

**ANALISIS KERENTANAN PANTAI TIMUR PULAU BINTAN MENGGUNAKAN
DIGITAL SHORELINE ANALYSIS DAN *COASTAL VULNERABILITY INDEX*****COASTAL VULNERABILITY ANALYSIS OF EAST COAST
BINTAN ISLAND USING *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS*
AND *COASTAL VULNERABILITY INDEX*****Mario Putra Suhana¹, I Wayan Nurjaya², Nyoman Metta N. Natih²**¹Fakultas Ilmu kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjung Pinang²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan,

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

Korespondensi: marioputrasuhana@gmail.com, wayan.itkipb@yahoo.com, natih1406@yahoo.com

ABSTRACT

Coastal vulnerability is a condition where there is an increased processes of damage in the coastal areas caused by a variety of factors such as human activity and natural factors such as impact of sea level rise, sea waves and longshore current which cause abrasion and sedimentation processes which is once indicator of pressure on coastal areas even though not always interpreted as the degradation of coastal areas. Coastal vulnerability analysis is very important to be done, by doing a study of the coastal areas condition in particular the study of the vulnerability of a coastal areas will ease in highlighted any sections of a coastal areas which judged having high level of vulnerability and what are the factors that result in the vulnerability of the coastal areas. The research of coastal vulnerability of east coast of Bintan Island was conducted in September-October 2015 with observing physical and oceanographic variables consisting of coastal geomorphology, beach slope, shoreline changes and annual average of sea wave height and tidal range. Coastal vulnerability analysis using coastal vulnerability index (CVI) method by giving a score to each of the variables used in accordance with the categories set by *United States Geological Survey* (USGS). The results of coastal vulnerability analysis showed coastal geomorphology and beach slope are a variables with a high to very high degree of vulnerability with the vulnerability score of each variables is 4.75 and 5 (score scale range from 1-5). Coastal vulnerability index of east coast of Bintan Island ranged from 3.16-3.54 with an average 3.33 which showed the level of vulnerability of east coast of Bintan Island is in low category.

Keyword: coastal vulnerability index, coastal vulnerability, east coast of Bintan Island, Oceanographic

ABSTRAK

Kerentanan pantai merupakan kondisi dimana terdapat peningkatan proses kerusakan di wilayah pantai yang diakibatkan oleh berbagai faktor seperti aktivitas manusia dan faktor alami seperti pengaruh kenaikan muka laut, gelombang laut serta arus menyusur pantai yang mengakibatkan terjadinya proses abrasi maupun sedimentasi yang merupakan salah satu indikator adanya tekanan terhadap suatu kawasan pantai walaupun bukan berarti sebagai degradasi kondisi kawasan pantai. Analisis kerentanan pantai sangat penting untuk dilakukan, dengan melakukan kajian kondisi suatu kawasan pantai khususnya kajian mengenai kerentanan suatu kawasan pantai akan memudahkan dalam menyoroti bagian-bagian mana saja dari suatu pantai yang dinilai memiliki tingkat kerentanan yang tinggi dan faktor-faktor apa saja yang mengakibatkan kerentanan kawasan pantai tersebut. Penelitian mengenai kerentanan pantai timur Pulau Bintan dilaksanakan pada Bulan September-Oktober 2015 dengan mengamati variabel fisik dan variabel oseanografi yang terdiri dari geomorfologi pantai, kemiringan pantai, perubahan garis pantai dan rata-rata tinggi gelombang laut serta rata-rata kisaran pasang surut per tahun. Analisis kerentanan pantai menggunakan metode coastal vulnerability index (CVI) dengan memberikan skor terhadap masing-masing variabel yang digunakan sesuai dengan kategori yang telah ditetapkan oleh *United States Geological Survey* (USGS). Hasil analisis kerentanan pantai menunjukkan geomorfologi pantai dan kemiringan pantai merupakan variabel tingkat kerentanan tinggi hingga sangat tinggi dengan skor kerentanan masing-masing variabel adalah 4.75 dan 5 (rentang skala skor berkisar antara 1-5). Indeks kerentanan pantai timur Pulau Bintan berkisar antara 3.16-3.54 dengan rata-rata 3.33 yang menunjukkan bahwa tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan berada dalam kategori rendah.

Kata kunci: indeks kerentanan pantai, kerentanan pantai, pantai timur Pulau Bintan, oseanografi

PENDAHULUAN

Latar belakang

Pantai merupakan zona interaksi antara daratan, lautan dan udara yang memiliki kemampuan penyesuaian menuju keseimbangan alami dalam merespon dampak dari proses dinamika oseanografi maupun aktivitas manusia di sekitar kawasan pantai. Kemampuan penyesuaian tersebut merupakan respon alami pantai terhadap laut sehingga mengakibatkan pantai menjadi suatu kawasan yang dinamis yang selalu mengalami perubahan, perubahan profil pantai dapat terjadi secara cepat atau lambat tergantung pada imbang daya antara topografi pantai, proses hidro-oseanografi, partikel sedimen yang masuk maupun meninggalkan pantai serta aktivitas manusia di sekitar kawasan pantai (Triatmodjo 1999; Hidayat 2005, Suriamihardja 2005; Guariglia *et al.* 2006).

Pantai merupakan suatu kawasan pesisir yang memiliki kemampuan untuk menyerap energi gelombang laut yang datang dari laut dalam menuju pantai. Pantai berfungsi sebagai *buffer* atau penghalang, melindungi tebing laut dan konstruksi bangunan di sepanjang pantai seperti pemukiman masyarakat dari serangan gelombang. Kehilangan asupan sedimen dalam waktu yang panjang akan berdampak pantai tidak mampu berfungsi sebagai *buffer* dan tentunya akan menyebabkan kerentanan pada suatu kawasan pantai (Febriansyah *et al.* 2012). Salah satu indikator yang menunjukkan adanya tekanan terhadap suatu kawasan pantai adalah perubahan garis pantai yang ditandai dengan proses abrasi maupun sedimentasi (Siswanto *et al.* 2010).

Kumar *et al.* (2010) mendefinisikan kerentanan sebagai suatu faktor resiko internal dari objek atau sistem yang terekspos suatu bahaya sehubungan dengan kecenderungannya yang mudah dipengaruhi atau rentan terhadap kerusakan. Menurut Kaiser (2007) kerentanan pantai merupakan suatu kondisi yang menggambarkan keadaan yang mudah mendapatkan pengaruh (*susceptibility*) dari faktor alami maupun faktor aktivitas manusia. Faktor-faktor alami yang dapat mempengaruhi tingkat kerentanan suatu pantai yaitu geomorfologi pantai, pasang surut, tinggi gelombang laut, kemiringan pantai serta proses perubahan garis pantai yang ditunjukkan oleh fenomena abrasi dan sedimentasi (Gornitz 1991; Thieler & Hammar-Klose 2000).

Pantai timur Pulau Bintan secara geografis berhadapan langsung dengan Laut Cina Selatan yang dimanfaatkan sebagai kawasan wisata pantai serta wilayah konservasi padang lamun. Selama tahun 2005-2014 telah terjadi abrasi maupun sedimentasi pada beberapa lokasi di sepanjang pantai timur Pulau Bintan. Pembangunan infrastruktur penunjang kegiatan wisata seperti hotel dan resort diduga memberikan pengaruh terhadap

proses perubahan garis pantai timur Pulau Bintan. Hal lain yang diduga mempengaruhi proses perubahan garis pantai timur Pulau Bintan adalah eksploitasi ekosistem mangrove oleh masyarakat untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan arang. Angkotasari *et al.* (2012) dalam penelitian mengenai perubahan garis pantai di pantai barat daya Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara menjelaskan bahwa aktivitas manusia berupa pembangunan bangunan pantai dan kerusakan ekosistem mangrove merupakan salah satu penyebab perubahan garis pantai barat daya Pulau Ternate. Bengen (2001) menjelaskan salah satu penghalang terbaik untuk mencegah suatu kawasan pantai dari proses pengikisan adalah hutan mangrove dikarenakan hutan mangrove memiliki sistem perakaran yang rapat yang mampu menahan lepasnya partikel sedimen sehingga abrasi pantai dapat dicegah.

Analisis tingkat kerentanan pantai sangat perlu untuk dilakukan pada setiap kawasan pantai untuk mengetahui kondisi suatu kawasan pantai. Tingginya tingkat kerentanan suatu kawasan pantai tentunya akan berakibat pada turunnya produktivitas suatu kawasan pantai baik dari sisi ekologi, biologi maupun sosial ekonomi. Pantai timur Pulau Bintan merupakan pantai yang dimanfaatkan sebagai kawasan wisata pantai. Pembangunan infrastruktur penunjang kegiatan wisata seperti hotel dan resort banyak terlihat di sepanjang pesisir pantai timur Pulau Bintan yang tentunya akan memberikan pengaruh terhadap tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan. Berdasarkan fungsi pantai timur Pulau Bintan sebagai kawasan wisata tentunya kajian mengenai tingkat kerentanan pantai sangat perlu untuk dilakukan sebagai sumber informasi mengenai kondisi pantai timur Pulau Bintan saat ini yang tentunya akan memberikan pengaruh terhadap keberlangsungan kegiatan wisata di pantai timur Pulau Bintan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di pantai timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau pada bulan September-Oktober 2015 menggunakan metode survei yang dilaksanakan dalam dua tahap. Tahap pertama dilaksanakan pada Bulan September yaitu pelaksanaan survei lapangan untuk menentukan lokasi stasiun pengambilan data, sedangkan pengambilan data dilaksanakan pada tahap kedua di Bulan Oktober. Stasiun pengambilan data ditentukan secara *purposive sampling* berdasarkan kondisi lapangan hasil survei pra-penelitian pada tahap pertama dengan asumsi seluruh stasiun pengambilan data yang telah ditentukan diasumsikan representatif dalam mewakili kondisi lapangan secara keseluruhan. Lokasi stasiun pengambilan data lapangan berada di sepanjang pantai timur Pulau Bintan dengan kondisi yang berbeda-beda yang terdiri dari bagian pantai berbatu, pantai

berpasir, pantai berteluk dan di sekitar bagian pantai yang memiliki kawasan estuari. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

Peralatan yang digunakan untuk pengambilan data lapangan terdiri dari GPS Garmin 76CSX untuk pencatatan koordinat di lapangan, *Fish Finder Garmin 350C* untuk pengukuran kedalaman perairan serta *Scale Board* untuk pengukuran pasang surut. Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari citra satelit Landsat 8 tahun 2005 dan 2014 wilayah pesisir Kabupaten Bintan, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 serta Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) skala 1:50.000.

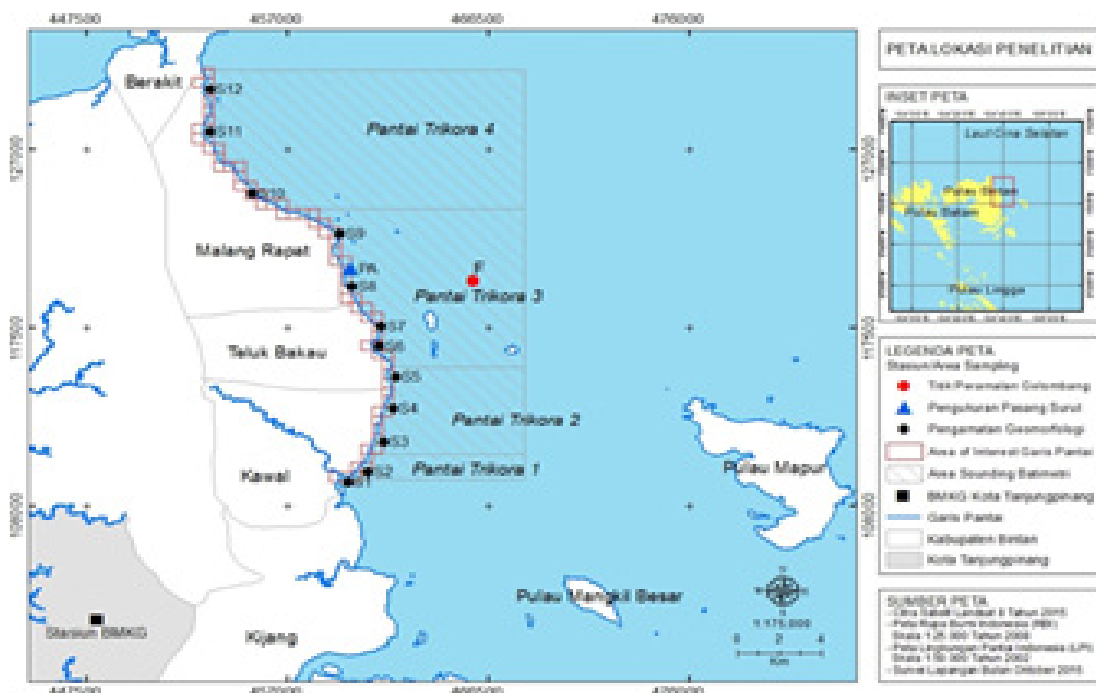
Data-data yang digunakan terdiri dari data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan yang terdiri dari data kedalaman perairan dan data pasang surut serta data sekunder yang terdiri dari data arah dan kecepatan angin harian selama tahun 2005-2014 hasil publikasi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Tanjungpinang yang digunakan untuk melakukan peramalan gelombang laut dikarenakan keterbatasan peralatan penelitian dan data posisi garis pantai timur Pulau Bintan yang diperoleh dari hasil digitasi citra satelit.

Pengukuran kedalaman perairan (*sounding*) mengacu pada BIG (2015) menggunakan standar pengukuran kedalaman perairan mengacu pada LPI SNI

19-6726-2002. Pengukuran kedalaman perairan (*sounding*) dilakukan sejauh 5-6 km tegak lurus garis pantai dan sejauh 1-1.5 km sejajar garis pantai dengan interval perekaman data setiap 1 menit. Hasil pengukuran kedalaman perairan diperoleh 491 titik *sounding*.

Analisis data menggunakan bantuan beberapa perangkat lunak yang terdiri dari *Tides Software Applications* untuk analisis serta prediksi data pasang surut, *WRPlot View* untuk analisis data arah dan kecepatan angin, *Surface Water Modeling System* untuk peramalan gelombang laut, *Envi* dan *eCognition Developer 64* untuk analisis citra satelit, *Digital Shoreline Analysis System* untuk analisis perubahan garis pantai serta ArcGIS untuk layouting hasil akhir. Prinsip kerja peralatan analisis data dijelaskan di bagian sub-bab analisis data.

Pengukuran pasang surut dilakukan selama 15 hari menggunakan *scale board* dengan interval perekaman data setiap 1 jam. Pencatatan data ketinggian muka laut ditentukan berdasarkan posisi muka laut setiap 1 jam dan nilai yang ditunjukkan oleh *scale board*. Pengukuran pasang surut dilakukan di lokasi yang diasumsikan representatif dalam mewakili kondisi pasang surut di lokasi penelitian dan aman dari gangguan aktivitas perairan seperti lalu lintas kapal serta pengaruh dari hantaman gelombang laut selama melakukan pengukuran (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Analisis Data

Analisis data menggunakan beberapa metode yang mengacu pada beberapa peneliti sebelumnya yang terdiri dari analisis data pasang surut mengacu pada Beer (1997); Wyrcki (1961), analisis data kedalaman perairan (batimetri) mengacu pada USACE (2003), analisis citra satelit mengacu pada USACE (2003), analisis data arah dan kecepatan angin mengacu pada USACE (2003a), peramalan gelombang laut mengacu pada CHL (2002), analisis perubahan garis pantai mengacu pada USACE (2003); Himmelstoss (2009); Thieler *et al.* (2009) dan analisis kerentanan pantai mengacu pada Hammar-Klose *et al.* (2003); Cutter *et al.* (2003); Pendleton *et al.* (2005a); Pendleton *et al.* (2005b); Doukakis (2005); Pendleton *et al.* (2006); Thieler *et al.* (2009).

Analisis data pasang surut

Data pasang surut digunakan sebagai salah satu input untuk melakukan koreksi citra satelit dan koreksi kedalaman perairan hasil sounding. Analisis data pasang surut menggunakan metode least square untuk memperoleh nilai ketinggian muka laut rata-rata (MSL) dan konstanta harmonik pasang surut. Nilai MSL digunakan sebagai input untuk melakukan koreksi nilai kedalaman perairan hasil pengukuran, sedangkan konstanta harmonik pasang surut digunakan untuk menghitung nilai bilangan *formzahl* (F) yang dijadikan acuan dalam menentukan tipe pasang surut. Nilai bilangan *formzahl* (F) diperoleh menggunakan persamaan berikut yang mengacu pada Beer (1997):

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$$

Dimana:

- F = Bilangan *formzahl*
- K1 = Konstanta harmonik pasang surut diurnal akibat gaya tarik matahari dan bulan
- O1 = Konstanta harmonik pasang surut diurnal akibat gaya tarik bulan
- M2 = Konstanta harmonik pasang surut semi-diurnal akibat gaya tarik bulan
- S2 = Konstanta harmonik pasang surut semi-diurnal akibat gaya tarik matahari

Berdasarkan nilai bilangan *formzahl* (F) tipe pasang surut dikategorikan ke dalam empat kategori mengacu pada Wyrcki (1961). Kategori tipe pasang surut disajikan pada Tabel 1.

Data pasang surut yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah data pasang surut selama tahun 2005-2014 sehingga untuk memperoleh data pasang surut dalam kurun waktu tersebut dibutuhkan data prediksi menggunakan model. Prediksi pola pasang surut tersebut dilakukan menggunakan *Tides Software Applications*. Nilai konstanta harmonik yang telah diperoleh selanjutnya digunakan sebagai input untuk pengolahan data menggunakan *Tides Software Applications*, setelah dilakukan input data secara otomatis *Tides Software Applications* akan melakukan *running model* yang menghasilkan grafik pola pasang surut berdasarkan periode waktu yang ditentukan dan nilai elevasi ketinggian muka laut pada setiap periode waktu yang ditentukan.

Tabel 1. Tipe pasang surut berdasarkan nilai bilangan *formzahl* (F)

Kriteria Bilangan Formzahl	Tipe Pasang Surut
$F \leq 0.25$	Ganda
$0.25 \leq F \leq 1.5$	Campuran Dominan Ganda
$1.5 \leq F \leq 3.0$	Campuran Dominan Tunggal
$F > 3.0$	Tunggal

Analisis data kedalaman perairan

Analisis kedalaman perairan hasil pemeruman dilakukan untuk mendapatkan nilai kedalaman perairan pantai timur Pulau Bintan yang sebenarnya (terkoreksi). Koreksi kedalaman perairan memperhitungkan nilai kedalaman posisi *transduser Fish Finder* saat melakukan pemeruman, nilai ketinggian muka laut rata-rata saat melakukan pemeruman dan nilai kedalaman perairan hasil pemeruman. Koreksi nilai kedalaman perairan mengacu pada USACE (2003) menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta d = d_t - (h_t - MSL)$$

Dimana:

- Δd =Kedalaman perairan terkoreksi (m)
 d_t =Kedalaman perairan yang diukur pada waktu t (m)
 h_t =Ketinggian muka laut pada waktu t (m)
 MSL =Ketinggian rata-rata muka laut saat perekaman citra satelit yang diperoleh dari hasil prediksi menggunakan *Tides Software Applications* (m)

Analisis citra satelit

Analisis citra satelit dilakukan untuk mengoreksi kesalahan perekaman citra yang bertujuan agar posisi objek pada citra satelit sesuai dengan posisi di lapangan (*real world coordinates*) yang mengacu pada USACE (2003). Analisis citra satelit dilakukan menggunakan perangkat lunak *Envi* dengan tahapan yaitu koreksi Atmosferik, koreksi radiometrik dan koreksi geometrik. Koreksi atmosferik bertujuan untuk menghilangkan pengaruh atmosfer seperti partikel debu dan uap air dari hasil perekaman citra satelit dengan tahapan sebagai berikut:

1. Nilai digital citra dikalibrasi menjadi nilai radian dalam format BIL (*band interleaved by line*);
2. Menentukan titik tengah *scene* citra, tipe sensor, ketinggian sensor, ukuran piksel dan akuisisi yang terdapat pada *meta data* citra;
3. Menentukan ketinggian rata-rata lokasi penelitian dan menentukan model atmosferik citra yaitu *tropical model* dan *aerosol maritime model*;
4. Memasukan nilai kecerahan udara

yang diperoleh dari stasiun BMKG Kota Tanjungpinang.

Koreksi radiometrik dilakukan untuk memperbaiki kualitas visualisasi citra dengan memperbaiki nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan spektral objek yang sebenarnya. Koreksi geometrik dilakukan untuk memperbaiki kesalahan posisi objek hasil perekaman citra agar sesuai dengan posisi di lapangan berdasarkan *ground control point* (GCP). Penentuan posisi GCP dilakukan pada lokasi yang kondisinya dianggap tidak berubah atau berpindah dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir (2005-2014) seperti dermaga, persimpangan jalan dan menara (*tower*). Penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat 8 tahun 2005 dan 2014 dengan 8 buah GCP yang disajikan pada Tabel 2. Tahapan koreksi citra satelit disajikan pada Gambar 2.

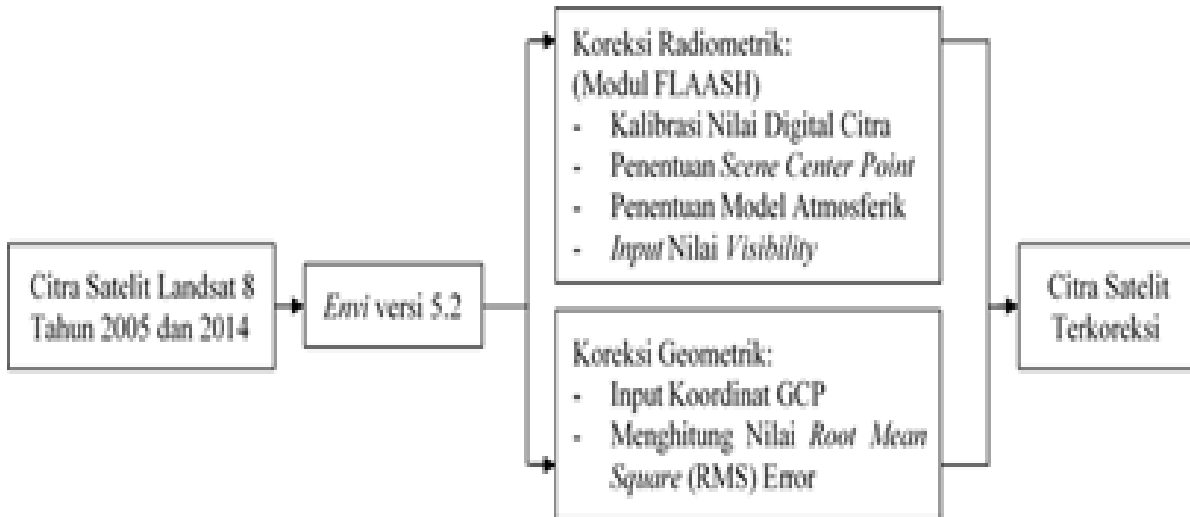
Citra satelit yang telah dikoreksi selanjutnya diklasifikasi untuk memisahkan objek antara daratan dan perairan menggunakan perangkat lunak *eCognition Developer 64* mengacu pada (Navulur 2007; Anggoro 2015) melalui tahapan:

1. Segmentasi yaitu konsep membangun objek perekaman citra satelit dari piksel-piksel citra satelit menggunakan algoritma MRS (*multi resolution segmentation*) untuk membedakan objek daratan dan perairan berdasarkan nilai digital citra;

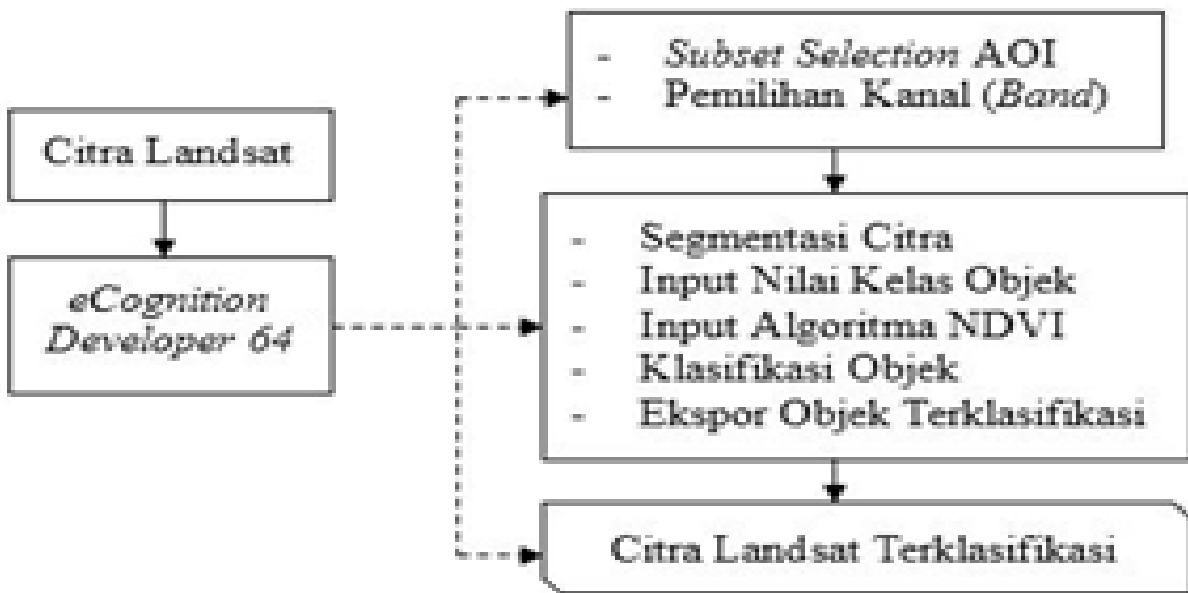
Klasifikasi multi skala yaitu konsep membangun piksel menjadi objek yang dilakukan pada tahap segmentasi menggunakan IIL (*input image layer*). Objek yang telah disegmentasi kemudian diklasifikasi berdasarkan informasi bentuk, topologi, nilai-nilai statistik dan berdasarkan level hirarki objek. Pengklasifikasian dilakukan agar memudahkan saat melakukan proses deliniasi (digitasi) garis pantai. Komposit atau gabungan *band* (kanal) citra satelit untuk pengklasifikasian objek adalah band *red green blue* (RGB) 542 menggunakan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Tahap klasifikasi citra satelit disajikan pada Gambar 3.

Tabel 2. Posisi *ground control point* untuk koreksi geometrik citra satelit (Survei Lapangan, 2015)

Lokasi	Bujur Timur	Lintang Utara
Jembatan (Kawal)	104.635396	0.992303
Dermaga 1 (Kawal)	104.64134	0.991783
Tower (Kawal)	104.626518	0.99273
Dermaga 2 (Kawal)	104.654412	1.000965
Dermaga 3 (Teluk Bakau)	104.654526	1.021937
Simpang Tiga MTQ (Teluk Bakau)	104.652453	1.025915
Dermaga 4 (Teluk Bakau)	104.651573	1.055133
Simpang Tiga (Malang Rapat)	104.613409	1.117927



Gambar 2. Tahapan koreksi citra satelit



Gambar 3. Tahapan klasifikasi citra satelit

Analisis data arah dan kecepatan angin

Data arah dan kecepatan angin digunakan sebagai input untuk melakukan peramalan gelombang laut. Data arah dan kecepatan angin yang digunakan merupakan data hasil pengukuran di darat, oleh karena itu harus dikonversi terlebih dahulu menjadi angin yang bertiup di laut. Tahapan konversi data arah dan kecepatan angin dilakukan melalui empat tahapan koreksi yaitu:

1. Koreksi ketinggian, koreksi ketinggian dilakukan apabila posisi anemometer (alat pengukur arah dan kecepatan angin) dipasang pada ketinggian lebih dari 10 m. Koreksi ketinggian mengacu pada USACE (2003a) menggunakan persamaan berikut:

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}}$$

Dimana:

U₁₀ = Kecepatan angin yang diukur pada ketinggian 10 meter

U_z = Kecepatan angin yang diukur pada ketinggian z (meter)

z = Ketinggian pada saat pengukuran arah dan kecepatan angin (meter)

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari BMKG Kota Tanjungpinang pengukuran arah dan kecepatan angin dilakukan pada ketinggian 10 m sehingga tahap koreksi ketinggian tidak dilakukan;

2. Koreksi durasi, dalam melakukan peramalan gelombang laut dibutuhkan data rata-rata arah dan kecepatan angin selama 1 jam, sehingga perlu dilakukan koreksi durasi angin bertiup dalam kurun waktu 1 jam pada setiap harinya menggunakan persamaan berikut yang mengacu pada USACE (2003a):

$$t = \frac{1609}{U_{10}}$$

Dimana:

T = Waktu (detik)

U₁₀= Kecepatan angin yang diukur pada

ketinggian 10 meter

3. Koreksi stabilitas, dalam melakukan peramalan gelombang laut menggunakan data arah dan kecepatan angin dibutuhkan data jarak awal pembangkitan gelombang laut di laut dalam (fetch), koreksi stabilitas dilakukan apabila jarak pembangkitan gelombang di laut dalam dilakukan pada jarak >200 km dari garis pantai. Penelitian ini menggunakan jarak pembangkitan gelombang laut di laut dalam <200 km dari garis pantai sehingga koreksi stabilitas tidak dilakukan;

4. Koreksi wind stress factor, wind stress factor merupakan data kecepatan angin yang telah dimodifikasi (dikonversi). Koreksi wind stress factor mengacu pada USACE (2003a) menggunakan persamaan berikut:

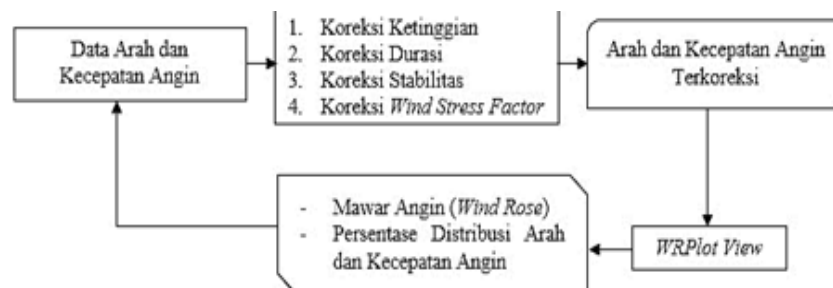
$$U_A = 0.71 * U^{1.23}$$

Dimana:

U_A = Wind stress factor (m/s)

U = Kecepatan angin hasil koreksi stabilitas (m/s)

Analisis data arah dan kecepatan angin mengacu pada USACE (2003a). Data arah dan kecepatan angin hasil koreksi dianalisis menggunakan perangkat lunak WRPlot View menggunakan input data yang terdiri dari data arah dan kecepatan angin, tahun, bulan, tanggal dan jam pengukuran data angin yang disimpan dalam bentuk *.xls/*.xlsx. Prinsip kerja WRPlot View adalah input data dimasukan ke dalam WRPlot View selanjutnya dilakukan konversi secara otomatis dan menghasilkan file dalam bentuk *.sam selanjutnya akan menghasilkan output berupa data arah dan kecepatan angin dalam bentuk mawar angin (wind rose) serta memperoleh nilai persentase distribusi arah dan kecepatan angin selama tahun 2005-2014. Tahap koreksi data arah dan kecepatan angin disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan analisis data arah dan kecepatan angin

Peramalan gelombang laut

Peramalan gelombang laut mengacu pada CHL (2002) menggunakan metode SMB (*Sverdrup Munk Bretschneider*). Tahap peramalan gelombang laut terdiri dari filterisasi data angin, penentuan panjang fetch (jarak wilayah pembangkitan gelombang laut) efektif, perhitungan tinggi, periode dan durasi pertumbuhan gelombang laut serta analisis parameter gelombang pecah.

Penentuan panjang fetch efektif menggunakan bantuan peta RBI dengan tahapan yaitu menentukan titik awal pembangkitan gelombang di laut dalam, menarik garis lurus dari titik awal penentuan fetch ke delapan arah mata angin utama dengan membentuk sudut sebesar 5° setiap garis hingga membentur daratan dan mengukur panjang fetch yang telah ditentukan, jika panjang fetch efektif >200 km maka panjang fetch efektif yang digunakan adalah 200 km dikarenakan kecepatan angin konsisten hanya sejauh ≤200 km. Panjang fetch efektif dihitung menggunakan persamaan yang mengacu pada USACE (2003) yaitu:

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Selanjutnya dilakukan analisis karakteristik gelombang laut yang terdiri dari tinggi, periode dan durasi pertumbuhan gelombang laut menggunakan metode SMB mengacu pada CERC (1984) yaitu:

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Untuk perhitungan tinggi gelombang laut signifikan (Hs):

$$H_s = 1.6 \times 10^{-3} \left(F^{0.5} \frac{U_A^2}{g} \right)$$

Untuk perhitungan periode gelombang laut signifikan (Ts):

$$T_s = 0.2857 \left(F^{1/3} \frac{U_A}{g} \right)$$

Untuk perhitungan durasi pertumbuhan gelombang laut (t):

$$t = 68.8 \left(F^{2/3} \frac{U_A}{g} \right)$$

Dimana:

- F_{eff} = Fetch efektif (m)
- X_i = Panjang segmen fetch (m)
- α = Deviasi sisi kanan dan kiri pada setiap delapan arah mata angin utama dengan pertambahan sudut 5° hingga 45° (°)
- H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)
- T_s = Periode gelombang signifikan (m/s)
- t = Durasi pertumbuhan gelombang (s)
- U_A = Kecepatan wind stress factor (m/s)
- F* = Fetch minimum (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- tan β = Kemiringan pantai (°)

Analisis perubahan garis pantai

Citra satelit yang telah dikoreksi dan diklasifikasi digunakan sebagai input untuk menentukan garis pantai dengan melakukan deliniasi (digitasi) garis pantai pada setiap citra. Hasil deliniasi garis pantai pada setiap citra dikoreksi terhadap pasang surut melalui beberapa tahap yaitu menghitung kemiringan (*slope*) pantai, menghitung selisih ketinggian muka laut saat perekaman citra terhadap MSL dan menghitung jarak pergeseran garis pantai hasil koreksi. Kemiringan (*slope*) pantai dihitung menggunakan persamaan berikut mengacu pada USACE (2003):

$$\tan \beta = \frac{d}{m}$$

Selanjutnya jarak pergeseran garis pantai hasil koreksi terhadap MSL dihitung menggunakan persamaan berikut:

Dimana:

- d = Kedalaman perairan (m)
- m = Jarak dari garis pantai hingga kedalaman d (m)
- β = Kemiringan (*slope*) pantai (°)
- η = Posisi muka air pada saat perekaman citra (m)
- x = Jarak pergeseran garis pantai hasil koreksi terhadap pasang surut (m)

Pergeseran posisi garis pantai ditentukan dengan cara apabila perekaman citra dilakukan pada saat pasang atau tinggi muka laut lebih besar dari MSL maka posisi garis pantai digeser sejauh x ke arah laut. Sebaliknya apabila perekaman citra dilakukan pada saat surut atau tinggi muka laut lebih kecil dari MSL maka posisi garis pantai digeser sejauh x ke arah darat.

Hasil deliniasi garis pantai dianalisis menggunakan perangkat lunak Digital *Shoreline Analysis System* (DSAS) versi 4.3 yang terintegrasi dengan perangkat lunak ArcGIS menggunakan kombinasi *modul single transect method* (STM) dengan *shoreline change envelope* (SCE) mengacu pada Himmelstoss (2009) dan Thieler *et al.* (2009). Citra satelit Landsat tahun 2005 dijadikan sebagai garis pantai awal (*baseline*) untuk melihat perubahan garis pantai selama tahun 2005-2014.

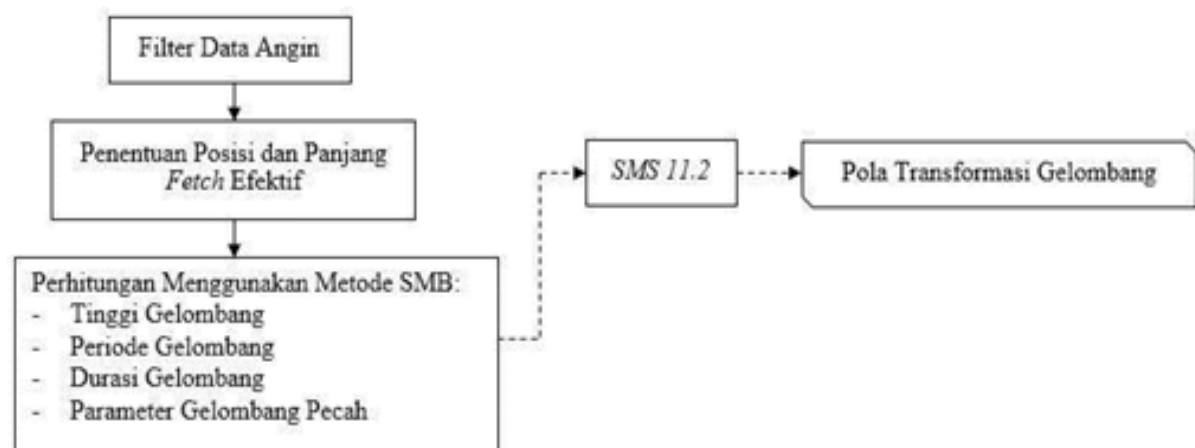
Prinsip kerja analisis perubahan garis pantai menggunakan perangkat lunak DSAS dengan modul SCE adalah menghitung panjang transek yang bersinggungan antara dua garis pantai atau lebih dimana jarak dari panjang transek tersebut adalah jarak pergeseran/perubahan garis pantai dalam kurun waktu tertentu. Apabila posisi garis pantai pembandingan berada di belakang garis pantai awal maka disimpulkan pantai tersebut mengalami pengikisan (abrasi) dan apabila posisi garis pantai pembandingan berada di depan garis pantai awal maka disimpulkan pantai tersebut mengalami sedimentasi.

Analisis perubahan garis pantai menggunakan DSAS diawali dengan:

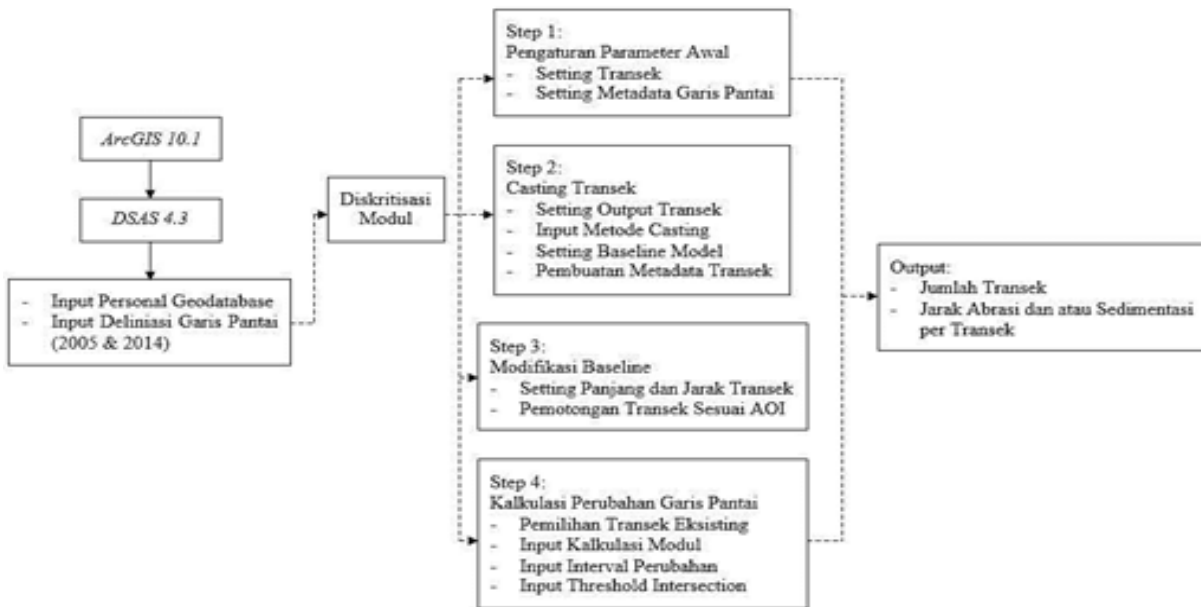
1. Membangun *geodatabase* sebagai basis data garis pantai yang digunakan;
2. Mengatur parameter awal yang akan digunakan untuk menganalisis perubahan garis pantai yang terdiri dari posisi garis pantai hasil digitasi citra satelit yang telah dikoreksi seperti yang telah dijelaskan di atas;
3. Pembuatan transek dengan memasukkan input data berupa panjang transek yang akan digunakan, dikarenakan posisi garis pantai lokasi penelitian tegak lurus dengan garis lintang maka posisi transek dibuat sejajar garis Bujur ke arah kanan dan kiri garis pantai awal;
4. Menentukan jarak setiap transek yang digunakan, pada penelitian ini menggunakan transek dengan panjang transek adalah 100 m dikarenakan setelah dilakukan validasi awal sebelum melakukan analisis perubahan garis pantai diperoleh transek dengan panjang 100 m telah bersinggungan dengan kedua garis pantai yang digunakan sehingga ketika dilakukan *running process* tidak terjadi *error* sedangkan jarak setiap transek yang digunakan adalah 50 m. Hasil setting transek diperoleh 582 transek sepanjang garis pantai timur Pulau Bintan;
5. Tahap selanjutnya adalah modifikasi transek yaitu melakukan pemotongan transek, pemotongan transek dilakukan agar bagian ujung transek yang tidak bersinggungan dengan garis pantai

pembandingan tidak masuk dalam perhitungan pada saat *running process* sehingga tidak terdapat *error* saat melakukan analisis. Prinsip pemotongan transek adalah dengan menggunakan garis pantai pembandingan sebagai batas pemotongan bagian transek yang tidak bersinggungan dengan kedua garis pantai, setelah ditentukan bagian transek yang akan dipotong maka program DSAS akan secara otomatis memotong bagian transek yang tidak bersinggungan dengan kedua garis pantai tersebut.

Modifikasi modul dan perhitungan perubahan garis pantai. Modifikasi modul merupakan tahapan dimana membangun pohon proses (*process tree*) di dalam modul SCE yaitu dengan memasukkan perintah bahwa setiap nilai dari panjang transek yang dihasilkan dari setiap transek yang berada di sebelah kiri bernilai negatif (abrasi) sedangkan nilai panjang transek yang dihasilkan dari setiap transek di sebelah kanan bernilai positif (sedimentasi), hal ini dikarenakan posisi daratan berada di sebelah kiri dari garis pantai sehingga apabila posisi garis pantai tahun 2014 yang digunakan sebagai garis pantai pembandingan berada di sebelah kiri dari garis pantai tahun 2005 yang digunakan sebagai garis pantai awal diartikan bahwa garis pantai tersebut mengalami abrasi begitu pula sebaliknya. Tahap analisis perubahan garis pantai menggunakan DSAS dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Tahapan peramalan gelombang laut



Gambar 6. Tahapan Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan DSAS

Analisis tingkat kerentanan pantai menggunakan metode *coastal vulnerability index* (CVI) berdasarkan bobot dan skor variabel yang ditetapkan oleh *United States Geological Survey* (USGS) dan disesuaikan dengan area

kajian untuk menentukan nilai CVI mengacu pada Hammar-Klose *et al.* (2003). Kriteria, bobot dan skor variabel untuk penentuan nilai CVI disajikan pada Tabel 3. Penentuan nilai indeks kerentanan pantai (IKP) menggunakan persamaan yang mengacu pada Cutter *et al.* (2003); Pendleton *et al.* (2005a); Pendleton *et al.* (2005b); Doukakis (2005); Pendleton *et al.* (2006); Thieler *et al.* (2009) yaitu:

$$CVI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e}{n}}$$

Dimana:

- a =Variabel geomorfologi pantai
- b =Variabel abrasi/sedimentasi
- c =Variabel kemiringan pantai
- d =Variabel rata-rata tinggi gelombang
- e =Variabel tidal range
- n =Jumlah variabel

CVI = Coastal vulnerability index.

Berdasarkan hasil analisis nilai CVI kategori kerentanan pantai dikelompokkan ke dalam empat kategori mengacu pada Hammar-Klose *et al.* (2003) yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Kategori dan pembobotan skor variabel CVI

Variabel	Kategori dan Skor				
	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Geomorfologi Pantai	Bertebing berbatu	Bertebing menengah, berbatu	Bertebing rendah berbatu, dataran aluvial	Berbatu kerikil, estuari, laguna	Berpasir, rawa payau, mangrove, terumbu karang, delta, berlumpur, lamun
Abrasi (-) / Sedimentasi (+) (m/thn)	>2.00	1.00-2.00	-1.00-1.00	-2.00-(-1.00)	<-2.00
Kemiringan pantai (%)	>1.200	1.20-0.90	0.90-0.60	0.60-0.30	<0.30
Rata-rata tinggi gelombang (m/thn)	0.00-2.90	3.00-4.90	5.00-5.90	6.00-6.90	>7.00
Tidal range (m/thn)	<1.00	1.00-1.90	2.00-4.00	4.10-6.00	>6.00

Tabel 4. Kategori indeks kerentanan pantai (IKP) berdasarkan nilai CVI

Kriteria Bilangan Formzahl	Tingkat kerentanan
<4.75	Rendah
4.75-10.64	Sedang
10.64-19.66	Tinggi
>19.66	Sangat tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geomorfologi pantai

Pengamatan geomorfologi dilakukan di 34 titik stasiun pengamatan yang diasumsikan representatif dalam mewakili kondisi geomorfologi pantai timur Pulau Bintan secara keseluruhan. Hasil pengamatan geomorfologi pantai menunjukkan Pantai Trikora 1, Pantai Trikora 2 dan Pantai Trikora 4 merupakan pantai dengan substrat dasar pasir sedangkan Pantai Trikora 3 merupakan pantai berpasir dan berbatu. Hasil pengamatan geomorfologi juga menunjukkan terdapat ekosistem mangrove yang tumbuh di beberapa lokasi di sepanjang pantai timur Pulau Bintan sedangkan ekosistem lamun sangat dominan tumbuh di sekitar Pantai Trikora 3. Hasil analisis kerentanan pantai berdasarkan variabel geomorfologi pantai menunjukkan Pantai Trikora 1, Pantai Trikora 2 dan Pantai Trikora 4 dikategorikan memiliki tingkat kerentanan sangat tinggi dengan skor kerentanan setiap pantai adalah 5 sedangkan Pantai Trikora 3 dikategorikan

memiliki tingkat kerentanan tinggi dengan skor kerentanan adalah 4 dengan skor rata-rata kerentanan adalah 4.75. Hal ini dikarenakan pantai dengan substrat dasar pasir memiliki potensi resistansi yang lebih tinggi terhadap proses abrasi maupun sedimentasi dibandingkan dengan pantai berbatu (Thieler and Hammar-Klose 2000; Pendleton *et al.* 2005a; 2005b).

Hasil analisis pengamatan geomorfologi pantai timur Pulau Bintan yang diperoleh menunjukkan kesamaan dengan hasil penelitian mengenai kerentanan pantai yang dilakukan oleh Handartoputra *et al.* (2015) di Pantai Sendang Biru Kabupaten Malang dimana dalam hasil penelitiannya dijelaskan bahwa bagian Pantai Sendang Biru dengan geomorfologi bertebing dan berbatu memiliki skor kerentanan rata-rata adalah 2 dengan kategori rendah, hal ini dikarenakan pantai dengan geomorfologi berbatu atau bertebing akan lebih mampu menahan energi gelombang yang datang dari laut dalam sehingga mampu menghambat laju proses pengikisan pantai dibandingkan dengan pantai yang landai dengan geomorfologi berpasir.

Hal yang sama dijelaskan oleh Gornitz dan Kanciruk (1989) bahwa kawasan pantai yang memiliki geomorfologi pantai dengan relief rendah seperti pantai berpasir, estuari, laguna, delta dan barrier coast memiliki tingkat kerentanan pantai yang tinggi sedangkan pantai dengan relief tinggi serta substrat dasar yang keras seperti pantai berbatu maupun bertebing tinggi memiliki tingkat kerentanan yang lebih rendah terhadap proses pengikisan pantai. Hasil analisis kerentanan pantai berdasarkan variabel geomorfologi pantai disajikan pada Tabel 5.

Kemiringan pantai

Pengamatan kemiringan pantai dilakukan pada jarak 0-1 km dari garis pantai di 45 titik stasiun pengamatan. Hasil analisis kemiringan pantai menunjukkan tingkat kemiringan pantai berkisar antara 0.09-0.16° dengan rata-rata kemiringan pantai 0.12°. Persentase kemiringan pantai timur Pulau Bintang berkisar antara 0.16-0.28% dengan rata-rata 0.21% (Tabel 6) sehingga pantai timur Pulau Bintang dikategorikan sebagai pantai yang landai. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hammar-Klose et al. (2003) yang menjelaskan pantai

dengan kemiringan <0.30% merupakan tipe pantai yang landai.

Hasil analisis kerentanan pantai berdasarkan variabel kemiringan pantai menunjukkan bahwa variabel kemiringan pantai timur Pulau Bintang dikategorikan memiliki pengaruh kerentanan sangat tinggi dengan skor kerentanan masing-masing pantai untuk variabel kemiringan pantai adalah 5 (Tabel 6). Menurut Hammar-Klose et al. (2003) pantai yang landai memiliki tingkat kerentanan tinggi dikarenakan pantai yang landai lebih rentan mengalami perpindahan partikel sedimen sebagai komponen utama pembentuk profil pantai dibandingkan dengan pantai yang lebih curam. Hal yang sama dijelaskan dalam hasil penelitian kerentanan pantai yang dilakukan oleh Handartoputra et al. (2015) dalam penelitian mengenai tingkat kerentanan pantai di Sendang Biru Kabupaten Malang yaitu kemiringan pantai dengan persentase tinggi (curam) mengakibatkan kemungkinan terjadinya pengendapan maupun pengikisan partikel sedimen pantai cenderung kecil dikarenakan pantai yang landai umumnya adalah pantai dengan substrat dasar pasir yang rentan mengalami pengendapan maupun pengikisan.

Tabel 5. Hasil analisis kerentanan pantai berdasarkan variabel geomorfologi pantai

Lokasi	Kondisi Geomorfologi	Skor CVI	Kategori kerentanan
Pantai Trikora 1	Berpasir, mangrove	5	Sangat tinggi
Pantai Trikora 2	Berpasir	5	Sangat tinggi
Pantai Trikora 3	Berpasir, berbatu, mangrove	4	Tinggi
Pantai Trikora 4	Berpasir, mangrove	5	Sangat tinggi
Rata-rata		4.75	Tinggi

Tabel 6. Hasil analisis kerentanan pantai berdasarkan variabel kemiringan pantai

Lokasi	(°)	(%)	d (m)	Skor CVI	Kategori kerentanan
Pantai Trikora 1	0.09	0.16	2.66	5	Sangat tinggi
Pantai Trikora 2	0.16	0.28	3.06	5	Sangat tinggi
Pantai Trikora 3	0.12	0.22	3.28	5	Sangat tinggi
Pantai Trikora 4	0.09	0.17	3.10	5	Sangat tinggi
Rata-rata	0.12	0.21	3.03	5	Sangat tinggi

° = kemiringan dalam satuan derajat; % = kemiringan dalam satuan persen; d= kedalaman perairan

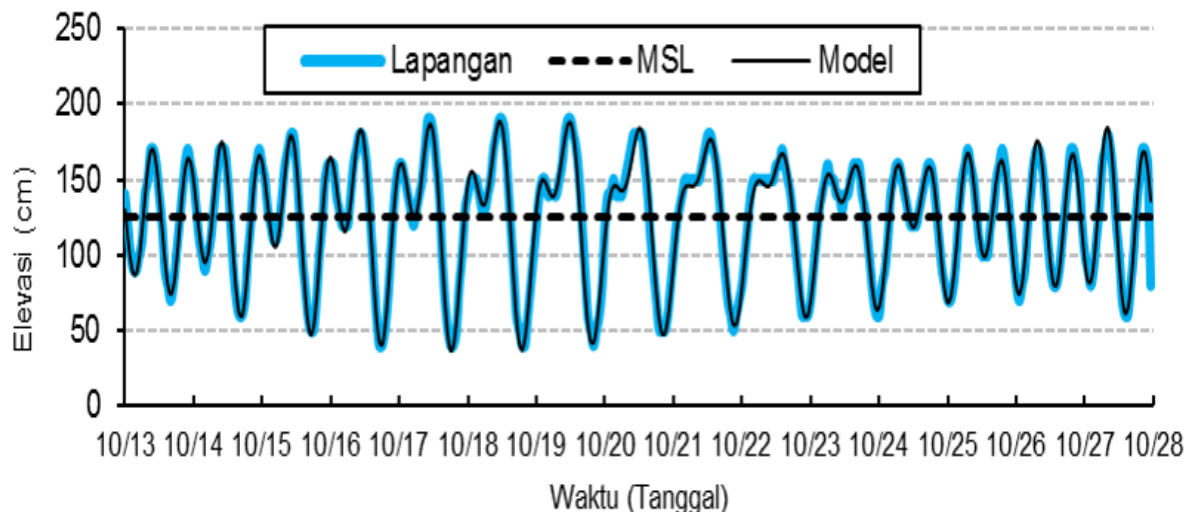
Tidal Range

Analisis *Tidal Range* perairan pantai timur Pulau Bintan menggunakan datum referensi terhadap nilai MSL yang diperoleh dari hasil analisis pasang surut perairan pantai timur Pulau Bintan sehingga nilai kedalaman MSL diasumsikan 0 (nol). Tinggi muka laut maksimum saat pasang tertinggi hasil pengukuran lapangan adalah 190 cm dan ketinggian minimum saat surut terendah adalah 40 cm dengan ketinggian muka laut rata-rata (MSL) adalah 125 cm. Hasil pengukuran lapangan selanjutnya dilakukan validasi dengan menggunakan hasil analisis prediksi menggunakan model. Hasil validasi menunjukkan kesamaan pola elevasi muka laut walaupun memiliki nilai elevasi yang berbeda. Hasil prediksi model menunjukkan ketinggian muka laut saat pasang tertinggi adalah 189 cm dengan ketinggian minimum saat surut terendah adalah 36 cm (Gambar 7).

Hasil analisis tidal range perairan pantai timur Pulau Bintan menunjukkan saat pasang purnama (*spring tide*) ketinggian muka laut maksimum adalah 61.07 cm di atas MSL sedangkan ketinggian muka

laut maksimum saat pasang perbani (*neap tide*) adalah 10.16 cm di atas MSL dengan nilai *tidal range* adalah 71.23 cm. Nilai tidal range perairan pantai timur Pulau Bintan yang diperoleh jika dikaitkan pengaruhnya terhadap kerentanan pantai memiliki skor kerentanan rata-rata adalah 1 (Tabel 7). Hal ini dikarenakan semakin tinggi posisi tunggang pasut (*tidal range*) suatu perairan maka partikel yang masuk maupun meninggalkan pantai pada saat pasang maupun surut akan semakin banyak. Hal ini juga bergantung terhadap proses oseanografi lainnya yang terjadi di kawasan pantai itu sendiri seperti pengaruh gelombang laut maupun arus menyusur pantai.

Carter (1988) menjelaskan naik turunnya muka air laut secara teratur merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi arus di sekitar pantai dan proses-proses oseanografi di sekitar pantai secara luas. Naik turunnya muka laut berpengaruh besar terhadap geomorfologi pantai dikarenakan pasang surut mampu menyebabkan perubahan-perubahan yang terjadi secara teratur pada permukaan laut di sepanjang pantai.



Gambar 7. Tumpang susun (*overlay*) pola pasang surut hasil pengukuran lapangan dengan hasil prediksi model

Tabel 7. Hasil analisis kerentanan pantai berdasarkan variabel *tidal range*

MHHWS (cm)	MHHWN (cm)	HAT (cm)	TR (cm)	Skor CVI	Kategori kerentanan
61.07	10.16	127.42	71.23	1	Sangat rendah

MHHWS = *mean highest of high water spring*; MHHWN = *mean highest of high water neap*; HAT = *highest astronomical tide*; TR = *tidal range*

Gelombang laut

Analisis karakteristik gelombang laut dilakukan menggunakan data arah dan kecepatan angin harian selama tahun 2005-2014 menggunakan metode SMB (*Sverdrup Munk Bretschneider*). Hasil analisis karakteristik gelombang laut perairan pantai timur Pulau Bintan menunjukkan rata-rata tinggi gelombang laut selama tahun 2005-2014 berkisar antara 0.40-0.72 m atau sekitar 0.57 m/tahun (Tabel 8). Perairan pantai timur Pulau Bintan yang dikategorikan perairan dangkal mengakibatkan tinggi gelombang yang terbentuk di perairan dalam tidak terlalu tinggi sehingga jika dikaitkan dengan tingkat kerentanan pantai pengaruh tinggi gelombang laut dikategorikan sangat rendah dengan skor rata-rata adalah 1 (Tabel 9) dikarenakan tinggi rata-rata gelombang laut per tahun yang terjadi di perairan pantai timur Pulau Bintan <2.90 m/tahun.

Handartoputra *et al.* (2015) menjelaskan ketinggian gelombang berkaitan dengan bahaya penggenangan air laut dan transpor sedimen di sepanjang pantai. Dampak dari tingginya gelombang yang menghantam pantai akan berpengaruh terhadap pola perubahan garis pantai yang terjadi di sepanjang pantai. Trenggono (2009) menjelaskan semakin besar energi gelombang laut yang menghantam pantai maka partikel sedimen yang masuk maupun yang keluar pantai akan semakin besar begitupun sebaliknya.

Perubahan garis pantai

Hasil analisis perubahan garis pantai menunjukkan selama tahun 2005-2014 telah terjadi abrasi pada garis pantai sepanjang 9.65 km sedangkan sedimentasi terjadi pada garis pantai sepanjang 19.45 km. Abrasi yang terjadi di pantai timur Pulau Bintan berkisar antara 17.07-47.51 m atau sekitar 0.70-1.19 m/tahun sedangkan jarak pergeseran garis pantai ke arah laut (sedimentasi) berkisar antara 48.89-91.57 m atau sekitar 1.49-3.25 m/tahun (Tabel 10). Hasil analisis rata-rata perubahan garis pantai timur Pulau Bintan menunjukkan selama tahun 2005-2014 telah terjadi pergeseran garis pantai sejauh 9.30 m ke arah darat atau 0.93 m/tahun pada garis pantai yang mengalami abrasi sedangkan garis pantai yang mengalami sedimentasi terjadi pergeseran garis pantai sejauh 22.27 m atau 2.23 m/tahun (Tabel 10).

Abrasi maksimum terjadi di Pantai Trikora 4 (Gambar 8) sedangkan sedimentasi maksimum terjadi di Pantai Trikora 1 (Gambar 9). Abrasi yang terjadi di Pantai Trikora 4 diduga merupakan akibat pengaruh gelombang laut yang terjadi di Pantai Trikora 4, selain itu juga Pantai Trikora 4 merupakan pantai yang lebih landai dibandingkan dengan tiga pantai lainnya sehingga pengikisan pantai lebih rentan terjadi di Pantai Trikora 4. Menurut Hammar-Klose *et al.* (2003) pantai yang landai memiliki

tingkat kerentanan tinggi dikarenakan pantai yang landai lebih rentan mengalami perpindahan partikel sedimen sebagai komponen utama pembentuk profil pantai dibandingkan dengan pantai yang lebih curam. Pernyataan tersebut menunjukkan kesesuaian dengan hasil analisis yang diperoleh yang menunjukkan bahwa Pantai Trikora 4 yang dikategorikan landai lebih dominan terjadi proses pengikisan (abrasi), sedangkan sedimentasi yang terjadi di Pantai Trikora 1 diduga dipengaruhi oleh aktivitas manusia berupa penimbunan kawasan laut untuk dijadikan kawasan pemukiman masyarakat. Ekosistem mangrove yang tumbuh di sepanjang Pantai Trikora 1 diduga juga menjadi penghambat laju pengikisan Pantai Trikora 1 sehingga mengakibatkan pergeseran garis pantai ke arah laut lebih dominan dibandingkan pergeseran garis pantai ke arah darat.

Hasil analisis kerentanan pantai timur Pulau Bintan berdasarkan variabel perubahan garis pantai menunjukkan tingkat kerentanan Pantai Trikora 1 dan Pantai Trikora 2 dikategorikan rendah dengan skor 2 sedangkan Pantai Trikora 3 dan Pantai Trikora 4 berada dalam kategori sedang dengan skor 3 dengan skor kerentanan rata-rata adalah 2. Berdasarkan skor kerentanan rata-rata tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan dikategorikan rendah. Hal ini dikarenakan jarak perubahan garis pantai timur Pulau Bintan ke arah laut (sedimentasi) per tahun lebih dominan dibandingkan proses abrasi selama sepuluh tahun terakhir (2005-2014).

Hasil analisis tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan berdasarkan seluruh variabel disajikan pada Tabel 11 sedangkan peta kerentanan Pantai Timur Pulau Bintan disajikan pada Gambar 10. Hasil analisis tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan berdasarkan seluruh variabel menunjukkan geomorfologi dan kemiringan pantai merupakan variabel dengan tingkat kerentanan yang dikategorikan tinggi hingga sangat tinggi dengan skor CVI rata-rata untuk variabel geomorfologi pantai dan kemiringan pantai adalah 4.75 dan 5. Berdasarkan hasil analisis tingkat kerentanan setiap variabel disimpulkan bahwa tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik pantai timur Pulau Bintan yaitu geomorfologi pantai dan kemiringan pantai. Handartoputra *et al.* (2015) menjelaskan geomorfologi dan tipe pantai sangat ditentukan oleh intensitas, frekuensi dan kekuatan energi yang menghantam pantai.

Hasil analisis tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan juga menunjukkan indeks kerentanan pantai (IKP) setiap pantai berkisar antara 3.16-3.54 dengan indeks kerentanan pantai rata-rata 3.33. Hasil analisis IKP menunjukkan tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan dikategorikan rendah. Hal ini dikarenakan indeks kerentanan pantai timur Pulau Bintan <4.75. Adanya keseimbangan kondisi setiap variabel, serta dominannya variabel dengan

skor kerentanan rendah mengakibatkan indeks kerentanan pantai timur Pulau Bintan berada dalam kategori rendah, sehingga walaupun variabel geomorfologi dan kemiringan pantai merupakan variabel dengan tingkat kerentanan sangat tinggi yang dapat mempengaruhi tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan,

variabel lain seperti tinggi gelombang, pasang surut dan perubahan garis pantai memiliki nilai kerentanan rendah hingga sangat rendah sehingga disimpulkan variabel dengan kategori rendah hingga sangat rendah menjadi penyeimbang dalam mempengaruhi tingkat kerentanan pantai timur Pulau Bintan selama tahun 2005-2014.

Tabel 8. Hasil analisis karakteristik gelombang laut rata-rata tahunan

Tahun	HmO	Tp	LO	CO	Tahun	HmO	Tp	LO	CO
2005	0.72	3.97	30.99	6.19	2010	0.44	3.02	19.10	4.71
2006	0.70	3.89	30.10	6.07	2011	0.61	3.70	26.21	5.77
2007	0.58	3.46	25.03	5.40	2012	0.40	2.92	17.23	4.55
2008	0.61	3.59	26.31	5.61	2013	0.44	2.99	18.99	4.66
2009	0.63	3.61	27.27	5.64	2014	0.58	3.41	25.15	5.32

Hm0 = tinggi gelombang laut (m); Tp = periode gelombang laut (m/s); LO = panjang gelombang laut (m); CO = kecepatan gelombang laut (m/s)

Tabel 9. Hasil analisis kerentanan pantai berdasarkan variabel tinggi gelombang laut

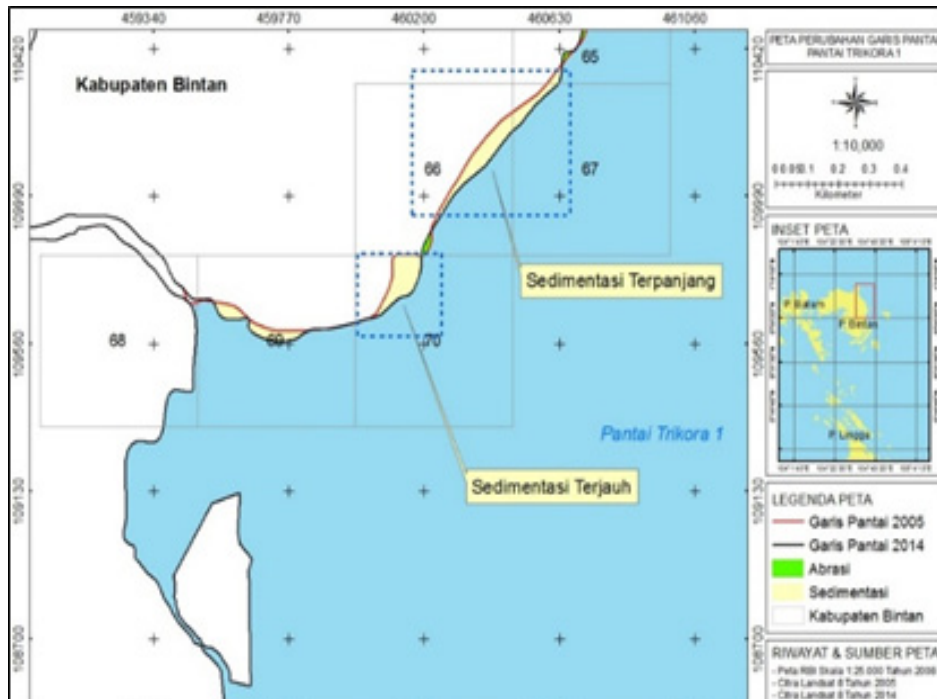
Karakteristik	Hasil analisis
Rata-rata tinggi gelombang laut (m/tahun)	0.57
Skor CVI	1
Kategori kerentanan	Sangat rendah

Tabel 10. Hasil analisis kerentanan pantai berdasarkan variabel perubahan garis pantai

Lokasi	Abrasi maksimum (m)	Sedimentasi maksimum (m)	Abrasi (m/tahun)	Sedimentasi (m/tahun)	Skor CVI	Kategori kerentanan
Pantai Trikora 1	17.07	91.57	0.85	3.25	2	Rendah
Pantai Trikora 2	28.87	75.22	0.70	2.08	2	Rendah
Pantai Trikora 3	32.76	48.89	0.98	1.49	3	Sedang
Pantai Trikora 4	47.51	83.34	1.19	2.09	3	Sedang
Rata-rata	31.55	74.76	0.93	2.23	2.38	Rendah



Gambar 8. Peta lokasi abrasi dominan di Pantai Timur Pulau Bintan



Gambar 9. Peta lokasi sedimentasi dominan di Pantai Timur Pulau Bintan

Tabel 11. Hasil analisis kerentanan pantai timur Pulau Bintan

Lokasi	Skor Variabel					IKP	Kategori kerentanan
	GP	PGP	KP	TG	PS		
Pantai Trikora 1	5	2	5	1	1	3.16	Rendah
Pantai Trikora 2	5	2	5	1	1	3.16	Rendah
Pantai Trikora 3	4	3	5	1	1	3.46	Sedang
Pantai Trikora 4	5	3	5	1	1	3.54	Sedang
Rata-rata	4.75	2.38	5.00	1.00	1.00	3.33	Rendah

GP = geomorfologi pantai; PGP = perubahan garis pantai; KP = kemiringan pantai; TG= tinggi gelombang; PS = pasang surut; IKP = persentase indeks kerentanan pantai

KESIMPULAN DAN SARAN

Indeks kerentanan pantai timur Pulau Bintan tahun 2005-2014 berada dalam kategori rendah, walaupun begitu dari hasil analisis menunjukkan terdapat beberapa variabel yang memiliki skor kerentanan tinggi hingga sangat tinggi yaitu variabel geomorfologi pantai dan kemiringan pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro A. 2015. Pemetaan zona geomorfologi dan habitat bentuk menggunakan citra Worldview-2 dengan metode OBIA di Gugus Pulau Pari. [Tesis]. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Angkotasan AM, Nurjaya IW, Natih NMN. 2012. Analisis perubahan garis pantai di pantai barat daya Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. *JTPK*. 3 (1): 11-22.
- Beer T. 1997. *Environmental Oceanography. 2nd Edition*. New York: Marine Science Series, CRC Press.
- Bengen DG. 2001. *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. Bogor. PKSPL. Institut Pertanian Bogor.
- [BIG] Badan Informasi Geospasial. 2015. Spesifikasi teknis survei hidrografi dan pembuatan peta lingkungan pantai Indonesia (LPI) Skala 1:50.000. Pusat Pemetaan Kelautan dan Lingkungan Pantai.
- Carter R. 1988. *Coastal Environmental. Academic Press Limited*. San Diego.
- [CHL] Coastal Hydraulic Laboratory. 2002. Coastal engineering manual, Part I-VI. Washington DC: Department of the Army. US Army Corps of Engineers.
- Cutter SL, Boruff BJ, Shirley WL. 2003. Social vulnerability to environmental hazard. *Soc Sci Quar*. 84 (2): 242-261.
- Doukakis E. 2005. Coastal vulnerability and risk parameters. *Eur Wat*. 11/12: 3-7.
- Febriansyah I, Agus ADS, Helmi M. 2012. Kajian kerentanan pantai di pesisir Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. *J-Oce Undip*. 1 (2): 139-148.
- Gornitz VM, Kanciruk P. 1989. Assessment of global hazards from sea level rise. *Presented in proceedings of 6th symposium on coastal and ocean management ASCE*. Charleston, SC. 11-14 Juli 1989.
- Gornitz VM. 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*. 89: 379-398.
- Guariglia A, Arcangela B, Angela L, Rocco S, Maria LT, Angelo Z, Antonio C. 2006. A multisource approach for coastline mapping and identification of shoreline changes. *Annals of Geophys*. 49 (1): 295-304.
- Hammar-Klose ES, Pendleton EA, Thieler ER, Williams SJ. 2003. Coastal vulnerability assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise. USGS Report: 02-233.
- Handartoputra A, Purwanti F, Hendarto B. 2015. Penilaian kerentanan pantai di Sendang Biru Kabupaten Malang terhadap variabel oseanografi berdasarkan metode CVI (*Coastal Vulnerability Index*). *Maquares*. 4 (1): 91-97.
- Hidayat N. 2005. Kajian hidro-oseanografi untuk deteksi proses-proses fisik di pantai. *Smartek*. 3 (2): 73-85.
- Himmelstoss EA. 2009. DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. US Geological Survey.
- Kaiser G. 2007. Coastal vulnerability to climate change and natural hazards. *Forum DKKV/CEDIM: Disaster Reduction in Climate Change*. Karlsruhe University.
- Kumar TS, Nahendra RS, Nayak S, Radhakrishnan K, Suhu KC. 2010. Coastal vulnerability assessment for Orissa State, east coast of India. *Coast Res*. 26 (3): 523-534.
- Navulur K. 2007. *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Pendleton EA, Thieler ER, Williams SJ. 2005a. Coastal vulnerability assessment of National Park of American Samoa to Sea-Level Rise. USGS Report: 2005-1055.
- Pendleton EA, Thieler ER, Williams SJ. 2005b. Coastal vulnerability assessment of gateway National Recreation Area (GATE) to Sea-Level Rise. USGS Report: 2004-1257.
- Pendleton EA, Thieler ER, Williams SJ. 2006. Coastal vulnerability assesment of Kaloko Honokohau National Historical Park to Sea Level Rise. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1248. Reston, Virginia.
- Siswanto AD, Widi AP, Suntoyo. 2010. Analisa stabilitas garis pantai di Kabupaten Bangkalan. *Ilmu Kelautan*. 15 (4): 221-230.
- Suriamihardja DA. 2005. *Compromise management in the Jeneberang Delta and Losari Bay*. Department of Geography Publication Series-University of Waterloo 61 (2005): 483.
- Thieler ER, Hammar-Klose ES. 2000. National Assessment of coastal vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Result for the U.S. Pacific Coast. U.S. Geological Survey. Virginia USA.
- Thieler ER, Himmelstoss EA, Zichichi JL, Ergul A. 2009. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extentions for calculating shoreline change. US Geological Survey. Open File Report: 2008-1278.
- Trenggono M. 2009. Transformasi gelombang dan pengaruhnya terhadap dinamika pantai muara Ajkwa Tahun 1993-2007. [Tesis]. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut

Pertanian Bogor.
Triatmodjo B. 1999. *Teknik pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
[USACE] United States Army Corps of Engineers. 2003. Coastal hydrodynamics part II, coastal sediment processes part III. Washington DC. Department of the Army, US Army Corps of Engineers.

[USACE] United States Army Corps of Engineers. 2003a. Meteorology and wave climate Part II. Washington DC. Department of the Army, US Army Corps of Engineers.
Wyrтки K. 1961. *Physical oceanography of Southeast Asean Waters*. Naga Report. I. 2. The University of California, La Jolla.