

INDEKS KEPEKAAN LINGKUNGAN DI EKOSISTEM MANGROVE MENGGUNAKAN ANALISIS CITRA SATELIT: STUDI KASUS DI PESISIR BARAT PULAU BANGKA, PROPINSI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG

Mangrove Ecosystem Environmental Sensitivity Index using Satellite Image Analysis: Case Study in Western Shoreline Bangka Island, Bangka Belitung Island Province

Jeff Danipranata^a, I Wayan Nurjaya^b, Ario Damar^{c,d}

^a*Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga Bogor, 16680 – jeff.danipranata@gmail.com*

^b*Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, Jln. Raya Dramaga, Bogor 16680*

^c*Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Institut Pertanian Bogor, Jl Raya Pajajaran Bogor, 16143*

^d*Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga Bogor, 16680*

Abstract. *The impact of oil spills can adversely affect mangrove ecosystems especially for highly sensitive mangrove ecosystems. On the west coast of Bangka Belitung Island, there are mangrove ecosystems with an area of ± 5614 hectares dominated by Avicennia, Sonneratia alba, and Rhizophora that are sensitive to high sensitivity in terms of Environmental Sensitivity Index (ESI). By using field data analysis with parameters: mangrove type, duration of deep sea water immersion during tide, fishing activities, tourism, and types of coastline substrate combined with satellite image interpretation and Geographic Information System (GIS) analysis for parameters: coastline slope, mangrove density, mangrove susceptibility to oil spill, and land protection status, it can be determined that this method produces 78% accuracy when compared to manual method (field survey). And through the integration of information between ESI data and simulated oil spills using the Model Tumpahan Minyak (MoTuM) software, it can also provide information on the risk categories for each mangrove ecosystem. This information can be used to develop the necessary mitigation in case of an oil spill to prevent or reduce negative impacts on mangrove ecosystems.*

Keywords: *Environmental Sensitivity Index (ESI), Geographic Information System GIS), mangrove, algorithm, satellite image.*

(Diterima: 20-07-2017; Disetujui: 20-11-2017)

1. Pendahuluan

Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) pada dasarnya mengukur kemudahan/potensi kehilangan nilai ekonomi, sosial, fisik dan biologi dari lahan yang ada (Peterson, 2002). Indeks Kepekaan Lingkungan disusun untuk mengetahui tingkat karakteristik dan gambaran kepekaan/ sensitivitas dan kerentanan/vulnerabilitas sumberdaya yang ada di pesisir. Indeks kepekaan lingkungan pada awalnya dilakukan pada tahun 1976 khusus terhadap kepentingan perencanaan mitigasi bila terjadi tumpahan minyak (NOAA, 2002). Permasalahan IKL ini terus berkembang sesuai dengan semakin banyaknya jenis zat pencemar dengan memperhatikan sumberdaya fisik dan biologi (seperti: mangrove, terumbu karang), lingkungan sosial dan ekonomi (lokasi wisata, kawasan akuakultur) dan ekologi (habitat khusus, kawasan lindung).

Dampak akibat tumpahan minyak antara lain adalah rusaknya ekosistem pesisir seperti terumbu karang, mangrove dan padang lamun yang merupakan sumber nutrisi utama bagi ikan,

rusaknya lokasi-lokasi budidaya perikanan, matinya ikan di perairan di daerah tangkapan dan lain-lain (NOAA, 2002). Salah satu solusi untuk mengurangi dampak pencemaran tumpahan minyak adalah dengan memetakan tingkat kerentanan lingkungannya berdasarkan indeks kepekaan lingkungan. Setiap wilayah pesisir mempunyai tingkat kerentanan yang berbeda terhadap gangguan lingkungan yang diterima, baik dari faktor alam maupun akibat aktivitas manusia. Berdasarkan data Bakosurtanal tahun 2009, mangrove yang berada di Pulau Bangka adalah seluas 47,621 ha. Sekitar 21 km sebelah Barat Pulau Bangka terdapat kegiatan penambangan minyak bumi dan gas alam yang dikelola oleh pemerintah Indonesia dan berdasarkan simulasi modul dengan menggunakan perangkat lunak MoTuM (Model Tumpahan Minyak) yang dikembangkan oleh ITB (Institut Teknologi Bandung) diketahui bahwa jika terjadi tumpahan minyak maka akan berdampak terhadap ekosistem mangrove yang ada di pesisir Pulau Bangka pada bulan Mei hingga Oktober, khususnya di pesisir bagian barat.

Mengacu kepada kondisi terkini di daerah studi, maka perlu dilakukan penentuan nilai IKL yang diharapkan dapat memberikan informasi akurat tentang tingkat kepekaan ekosistem mangrove di daerah pesisir barat Pulau Bangka terhadap pencemaran tumpahan minyak. Dari studi literatur penentuan IKL yang dilakukan oleh PSKPL IPB pada tahun 2012 dan 2015 di wilayah Sumatera Selatan dan Kepulauan Natuna, pada umumnya metode perhitungan IKL, khususnya dalam penentuan tingkat sensitivitas mangrove masih menggunakan teknik manual yaitu dengan survei lapang yang kemudian data lapang tersebut diinput dan diolah dengan menggunakan perangkat lunak yang berbasis GIS (*Geographic Information System*) untuk menghasilkan peta, oleh karena itu diperlukan pengembangan metode baru sebagai salah satu alternatifnya, yaitu dengan menggunakan teknologi algoritma untuk penentuan sensitivitas mangrove yang diintegrasikan dengan kemampuan teknologi GIS yang hal tersebut dilakukan dalam penelitian ini sehingga memungkinkan peneliti dapat lebih menghemat waktu dan biaya dengan mengurangi survey lapangan untuk melakukan perhitungan IKL.

2. Metode Penelitian

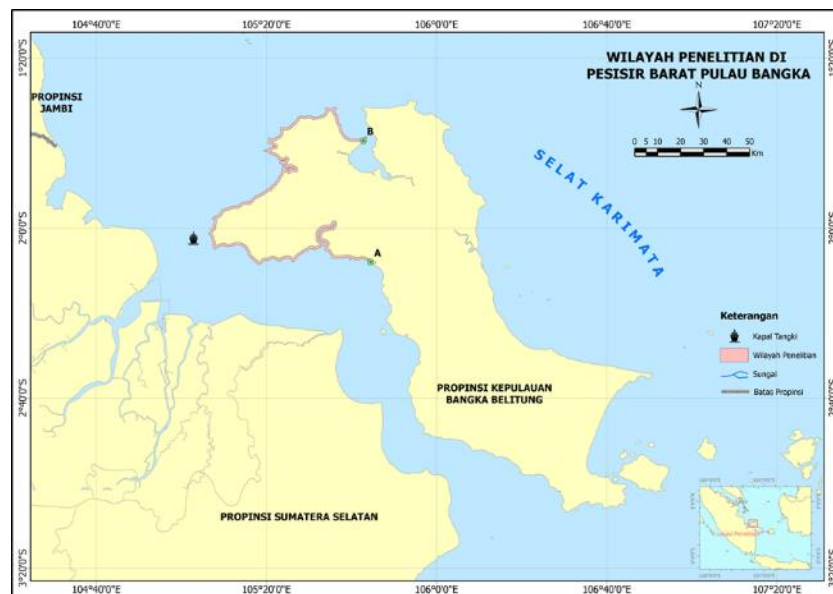
2.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan pada bulan Januari hingga Juli 2017 dengan menggunakan sumber data hasil survei lapang dan citra satelit tahun 2015 untuk pesisir barat Pulau Bangka, Propinsi Kepulauan Bangka Belitung yang berada antara antara koordinat A: 105°44'31,31"BT; 2°7'58,76"LS dan koordinat B: 105°42'47,60"BT; 1°39'23,74" LS yang ditampilkan pada Gambar 1.

2.2. Pengumpulan dan Analisis Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah pengumpulan data primer dan data sekunder. Data primer sebagai validasi analisa citra yang digunakan adalah tipe dan kemiringan garis pantai, jenis spesies pohon mangrove, tingkat kerapatan pohon mangrove, status perlindungan area lokal dan nasional dan nilai ekonomi mangrove, sedangkan data sekunder dari PKSPL IPB (2015) yang digunakan adalah lamanya perendaman saat pasang, data tangkapan ikan, dan data potensi wisata.

Peta dasar dari Badan Informasi Geospasial (BIG) tahun 2014 skala 1:25,000 digunakan untuk menentukan keberadaan lokasi mangrove yang kemudian dibagi menjadi unit analisis berdasarkan kesamaan jenis mangrovenya yang nama unit analisisnya menggunakan nama kecamatan pada wilayah tersebut, kemiringan garis pantai melalui analisa kontur interval 6.25 m dan jenis lokasi dari status perlindungannya, sedangkan citra satelit Landsat 8 dan SPOT 6 yang diakuisisi pada bulan Oktober 2015 digunakan untuk mendapatkan kerapatan mangrove serta analisa visual terhadap citra satelit untuk mendapatkan jenis tutupan/substrat dari garis pantai. Untuk menyusun algoritma sensitivitas mangrove digunakan titik sampling pada citra Landsat 8 terhadap piksel yang hanya mewakili tutupan mangrove yang selanjutnya masing – masing titik sampling tersebut dikonversi menjadi nilai reflektans dari setiap Band pada citra yang digunakan untuk analisis vegetasi untuk penentuan korelasi antara jenis mangrove dan nilai digital dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh USGS.



Gambar 1. Wilayah Penelitian

$$\rho\lambda = (M\rho * Qcal + A\rho) / \sin(\theta)$$

Keterangan:

$\rho\lambda$ = nilai reflektans

$M\rho$ = skala multiplikasi reflektans

$A\rho$ = skala aditif reflektans

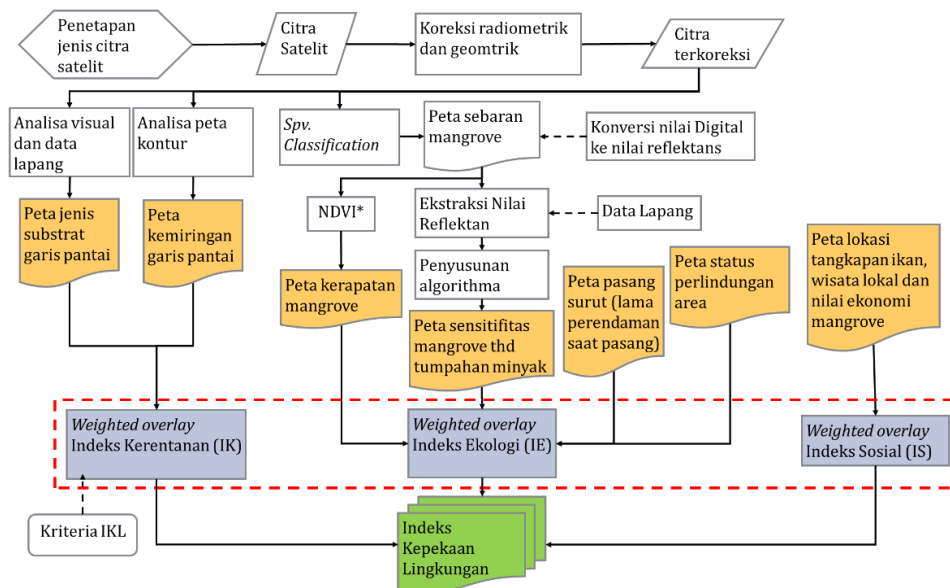
$Qcal$ = nilai digital awal

$\sin(\theta)$ = sudut kemiringan matahari

Aplikasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) untuk mendapatkan informasi kerapatan pohon mangrove, yang diformulasikan sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Untuk aplikasi NDVI menggunakan citra Landsat 8 OLI/TIRS, NIR adalah Band 5 dan Red adalah Band 4. Pengembangan algoritma dilakukan dengan menggunakan 3 (tiga) jenis regresi, yaitu: *linear regression*, *binary logistic regression* dan *partial least square regression* yang digunakan untuk menghasilkan akurasi paling tinggi dalam menentukan tingkat sensitifitas mangrove terhadap tumpahan minyak, inovasi pengembangan algoritma ini akan dilakukan untuk mendapatkan suatu metode baru dalam penentuan tingkat sensitifitas mangrove untuk menggantikan metode konvensional (survey lapang) yang sudah dilakukan selama ini dan juga dilakukan analisis resiko terhadap unit analisis mangrove.



Gambar 2. Diagram Alir Analisa Data Primer dan Sekunder

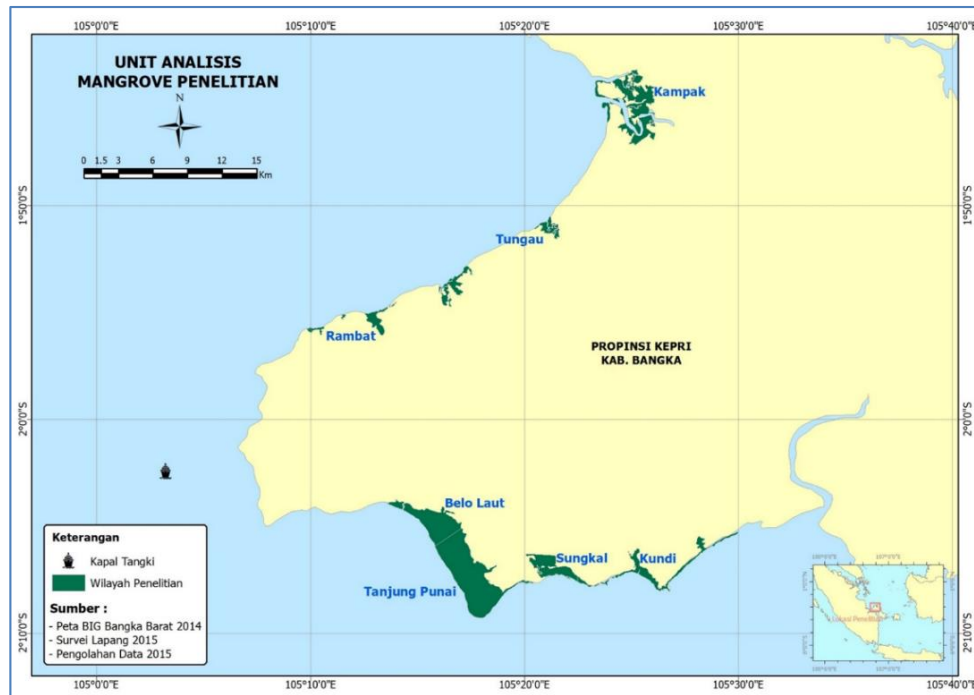
Parameter pembentuk Indeks Kerentanan Lingkungan ekosistem mangrove dibagi berdasarkan Indeks Kerentanan (IK), Indeks Ekologi (IE), dan Indeks Sosial (IS) serta penjelasan dalam mendapatkannya dijelaskan pada Gambar 2. Perhitungan Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) dilakukan dengan menggunakan metode Weighted Overlay melalui fasilitas Raster Calculator pada perangkat lunak ArcGIS, rumus yang digunakan adalah Rumus 3, yaitu dengan mengkalikan Indeks Kerentanan (IK), Indeks Ekologi (IE), dan Indeks Sosial (IS).

3. Hasil dan Pembahasan

Lokasi mangrove terluas ditemukan pada unit analisis Belolaut dan Tanjungpunai yang jenis mangrove dominannya adalah *Sonneratia Alba* dan *Avicennia*, yang jaraknya adalah sekitar 21 kilometer dari kapal tanki yang menjadi sumber potensi pencemaran minyak (Gambar 3).

Tabel 1. Jenis Mangrove yang Ditemukan pada Area Penelitian pada Setiap Unit Analisis

No	Unit Analisis	Jenis Mangrove	Luas (Ha)
1	Kundi	<i>Sonneratia alba</i> (dominan), <i>Rhizophora mucronata</i> , <i>Avicennia alba</i> , <i>Avicennia marina</i>	499.6
2	Tungkal	<i>Rhizophora mucronata</i> (dominan), <i>Sonneratia alba</i> , <i>Rhizophora apiculata</i> , <i>Xylocarpus granatum</i> , <i>Avicennia sp.</i> , <i>Bruguiera gymnorhiza</i>	485.3
3	Tanjung Punai	<i>Sonneratia alba</i> (dominan), <i>Rhizophora apiculata</i> ,	1988.7
4	Belolaut	<i>Avicennia sp.</i> (dominan), <i>Sonneratia alba</i> , <i>Rhizophora apiculata</i> ,	864.8
5	Rambat	<i>Rhizophora apiculata</i> (dominan), <i>Sonneratia alba</i> ,	475.6
6	Tungau	<i>Rhizophora apiculata</i> (dominan), <i>Terminalia catappa</i>	149.1
7	Kampak	<i>Rhizophora sp.</i> (dominan), <i>Sonneratia alba</i> , <i>Avicennia</i> , <i>Bruguiera sp.</i>	1151.3



Gambar 3. Lokasi Mangrove pada Area Penelitian

3.1. Indeks Kerentanan (IK)

Parameter tipe substrat digunakan karena tingkat penetrasi minyak ke tipe substrat akan mempunyai dampak berbeda berdasarkan sifat substrat yang impermeable (tidak dapat ditembus lapisan minyak) dan permeable (dapat ditembus minyak) (Ali, 2005). Pantai berbatu tidak akan membuat minyak berpenetrasi karena sifat substrat yang tidak impermeable dan proses pemulihan lingkungan akan berlangsung cepat oleh alam. Pantai dengan material buatan relatif lambat dalam pemulihannya karena banyak ditemukan variasi aktivitas manusia yang juga berdampak terhadap sosial dan ekonominya. Jenis substrat garis pantai yang ada di area penelitian mempunyai keragaman yang sama, yaitu jenis pantai berpasir/sedimen/berlumpur, hal ini menginformasikan bahwa jika terjadi tumpahan minyak maka proses pemulihan lingkungan akan berlangsung lambat karena jenis material ini berpotensi mengendapkan minyak sehingga tingkat kesulitan dalam membersihkan minyak akan lebih sulit dibanding pantai berbatu maupun pantai dengan material buatan.

Kemiringan yang landai mempunyai tingkat kerentanan yang tinggi karena tingkat kesulitan untuk membersihkan minyak semakin sulit dan pengurangan energi gelombang dan arus pasang surut yang kecil, sedangkan pantai yang curam mempunyai energi gelombang yang besar yang berpotensi memindahkan minyak dengan cepat karena zona belombang pecah lebih dekat dengan garis pantai (NOAA, 2002 dalam Ali, 2005).

Dari kedua parameter yang dipilih dalam menentukan Indeks Kerentanan, mempunyai nilai tertinggi untuk seluruh lokasi, yaitu merupakan tipe pantai yang mempunyai material

pasir/sedimen/lumpur dengan kemiringan yang landai (<5°), sehingga dari segi kerentanan seluruh mangrove pada area penelitian mempunyai tingkat kerentanan yang tinggi

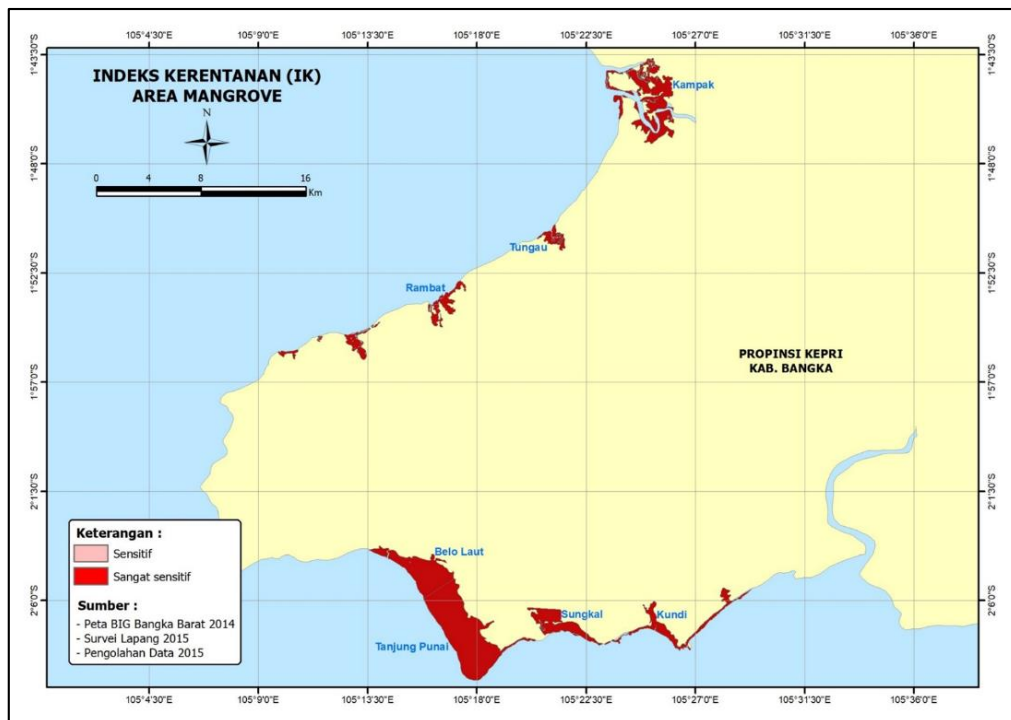
3.2. Indeks Ekologi (IE)

a. Kerapatan Mangrove

Untuk mendapatkan kerapatan mangrove, digunakan algoritma yang umum digunakan yaitu dengan menggunakan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), pada citra satelit Landsat 8, Band yang digunakan dalam perhitungan kerapatan ini adalah Band 5 (Near Infrared) dan Band 4 (Red), hasil yang didapatkan dari perhitungan NDVI dijabarkan pada Tabel 2. Tingkat kerapatan mangrove menunjukkan hasil yang bervariasi untuk seluruh area mangrove dengan tingkat kerapatan paling tinggi berada di unit analisis Tanjung Punai dan Kundi yang keduanya berada di pesisir bagian selatan, daerah ini akan menjadi lebih sulit pembersihannya baik secara alami maupun secara teknis jika terjadi tumpahan minyak karena akan semakin banyak mangrove yang terkena dampak dan membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit dalam pembersihannya.

Tabel 2. Kerapatan Mangrove pada Tiap Unit Analisis

No	Unit Analisis	Kerapatan Mangrove (%)		
		Jarang	Sedang	Lebat
1	Kundi	11.5	3.1	85.4
2	Sungkal	33.9	49.9	16.2
3	Tanjung Punai	7.5	7.0	85.5
4	Belolaut	14.9	80.6	4.4
5	Rambat	15.2	35.4	49.4
6	Tungau	13.1	83.4	3.5
7	Kampak	20.5	49.8	29.7



Gambar 4. Indeks Kerentanan (IK) Ekosistem Mangrove pada Tiap Unit Analisis

b. Sensitifitas Mangrove terhadap Tumpahan Minyak

Data jenis mangrove yang didapatkan dari hasil survei lapangan digunakan untuk penyusunan algoritma baru untuk citra Landsat 8 yang digunakan untuk menentukan tingkat sensitifitas mangrove terhadap tumpahan minyak. Tahap penyusunan algoritma tersebut dapat dibagi menjadi beberapa tahap berikut:

- Purwanto (2016), menyebutkan bahwa untuk analisa vegetasi dengan menggunakan Landsat 8, maka kombinasi yang digunakan adalah Band 6-5-4, sehingga penentuan titik sampling piksel dilakukan pada setiap band tersebut dan titik sampling piksel yang diambil adalah diusahakan merupakan piksel yang mewakili tutupan lahan mangrove, diluar dari tutupan lahan mangrove tersebut seperti: awan, bayangan awan, badan air tidak digunakan.
- Titik sampling piksel yang diambil untuk mewakili lahan mangrove tersebut kesemuanya berjumlah 1472 titik.
- Setelah dilakukan penggabungan informasi piksel setiap titik ke dalam tabular di Excel, maka dilakukan analisa dengan dua jenis regresi, yaitu linear regression dan partial least square regression dengan perangkat lunak XLSTAT yang menggunakan data jenis mangrove sebagai parameter ketergantungannya dan nilai piksel sebagai parameter penyusunnya. Nilai sensitifitas mangrove mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Muarif dan Damar (2016) mengenai tingkat kepekaan mangrove Indonesia terhadap tumpahan minyak, dalam penelitian tersebut perumusan indikator kepekaan jenis mangrove didasarkan pada dua pendekatan, yaitu pendekatan efek tumpahan minyak terhadap mangrove dan pendekatan karakteristik mangrove baik morfologi, fisiologi maupun reproduksi.

Pendekatan efek tumpahan minyak menggambarkan bagaimana minyak mempengaruhi fisik maupun fisiologi tumbuhan, sehingga menimbulkan gangguan bahkan kematian. Pendekatan karakteristik mangrove menggambarkan karakteristik tumbuhan yang hidup di ekosistem mangrove dengan segala kekhasannya dan proses fisiologi yang khas terkait dengan adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim seperti salinitas yang tinggi dan substrat yang anaerob. Hasil dari masing – masing analisa regresi tersebut kemudian dibandingkan satu sama lain untuk mengetahui hasil yang terbaik. Hasil dari masing – masing analisa regresi tersebut kemudian dibandingkan satu sama lain untuk mengetahui hasil yang terbaik.

○ *Linear Regression*

Persamaan yang didapatkan dengan menggunakan *linear regression* adalah:

$$\text{Sensitifitas mangrove} = 2.43113 + 0.72613 \cdot \text{Band 4} + 4.08750 \cdot \text{Band 5} - 1.10815 \cdot \text{Band 6}$$

yang kemudian diaplikasikan dengan menggunakan fungsi formula *Excel* untuk menentukan tingkat hubungan antara data Band 4, Band 5 dan Band 6 dengan nilai sensitifitas mangrove berdasarkan data lapang dengan hasil pada Tabel 3.

Tabel 3. Tingkat Akurasi Citra Landsat 8 Band 4-5-6 dengan Sensitifitas Mangrove dengan *Linear Regression*

Jumlah Sampel (titik)	Nilai Sama (titik)	Nilai Tidak Sama	Tingkat Akurasi (%)
1472	1232	240	84%

o *Partial Least Square Regression*

Persamaan yang didapatkan dengan menggunakan *partial least square regression* adalah:

$$\text{Sensitifitas mangrove} = 3.24836 - 2.37660 \cdot \text{Band 4} + 3.47109 \cdot \text{Band 5} - 0.70777 \cdot \text{Band 6}$$

yang kemudian diaplikasikan dengan menggunakan fungsi formula *Excel* untuk menentukan tingkat hubungan antara data Band 4, Band 5 dan Band 6 dengan nilai sensitifitas mangrove berdasarkan data lapang dengan hasil pada Tabel 4.

Tabel 4. Tingkat Akurasi Citra Landsat 8 Band 4-5-6 dengan Sensitifitas Mangrove dengan *Partial Least Square Regression*

Jumlah Sampel (titik)	Nilai Sama (titik)	Nilai Tidak Sama	Tingkat Akurasi (%)
1472	1205	267	82%

Dari hasil yang didapatkan pada Tabel 3 dan Tabel 4, metode *linear regression* dipilih karena menunjukkan hasil yang lebih tinggi akurasi dibandingkan dengan kedua metode yang lain. Algoritma tersebut kemudian diaplikasikan dengan menggunakan *Raster Calculator* pada ArcGIS dan didapatkan hasilnya seperti pada Tabel 5.

Tingkat sensitifitas mangrove terhadap tumpahan minyak seluruh area mangrove penelitian terdiri dari jenis mangrove yang sifatnya sensitif terhadap tumpahan minyak, yaitu *Sonneratia alba*, *Avicennia* dan *Rhizophora*. Unit analisis yang berada di pesisir selatan, yaitu Kundi, Sungkal, Tanjung Punai dan Belolaut dalam hal ini juga mempunyai tingkat sensitifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pesisir timur yang terdiri dari Rambat, Tungau, Kampak. Mangrove *Sonneratia alba* dan *Avicennia* mendominasi unit analisis di pesisir selatan, dari hasil studi literatur yang dilakukan oleh Muarif dan Damar (2016) tingkat kepekaan jenis mangrove terhadap tumpahan minyak dapat didasarkan pada tiga komponen. Ketiga komponen tersebut adalah jenis akar, keberadaan mekanisme adaptasi mangrove terhadap minyak, dan kemampuan pulih pasca tumpahan minyak. Ketinggian lapisan minyak yang mengenai akar dapat digunakan untuk menduga kepekaan ekologi habitat mangrove. Jenis mangrove yang memiliki akar napas dan berpeluang seluruh lentiselnya tertutup minyak (*Sonneratia* dan *Avicennia*) tergolong ke dalam jenis yang sangat peka, sedangkan Jenis mangrove yang sebagian lentisel di akarnya

berpeluang tertutup minyak (*Rhizophora*) digolongkan peka terhadap tumpahan minyak.

c. *Lama Perendaman Air Laut saat Pasang*

Data dari PKSPL IPB (2015) digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan kondisi lama perendaman mangrove oleh air laut pada area penelitian, dan didapatkan bahwa seluruh area penelitian merupakan area yang mengalami perendaman air laut lebih 6 jam sehari. Lamanya paparan pasang surut terhadap mangrove mempengaruhi penetrasi minyak terhadap jenis substrat tempat mangrove tersebut berada, semakin lama paparannya, akan semakin banyak pula deposit minyak yang terendapkan pada area tersebut sehingga usaha yang diperlukan akan semakin bertambah, mengingat jumlah limbah yang dihasilkan juga akan lebih banyak, selain itu dalam penanganan limbahnya, harus menggunakan pengolah limbah yang mempunyai izin dari pemerintah sehingga tentunya ini akan berdampak pada biaya yang akan dikeluarkan.

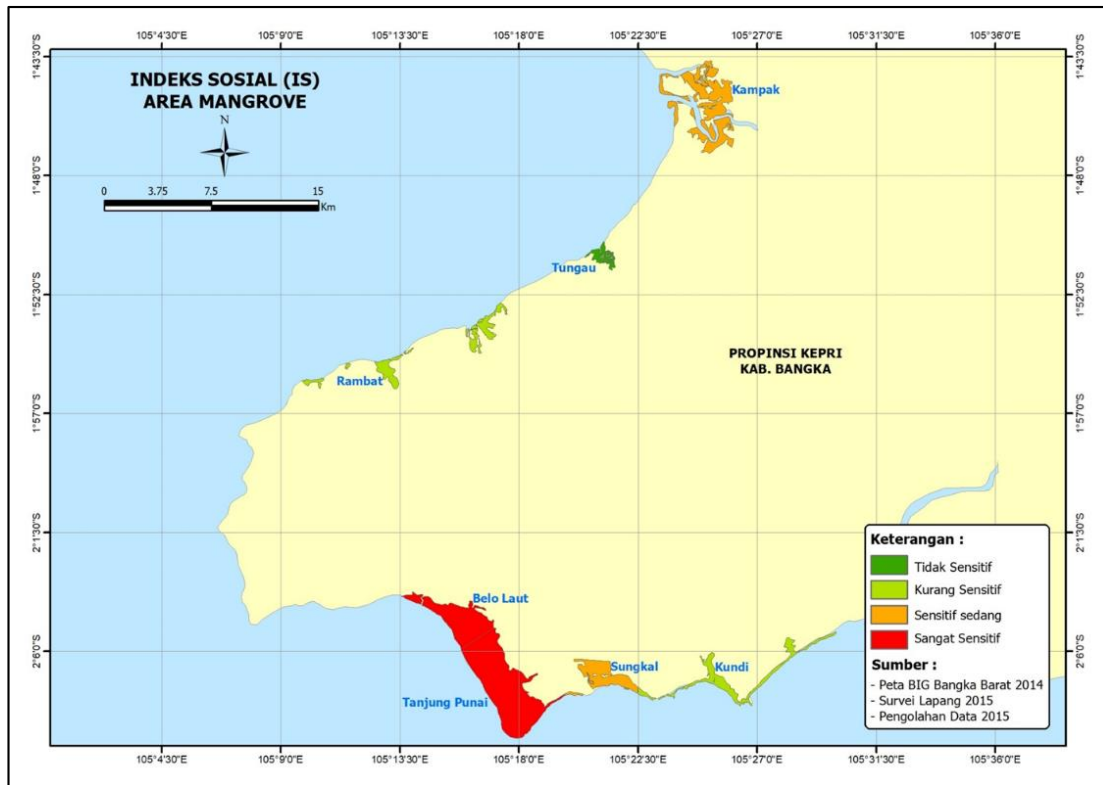
Lamanya paparan pasang surut terhadap mangrove mempengaruhi penetrasi minyak terhadap jenis substrat tempat mangrove tersebut berada, semakin lama paparannya, akan semakin banyak pula deposit minyak yang terendapkan pada area tersebut sehingga usaha yang diperlukan akan semakin bertambah, mengingat jumlah limbah yang dihasilkan juga akan lebih banyak, selain itu dalam penanganan limbahnya, harus menggunakan pengolah limbah yang mempunyai izin dari pemerintah sehingga tentunya ini akan berdampak pada biaya yang akan dikeluarkan.

d. *Status Perlindungan Area*

Data sekunder dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan survey lapang digunakan untuk mendapatkan status perlindungan area mangrove di Bangka bagian barat, dan didapatkan bahwa keseluruhan area mangrove merupakan area yang dilindungi secara lokal, yang artinya masyarakat di area tersebut sepakat untuk menjaga mangrove sebagai ekosistem alami dan tidak melakukan konversi area mangrove menjadi area lainnya.

Tabel 5. Proporsi Luasan Sensitifitas Mangrove pada Tiap Unit Analisis

No	Unit Analisis	Sensitifitas Mangrove (%)	
		Sensitif	Sangat Sensitif
1	Kundi	48.4	51.6
2	Sungkal	45.5	54.5
3	Tanjung Punai	29.4	70.6
4	Belolaut	37.4	62.6
5	Rambat	98.8	1.2
6	Tungau	98.9	1.1
7	Kampak	98.7	1.3



Gambar 6. Indeks Sosial (IS) Ekosistem Mangrove pada Tiap Unit Analisis

Status perlindungan mangrove yang ada di wilayah penelitian adalah mangrove yang dilindungi secara lokal oleh masyarakat setempat, yang dalam hal ini sebenarnya berdampak positif terhadap kondisi mangrove tersebut karena adanya kesadaran dari masyarakat untuk tetap merawat dan menjaga kelestarian mangrove. Selain itu jika terjadi tumpahan minyak, maka tingkat kewaspadaan masyarakat juga tinggi karena mereka sudah merasa bahwa mangrove merupakan wilayah yang wajib dilindungi karena manfaatnya sudah terasa bagi kelangsungan hidup mereka baik sebagai mata pencaharian sehari-hari maupun pelindung dari gelombang pantai.

Perhitungan Indeks Ekologi (IE) yang melibatkan empat parameter di atas adalah menggunakan Rumus 5 pada fasilitas Raster Calculator di perangkat lunak ArcGIS, sehingga didapatkan peta Indeks Ekologi seperti Gambar 5. Dari analisa menggunakan keempat parameter tersebut didapatkan bahwa Indeks Ekologi mangrove di wilayah penelitian didominasi oleh yang mempunyai tingkat sensitif (88%), sedangkan sisanya sebesar 12% mempunyai tingkat sensitif sedang. Perbedaan ini dimungkinkan terjadi karena adanya variasi kerapatan mangrove, mengingat untuk parameter yang lain mempunyai klasifikasi yang cenderung homogen untuk setiap unit analisis

3.3. Indeks Sosial (IS)

Penentuan indeks sosial ditentukan dari parameter potensi wisata, intensifitas tangkapan ikan dan nilai ekonomi mangrove, yang datanya merupakan data sekunder dari hasil pengolahan yang dilakukan oleh tim PKSPL IPB (2015). Potensi wisata diketahui dengan

melakukan analisa peta dari BIG untuk mendapatkan data daerah yang berpotensi sebagai daerah wisata, seperti: taman nasional dan cagar alam yang berdekatan dengan area mangrove, yang kemudian dilakukan verifikasi lapangan untuk setiap unit analisis mangrove. Data intensifitas tangkapan ikan didapatkan langsung dengan melakukan survey lapang dan wawancara kepada nelayan yang aktivitas penangkapan ikannya berada di area mangrove, sedangkan nilai ekonomi mangrove didapatkan dengan mengkalikan luas mangrove per unit analisis dengan standar dari Kementerian Lingkungan Hidup, yaitu Rp 206,401,000/ha/tahun yang merupakan hasil studi di daerah Bareleng dan Bintan. Potensi wisata yang ada di area mangrove penelitian bervariasi dari yang berpotensi sedang hingga berpotensi tinggi, dijabarkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Potensi Wisata Tiap Unit Analisis

No	Unit Analisis	Potensi Wisata
1	Kundi	Potensi sedang
2	Sungkal	Potensi tinggi
3	Tanjung Punai	Potensi tinggi
4	Belolaut	Potensi tinggi
5	Rambat	Potensi sedang
6	Tungau	Potensi sedang
7	Kampak	Potensi tinggi

Tabel 7. Intensifitas Penangkapan Ikan Tiap Unit Analisis

No	Unit Analisis	Potensi Wisata
1	Kundi	Intensif tinggi
2	Sungkal	Sangat intensif
3	Tanjung Punai	Sangat intensif
4	Belolaut	Sangat intensif
5	Rambat	Intensif tinggi
6	Tungau	Intensif tinggi
7	Kampak	Kurang intensif

Untuk tingkat intensifitas aktivitas penangkapan ikan yang ada di area mangrove penelitian, bervariasi dari kurang intensif hingga sangat intensif.

Nilai Ekonomi (NE) mangrove didapatkan dengan menggunakan dengan menggunakan standar KLH dalam penilaiannya.

Perhitungan Indeks Sosial (IS) yang melibatkan ketiga parameter di atas adalah dengan menggunakan fasilitas *Raster Calculator* di perangkat lunak ArcGIS, sehingga didapatkan peta Indeks Sosial seperti pada Gambar 6. Potensi wisata yang tinggi ditemukan pada sebagian besar area mangrove yang diteliti, yaitu pada unit analisis Sungkal, Tanjung Punai, Belolaut, dan Kampak, potensi wisata yang tinggi ini dimungkinkan karena unit analisis-unit analisis ini mempunyai tingkat kerapatan mangrove yang lebih tinggi dibandingkan dengan unit analisis yang lain, tingkat kerapatan yang tinggi ini dapat mencirikan bahwa kondisi mangrove masih dalam kondisi yang baik sehingga mampu menarik wisatawan lebih banyak. Begitu pun sama halnya dengan penangkapan ikan, aktivitas penangkapan ikan tertinggi ditemukan pada mangrove yang mempunyai kerapatan relatif tinggi, yaitu di unit analisis Sungkal, Tanjung Punai, dan Belolaut.

Kerapatan mangrove yang tinggi mengindikasikan kuat masih tingginya keanekaragaman hayati yang ada di area mangrove tersebut, Habitat mangrove merupakan tempat untuk mencari makan (*feeding ground*), tempat mengasuh dan rmembesarkan (*nursery ground*), tempat bertelur dan mernijah (*spawning ground*) serta tempat berlindung yang aman bagi berbagai jenis biota perairan. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian yang menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara luasan kawasan mangrove dengan produksi perikanan budidaya. Semakin meningkatnya luasan kawasan mangrove maka produksi perikanan pun turut meningkat dengan membentuk persamaan $Y = 0.06 + 0.15 X$; Y merupakan produksi tangkapan dalam ton/th, sedangkan X merupakan luasan mangrove dalam ha. Hasil penelitian lain yang berkaitan dengan ekonomi menunjukkan bahwa pembuatan 1 ha tambak ikan pada hutan mangrove alam akan menghasilkan ikan/udang sebanyak 287 kg/tahun, namun dengan hilangnya setiap 1 ha hutan mangrove akan mengakibatkan kerugian

480 kg ikan dan udang di lepas pantai per tahunnya. Pengurangan hutan mangrove sudah tentu akan menurunkan produktivitas perikanan tangkapan.

Nilai ekonomi mangrove dalam penelitian ini menghubungkan antara luas mangrove dengan standar valuasi ekonomi mangrove yang dikeluarkan oleh KLHK pada tahun 1999, yaitu Rp. 206,401,000/ha/tahun, dengan asumsi sama untuk setiap jenis mangrove sehingga menghasilkan Tanjung Punai dan Belolaut menjadi area mangrove mempunyai nilai ekonomi paling tinggi. Indeks Sosial Ekonomi merupakan salah satu faktor yang penting untuk dimasukkan ke dalam analisa Indeks Kepekaan Lingkungan terhadap tumpahan minyak, karena akan mempengaruhi masyarakat setempat akibat dampak yang ditimbulkannya, masyarakat di area penelitian memanfaatkan mangrove dalam kehidupan sehari-harinya. Secara umum, fungsi mangrove secara ekonomi di area penelitian adalah untuk pemenuhan kebutuhan manusia sebagai penyedia bahan pangan, papan dan kesehatan serta lingkungan, seperti:

- Penghasil kayu: kayu bakar, arang serta kayu untuk bahan bangunan dan perabot rumah tangga
- Penghasil bahan industri: misalnya pulp, kertas, tekstil, makanan, obat-obatan, alkohol, penyamak kulit, kosmetik dan zat pewarna.
- Penghasil bibit/benih ikan, udang, kerang, kepiting, telur burung, madu dan lainnya
- Sebagai kawasan wisata dan konservasi, kegiatan wisata memberikan pendapatan langsung bagi pengelola melalui penjualan tiket masuk dan parkir, juga mampu menumbuhkan perekonomian masyarakat disekitarnya dengan menyediakan lapangan kerja dan kesempatan berusaha.

Analisa dari ketiga parameter tersebut di atas menghasilkan indeks sosial yang bervariasi dari 7 unit analisis, dengan unit analisis Tanjung Punai dan Belolaut yang menjadi unit analisis dengan indeks sosial tertinggi, yaitu sangat sensitif, hal ini karena unit analisis tersebut mempunyai skoring tertinggi untuk setiap parameter, yaitu potensi wisata dan intensifitas penangkapan ikan yang tinggi serta nilai ekonomi yang terbesar dibandingkan unit analisis yang lain.

Tabel 8. Nilai Ekonomi Mangrove Tiap Unit Analisis

No	Unit Analisis	Luas Mangrove (Ha)	Nilai Ekonomi (Rp/Ha/Tahun)	Normalisasi Nilai Ekonomi
1	Kundi	500	103,133,979,491	0,9
2	Sungkal	485	100,178,271,177	0,8
3	Tanjung Punai & Belo Laut	2.854	588,989,279,889	5
4	Belolaut	476	98,167,512,979	0,8
5	Rambat	1,151	237,646,467,016	2
6	Tungau	149	30,781,883,518	0,3
7	Kampak	500	103,133,979,491	0,9

3.4. Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) Ekosistem Mangrove

Perhitungan Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) dilakukan dengan menggunakan metode *Weighted Overlay* melalui fasilitas *Raster Calculator* pada perangkat lunak *ArcGIS*, rumus yang digunakan adalah Rumus 3, yaitu dengan mengkalikan Indeks Kerentanan (IK), Indeks Ekologi (IE), dan Indeks Sosial (IS), dari perhitungan tersebut didapatkan hasil seperti pada Gambar 7. Hasil analisa dari ketiga indeks (Kerentanan, Ekologi dan Sosial) menunjukkan bahwa terdapat dua unit analisis yang mempunyai klasifikasi sangat sensitif, yaitu Tanjung Punai dan Belolaut, dan sensitif untuk Kundi, Sungkal dan Rambat, sedangkan Tungau mempunyai klasifikasi sensitif sedang. Melihat dari parameter yang digunakan untuk analisa IKL, ada beberapa parameter yang menjadikan Tanjung Punai dan Belolaut mempunyai klasifikasi sangat sensitif, diantaranya adalah tingkat sensitifitas mangrove terhadap tumpahan minyak kerapatan mangrove, serta nilai ekonomi mangrove, kedua unit analisis didominasi oleh jenis mangrove yang sangat sensitif terhadap tumpahan minyak, yaitu *Sonneratia* dan *Avicennia* yang mempunyai kerapatan mangrove yang lebat, serta luas mangrove yang relatif lebih luas dibandingkan dengan unit analisis lainnya, luasan yang lebih besar ini akan sangat mempengaruhi nilai ekonomi mangrovenya. Sedangkan Tungau diklasifikasikan sebagai sensitif sedang dapat dipengaruhi oleh parameter berikut: kerapatan mangrove dan potensi wisata yang termasuk sedang, aktivitas perikanan yang kurang intensif, serta luasan mangrove yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan unit analisis yang lain. Secara umum, tingkat kepekaan lingkungan yang berada di wilayah penelitian terdiri dari sensitif hingga sangat sensitif, hal ini mengindikasikan bahwa mangrove pada wilayah tersebut merupakan mangrove yang keberadaannya wajib dilestarikan. Area mangrove yang memiliki IKL sangat sensitif merupakan ekosistem yang paling berpotensi menjadi rusak akibat pencemaran minyak. Ekosistem mangrove yang memiliki IKL ini akan rusak apabila tercemar minyak dan menimbulkan kerugian yang sangat tinggi baik dari sisi ekologi maupun sosial ekonomi. Area mangrove yang memiliki kelas IKL peka berarti berpotensi tinggi terhadap dampak pencemaran minyak dan akan mengalami kerusakan yang tinggi baik secara ekologi maupun sosial ekonomi. Untuk area mangrove yang sudah teridentifikasi memiliki IKL sangat sensitif harus lebih mendapatkan perhatian utama khususnya terkait dengan keadaan darurat terjadinya tumpahan minyak, persiapan sistem dalam mengatasi kondisi darurat harus

dimutakhirkan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada area mangrove tersebut. Perbandingan nilai IKL dengan metode algoritma dan manual dijabarkan pada Tabel 9.

Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) total menunjukkan perbedaan hasil angka dengan rata-ratanya adalah 24% dari 7 unit analisis yang dibandingkan, 3 unit analisis memiliki kelas IKL yang sama, yaitu : Tanjung Punai, Rambat, dan Tungai dan 4 unit analisis memiliki kelas IKL yang berbeda, yaitu : analisis Kundi, Sungkal, Kampak dan Belo Laut yang berdasarkan analisis manual mempunyai nilai IKL yang lebih tinggi dibandingkan dengan analisis citra, hal ini dimungkinkan terjadi adanya perbedaan nilai ekonomi mangrove pada Indeks Sosial, yang menunjukkan adanya keterbatasan pada metode analisa citra untuk dapat menghasilkan hasil yang lebih representatif untuk parameter penyusun Indeks Sosial dikarenakan lebih sedikitnya parameter yang bisa digunakan sebagai bahan analisis.

3.5. Analisis Resiko Ekosistem Mangrove terhadap Tumpahan Minyak

Analisis resiko menghitung nilai resiko pada setiap unit analisis mangrove dengan memperhitungkan nilai probabilitas dan juga konsekuensi, yang pada penelitian ini nilai konsekuensi yang digunakan adalah nilai Indeks Kepekaan Lingkungan sebagai acuan tingkat keparahan apabila unit analisis tersebut terkena tumpahan minyak. Hasil dari analisis ini bertujuan untuk penentuan area yang menjadi prioritas ketika terjadi kondisi darurat agar dapat menentukan langkah – langkah mitigasi yang perlu dilakukan demi mencegahnya kerusakan atau mengurangi dampak kerusakan yang terjadi akibat adanya tumpahan minyak. Perhitungan dilakukan untuk setiap bulan pada tahun 2015, hal ini dilakukan karena nilai probabilitas selalu berubah setiap bulan mengikuti arah tumpahan minyak. Perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 10.

Dari 12 bulan percobaan yang dilakukan dengan menggunakan asumsi lokasi pencemaran dan karakteristik pencemar yang tetap, potensi terlewat atau langsung terkena tumpahan minyak pada area mangrove terjadi pada bulan Juni hingga Oktober, dengan bulan Juli sebagai bulan yang mempunyai rata-rata risiko tertinggi dibandingkan dengan bulan – bulan lainnya, dengan dua unit analisis terkena tumpahan minyak, yaitu Rambat dan Kampak, dan potensi terlewat untuk Tanjung Punai dan Belolaut, yang mempunyai nilai konsekuensi tinggi sehingga dikategorikan mempunyai risiko tinggi.

Tabel 9. Perbedaan Nilai IKL Total antara Metode Manual dan Metode Analisa Citra

No	Unit Analisis	Metode	IKL Total	Kelas IKL	Deviasi Nilai IKL
1	Kundi	Manual	72	5 (Sangat sensitif)	41%
		Analisis Citra	42	4 (Sensitif)	
2	Sungkal	Manual	93	5 (Sangat sensitif)	41%
		Analisis Citra	55	4 (Sensitif)	
3	Tanjung Punai	Manual	85	5 (Sangat sensitif)	4%
		Analisis Citra	89	5 (Sangat sensitif)	
4	Belolaut	Manual	74	5 (Sangat sensitif)	26%
		Analisis Citra	55	4 (Sensitif)	
5	Rambat	Manual	47	4 (Sensitif)	10%
		Analisis Citra	52	4 (Sensitif)	
6	Tungau	Manual	38	4 (Sensitif)	24%
		Analisis Citra	29	4 (Sensitif)	
7	Kampak	Manual	65	5 (Sangat sensitif)	23%
		Analisis Citra	50	4 (Sensitif)	

Tabel 10. Analisis Resiko Ekosistem Mangrove tiap Unit Analisis dalam Setahun

Unit Analisis	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Kundi	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Sungkal	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Tanjung Punai	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Belolaut	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Rambat	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
Tungau	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi
Kampak	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat tinggi
Unit Analisis	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Kundi	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Sungkal	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
Tanjung Punai	Tinggi	Sedang	Sedang	Tinggi	Sedang	Sedang
Belolaut	Tinggi	Sedang	Sedang	Tinggi	Sedang	Sedang
Rambat	Sangat tinggi	Tinggi	Sangat tinggi	Sedang	Sedang	Sedang
Tungau	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang
Kampak	Sangat tinggi	Sangat tinggi	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang

Adapun untuk bulan selain Juni hingga Oktober, meskipun tidak terlewat dengan tumpahan minyak termasuk dalam kategori sedang dikarenakan nilai konsekuensinya yang tinggi karena mangrove yang berada di area tersebut mempunyai nilai sensitivitas yang tinggi, selain itu faktor simulasi yang merupakan prakiraan secara matematis dengan memperhitungkan kondisi cuaca, arus laut, lokasi sumber pencemaran dan juga karakteristik dari pencemar yang dilakukan oleh perangkat lunak, sehingga kondisinya dapat berubah dengan cepat khususnya untuk lokasi sumber pencemaran yang dapat berasal tidak hanya dari satu tempat saja, sehingga risiko yang tersisa tidak dapat digolong rendah untuk mangrove yang mempunyai sensitivitas tinggi

4. Kesimpulan

Penyusunan Indeks Kepekaan Lingkungan (IKL) berdasarkan nilai Indeks Kerentanan (IK), Indeks Ekologi (IE), dan Indeks Sosial (IS) dapat dilakukan dengan mengaplikasikan algoritma interpretasi citra Landsat 8, khususnya pada penyusunan IE yang terkait dengan parameter tingkat sensitivitas mangrove, tingkat akurasi yang dihasilkan dari seluruh titik sampling yang dipakai pada penelitian jika dibandingkan dengan survei lapang adalah 84% untuk penentuan tingkat sensitivitas mangrove. Dan penggunaan fasilitas *weighted overlay* pada perangkat lunak *ArcGIS* untuk menentukan nilai IKL total

memiliki perbedaan sebesar 24% jika dibandingkan dengan metode manual, terdapat dua kelas IKL pada seluruh unit analisis, yaitu sensitif hingga sangat sensitif, parameter penentu yang cukup dominan terhadap hasil IKL dalam penelitian ini adalah tingkat sensitifitas mangrove, kerapatan mangrove dan luas area mangrove. Analisis risiko terhadap unit analisis di area penelitian menghasilkan informasi untuk bulan yang berisiko tinggi hingga sangat tinggi terjadi pada bulan Mei hingga Oktober dengan unit analisis Tanjung Punai, Belolaut, Rambat dan Kampak yang berpotensi memiliki tingkat kerusakan yang tinggi apabila terkena tumpahan minyak.

Daftar Pustaka

[NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2002. Environmental Sensitivity Index Guidelines Version 3.0. Seattle, Washington: Hazardous Materials Response Division, Office of Response and Restoration, NOAA Ocean Service
 [PKSPL-IPB] Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan Institut

Pertanian Bogor dan Kementrian Lingkungan Hidup. 2012. Pemetaan Indeks Kepekaan Lingkungan untuk Pulau Matak
 [PKSPL-IPB] Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan Institut Pertanian Bogor. 2012. Pemetaan Indeks Kepekaan Lingkungan untuk Pulau Matak
 [PKSPL-IPB] Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan Institut Pertanian Bogor. 2015. Pemetaan Indeks Kepekaan Lingkungan untuk Operasi Tanker Penyimpanan Minyak Lepas Pantai.
 [PKSPL-IPB] Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan Institut Pertanian Bogor dan Kementrian Lingkungan Hidup. 1999. Studi Valuasi Ekonomi Kawasan Pesisir di Bareleng dan Bintan.
 Ali, Hafizh, *et.al.* 2005. Penentuan Indeks Kerentanan Lingkungan Pantai berbasis Geospasial dan Parameter Fisik. Institut Teknologi Bandung.
 Muarif *et.al.* 2016. Tingkat Kepekaan Mangrove Indonesia terhadap Tumpahan Minyak. Jurnal Manusia dan Lingkungan.
 Peterson, J., Michel, J., Zengel, S. 2002. Environmental Sensitivity Index Guidelines Version 3.0, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11, Hazardous Materials Response Division, Office of esponse and Restoration, NOAA Ocean Service.
 Purwanto, Ajun. 2015. Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Identifikasi NDVI di Kecamatan Silat Hilir Kabupaten Kapuas Hulu