

# **ANALISIS FAKTOR HIDRO-OSEANOGRAFI TERHADAP KERUSAKAN PANTAI**

**KECAMATAN PONDOK KELAPA KABUPATEN BENGKULU TENGAH  
DAN PENENTUAN KONSEP PENANGANANNYA**

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113  
Undang-Undang No. 28 Tahun 2014  
Tentang Hak Cipta**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama **1 (satu) tahun** dan/atau pidana denda paling banyak **Rp100.000.000 (seratus juta rupiah)**.
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/ atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama **3 (tiga) tahun** dan/atau pidana denda paling banyak **Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/ atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama **4 (empat) tahun** dan/atau pidana denda paling banyak **Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah)**.
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama **10 (sepuluh) tahun** dan/atau pidana denda paling banyak **Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah)**.

# **ANALISIS FAKTOR HIDRO-OSEANOGRAFI TERHADAP KERUSAKAN PANTAI**

**KECAMATAN PONDOK KELAPA KABUPATEN BENGKULU TENGAH  
DAN PENENTUAN KONSEP PENANGANANNYA**

**Fadilah, S.Si., M.Si.**



**ANALISIS FAKTOR HIDRO-OSEANOGRAFI  
TERHADAP KERUSAKAN PANTAI KECAMATAN PONDOK KELAPA  
KABUPATEN BENGKULU TENGAH DAN PENENTUAN  
KONSEP PENANGANANNYA**

**Fadilah, S.Si., M.Si.**

Copyright@2021

Desain Sampul  
**Bichiz DAZ**

Editor  
**Fitri Ani Rahmawati**

Penata Letak  
**Dhiky Wandana**

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang  
Ketentuan Pidana Pasal 112–119  
Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
Memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
Tanpa izin tertulis dari penerbit

Diterbitkan dan dicetak pertama kali oleh  
**CV. Jakad Media Publishing**  
Graha Indah E-11 Gayung Kebonsari Surabaya  
(031) 8293033, 081230444797, 081234408577  
 <https://jakad.id/>  [jakadmedia@gmail.com](mailto:jakadmedia@gmail.com)

**Anggota IKAPI**  
No. 222/JTI/2019  
Perpustakaan Nasional RI.  
Data Katalog Dalam Terbitan (KDT)  
ISBN: 978-623-6955-59-8  
x + 112 hlm.; 15,5x23 cm

## KATA PENGANTAR

*Bismillaahirrahmaanirrahiim,*

Puji syukur selalu terucap kepada Allah SWT atas berkah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku yang berjudul "**ANALISIS FAKTOR HIDRO-OSEANOGRAFI TERHADAP KERUSAKAN PANTAI KECAMATAN PONDOK KELAPA KABUPATEN BENGKULU TENGAH DAN PENENTUAN KONSEP PENANGANANNYA**". Buku ini merupakan hasil karya yang dapat dijadikan sumber belajar bagi mahasiswa sebagai dasar dalam melakukan pembelajaran. Buku ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang akademisi sehingga menjadi buku yang signifikan. Untuk memudahkan pembaca dalam memahaminya, penulis menyusun buku ini dalam beberapa bagian bab.

Dengan adanya buku ini, diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam memperluas dan memperdalam pengetahuan mereka untuk melakukan pengkajian pada bidang ilmu yang diperlukan. Disadari selama penyusunan buku ini, penulis mengalami banyak kendala sehingga terdapat beberapa kekurangan dan masih perlu penyempurnaan. Namun, berkat bantuan, dorongan, dan kerja sama dari berbagai pihak, buku ini dapat diselesaikan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan teman-teman yang telah mensupport dan memberikan masukan dalam penyusunan buku ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat menyempurnakan.



# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
<b>BAB I : KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI UNTUK PERLINDUNGAN PANTAI .....</b>	<b>3</b>
A. Fenomena Terjadinya Kerusakan Pantai.....	3
<b>BAB II : PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR DAN PANTAI .....</b>	<b>11</b>
A. Wilayah Pesisir dan Pantai .....	11
B. Proses Litoral .....	14
C. Faktor Hidro-Oseanografi Penyebab Kerusakan Pantai .....	16
D. Perlindungan Pantai .....	31
E. Pengelolaan Sumber Daya Pasir Terpadu.....	37
<b>BAB III : JENIS KERUSAKAN PANTAIYANG TERJADI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA .....</b>	<b>45</b>
A. Kondisi Ekosistem Kawasan Pesisir dan Kawasan Konservasi .....	45
B. Identifikasi Jenis Kerusakan Pantai Kecamatan Pondok Kelapa.....	48
<b>BAB IV : FAKTOR HIDRO-OSEANOGRAFI PENYEBAB KERUSAKAN PANTAI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA.....</b>	<b>55</b>
A. Analisis Hidro-Oseanografi.....	55

<b>BAB V</b>	<b>: KONSEP PENANGANAN KERUSAKAN PANTAI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA .....</b>	<b>79</b>
	A. Secara Alami Melalui Endors Manusia ( <i>Anthropogenic Endorsement</i> ) .....	82
	B. Secara Buatan.....	85
	C. Implementasi Konsep Penanganan Pantai di Kecamatan Pondok Kelapa.....	87
<b>BAB VI</b>	<b>: PENUTUP .....</b>	<b>93</b>
	A. Jenis Kerusakan Pantai Kecamatan Pondok Kelapa ..	93
	B. Faktor Hidro-Oseanografi Penyebab Kerusakan Pantai Kecamatan Pondok Kelapa.....	93
	C. Konsep Penanganan Kerusakan Pantai Kecamatan Pondok Kelapa.....	94
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>97</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>103</b>
	<b>TENTANG PENULIS .....</b>	<b>111</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jangka Derajat pada 8 Arah Mata Angin .....	17
Tabel 2.2	Skala Beaufort .....	18
Tabel 2.3	Hubungan Antara Kecepatan Angin dan Karakteristik Gelombang Laut .....	20
Tabel 2.4	Hubungan Antara Panjang <i>Fetch</i> Dan Tinggi Gelombang ...	21
Tabel 2.5	Tipe Pasang Surut Berdasarkan Bilangan Formzahl (F) .....	30
Tabel 2.6	Tahapan Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu.....	41
Tabel 4.1	Perkiraan Tinggi Gelombang Maksimum Perairan Bengkulu Tahun 2010-2013 .....	61
Tabel 4.2	Perkiraan Tinggi Gelombang Maksimum Perairan Bengkulu Tahun 1992-2013 .....	61
Tabel 4.3	Nilai Komponen Harmonik Pasang Surut Bulan Mei 2013...	66
Tabel 4.4	Nilai Komponen Harmonik Pasang Surut Bulan Juni 2013 ..	66
Tabel 4.5	Tipe Pasang Surut Berdasarkan Bilangan Formzahl .....	67
Tabel 4.6	Elevasi Muka Air Pasang Surut Bulan Mei 2013 .....	68
Tabel 4.7	Elevasi Muka Air Pasang Surut Bulan Juni 2013.....	69
Tabel 4.8	Kecepatan Arus Menyusur Pantai .....	72
Tabel 4.9	Volume Sedimen Transpor Sejajar Pantai Bengkulu .....	74



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Definisi dan Batasan Pantai .....	12
Gambar 2.2	Definisi dan Karakteristik Gelombang di Daerah Pantai.....	14
Gambar 2.3	Proses Pembentukan Pantai .....	15
Gambar 2.4	Bentuk Gelombang <i>Sea</i> (a) dan Gelombang <i>Swell</i> (b)...	19
Gambar 2.5	Definisi Parameter Gelombang.....	22
Gambar 2.6	Refleksi Gelombang .....	23
Gambar 2.7	Difraksi Gelombang di Belakang Rintangan.....	25
Gambar 2.8	Perubahan Temperatur di Indonesia Tahun 1950-2100..	26
Gambar 2.9	<i>Wave Set-up</i> dan <i>Wave Set-down</i> .....	27
Gambar 3.1	Hutan Wisata Sungai Suci .....	48
Gambar 3.2	Muara A Sungai Air Bengkulu.....	51
Gambar 4.1	Kondisi Angin Bengkulu Bulan Januari-Desember 2010 .....	56
Gambar 4.2	Kondisi Angin Bengkulu Bulan Januari-Desember 2011.....	57
Gambar 4.3	Kondisi Angin Bengkulu Bulan Januari-Desember 2012 .....	57
Gambar 4.4	Kondisi Angin Bengkulu Bulan Januari-April 2013 .....	57
Gambar 4.5	Tinggi Gelombang Perairan Bengkulu Tahun 2010- 2013.....	60
Gambar 4.6	Periode Gelombang Perairan Bengkulu Tahun 2010- 2013.....	60
Gambar 4.7	<i>Wave Rose</i> Perairan Bengkulu Tahun 2013 .....	62
Gambar 4.8	Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah.....	64
Gambar 4.9	Grafik Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah .....	64
Gambar 4.10	Kondisi Pasang Surut Perairan Bengkulu Tengah Bulan Mei 2013 .....	65

Gambar 4.11 Kondisi Pasang Surut Perairan Bengkulu Tengah Bulan Juni 2013.....	66
Gambar 4.12 Gelombang Datang Membentuk Sudut $\alpha_b$ Besar.....	70
Gambar 4.13 Pembagian Distribusi Arah Kejadian Gelombang di Pantai Bengkulu.....	71
Gambar 4.14 Neraca Transpor Sedimen Pantai Kecamatan Pondok Kelapa.....	75
Gambar 4.15 Peta Sel Sedimen Lokasi Penelitian.....	76
Gambar 5.1 Peta Sedimentasi Wilayah Perairan Pantai Bengkulu....	83



# **KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI UNTUK PERLINDUNGAN PANTAI**



## **BAB I**

# **KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI UNTUK PERLINDUNGAN PANTAI**

### **A. Fenomena Terjadinya Kerusakan Pantai**

Wilayah pesisir merupakan transisi ekosistem terestrial dan laut yang ditandai oleh gradien perubahan ekosistem yang tajam (Pariwono, 1992). Kawasan pantai merupakan wilayah pelindung (*barrier*) antara lautan dan daratan. Selain kaya akan sumber daya alamnya yang beragam dan banyak menyimpan potensi kekayaan alam yang layak untuk dimanfaatkan dan dikelola lebih lanjut dalam menunjang kesejahteraan masyarakat, wilayah pesisir juga berperan dalam menambah kesejahteraan masyarakat karena fungsinya sebagai pelabuhan, kawasan industri, pariwisata, transportasi dan dapat dijadikan sebagai sarana penghubung bagi penyediaan barang dan jasa untuk kebutuhan masyarakat (Wibisono, 2005; Noor, 2011).

Upaya pemanfaatan wilayah pesisir sering menimbulkan persilangan pendapat dan perselisihan antar pihak mengenai dampak negatif yang bisa ditimbulkan dari pemanfaatan wilayah pesisir. Beberapa pihak menginginkan agar wilayah pesisir bebas dari pengaruh manusia dan dibiarkan sebagaimana adanya, namun di-pihak lain ada yang menginginkan agar sumber daya di wilayah pesisir dapat dimanfaatkan secara maksimal. Hal ini disebabkan karena wilayah pesisir merupakan wilayah yang cukup kompleks karena melibatkan banyak pihak yang saling terkait dan terkadang memiliki peran yang saling tumpang tindih (Supriyanto, 2003; Yuwono, 2004).

Menurut Hakim (2012), sebetulnya pantai mempunyai keseimbangan dinamis yaitu cenderung menyesuaikan bentuk profilnya sedemikian sehingga mampu menghancurkan energi gelombang yang datang. Gelombang normal yang datang akan mudah

dihancurkan oleh mekanisme pantai, sedang gelombang besar/badai yang mempunyai energi besar walaupun terjadi dalam waktu singkat akan menimbulkan erosi. Kondisi berikutnya akan terjadi dua kemungkinan yaitu pantai kembali seperti semula oleh gelombang normal atau material terangkut ke tempat lain dan tidak kembali lagi sehingga di satu tempat timbul erosi dan di tempat lain akan menyebabkan sedimentasi (Pranoto, 2007 dalam Hakim, 2012).

Beberapa perbedaan pengertian mengenai perubahan pantai yang mengarah kepada kerusakan pantai dijelaskan oleh para pakar dan peneliti terdahulu. Vreugdenhil, 1999 menjelaskan bahwa perubahan garis pantai adalah suatu proses yang berlangsung terus menerus melalui pelbagai proses baik pengikisan (abrasi) maupun penambahan (akresi) yang diakibatkan oleh pergerakan sedimen, arus susur (*longshore current*), tindakan ombak dan penggunaan tanah (Arief et.al., 2011).

Abrasi pantai adalah proses pengikisan pantai oleh tenaga gelombang laut dan arus laut yang bersifat merusak (Wibowo, 2012). Erosi pantai dengan abrasi pantai memiliki perbedaan, seperti yang dijelaskan oleh Yuwono (2005) dalam Wibowo (2012), yaitu bahwa erosi pantai diartikannya sebagai proses mundurnya garis pantai dari kedudukan semula yang disebabkan oleh tidak adanya keseimbangan antara pasokan dan kapasitas angkutan sedimen, sedangkan abrasi pantai diartikan dengan proses terkikisnya batuan atau material keras seperti dinding atau tebing batu yang biasanya diikuti oleh longsor dan runtuh material.

Akresi atau sedimentasi adalah pendangkalan atau penambahan daratan akibat adanya pengendapan sedimen yang dibawa oleh air laut. Proses pengendapan ini bisa berlangsung secara alami dari proses sedimentasi dan aliran air tawar, maupun yang disebabkan oleh kegiatan manusia di darat seperti penggundulan hutan dan pencemaran (Shuhendry, 2004). Dengan kata lain, akresi merupakan peristiwa bertambahnya daratan di wilayah berdekatan dengan laut karena adanya proses pengendapan. Akresi juga dapat merugikan



masyarakat pesisir, karena selain mempengaruhi ketidakstabilan garis pantai, akresi juga dapat menyebabkan pendangkalan muara sungai tempat lalu lintas kapal maupun perahu. Suatu pantai akan mengalami abrasi, akresi atau tetap stabil tergantung dari sedimen yang masuk dan yang meninggalkan pantai tersebut.

Menurut Sasongko (2005), perubahan garis pantai berupa abrasi dan akresi dapat mempengaruhi keseimbangan ekologi yang pada gilirannya akan berdampak pada sektor pariwisata. Proses abrasi dan akresi yang menyebabkan penambahan lahan nampaknya menguntungkan, tetapi dari segi kepariwisataan merugikan karena menurunnya estetika dan amenitas perairan pantai.

Triatmodjo (2012) menjelaskan bahwa erosi pantai bisa terjadi secara alami oleh serangan gelombang atau karena adanya kegiatan manusia seperti penebangan hutan bakau, pengambilan karang pantai, pembangunan pelabuhan atau bangunan pantai lainnya, perluasan areal tambak ke arah laut tanpa memperhatikan sempadan pantai dan sebagainya.

Dalam penelitian Supriyanto (2003) dan Shuhendry (2004), faktor yang menyebabkan kerusakan daerah pantai bisa bersifat alami maupun akibat antropogenik. Faktor alami berasal dari pengaruh proses-proses hidro-oseanografi yang terjadi di laut yang dapat menimbulkan hempasan gelombang, perubahan pola arus, variasi pasang surut, serta perubahan iklim. Pengaruh alami dari darat seperti erosi dan sedimentasi yang berasal dari arus pasang oleh peristiwa banjir dan perubahan arus aliran sungai juga dapat mengakibatkan perubahan pada garis pantai. Penyebab terjadinya kerusakan pantai akibat kegiatan manusia (antropogenik) di antaranya pengambilan maupun alih fungsi lahan pelindung pantai dan pembangunan di kawasan pesisir yang tidak sesuai kaidah yang berlaku sehingga keseimbangan transpor sedimen di sepanjang pantai dapat terganggu, penambangan pasir yang memicu perubahan pola arus dan gelombang, dan sebagainya.

Supriyanto (2003) mengutip kriteria kerusakan pantai oleh Bappedal Jateng (2000), salah satunya adalah kehadiran penambang batu bara secara tradisional di pinggiran pantai juga menyebabkan peningkatan kerusakan pantai apabila dilakukan tidak sesuai dengan kaidah yang berlaku, sehingga dapat menimbulkan pencemaran perairan pantai di muara sungai dan sekitarnya. Selain itu, endapan batu bara di sekitar muara sungai akibat kegiatan pemurnian batu bara ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk melakukan penambangan batu bara secara tradisional, sehingga memicu terjadinya perubahan pola arus yang dapat berakibat pada perubahan garis pantai maupun kerusakan pantai lainnya.

Manusia dan lingkungan dalam kehidupan saling mempengaruhi dan berinteraksi satu sama lain. Sebagai salah satu unsur organisme di dalam suatu ekosistem akan membentuk pola hubungan tertentu terhadap lingkungan. Fokus kajian sosial-psikologis lebih bertitik tolak pada manusia sebagai individu yang membina hubungan sosial di masyarakat, misalnya persepsi, motivasi dan sikap. Objek studi dalam sosial-psikologi mencakup semua kondisi psikologis individu dalam masyarakat, dalam hal ini berusaha melihat hubungan yang ada antara berbagai kondisi sosial dengan kondisi psikologis individu dalam masyarakat (Djunaedi, 2002)

Menurut Ruzardi (2004), interaksi manusia dengan lingkungan yang tidak kondusif seperti kerusakan pantai dapat mempengaruhi kondisi psikologis masyarakat, seperti stres, putus asa, perilaku yang menyimpang dan keprihatinan. Hal tersebut berpengaruh terhadap aspek kognitif, afektif dan psikomotorik manusia sehingga mempengaruhi juga terhadap sifat rasionalitas, emosionalitas, dan gerakan fisik yang berlaku. Secara sosial, sehingga berakibat pada persoalan dalam kehidupan keluarga dan sosial, yang menyangkut aspek ekonomi, sosial budaya dan hukum.

Kerusakan pantai dapat ditanggulangi dengan usaha-usaha perlindungan pantai, baik perlindungan secara alami maupun buatan.

Perlindungan alami dapat dilakukan apabila tingkat kerusakan masih ringan atau sedang dan sarana-prasarana yang dilindungi jauh dari garis pantai. Apabila tingkat kerusakan sudah berat, di mana garis pantai sudah sangat dekat dengan fasilitas yang dilindungi seperti daerah pemukiman, pertokoan, jalan, tempat ibadah, dan sebagainya maka perlindungan buatan adalah yang paling efektif (Triatmodjo, 2012).

Dalam rangka menentukan penanganan kerusakan pantai, perlu dilakukan kajian faktor-faktor penyebabnya. Faktor penyebab kerusakan pantai dibagi menjadi 2 (dua) yaitu faktor alami dan faktor antropogenik (Supriyanto, 2003; Shuhendry, 2004; Yuwono, 2004). Analisis hidro-oseanografi merupakan faktor alami penyebab proses kerusakan pantai tersebut, yaitu pasang surut, angin, gelombang, arus, sedimentasi dan kedalaman. Faktor antropogenik berupa kegiatan manusia di wilayah pesisir yang tidak mengindahkan kaidah alam. Adanya berbagai kegiatan tersebut dapat menimbulkan peningkatan kebutuhan akan lahan, sarana dan prasarana, sehingga timbul masalah-masalah baru yang dapat merusak kawasan permukiman dan prasarana, berupa mundurnya garis pantai.

Dalam banyak hal kerusakan pantai terutama abrasi pantai sangat sulit diatasi, karena sebagian besar disebabkan oleh alam. Oleh sebab itu untuk menyelesaikan permasalahan tersebut perlu adanya pengertian tentang fenomena alam pada wilayah pesisir dan kelautan, terutama penyebab utama abrasi antara lain pengaruh gelombang laut (Shuhendry, 2004).

Kecamatan Pondok Kelapa terletak di Kabupaten Bengkulu Tengah di Provinsi Bengkulu. Lokasi ini melewati jalan lintas barat Pulau Sumatera dan memiliki garis pantai dengan panjang sekitar 35 km. Pada tahun 2011, diketahui bahwa garis pantai di Kecamatan Pondok Kelapa mengalami perubahan sebesar 1,5 meter per tahun (Suwarsono, 2011). Hal itu dikarenakan terjangan ombak akibat angin musim sehingga laju transpor sedimen menyesuaikan arah angin.

Berdasarkan kegiatan pemantauan dan evaluasi yang dilakukan oleh Dinas ESDM Provinsi Bengkulu, dilaporkan bahwa beberapa tahun terakhir telah banyak terjadi kerusakan pantai di Kabupaten Bengkulu Tengah, berupa abrasi, erosi, alih fungsi lahan pelindung pantai dan pencemaran perairan pantai. Kerusakan ini disebabkan oleh faktor alam maupun aktivitas manusia.

Untuk itu perlu adanya kajian tentang analisis penyebab terjadinya kerusakan pantai pada wilayah Kecamatan Pondok Kelapa dalam rangka untuk dapat diketahui seberapa besar pengaruhnya sehingga dapat ditentukan konsep penanganannya. Menurut Supiyati (2005), agar penanganan kerusakan pantai dapat dilakukan dengan efektif maka diperlukan pengetahuan tentang karakteristik oseanografi di daerah tersebut, salah satunya adalah dengan analisis hidro-oseanografi dan didukung dengan hal-hal lainnya menyangkut kegiatan masyarakat yang dapat memicu terjadinya kerusakan pantai.



# **PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR DAN PANTAI**



## BAB II

### PENGELOLAAN WILAYAH PESISIR DAN PANTAI

#### A. Wilayah Pesisir dan Pantai

Di dalam Undang-undang No. 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil, Pasal 1 ayat 1, disebutkan bahwa Wilayah Pesisir adalah daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut. Pantai umum merupakan bagian dari kawasan pemanfaatan umum yang telah dipergunakan masyarakat antara lain untuk kepentingan kegiatan sosial, budaya, rekreasi pariwisata, olahraga, dan ekonomi. Pada Pasal 1 ayat 21 Undang-undang No. 27 Tahun 2007 juga disebutkan bahwa Sempadan Pantai adalah daratan sepanjang tepian yang lebarnya proporsional dengan bentuk dan kondisi fisik pantai, minimal 100 (seratus) meter dari titik pasang tertinggi ke arah darat.

Ekosistem pantai, kadangkala disebut sebagai bioma pesisir dan laut, adalah kesatuan habitat dan komunitas yang meliputi daerah pasang surut, hamparan pantai, hutan *mangrove*, padang lamun, muara sungai (*estuaria*), terumbu karang dan lautan terbuka. Ekosistem pantai berada pada beberapa puluh meter hingga beberapa kilometer dari permukaan air laut pada saat pasang, ditandai dengan lahan berpasir atau seluruhnya pasir (Sasongko, 2005).

Dua istilah yang berbeda konsep dan pemakaiannya, yaitu pesisir (*coast*) dan pantai (*shore*), seperti yang dijelaskan oleh Triatmodjo (1999) dan Triatmodjo (2012). Pesisir adalah wilayah darat di tepi laut yang masih dipengaruhi oleh pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan pantai merupakan wilayah peralihan antara laut dan darat yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi dan surut terendah. Definisi pantai yang dijelaskan Triatmodjo (2012) digambarkan pada Gambar 2.1





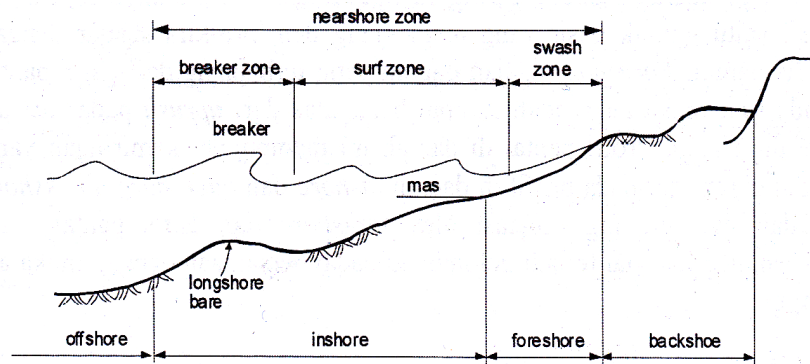
Definisi pantai adalah sebuah bentuk geografis yang terdiri dari pasir dan terdapat di daerah pesisir, merupakan batas antara daratan dan perairan laut sehingga kawasan pantai merupakan kawasan yang sangat dinamik, begitu pula dengan perubahan garis pantainya dan terjadi secara terus-menerus (Arief, 2011). Karakteristik wilayah pesisir yang spesifik merupakan agregasi dari berbagai komponen ekologi dan fisik yang saling mempengaruhi serta sangat rawan secara ekologis (Djunaedi et.al., 2011). Definisi pantai terbagi 3 (tiga) yakni sebagai *shore*, *beach* dan *coast* (Bird, 1984 dalam Ayuningtyas, 2008), yang dijelaskan sebagai berikut.

*Shore* adalah daerah yang meluas dari titik terendah air laut pada saat surut hingga batas tertinggi atau efektif yang dapat dicapai oleh gelombang. *Shore* dikelompokkan menjadi 3 (tiga) sebagai berikut:

1. Pantai Bagian Depan (*foreshore*), yaitu daerah antara pasang tersurut sampai daerah pasang.
2. Pantai Bagian Belakang (*backshore*), yaitu daerah antara pasang tertinggi sampai daerah tertinggi kena ombak
3. Pantai Lepas (*offshore*), yaitu daerah yang meluas dari titik pasang surut terendah ke arah laut

*Beach* adalah daerah tempat akumulasi dari sedimen lepas seperti kerikil, pasir dan lainnya yang kadang-kadang hanya sampai pada batas *backshore* tapi lebih sering sampai pada *foreshore*. *Coast* adalah daerah dengan lebar bervariasi yang meliputi *shore* dan perluasnya sampai pada daerah pengaruh penetrasi laut, seperti tebing pantai, estuari, laguna, *dune* dan rawa.

Bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh serangan gelombang, sifat-sifat sedimen seperti rapat massa dan tahanan terhadap erosi, ukuran dan bentuk partikel, kondisi gelombang dan arus serta bathimetri pantai. Menurut Triatmodjo (2012), definisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai dapat dijelaskan dalam Gambar 2.2



**Gambar 2.2**

Definisi dan Karakteristik Gelombang di Daerah Pantai  
(Sumber : Triatmodjo, 2012)

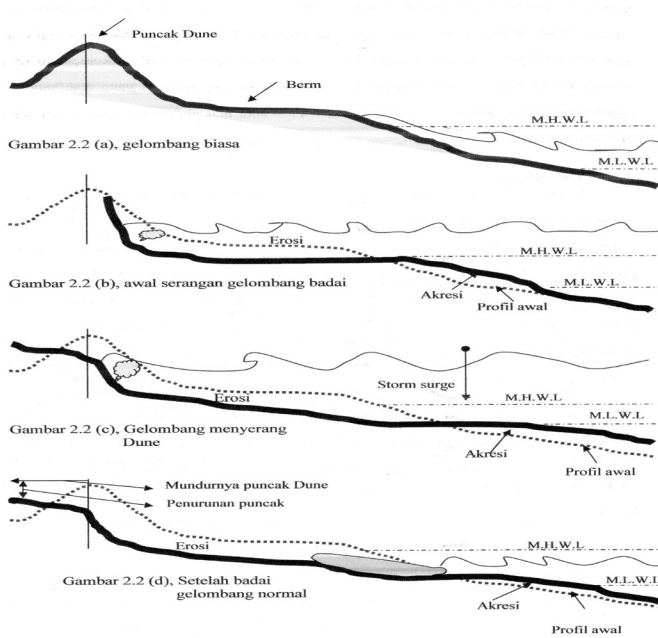
## B. Proses Litoral

Pantai merupakan kenampakan alam di mana terjadi interaksi keseimbangan dinamis antara air, angin, dan material (sedimen). Angin dan air bergerak membawa material (sedimen) dari satu tempat ke tempat yang lain, mengikis dan kemudian mengendapkannya lagi di daerah lain secara berkesinambungan. Proses dinamis pantai sangat dipengaruhi oleh transpor sedimen dan pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sedemikian rupa sehingga mampu menghancurkan energi gelombang yang datang (Triatmodjo, 1999). Penyesuaian bentuk tersebut merupakan tanggapan dinamis alami pantai terhadap laut.

Seperti kita ketahui, gelombang laut yang sehari-hari mempengaruhi kawasan pantai adalah gelombang yang diakibatkan oleh energi angin. Sesuai dengan faktor pembangkit terjadinya gelombang tersebut, maka ada dua jenis gelombang angin yaitu gelombang normal dan gelombang badai (*storm wave*).

Tipe tanggapan pantai dinamis terhadap kondisi gelombang normal dijelaskan juga oleh Triatmodjo (1999), bahwa kondisi gelombang normal terjadi dalam waktu yang lama dan energi gelombang mudah dipatahkan oleh mekanisme pertahanan alami pantai.

Pada saat gelombang badai (*storm wave*), adakalanya profil pantai lambat laun akan kembali ke bentuk semula, setelah gelombang badai mereda. Namun ada kalanya pantai yang tererosi tersebut tak kembali ke bentuk semula karena material pembentuk pantai telah terbawa arus ke tempat lain dan tak kembali ke lokasi semula. Gambar 2.3 menjelaskan mengenai proses pembentukan pantai.



Gambar 2.2. Proses Pembentukan Pantai (Triatmodjo, 1999)

**Gambar 2.3**  
 Proses Pembentukan Pantai  
 (Sumber: Triatmodjo, 1999)

Gelombang merupakan faktor dominan yang mempengaruhi proses yang terjadi di pantai (Ayuningtyas, 2008). Arus dan perputaran air (*turbulence*) menghasilkan gelombang yang menyeret sedimen bersamanya. Arus sejajar pantai (*longshore currents*) yang diakibatkan oleh adanya gelombang dan pasang surut menyebabkan sedimen terbawa sejajar dengan garis pantai.

Berdasarkan penelitian dari Nugroho (2005) dalam Ayuningtyas (2008) diketahui bahwa pantai mengalami perubahan musiman yaitu terdapat periode tertentu di mana gelombang yang menuju pantai merupakan gelombang pantai, sehingga pasir dapat terbawa kembali ke pantai, biasanya membentuk pantai yang meninggi dan melebar.

Selain gelombang, angin juga memberikan distribusi yang cukup besar terhadap pembentukan pantai. Hal ini disebabkan karena angin merupakan faktor utama terjadinya pergerakan arus dan gelombang.

### **C. Faktor Hidro-Oseanografi Penyebab Kerusakan Pantai**

Penyebab kerusakan pantai yang biasa dijadikan bahan penelitian diketahui ada 2 (faktor), yaitu faktor alami dan faktor antropogenik (Supriyanto, 2003; Shuhendry, 2004, Yuwono, 2004; Triatmodjo, 2012).

#### **1. Angin**

Angin adalah pergerakan massa udara di atmosfer yang terjadi karena berbagai penyebab, salah satunya adalah pemanasan bumi oleh sinar matahari (Stewart, 2006). Angin adalah besaran vektor yang memiliki arah dan kecepatan (Bayong, 2004).

Secara klimatologis arah angin diamati dalam 8 arah yang dinyatakan dalam bentuk derajat, sedangkan kecepatan angin dinyatakan dalam satuan meter per sekon, kilometer per jam, atau knot ( $1 \text{ knot} \approx 0.5 \text{ m/s}$ ). Tabel 2.1 menyajikan jangka derajat pada masing-masing arah mata angin.

Untuk keperluan analisis tertentu data angin yang digunakan sangat besar. Oleh karena itu data angin perlu diolah dan disajikan secara diagram dalam bentuk mawar angin. Sebuah mawar angin terdiri atas garis yang memancar dari pusat lingkaran dan menunjukkan arah dari mana angin bertiup. Panjang garis menyatakan frekuensi angin dari arah tersebut (Bayong, 2004).

**Tabel 2.1**  
Jangka Derajat pada 8 Arah Mata Angin

Arah Angin	Jangka Derajat
Utara	337.5° - 22.5°
Timur laut	22.5° - 67.5°
Timur	67.5° - 112.5°
Tenggara	112.5° - 157.5°
Selatan	157.5° - 202.5°
Barat Daya	202.5° - 247.5°
Barat	247.5° - 292.5°
Barat Laut	292.5° - 337.5°

*Sumber: Bayong, 2004*

Sifat angin kadang-kadang bisa sangat variabel, yaitu terjadi perubahan sebelum kondisi gelombang stasioner telah dicapai. Kondisi ideal dalam pembangkitan gelombang adalah dengan mengasumsikan bahwa hembusan angin di atas permukaan laut konstan. Dalam pendekatan kondisi ideal, gelombang hanya tergantung pada kecepatan angin, *fetch*, dan waktu yang berlalu sejak angin mulai berhembus (durasi) (Holtuijsen, 2007). Kecepatan angin masih dianggap konstan jika perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/s) terhadap kecepatan rerata dan arah angin masih bisa dianggap konstan apabila perubahan-perubahannya tidak lebih dari 15° (Triatmodjo, 1999).

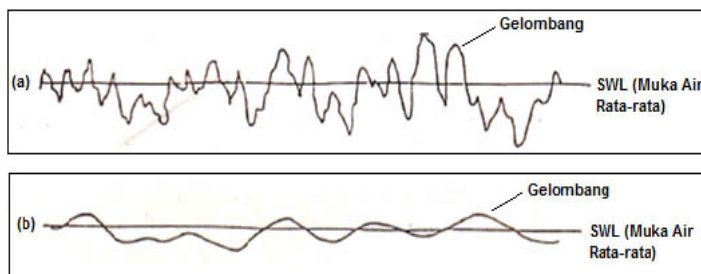
Oleh karena itu, untuk tujuan peramalan gelombang, laporan data angin dengan interval pencatatan satu jam (dalam knot) harus diubah kembali ke nomor asli skala Beaufort dan kemudian diubah menjadi kecepatan angin yang benar dari skala ilmiah. Skala Beaufort yang telah diverifikasi secara empiris tersaji dalam Tabel 2.2 sebagai berikut:

**Tabel 2.2**  
Skala Beaufort

No	Sifat Angin	Keadaan Laut	Kecepatan Angin (knot)
1	Sunyi	Licin seperti cermin	<1
2	Angin sepoi	Riak mulai kelihatan, tetapi tidak berbusa	1-3
3	Angin sangat lemah	Riak terjadi di seluruh permukaan air, tetapi puncaknya licin dan tidak terputus	4 - 6
4	Angin lemah	Riak menjadi lebih besar, dan puncaknya pecah. Gelombang putih kelihatan di sana-sini	7 - 10
5	Angin sedang	Punggung gelombang menjadi lebih besar dan gelombang putih semakin banyak	11 - 16
6	Angin agak kuat	Punggung gelombang menjadi lebih lebar dan jelas. Gelombang putih terjadi di seluruh permukaan air. Percikan air mulai terjadi	17 - 21
7	Angin kuat	Gelombang besar mulai terjadi. Laut menjadi putih dengan gelembung air. Puncak gelombang terjadi di mana-mana. Percikan air selalu terjadi	22 - 27
8	Angin kencang	Laut menjadi ganas, puncak gelombang besar pecah dan menjadi putih dengan gelembung yang mengalir terbawa air	> 27

*Sumber: Bayong, 1992*

Gelombang laut (perairan) yang kita lihat sehari-hari terjadi akibat dibangkitkan oleh angin. Angin yang bertiup di atas lautan memindahkan energinya ke perairan, sehingga menyebabkan terjadinya riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut dengan gelombang laut. Daerah terbentuknya gelombang disebut daerah pembangkitan gelombang (*wave generating area*). Gelombang yang terjadi pada daerah pembangkitan gelombang disebut gelombang *sea*, sedangkan gelombang yang terjadi di luar daerah pembangkitan setelah mengalami penjarangan disebut dengan gelombang *swell* (Hutabarat, 2006). Dalam kondisi alami, gelombang *sea* cenderung acak dan tidak beraturan yang dicirikan pada tinggi dan periodenya, sedangkan gelombang *swell* cenderung lebih teratur (Gambar 2.4).



**Gambar 2.4**  
Bentuk Gelombang *Sea* (a) dan Gelombang *Swell* (b)  
(Sumber: Hutabarat, 2006).

Tiga faktor yang menentukan karakteristik gelombang yang dibangkitkan oleh angin, yaitu: kecepatan angin, lama angin bertiup atau durasi angin dan *fetch*. Semakin lama angin bertiup pada permukaan perairan, maka semakin besar energi yang akan dihasilkan. Semakin besar energi gelombang akan menyebabkan pergerakan (kecepatan) gelombang semakin kencang/ cepat, sehingga gelombang ditimbulkan semakin tinggi. Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar (Wibisono, 2005). Hubungan antara kecepatan angin dan

karakteristik gelombang disajikan dalam Tabel 2.3. *Fetch* adalah jarak tanpa rintangan yang ditempuh oleh angin dari arah pembangkitan gelombang. Umumnya semakin panjang *fetch* maka semakin tinggi gelombang yang terbentuk. Hubungan antara panjang *fetch* dan tinggi gelombang tersaji dalam Tabel 2.4

Gelombang yang menjalar dari perairan dalam (*deep water*) menuju ke pantai atau perairan dangkal (*shallow water*) akan mengalami perubahan bentuk (transformasi), berupa refraksi, difraksi, pendangkalan (*shoaling*), refleksi dan akhirnya gelombang tersebut pecah (*wave breaking*). Proses refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman dasar laut, akibatnya arah penjalaran gelombang atau lintasan gelombang (*wave ray*) akan mengalami pembelokan dan cenderung untuk tegak lurus terhadap garis kontur dasar laut. Semakin rapat kontur dasar laut maka semakin cepat terjadi pembelokan mengarah ke arah tegak lurus garis kontur. Proses difraksi terjadi apabila ada sebuah gelombang datang menuju pantai terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, energi gelombang berpindah secara lateral ke arah daerah terlindungi (Triatmodjo, 1999).

**Tabel 2.3**  
Hubungan Antara Kecepatan Angin dan Karakteristik Gelombang Laut

Wind Speed (mph)	Wave Speed (mph)	Wave Period (s)	Wave Length (ft)	Wave Height (ft)	Wave Steepness (H/L)
31	25	7	250	22	0,088
35	28	8	330	24,5	0,074
42	33,5	9,5	470	29,5	0,063
50	40	11,5	670	35	0,052
59	47	13,5	930	41,5	0,045



Wind Speed (mph)	Wave Speed (mph)	Wave Period (s)	Wave Length (ft)	Wave Height (ft)	Wave Steepness (H/L)
68	54,4	15,5	1230	47,5	0,039

Sumber: McLellan, 1968 dalam Hutabarat, 2006

**Tabel 2.4**

Hubungan Antara Panjang *Fetch* Dan Tinggi Gelombang

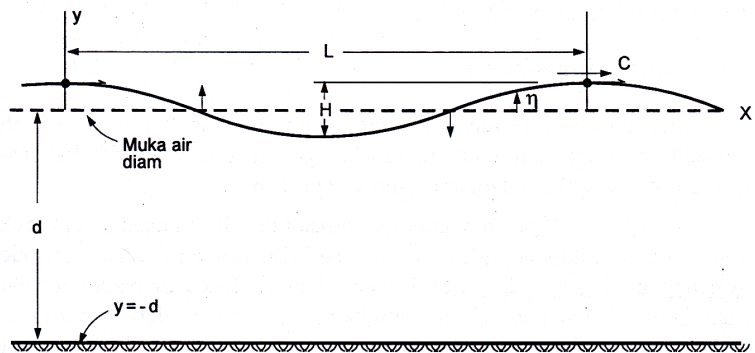
<i>Fetch</i> (km)	Tinggi Gelombang Maksimum (m)
5	0,90
10	1,40
20	2,00
50	3,10
100	4,20

Sumber: Waihaupt, 1979 dalam Hutabarat, 2006

Pendangkalan dasar laut menyebabkan terjadi perubahan kecepatan, panjang dan tinggi gelombang yang merambat ke pantai. Proses refleksi terjadi apabila gelombang yang dalam perambatannya menemui rintangan, misalnya bangunan laut/pantai atau pulau, sehingga dipantulkan secara keseluruhan atau sebagian saja. Sementara bagian lainnya diserap oleh rintangan tersebut atau diteruskan (Ningsih, 2002).

Gelombang pecah terjadi apabila gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari friksi/gesekan antara air dan dasar laut. Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air akan terus melaju. Semakin menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar, dan akhirnya gelombang tersebut pecah (Triatmodjo, 2012). Gambar 2.5 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat X-Y, gelombang menjalar pada arah sumbu X.

Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena pengaruh perubahan kedalaman laut. Berkurangnya kedalaman laut menyebabkan semakin berkurangnya panjang gelombang dan bertambahnya tinggi gelombang. Pada saat kemiringan gelombang (perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang) mencapai batas maksimum, gelombang akan pecah (Sorensen, 2006).



**Gambar 2.5**  
Definisi Parameter Gelombang  
(Sumber: Triatmodjo, 2012)

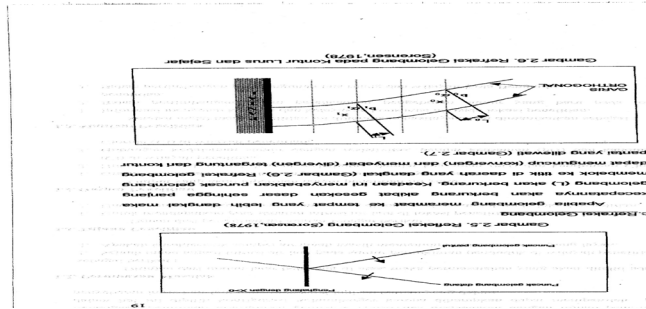
## 2. Deformasi Gelombang

Suatu deretan gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang difraksi, refleksi dan gelombang pecah. Dalam menganalisis deformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen. Hal ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi dan difraksi (Hidayat, 2005).

### a. Refleksi

Refleksi gelombang adalah gelombang datang yang mengenai/membentur suatu rintangan (pantai atau bangunan pantai), akan dipantulkan kembali sebagian atau seluruhnya. Besar kecilnya gelombang yang dipantulkan

tergantung pada bentuk dan jenis rintangan. Suatu bangunan tegak dan *impermeable* akan memantulkan gelombang lebih besar daripada bangunan miring dan *permeable* (Shuhendry, 2004).



**Gambar 2.6**  
Refleksi Gelombang

(Sumber: Sorensen, 1978 dalam Supriyanto, 2003)

Besar kemampuan suatu rintangan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi dengan tinggi gelombang datang (Sorensen, 1978 dalam Supriyanto, 2003).

$$X = \frac{H_r}{H_i} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- $X$  : Koefisien refleksi
- $H_r$  : Tinggi gelombang refleksi (m)
- $H_i$  : Tinggi gelombang datang (m)

b. Refraksi

Cepat rambat gelombang tergantung pada kedalaman air di mana gelombang menjalar. Apabila cepat rambat gelombang berkurang dengan kedalaman, panjang gelombang juga akan berkurang secara linier. Variasi cepat rambat gelombang menjadi sepanjang garis puncak gelombang yang bergerak dengan membentuk suatu sudut

terhadap garis kedalaman laut, karena bagian dari gelombang di laut dalam bergerak lebih cepat daripada bagian laut yang lebih dangkal. Variasi tersebut menyebabkan puncak gelombang membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut (Triatmodjo, 1999).

Proses refraksi gelombang adalah sama dengan refraksi cahaya yang terjadi karena cahaya melintasi dua media perantara berbeda (Triatmodjo, 2012). Dengan kesamaan tersebut maka pemakaian Hukum Snell pada optik dapat digunakan untuk menyelesaikan refraksi gelombang yang disebabkan oleh perubahan kedalaman.

Ilustrasinya bahwa penjaran deretan gelombang dari laut dengan kedalaman  $d_0$  menuju kedalaman  $d_1$ , dengan perubahan kedalaman mendadak (seperti anak tangga) dan dianggap tidak ada refleksi gelombang pada perubahan tersebut. Karena adanya perubahan kedalaman maka cepat rambat dan panjang gelombang berkurang dari  $C_0$  dan  $L_0$  menjadi  $C_1$  dan  $L_1$ . Sesuai dengan Hukum Snell, maka:

$$\sin \alpha_1 = \left( \frac{C_1}{C_0} \right) \sin \alpha_0 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

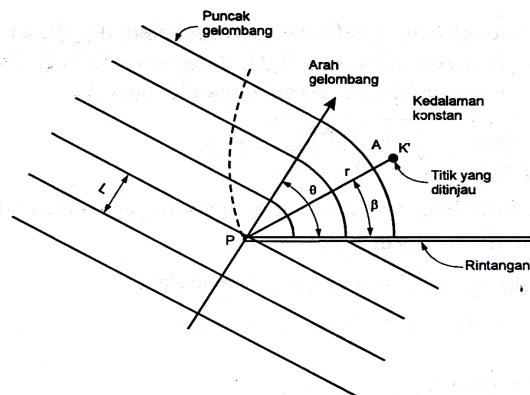
- $\alpha_0$  : sudut antara garis puncak gelombang dengan kontur dasar  $d$  mana gelombang melintas ( $^{\circ}$ )
- $\alpha_1$  : sudut yang sama yang diukur saat garis puncak gelombang melintasi kontur dasar berikutnya ( $^{\circ}$ )
- $C_0$  : kecepatan gelombang pada kedalaman  $d$  kontur pertama (m/s)
- $C_1$  : kecepatan gelombang pada kedalaman  $d$  kontur berikutnya (m/s)

c. Difraksi

Menurut Ningsih (2002), gelombang yang dalam penjarannya bertemu dengan penghalang, seperti pulau, *breakwater*, dan sebagainya, maka sebagian energi gelombang yang mengenai penghalang akan terdisipasi dan sebagian lagi akan direfleksikan. Fenomena ini disebut

difraksi, yaitu suatu proses di mana energi menyebar secara lateral sepanjang puncak gelombang. Tinggi gelombang di belakang penghalang akan semakin berkurang.

Menurut Sorensen (1978) dalam Supriyanto (2003), difraksi gelombang adalah suatu fenomena penjalaran energi ke arah samping sepanjang puncak gelombang. Pada Gambar 2.7 menjelaskan rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan  $r$ , sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan  $\theta$ , dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan  $\vartheta$ . Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi  $K'$  (Triatmodjo, 2012).



**Gambar 2.7**

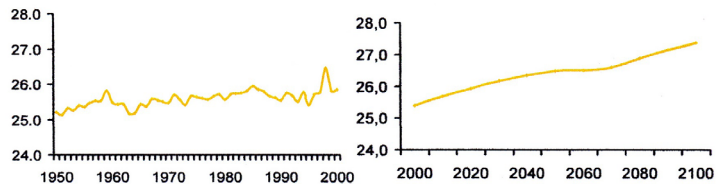
Difraksi Gelombang di Belakang Rintang

(Sumber: Triatmodjo, 2012)

### 3. Fluktuasi Muka Air Laut

Secara umum, kenaikan muka air laut merupakan dampak dari pemanasan global (*global warming*) yang melanda seluruh belahan bumi ini. Berdasarkan laporan IPCC (*International Panel*

*On Climate Change*) bahwa rata-rata suhu permukaan global meningkat  $0,3 - 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  sejak akhir abad 19 dan sampai tahun 2100 suhu bumi diperkirakan akan naik sekitar  $1,4 - 5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Wirasatriya, 2006). Naiknya suhu permukaan global menyebabkan mencairnya es di kutub utara dan selatan bumi sehingga terjadilah kenaikan muka laut (*Sea Level Rise*).



**Gambar 2.8**

Perubahan Temperatur di Indonesia Tahun 1950 - 2100

(Sumber: Susandi, 2004)

Dari Gambar 2.8 terlihat bahwa temperatur di Indonesia semakin tinggi dari tahun ke tahun. Perubahan temperatur atmosfer menyebabkan kondisi fisis atmosfer menjadi semakin tidak stabil dan dapat menimbulkan terjadinya perubahan cuaca ekstrem yang berlangsung lama, sehingga dapat menyebabkan perubahan iklim.

Dampak yang menjadi isu utama yang berkenaan dengan perubahan iklim adalah fluktuasi curah hujan yang tinggi dan kenaikan muka laut. Dampak yang ditimbulkan oleh naiknya muka laut antara lain erosi pantai, berkurangnya salinitas air laut, kualitas air permukaan menurun, dan risiko banjir semakin meningkat (Susandi, 2008)

Gelombang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rata-rata terhadap muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik di mana gelombang pecah, permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai (Triatmodjo, 2012).

Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *Wave Set-down*, sedang naiknya muka air dikenal dengan *Wave Set-up* (Gambar 2.9).

Bab II Tinjauan Pustaka 22

$$\frac{H_b}{gT^2} \rightarrow \frac{d_b}{H_b} \quad ; \text{ untuk kedalaman gelombang pecah} \quad (2.17)$$

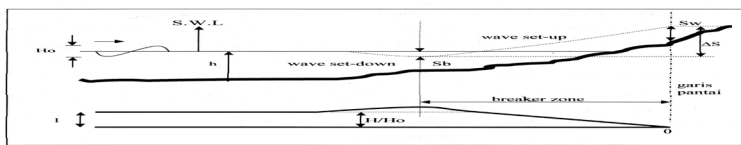
Dimana :

- $H_b$  : tinggi gelombang di laut dalam apabila tidak mengalami *Refraksi*
- $g$  : 9.81 m/det
- $T$  : periode gelombang (det)

### 2.1.3.3 Fluktuasi Muka Air laut

#### *Wave Set-up* dan *Wave Set-down*

Cicombang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *Wave Set-down*, sedang naiknya muka air disebut *Wave Set-up*.



Gambar 2.6. *Wave Set-up* dan *Set-down*

### Gambar 2.9

#### *Wave Set-up* dan *Wave Set-down*

(Sumber: Triatmodjo, 2012)

## 4. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut yang disebabkan oleh gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari (Triatmodjo, 1999).

Menurut Setiadi (1989), pasang surut adalah perubahan gerak relatif dari materi suatu planet, bintang dan benda angkasa lainnya yang diakibatkan oleh aksi gravitasi benda-benda di luar materi itu berada. Menurut Karmadibrata (1985) dalam Sasongko (2012), pasang surut merupakan gerakan naik turunnya muka air laut secara bersamaan yang disebabkan oleh gaya tarik matahari dan bulan.

Perkataan pasang surut biasanya dikaitkan dengan proses naik turunnya paras laut (*sea level*) secara berkala yang ditimbulkan oleh adanya gaya tarik dari benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan, terhadap massa air di bumi (Pariwono, 1989). Proses pasang surut ini dapat dilihat di daerah pantai sehingga dapat berguna bagi kegiatan manusia yang hidup di perairan pantai seperti pelayaran dan penangkapan/ budidaya sumber daya hayati perairan.

Pasang surut di daerah pantai merupakan pasang surut yang menjalar dari laut yang terbuka/ lepas. Hal ini menyebabkan pada di daerah tersebut komponen pasang surutnya seperti elevasi dan arus pasang surut mengalami perubahan jika dibandingkan dengan perairan dalam (Ongkosongo, 1989).

Gaya-gaya pembangkit pasang surut ditimbulkan oleh gaya tarik menarik bumi, bulan dan matahari (Triatmodjo, 2012). Gaya tarik menarik antara bumi dan bulan tersebut menyebabkan sistem bumi-bulan menjadi satu sistem kesatuan yang beredar bersama-sama di sekeliling sumbu perputaran bersama (*common axis of revolution*). Pembentukan pasang surut air laut sangat dipengaruhi oleh gerakan utama matahari dan bulan (Ongkosongo, 1989), yaitu:

- 1) Revolusi bulan terhadap bumi, di mana orbitnya berbentuk elips dan memerlukan periode untuk menyelesaikan revolusi itu selama 29,5 hari.
- 2) Revolusi bumi terhadap matahari dengan orbitnya berbentuk elips, periode yang diperlukan adalah 365,25 hari.
- 3) Perputaran bumi terhadap sumbunya sendiri, periode yang diperlukan untuk gerakan ini adalah 24 jam.

Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air laut pada muka air rerata ke posisi yang sama



berikutnya. Periode pasang surut tergantung pada tipe pasang surut.

Studi numerik dinamika pasang surut telah banyak dilakukan. Metode perhitungan yang dipakai untuk pasang surut erat kaitannya dengan tujuan pengamatan (Djaja, 1989). Salah satu metode perhitungan pasang surut yaitu menggunakan Metode Admiralty. Metode Admiralty merupakan metode perhitungan data pasang surut di mana permukaan air laut rata-rata diperoleh dengan menghitung konstanta-konstanta pasang surut (komponen dinamik pasang surut).

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Hal ini dapat ditentukan melalui perhitungan menggunakan komponen pasang surut, sehingga diperoleh nilai Formzahl (F). Formzahl adalah bilangan untuk menentukan tipe pasang surut, menggunakan rumus:

$$F = \frac{(O_1 + K_1)}{(M_2 + S_2)} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

F	:	Bilangan Formzahl
O <sub>1</sub>	:	Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
K <sub>1</sub>	:	Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari
M <sub>2</sub>	:	Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
S <sub>2</sub>	:	Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Bilangan Formzahl (F) memiliki range tertentu guna menentukan tipe pasang surut suatu wilayah. Range Formzahl (F) dijelaskan dalam Tabel 2.5, sebagai berikut.

**Tabel 2.5**

Tipe Pasang Surut Berdasarkan Bilangan Formzahl (F)

Nilai Formzahl	Tipe Pasang Surut	Keterangan
$0,00 < F \leq 0,25$	Setengah Harian (Semidiurnal/ Ganda)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.</li> <li>✓ Bentuk gelombang simetris.</li> </ul>
$0,25 < F \leq 1,50$	Campuran dengan tipe ganda lebih menonjol (Condong Ganda)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.</li> <li>✓ Bentuk gelombang pasang pertama tidak sama dengan gelombang pasang kedua (asimetris) dengan bentuk condong semi diurnal.</li> </ul>
$1,50 < F \leq 3,00$	Campuran dengan tipe tunggal lebih menonjol (Condong Tunggal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.</li> <li>✓ Bentuk gelombang pasang pertama tidak sama dengan gelombang pasang kedua (asimetris) dengan bentuk condong diurnal.</li> </ul>
$F > 3,00$	Harian (Tunggal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dalam sehari terjadi sekali pasang dan sekali surut.</li> </ul>

*Sumber: Djaja, 1989***5. Transpor Sedimen Pantai**

Transpor sedimen pantai adalah gerak sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh arus yang ditimbulkan gelombang. Fenomena transpor sedimen tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk morfologi pantai. Pantai mempunyai pertahanan alami dari serangan arus dan gelombang di mana bentuknya akan terus-menerus menyesuaikan sehingga dapat meminimalkan energi gelombang yang menerpanya. Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai itu sendiri, dari daratan yang dibawa oleh sungai, dan dari laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai (Triatmodjo, 2012).

Dikutip dari US Army (2002) oleh Triatmodjo (2012), transpor sedimen di sepanjang pantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris, yang dikembangkan berdasar data pengukuran model dan prototip pada pantai berpasir, sebagaimana pada persamaan (3) dan (4). CERC (1984) dalam Triatmodjo (2012) memberikan nilai  $K = 0,39$  di mana persamaan (4) digunakan tinggi gelombang signifikan.

$$Q_s = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1 - n)} P_1 \dots\dots\dots (4)$$

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- $Q_s$  = angkutan sedimen sepanjang pantai (m<sup>3</sup>/hari)
- $P_1$  = komponen fluks energy gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (kgm/hari)
- $\rho$  = rapat massa air laut (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_s$  = rapat massa pasir (kg/m<sup>3</sup>)
- $H_b$  = tinggi gelombang pecah (m)
- $C_b$  = cepat rambat gelombang pecah (m/hari) =  $\sqrt{gdb}$
- $\alpha_b$  = sudut datang gelombang pecah (°)
- $K$  = konstanta (K=0.39)
- $n$  = porositas (n ≈ 0.4)

## D. Perlindungan Pantai

### 1. Perlindungan Alami

Alam pada umumnya telah menyediakan mekanisme perlindungan pantai secara alami yang efektif (Triatmodjo, 2012). Di bawah ini akan dibahas secara ringkas mengenai perlindungan pantai secara alami di pantai pasir, pantai lumpur, dan pantai karang.

a. Pantai Pasir

Yuwono (2004) menjelaskan bahwa perlindungan alami pada pantai pasir adalah berupa hamparan pasir yang dapat berfungsi sebagai penghancur energi gelombang. Hamparan pasir ini sangat efektif sebagai penghancur gelombang apabila jumlahnya cukup banyak. Biasanya di tepi pantai terdapat bukit pasir atau *sand dunes* yang dapat berfungsi sebagai cadangan pasir pada saat terjadi badai atau gelombang besar. Pembentukan *sand dunes* terutama terjadi pada musim kemarau di mana butir-butir pasir kering lebih mudah digerakkan oleh tiupan angin.

Pada saat air pasang dan kondisi gelombang normal (bukan gelombang besar), *uprush* gelombang akan membawa pasir ke bagian atas dari pantai. Ketika air surut, pasir yang tertimbun tersebut menjadi kering. Angin yang berhembus ke arah darat dapat mengangkut pasir kering ke arah darat di *backshore* atau lebih jauh lagi di pesisir dan membentuk *sand dunes*. *Sand dunes* ini dapat berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap serangan gelombang (Triatmodjo, 2012).

b. Pantai Lumpur

Menurut Wibisono (2005) dan Triatmodjo (1999), pantai berlumpur terjadi di daerah pantai di mana terdapat banyak muara sungai yang membawa sedimen suspensi dalam jumlah besar ke laut. Sedimen suspensi tersebut berasal dari erosi lahan di daerah hulu. Selain itu kondisi gelombang di pantai yang relatif tenang tidak mampu membawa sedimen ke perairan dalam di laut lepas. Sedimen suspensi dapat menyebar pada suatu daerah perairan luas sehingga membentuk pantai yang luas, datar, dan dangkal. Kemiringan dasar laut/ pantai sangat kecil.

Biasanya pantai berlumpur sangat rendah dan merupakan daerah rawa yang terendam air pada saat muka air tinggi

(pasang). Daerah ini sangat subur bagi tumbuhan pantai seperti pohon bakau (*mangrove*), pohon api-api dan pohon nipah. Tanaman tersebut tumbuh di tempat-tempat di mana terjadi pelumpuran dan akumulasi bahan organik, seperti di lokasi yang terlindung dari gelombang dan di sekitar muara sungai di mana air tenang dan mengendapkan lumpur yang dibawanya dari hulu sungai (Triatmodjo, 2012).

*Mangrove* adalah tumbuhan berupa semak dan pohon dengan akar tunjang, yaitu akar yang banyak tumbuh dari batang menjadi penopang tumbuhan tersebut. Selain itu ada juga *mangrove* yang mempunyai akar pernapasan yang menyembul dari tanah. *Mangrove* dengan akar tunjang dan akar pernapasan yang saling silang menyilang dapat menangkap lumpur sehingga terjadi sedimentasi. *Mangrove* memberikan kontribusi yang signifikan pada produktivitas *estuarine* dan pesisir melalui aliran energi dari proses dekomposisi serasah (Triatmodjo, 1999).

Hutan bakau dapat berfungsi sebagai peredam energi gelombang, sehingga pantai dapat terlindung terhadap erosi. Pada saat musim gelombang mungkin beberapa pohon akan rusak dan tumbang akibat gempuran gelombang, namun bila musim gelombang telah berlalu tanaman tersebut akan tumbuh kembali. Oleh karena itu perlindungan dengan tanaman pantai ini membutuhkan jumlah tanaman yang banyak, atau paling tidak setebal 50 sampai dengan 100 m (Sulistiyowati, 2009).

#### c. Pantai Karang

Gelombang sebelum mencapai pantai akan pecah di batu karang (*reef*), dan energinya berkurang atau hancur. Dengan demikian pada saat gelombang tersebut mencapai tepi pantai sudah relatif kecil sehingga tidak punya daya untuk menghancurkan pantai. Karang pelindung sangat bagus

bilamana masih tumbuh sehingga bila terjadi kerusakan akibat gempuran gelombang (musim gelombang), terumbu karang tersebut dapat tumbuh dan pulih kembali pada saat musim tenang (Triatmodjo, 2012).

Menurut Wibisono (2005), terumbu karang adalah sekumpulan hewan bersel satu yang membentuk koloni dan mempunyai rumah yang terbuat dari bahan kapur (Ca-karbonat). Ditinjau dari segi ekosistem, keberadaan terumbu karang sangat memungkinkan menjadi tempat berkumpulnya bermacam-macam biota laut.

## 2. Perlindungan buatan

Seperti dinyatakan sebelumnya, salah satu dari masalah yang ada di daerah pantai adalah erosi pantai. Erosi pantai dapat menimbulkan kerugian sangat besar dengan rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada di daerah tersebut. Untuk menanggulangi erosi pantai, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari penyebab terjadinya erosi.

Dengan mengetahui penyebabnya, selanjutnya dapat ditentukan cara penanganannya. Perlindungan buatan dilakukan apabila kondisi pantai sudah kritis yang membahayakan keselamatan penduduk dan fasilitas umum. Triatmodjo (2012) menyebutkan ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, seperti diberikan berikut ini:

- a. Memperkuat/melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang;
- b. Mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai; dan
- c. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai.

Menurut bentuknya bangunan pantai dapat dibedakan menjadi bangunan sisi miring dan sisi tegak. Bangunan sisi miring terbuat dari tumpukan batu, yang disusun dalam beberapa lapis dengan ukuran batu tertentu, sedemikian sehingga sebuah lapisan akan berfungsi sebagai saringan (*filter*) bagi lapisan di

bawahnya. Lapis terluar adalah lapis pelindung yang terbuat dari batu-batu ukuran besar, atau batu buatan dari beton dengan bentuk khusus seperti kubus, tetrapod, quadripods, tribars, dolos, dan sebagainya. Lapis pelindung ini harus mampu menahan serangan gelombang. Lapis kedua disebut lapis bawah (*underlayer*) yang terdiri dari batu dengan ukuran lebih kecil, sedang lapis terdalam adalah inti yang terdiri dari tumpukan batu dengan ukuran lebih kecil lagi. Pelindung kaki dibuat pada dasar di depan kaki bangunan untuk mencegah gerusan pada kaki bangunan (Triatmodjo, 1999)

Perlindungan buatan juga bisa berupa perkuatan pantai, bangunan stabilisasi pantai yang meliputi *groin*, *jetty* dan pemecah gelombang, serta restorasi pantai yang berupa pengisian pasir pada pantai yang rusak. Sesuai dengan fungsinya seperti tersebut di atas, bangunan pantai dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok (Triatmodjo, 2012), yaitu:

- a. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai, yang berupa *revetment* dan dinding pantai.
- b. Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai, yang disebut *groin*.
- c. Konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan sejajar dengan garis pantai yang disebut pemecah gelombang lepas pantai dan yang menjorok ke arah laut yang disebut pemecah gelombang sambung pantai.

Yuwono (2004) menjelaskan bahwa *revetment* adalah konstruksi pelindung tebing yang dapat berupa tumpukan batu (*rip-rap*) atau *concrete block*, dan konstruksinya dapat lolos air atau kedap air. *Revetment* merupakan bangunan yang dibangun pada garis pantai dan digunakan untuk melindungi pantai dari serangan gelombang dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat. *Revetmen* mempunyai sisi miring dan bisa terbuat dari tumpukan batu atau bronjong, sehingga lebih fleksibel dan dapat menyesuaikan diri terhadap gerusan di kaki bangunan. Bangunan

ini terdiri dari beberapa bagian utama yaitu lapis lindung, lapis *filter*, dan pelindung kaki. Lapis lindung bisa berupa batu atau beton dengan bentuk tertentu yang mampu menahan serangan gelombang. *Filter* berfungsi untuk menahan butiran tanah agar tidak keluar dan memungkinkan air bisa mengalir melintasinya. Pelindung kaki diperlukan untuk memberikan stabilitas terhadap gerusan pada dasar bangunan.

Menurut Triatmodjo (2012), tembok laut (*seawall*) berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap serangan gelombang dan untuk menahan terjadinya limpasan gelombang ke daratan di belakangnya. Biasanya tembok laut digunakan untuk melindungi daerah pemukiman dan/ atau fasilitas umum yang sudah sangat dekat dengan garis pantai. Bangunan ini bisa berbentuk dinding vertikal, miring, lengkung, atau bertangga; dan bisa terbuat dari pasangan batu, dinding beton, atau buis beton.

*Groin* adalah bangunan pelindung pantai yang biasanya dibuat tegak lurus garis pantai, dan berfungsi untuk menahan transpor sedimen sepanjang pantai, sehingga bisa mengurangi/ menghentikan erosi yang terjadi. Bangunan ini juga bisa digunakan untuk menahan masuknya transpor sedimen sepanjang pantai ke pelabuhan atau muara sungai. *Groin* berfungsi apabila kerusakan pantai terjadi karena adanya angkutan sedimen sepanjang pantai, maka *groin* dapat digunakan untuk mencegah kerusakan tersebut. Fungsi *groin* adalah menahan sedimen yang terangkut sepanjang pantai, sehingga sedimen tidak berpindah ke tempat lain (Triatmodjo, 1999).

*Jetty* adalah bangunan yang menjorok ke laut yang dipergunakan untuk keperluan pengamanan pantai, atau untuk pengamanan pantai pasir buatan. *Jetty* berupa bangunan tegak lurus pantai yang diletakkan pada kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk menahan sedimen/ pasir yang bergerak sepanjang pantai masuk dan mengendap di muara sungai. Pada



penggunaan muara sungai sebagai alur pelayaran, pengendapan di muara dapat mengganggu lalu lintas kapal. Untuk keperluan tersebut *jetty* harus panjang sampai ujungnya berada di luar gelombang pecah. Dengan *jetty* panjang transpor sedimen sepanjang pantai dapat tertahan, dan kondisi gelombang pada alur pelayaran adalah tidak pecah sehingga memungkinkan kapal masuk ke muara sungai (Yuwono, 2004).

## E. Pengelolaan Sumber Daya Pesisir Terpadu

### 1. Definisi Pengelolaan Sumber Daya Pesisir Terpadu

Yang dimaksud dengan pengelolaan pesisir terpadu (*Integrated Coastal Management*) menurut *Group of Experts on the Scientific Aspects on Marine (Environmental) Protection (GESAMP)* adalah:

- a. Untuk meningkatkan kualitas hidup komunitas manusia yang bergantung pada sumber daya pesisir sambil mempertahankan keanekaragaman hayati dan produktivitas ekosistem pesisir (keseimbangan antara pemanfaatan dan konservasi).
- b. Proses dinamis yang terus menerus, yang menyatukan pemerintah dan masyarakat, kepentingan sektor dan publik, perancangan terpadu untuk melindungi ekosistem pesisir di satu pihak dan memanfaatkan sumber dayanya di pihak lain (Noor, 2011).

*United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*, atau disebut juga dengan KTT Bumi di Rio Janaero pada tahun 1992 membahas tentang Agenda 21 (Abad ke-21) dan mengeluarkan Deklarasi Rio (*Rio Declaration*). Pada Bab (*Chapter*) 17 dalam Agenda 21 membahas tentang pesisir dan laut, yang bunyinya sebagai berikut :

*"Protection of the oceans, all kind of seas, including enclosed and semi enclosed seas, and coastal areas and the protection, rational use and development of their living resources"*

Perlindungan lautan, semua jenis laut termasuk laut tertutup dan semi tertutup, wilayah pesisir dan perlindungan, pemanfaatan nasional serta pengembangan sumber daya hayatinya.

Yuwono (2004) menjelaskan bahwa landasan pengelolaan wilayah pesisir terpadu adalah menyangkut kajian komprehensif, proses evolusioner yang terus menerus untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*). Sasaran perencanaan dan pengelolaan sumberdaya pesisir harus memperhitungkan perspektif tradisional, kultural dan historis, serta mempertimbangkan kepentingan dan penggunaan yang saling bertentangan (*conflicting interest and uses*).

Arti kata terpadu dalam pengelolaan wilayah pesisir terpadu, meliputi beberapa aspek (Djauhari, 2011 dan Yuwono, 1998), yaitu:

- a. Terpadu secara horizontal, antara Pemerintah - Masyarakat - Sektor.

Prinsip pengembangan diutamakan untuk memanfaatkan pesisir (daerah pantai) yang lestari dengan memprioritaskan potensi unggulan daerah pantai, sedangkan sektor-sektor lain diusahakan untuk mendukung potensi unggulan.

- b. Terpadu secara vertikal, antara sasaran nasional dan sasaran daerah.

Pengelolaan daerah pantai dilakukan dari tingkat Desa, Kecamatan, Kabupaten/ Kota, Provinsi hingga tingkat Nasional. Diartikan berupa bingkai, rambu-rambu ataupun pedoman yang harus dipakai sebagai dasar pengembangan tingkat bawahnya.

- c. Terpadu secara spasial, antara darat dan laut, antara hulu dan hilir.

Pengembangan yang terdapat di daerah pantai diusahakan tidak merusak ekosistem laut dan darat. Pembangunan di

darat atau di laut diharapkan juga tidak merusak kawasan pesisir.

- d. Terpadu secara ilmu pengetahuan alam, manajemen (sosial-ekonomi) dan rekayasa.

Pengembangan wilayah pesisir harus didasarkan pada *input data* dan informasi ilmiah yang memberikan berbagai alternatif rekomendasi bagi pengambil keputusan yang relevan, sesuai karakter daerah.

- e. Terpadu secara internasional, terutama antar negara bertetangga, seperti polusi yang bersifat lintas batas, perselisihan tentang batas aktivitas perikanan.

Keputusan yang diambil dalam rangka pengembangan kawasan pesisir harus dikaji secara mendalam terutama yang menyangkut kelayakan pengembangannya sehingga bermanfaat bagi masyarakat dan negara.

Pengelolaan wilayah pesisir terpadu dimaksudkan untuk mengkoordinasikan mengarahkan berbagai aktivitas perencanaan dan pembangunan yang dilakukan di wilayah pesisir. Pengembangan wilayah pesisir tidak boleh dilakukan secara sektoral, sehingga konsep perencanaan dan pengelolaan wilayah pesisir secara terpadu dan berkesinambungan memiliki makna adanya perencanaan dan pembangunan kawasan pesisir yang mengkoordinasi dan mengarahkan berbagai aktivitas yang ada di wilayah pesisir tersebut untuk dapat dimanfaatkan baik pada saat ini maupun pada masa yang akan datang (Yuwono, 2004).

## 2. Implementasi Pengelolaan Daerah Pantai Terpadu (*Integrated Coastal Zone Management - ICZM*)

Pengelolaan daerah pantai terpadu dan berkesinambungan dapat diimplementasikan dengan baik apabila persyaratan mengenai implementasi tersebut juga dapat dipenuhi dengan

baik. Persyaratan implementasi pengelolaan daerah pantai terpadu tersebut ada 3 (tiga), yaitu : wilayah pengelolaan yang jelas, terdapat institusi pelaksana yang berkemampuan dan bertanggung jawab dan mempunyai instrumen yang diperlukan untuk pengelolaan tersebut (Yuwono, 1998).

Dua hal pokok yang diperlukan dalam pengelolaan *zone* pantai adalah perencanaan dan pengelolaan. Perencanaan merupakan rencana menyeluruh (*master plan*) untuk pengembangan zona pantai terpadu sehingga bisa memenuhi keseimbangan antar alam (lingkungan), penggunaan pantai untuk masyarakat (sosial) dan pengembangan ekonomi dalam pencapaian manfaat optimal untuk semua kepentingan. Hal itu lebih bersifat kebijakan dan berlaku untuk seluruh pantai. Sedangkan pengelolaan merupakan proses implementasi dari perencanaan tersebut untuk memecahkan konflik berbagai kepentingan pengguna pantai, menentukan penggunaan yang paling tepat dan untuk mengalokasikan pemanfaatannya. Partisipasi masyarakat memegang peranan penting dalam pengelolaan tersebut (Hildebrand dalam Yuwono, 2004).

Pengelolaan wilayah pantai merupakan hal yang kompleks dan sulit karena aspek-aspek yang terlibat cukup banyak dan beragam, sehingga dibutuhkan pengetahuan yang luas. Berbagai persoalan yang muncul di pantai menyebabkan pengelolaan zona pantai terpadu menjadi hal yang sangat mendesak untuk konservasi dan pengembangan pantai. Pengelolaan terpadu selayaknya menjadi kebijakan nasional, Provinsi dan Kota/ Kabupaten. Apabila suatu Kota/ Kabupaten belum mempunyai *master plan* pengelolaan pantai dan ada sebagian wilayahnya akan direklamasi, maka untuk jangka pendek adalah melakukan kajian terpadu dan komprehensif untuk pantai tersebut, namun keluarannya sudah mengarah kepada *master plan* yang merupakan program jangka menengah dan panjang. Prinsip

kajian harus berdimensi teknis, sosial, lingkungan, ekonomi, hukum dan kelembagaan (Noor, 2011).

Proses atau mekanisme pengelolaan pesisir terpadu akan lebih efektif bila dilakukan secara terus menerus dan dinamis melalui tahapan sebagai berikut:

**Tabel 2.6**  
Tahapan Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu

No.	Langkah Kegiatan	Bagian Kegiatan
1	Persiapan	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Administrasi</li> <li>– Pembentukan tim perencana</li> <li>– Penyusunan rencana kerja</li> <li>– Personil, fasilitas dan pembiayaan</li> <li>– Platihan staf perencana</li> </ul>
2	Inisiasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Partisipasi publik</li> <li>– Identifikasi issue</li> <li>– Survei sosial</li> <li>– Penilaian sumberdaya</li> <li>– Perencanaan konsensus</li> <li>– Informasi terpadu</li> <li>– Penyadaran masyarakat</li> </ul>
3	Pengembangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pengumpulan data</li> <li>– Faktor sosial, ekonomi dan budaya</li> <li>– Faktor biofisik dan teknologi</li> <li>– Identifikasi pemilikan sumber daya</li> <li>– Penataan kelembagaan</li> <li>– Keterpaduan perencanaan sektor</li> <li>– Issue pengelolaan pesisir</li> <li>– Pengembangan strategi PPT</li> </ul>

4	Sertifikasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Persetujuan perencanaan PPT</li> <li>– Penerangan Pemerintah</li> <li>– Sertifikasi</li> <li>– Penetapan PPT dari Pemda</li> <li>– Pengesahan PPT</li> <li>– Alokasi dana APBD/ APBN</li> </ul>
5	Pelaksanaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Koordinasi program PPT</li> <li>– Pengawasan dan penegakan hukum</li> <li>– Sistem perizinan</li> <li>– Riset dan pengembangan</li> <li>– Klarifikasi pemilikan sumber daya</li> <li>– Pemberdayaan masyarakat</li> <li>– Mata pencaharian alternatif</li> <li>– Pengelolaan berbasis masyarakat</li> <li>– Pendidikan dan penyadaran masyarakat</li> </ul>
6	Pelebagaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pemantauan dan evaluasi</li> <li>– Penyempurnaan strategi dan aksi</li> <li>– Demonstrasi hasil yang positif</li> <li>– Pengembangan ke skala besar</li> <li>– Pelebagaan PPT</li> </ul>

*Sumber : Atlas Sumber daya Wilayah Pesisir dan Laut Provinsi Bengkulu dalam Shuhendry (2004)*

*PPT : Pengelolaan Pesisir Terpadu*



# **JENIS KERUSAKAN PANTAI YANG TERJADI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA**





## BAB III

# JENIS KERUSAKAN PANTAI YANG TERJADI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA

### A. Kondisi Ekosistem Kawasan Pesisir dan Kawasan Konservasi

#### 1. *Mangrove* dan Terumbu Karang

*Mangrove* adalah suatu komunitas vegetasi pantai tropik yang didominasi oleh beberapa spesies pohon khas dan semak-semak belukar yang mempunyai kemampuan tumbuh pada perairan yang asin. *Mangrove* merupakan sebutan umum yang digunakan untuk menggambarkan suatu komunitas pantai tropik yang didominasi oleh beberapa spesies pohon yang khas atau semak-semak yang mempunyai kemampuan untuk tumbuh dalam perairan asin (Sulistiyowati, 2009).

Kata *mangrove* merupakan kombinasi antara bahasa Portugis *mangue* dan bahasa Inggris *grove*. Dalam bahasa Inggris kata *mangrove* digunakan baik untuk komunitas tumbuhan yang tumbuh di daerah jangkauan pasang-surut maupun untuk individu-individu spesies tumbuhan yang menyusun komunitas tersebut. Sedangkan dalam bahasa Portugis kata *mangrove* digunakan untuk menyatakan individu spesies tumbuhan, dan kata *mangal* untuk menyatakan komunitas tumbuhan tersebut (<http://wikipedia.com>, diunduh tanggal 15-08-2013, jam 13.32 WIB).

Menurut Aksornkoe (1993) dan Snedaker (1978) dalam Kusmana (2009), hutan *mangrove* adalah tumbuhan halofit yang hidup di sepanjang areal pantai yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi sampai daerah mendekati ketinggian rata-rata air laut, mengandung garam dan bentuk lahan berupa pantai dengan reaksi tanah an-aerob, dan tumbuh di daerah tropis

dan sub-tropis. *Mangrove* banyak dijumpai di wilayah pantai yang terlindung dari gempuran ombak dan daerahnya landai. *Mangrove* tumbuh optimal di wilayah pantai yang memiliki muara sungai besar dan delta yang aliran airnya banyak mengandung lumpur. *Mangrove* mempunyai fungsi penting dalam melindungi daerah pantai dari gelombang besar dan abrasi pantai.

Berdasarkan Peta kawasan hutan Provinsi Bengkulu Tahun 1998 yang dikeluarkan oleh Dinas Kehutanan Provinsi Bengkulu, kawasan pesisir Kabupaten Bengkulu Tengah tidak terdapat hutan jenis *mangrove*. Namun hasil penelusuran lokasi penelitian di sempadan pantai Kecamatan Pondok Kelapa ditemukan beberapa tanaman *mangrove* dengan jenis *Avicennia* sp. Akibat terjangan gelombang arus di lokasi yang semakin besar sehingga wilayah yang ditumbuhi oleh tanaman *mangrove* semakin berkurang. Lokasi yang sangat baik untuk pertumbuhan *mangrove* adalah memiliki substrat berlumpur dan stabil, karena substrat berlumpur mengandung banyak air serta nutrisi atau zat hara yang sangat dibutuhkan.

Lima puluh persen hutan *mangrove* yang terdapat di sepanjang 525 km pantai Barat telah mengalami kerusakan (Santoso, 2007). Diperkirakan luas hutan *mangrove* di sepanjang pantai Barat sekitar 5.250 ha. Hutan *mangrove* yang relative masih utuh adalah di pulau Enggano, sebagian besar tersebar di bagian pantai sebelah timur Pulau Enggano. Hutan *mangrove* di Enggano mempunyai ketebalan antara 50-1500 m. Kondisi *mangrove* maupun tanaman pelindung pantai lainnya di Kecamatan Pondok Kelapa saat ini mengalami kerusakan yang parah. Hal ini terlihat dari pengalihan fungsi lahan di sekitar muara sungai yang tergantikan dengan perkebunan kelapa sawit milik penduduk lokal.

## 2. Kawasan Konservasi

Kawasan konservasi di Kabupaten Bengkulu Tengah meliputi cagar alam Danau Dendam Tak Sudah (DDTS) , hutan wisata Sungai Suci dan Taman Buru Semidang Bukit Kabu (TBSBK). Kawasan cagar alam Danau Dendam Tak Sudah berada di wilayah Kota Bengkulu dan Bengkulu Tengah. Pada tahun 2010 kondisi kawasan konservasi ini telah mengalami kerusakan sekitar 15 hektar akibat perambahan hutan. Sebagian lain mengalami kerusakan infrastruktur yang disebabkan oleh sebagian jalan di kawasan ini digunakan sebagai jalur kendaraan yang bermuatan di atas 10 ton (Bengkulu Tengah Dalam Angka, 2011).

Kawasan hutan wisata Sungai Suci terletak di Desa Pasar Pedati, Kecamatan Pondok Kelapa Kabupaten Bengkulu Tengah. Sungai Suci ini merupakan salah satu objek wisata yang ramai dikunjungi. Lokasi Sungai Suci berada di pinggir pantai dengan struktur tebing batuan yang tidak terlalu tinggi dan ombak yang besar menambah indah pemandangan sehingga semakin menarik wisatawan untuk berkunjung ke lokasi hutan wisata Sungai Suci ini. Namun akibat kurangnya pengawasan terhadap perawatan dan pelestarian di kawasan ini, sebagian jalan sepanjang objek wisata ini rusak oleh aktivitas manusia di tepi tebing. Tanaman yang berlokasi di hampir sepanjang tepi tebing ditebangi untuk dibangun pondok-pondok peristirahatan sebagai tambahan ekonomi bagi warga setempat. Selain itu, konstruksi bangunan pelindung pantai juga sudah layak diperbaharui akibat terjangan ombak yang besar di kawasan hutan wisata Sungai Suci ini.

Kawasan Taman Buru Semidang Bukit Kabu terletak di Kecamatan Taba Penanjung Kabupaten Bengkulu Tengah. Mengacu pada SK Mentan nomor 186/ Kpts/ 1973, SK Menhut Nomor 383/ Kpts/ 1973 dan SK Menhut nomor 420/ Kpts II/ 1999, Taman Buru Semidang Bukit Kabu memiliki luas 900 hektar tetapi 700 hektar sudah dirusak perambah, yang tersisa tercatat hanya

200 hektar saja. Para perambah menanami kawasan tersebut dengan pohon kopi, karet dan sawit sehingga keadaan hutan menjadi rusak padahal daerah tersebut merupakan kawasan hewan yang dilindungi seperti harimau, kijang berbagai jenis burung.

## B. Identifikasi Jenis Kerusakan Pantai Kecamatan Pondok Kelapa

Garis pantai Kabupaten Bengkulu Tengah memiliki garis pantai sekitar 35 km. Penelitian dilakukan di Kecamatan Pondok Kelapa dengan menyusuri sekitar 17 km garis pantai dimulai dari selatan ke arah utara. Selama penyusuran ditemukan 3 (tiga) lokasi kerusakan pantai sebagai berikut:

### 1. Hutan Wisata Sungai Suci

Hutan wisata Sungai Suci merupakan salah satu wilayah konservasi di Kabupaten Bengkulu Tengah. Kawasan ini terletak di Desa Pasar Pedati Kecamatan Pondok Kelapa. Sebagai objek tujuan wisata daerah, hutan wisata Sungai Suci ramai dikunjungi terutama pada hari libur, baik oleh pasangan muda maupun keluarga. Pemandangan yang indah terutama saat matahari terbenam dengan morfologi daerah berbukit dan ombak yang besar menjadi daya tarik wisatawan.



**Gambar 3.1**

Hutan Wisata Sungai Suci

(Sumber : Dokumen Fadilah, 18-05-2013 jam. 09.54 WIB)

Hingga saat ini kelestarian kawasan hutan wisata Sungai Suci semakin memprihatinkan. Proses abrasi dan kerusakan

pantai terjadi di hampir sepanjang pantai objek wisata ini. Hal ini disebabkan oleh terjangan ombak pada tebing batuan di sepanjang lokasi objek wisata dan hampir mencapai ketinggian 2 (dua) meter dari dasar tebing pada keadaan pasang.

Abrasi terparah terjadi pada dengan koordinat S : 030 43' 24,8" dan E : 1020 14' 20,6". Pada titik ini abrasi hampir memutuskan jembatan jalan daerah yang digunakan sebagai jalan perlewatan pengunjung objek wisata Sungai Suci, padahal akses masuk ke lokasi wisata Sungai Suci jumlahnya sangat terbatas dan kondisinya kurang baik.

Permukiman dan fasilitas umum berada terlalu dekat dengan pantai. Sekitar 1 hingga 5 rumah berada di sempadan pantai dalam jangkauan gelombang. Fasilitas umum tersebut berukuran kecil, dapat dikelompokkan sebagai layanan kecil. Pondasi pada bangunan terjadi gerusan akibat gempuran gelombang. Bangunan masih bisa berfungsi dengan baik, dengan persentase 75 - 100 % (Fadilah, 2013).

Kondisi tebing lemah, sebagian tidak tahan terhadap gempuran gelombang. Komposisi batuan pada tebing di pinggir pantai hutan wisata Sungai Suci didominasi dengan batuan cadas yang berbatu lempung sehingga mudah hancur apabila terjangkau oleh gelombang yang besar. Garis pantai di hutan wisata Sungai Suci mundur, hal ini terlihat dari berkurangnya area daratan atau kawasan pantai. Kecepatan abrasi di pantai Desa Pekik Nyaring yang berbatasan dengan sebelah utara Desa Pasar Pedati ini berkisar antara 0,5 hingga 1 meter per tahun (Suwarsono, 2011).

## 2. Muara Sungai Air Bengkulu

Pada Muara Sungai Air Bengkulu terjadi erosi akibat limpasan gelombang yang besar dan adanya alih fungsi lahan di sekitar muara dari hutan bakau/ *mangrove* menjadi kebun sawit milik penduduk. Dengan keberadaan kebun sawit ini menyebabkan

daya ikat tanah/ lahan di sekitar muara menjadi menurun sehingga proses erosi dapat terjadi dengan mudah. Erosi pantai dapat terjadi akibat tidak stabilnya suplai dan kehilangan sedimen sepanjang pantai (Setyandito, 2007).

Salah satu lokasi yang cukup parah adalah pada koordinat S : 030 41' 01,6" dan E : 1020 14' 15,9". Pada titik ini ketebalan pengikisan akibat erosi mencapai  $\pm 63$  cm, sekitar di atas lutut orang dewasa. Area perkebunan sawit milik penduduk lokal ini berada terlalu dekat dengan pantai, lokasinya menyebar di sempadan pantai.

Di titik lain ditemukan pula beberapa tanaman bakau/ *mangrove* yang masih tersisa dengan kerapatan yang sangat jarang, letaknya di pinggir muara Sungai Air Bengkulu. Berdasarkan karakter morfologinya, jenis *mangrove* di lokasi tersebut adalah *Avicennia* sp (Fadilah, 2013). Alasan penduduk setempat mengalih fungsikan tutupan lahan pelindung pantai tersebut menjadi perkebunan sawit disebabkan nilai jual buah sawit yang semakin meningkat di wilayah Bengkulu, yaitu rata-rata Rp 1.500,- per kilogram. Harga jual ini dirasakan masyarakat setempat dapat meningkatkan perekonomian keluarga sehingga mata pencaharian sebelumnya sebagai nelayan semakin ditinggalkan.



**Gambar 3.2**

Muara A Sungai Air Bengkulu

*(Sumber : Dokumen Fadilah, 19-05-2013 jam 10.31 WIB)*







**FAKTOR HIDRO-OSEANOGRAFI PENYEBAB  
KERUSAKAN PANTAI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA**



## **BAB IV**

### **FAKTOR HIDRO-OSEANOGRAFI PENYEBAB KERUSAKAN PANTAI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA**

#### **A. Analisis Hidro-Oseanografi**

##### **1. Kedalaman Perairan dan Kelerengan Pantai**

Tipe daratan pantai di kawasan pesisir Kabupaten Bengkulu Tengah merupakan litologi dari endapan undak sungai dan batuan sedimen. Geomorfologinya terdiri dari satuan dataran rendah aluvial dan pantai (Peta RBI Tahun 2000, Bakosurtanal). Panjang garis pantai di Kabupaten Bengkulu Tengah berkisar 35 km.

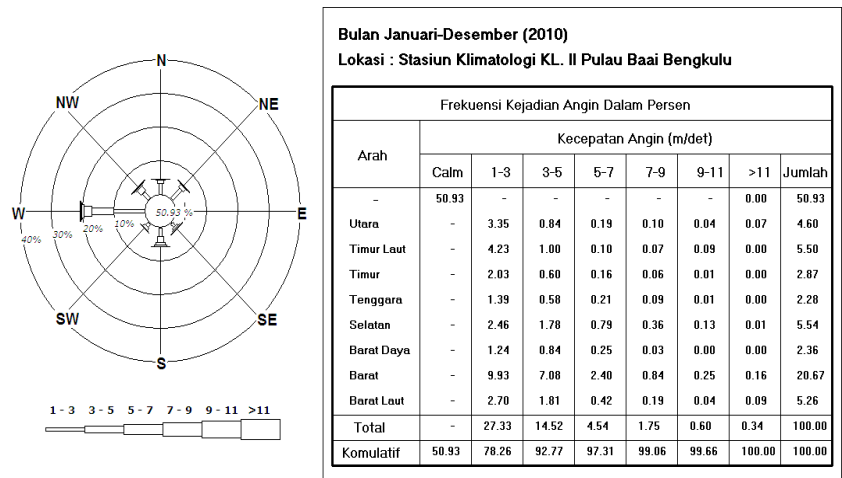
Kemiringan lereng pantai rata-rata adalah  $4^{\circ}$ - $7^{\circ}$ , meliputi pematang pantai dan undak pantai. Satuan dataran pantai terdiri dari pasir halus hingga pasir kerikilan, butiran pasir bersifat lepas. Jenis pantai seperti ini dapat dikategorikan sebagai pantai berpasir.

Kedalaman dasar laut (bathimetri) di Kabupaten Bengkulu Tengah bervariasi antara 3 hingga 138 meter dengan pola kontur bathimetri rata-rata sejajar dengan garis pantai, berdasarkan peta bathimetri terbaru yang diterbitkan oleh Dinas Hidro-oseanografi TNI AL Tahun 2011. Morfologi di sekitar pantai cukup landai, dapat dilihat dari kontur di dekat pantai lebih rapat dibandingkan dengan daerah lepas pantai. Sedangkan di lepas pantai pola kontur lebih renggang dan relatif sejajar, serta di beberapa tempat memiliki kontur dengan angka kembali naik, berupa tonjolan-tonjolan yang tidak terlalu tinggi. Hal ini menunjukkan morfologi yang relatif lebih landai dan bergelombang. Lokasi tonjolan-tonjolan ini merupakan zona pecah gelombang (*Breaker Zone*) yang menyebabkan gelombang di zona ini lebih besar dari sekitarnya.

## 2. Analisis Angin

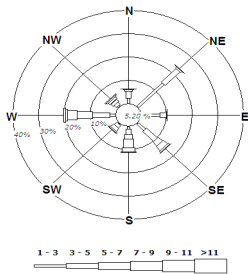
Arah dan kecepatan angin di Kabupaten Bengkulu Tengah diketahui dari pengolahan data angin dari tahun 2008-April 2013 yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Klimatologi KL II. Pulau Baai Bengkulu, namun dari data yang diperoleh tersebut, data angin yang bisa dilakukan pengolahan hanya dari tahun 2010 hingga 2013. Jumlah data angin dalam tabel disajikan dalam bentuk diagram yang disebut mawar angin. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pembacaan dan interpretasi data angin di Kabupaten Bengkulu Tengah.

Frekuensi kejadian angin di perairan Bengkulu tahun 2010 hingga 2013 disajikan dalam Gambar 4.1; 4.2; 4.3C; dan 4.4 (Sumber : Pengolahan Data Angin Tahun 2010 - 2013 Stasiun Klimatologi Kl. II Pulau Baai).



**Gambar 4.1**

Kondisi Angin Bengkulu Bulan Januari-Desember 2010

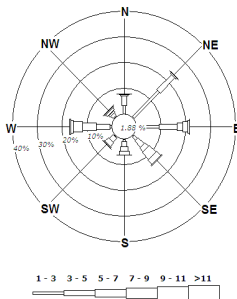


**Bulan Januari-Desember (2011)**  
**Lokasi : Stasiun Klimatologi KL. II Pulau Baai Bengkulu**

Arah	Kecepatan Angin (m/det)						Jumlah
	Calm	1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	
	>11						
-	5.20	-	-	-	-	-	0.00
Utara	-	2.30	2.87	0.84	0.25	0.08	0.02
Timur Laut	-	14.10	7.99	0.73	0.21	0.02	0.00
Timur	-	7.27	2.46	0.22	0.08	0.02	0.00
Tenggara	-	3.93	6.00	2.27	2.28	0.73	0.07
Selatan	-	1.06	2.27	1.90	3.75	1.76	0.12
Barat Daya	-	0.28	1.49	1.60	0.55	0.03	0.00
Barat	-	2.16	6.90	5.97	3.65	0.94	0.50
Barat Laut	-	0.71	1.25	1.24	1.12	0.44	0.26
Total	-	31.89	31.24	14.78	11.90	4.02	0.97
Kumulatif	5.20	37.09	68.32	83.11	95.00	99.03	100.00

**Gambar 4.2**

Kondisi Angin Bengkulu Bulan Januari-Desember 2011

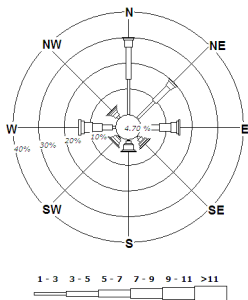


**Bulan Januari-Desember (2012)**  
**Lokasi : Stasiun Klimatologi KL. II Pulau Baai Bengkulu**

Arah	Kecepatan Angin (m/det)						Jumlah
	Calm	1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	
	>11						
-	1.88	-	-	-	-	-	0.00
Utara	-	3.15	3.75	0.50	0.34	0.04	0.07
Timur Laut	-	14.54	8.24	0.47	0.13	0.02	0.00
Timur	-	9.08	7.19	2.33	1.89	0.75	0.09
Tenggara	-	1.95	3.30	1.94	3.67	2.40	0.20
Selatan	-	0.75	1.99	1.78	1.40	0.17	0.01
Barat Daya	-	0.27	2.09	2.02	0.44	0.03	0.00
Barat	-	0.84	5.29	5.54	3.85	0.96	0.55
Barat Laut	-	0.47	1.20	0.83	0.95	0.45	0.17
Total	-	31.05	33.06	15.41	12.68	4.83	1.09
Kumulatif	1.88	32.93	65.99	81.41	94.09	98.91	100.00

**Gambar 4.3**

Kondisi Angin Bengkulu Bulan Januari-Desember 2012



**Bulan Januari-April (2013)**  
**Lokasi : Stasiun Klimatologi KL. II Pulau Baai Bengkulu**

Arah	Kecepatan Angin (m/det)						Jumlah
	Calm	1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	
	>11						
-	4.70	-	-	-	-	-	0.00
Utara	-	13.64	12.67	2.59	0.81	0.10	0.07
Timur Laut	-	9.17	7.80	1.85	0.77	0.00	0.03
Timur	-	2.79	4.27	4.47	2.28	0.77	0.44
Tenggara	-	1.04	1.18	0.40	0.77	0.67	0.10
Selatan	-	0.30	0.84	0.71	1.98	0.34	0.30
Barat Daya	-	0.27	0.57	0.97	0.97	0.20	0.17
Barat	-	1.21	4.10	3.63	3.33	1.34	0.97
Barat Laut	-	1.11	1.34	0.81	0.67	0.37	0.10
Total	-	29.54	32.76	15.42	11.59	3.80	2.18
Kumulatif	4.70	34.24	67.00	82.43	94.02	97.82	100.00

**Gambar 4.4**

Kondisi Angin Bengkulu Bulan Januari-April 2013

Berdasarkan gambar-gambar di atas, diketahui bahwa kondisi angin di perairan Bengkulu pada tahun 2010 dominan rata-rata bertiup dari arah barat dengan kecepatan 1-3 m/detik; tahun 2011 angin dominan bertiup dari arah timur laut dengan kecepatan 1-3 m/detik; tahun 2012 total angin bertiup dari arah timur laut dengan kecepatan 3-5 m/detik; dan pada bulan Januari hingga April 2013 angin dominan bertiup dari arah utara dengan kecepatan 3-5 m/detik.

Klasifikasi kecepatan berdasarkan skala Beaufort (Tabel 10), yaitu kriteria angin sedang (11-16 knot), angin agak kuat (17-21 knot), dan angin kuat (21-27 knot). Pada perairan Bengkulu kriteria angin digolongkan ke dalam angin sepoi (1-3 knot), di mana keadaan laut menunjukkan riak yang mulai kelihatan tetapi tidak berbusa dan angin sangat lemah (3-5 knot), di mana keadaan laut terjadi riak di seluruh permukaan air, tetapi puncaknya licin dan tidak terputus. (1 knot = 0,5 m/detik)

Analisis data angin selama 5 (lima) tahun diperoleh arah dan kecepatan angin untuk setiap bulannya pada lokasi penelitian yang berpotensi membangkitkan gelombang. Pada penelitian ini analisis data angin tidak menunjukkan adanya pembangkitan gelombang yang signifikan, hal ini terlihat pada kecepatan rata-rata angin setiap tahun yang digolongkan pada angin sangat lemah dan angin lemah. Angin yang signifikan menimbulkan gelombang pecah sesuai Skala Beaufort adalah angin sedang, angin agak kuat dan angin kuat.

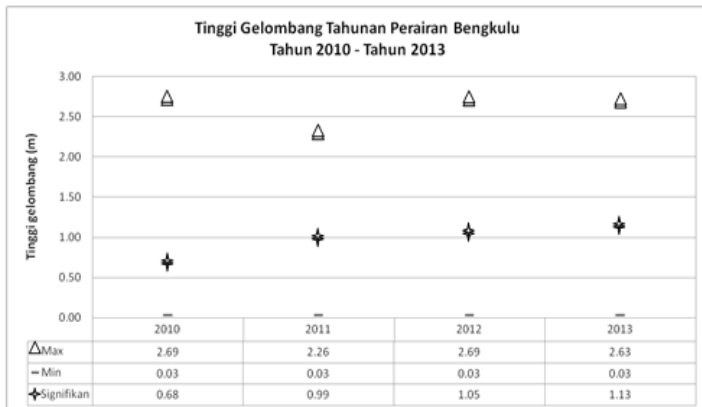
Sifat angin kadang-kadang bisa sangat variabel, yaitu terjadi perubahan sebelum kondisi gelombang stasioner telah dicapai. Kondisi ideal dalam pembangkitan gelombang adalah dengan mengasumsikan bahwa hembusan angin di atas permukaan laut konstan. Dalam pendekatan kondisi ideal, gelombang hanya tergantung pada kecepatan angin, *fetch*, dan waktu yang berlalu sejak angin mulai berhembus (durasi) (Holtuijsen, 2007).

Kecepatan angin masih dianggap konstan jika perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/s) terhadap kecepatan rerata dan arah angin masih bisa dianggap konstan apabila perubahan-perubahannya tidak lebih dari 150 (Triatmodjo, 1999).

### 3. Analisis Gelombang

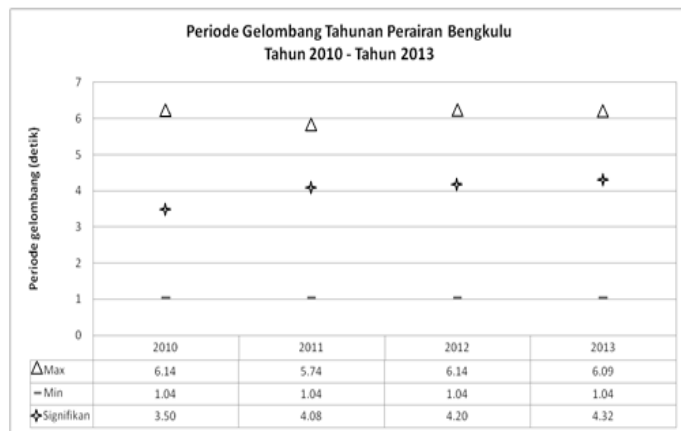
Analisis gelombang berasal dari data angin dalam jangka waktu yang panjang, kemudian dilakukan analisis frekuensi sehingga didapatkan tinggi dan periode gelombang. Data angin diperoleh dari Stasiun Klimatologi KL. II Pulau Baai Bengkulu berupa data angin hasil pengukuran selama 5 tahun (2008 - 2013). Data ini dipergunakan untuk peramalan gelombang, menghitung perkiraan tinggi gelombang rata-rata dan perkiraan tinggi gelombang maksimum. Untuk memudahkan pembacaan, data gelombang disajikan dalam bentuk tabel dan diagram mawar. Analisis gelombang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Wind And Wave Rose*.

Dari gambar di atas terlihat data angin yang dapat digunakan hanya dari tahun 2010 hingga 2013. Hal ini dikarenakan data angin pada tahun 2008 dan 2009 tidak dapat dilakukan pengolahan. Perkiraan tinggi gelombang maksimum setiap tahun tersebut tertera pada Tabel 4.1 Namun terdapat sumber perkiraan tinggi gelombang yang dari tahun 1992 hingga 2013 yang diperoleh dari Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan Kelas III Pulau Baai Bengkulu, tertera dalam Tabel 4.2.



**Gambar 4.5**

Tinggi Gelombang Perairan Bengkulu Tahun 2010-2013  
 (Sumber: Pengolahan Data Angin Stasiun Klimatologi Kl. II P. Baai Bengkulu)



**Gambar 4.6**

Periode Gelombang Perairan Bengkulu Tahun 2010-2013  
 (Sumber: Pengolahan Data Angin Stasiun Klimatologi Kl. II P. Baai Bengkulu)

Analisis berdasarkan tinggi gelombang maksimum dipakai apabila kondisi elevasi dasar lautan lebih dangkal atau kedalamannya lebih kecil, sehingga gelombang yang menjalar dari laut dalam telah pecah sebelum mencapai tepian pantai (Shuhendry, 2004).



**Tabel 4.1**  
Perkiraan Tinggi Gelombang Maksimum Perairan Bengkulu  
Tahun 2010-2013

No	Tahun	Perkiraan Tinggi Gelombang Maksimum H (m)
1	2010	0,68
2	2011	0,99
3	2012	1,05
4	2013	1,13

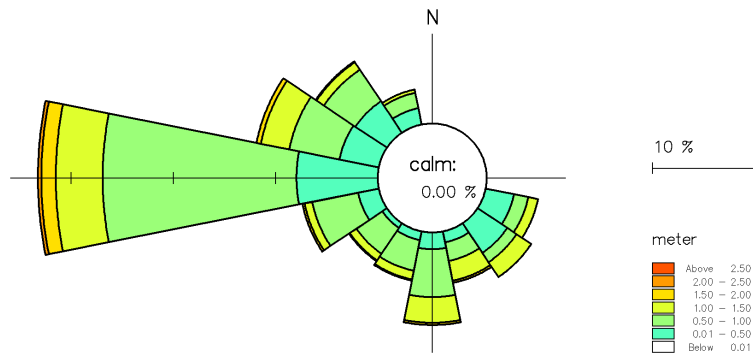
Sumber: Pengolahan Data Angin Stasiun Klimatologi Kl. II P. Baai Bengkulu

**Tabel 4.2**  
Perkiraan Tinggi Gelombang Maksimum Perairan Bengkulu  
Tahun 1992-2013

Bulan/ Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Ags	Sept	Okt	Nov	Des
1992	0.274	0.947	0.433	0.542	0.642	1.896	0.313	0.982	0.438	0.334	0.526	0.740
1993	0.789	0.303	0.155	0.465	0.389	0.538	0.296	0.721	0.414	--	--	--
1994	0.395	0.363	0.471	0.992	0.088	--	1.779	0.758	1.119	2.789	1.336	1.121
1995	1.266	0.321	0.707	1.118	0.914	0.658	0.335	0.857	0.695	0.359	0.471	--
1996	--	--	--	0.140	0.351	0.324	0.583	1.201	0.837	0.482	0.722	0.644
1997	0.516	0.571	0.315	0.349	0.405	1.137	1.445	1.315	1.658	1.350	1.130	0.998
1998	0.577	0.326	0.288	0.669	0.587	0.440	0.597	0.364	0.362	0.878	1.093	1.355
1999	0.998	1.180	0.521	1.249	0.837	1.050	1.003	2.047	1.583	0.780	0.667	0.212
2000	1.180	0.837	--	--	0.276	1.279	1.113	0.536	1.561	2.200	0.911	0.826
2001	0.535	1.061	1.221	0.682	0.526	0.682	0.847	1.495	1.234	0.538	0.538	0.425
2002	0.501	0.453	0.338	0.632	1.180	0.851	1.180	--	1.366	0.837	0.728	0.460
2003	2.195	2.195	1.050	0.498	1.177	1.177	1.177	1.050	1.445	2.195	2.195	1.050
2004	1.050	1.882	2.358	0.498	0.498	1.050	0.701	1.445	1.177	1.050	0.701	0.928
2005	1.177	1.177	1.177	0.701	1.050	1.882	1.050	1.050	2.195	1.050	1.882	1.445
2006	1.050	1.882	2.870	1.308	0.597	1.308	0.928	1.177	1.445	1.308	1.308	1.050
2007	0.928	2.870	1.882	1.050	1.177	1.445	1.177	1.445	2.036	1.882	1.308	2.195
2008	2.036	3.048	1.050	1.882	1.050	0.597	1.050	1.050	1.050	1.177	1.177	1.050
2009	1.050	0.701	1.882	1.050	3.048	1.050	1.050	1.050	1.050	1.445	2.358	1.308
2010	1.882	0.597	0.701	0.701	1.308	0.701	0.701	1.177	0.928	3.416	1.308	3.048
2011	2.195	1.050	3.416	0.701	1.882	1.050	2.195	1.177	1.445	--	0.928	1.050
2012	1.882	0.597	2.036	0.928	0.597	0.701	1.177	0.928	0.405	0.701	0.701	1.050
2013	2.358	2.195	0.928	0.701	--	--	--	--	--	--	--	--

Sumber : Laporan Desain Breakwater, 2013

Hasil pengolahan gelombang tahun 2010 hingga 2012 ditampilkan dalam *wave rose* untuk memudahkan dalam pembacaan (Lampiran 2). Berikut ini *wave rose* perairan Bengkulu Tahun 2013



**Gambar 4.7**

Wave Rose Perairan Bengkulu Tahun 2013

(Sumber: Pengolahan Data Angin Stasiun Klimatologi Kl. II P. Baai Bengkulu)

4. Penentuan tinggi dan kedalaman gelombang pecah:

Tinggi gelombang dalam perjalanannya menuju pantai mengalami perubahan bentuk akibat *refleksi* dan pendangkalan, sehingga mempengaruhi koefisien *refraksi*  $K_r$  dan koefisien pendangkalan  $K_s$ . Dengan asumsi bahwa garis pantai relatif lurus, sehingga peta bathimetrinya juga relatif lurus dan sejajar. Oleh karena itu di dalam perhitungan analisis *refraksi*, koefisien *refraksi* maksimum  $K_r = 1$ . Diketahui  $H_o = 2,69$  meter, sehingga tinggi gelombang di laut dalam  $H'_o$  adalah

$$H'_o = K_r H_o$$

$$H'_o = 1 \times 2,69 \text{ meter} = 2,69 \text{ meter}$$

Selanjutnya dicari tinggi gelombang pecah,  $T = 6,14$  s.

$$\frac{H'_o}{gT^2} = \frac{2,69m}{9,8m/s^2 \cdot 6,14s} = 0,00728$$

Dengan menggunakan Gambar 4.8, dan kemiringan dasar laut  $m = 0,02$  (Atlas Sumber daya Wilayah Pesisir dan Laut Provinsi Bengkulu dalam Shuhendry, 2004), maka diperoleh nilai tinggi gelombang pecah sebagai berikut:

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,05$$

$$H_b = 1,05 \times 2,69 \text{ meter} = 2,825 \text{ meter}$$

Kemudian dicari kedalaman gelombang pecah dengan persamaan berikut atau dengan cara yang sama dengan penentuan tinggi gelombang pecah, tetapi menggunakan Gambar 4.9.

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b / gT^2)}, \text{ dimana}$$

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) = 13,83$$

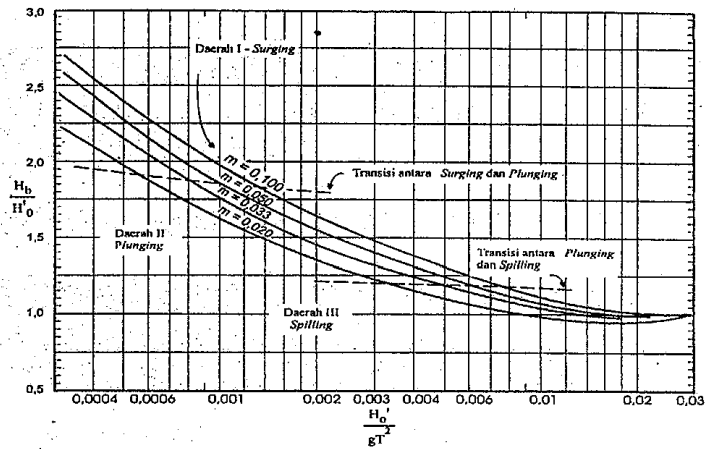
$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} = 0,919$$

Sehingga

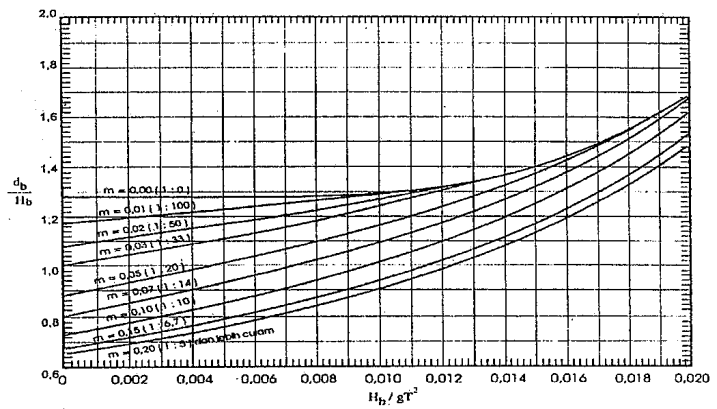
$$\frac{d_b}{H_b} = 1,23$$

$$d_b = 1,23 \times 2,825 \text{ meter} = 3,47 \text{ meter}$$

Jadi, tinggi dan kedalaman gelombang pecah adalah 2,825 meter dan 3,47 meter. Pengertiannya adalah pada gelombang yang datang dengan ketinggian 2,69 meter akan pecah pada tinggi gelombang 2,825 meter dengan kedalaman gelombang pecah pada 3,47 meter, akibat pengaruh *refraksi* dan pendangkalan.



**Gambar 4.8**  
 Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah  
 (Sumber: Triatmodjo, 1999)



**Gambar 4.9**  
 Grafik Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah  
 (Sumber: Triatmodjo, 1999)

Kontribusi penyebab abrasi oleh gelombang angin dapat diketahui dengan menghitung tenaga yang dihasilkannya. Dengan  $T = 6,14$  s dan  $H'_0 = 2,69$  meter, maka:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left( \frac{\rho g (H'_0)^2}{8} \right) C_0, \rho \text{ adalah rapat massa air laut (kg/m}^3\text{)}$$

$$L_0 = 1,56T^2 = 58,81 \text{ meter}$$

$$C_0 = \frac{L_0}{T} = 9,578 \text{ meter}$$

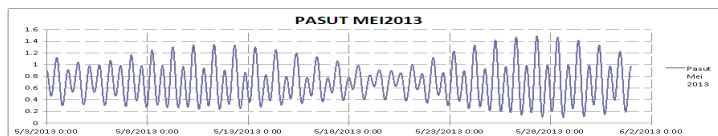
Sehingga :

$$P = \frac{1}{2} \left( \frac{1000 \times 9,8 \times (2,69)^2}{8} \right) \times 9,578 = 42.450,76 \text{ Nm/s}$$

Hal ini berarti besarnya tenaga gelombang yang dihempaskan ke daratan akibat gelombang angin adalah sebesar 42.450,76 Nm/s tiap meter panjang puncak gelombang.

#### 5. Analisis Pasang Surut

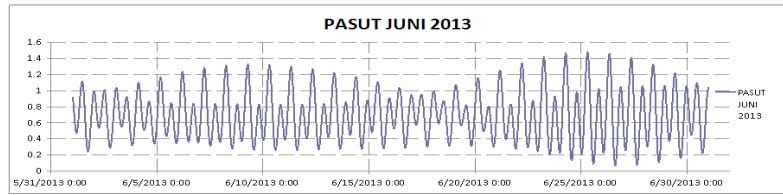
Data berupa data pasang surut dalam kurun waktu 2 (dua) bulan, yaitu bulan Mei dan bulan Juni 2013 dengan koordinat stasiun pengamatan pada  $03^\circ 47' 30'' \text{ S} - 102^\circ 15' 04'' \text{ T}$ , terletak di stasiun Pulau Baai Bengkulu. Data pasang surut tersebut dihitung dengan Metode Admiralty untuk mengetahui tipe pasang surut di perairan Bengkulu Tengah dan menentukan elevasi muka air lautnya. Kondisi pasang surut di perairan Bengkulu Tengah ditunjukkan dalam Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



**Gambar 4.10**

Kondisi Pasang Surut Perairan Bengkulu Tengah Bulan Mei 2013

(Sumber: Pengolahan Data Pasut Mei 2013 Stasiun  
Klimatologi Kl. II Pulau Baai)



**Gambar 4.11**

Kondisi Pasang Surut Perairan Bengkulu Tengah Bulan Juni 2013  
(Sumber: Pengolahan Data Pasut Juni 2013 Stasiun Klimatologi Kl. II Pulau Baai)

**Tabel 4.3**

Nilai Komponen Harmonik Pasang Surut Bulan Mei 2013

	<b>So</b>	<b>M<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>O<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>M<sub>4</sub></b>	<b>MS<sub>4</sub></b>
<b>A cm</b>	70	33	15	8	3	16	7	5	1	0
<b>g</b>		124	207	72	207	263	210	263	320	109

Sumber: Pengolahan Data Pasut Mei 2013  
Stasiun Klimatologi Kl. II Pulau Baai

**Tabel 4.4**

Nilai Komponen Harmonik Pasang Surut Bulan Juni 2013

	<b>So</b>	<b>M<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>O<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>M<sub>4</sub></b>	<b>MS<sub>4</sub></b>
<b>A cm</b>	70	33	15	8	3	16	7	5	1	0
<b>g</b>		149	208	116	208	262	235	262	8	94

Sumber : Pengolahan Data Pasut Juni 2013  
Stasiun Klimatologi Kl. II Pulau Baai

Dengan komponen pasang surut di atas dapat ditentukan tipe pasang surut, melalui perhitungan nilai Formzahl. Formzahl adalah bilangan untuk menentukan tipe pasang surut. Bilangan Formzahl memiliki range tertentu untuk menentukan tipe pasang surut suatu wilayah. Range Formzahl dijelaskan dalam Tabel 4.5. Rumus menentukan bilangan Formzahl sebagai berikut:

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

Keterangan:

$F$  : bilangan Formzahl

$O_1$  : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama karena gaya tarik bulan

$K_1$  : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama karena gaya tarik bulan dan matahari

$M_2$  : amplitudo komponen pasang surut ganda utama karena gaya tarik bulan

$S_2$  : amplitudo komponen pasang surut ganda utama karena gaya tarik matahari

**Tabel 4.5**

Tipe Pasang Surut Berdasarkan Bilangan Formzahl

Nilai Formzahl	Tipe Pasang Surut	Keterangan
$0,00 < F \leq 0,25$	Setengah Harian (Semidiurnal/Ganda)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.</li> <li>✓ Bentuk gelombang simetris.</li> </ul>
$0,25 < F \leq 1,50$	Campuran dengan tipe ganda lebih menonjol (Condong Ganda)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.</li> <li>✓ Bentuk gelombang pasang pertama tidak sama dengan gelombang pasang kedua (asimetris) dengan bentuk condong semi diurnal.</li> </ul>
$1,50 < F \leq 3,00$	Campuran dengan tipe tunggal lebih menonjol (Condong Tunggal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.</li> <li>✓ Bentuk gelombang pasang pertama tidak sama dengan gelombang pasang kedua (asimetris) dengan bentuk condong diurnal.</li> </ul>
$F > 3,00$	Harian (Tunggal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dalam sehari terjadi sekali pasang dan sekali surut.</li> </ul>

Sumber: Poerbondono (2005) dan Hidayat (2010)

Dengan menggunakan rumus di atas, diperoleh nilai Formzahl sebagai berikut :

- ✓ Bilangan Formzahl Bulan Mei = 0,4818.
- ✓ Bilangan Formzahl Bulan Juni = 0,4771.

Maka dapat diketahui bahwa tipe pasang surut di Bengkulu Tengah adalah Tipe Campuran Condong Ganda (*Mix Tide Prevailing Semidiurnal*)

Elevasi muka air pasang surut yang cukup penting yaitu muka air tinggi tertinggi dan muka air rendah terendah. Muka air tinggi tertinggi sangat diperlukan untuk perencanaan bangunan pantai, sedangkan muka air rendah terendah sangat diperlukan untuk perencanaan pembangunan pelabuhan.

Elevasi muka air pasang surut dapat ditentukan menggunakan komponen pasang surut melalui perhitungan rumus-rumus sebagai berikut:

$$MSL = S_0$$

$$HHWL = S_0 + Z$$

$$MHWL = Z_0 + (M_2 + S_2)$$

$$LLWL = S_0 - (M_2 + S_2 + N_2 + K_1 + O_1 + P_1 + M_4 + MS_4)$$

$$MLWL = Z_0 - (M_2 + S_2)$$

$$Z_0 = M_2 + S_2 + N_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1 + M_4 + MS_4$$

**Tabel 4.6**

Elevasi Muka Air Pasang Surut Bulan Mei 2013

No	Jenis Elevasi Muka Air	Elevasi (m)
1	Muka Air Laut Rerata ( <i>Mean Sea Level, MSL</i> )	70
2	Muka Air Tinggi Tertinggi ( <i>Higher High Water Level, HHWL</i> )	158
3	Muka Air Tinggi Rerata ( <i>Mean High Water Level, MHWL</i> )	135



4	Muka Air Rendah Terendah ( <i>Lower Low Water Level</i> )	-18
5	Muka Air Rendah Rerata ( <i>Mean Low Water Level, MLWL</i> )	41

Sumber: Pengolahan Data Pasut Mei 2013  
Stasiun Klimatologi Kl. II Pulau Baai

**Tabel 4.7**

Elevasi Muka Air Pasang Surut Bulan Juni 2013

No	Jenis Elevasi Muka Air	Elevasi (m)
1	Muka Air Laut Rerata ( <i>Mean Sea Level, MSL</i> )	70
2	Muka Air Tinggi Tertinggi ( <i>Higher High Water Level, HHWL</i> )	158
3	Muka Air Tinggi Rerata ( <i>Mean High Water Level, MHWL</i> )	136
4	Muka Air Rendah Terendah ( <i>Lower Low Water Level</i> )	-18
5	Muka Air Rendah Rerata ( <i>Mean Low Water Level, MLWL</i> )	40

Sumber: Pengolahan Data Pasut Juni 2013  
Stasiun Klimatologi Kl. II Pulau Baai

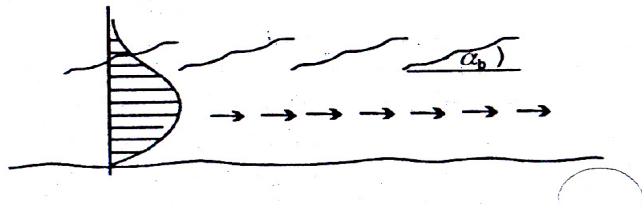
#### 6. Arus Sepanjang Pantai (*Longshore Current*)

Gelombang yang menjalar menuju pantai membawa massa air dan momentum dalam arah penjalaran gelombang. Transpor massa dan momentum tersebut menimbulkan arus di daerah dekat pantai. Karakteristik gelombang yang melintas di *surf zone* dan *swash zone* adalah yang paling penting di dalam analisis proses pantai, karena gerak massa air di daerah ini disertai dengan terangkutnya sedimen.

Arus sepanjang pantai dapat ditimbulkan oleh gelombang yang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai. Arus ini terjadi di daerah antara gelombang pecah dan garis

pantai. Parameter terpenting di dalam menentukan kecepatan arus sepanjang pantai adalah tinggi dan sudut datang gelombang pecah. Gelombang pecah yang membentuk sudut terhadap garis pantai ( $\alpha_b > 5^\circ$ ) akan menimbulkan arus sejajar pantai di sepanjang pantai (Triatmodjo, 1999).

Gelombang datang membentuk sudut ( $\alpha_b$  besar)



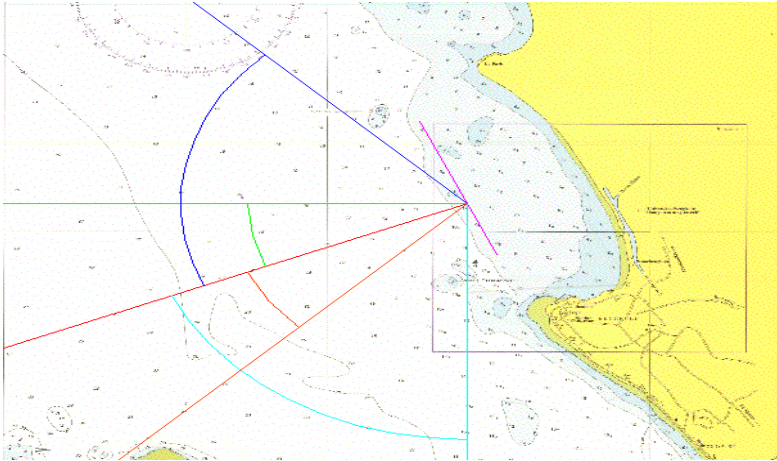
Gambar 4.12

Gelombang Datang Membentuk Sudut  $\alpha_b$  Besar

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Distribusi kecepatan arus sepanjang pantai mempunyai bentuk seperti pada gambar di atas. Pada garis pantai, kecepatan adalah nol, kemudian bertambah seiring jarak dengan garis pantai. Kecepatan mencapai maksimum di sekitar titik tengah *surf zone* dan berkurang dengan cepat di luar daerah gelombang pecah.

Sudut datang gelombang adalah sudut arah datang gelombang terhadap garis pantai dengan sudut nol derajat adalah sudut tegak lurus terhadap garis pantai. Dilihat dari profil garis pantai Bengkulu terhadap arah tegak lurus, maka arah datang gelombang dari arah Barat Laut memiliki kemiringan terhadap garis pantai Bengkulu sebesar  $68^\circ$ , arah datang gelombang Barat sebesar  $23^\circ$ , arah datang gelombang Barat Daya sebesar  $22^\circ$  dan arah datang gelombang Selatan sebesar  $67^\circ$ .



**Gambar 4.13**

Pembagian Distribusi Arah Kejadian Gelombang di Pantai Bengkulu  
 (Sumber: modifikasi dari Peta Bathimetri Perairan Bengkulu dan Sekitarnya, 2011)

Arus sepanjang pantai yang ditimbulkan oleh gelombang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai dibangkitkan oleh momentum yang dibawa oleh gelombang. Rumus untuk menghitung arus sepanjang pantai digunakan persamaan *Longuet-Higgins* (Umar, 2012 dan Komar, 1985 dalam Triatmodjo, 1999) berikut ini.

$$V = 1,17(g.H_b)^{1/2} \cdot \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

Keterangan :

V : kecepatan arus sejajar pantai (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

H<sub>b</sub> : tinggi gelombang pecah (m)

α<sub>b</sub> : sudut datang gelombang pecah (°)

**Tabel 4.8**  
Kecepatan Arus Menyusur Pantai

No	Gelombang datang			Gelombang pecah			Kecepatan arus menyusur pantai (m/s)
	Tinggi (m)	Periode (s)	Sudut datang ( $\alpha$ )	Tinggi (m)	Periode (s)	Sudut pecah ( $\alpha_b$ )	
1	2.69	6.14	23.00	3.27	4.05	18.06	2.38
2	2.63	6.09	22.00	3.21	3.98	17.26	2.28
3	1.84	5.28	67.00	1.70	2.04	27.25	1.72

(Sumber: Pengolahan Data Angin Tahun 2010-2013 Stasiun Klimatologi Kl. II Pulau Baai Bengkulu)

Dari hasil perhitungan di atas diketahui bahwa sudut gelombang pecah besar, yaitu  $> 5^\circ$  sehingga menimbulkan arus sejajar pantai dengan kecepatan yang relatif besar. Kecepatan arus sepanjang pantai ini dapat mengangkut sedimen yang telah digerakkan (dierosi) oleh gelombang, dan terus terbawa sepanjang pantai. Sedimen yang terangkut tersebut dikenal dengan transpor sedimen sepanjang pantai.

7. Transpor Sedimen Sepanjang Pantai (*Longshore Transport*)

Transpor sedimen sepanjang pantai (*Longshore transport*) berkaitan erat dengan arus menyusur pantai. Arah transpor sedimen di sepanjang pantai dapat berupa angkutan sedimen dari pantai ke laut atau dari laut ke pantai. Prediksi transpor sedimen sepanjang pantai sangat penting karena peristiwa ini dapat menyebabkan berbagai permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi maupun abrasi pantai dan sebagainya. Cara memprediksi transpor sedimen di sepanjang pantai digunakan rumus empiris.

Data gelombang yang digunakan untuk menghitung total angkutan sedimen menyusur pantai di perairan Bengkulu, bukan merupakan data pengukuran langsung di lapangan. Data yang digunakan berupa data sekunder dari konversi data angin

pencatatan di stasiun BMKG Klas II Pulau Baai Bengkulu ke gelombang dengan metode *Svendrup-Munk-Bretschneider*, 1984.

Perhitungan angkutan sedimen digunakan empat arah dominan gelombang yaitu arah Barat Laut, Barat, Barat Daya dan Selatan. Tata letak garis pantai disederhanakan untuk memudahkan perhitungan angkutan sedimen, gambaran tata letak garis pantai dan arah gelombang di pantai Bengkulu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. Angkutan sedimen menyusur pantai pada kondisi eksisting dihitung dengan menggunakan persamaan angkutan sedimen menyusur pantai dari CERC (USACE, 2002).

$$Q = K \frac{\rho \sqrt{\frac{g}{\gamma b}}}{16(\rho_s - \rho)(1 - n)} H_b^{2.5} \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

Keterangan :

- Q : angkutan sedimen menyusur pantai (m<sup>3</sup>/tahun)
- K : koefisien empirik yang dipengaruhi oleh diameter butiran sedimen (D<sub>50</sub>);  $K = 1.4e^{-2.5D_{50}}$
- P : rapat massa air/air laut (kg/m<sup>3</sup>)
- P<sub>s</sub> : rapat massa sedimen (kg/m<sup>3</sup>)
- N : porositas sedimen ( $n = 0,4$ )
- H<sub>b</sub> : tinggi gelombang pecah (m)
- α<sub>b</sub> : sudut gelombang pecah (°)

Maka hasil perhitungan angkutan sedimen menyusur pantai di pantai Bengkulu ditunjukkan pada Tabel 4.9. Dari hasil perhitungan angkutan sedimen menyusur pantai di pantai Bengkulu diperoleh bahwa total volume transport sedimen dengan arah datang gelombang Barat Laut adalah sebesar 230.760 m<sup>3</sup>/tahun, total volume transport sedimen dengan arah datang gelombang Barat sebesar 461.080 m<sup>3</sup>/tahun, total volume transport sedimen dengan arah datang gelombang Barat

Daya sebesar 402.560 m<sup>3</sup>/tahun, total volume transport sedimen dengan arah datang gelombang Selatan sebesar 146.040 m<sup>3</sup>/tahun.

**Tabel 4.9**  
Volume Sedimen Transpor Sejajar Pantai Bengkulu

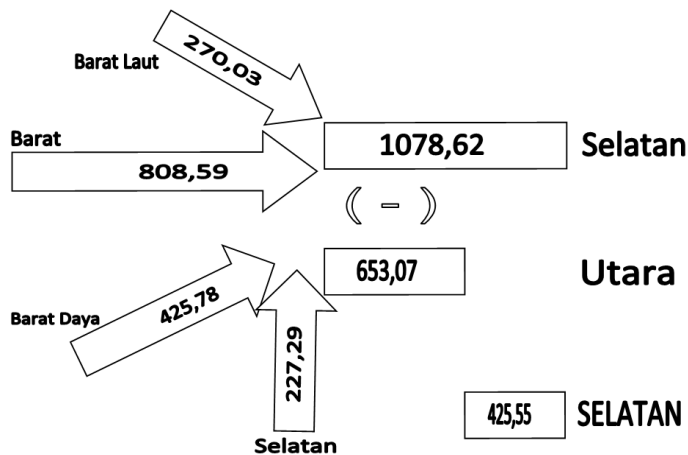
Arah datang gelombang terhadap garis pantai $\alpha$ (°)	Tinggi gelombang pecah (m)	Sudut gelombang pecah $\alpha_b$ (°)	Volume sedimen transpor m <sup>3</sup> /tahun (10 <sup>3</sup> )
Barat Laut (68°)	0.34	16.18	1.75
	0.68	16.57	30.69
	1.11	17.86	36.20
	1.63	21.26	144.84
	2.14	27.96	56.55
Volume sedimen transpor gelombang datang Barat Laut (Ke arah Selatan)			270.03
Barat (23°)	1.27	8.11	80.32
	1.71	9.82	233.36
	2.25	12.07	65.17
	2.72	14.79	324.82
	3.27	18.06	104.91
Volume sedimen transpor gelombang datang Barat (Ke arah Selatan)			808.59
<b>Total Volume sedimen transpor Ke arah Selatan</b>			<b>1078.62</b>
Barat Daya (22°)	1.19	7.41	17.74
	1.58	8.99	87.74
	2.31	11.30	125.64
	2.76	14.06	46.49
	3.21	17.26	148.17
Volume sedimen transpor gelombang datang Barat Daya (Ke arah Utara)			425.78
Selatan (67°)	0.33	19.72	5.04
	0.95	20.60	83.88
	1.53	23.50	107.24
	1.70	27.25	31.13

Volume sedimen transpor gelombang datang Selatan (Ke arah Utara)	227.29
<b>Total Volume sedimen transpor Ke arah Utara</b>	<b>653.07</b>
<b>Net Volume sedimen transpor Ke arah Selatan</b>	<b>425.55</b>

Sumber : Pengolahan Data Gelombang dari Konversi Data Angin Tahun 2010-2013 Stasiun Klimatologi Kl. II Pulau Baai Bengkulu

Dari hasil diperoleh bahwa arah transpor sedimen yang terjadi untuk arah datang gelombang Barat Laut, Barat adalah ke arah Selatan, sedangkan arah datang gelombang Barat Daya dan Selatan adalah ke arah Utara, sehingga diperoleh net transpor sedimen pantai Bengkulu sebesar  $((270.030 + 808.590) - (425.780 + 227.290)) = +425.550 \text{ m}^3/\text{tahun}$ , dengan arah pergerakan transpor sedimen ke arah Selatan.

Gambaran aliran transpor sedimen tersebut ditampilkan dalam neraca transpor sedimen berikut ini:



Gambar 4.14

Neraca Transpor Sedimen Pantai Kecamatan Pondok Kelapa  
(Sumber: modifikasi dari Hasil Analisis Transpor Sedimen Sepanjang Pantai)

Angkutan transpor sedimen tersebut ke arah selatan, hal ini bersesuaian dengan penelitian Shuhendry (2004) yang menyatakan arah transpor sedimen Kota Bengkulu menuju ke arah selatan. Angkutan transpor sedimen ini juga berdekatan dengan penelitian dari Supiyati (2013) yang menyatakan bahwa pola sedimentasi dominan perairan Bengkulu menuju ke arah barat daya dan pola erosi dominan perairan Bengkulu menuju ke arah timur laut. Sub sel sedimen menunjukkan arah dan batas sub transpor sedimen (Dianpurnama, 2013). Peta sel sedimen daerah penelitian ditunjukkan dalam Gambar 4.15



**Gambar 4.15**

Peta Sel Sedimen Lokasi Penelitian  
(Sumber: modifikasi Google Earth)





# **KONSEP PENANGANAN KERUSAKAN PANTAI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA**



## **BAB V**

### **KONSEP PENANGANAN KERUSAKAN PANTAI DI KECAMATAN PONDOK KELAPA**

Dari analisis identifikasi kerusakan pantai dan analisis hidro-oseanografi perairan Bengkulu Tengah serta di dukung oleh aspirasi masyarakat setempat, diketahui bahwa penyebab kerusakan pantai di wilayah penelitian , yaitu abrasi dan erosi disebabkan oleh faktor alam dan antropogenik.

Faktor alam disebabkan oleh beberapa kondisi, terutama tenaga gelombang laut yang besar dan transpor sedimen yang tinggi. Faktor antropogenik berupa kegiatan masyarakat setempat yang tidak mengindahkan kaidah alam dan kebijakan yang berlaku, terutama alih fungsi lahan dan penambangan batu bara di sekitar muara. Penanganan kerusakan pantai di lokasi penelitian dilakukan secara alami melalui endors manusia (*Anthropogenic Endorsement*) dan secara buatan.

Penanganan secara alami melalui endors manusia (*Anthropogenic Endorsement*) maksudnya adalah melalui faktor alam yang terjadi secara alami, namun harus didukung ataupun dikondisikan sedemikian rupa terlebih dahulu oleh manusia ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), diunduh tanggal 17-10-2013 jam 18.45 WIB). Sedangkan penanganan kerusakan pantai secara buatan merupakan jenis penanganan melalui fisik ataupun bangunan pantai.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka perlu disusun konsep penanganan kerusakan pantai yang tepat di Kecamatan Pondok Kelapa. Tahapan yang digunakan adalah 7 *Magic Steps* (7 tahapan perencanaan), sebagai berikut:

#### 1. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang terjadi di pantai Kecamatan Pondok Kelapa adalah kerusakan pantai berupa abrasi, erosi dan alih fungsi lahan.

Terdapat masing-masing satu titik yang teridentifikasi mengalami abrasi, erosi dan alih fungsi lahan yang cukup parah.

Abrasi terjadi di hutan wisata Sungai Suci akibat hempasan gelombang laut yang besar sehingga arus menyusur pantai yang besar menyebabkan angkutan sedimen juga besar. Erosi dan alih fungsi lahan terjadi di muara Sungai Air Bengkulu, selain akibat gelombang yang besar, juga disebabkan oleh kegiatan masyarakat sekitar yang menggantikan area hutan tanaman pelindung pantai menjadi area perkebunan kelapa sawit sehingga semakin meningkatkan peristiwa erosi di lokasi tersebut.

## 2. Formulasi Tujuan

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka tujuan dilakukan analisis ini adalah untuk mengetahui dan menentukan konsep penanganan yang tepat bagi permasalahan kerusakan pantai di Kecamatan Pondok Kelapa sehingga pada akhirnya lingkungan pantai dapat terjaga dan lestari sesuai fungsi dan perannya.

## 3. Penilaian Situasi

Keberadaan perkebunan masyarakat di kedua sisi muara Sungai Air Bengkulu semakin memperparah peristiwa erosi di sekitar sungai. Sistem regulasi yang belum cukup dipahami oleh masyarakat lokal juga turut memicu kegiatan masyarakat di pantai yang tidak mengindahkan kaidah alam. Lain halnya di lokasi hutan wisata Sungai Suci, masyarakat lokal yang bermata pencaharian dengan berjualan di pondok-pondok peristirahatan objek wisata Sungai Suci menganggap bahwa kejadian alam abrasi merupakan sesuatu yang menimbulkan ketakutan dan kekhawatiran. Hal ini disebabkan terdapat beberapa pondok peristirahatan dan fasilitas umum lainnya yang telah rusak bahkan hilang dihempas gelombang laut penyebab abrasi.

#### 4. Alternatif Penanganan

Beberapa alternatif penanganan kerusakan pantai secara umum dikelompokkan dalam 2 (dua) cara, yaitu : secara alami melalui endors manusia dan secara buatan. Kedua hal ini telah dijelaskan dalam Bab II, Sub 2.4.

#### 5. Pilihan Alternatif

Pemilihan penanganan kerusakan pantai di Kecamatan Pondok Kelapa didasarkan pada:

- a. Fungsinya, berbagai bangunan pelindung pantai dipilih berdasarkan fungsinya sebagai penahan hempasan gelombang laut yang besar, juga berdasarkan fungsinya sebagai bangunan penahan laju abrasi dan erosi.
- b. Pertimbangan lingkungan, yaitu dampak negatif sekecil-kecilnya yang ditimbulkan bagi lingkungan akibat proses pembangunan bangunan pantai yang dipilih.
- c. Pelaksanaan pembangunannya yang relatif murah dan ketersediaan bahan yang mudah didapat.

#### 6. Kajian Dampak

Kajian dampak pemilihan penanganan kerusakan pantai dibahas lebih dalam pada desain bangunan pelindung pantai, meliputi bahan material, teknis pengerjaan, biaya dan waktu. Hal ini dilakukan agar dampak yang timbul dari proses penanganan pantai adalah sekecil-kecilnya.

#### 7. Keputusan

Berdasarkan analisis tahapan perencanaan direkomendasikan konsep penanganan pantai yang tepat, yang dijelaskan sebagai berikut:

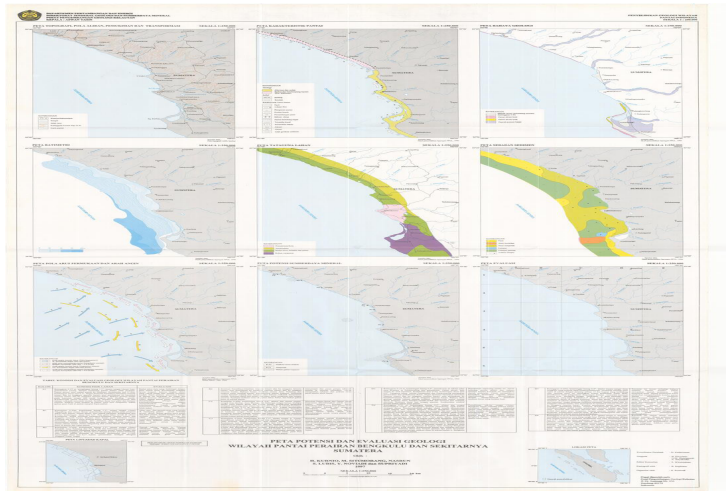
## A. Secara Alami Melalui Endors Manusia (*Anthropogenic Endorsement*)

Penanganan kerusakan pantai secara alami melalui endors manusia disesuaikan dengan karakteristik pantai lokasi penelitian. Wilayah penelitian berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Gambar 5.1 menunjukkan bahwa daerah penelitian tergolong pada pantai berpasir.

### 1. Suplai Sedimen (*Sand Nourishment*)

Pantai berpasir mempunyai kemampuan perlindungan alami terhadap serangan gelombang dan arus. Perlindungan tersebut berupa kemiringan dasar pantai di daerah *nearshore* yang menyebabkan gelombang pecah di lepas pantai kemudian energinya dihancurkan selama dalam perjalanan menuju garis pantai di *surf zone* (Triatmodjo, 2012).

Yuwono (2004) menjelaskan bahwa penambahan suplai pasir (*sand nourishment*) dilakukan apabila di suatu pantai yang ditinjau terdapat kekurangan suplai pasir., misalnya yang disebabkan oleh erosi pantai. Stabilisasi pantai dapat dilakukan dengan penambahan suplai pasir, sehingga garis pantai maju ke arah laut dan gelombang berada jauh dari pantai yang dilindungi. Apabila pantai mengalami erosi secara terus menerus, maka penambahan pasir perlu dilakukan secara berkala, dengan laju sama dengan kehilangan pasir yang disebabkan oleh erosi. Hamparan pasir ini sangat efektif sebagai penghancur gelombang apabila jumlahnya cukup banyak. Biasanya di tepi pantai terdapat bukit pasir atau *sand dunes* yang dapat berfungsi sebagai cadangan pasir pada saat terjadi badai atau gelombang besar.



**Gambar 5.1**  
 Peta Sedimentasi Wilayah Perairan Pantai Bengkulu  
 (Sumber: Kurnio, 1997)

Perbaikan muara sungai tergantung pada tipe muara dan permasalahannya. Tipe muara di lokasi penelitian merupakan muara yang didominasi oleh gelombang laut (*wave-dominated river mouth*), hal ini dapat dilihat dari pengamatan *citra google earth*. Tipe muara ini ditandai dengan angkutan sedimen menyusur pantai setiap tahun yang cukup besar. Pada tipe ini biasanya muara tertutup oleh lidah pasir dengan pola sedimentasi. Arah gelombang yang dominan menyudut terhadap pantai akan menyebabkan penutupan muara dengan arah penutupan sesuai dengan arah gerakan pasir menyusur pantai. Kondisi seperti ini seperti yang terjadi di Muara Sungai Air Bengkulu. Permasalahan utama pada sungai ini adalah saat awal musim hujan yaitu ketika endapan pasir di muara cukup tinggi dan biasanya muara cukup sempit, sehingga tidak mampu menyalurkan banjir pada awal musim hujan.

Pembentukan *sand dunes* terutama terjadi pada musim kemarau di mana butir-butir pasir kering lebih mudah digerakkan

oleh tiupan angin. Pada saat air pasang dan kondisi gelombang normal (bukan gelombang besar) *uprush* gelombang akan membawa pasir ke bagian atas dari pantai. Ketika air surut, pasir yang tertimbun tersebut menjadi kering. Angin yang berhembus ke arah darat dapat mengangkut pasir kering ke arah darat di *backshore* atau lebih jauh lagi di pesisir dan membentuk *sand dunes*. *Sand dunes* ini dapat berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap serangan gelombang.

## 2. Tanaman Pelindung Pantai

Tanaman pelindung pantai, antara lain bakau, cemara pantai dan api-api, dan *mangrove*. *Mangrove* merupakan tumbuhan tropik. Pertumbuhan tanaman *mangrove* pada daerah pasang surut sepanjang garis pantai seperti tepi pantai, muara, laguna (danau pinggir laut) dan tepi sungai yang pertumbuhannya dipengaruhi oleh kondisi pasang surut (Triatmodjo, 1999).

Sebagian besar *mangrove* dijumpai di sepanjang pantai terlindung yang berlumpur, bebas dari angin yang kencang dan arus. *Mangrove* juga bisa tumbuh di atas pantai berpasir dan berkarang, terumbu karang dan pulau-pulau kecil. Sementara itu pada air payau diperlukan persediaan endapan yang baik agar *mangrove* dapat tumbuh dengan subur (Sulistiyowati, 2009).

Pada Muara Sungai Air Bengkulu juga terjadi alih fungsi lahan dari tanaman pelindung pantai menjadi perkebunan kelapa sawit. Hal ini dapat ditangani dengan pengembalian lahan menjadi ekosistem tanaman pelindung pantai, seperti bakau, cemara pantai dan api-api. Tanaman-tanaman tersebut dipilih karena dapat tumbuh di daerah berpasir dengan kondisi angin dan arus yang besar, sesuai dengan karakteristik pantai di Kecamatan Pondok Kelapa.

*Mangrove* mempunyai klasifikasi dan batasan zonasi pertumbuhannya. Komunitas *mangrove* hidup di lingkungan yang rawan (*Stressed Ecosystem*), berupa salinitas yang tinggi



sehingga memerlukan suplai air tawar yang banyak. Adanya arus pasang surut menyebabkan banyak terkumpulnya sampah dan organik terlarut.

## **B. Secara Buatan**

Secara buatan dilakukan dengan bangunan pelindung pantai. Wilayah perairan Bengkulu dominan arus gelombang besar dan adanya abrasi yang sifatnya merusak dan perlu ditangani dengan segera. Bangunan pelindung pantai digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus (Triatmodjo, 2012). Bangunan pantai yang dipilih adalah dengan membangun tembok laut (*seawall*), *revetment* dan *jetty*.

### **1. Tembok Laut (*Seawall*)**

Berdasarkan hasil analisis data hidro-oseanografi, gelombang di perairan Kabupaten Bengkulu Tengah cukup besar sehingga bangunan pantai tembok laut (*seawall*) lebih tepat dibangun untuk menangani kerusakan pantai di Kecamatan Pondok Kelapa. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa tembok laut (*seawall*) berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap serangan gelombang dan untuk menahan terjadinya limpasan gelombang ke daratan di belakangnya. Biasanya tembok laut digunakan untuk melindungi daerah pemukiman dan/ atau fasilitas umum yang sudah sangat dekat dengan garis pantai. Bangunan ini bisa berbentuk dinding vertikal, miring, lengkung, atau bertangga; dan bisa terbuat dari pasangan batu, dinding beton, atau buis beton.

Konsep bangunan tembok laut yaitu dengan membuat elevasi puncak bangunan cukup tinggi sehingga tidak terjadi limpasan. Di bagian belakang bangunan dilindungi dengan lantai beton dan dilengkapi dengan saluran drainase. Selain itu dapat menggunakan konstruksi geotekstil yang berfungsi sebagai saringan agar menahan terangkutnya butiran tanah atau pasir (Triatmodjo, 2012).

## 2. **Revetmen (*Revetment*)**

Selain tembok laut (*seawall*), *revetment* juga dianggap tepat dibangun untuk menangani kerusakan pantai di Kecamatan Pondok Kelapa, terutama untuk mengatasi masalah abrasi. Sesuai fungsinya, *revetment* merupakan bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai, dibangun pada garis pantai dan digunakan untuk melindungi pantai dari serangan dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat serta berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap abrasi. *Revetment* mempunyai sisi miring dan bisa terbuat dari tumpukan batu atau bronjong, sehingga lebih fleksibel dan dapat menyesuaikan diri terhadap gerusan di kaki bangunan.

Triatmodjo (2012) menjelaskan bahwa bangunan *revetment* terdiri dari beberapa bagian utama yaitu lapis lindung, lapis filter, dan pelindung kaki. Lapis lindung bisa berupa batu atau beton dengan bentuk tertentu yang mampu menahan serangan gelombang. Filter berfungsi untuk menahan butiran tanah agar tidak keluar dan memungkinkan air bisa mengalir melintasinya. Pelindung kaki diperlukan untuk memberikan stabilitas terhadap gerusan pada dasar bangunan.

Selain dampak negatif terhadap erosi di sekitar bangunan kecil, bangunan *revetment* tidak memiliki ketergantungan terhadap sedimen, karena dapat berdiri sendiri dan material yang diperlukan umumnya mudah didapatkan. Pelaksanaannya pun relatif murah. Kelemahan *revetment* adalah kurang baik bagi wisatawan karena adanya dinding yang membatasi untuk menuju ke laut (Triatmodjo, 2012)

## 3. **Jetty**

Peristiwa erosi yang terjadi di Muara Sungai Air Bengkulu dapat ditangani secara buatan dengan menggunakan bangunan pantai *jetty*. *Jetty* adalah bangunan yang diletakkan pada kedua sisi muara sungai. *Jetty* berfungsi untuk mengurangi

pendangkalan alur oleh sedimen pantai. Selain itu *jetty* juga digunakan untuk mencegah pendangkalan di muara sehingga dapat mengendalikan banjir. Sungai-sungai yang bermuara pada pantai berpasir dengan gelombang cukup besar sering mengalami penyumbatan muara oleh endapan pasir. Dengan *jetty*, panjang transpor sedimen sepanjang pantai dapat tertahan, dan pada alur pelayaran kondisi gelombang tidak pecah sehingga memungkinkan kapal masuk ke muara sungai (Shuhendry, 2004).

Konsep aturan bangunan *jetty* hanya dapat digunakan untuk memotong jalur transportasi sedimen di pantai, tidak efektif untuk mencegah hilangnya pasir di lautan dan berfungsi menangkap sedimen pasir hingga mengendap membentuk garis pantai baru. Persentase transpor pasir melalui bangunan di pantai dipengaruhi oleh dimensi bangunan, ketinggian muka air dan ketinggian gelombang. Selain itu jarak antara bangunan adalah dua sampai tiga kali panjang bangunan, bila tidak ada studi maupun analisis tentang keadaan pantai (Triatmodjo, 2012).

### C. Implementasi Konsep Penanganan Pantai di Kecamatan Pondok Kelapa

Mekanisme penyusunan perencanaan di atas akan banyak melibatkan peran masyarakat sehingga tidak terjadi resistensi yang tinggi dalam implementasinya. Dengan demikian, mekanisme *Bottom up*, perencanaan yang bertahap serta partisipasi aktif, tingkat kepedulian dan disiplin tinggi dari berbagai komponen *Stakeholders* merupakan kunci utama pencapaian keberhasilan dalam perencanaan, implementasi, pengawasan dan evaluasi pengelolaan pemanfaatan sumber daya wilayah pesisir dan laut secara terpadu. Peran, kontribusi dan komitmen yang harus disepakati dan dijalankan secara konsisten oleh berbagai komponen *Stakesholder* (Yuwono (2004) dan Shuhendry (2004)), di antaranya adalah:

1. Pemerintah Pusat
  - a. Berkomitmen terhadap kewenangan kebijakan tentang perencanaan nasional dan pembangunan nasional secara makro, pembinaan dan pemberdayaan sumber daya manusia, pendayagunaan sumber daya alam serta teknologi tinggi yang strategis, konservatif dan standarisasi nasional.
2. Pemerintah Provinsi
  - a. Melayani keserasian antara kepentingan letak geografis dan potensi sumber daya alam.
  - b. Pembangunan wilayah pesisir difokuskan untuk memperbaiki kualitas hidup masyarakat pengguna di wilayah pesisir.
3. Pemerintah Kota/ Kabupaten
  - a. Pengambilan keputusan harus mempertimbangkan masukan dari berbagai pihak, terutama aspirasi masyarakat pengguna di wilayah pesisir.
  - b. Secara konsisten melakukan diskusi dan evaluasi terhadap program pengelolaan wilayah pesisir terpadu.
4. Masyarakat Pesisir
  - a. Sebagai tenaga penggerak di tingkat lokal dengan instansi pemerintah daerah sebagai pengontrol proses yang berjalan
  - b. Menghindari kegiatan yang merusak lingkungan agar sumber daya keberlanjutan dapat tercapai
  - c. Berperan aktif dalam upaya-upaya perlindungan lingkungan.
5. Pihak Swasta
  - a. Sebagai penggerak pembangunan ekonomi dalam menyediakan investasi dan teknologi
  - b. Pengusaha harus dapat menyeimbangkan antara keuntungan ekonomi dan kelestarian sumber daya alam.
6. Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), Peneliti, Pendidik dan Pemerhati Lingkungan

- a. Menyuarakan kepentingan masyarakat pengguna yang terlupakan oleh pengambil kebijakan.
- b. Melakukan aksi-aksi untuk membantu pelaksanaan pengelolaan wilayah pesisir.
- c. Menciptakan kesadaran dan kepedulian terhadap kelestarian sumber daya dan lingkungan pesisir, melalui penelitian dan pelatihan.



The page features decorative wavy lines in shades of gray at the top and bottom. The top line is a thick, dark gray wave that curves across the upper portion of the page. The bottom line is a similar wave, also in dark gray, curving across the lower portion. The background is a light gray gradient with subtle, faint patterns of radiating lines and dots, particularly visible in the corners.

**PENUTUP**





## **BAB VI**

### **PENUTUP**

Berdasarkan hasil pembahasan yang ada, bahwa pada wilayah sempadan pantai Kecamatan Pondok Kelapa, dengan panjang garis pantai 17 km dimulai dari pantai yang berbatasan dengan Kota Bengkulu, telah mengalami kerusakan berupa abrasi, erosi, dan pelebaran muara.

#### **A. Jenis Kerusakan Pantai Kecamatan Pondok Kelapa**

1. Hutan wisata Sungai Suci, terletak di koordinat S :  $03^{\circ} 43' 24,8''$  dan E :  $102^{\circ} 14' 20,6''$ . Pada lokasi ini kerusakan pantai yang terjadi adalah peristiwa abrasi.
2. Muara Sungai Air Bengkulu, terletak di koordinat S :  $03^{\circ} 41' 01,6''$  dan E :  $102^{\circ} 14' 15,9''$ . Pada lokasi ini terjadi erosi dan pelebaran muara

#### **B. Faktor Hidro-Oseanografi Penyebab Kerusakan Pantai di Kecamatan Pondok Kelapa**

##### **1. Alami**

Peristiwa abrasi sangat intensif terjadi karena proses alam berupa proses hidro-oseanografi seperti hempasan gelombang laut, fluktuasi muka air laut dan arus sepanjang pantai (*longshore current*). Proses-proses tersebut dapat mengakibatkan kemunduran garis pantai dan terjadinya proses sedimentasi.

Kecepatan arus sepanjang pantai (*longshore current*) di lokasi penelitian adalah berkisar antara 1,72 m/s hingga 2,38 m/s. Proses transpor sedimen menyusur pantai (*longshore transport*) menuju ke arah selatan, dengan total netto volume angkutan sedimen sebesar 425.55 m<sup>3</sup>/tahun.

Proses abrasi terjadi pada kondisi pantai dengan lereng dasar perairan yang relatif dangkal dengan energi gelombang yang

besar menghantam garis pantai. Pada Hutan Wisata Sungai Suci, peristiwa abrasi akibat terjangan gelombang menyebabkan kerusakan fasilitas umum wisata seperti pondok peristirahatan, WC umum dan jembatan.

Adanya transpor sedimen ini sepanjang pantai ini menyebabkan terjadinya erosi di sekitar Muara Sungai Air Bengkulu sehingga mengganggu aktivitas di sekitar muara. Selain itu pendangkalan muara juga dapat menyebabkan banjir pada awal musim hujan, karena lebar muara yang menyempit sehingga mulut sungai tidak mampu mengalirkan limpasan air hujan ke laut.

### C. Konsep Penanganan Kerusakan Pantai Kecamatan Pondok Kelapa

#### 1. Alami Melalui Endors Manusia (*Anthropogenic Endorsement*)

Rusaknya sistem penyangga dan pelindung pantai akibat alih fungsi lahan akan memperlemah daya tahan pantai terhadap gempuran gelombang. Perlindungan alami melalui endors manusia yang dilakukan terhadap kerusakan pantai yaitu dengan penambahan suplai pasir (*sand nourishment*) di sepanjang ruas pantai yang tererosi yaitu di Muara Sungai Air Bengkulu. Apabila pantai mengalami erosi terus menerus, maka penambahan suplai pasir tersebut perlu dilakukan secara berkala, dengan laju yang sama dengan kehilangan pasir yang disebabkan oleh erosi. Hampan pasir ini sangat efektif sebagai penghancur gelombang apabila jumlahnya cukup banyak. Biasanya di tepi pantai terdapat bukit pasir atau *sand dunes* yang dapat berfungsi sebagai cadangan pasir pada saat terjadi badai atau gelombang besar.

Penanaman tanaman pelindung pantai juga dapat dilakukan untuk menangani kerusakan pantai Kecamatan Pondok Kelapa. Pemilihan jenis tanaman pelindung pantai harus mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhannya, seperti salinitas, kondisi/jenis tanah, dan ketahanannya terhadap arus dan gelombang.

## 2. Buatan

Penanganan abrasi, erosi, dan pelebaran muara di Kecamatan Pondok Kelapa dengan bangunan pantai ditujukan untuk menghambat atau menghentikan proses-proses kerusakan pantai tersebut. Bangunan pantai yang dipilih adalah tembok laut (*seawall*), *revetment*, dan *jetty*. Pembangunan konstruksi tersebut didasarkan atas perhitungan parameter penyebab kerusakan yang terjadi, terutama abrasi.

Tembok laut (*seawall*) dan *revetment* merupakan dinding penahan yang berfungsi melindungi daratan dari limpasan gelombang akibat adanya fluktuasi muka air laut yang menggerus daratan sehingga mengakibatkan perubahan garis pantai. Sedangkan *jetty* dibangun di sekitar muara sungai. Fungsi utama *jetty* adalah menahan laju transpor sedimen di sekitar muara sehingga dapat mengendalikan proses sedimentasi agar selalu seimbang.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M., Winarso, G., Prayogo, T., 2011. *Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Satelit Landsat di Kabupaten Kendal*, Jurnal Penginderaan Jauh, LAPAN, Volume VIII : 71-80
- Ayuningtyas, 2008. Skripsi : *Karakteristik Fisik Pantai Karst Kabupaten Gunungkidul*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia
- Bayong, T.H.K. 1992. *Klimatologi Terapan*. CV. Pionir Jaya. Bandung. Edisi ke-1., T.H.K. 2004. *Klimatologi*. ITB. Bandung. Edisi ke-2.
- Bengkulu Tengah Dalam Angka, 2011, Badan Pusat Statistik Provinsi Bengkulu
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual Volume I, 4<sup>th</sup> Edition*, US Army Corps Of Engineers, Washington, DC 20314.
- Dianpurnama, Helmi, M., Yusuf, M., 2013. *Analisa Sel Sedimen Sebagai Pendekatan Studi Erosi di Teluk Lampung, Kota Bandar Lampung Provinsi Lampung*, Journal of Marine Research, Vol 2 (1) : 143 – 153.
- Djaja, Rochman, 1989. Makalah : *Cara Perhitungan Pasut Laut Dengan Metode Admiralty, PASANG-SURUT*, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, Jakarta.
- Djunaedi, A., Basuki, M. Natsir, 2002. *Perencanaan Pengembangan Kawasan Pesisir*, Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol 3 (3) : 225 - 231
- Fadilah, 2013. *Identifikasi Kerusakan Pantai Kecamatan Pondk Kelapa Kabupaten Bengkulu Tengah*, Prosiding Seminar Nasional 2013, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Fauzi, A., 2006. *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan : Teori dan Aplikasi*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

- Gafoer, S., Amin, Pardede, R., 1992. *Peta Geologi Lembar Bengkulu, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Indonesia.
- Hakim, A. Buddin, Suharyanto, Hidajat K., Wayju. 2012. *Efektifitas Penanggulangan Abrasi Menggunakan Bangunan Pantai di Pesisir Kota Semarang*, Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Semarang
- Hidayat, N., 2005. *Kajian Hidro-Oseanografi Untuk Pendekatan Deteksi Proses-proses Fisik Pantai*, Jurnal SMARTek Volume III (2) : 73-85
- Hidayat, S., 2010. *Analisis Harmonik Pasang Surut dengan Metode Admiralty*, Institut Pertanian Bogor
- Hutabarat, S, dan Evans, S.,M., 2006. *Pengantar Oseanografi Edisi Ke-2*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Holthuijsen, L. H. 2007. *Waves In Oceanic And Coastal Waters*. Cambridge University Press., Cambridge CB2 8RU, UK.
- Kunio, Situmorang, dkk, 1997. *Peta Potensi dan Evaluasi Geologi Wilayah Pantai Perairan Bengkulu dan Sekitarnya*, Pusat Pengembangan Geologi Kelautan, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Pertambangan Energi
- Laporan Desain *Breakwater : Pekerjaan Lanjutan Pembangunan Dinding Penahan Gelombang Di Pelabuhan Pulau Baai Provinsi Bengkulu*, 2013. Kementrian Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, Kantor Kesyahbandaran Dan Otoritas Pelabuhan Kelas III Pulau Baai Bengkulu
- Ningsih, N.S. 2002. *Diktat Kuliah Oseanografi*. ITB, Bandung
- Noor, Djauhari, 2011. *Geologi Untuk Perencanaan*, Graha Ilmu, Edisi Pertama, Yogyakarta.
- Ongkosongo, S.R., Otto, Suyarso, 1989. *Project 1 : Tides and Tidal Phenomena, PASANG\_SURUT*, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, Jakarta.

- Opa T., Esry, 2011. *Perubahan Garis Pantai Desa Bentenan Kecamatan Pusomaen, Kecamatan Minahasa Tenggara*, Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis, Volume VII (3) : 109-114
- Pariwono, I., John, 1989. Makalah : *Gaya Penggerak Pasang Surut*, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, Jakarta., 1992. *Proses-proses Fisik di Wilayah Pesisir*, Institut Pertanian Bogor.
- Peta Rupa Bumi Tahun 2000, Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional
- Poerbondono, Djunasjah, E., 2005. *Survei Hidrografi*. PT. Refika Aditama, Bandung
- Pond, S and G.L Pickard, 1981. *Introductory Dynamic Oceanography*, Pergamon Press, 241 pp.
- Ruzardi, Tamun, S., Rochman, B., 2004. *Persepsi Pemukim di Kawasan Pantai Terhadap Kerusakan Pantai (Studi Kasus Pulau Batam)*, LOGIKA Vol 1 (2) : 74 - 81
- Santoso, U. 2007. *Permasalahan dan Solusi Pengelolaan Lingkungan Hidup di Provinsi Bengkulu*. Pertemuan PSL PT se-Sumatera di Pekanbaru.
- Sasongko, D.P., 2005. *Ilmu Lingkungan dan Permodelan Lingkungan*, Diktat Kuliah, Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang., 2012. *Model Persebaran Radionuklida Alam  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  di Perairan Pesisir Semenanjung Muria*, Disertasi, Program Doktor Manajemen Sumberdaya Pantai, Universitas Diponegoro, Semarang
- Setiadi, R., Mihardja, K., Dadang, 1989. Makalah : *Analisis Pasang-Surut di Daerah Cilacap dan Surabaya, PASANG-SURUT*, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, Jakarta.

- Shuhendry, R., 2004. *Abrasi Pantai di Wilayah Pesisir Kota Bengkulu : Analisis Faktor Penyebab dan Konsep Penanggulangannya*, Tesis, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang
- Singarimbun, M., Effendi, S., 1987. *Metode Penelitian Survei*, Lembaga Penelitian, Pendidikan dan Penerangan Ekonomi dan Sosial, Jakarta.
- Sorensen. 2006. *Basic Coastal Engineering. 3rd edition*. Department of Civil and Environmental Engineering Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania.
- Stewart, H.R. 2006. *Introduction To Physical Oceanography*. Department of Oceanography. Texas A & M University, USA.
- Subarnas, Agus, 2002. *Inventarisasi Endapan Bitumen Padat Di Daerah Airnapal Dan Sekitarnya, Kabupaten Bengkulu Utara Dan Bengkulu Selatan Provinsi Bengkulu*, Kolokium Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral (DIM).
- Sulistiyowati, Hari, 2009. *Biodiversitas Mangrove di Cagar Alam Pulau Sempu*, Jurnal Sainstek, Vol 8 (1): 59 - 61
- Supiyati, 2005. *Model Hidrodinamika Pasang Surut di Perairan Pulau Baai Bengkulu*, Jurnal Gradien Vol 1 (2) : 51 – 55
- Supiyati, Suwarsono, Setiawan, I., 2013. *Pola Transport Sedimen Akibat Arus yang Dibangkitkan Gelombang di Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu*, Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, Hal : 91 – 97.
- Supriyanto, A., 2003. Thesis : *Analisis Abrasi Pantai dan Alternatif Penanggulangannya di Perairan Pesisir Perbatasan Kabupaten Kendal - Kota Semarang*, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang
- Suripin, 2001. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*, Penerbit Andi, Yogyakarta., 2003. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Penerbit Andi, Yogyakarta.



- Susandi, A., 2004. *The Impact of International Greenhouse Gas Emissions Reduction on Indonesia*. Report on Earth System Science, Max Planck Institute for Meteorology, Jerman.
- Susandi, A., Herlianti I, Tamamadin M., Nurlala I., 2008. *Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ketinggian Muka Laut di Wilayah Banjarmasin*, Jurnal Ekonomi Lingkungan Vol 12 (2): 78 - 89
- Sutrisno, Anton, 2012. *Telaah Sosial Ekonomi Pencemaran Batubara di Sungai Bengkulu*, <http://antonsutrisno.webs.com/apps/blog/show/13139681-telaah-sosial-ekonomi-pencemaran-batubara-di-sungai-bengkulu> (15 - 9 - 2013)
- Suwarsono, 2011. *Zonasi Karakteristik Kecepatan Abrasi Dan Rancangan Teknik Penanganan Jalan Lintas Barat Bengkulu Bagian Utara Sebagai Jalur Transportasi Vital*, Makara, Teknologi, Vol. 15 (1) : 31-38
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*. Penerbit Beta Offset, Yogyakarta, 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Penerbit Beta Offset, Yogyakarta
- Umar, 2011. *Kajian Pengaruh Gelombang Terhadap Kerusakan Pantai Matang Danau Kabupaten Sambas*, Jurnal Teknik Sipil Untan, Volume II (1) : 93-102
- Umar, Hasdinar, 2012. *Metode Floating Object Untuk Pengukuran Arus Menyusur Pantai*, Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan, Volume 10 (2) : 157-168
- Wibisono, M. S., 2005. *Pengantar Ilmu Kelautan*, Penerbit PT. Gramedia Widiasarana Indonesia, Jakarta.
- Wibowo, A. Yudha, 2012. Makalah : *Dinamika Pantai (Abrasi dan Sedimentasi)*, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah, Surabaya
- Wirasatriya, A., et.al., 2006. *Kajian Kenaikan Muka Air Laut Sebagai Landasan Penanggulangan ROB di Pesisir Kota Semarang*, Jurnal Pasir Laut, Volume I (2) : 31-42

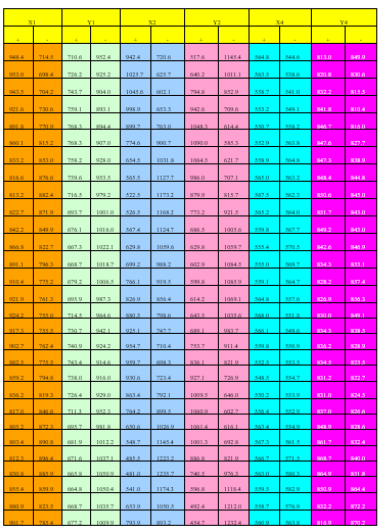
- Yuwono, Nur, 1998. *Perencanaan Pola Pembangunan Jangka Panjang Daerah Pantai di Indonesia*.
- Yuwono, Nur., Kodoatie, J., Robert, 2004. *Pedoman Pengembangan Reklamasi Pantai dan Perencanaan Bangunan Pengamanannya*, Kumpulan Buku. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (Departemen Pekerjaan Umum).
- Zoer'aini, D.I., 1996. *Prinsip-prinsip Ekologi : Ekosistem, Lingkungan dan Pelestariannya*, PT. Bumi Aksara, Jakarta.
- Undang-undang No. 24 Tahun 2008 Tentang Pembentukan Kabupaten Bengkulu Tengah di Provinsi Bengkulu
- Undang-undang No. 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil

# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Analisis Pasang Surut dengan Metode Admiralty

**Tabel 1**  
Rekap Data Tinggi Pasang Surut (cm) Stasiun Pulau Baai Bengkulu

	00:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	1:00 PM	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00			
1.May.13	56.1	36.6	29.0	30.5	41.0	43.6	47.4	49.6	123.7	122.0	126.7	110.2	85.7	99.0	36.7	23.6	21.8	36.0	44.9	62.3	76.2	89.1	92.4	87.0			
2.May.13	74.4	58.5	44.6	37.6	40.0	51.2	68.5	87.9	105.6	117.9	122.2	116.8	101.9	80.6	57.7	38.9	28.1	26.8	33.8	46.3	61.1	75.3	85.7	90.0			
3.May.13	87.0	77.5	64.7	53.2	47.0	48.1	56.1	68.9	83.7	97.6	107.9	112.1	108.3	96.4	78.5	59.0	42.5	32.5	36.3	35.2	45.5	58.7	72.6	84.2			
4.May.13	96.9	90.8	84.2	73.5	62.5	55.1	53.1	56.8	64.9	75.9	87.6	97.8	103.5	102.4	91.7	78.8	61.4	45.8	35.3	31.6	34.6	43.5	56.7	71.9			
5.May.13	83.9	95.5	96.1	93.1	82.6	70.3	59.9	53.9	53.2	57.7	66.4	77.9	89.4	97.6	99.4	93.1	80.0	63.3	47.3	35.8	30.7	32.9	42.0	56.7			
6.May.13	74.4	91.4	103.4	107.3	102.0	89.9	74.6	60.4	50.5	46.5	49.0	57.5	70.2	84.1	94.8	98.6	93.4	88.4	63.2	46.4	34.0	28.8	31.7	42.7			
7.May.13	40.1	80.8	100.2	113.2	116.4	100.0	93.5	74.5	56.8	44.0	38.5	41.1	50.0	65.9	82.1	94.4	98.6	92.9	78.9	60.6	43.1	31.1	27.2	32.5			
8.May.13	46.7	67.3	90.5	110.8	122.9	123.3	112.0	92.5	70.0	49.9	36.3	31.4	35.6	47.9	65.2	82.7	95.0	98.0	90.4	74.6	55.5	38.6	28.4	27.6			
9.May.13	36.7	54.5	79.0	102.2	121.3	130.2	126.1	110.2	86.9	62.1	41.6	29.3	26.7	33.9	48.8	67.5	84.8	95.3	95.5	85.3	67.9	49.0	34.2	27.7			
10.May.13	31.3	44.7	65.8	90.6	113.8	129.6	133.5	124.0	101.6	77.7	52.6	33.9	24.7	25.8	36.1	52.8	71.4	86.7	93.9	90.6	77.8	59.8	42.6	31.6			
11.May.13	30.0	38.7	56.0	79.0	103.2	123.2	133.8	131.7	117.0	93.2	68.6	43.5	28.5	23.6	28.7	41.5	58.6	75.5	87.3	90.4	83.4	68.9	51.8	38.0			
12.May.13	32.1	36.0	49.3	69.3	92.3	113.7	128.7	133.1	125.1	106.1	80.9	55.7	36.4	26.4	26.3	34.7	48.8	64.8	78.5	86.0	84.8	75.1	60.2	45.5			
13.May.13	34.4	36.1	45.2	61.7	82.5	104.4	120.4	129.4	127.6	114.6	93.1	68.5	46.7	32.4	27.7	31.9	42.5	56.3	69.9	79.7	82.0	76.2	67.0	51.4			
14.May.13	42.4	38.4	41.2	56.1	74.2	93.6	110.9	122.4	125.3	118.2	101.9	80.0	57.8	40.6	31.8	31.9	39.2	56.5	62.9	73.3	79.2	76.9	72.0	61.0			
15.May.13	49.7	42.8	43.5	52.2	67.0	84.5	101.1	113.6	119.6	117.4	106.7	89.1	68.5	50.0	37.8	33.9	37.6	46.5	57.4	67.7	75.1	78.0	75.4	67.9			
16.May.13	58.0	49.7	46.5	50.6	61.3	76.0	91.2	103.8	111.7	113.2	107.6	95.1	78.0	59.9	41.4	37.6	37.4	43.3	52.6	62.5	70.0	76.0	77.2	73.9			
17.May.13	66.9	58.8	52.9	52.2	57.8	68.4	81.2	93.2	102.0	104.8	97.6	85.2	69.6	54.5	43.4	38.8	40.8	47.7	56.7	65.6	72.8	77.4	78.4				
18.May.13	75.5	69.6	62.9	58.2	58.1	63.2	72.0	82.0	90.8	96.7	98.7	96.4	89.3	78.0	64.4	51.6	42.8	48.0	42.9	49.9	58.8	67.4	75.1	80.4			
19.May.13	82.5	85.7	75.5	69.0	65.9	62.5	65.3	71.3	78.4	84.8	89.4	91.2	89.6	83.8	74.0	61.9	50.3	42.4	40.0	43.1	50.2	59.6	69.6	76.0			
20.May.13	86.2	89.9	88.8	83.4	75.5	68.1	63.7	63.4	66.4	71.4	77.0	82.1	85.4	85.6	81.4	73.7	60.9	49.1	40.9	38.1	41.3	49.2	60.4	73.0			
21.May.13	85.3	95.1	100.1	98.8	91.4	80.4	69.2	61.0	57.4	58.3	62.7	69.3	76.5	82.4	84.8	81.7	72.9	60.1	47.1	37.6	34.5	38.3	48.2	62.4			
22.May.13	76.7	94.5	106.5	111.8	108.7	97.8	82.2	66.4	54.4	46.4	46.6	54.2	63.3	73.7	82.5	86.5	83.5	73.3	58.5	43.4	32.8	29.9	35.4	46.5			
23.May.13	66.7	87.2	106.0	119.2	123.3	116.6	100.8	80.1	59.8	44.0	37.9	39.3	47.5	60.2	74.1	85.2	89.8	85.6	72.9	55.3	38.3	27.2	25.6	34.0			
24.May.13	51.1	73.7	97.8	118.6	131.4	135.5	121.0	99.7	74.0	50.3	34.1	28.0	31.9	43.9	60.4	77.2	89.5	95.3	86.7	70.9	50.7	32.5	22.1	22.8			
25.May.13	35.1	56.5	81.0	109.5	130.6	141.1	137.8	120.9	94.4	64.8	39.5	23.8	20.2	27.8	43.6	63.4	81.9	94.1	95.9	86.1	67.4	45.4	27.2	18.7			
26.May.13	22.9	39.1	64.3	93.4	120.6	140.0	146.8	138.5	116.4	87.7	54.1	29.1	15.8	15.7	27.2	46.4	68.2	87.0	97.7	96.7	84.0	63.0	40.5	23.7			
27.May.13	18.2	26.0	45.8	73.4	104.3	129.2	145.5	147.6	134.3	108.1	75.2	43.7	20.8	11.0	14.8	29.7	51.1	73.5	91.3	99.6	95.9	80.8	59.0	37.4			
28.May.13	13.1	21.0	32.1	54.1	82.3	110.9	133.9	146.0	143.5	126.3	97.7	64.7	35.1	15.8	9.9	17.2	34.3	54.4	76.0	93.9	99.9	93.9	77.8	56.5			
29.May.13	17.0	25.8	38.8	60.0	82.5	109.3	133.9	141.6	130.4	115.8	86.9	55.7	29.6	14.3	12.1	21.8	39.8	61.2	81.2	94.8	98.8	91.8	76.1				



**Tabel 2**  
Konstanta Pengali untuk Menyusun Skema 2

	Waktu (jam)																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
X1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Y1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
Y2	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
X4	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	-1	-1	0	1
Y4	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1

**Tabel 3**  
Hasil Penyusunan Skema 2 untuk Data Pasang Surut Bulan Mei 2013

X1		Y1		X2		Y2		X4		Y4	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
988.4	714.5	710.6	952.4	942.4	729.6	517.6	1145.4	594.8	544.0	913.0	949.9
953.0	698.4	726.2	925.2	1023.7	625.7	640.2	1011.1	593.5	538.6	908.8	934.6
943.5	704.2	743.7	904.0	1043.6	602.1	794.8	852.9	538.7	541.0	932.2	914.5
921.6	730.6	799.1	893.1	998.9	653.5	942.6	709.6	533.2	549.1	941.8	910.4
891.8	730.0	768.3	894.4	899.7	763.0	1048.3	614.4	590.7	558.2	948.7	916.0
860.1	815.2	768.3	907.0	774.6	900.7	1099.0	585.3	552.9	563.8	947.6	927.7
833.2	853.0	758.2	928.0	654.5	1031.8	1094.5	621.7	558.9	564.8	947.3	938.9
816.6	876.6	739.6	953.5	565.5	1127.7	986.0	707.1	565.0	563.2	948.4	944.8
813.2	882.4	716.5	979.2	522.5	1173.2	879.9	815.7	567.5	563.3	950.6	945.0
822.7	871.9	693.7	1003.0	526.5	1168.2	773.2	921.5	565.2	564.0	951.7	943.0
842.2	849.9	676.1	1016.0	567.4	1124.7	686.5	1003.6	559.8	567.7	949.2	943.0
866.8	822.7	667.3	1022.1	629.8	1039.6	629.8	1059.7	555.4	570.5	942.6	946.9
891.1	790.3	668.7	1018.7	699.2	988.2	602.9	1084.5	555.0	569.7	934.3	933.1
910.4	775.2	679.2	1005.5	786.1	919.5	599.8	1083.0	559.1	564.7	928.2	937.4
921.9	761.3	695.9	987.3	826.9	856.4	614.2	1099.1	564.8	557.6	926.9	936.3
924.2	744.0	714.8	964.6	880.4	798.6	643.4	1033.6	568.0	561.8	930.0	949.1
917.5	745.5	730.7	942.1	935.1	747.7	699.1	983.7	566.1	549.6	934.3	938.5
902.7	762.4	740.9	924.2	954.7	710.4	753.7	911.4	559.8	550.9	936.2	928.9
887.3	775.4	743.4	914.6	999.7	666.3	836.1	871.9	553.4	553.4	934.5	923.5
899.2	794.8	738.0	916.0	930.6	723.4	927.1	756.9	548.5	554.7	931.2	922.7
886.2	819.3	726.4	929.0	863.4	792.1	1009.5	646.0	530.2	553.9	931.0	924.5
817.0	846.6	711.3	957.3	764.7	899.5	1060.9	607.7	536.4	552.9	937.0	926.6
805.2	872.3	695.7	981.8	690.6	1026.9	1003.4	616.1	563.5	554.9	948.9	928.6
803.4	890.8	681.9	1012.2	548.7	1145.4	1001.3	692.8	567.5	561.5	961.7	932.4
817.3	926.4	671.6	1037.1	485.4	1223.2	886.8	871.9	566.7	571.4	968.7	943.0
820.8	885.9	665.8	1050.0	461.0	1235.7	749.5	976.3	563.0	580.3	964.9	931.8
855.4	859.9	664.8	1050.4	541.0	1174.3	596.8	1118.4	559.5	582.9	959.9	964.4
880.9	823.5	668.7	1035.7	653.9	1090.5	492.4	1212.0	558.7	576.9	932.2	972.2
881.7	784.4	677.2	1009.0	783.9	803.7	454.7	1322.4	560.9	563.8	916.9	970.2

**Tabel 4**

Hasil Penyusunan Skema 3 untuk Data Pasang Surut Bulan Mei 2013

X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>
	2000	2000	2000	2000	2000	2000
1661	2234	1751	2222	1372	2020	1963
1651	2251	1801	2400	1629	2025	1990
1645	2239	1840	2643	1942	2018	2017
1652	2191	1856	2546	2231	2004	2031
1663	2121	1874	2137	2434	1992	2011
1675	2041	1861	1874	2501	1989	2020
1686	1990	1830	1623	2441	1994	2008
1693	1940	1786	1438	2279	2002	2004
1698	1931	1737	1549	2064	2003	2006
1693	1951	1893	1358	1852	2001	2009
1692	1992	1660	1443	1681	1992	2006
1689	2044	1641	1570	1570	1983	1996
1687	2093	1650	1711	1518	1985	1981
1686	2133	1673	1847	1514	1994	1971
1683	2161	1709	1970	1541	2007	1971
1676	2169	1750	2082	1601	2016	1981
1673	2162	1789	2177	1701	2017	1996
1661	2140	1817	2244	1842	2009	2007
1658	2107	1870	2261	2014	1999	2011
1654	2064	1822	2207	2200	1994	2009
1651	2017	1797	2071	2301	1996	2006
1664	1970	1750	1865	2451	2003	2010
1678	1933	1714	1624	2441	2009	2020
1694	1913	1670	1403	2309	2006	2029
1709	1916	1631	1262	2061	1993	2029
1717	1945	1611	1245	1704	1983	2013
1715	1996	1614	1367	1478	1977	1986
1704	2057	1633	1603	1280	1982	1990
1697	2116	1667	1901	1722	1997	1947

**Tabel 5**  
Daftar Konstanta Pengali Skema 4

Indeks kedua	0	2	b	3	c	4	d
Konstanta perkalian untuk 29 hari	-29	-1	0	-1	0	-1	0
Konstanta perkalian untuk 15 hari	-15	1	0	5	0	1	0
Konstanta perkalian untuk X+B dan Y=B	1	1	0	-1	1	1	0
Untuk 29 hari	1	1	-1	-1	1	1	-1
	1	1	-1	1	1	-1	-1
	1	1	-1	1	1	-1	-1
	1	-1	-1	1	1	-1	1
	1	-1	-1	1	-1	1	1
	1	-1	-1	1	-1	1	1
	1	-1	-1	1	-1	1	1
Untuk 15 hari digunakan pertengahan 15 baris	1	-1	0	-1	-1	1	0
	1	-1	1	-1	-1	1	-1
	1	-1	1	-1	-1	-1	-1
	1	-1	1	-1	1	-1	-1
	1	1	1	-1	1	-1	1
	1	1	1	1	1	-1	1
	1	1	1	1	1	1	1
Hari tengah-tengah	1	1	0	1	0	1	0
	1	1	-1	1	-1	1	-1
Untuk 15 hari digunakan pertengahan 15 baris	1	1	-1	1	-1	-1	-1
	1	1	-1	-1	-1	-1	-1
	1	-1	-1	-1	-1	-1	1
	1	-1	-1	-1	1	-1	1
	1	-1	-1	-1	1	1	1
	1	-1	0	-1	1	1	0
	1	-1	1	1	1	1	-1
Untuk 29 hari	1	-1	1	1	1	1	-1
	1	-1	1	1	1	1	-1
	1	-1	1	1	-1	-1	-1
	1	1	1	1	-1	-1	1
	1	1	1	1	-1	-1	1
	1	1	1	-1	-1	1	1
	1	1	1	-1	-1	1	1
	1	1	0	-1	-1	1	0

**Tabel 6**

Hasil Penyusunan Skema 4 untuk Data Pasang Surut Bulan Mei

Indeks	Tanda	X	Y	X	Y
		Tambahkan		Jumlah	
00	+	48711.7		48711.7	
10	+	59819.1	50493.4		
	-	58000.0	58000.0	1819.1	-7506.6
12	+	31939.2	25826.4		
	-	27880.0	24667.0		
(29)	(-)	2000.0	2000.0	2059.2	-840.6
1b	+	23907.3	19938.4		
	-	25490.4	21875.7	-1583.1	-1937.2
13	+	30999.8	26088.5		
	-	28819.4	24404.9		
(29)	(-)	2000.0	2000.0	180.4	-316.4
1c	+	29203.2	24528.9		
	-	28455.3	24255.9	747.9	273.0
20	+	53044.1	55336.4		
	-	58000.0	58000.0	-4955.9	-2663.6
22	+	29128.8	24224.6		
	-	23915.3	31111.7		
(29)	(-)	2000.0	2000.0	3213.5	-8887.1
2b	+	17782.8	21540.8		
	-	25865.9	24918.9	-8083.1	-3378.1
23	+	27111.0	29508.3		
	-	25933.1	25828.1		
(29)	(-)	2000.0	2000.0	-822.1	1680.3
2c	+	27288.3	27669.0		
	-	23785.4	26122.3	3502.8	1546.7
42	+	30018.5	29810.1		
	-	27978.2	28197.6		
(29)	(-)	2000.0	2000.0	40.3	-387.4
4b	+	23913.7	24006.0		
	-	24053.2	24107.4	-139.5	-101.4

44	+	30046.2	29886.2		
	-	27950.5	28121.5		
(29)	(-)	2000.0	2000.0	95.7	-235.3
4d	+	23870.6	23992.2		
	-	24096.3	24121.1	-225.7	-128.9

**Tabel 7**  
Faktor Analia untuk Pengamatan 29 Hari (29 piantan)

		S <sub>0</sub>	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	M <sub>4</sub>	MS <sub>4</sub>
Untuk Skema V	X <sub>00</sub>	1.000							
	X <sub>10</sub>					1.000	-0.080		
	X <sub>12</sub> - Y <sub>1b</sub>		0.070			-0.020	1.000		0.020
	X <sub>13</sub> - Y <sub>1c</sub>								
	X <sub>20</sub>		-0.030	1.000	-0.030				
	X <sub>22</sub> - Y <sub>2b</sub>		1.000	0.015	0.038	0.002	-0.058		-0.035
	X <sub>23</sub> - Y <sub>2c</sub>		-0.060		1.000				
	X <sub>42</sub> - Y <sub>4b</sub>		0.030						1.000
	X <sub>44</sub> - Y <sub>4d</sub>							1.000	0.080
Untuk Skema VI	Y <sub>10</sub>					1.000	-0.080		
	Y <sub>12</sub> + X <sub>1b</sub>		0.070			-0.020	1.000		0.030
	Y <sub>13</sub> + X <sub>1c</sub>								
	Y <sub>20</sub>		-0.030	1.000	-0.030				
	Y <sub>22</sub> + X <sub>2b</sub>		1.000	0.015	0.038	0.002	-0.058		-0.035
	Y <sub>23</sub> + X <sub>2c</sub>		-0.060		1.000				
	Y <sub>42</sub> + X <sub>4b</sub>		0.030					0.010	1.000
	Y <sub>44</sub> + X <sub>4d</sub>							1.000	0.080



**Tabel 8**

Hasil Penyusunan Skema 5 dan Skema 6 Untuk Data Pasang Surut Bulan Mei 2013

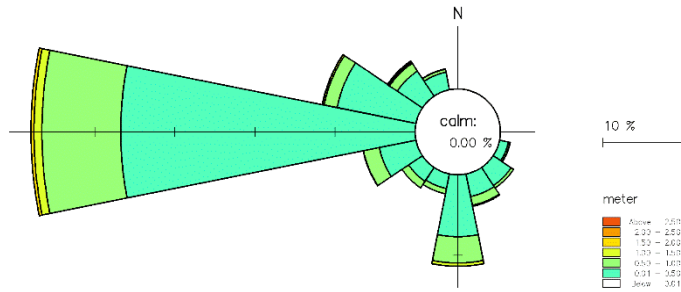
				S <sub>0</sub>	M2	S2	N2	K1	O1	M4	M54	
(29) - Daftar 2a	X	00	-	48712	48711.71							
	X	10	-	1819				1819.133	-145.531			
	X	12	-Y	1b	3996	279.748			-79.928	3996.39	79.928	
	(15) - Daftar 2b	X	13	-Y	1c	-93						
		X	20	-	-4956	148.676	-4955.87	148.676				
		X	22	-Y	2b	692	6991.61	98.874	217.523	15.183	-382.314	-230.706
		X	23	-Y	2c	-2369	142.129		-2368.81			
		X	42	-Y	4b	142	4.252					141.72
		Σ	X	44	-Y	4d	-225				224.575	17.966
		5	Y	10	-	-7507				-7506.63	600.530	
Y			12	+X	1b	-2424	-169.661			48.47	-2423.72	-72.71
Y	13		+X	1c	432							
Y	20		-	-2664	79.91	-2663.64	79.91					
Y	22		+X	2b	-16970	-16970.12	-254.55	-543.04		984.27	503.95	
Y	23		+X	2c	5183	-310.99		5183.10				
Y	42		+X	4b	-527	-15.81				-5.27	-526.91	
Σ	Y		44	+X	4d	-461				-461.06	-36.88	

**Tabel 9**

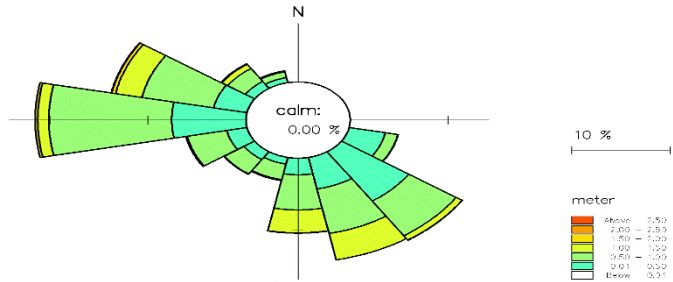
Hasil Penyusunan Skema 7 untuk Data Pasang Surut Bulan Mei 2013

			S <sub>0</sub>	M2	S2	N2	K1	O1	M4	M54	
V	PR cos r		48711.7	7166.4	-4857.0	-2002.6	1752.4	3468.5	224.6	8.9	
V	I PR sin r			-17386.7	-2918.2	4720.0	-7458.2	-838.9	-466.3	-42.6	
	PR		48711.7	18805.7	5666.2	5127.2	7661.3	3568.6	517.6	43.5	
Daftar 3a : P			696.0	559.0	448.0	566.0	439.0	565.0	507.0	535.0	
Hasil Hitung	r			1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.1	1.0	
Hasil Hitung	l+W			1.0	0.9	1.1	1.2	1.0	1.0	0.9	
Hasil Hitung	V			-118.4	0.0	36.0	142.9	98.7	-596.8	-118.4	
Hasil Hitung	u			1.6	0.0	1.6	7.2	-9.3	3.1	1.6	
Hasil Hitung	w			0.0	10.8	-9.4	16.3	0.0	0.0	10.8	
Daftar 3a (3b) : p				333.0	345.0	327.0	173.0	160.0	307.0	318.0	
Hasil Hitung	r			292.4	211.0	113.0	283.2	346.4	295.7	281.8	
Jumlah	g			508.6	566.8	469.0	622.6	595.8	9.1	493.8	
PR / [P.X (I + W)] = A				148.6	206.8	109.0	262.6	235.8	9.1	133.8	
				70.0	32.8	14.4	8.2	15.8	7.2	1.0	0.1

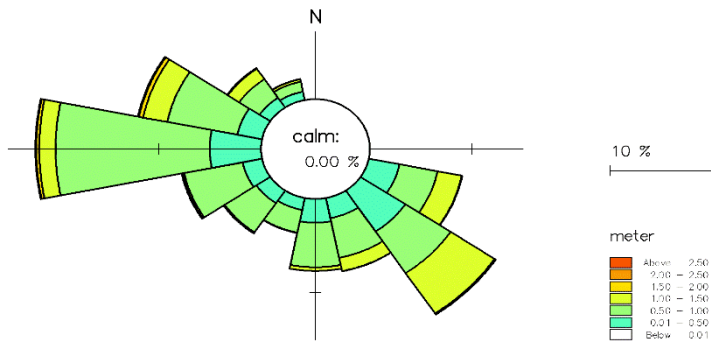
## Lampiran 2 Wave Rose



**Gambar 1**  
Wave Rose Perairan Bengkulu Tahun 2010



**Gambar 2**  
Wave Rose Perairan Bengkulu Tahun 2011



**Gambar 3**  
Wave Rose Perairan Bengkulu Tahun 2012

## TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap **Fadilah, S.Si., M.Si.**, lahir di Kota Bengkulu pada 17 Juli 1984, merupakan bungsu dari 5 (lima) bersaudara, putri pasangan Drs. H. Amri Said, M.H.I dan Hj. Musriyati Rauf, BA. Penulis menyelesaikan SD pada tahun 1996 di SDN No.28 Kota Bengkulu. Pendidikan SMP diselesaikan pada tahun 1999 di MTsN 1 Kota Bengkulu, dan pendidikan SMA diselesaikan pada tahun 2002 di MAN 1 Model Kota Bengkulu. Gelar Sarjana (S1) diperoleh dari Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada di Yogyakarta pada tahun 2007. Kemudian Gelar Magister (S2) diperoleh dari Program Pascasarjana Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah pada tahun 2014.

Setelah lulus, penulis bekerja di Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Bengkulu sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS), menjadi Staf Seksi Geologi Umum dan Vulkanologi di Bidang Geologi dari tahun 2008-2010, juga sebagai Staf Administrasi dan Pembantu Operasional di Bagian Sistem Informasi Geografi dari tahun 2009-2010. Pada tahun 2010-2012, penulis bekerja sebagai staf umum di bagian Perencanaan dan Pelaporan, dan menjadi staf Pengusahaan dan Perijinan Air Bawah Tanah/Air Permukaan (ABT/AP) Bidang Pengusahaan Pertambangan dan Energi dari tahun 2012 hingga sekarang. Sementara Tahun 2015-2018 sebagai Fungsional Penyelidik Bumi Muda. Tahun 2019 menjadi Dosen di IAIN Bengkulu.

