-	Rocky /Gravel	Grained sand	Sand	Sandy mud	Mud	Sloan, 1993 (modified)
6.	Mangrove distance from the coastline	Meter	>20	15-20	12-15	9-12	0-9	Wyrcki, 1961 (modified)

*Information: 1= not vulnerable; 2= less vulnerable; 3= quite vulnerable; 4= vulnerable; 5= very vulnerable.*

surut, rentang pasang surut, tinggi gelombang, tipe substrat, dan jarak mangrove dari bibir pantai (Tabel 1). Parameter yang digunakan dalam menyusun IE adalah zonasi jenis mangrove, kerapatan mangrove, keragaman mangrove, umur mangrove, keberadaan satwa yang dilindungi, dan status perlindungan mangrove (Tabel 2). Data dari setiap parameter yang diperoleh baik yang membentuk IK maupun IE selanjutnya

dirubah menjadi nilai skor 1 sampai 5 (Sloan, 1993). Pemberian nilai skor berdasarkan pada tingkat keterpaparan dan sensitifitas setiap parameter terhadap tumpahan minyak. Semakin tinggi skor, semakin besar tingkat keterpaparan dan sensitifitas mangrove terhadap minyak (NOAA, 2002). Adapun parameter yang digunakan dalam membentuk IS (Tabel 3) mengacu pada Rakasiwi *et al.* (2020) dan Rustandi *et al.* (2020).

Tabel 2. Parameter dan kelas indeks ekologi.  
 Table 2. Parameters and class of ecological index.

No.	Parameter	Unit	Score					Reference
			1	2	3	4	5	
1.	Mangrove zonation	-	<i>Nypa</i>	<i>Bruguiera</i>	<i>Rhizophora</i>	<i>Sonneratia</i>	<i>Avicennia</i>	Bengen, 2004
2.	Mangrove density	Ind/ha	<600	600-900	900-1200	1200-1500	>1500	KLH No. 201 year 2004
3.	Mangrove diversity	-	1	2	3	4	≥5	Suharnoto, 2000
4.	mangrove age	-	-	-	Tree	Sapling	Seeding	Proffitt, 1996
5.	Protected species	-	none	-	-	-	present	Petersen, 2002 (modified)
6.	Conservation status	-	none	-	Local	National	International	IPIECA, 2012

Information: 1= not sensitive; 2= less sensitive; 3= moderate; 4= sensitive; 5= very sensitive.

Tabel 3. Parameter dan kelas indeks sosial ekonomi mangrove.  
 Table 3. Parameters and class of mangrove socio-economic index.

Parameter	Unit	Score					Reference
		1	2	3	4	5	
<b>Social</b>							
Potential for fisheries	-	none	rare	moderate	intensive	very intensive	Rustandi <i>et al.</i> , 2020;
Wood utilization potential	-	not potential	less potential	moderate	potential	very potential	Rakasiwi <i>et al.</i> , 2020
Potential for tourism	-	not potential	less potential	moderate	potential	very potential	
<b>Economy</b>	-	$NE_i \leq \frac{NE_{max}}{5}$	$\frac{NE_{max}}{5} < NE_i < \frac{2 * NE_{max}}{5}$	$\frac{2 * NE_{max}}{5} < NE_i < \frac{3 * NE_{max}}{5}$	$\frac{3 * NE_{max}}{5} < NE_i < \frac{4 * NE_{max}}{5}$	$NE_i \geq \frac{4 * NE_{max}}{5}$	

Information: 1= not sensitive; 2= less sensitive; 3= moderate; 4= sensitive; 5= very sensitive.

**2.4. Analisis Data**

Nilai dari masing-masing parameter yang membentuk IK, IE dan IS selanjutnya akan membentuk nilai IKL ekosistem mangrove. Perhitungan IK dan IE mengacu pada Ali *et al.* (2008) dan Stjernholm *et al.* (2011), sedangkan perhitungan IS mengacu pada Rustandi *et al.* (2020) dan Rakasiwi *et al.* (2020). Semua parameter yang digunakan diasumsikan memiliki bobot yang sama karena masing-masing parameter saling berkaitan dan memiliki pengaruh serta nilai penting yang sama. Adapun formula dari masing-masing indeks tersebut adalah sebagai berikut:

$$IK_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:  $IK_i$  adalah indeks kerentanan lokasi- $i$ ,  $w_j$  adalah bobot parameter ke- $j$ ,  $r_{ij}$  adalah ranking parameter  $j$  dilokasi  $i$ .

$$IE_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:  $IE_i$  adalah indeks ekologi lokasi- $i$ ,  $w_j$  adalah bobot parameter ke- $j$ ,  $r_{ij}$  adalah ranking parameter  $j$  dilokasi  $i$ .

$$IS = \sqrt[3]{NS \cdot NE} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:  $IS$  adalah indeks sosial ekonomi,  $NS$  adalah nilai sosial,  $NE$  adalah nilai ekonomi.

Nilai IKL total diperoleh dengan cara menjumlahkan ketiga indeks yang digunakan. Masing-masing indeks dikalikan dengan masing-masing bobotnya (DNV, 2011). Penentuan bobot mengacu pada Wahyudin (2013). Pemberian bobot didasarkan pada besarnya dampak tumpahan minyak terhadap masing-masing indeks. Analisis tingkat kepekaan lingkungan (IKL) ekosistem mangrove dianalisis menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$IKL = IK(0,3) + IE(0,3) + IS(0,4) \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: IKL adalah Indeks kepekaan

lingkungan, IK adalah Indeks kerentanan, IE adalah Indeks ekologi, IS adalah indeks sosial ekonomi.

Setelah diperoleh nilai IKL, selanjutnya tingkat kepekaan lingkungan masing-masing lokasi pengamatan dapat ditentukan berdasarkan kelas kepekaan. Tingkat kepekaan tersebut dibagi menjadi 5 kelas (Tabel 4)

Tabel 4. Kriteria indeks kepekaan lingkungan (ESI) untuk ekosistem mangrove.  
 Table 4. Criteria of environmental sensitivity index (ESI) for mangrove ecosystem.

Class of IKL	Score/value	Criteria of sensitivity
1	$\leq 1$	Not sensitive
2	$1 < x \leq 2$	Less sensitive
3	$2 < x \leq 3$	Moderate
4	$3 < x \leq 4$	Sensitive
5	$4 < x \leq 5$	Very sensitive

**2.5. Pembuatan Peta Digital**

IKL ekosistem mangrove pesisir Subang selanjutnya disajikan dalam bentuk peta. Pembuatan peta dilakukan melalui 3 tahap yaitu: tahap digitasi, tahap perbaikan, dan tahap pemasukan data atribut ke dalam basis data dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS versi 10.1. Hasil akhir yang diperoleh berupa tampilan peta yang menunjukkan lokasi ekosistem mangrove yang sensitif jika terjadi tumpahan minyak.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pemilihan parameter dari masing-masing indeks dilakukan melalui studi literatur. Dari hasil studi literatur diperoleh 6 parameter untuk IK dan 6 parameter untuk IE ekosistem mangrove terhadap tumpahan minyak. Parameter yang digunakan mengacu pada beberapa sumber. Parameter yang dipilih mewakili karakteristik ekosistem mangrove dan mampu mencerminkan dampak tumpahan minyak di dalam ekosistem mangrove, khususnya ekosistem mangrove di daerah Pesisir Subang, Jawa

Barat. Menurut Muarif *et al.* (2016), ketepatan dalam pemilihan variabel/parameter yang membentuk IK dan IE harus mampu mewakili dan menggambarkan kepekaan ekologi suatu area terhadap tumpahan minyak.

Terdapat 26 variabel ekologi mangrove yang dapat mewakili karakteristik mangrove (Muarif *et al.*, 2016). Diantara parameter tersebut adalah tipe pasang surut, rentang pasang surut, tinggi gelombang, curah hujan, jumlah hari hujan, lama penggenangan pasang, jenis substrat, tipologi mangrove, jenis mangrove, umur flora mangrove, jumlah jenis mangrove, keberadaan flora invasif, kerapatan pohon, kerapatan anakan, kerapatan semai, perbandingan anakan dan pohon, kondisi ekosistem mangrove, jenis fauna, umur fauna, kemampuan gerak fauna, ruang hidup fauna, keberadaan flora mangrove dilindungi, keberadaan fauna dilindungi, keberadaan habitat asuhan, tempat berkembang biak, dan status lindung ekosistem mangrove (Muarif *et al.*, 2016).

### 3.1. Indeks Kerentanan (IK) Ekosistem Mangrove

Parameter yang digunakan untuk membentuk IK adalah kemiringan pantai, tipe pasang surut, rentang pasang surut, tinggi gelombang, tipe substrat pantai, dan jarak mangrove dari bibir pantai (Tabel 1). Pemilihan parameter didasarkan pada pengaruh dari masing-masing parameter dalam mempercepat atau memperlambat penyebaran minyak, lamanya waktu minyak terendap, serta tingkat kemudahan dalam pembersihan minyak yang tumpah (Petersen *et al.*, 2002).

Berdasarkan pengamatan langsung di lapang, secara umum pantai di daerah pesisir Kabupaten Subang memiliki kemiringan yang landai. Menurut Kalther & Itaya (2020) pesisir Subang memiliki kemiringan pantai berkisar 0,06%-0,40% atau 6°-40°. Kemiringan pantai berhubungan erat dengan tipe pantai, daerah pasang surut, dan

pembentukan zona gelombang pecah. Semakin landai pantai, semakin luas daerah pasang surutnya. Hal ini berarti semakin rendah kemiringan pantai (landai) semakin tinggi risiko mangrove terkena tumpahan minyak (Leiger *et al.*, 2012). Pantai yang memiliki kemiringan yang rendah lebih beresiko tinggi mengalami penggenangan (Gibb *et al.*, 1992). Hal senada juga disampaikan oleh Li *et al.* (2015) bahwa kemiringan pantai memengaruhi tingkat keterpaparan ekosistem mangrove terhadap tumpahan minyak.

Pasang surut di wilayah pesisir Subang merupakan pasang surut (pasut) campuran condong harian tunggal yaitu merupakan pasut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu. Tipe pasang surut memengaruhi penyebaran tumpahan minyak karena pasut merupakan salah satu faktor yang dapat membawa minyak ke daerah pantai (Huynh & Bui, 2003; Kim *et al.*, 2013). Hoff *et al.* (2014) menyatakan bahwa ceceran minyak dapat masuk ke dalam ekosistem mangrove ketika pasang tinggi dan mengendap di tanah dan akar mangrove seiring surutnya air laut. Pasut tipe ganda lebih memiliki pengaruh yang besar terhadap penyebaran minyak di daerah pesisir dibandingkan dengan pasut tipe campuran dan pasut tipe tunggal. Hal tersebut karena tumpahan minyak dapat masuk ke daerah mangrove lebih sering dibanding tipe tunggal atau campuran.

Perairan pesisir Subang memiliki rentang pasut sebesar  $\pm 0,95$  m. Penyebaran minyak bisa lebih besar apabila diikuti dengan rentang pasut yang tinggi. Rata-rata rentang pasut di perairan Indonesia berkisar antara 1 hingga 7 atau 8 m (Nontji, 2007). Menurut Hayes *et al.* (1992) perbedaan tinggi muka air akibat pasang surut harus menjadi perhatian dalam proses pembersihan minyak. Rentang pasut memiliki peranan penting dalam tumpahan minyak karena membangkitkan arus yang dapat

menyebarkan minyak (Hayes *et al.*, 1992). Semakin tinggi rentang pasut maka semakin luas area yang dapat terpapar oleh pasut dan akan semakin luas juga area yang dapat terkena tumpahan minyak. Lapisan minyak yang masuk ke hutan mangrove ketika pasang tinggi dapat mengendap di akar mangrove ketika surut (Hoff *et al.*, 2014). Walaupun demikian, pasang tinggi juga dapat mencuci dan mengeluarkan minyak dari daerah intertidal (Proffitt, 1996). Hal ini tergantung dari kemiringan pantai tempat tumpahan minyak terjadi serta jenis substrat pantai (Li *et al.*, 2015).

Tinggi gelombang rata-rata perbulan di lokasi kajian selama 10 tahun terakhir adalah 0,4 m. Nilai gelombang dan rentang pasut yang relatif rendah ini kurang membantu dalam proses pencucian minyak secara alami. Makin tinggi gelombang, semakin tinggi ombak yang terbentuk di pantai. Selain dapat menyebarkan tumpahan minyak, ombak juga dapat membersihkan minyak secara alami (Huynh & Bui, 2003). Hayes *et al.* (1992) juga menyatakan hal yang sama bahwa gelombang dapat membersihkan pantai dari minyak, namun gelombang juga menyebabkan terjadinya pencampuran minyak ke dalam kolom air. Sloan (1993) menyatakan bahwa daerah yang memiliki ombak yang kuat (daerah terbuka) paparan minyak berlangsung tidak terlalu lama dibandingkan daerah yang terlindung. Pembersihan minyak di daerah yang memiliki paparan ombak yang tinggi serta memiliki gelombang yang tinggi juga dipengaruhi oleh karakteristik fisik pantai lainnya seperti kemiringan dan jenis substrat.

Substrat dasar penyusun pantai pesisir Subang secara keseluruhan berupa lumpur kecuali daerah Muara Mayangan yang memiliki substrat pasir. Tipe substrat berhubungan dengan penetrasi minyak dan lamanya proses pembersihan. Tingkat kerentanannya disusun berdasarkan sifat substrat yang *impermeable* (tidak dapat ditembus lapisan minyak) dan *permeable*

(dapat ditembus minyak). Substrat pantai dapat diklasifikasi ke dalam 3 kelas berdasarkan ukuran dominannya yaitu kerikil dengan ukuran lebih besar dari 2 mm; pasir dengan ukuran 0,0625 sampai 2 mm; dan lumpur dengan ukuran kurang dari 0,0625 mm (Hayes *et al.*, 1992). Ketika terjadi ombak, partikel-partikel substrat pasir dan kerikil akan lebih mudah terangkut, teraduk, dan terdeposit kembali sehingga minyak tidak sempat menempel dan mudah dibersihkan. Hal ini berbeda dengan substrat lumpur yang lengket dan susah teraduk. Pantai dengan substrat berlumpur sangat rentan terhadap minyak karena minyak dapat terperangkap dalam waktu yang sangat lama (Sloan, 1993).

Di daerah lokasi penelitian, mayoritas mangrove ditemukan di sekitar bibir pantai, kecuali mangrove di Muara Mayangan ditemukan pada jarak >20 m dari bibir pantai. Jarak mangrove dari bibir pantai dihitung dengan mengukur jarak keberadaan mangrove yang ditelusuri dari bibir pantai saat surut terendah hingga surut tertinggi. Pada pantai yang landai, pasang tertinggi bisa merendam mangrove lebih jauh ke arah daratan. Semakin dekat mangrove ke pantai maka akan semakin rentan mangrove tersebut terhadap tumpahan minyak, begitu juga sebaliknya. Ketika tumpahan minyak masuk ke ekosistem mangrove, mangrove yang berada di bibir pantai akan lebih dahulu terkena tumpahan minyak. Hal ini menjadikan mangrove yang berada di bibir pantai lebih rentan dibandingkan mangrove yang berada jauh dari bibir pantai.

Hasil perhitungan nilai IK di lokasi pengamatan, diperoleh nilai IK terendah sebesar 2,00 dan nilai tertinggi sebesar 3,00. Lokasi yang memiliki nilai IK terendah adalah Muara Mayangan, sedangkan dua belas lokasi lainnya memiliki nilai IK sebesar 3,00 (Tabel 5). Muara Mayangan memiliki nilai IK yang rendah karena daerah tersebut memiliki tipe substrat dan jarak mangrove dari pantai berbeda dengan lokasi lainnya.



Tabel 5. Nilai indeks kerentanan mangrove.  
 Table 5. Value of mangrove vulnerability index.

No.	Location	Coastal slope	Tidal type	Tidal range	Wave height	Substrat type	Mangrove distance from the coast	Vulnerability index
1	Muara Cilamaya	3	3	1	1	5	5	3.00
2	Muara Gangga	3	3	1	1	5	5	3.00
3	Muara Blanakan	3	3	1	1	5	5	3.00
4	Langen Sari	3	3	1	1	5	5	3.00
5	Muara Ciasem	3	3	1	1	5	5	3.00
6	Sekunder	3	3	1	1	5	5	3.00
7	Tegal Tike	3	3	1	1	5	5	3.00
8	Anggaranu	3	3	1	1	5	5	3.00
9	Pejodangan	3	3	1	1	5	5	3.00
10	Muara Mayangan	3	3	1	1	3	1	2.00
11	Tanjung	3	3	1	1	5	5	3.00
12	Patimban	3	3	1	1	5	5	3.00
13	Tanjung Genteng	3	3	1	1	5	5	3.00

### 3.2. Indeks Ekologi (IE) Mangrove

Parameter yang digunakan untuk membentuk IE adalah keragaman mangrove, zonasi mangrove, kepadatan mangrove, umur mangrove, satwa yang dilindungi dan status perlindungan mangrove (Tabel 2). Pemilihan parameter Indeks Ekologi didasarkan pada sensitifitas mangrove dan satwa yang hidup di vegetasi tersebut terhadap tumpahan minyak.

Dari hasil pengamatan ditemukan 3 genera mangrove yaitu *Avicennia* sp., *Sonneratia* sp. dan *Rhizophora* sp. Mangrove yang ditemukan di lokasi pengamatan tidak terlalu rapat dan tidak terlalu beragam. Secara umum di lokasi pengamatan hanya ditemukan satu genus mangrove (*Avicennia* sp.). Dua genera mangrove yang berbeda ditemukan hanya di 4 lokasi pengamatan, yaitu di daerah Muara Cilamaya (*Avicennia* sp. dan *Sonneratia* sp.), Tegal Tike (*Avicennia* sp. dan *Rhizophora* sp.), Muara Mayangan (*Avicennia* sp. dan *Rhizophora* sp.) dan Tanjung (*Avicennia* sp. dan

*Rhizophora* sp.). Genus *Avicennia* sp. mendominasi hutan mangrove yang tersebar di pesisir Subang. Bila dilihat dari segi zonasi dan jenis mangrove maka genus *Avicennia* sp. lebih rentan terhadap tumpahan minyak dibandingkan dengan genus lainnya (Duke, 2016; Muarif *et al.*, 2017; Naidoo, 2020). Hal ini karena *Avicennia* sp. memiliki sistem perakaran yang dilengkapi dengan akar nafas (*pneumatophora*) (Bengen, 2004; Hoff *et al.*, 2014). Sistem perakaran ini sangat sensitif terhadap minyak karena dapat menutupi akar nafas dan dapat menyebabkan kematian mangrove. Menurut Nontji (2007) *Avicennia* sp. merupakan pohon perintis (pionir) yang tumbuh di pantai terbuka, sehingga paling rentan terhadap tumpahan minyak karena akan lebih dahulu terkena dampak tumpahan minyak dibandingkan dengan mangrove yang tumbuh di daerah yang agak terlindung. Selain genus *Avicennia* sp. di daerah penelitian juga ditemukan genus *Sonneratia* sp. dan *Rhizophora* sp. Dari segi zonasi, kedua genera tersebut kurang peka

terhadap tumpahan minyak dibandingkan *Avicennia* sp. (Duke, 2016; Muarif *et al.*, 2017; Naidoo, 2020).

Secara umum, mangrove yang ditemukan di daerah pengamatan memiliki umur yang berbeda-beda (mulai dari tingkat semai, pancang, dan pohon). Pada mangrove yang berukuran kecil (tingkat semai), minyak dapat menutupi seluruh permukaan mangrove. Hal ini menjadikan mangrove yang berukuran kecil lebih rentan dibandingkan dengan mangrove dewasa. Proffitt (1996) juga menyatakan hal yang sama bahwa umur mangrove memengaruhi sensitifitasnya terhadap pencemaran minyak. Mangrove yang masih kecil (tingkat semai) lebih rentan terhadap minyak dibandingkan dengan mangrove dewasa (Proffitt, 1996). Kawasan hutan mangrove di pesisir Subang memiliki nilai kerapatan yang berbeda-beda antara satu daerah dengan daerah lainnya. Daerah yang memiliki kerapatan yang paling tinggi terdapat di daerah Muara Blanakan, Tegal Tike, Pejodangan, dan Tanjung. Semakin tinggi tingkat kerapatan mangrove maka semakin banyak mangrove yang terkena dampak dan semakin susah proses pembersihan tumpahan minyak baik secara alami maupun secara teknis. Akibatnya, waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam pembersihan lebih lama.

Satwa liar seperti jenis burung ditemukan hampir di semua daerah pengamatan, namun tidak ditemukan adanya satwa yang dilindungi. Ekosistem mangrove akan lebih rentan apabila ditemukan satwa langka dan/atau dilindungi keberadaannya (Petersen, 2002). Fauna yang sering ditemukan di hutan mangrove diantaranya kelas mamalia, aves, reptilia, pisces dan fauna bentik (Kustanti, 2011). Tingginya tingkat konversi lahan mangrove menjadi tambak, mendorong pemerintah untuk menjadikan kawasan mangrove di daerah ini menjadi area konservasi yang dilindungi secara nasional (hutan lindung) sesuai dengan SK Menhut No. 195/Kpts-II/200.

Hasil perhitungan IE di lokasi penelitian menunjukkan nilai yang cukup beragam. Nilai IE berkisar antara 2,67 hingga 3,67. Nilai IE tertinggi terdapat di lokasi Tanjung. Nilai IE terendah terdapat di lokasi Muara Gangga dan Muara Mayangan (Tabel 6).

### 3.3. Indeks Sosial Ekonomi (IS) Mangrove

Faktor yang cukup penting dalam menentukan tingkat kepekaan suatu kawasan terhadap tumpahan minyak adalah faktor sosial ekonomi. Parameter IS yang digunakan didasarkan pada pemanfaatan mangrove oleh masyarakat yang dapat meningkatkan ekonomi masyarakat sekitar. Parameter sosial terdiri dari potensi pemanfaatan untuk wisata, potensi perikanan, dan potensi pemanfaatan lainnya, sedangkan parameter ekonomi mangrove diambil dari nilai biomassa dan nilai ekonomi sumber daya mangrove.

Hutan mangrove di pesisir Subang tidak potensial untuk digunakan sebagai tempat wisata. Ekosistem mangrove di daerah Muara Blanakan, Muara Ciasem, dan Muara Mayangan pernah dimanfaatkan sebagai tempat wisata, namun pada saat ini daerah tersebut kurang diminati sebagai tempat wisata. Secara intensif hutan mangrove di daerah Muara Gangga, Muara Ciasem, Sekunder, Tegal Tike, Muara Mayangan dimanfaatkan sebagai aktivitas perikanan (tambak ikan, penangkapan kepiting bakau, dan belut), sedangkan di daerah lainnya pemanfaatan sebagai aktivitas perikanan kurang intensif. Kayu mangrove dimanfaatkan sangat tinggi sebagai kayu bakar, sebagai bahan bangunan dan bahan pembuatan alat tangkap ikan. Pemanfaatan kayu yang tinggi ini merata pada semua daerah pengamatan. Menurut Kustanti (2011) nilai sosial ekonomi yang tinggi dari ekosistem mangrove adalah perikanan pesisir, pemanfaatan kayu mangrove, serta sebagai tempat wisata. Dari segi perikanan, mangrove merupakan tempat untuk

Tabel 6. Nilai indeks ekologi mangrove.  
 Table 6. Value of mangrove ecology index.

No.	Location	Mangrove zonation	Mangrove density	Mangrove diversity	Age of mangrove	Protected species	Conservation status	Ecology index
1	Muara Cilamaya	5	1	2	4	1	4	2.83
2	Muara Gangga	5	1	1	4	1	4	2.67
3	Muara Blanakan	5	5	1	5	1	4	3.50
4	Langen Sari	5	3	1	5	1	4	3.17
5	Muara Ciasem	4	2	1	5	1	4	2.83
6	Sekunder	5	4	1	3	1	4	3.00
7	Tegal Tike	5	5	2	3	1	4	3.33
8	Anggaranu	5	3	1	3	1	4	2.83
9	Pejodangan	5	5	1	3	1	4	2.83
10	Muara Mayangan	5	2	1	3	1	4	2.67
11	Tanjung	5	5	2	5	1	4	3.67
12	Patimban	5	3	1	4	1	4	3.00
13	Tanjung Genteng	5	1	1	5	1	4	2.83

menangkap ikan, kepiting dan udang bahkan tempat budi daya (Malik *et al.*, 2015), sedangkan kayu merupakan produk mangrove yang memiliki nilai tinggi. Kayu dari mangrove digunakan sebagai kayu bakar, pembuatan arang, bahan penyamak (*tannin*), perabot rumah tangga, bahan konstruksi bangunan, obat-obatan, dan sebagai bahan untuk industri kertas (Kustanti, 2011). Potensi pemanfaatan ekosistem mangrove sebagai tempat rekreasi juga memberikan nilai yang cukup tinggi (Spalding & Parrett, 2019). Apabila ekosistem mangrove terganggu oleh adanya tumpahan minyak maka akan memengaruhi nilai sosial dan ekonomi masyarakat yang ada di sekitar ekosistem mangrove tersebut. Zhang *et al.* (2019) menyatakan dampak tumpahan minyak secara sosial ekonomi adalah terganggunya perdagangan, perikanan, dan wisata pantai.

Biomassa mangrove merupakan total berat atau volume mangrove dalam suatu area atau volume tertentu. Biomassa

mangrove yang dihitung adalah biomassa batang karena batang dianggap memiliki nilai ekonomi yang lebih dibanding dengan bagian lain mangrove seperti daun, akar, dan ranting. Biomassa mangrove yang dihitung pada saat penelitian adalah mangrove pada tingkat pohon dengan diameter batang > 10 cm. Di daerah Tanjung Genteng tidak ditemukan mangrove pada tingkat pohon, sehingga mangrove pada daerah tersebut tidak memiliki nilai ekonomi sumber daya mangrove (Tabel 7).

Nilai ekonomi sumber daya mangrove mengacu pada nilai keanekaragaman hayati hutan mangrove (US \$1.500/km<sup>2</sup>/tahun) yang dikonversi ke nilai rupiah pada saat penelitian (Indrayanti *et al.*, 2015). Nilai ekonomi sumber daya mangrove Subang pada saat penelitian yaitu sebesar Rp14.998.698 km<sup>2</sup>/tahun. Dari segi ekonomi, mangrove yang terdapat di daerah Tegal Tike dan Anggaranu memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya. Tingginya nilai ekonomi di

Tabel 7. Nilai indeks sosial ekonomi mangrove.

Table 7. Value of mangrove socio-economic index.

No.	Location	Social value	Economic				Socio economic index (SI)
			Biomass	Quality (%)	Resource economy value (Rp.km <sup>2</sup> /year)	Economic value	
1	Muara Cilamaya	2.47	537.28	1.60	161,429.00	1	1.57
2	Muara Gangga	2.71	426.86	1.27	141,158.77	1	1.65
3	Muara Blanakan	3.11	2,252.55	6.70	852,702.93	1	1.76
4	Langen Sari	2.47	973.82	2.90	292,588.53	1	1.57
5	Muara Ciasem	3.42	9,375.21	27.89	3,906,167.79	2	2.62
6	Sekunder	2.71	5,031.66	14.97	1,663,939.36	1	1.65
7	Tegal Tike	2.71	32,309.77	96.12	10,684,646.69	5	3.68
8	Anggaranu	2.47	33,614.77	100.00	10,099,741.44	5	3.51
9	Pejodangan	2.47	7,625.01	22.68	2,290,977.26	2	2.22
10	Muara Mayangan	3.42	14,910.90	44.36	6,212,502.09	3	3.20
11	Tanjung	2.47	17,190.96	51.14	5,165,116.54	3	2.72
12	Patimban	2.47	614.43	1.83	184,609.75	1	1.57
13	Tanjung Genteng	2.47	-	0.00	-	1	1.57

kedua daerah tersebut disebabkan oleh tingginya biomassa mangrove yang terdapat di daerah tersebut.

Hasil perhitungan nilai IS di lokasi penelitian menunjukkan nilai yang cukup beragam. Nilai IS terendah yang diperoleh adalah 1,57 dan nilai IS tertinggi adalah 3,68. Nilai IE tertinggi terdapat di lokasi Tegal Tike. Nilai IE terendah terdapat di empat lokasi penelitian yaitu Muara Cilamaya, Langen Sari, Patimban, dan Tanjung Genteng (Tabel 7).

### 3.4. Indeks Kepekaan Lingkungan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai IKL untuk masing-masing lokasi penelitian diperoleh nilai indeks berkisar antara 2,31 hingga 3,46. Ekosistem mangrove di pesisir Subang termasuk dalam kategori cukup peka dan peka terhadap tumpahan minyak. Sebanyak 10 (sepuluh) lokasi pengamatan cukup peka terhadap tumpahan minyak, sedangkan 3 (tiga) lokasi pengamatan peka terhadap tumpahan minyak. Tiga lokasi yang peka terhadap tumpahan minyak adalah

Tegal Tike, Anggaranu dan Tanjung dengan kelas IKL peka (Tabel 8). Tingkat kepekaan masing-masing lokasi penelitian terhadap tumpahan minyak selanjutnya disajikan dalam bentuk peta IKL (Gambar 2). Tingkat kepekaan suatu kawasan terhadap tumpahan minyak bergantung pada kemampuan daerah pesisir dalam menerima dampak pencemaran minyak. Keberadaan mangrove sebagai suatu habitat penting yang kerusakannya akan memberikan kerugian yang sangat besar baik secara ekologi maupun ekonomis.

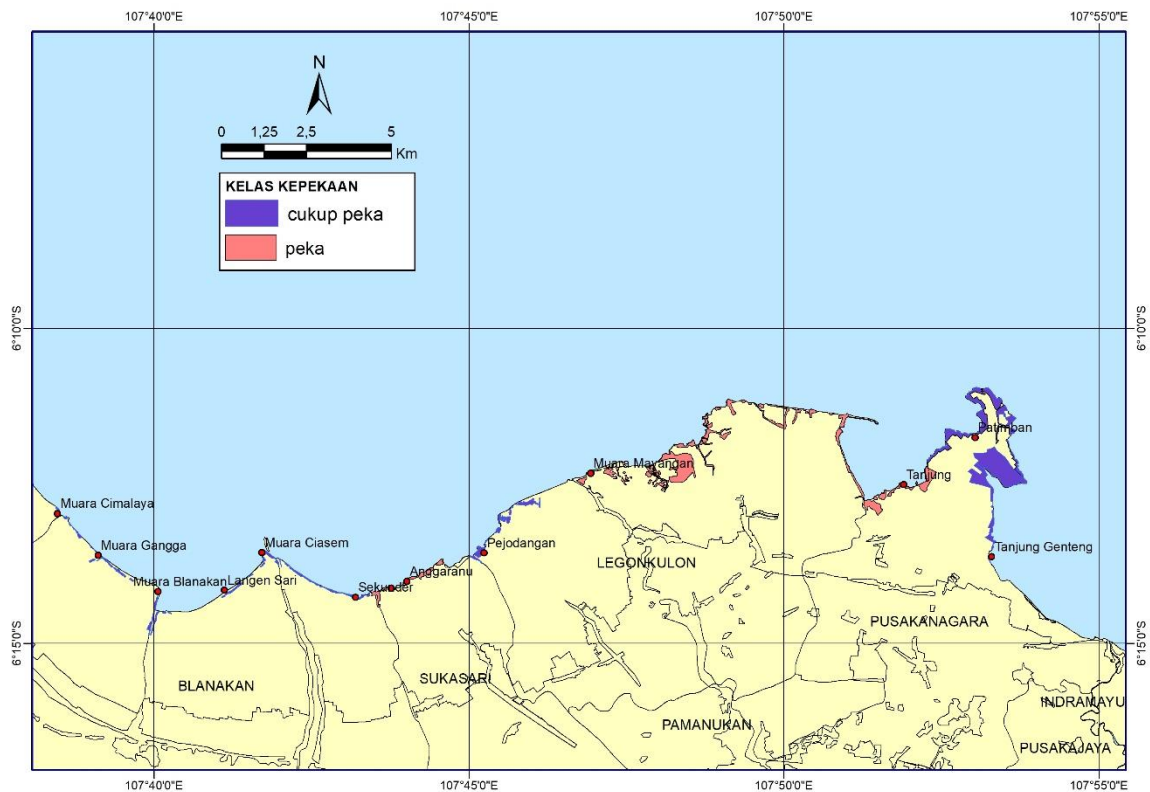
Pada penelitian ini tingkat kepekaan dikelompokkan menjadi 5 kategori yaitu sangat peka, peka, cukup peka, kurang peka, dan tidak peka. Ekosistem mangrove yang memiliki IKL sangat peka merupakan ekosistem yang paling berpotensi menjadi rusak akibat pencemaran minyak. Ekosistem mangrove akan rusak apabila tercemar minyak dan menimbulkan kerugian yang sangat tinggi baik dari sisi ekonomi maupun ekologi, serta sosial. Ekosistem mangrove yang memiliki kelas IKL peka, berarti berpotensi tinggi terhadap dampak

Tabel 8. Indeks kepekaan lingkungan ekosistem mangrove di daerah studi, Subang Jawa Barat.

Table 8. Environmental sensitivity index of mangrove ecosystem at study area, Subang West Java.

No.	Location	VI (0.3)*	EI (0.3)*	SI (0.4)*	ESI	Class
1.	Muara Cilamaya	3.00	2.60	1.73	2.37	Moderate
2.	Muara Gangga	3.00	2.40	1.86	2.36	Moderate
3.	Muara Blanakan	3.00	3.20	2.05	2.68	Moderate
4.	Langen Sari	3.00	2.80	1.73	2.43	Moderate
5.	Muara Ciasem	3.00	2.40	2.71	2.70	Moderate
6.	Sekunder	3.00	3.00	1.86	2.54	Moderate
7.	Tegal Tike	3.00	3.40	3.86	3.46	Sensitive
8.	Anggaranu	3.00	2.80	3.73	3.23	Sensitive
9.	Pejodangan	3.00	2.80	2.23	2.63	Moderate
10.	Muara Mayangan	2.00	2.60	3.21	2.66	Moderate
11.	Tanjung	3.00	3.40	2.73	3.01	Sensitive
12.	Patimban	3.00	2.80	1.73	2.43	Moderate
13.	Tanjung Genteng	3.00	2.40	1.73	2.31	Moderate

Information: \*)= Weigth; VI = Vulnerability Index; EI= Ecological index; SI= Socio-economic Index; ESI= Environmental Sensitivity Index.



Gambar 2. Peta indeks kepekaan lingkungan pada ekosistem mangrove di pesisir Subang.

Figure 2. Map of environmental sensitivity index on mangrove ecosystem at Subang coastal area.

pencemaran minyak dan akan mengalami kerusakan yang tinggi baik secara ekonomi maupun ekologi. IKL sedang/cukup peka menunjukkan bahwa kerugian ekonomi dan ekologi yang akan ditanggung apabila terkena pencemaran minyak tidak terlalu tinggi. Ekosistem mangrove yang memiliki IKL kurang peka merupakan daerah yang apabila terkena pencemaran minyak maka kerugian yang dialami sangat kecil.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan studi kasus IKL ekosistem mangrove di wilayah pesisir Subang, Jawa Barat terhadap tumpahan minyak dapat diketahui bahwa Indeks Kerentanan (IK) dan Indeks Ekologi (IE) yang membentuk nilai IKL dapat disusun dari beberapa parameter. Parameter yang dapat digunakan untuk membentuk IK adalah kemiringan pantai, tipe pasang surut, rentang pasang surut, tinggi gelombang, tipe substrat pantai, dan jarak mangrove dari garis pantai. Adapun parameter yang dapat digunakan untuk membentuk IE adalah keanekaragaman mangrove, zonasi mangrove, kerapatan mangrove, umur mangrove, satwa yang dilindungi dan status perlindungan mangrove. Berdasarkan perhitungan nilai IKL ekosistem mangrove di wilayah pesisir Subang, Jawa Barat terhadap tumpahan minyak, terdapat 10 lokasi yang cukup peka terhadap tumpahan minyak dan tiga lokasi yang peka terhadap tumpahan minyak. Lokasi yang peka terhadap tumpahan minyak yaitu daerah Tegal Tike, Anggaranu, dan Tanjung. Hal ini berarti daerah tersebut berpotensi tinggi terhadap dampak pencemaran minyak dan akan mengalami kerusakan yang tinggi baik secara ekonomi maupun ekologi dibandingkan dengan daerah lainnya. Oleh karena itu, daerah tersebut harus menjadi prioritas utama untuk pencegahan jika terjadi tumpahan minyak.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari tesis pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSL-IPB). Ucapan terima kasih kepada Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL LPPM IPB) atas diskusi, saran dan bantuannya, serta kepada semua pihak yang telah berkontribusi sehingga penelitian ini terlaksana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Poerbandono, & K. Wikantika. 2008. Penentuan indeks kerentanan lingkungan pantai berbasis geospasial dan parameter fisik. Studi kasus: tumpahan minyak di Kepulauan Seribu, Teluk Jakarta. *PIT MAPIN XVII*. 2008 Des 10-12; Bandung, Indonesia. 196-207 hlm.
- Bengen, D. 2004. Sinopsis ekosistem dan sumber daya alam pesisir dan laut serta prinsip pengelolannya. PKSPL-IPB. Bogor. 72 p.
- Badan Pusat Statistika (BPS). 2017. Provinsi Jawa Barat dalam angka tahun 2016. BPS. Jawa Barat. 667 hlm.
- Connolly, R.M., F.N. Connolly, & M.A. Hayes. 2020. Oil spill from the era: mangroves taking eons to recover. *Marine pollution bulletin*, 153(1): 1-5.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110965>
- Det Norske Veritas (DNV). 2011. Assessment of the risk of pollution from marine oil spills in Australian ports and waters. Australian Maritime Safety Authority. Report No PP002916. DNV. Australia. 44 p.
- 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>
- Gibb, J., A. Sheffield, & G. Foster. 1992. A standardised coastal sensitivity index based on an initial framework for physical coastal hazards information. Science and Research Series No. 55. Department of Conservation. Wellington, NZ. 101 p.
- Habibie, M.N., W. Fitria, & I. Sofian. 2018. Kajian indeks variabilitas tinggi gelombang signifikan di Indonesia. *J. Segara*, 14(3): 159-168. <https://doi.org/10.15578/segara.v14i3.6650>
- Hayes, M.O., R. Hoff, J. Michel, D. Scholz, & G. Shigenaka. 1992. An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response. Report No. HMRAD 92-4. National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA. Seattle, Washington. 50 p.
- Hoff, R., J. Michel, P. Hensel, E.C. Proffitt, P. Delgado, G. Shigenaka, R. Yender, J. Michel, & A.J. Mearns. 2014. Oil spills in mangroves; planning and response considerations. NOAA. Seattle, Washington. 72 p.
- Huynh, T.M.H. & T.V. Bui. 2003. Environmental sensitivity categories for the shoreline from Muine to the mouth of Tien River in response to oil spill hazard. Annual Report of FY 2001, The Core University Program between Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) and National Centre for Natural Science and Technology (NCST). 166-171 pp. <https://hdl.handle.net/11094/13119>
- Indrayanti, M.D., A. Fahrudin, & I. Setiobudiandi. 2015. Penilaian jasa ekosistem mangrove di Teluk Blanakan Kabupaten Subang. *J. Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(2): 91-96. <https://doi.org/10.18343/jipi.20.2.91>
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association/International Maritime Organisation/International Association of Oil and Gas Producers (IPIECA/IMO/OGP). 2012. Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. IPIECA/IMO/OGP. United Kingdom. 40 p.
- Kalthar, J. & A. Itaya. 2020. Coastline changes and their effects on land use and cover in Subang, Indonesia. *J. of Coastal Conservation*, 24(16): 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11852-020-00736-w>
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH). 2004. Keputusan menteri negara lingkungan hidup No. 201 tahun 2004 tentang kriteria baku dan pedoman pedoman kerusakan mangrove. KLH. Jakarta. 11 hlm.
- Kim, C., Y. Cho, B. Choi, K.T. Jung, & S.H. You. 2013. Improving a prediction system for oil spills in the Yellow Sea: Effect of tides on subtidal flow. *Marine Pollution Bulletin*, 68(1-2): 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.018>
- Kusmana, C. 1997. Metode survei vegetasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 53 hlm.
- Kustanti, A. 2011. Manajemen hutan mangrove. C. Kusmana (ed.). PT Penerbit IPB Press. Bogor. 248 hlm.
- Kuzhaeva, A. & I. Berlinskii. 2018. Effects of oil pollution on the environment. *SGEM Scientific eLibrary*, 18(5.1): 313-320. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.1/S20.041>
- Leiger, R., R. Aps, J. Kotta, Ü.K. Orviku, M. Pärnoja, & H. Tõnisson. 2012. Relationship between shoreline substrate type and sensitivity of seafloor habitats at risk to oil pollution. *Ocean & Coastal Management*, 66 (1): 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.05.004>

- Li, S., X. Meng, Z. Ge, & L. Zhang. 2015. Vulnerability assessment of the coastal mangrove ecosystems in Guangxi, China, to sea-level rise. *Regional Environmental Change*, 15: 265-275. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0639-3>
- Malik, A., R. Fensholt, & O. Mertz. 2015. Economic valuation of mangroves for comparison with commercial aquaculture in South Sulawesi, Indonesia. *Forests*, 6(9): 3028-3044. <https://doi.org/10.3390/f6093028>
- Mardiastuti A., Y.A. Mulyani, N.K.Y. Susanti, R.N. Ivonne, & A.C. Oktavia. 2020. Oil spill in Pulau Rambut and its possible long-term impact on mangrove as waterbirds habitat. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 528(1): 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/528/1/012015>
- Michel. J. & M. Fingas. 2016. Oil spills: Causes, consequences, prevention, and countermeasures. *World Scientific Series in Current Energy Issues Fossil Fuels*, 1(7): 159-201. [https://doi.org/10.1142/9789814699983\\_0007](https://doi.org/10.1142/9789814699983_0007)
- Muarif, A. Damar, S. Hariyadi, D. Sutrisno, & M. Boer. 2016. Pengembangan variabel-variabel indeks kepekaan ekologi (IKE) bagi pengendalian tumpahan minyak di ekosistem mangrove. *J. Kelautan Nasional*, 11(1): 21-34. <https://doi.org/10.15578/jkn.v11i1.6064>
- Muarif, A. Damar, S. Hariyadi, M. Boer, & D. Soetrisno. 2017. Tingkat kepekaan mangrove indonesia terhadap tumpahan minyak. *J. Manusia dan Lingkungan*, 23(3): 374-380. <https://doi.org/10.22146/jml.22476>
- Naidoo, G. 2020. Mangrove porpagule size and oil contamination effects; does size matter?. *Marine pollution bulletin*, 110(1): 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.040>
- Nontji, A. 2007. Laut Nusantara. Djambatan. Jakarta. 372 hlm.
- Petersen, J., J. Michel, S. Zengel, M. White, C. Lord, & C. Plank. 2002. Environmental Sensitivity Index Guidelines Version 3.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11. Seattle, Washington. 192 p.
- Proffitt, C.E. (ed.). 1996. Managing oil spills in mangrove ecosystems: Effects, remediation, restoration, and modeling. OCS Study MMS 97-0003. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. 76 pp.
- Rakasiwi, G., A. Damar, Y. Rustandi, Hermanto, & W. Wibowo. 2020. Environmental sensitivity index assessment algorithm in coastal area: A method. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 420(1): 1-14. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/420/1/012025>
- Rustandi, Y., A. Damar, G. Rakasiwi, A. Afandy, A. Hamdani, & D. Mulyana, 2020. Environmental sensitivity index mapping as a prevention strategy against oil spill pollution; a case study on the coastal area of South Sumatera Province in Indonesia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 414(1): 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/414/1/012019>
- Onyena, A.P. & K. Sam. 2020. A review of the threat of oil exploitation to mangrove ecosystem: Insights from Niger Delta, Nigeria. *Global ecology and conservation*, 22(1): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00961>
- Sloan, N. 1993. Effect of oil on marine resource: a worldwide literature review relevant to Indonesia. EMDI



- Project, Indonesia Ministry of Environment. Jakarta. 65 hlm.
- Spalding, M. & C.L. Parrett. 2019. Global patterns in mangrove recreation and tourism. *Marine Policy*, 110(1): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103540>
- Stjernholm, M., D. Boertmann, A. Mosbech, J. Nymand, F. Merkel, M. Myrup, H. Siegstad, D. Clausen, & S. Potter. 2011. Environmental oil spill sensitivity atlas for the Northern West Greenland (72°- 75° N) Coastal Zone. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark. 210 pp. <https://www.dmu.dk/Pub/FR828.pdf>
- Suharnoto, Y. 2000. Environmental sensitivity mapping and database development: The case of Indonesia coastal and marine areas. *In: Environmental Workshop on the Environmental Sensitivity Index (ESI) Mapping for Oil Spills, Experiences in Southeast Asian Seas*, Tokyo. 128-140 pp.
- Wahyudin, Y. 2013. Proporsi indeks sosial-ekonomi dalam penentuan indeks kepekaan lingkungan. *Social Science Research Network (SSRN) Electronic J.*, YDW-WP.2013-02: 1-9. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2213209>
- Wyrтки, K. 1961. Physical oceanography of the Southeast Asian waters. NAGA Report Vol. 2, Scientific result of marine investigation of the South China Sea and the Gulf of Thailand, Scripps Institute of Oceanography, La Jolla, California. 195 p.
- Zhang, B., E.J. Matchinski, B. Chen, X. Ye, L. Jing, & K. Lee. 2019. Marine oil spills; oil pollution, sources and effects. *In: World seas: an environmental evaluation*. 391-406 pp.

Received : 07 October 2020

Reviewed : 10 November 2020

Accepted : 14 February 2021

