

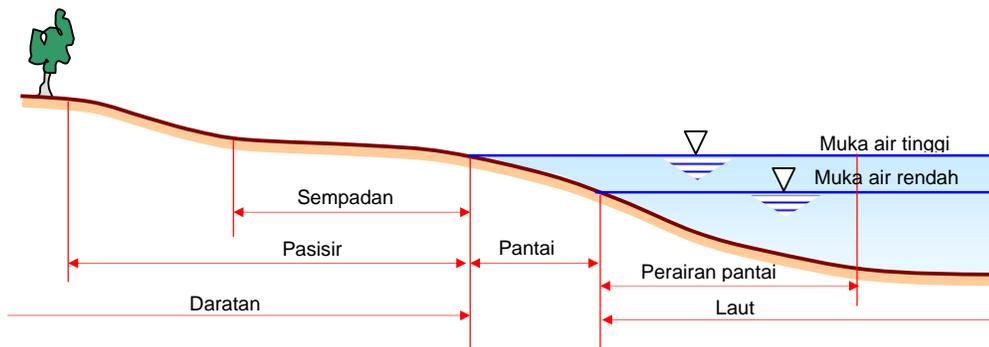
## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Umum

Pembangunan pada hakekatnya merupakan rangkaian perubahan menuju kemajuan. Pembangunan bangunan pantai lebih ditujukan kepada terciptanya suatu sistem bangunan di pantai yang handal, berkemampuan tinggi, dan diselenggarakan secara terpadu, tertib, lancar, aman, dan efisien. Sistem pembangunan bangunan pantai berperan untuk menunjang aktifitas pantai itu sendiri baik yang dilakukan oleh manusia seperti kegiatan para nelayan maupun oleh alam (*offshore / longshore*).

Definisi dari pantai adalah suatu daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Daerah yang berada di sekitar pantai dinamakan pesisir, yakni suatu daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut, seperti pasang surut, angin laut dan rembesan air laut.



**Gambar 2.1.** Definisi Pantai dan Batasan Pantai

Penyesuaian bentuk pantai merupakan tanggapan yang dinamis alami pantai terhadap laut. Proses dinamis pantai sangat dipengaruhi oleh *littoral transport*, yang didefinisikan sebagai gerak sedimen di daerah dekat pantai (*nearshore zone*) oleh gelombang dan arus. *Littoral transport* dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu transpor sejajar pantai (*longshore transport*) dan transpor tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*). Material pasir yang ditranspor disebut dengan *littoral drift*. Transpor tegak lurus pantai terutama ditentukan oleh kemiringan gelombang terhadap garis pantai, ukuran sedimen dan kemiringan pantai. Transpor sejajar pantai ditentukan oleh pasang surut air laut.

Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sedemikian sehingga mampu menghancurkan energi gelombang yang datang. Penyesuaian bentuk tersebut merupakan tanggapan dinamis alami pantai terhadap laut. Salah satu permasalahan besar yang ada di daerah pantai adalah erosi pantai. Erosi pantai dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar dengan rusaknya kawasan permukiman dan fasilitas – fasilitas yang ada di wilayah tersebut. Proses erosi dan sedimentasi yang dibicarakan adalah di daerah pantai yang terletak di antara batas *offshore* pantai dimana gelombang mulai menggerakkan sedimen dan batas garis pantai. Proses ini terjadi akibat interaksi dari angin, gelombang, arus, pasang surut, sedimen, dan faktor – faktor lain di daerah pantai.

## **2.2. Aspek Hidro -Oseanografi**

### **2.2.1 Angin**

Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk.

### A. Distribusi kecepatan angin

Distribusi kecepatan angin di atas permukaan laut terbagi dalam tiga daerah sesuai dengan elevasi di atas permukaan. Di daerah geostropik yang berada di atas 1000 m kecepatan angin adalah konstan. Di bawah elevasi tersebut terdapat dua daerah yaitu daerah Ekman yang berada pada elevasi 100 sampai 1000 m dan daerah di mana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 sampai 100 m. Di kedua daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara.

Untuk memprediksi gelombang didasarkan pada kecepatan angin yang diukur pada elevasi  $y = 10$  m. Apabila angin tidak diukur pada elevasi 10 m, maka kecepatan angin harus dikonversikan pada elevasi tersebut. Untuk  $y$  lebih kecil dari 20 dapat menggunakan persamaan berikut :

$$U(10) = U(y) \left(\frac{10}{y}\right)^{1/7} \quad (2.1)$$

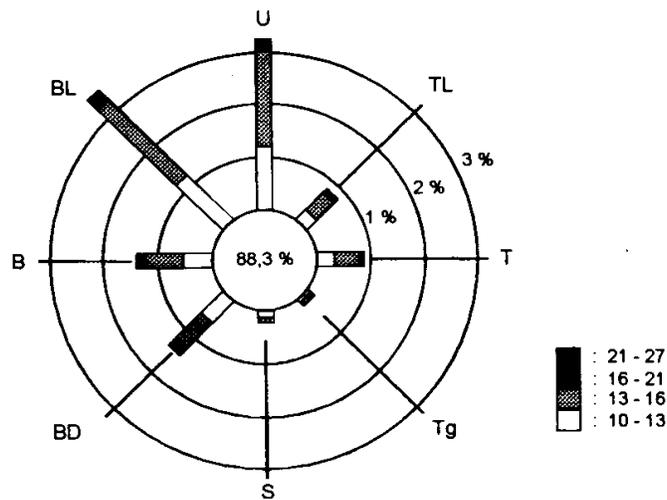
U : kecepatan angin

y : elevasi terhadap permukaan air

### B. Data Angin

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut (menggunakan kapal yang sedang berlayar) atau pengukuran di darat (di lapangan terbang) di dekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin laut. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau  $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam} = 0,5 \text{ m/d}$ . Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Dengan pencatatan angin jam – jaman tersebut dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian..

Data angin yang diperlukan merupakan hasil pengamatan beberapa tahun yang disajikan dalam bentuk tabel dengan jumlah data yang sangat besar. Kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk diagram yang disebut dengan mawar angin. Gambar 2.2. adalah contoh mawar angin yang dibuat berdasarkan pengolahan data angin yang tercatat oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) yang terdapat di sekitar daerah pantai yang direncanakan.



**Gambar 2.2.** Mawar angin

Gambar tersebut menunjukkan presentasi kejadian angin dengan kecepatan tertentu dari berbagai arah dalam periode waktu pencatatan. Dalam gambar tersebut garis – garis radial adalah arah angin dan tiap lingkaran menunjukkan presentasi kejadian angin dalam periode waktu pengukuran.

### C. Konversi Kecepatan Angin

Sudah dijelaskan di depan bahwa data angin dapat diperoleh dari pencatatan di permukaan laut atau pengukuran di darat. Pada laporan ini data angin yang digunakan merupakan hasil pengukuran di darat yang diperoleh dari Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Serui. Pengukuran data angin di permukaan laut adalah yang paling sesuai dengan dengan peramalan gelombang, oleh karena itu data angin dari daratan perlu dikoreksi dengan persamaan berikut ini :

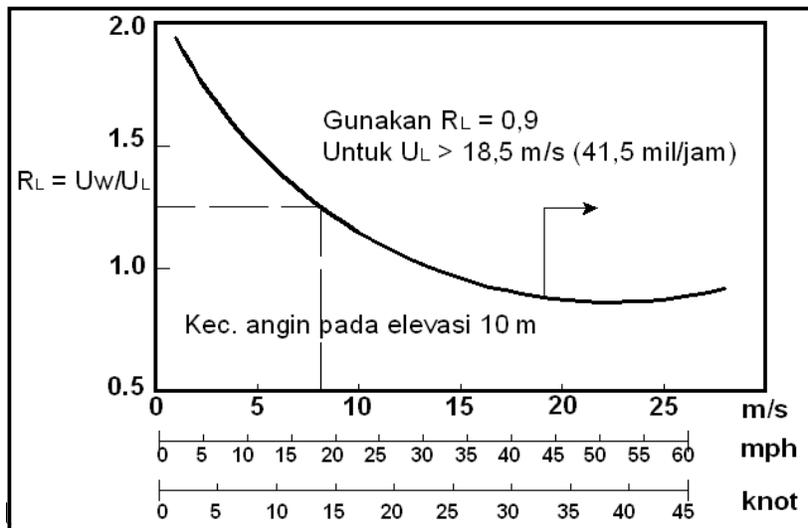
$$U = 2,16xU_s^{7/9} \quad (2.2)$$

dengan :

$U_s$  : kecepatan angin yang diukur oleh kapal (knot)

$U$  : kecepatan angin terkoreksi (knot)

Biasanya pengukuran angin dilakukan di daratan, padahal dalam rumus – rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang di atas permukaan air laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di lokasi stasiun angin ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh  $R_L = U_w/U_L$  seperti dalam Gambar 2.3. Gambar tersebut merupakan hasil penelitian yang dilakukan di Great Lake, Amerika Serikat.



(Triatmodjo, 1999)

**Gambar 2.3.** Hubungan antara kecepatan angin di laut ( $U_w$ ) dan di darat ( $U_L$ )

Dengan memasukkan nilai kecepatan angin terkoreksi ( $U$ ) pada gambar 2.3., maka akan didapat  $R_L$ . Kecepatan angin harus dikonversikan menjadi faktor tegangan angin ( $U_A$ ). faktor tegangan angin berdasarkan kecepatan angin di laut ( $U_w$ ), yang telah dikoreksi terhadap data kecepatan angin di darat ( $U_L$ ). Rumus faktor tegangan angin berdasarkan kecepatan angin di laut adalah sebagai berikut :

$$U_w = R_L x U \quad (2.3)$$

Rumus faktor tegangan angin adalah sebagai berikut :

$$U_A = 0,71xU_w^{1,23} \quad (2.4)$$

Dimana :

- $U_w$  : kecepatan angin di laut
- $U$  : kecepatan angin terkoreksi (knot)
- $U_A$  : faktor tegangan angin

#### **D. Fetch**

*Fetch* adalah jarak seret gelombang. Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentuk gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. *Fetch* rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut :

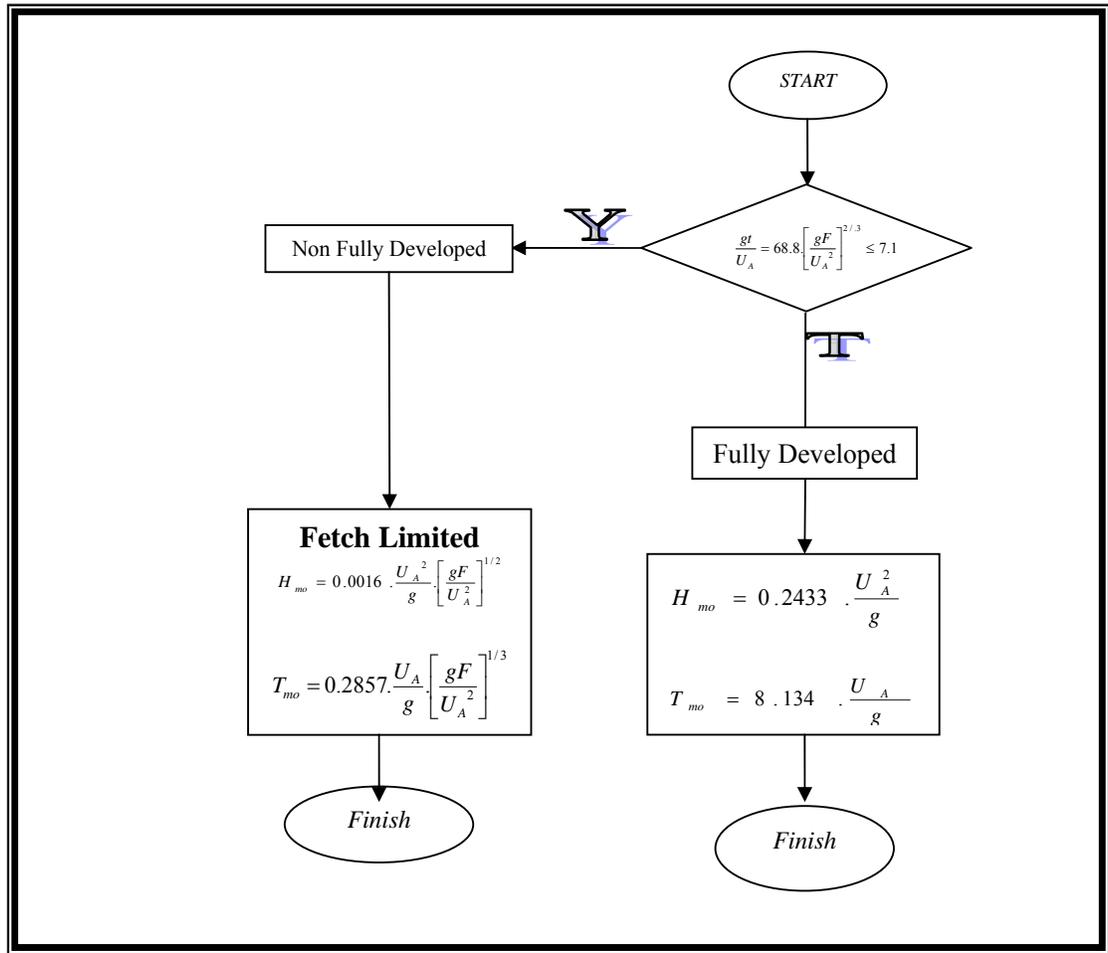
$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_j \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2.5)$$

Dengan :

- $F_{\text{eff}}$  : *fetch* rerata efektif
- $X_1$  : panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*
- $\alpha$  : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan  $6^\circ$  sampai sudut sebesar  $42^\circ$  pada kedua sisi dari arah angin.

#### **E. Peramalan Gelombang**

Peramalan gelombang berdasarkan data angin sebagai pembangkit utama gelombang dan daerah pembentukan gelombang (*fetch*). Dari data angin dan *fetch* gelombang akan didapatkan jenis, tinggi dan periode gelombang yang ada di daerah pantai. Dengan menggunakan rumus – rumus seperti berikut :



**Gambar 2.4.** Flow chart dan rumus peramalan gelombang (SPM,1984)

Dimana :

$H_{mo}$  : *Wave Height* ( tinggi gelombang signifikan ) adalah tinggi rerata dari 33% nilai tertinggi gelombang yang terjadi.

$T_{mo}$  : *Wave Period* ( Periode Gelombang)

$F_{eff}$  : *Efective fetch length* ( panjang *fetch* efektif )

$U_a$  : *Wind Stres Factor* ( *Modified Wind Speed* ) faktor tegangan angin

$g$  : gravitasi

$t$  : waktu

### 2.2.2 Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Diantaranya adalah:

- a) gelombang angin yang diakibatkan oleh tiupan angin di permukaan laut
- b) gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda – benda langit terutama matahari dan bulan,
- c) gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Gelombang dapat menimbulkan energi yang dapat mempengaruhi profil pantai. Selain itu gelombang juga menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus maupun sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya – gaya yang bekerja pada bangunan pantai.

Terdapat beberapa teori gelombang dengan beberapa derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan kondisi gelombang di alam diantaranya adalah teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal dan Tunggal. Teori Gelombang Airy merupakan teori gelombang amplitudo kecil, sedangkan teori gelombang yang lain adalah gelombang amplitudo terbatas ( *finite amplitude waves* )

#### 2.2.2.1 Beberapa Teori Perhitungan Gelombang

##### 1. Teori Gelombang Airy

Teori Gelombang Airy ( teori amplitudo kecil ) diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi ( *irrotational flow* ) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut.

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya *coriolis* ( akibat perputaran bumi diabaikan ).
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.

5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan *impermeable* sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Gambar 2.5. menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y. Gelombang menjalar pada sumbu x.

Beberapa notasi yang digunakan di dalam perhitungan Gelombang Airy adalah :

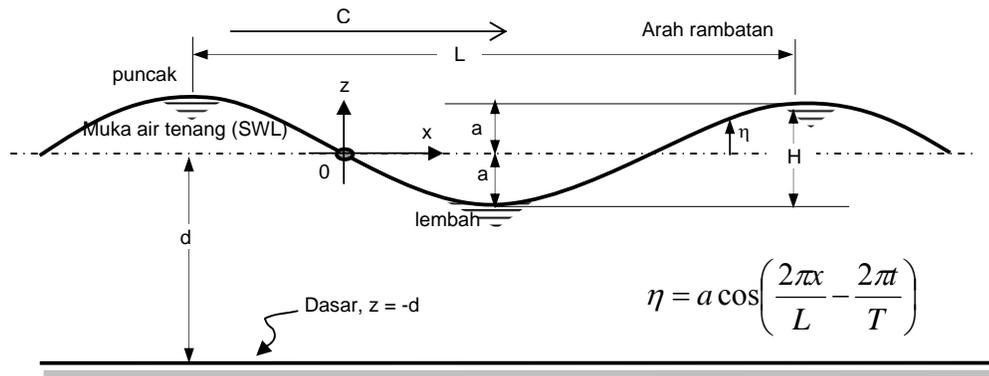
- d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
- $\eta(x,t)$  : fluktuasi muka air terhadap muka air diam =  $\eta = a \cos(kx - \sigma t)$
- a : amplitudo gelombang
- H : tinggi gelombang = 2 a
- L : panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan
- T : Periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya
- C : Kecepatan rambat gelombang = L/T
- k : angka gelombang =  $2\pi / L$
- $\sigma$  : frekuensi gelombang =  $2\pi / T$
- g : gravitasi = 9,81 m/d<sup>2</sup>

Hubungan cepat rambat gelombang dengan panjang gelombang dan kedalaman adalah :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.6)$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.7)$$



Gambar 2.5. Skets definisi gelombang

### Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif

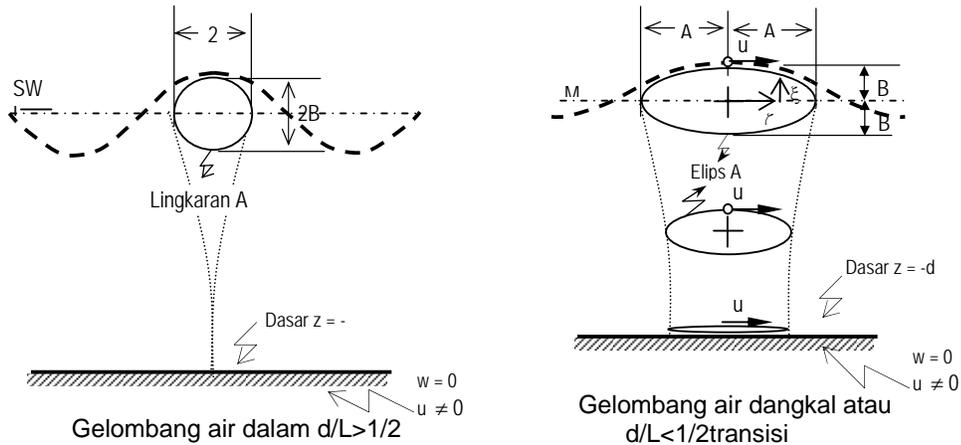
Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang  $L$ , ( $d/L$ ), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam dapat dilihat pada Tabel 2.1. yaitu :

Tabel 2.1. Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier (Airy)

Keterangan	Gelombang dilaut dangkal	Gelombang di laut transisi	Gelombang di laut dalam
$d/L$	$d/L \geq 1/2$	$1/20 < d/L < 1/2$	$d/L \leq 1/20$
Tanh ( $2\pi d/L$ )	$\approx 2\pi d/L$	Tanh ( $2\pi d/L$ )	$\approx 1$
Cepat rambat gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$C = C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$L = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2$

(Nur Yuwono,1982)

Selama penjalaran gelombang dari laut dalam ke laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi, dan dalam

**2. Teori Gelombang Stokes.**

Teori Stokes mengembangkan teori orde kedua untuk gelombang yang mempunyai tinggi gelombang kecil tetapi berhingga. Beberapa karakteristik pengerjaan Teori Gelombang Stokes diberikan berikut ini :

- a) Panjang dan kecepatan rambat gelombang.

Panjang dan kecepatan rambat gelombang untuk Teori Gelombang Stokes sama dengan Teori Gelombang Airy yaitu :

Hubungan cepat rambat gelombang dengan T dan d adalah

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \tag{2.8}$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \tag{2.9}$$

b) Fluktuasi muka air

Persamaan muka air untuk teori orde kedua adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{\cosh kd}{\sinh^3} (2 + \cosh 2kd) \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.10)$$

Untuk laut dalam (  $d/l > 0.5$  ) persamaan di atas menjadi :

$$\eta = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_0} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \frac{\pi H_0^2}{4L_0} \cos\left[\frac{4\pi x}{L_0} - \frac{4\pi t}{T}\right] \quad (2.11)$$

c) Kecepatan partikel.

Komponen kecepatan partikel dalam arah x dan y mempunyai bentuk berikut :

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 C \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.12)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 C \frac{\sinh 2k(d+y)}{\sinh kd} \sin 2(kx - \sigma t) \quad (2.13)$$

d) Perpindahan ( *displacement* ) partikel.

Persamaan orde kedua dari perpindahan partikel terhadap posisi rerata untuk gelombang amplitudo berhingga mempunyai bentuk berikut ini.

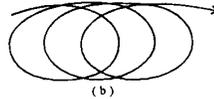
$$\xi = \frac{H}{2} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{1}{\sinh^2 kd} \left[ 1 - \frac{3}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \right] \sin 2(kx - \sigma t)$$

$$+ \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \frac{Ct}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \quad (2.14)$$

$$\varepsilon = \frac{H}{2} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} + \frac{3}{16} \frac{\pi H^2}{L} \frac{\sinh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.15)$$

e) Kecepatan transpor massa

Teori Stokes menganggap bahwa partikel air bergerak dalam orbit berupa lingkaran atau elips tidak tertutup. Sehingga hal ini menyebabkan terjadinya aliran massa air dalam arah penjalaran gelombang, seperti terlihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** Orbit partikel air pada Gelombang Stokes

$$U_{(y)} = \left[ \frac{\pi H}{L} \right]^2 \frac{C}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \quad (2.16)$$

f) Tekanan gelombang

Distribusi tekanan gelombang pada kedalaman air diberikan oleh bentuk berikut :

$$p = \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \cos(kx - \sigma t) - \rho g y - \frac{1}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh kd}{\sinh^2 kd} [\cosh 2k(d+y) - 1] + \frac{3}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh kd}{\sinh^2 kd} \left\{ \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} - \frac{1}{3} \right\} \cos 2(kx - \sigma t) \quad (2.17)$$

### 3. Teori Gelombang Knoidal.

Teori Gelombang Knoidal merupakan teori gelombang amplitudo berhingga yang cocok digunakan pada perairan dangkal dengan perbandingan  $d/L < 1/8$ . Gelombang Knoidal adalah gelombang periodik yang biasanya mempunyai puncak tajam yang dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang.

Gambar 2.8. menunjukkan beberapa parameter Gelombang Knoidal. Karakteristik gelombang dinyatakan dalam parameter yang mempunyai fungsi dari  $k$ . Parameter  $k$  tidak mempunyai arti fisik, dan hanya digunakan untuk menyatakan hubungan antara berbagai parameter gelombang. Ordinat dari permukaan air "ys" diukur terhadap dasar diberikan oleh :

$$y_s = y_t + H.cn^2 \left\{ 2K(k) \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right), k \right\} \quad (2.18)$$

Dengan :

$y_t$  : jarak dari dasar ke lembah gelombang

$cn$  : fungsi cosinus elips

$K(k)$  : integral elips

$K$  : modulus dari integral elips ( nilai  $k$  berkisar antara 0 – 1 )

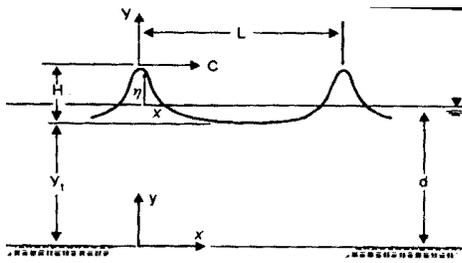
Jarak dari dasar ke lembah gelombang (  $y_t$  ) adalah :

$$\frac{y_t}{y_c} = \frac{y_c}{d} - \frac{H}{d} = \frac{16d^2}{3L^2} K(k) \{ K(k) - E(k) \} + 1 - \frac{H}{d} \quad (2.19)$$

Dengan  $y_c$  adalah jarak dari dasar ke puncak gelombang.

Panjang gelombang diberikan oleh rumus :

$$L = \sqrt{\frac{16d^3}{3H}} k.K(k) \quad (2.20)$$

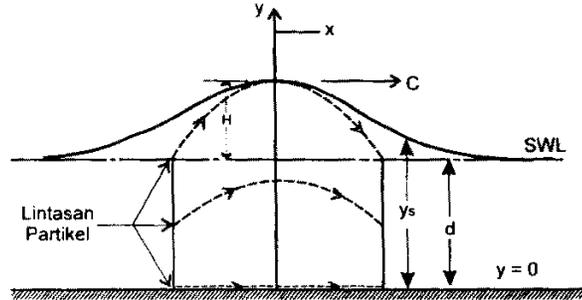


**Gambar 2.8.** Gelombang Knoidal

#### 4. Teori Gelombang Tunggal ( *Solitary Wave* )

Gelombang Tunggal adalah gelombang berjalan yang terdiri dari satu puncak gelombang. Apabila gelombang memasuki perairan yang sangat dangkal, amplitudo gelombang menjadi semakin tinggi, puncaknya menjadi semakin tajam dan lembahnya menjadi semakin datar. Gelombang tunggal merupakan gelombang translasi, di mana kecepatan partikel air hanya bergerak dalam arah penjalaran gelombang.

Gambar 2.9. merupakan sistem koordinat dari Gelombang Tunggal. Diberikan oleh persamaan berikut ini :



Gambar 2.9. Gelombang Tunggal

$$y_s = d + H \operatorname{sech}^2 \left\{ \sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{d^3} (x - Ct) \right\} \text{ atau } \eta = H \operatorname{sech}^2 \left\{ \sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{d^3} (x - Ct) \right\} \quad (2.21)$$

Dimana sumbu x berawal dari puncak gelombang.

Kecepatan rambat gelombang memiliki bentuk seperti berikut :

$$C = \sqrt{g(H + d)} \quad (2.22)$$

Kecepatan partikel gelombang diberikan oleh :

$$u = CN \frac{1 + \cos(My/d) \cosh(Mx/d)}{\{\cos(My/d) + \cosh(Mx/d)\}^2}$$

$$v = CN \frac{\sin(My/d) \sinh(Mx/d)}{\{\cos(My/d) + \cosh(Mx/d)\}^2} \quad (2.23)$$

Dengan M dan N adalah fungsi H/d seperti di berikan pada Gambar 2.10. dan y diukur dari dasar. Kecepatan horizontal  $u$  sering dipergunakan untuk memprediksi gaya gelombang pada bangunan pantai di air dangkal. Kecepatan maksimum  $U_{maks}$  terjadi apabila  $x = t = 0$ , sehingga :

$$U_{maks} = \frac{CN}{1 + \cos(My/d)} \quad (2.24)$$

Energi gelombang total tiap satuan lebar :

$$E = \frac{8}{3\sqrt{3}} \cdot \rho \cdot g \cdot H^{3/2} d^{3/2} \quad (2.25)$$

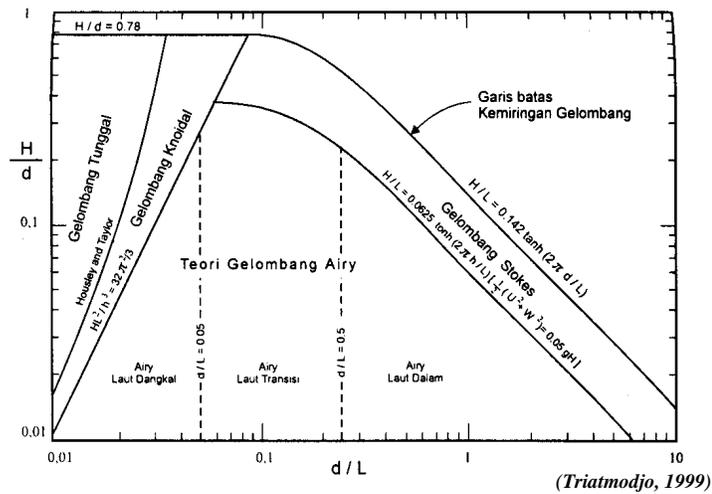
Tekanan gelombang diberikan oleh bentuk :

$$P = \rho \cdot g \cdot (y_c - y) \quad (2.26)$$

$$\text{Gelombang pecah akan terjadi jika } \left( \frac{H}{d} \right)_{maks} = 0.78 \quad (2.27)$$

### Batasan Penggunaan Teori Gelombang

Berikut ini akan diberikan gambar mengenai batasan – batasan di dalam pemilihan teori gelombang. Gambar ini didasarkan pada perbandingan H/d dan d/L.



Gambar 2.10. Daerah penerapan fungsi gelombang fungsi H/d dan d/L (Triatmodjo, 1999)

### 2.2.2.2 Deformasi Gelombang

#### 1. Gelombang Laut Dalam Ekuivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen, yaitu tinggi gelombang laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Pemakaian gelombang ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi dan transformasi lainnya, sehingga perkiraan transformasi dan deformasi gelombang dapat dilakukan lebih mudah. Tinggi gelombang di laut dalam ekuivalen diberikan oleh bentuk :

$$H'_o = K' K_r H_o \quad (2.28)$$

$H'_o$  : tinggi gelombang laut dalam ekivalen

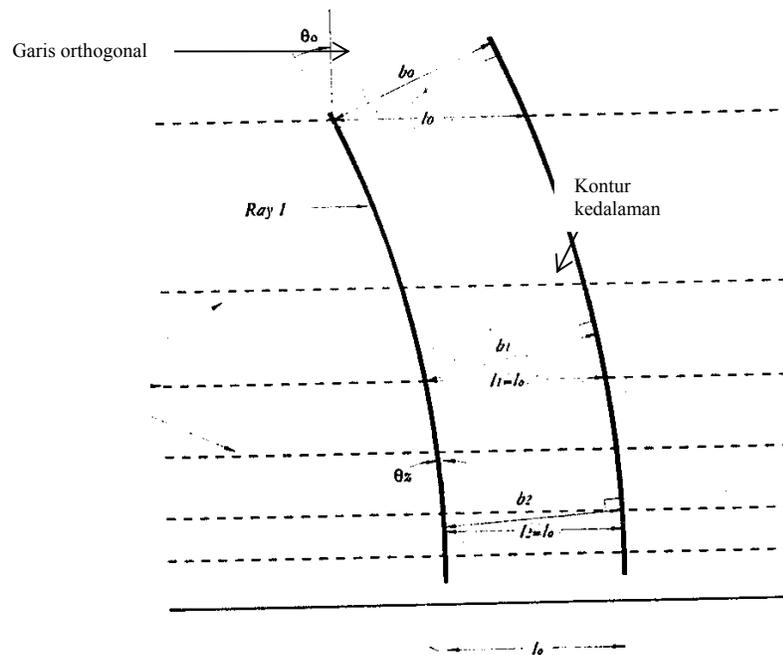
$H_o$  : tinggi gelombang laut dalam

$K'$  : koefisien difraksi

$K_r$  : koefisien refraksi

## 2. Refraksi Gelombang

Refraksi adalah peristiwa berubahnya arah perambatan dan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut. Gambar 2.11. merupakan gambaran sederhana terjadinya refraksi. Gelombang akan merambat lebih cepat pada perairan yang dalam dari perairan yang dangkal. Hal ini menyebabkan puncak gelombang membelok dan menyesuaikan diri dengan kontur dasar laut.



**Gambar 2.11.** Perambatan arah gelombang akibat refraksi

Persamaan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut adalah

$$H = K_s K_r H_o \quad (2.29)$$

Dimana :

$K_s$  : Koefisien pendangkalan, merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air

$$K_r : \text{Koefisien refraksi} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}}$$

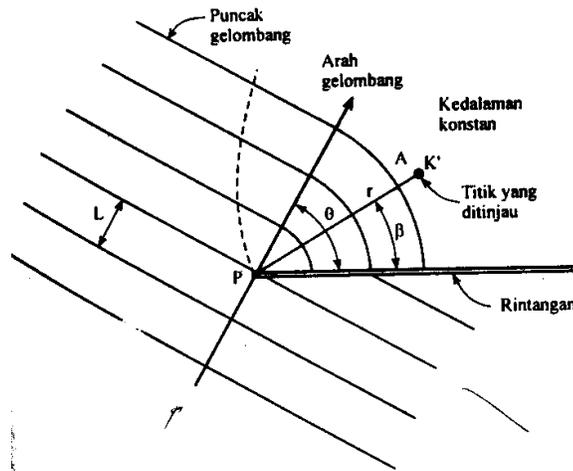
$H_o$  : Tinggi gelombang di laut dalam

$\alpha_o$  : sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai

$\alpha$  : sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau,  $\sin \alpha = \left( \frac{C}{C_o} \right) \sin \alpha_o$

### 3. Difraksi Gelombang

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya, seperti terlihat pada Gambar 2.12. Fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.



**Gambar 2.12.** Difraksi gelombang di belakang rintangan

Pada 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  $\beta$ , dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan  $\theta$ . Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi  $K'$ .

$$H_A = K' H_p \quad (2.30)$$

$$K' = f(\theta, \beta, r/L) \quad (2.31)$$

#### 4. Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai / membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Tinjauan refleksi gelombang penting di dalam perencanaan bangunan pantai, terutama pada bangunan pelabuhan. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidaktenangan di dalam perairan. Untuk mendapatkan ketenangan di dalam perairan, maka bangunan – bangunan yang ada di pelabuhan / pantai harus dapat menyerap / menghancurkan energi gelombang. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibanding

dengan bangunan tegak dan masif. Pada bangunan vertikal, halus dan dinding tidak *permeable*, gelombang akan dipantulkan seluruhnya.

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi  $H_r$  dan tinggi gelombang datang  $H_i$  :

$$X = \frac{H_r}{H_i} \quad (2.32)$$

Koefisien refleksi bangunan diestimasi berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan disajikan dalam Tabel 2.2. berikut ini :

**Tabel 2.2.** Koefisien refleksi

Tipe bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak diatas air	0,7 – 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 – 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,6
Tumpukan balok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lubang)	0,05 – 0,2

(Triatmodjo, 1999)

Dinding vertikal dan tak *permeable* memantulkan sebagian besar gelombang. Pada bangunan seperti itu koefisien refleksi adalah  $X=1$ , dan tinggi gelombang yang dipantulkan sama dengan tinggi gelombang datang. Gelombang di depan dinding vertikal merupakan superposisi dari kedua gelombang dengan periode, tinggi dan angka gelombang yang sama tetapi berlawanan arah.

Apabila refleksi adalah sempurna  $X=1$  maka :

$$\eta = H_i \cos kx \cos \sigma t \quad (2.33)$$

## 5. Gelombang Pecah

Dari rumus transformasi gelombang  $H = K_r K_s H_o$  pada kedalaman kecil ( $d \approx 0$ ) akan diperoleh tinggi gelombang yang sangat tinggi. Hal ini tidak mungkin terjadi karena kenyataannya di tepi pantai dengan kedalaman  $d \approx 0$ , tinggi gelombang  $H \approx 0$ . Fenomena ini disebabkan karena gelombang yang bergerak ke

pantai, pada kedalaman tertentu akan mengalami proses pecah gelombang (*breaking wave*). Kedalaman dimana gelombang pecah terjadi diberi notasi  $d_b$  dan tinggi gelombang pecah diberi notasi  $H_b$ .

Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

$$\frac{H_b}{H'_o} = \frac{1}{3,3(H'_o / L_o)^{1/3}} \quad (2.34)$$

Kedalaman air dimana gelombang pecah diberikan oleh rumus berikut :

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b / gT^2)} \quad (2.35)$$

Dimana  $a$  dan  $b$  merupakan fungsi kemiringan pantai  $m$  dan diberikan oleh persamaan berikut :

$$a = 43,75 (1 - e^{-19m}) \quad (2.37)$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \quad (2.38)$$

Dimana :

$H_b$  : tinggi gelombang pecah

$H'_o$  : tinggi gelombang laut dalam ekivalen

$L_o$  : panjang gelombang di laut dalam

$d_b$  : kedalaman air pada saat gelombang pecah

$m$  : kemiringan dasar laut

$g$  : percepatan gravitasi

$T$  : periode gelombang

Dengan mengambil berbagai harga  $d_b$  maka dapat menentukan harga  $H_b$  dengan cara coba-coba. Harga  $d_b$  dan  $H_b$  digambarkan dalam grafik. Perpotongan antara grafik  $H = K_s K_r H_o$  dan grafik  $H_b$  merupakan lokasi gelombang pecah.

### 2.2.2.3 Gelombang Pecah Rencana

Tinggi gelombang pecah rencana  $H_D$  merupakan tinggi gelombang pecah pada suatu jarak di depan kaki bangunan dimana gelombang pertama kali mulai pecah. Tinggi gelombang pecah rencana bergantung pada kedalaman air depan kaki bangunan, kemiringan dasar pantai dan jarak penjalaran gelombang pecah. Cara perhitungannya adalah :

$$H_D = H_b = \frac{d}{\beta - m \tau_p} \quad (2.39)$$

Dimana :

$H_D$  : Tinggi gelombang rencana

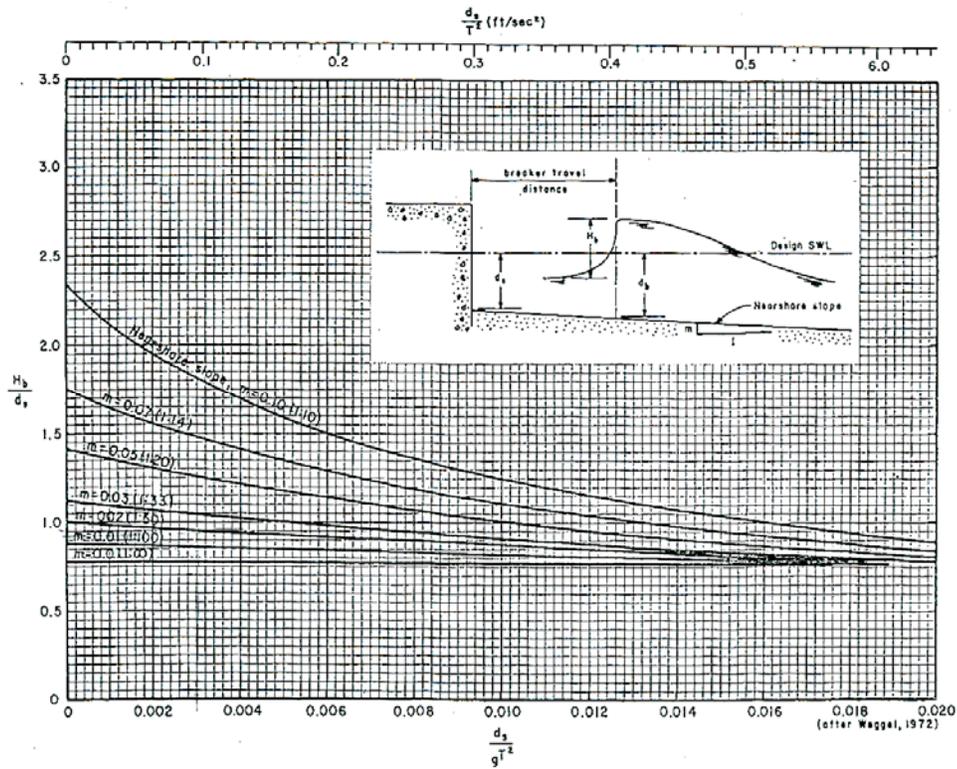
$H_b$  : Tinggi gelombang pecah

$\beta$  :  $d_b / H_b$

$d_s$  : kedalaman air di kaki bangunan

$m$  : kemiringan dasar pantai

Nilai  $\beta$  yang digunakan dalam persamaan (2.39) tidak dapat dilangsung digunakan sebelum nilai  $H_b$  diperoleh. Untuk menghitung nilai  $H_b$  telah disediakan Gambar 2.13. Apabila kedalaman rencana maksimum pada bangunan dan periode gelombang datang diketahui, maka dapat dihitung tinggi gelombang pecah rencana.



**Gambar 2.13.** Tinggi gelombang pecah rencana di kaki bangunan

### 2.2.3 Fluktuasi Muka Air

Fluktuasi muka air laut yang disebabkan oleh proses alam diantaranya adalah:

- Tsunami
- Gelombang badai (*storm surge*)
- Kenaikan muka air karena Gelombang (*wave set up*)
- Kenaikan muka air karena angin (*wind set up*)
- Pemanasan global
- Pasang surut

Di antara beberapa proses tersebut fluktuasi muka air karena tsunami dan badai tidak dapat diprediksi.

### 2.2.3.1 Kenaikkan muka air karena gelombang (*wave set up*)

Gelombang yang 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 (*wave set down*) di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai (*wave set up*).

*Wave set up* di pantai dapat dihitung dengan menggunakan teori Longuet-Higgins dan Stewart. Besar *wave set down* di daerah gelombang pecah diberikan oleh :

$$S_b = -\frac{0.536H_b^{2/3}}{g^{1/2}T} \quad (2.40)$$

dengan:

- $S_b$  : *set down* di daerah gelombang pecah
- $T$  : periode gelombang
- $H_o'$  : tinggi gelombang laut dalam ekivalen
- $d_b$  : kedalaman gelombang pecah
- $g$  : percepatan gravitasi

*Wave set up* di pantai:

$$S_w = 0.19 \left[ 1 - 2.82 \sqrt{\frac{H_b}{g \times T^2}} \right] H_b \quad (2.41)$$

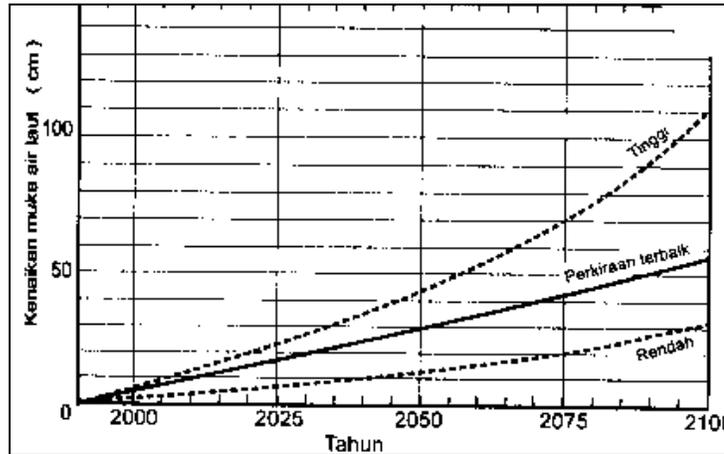
### 2.2.3.2 Kenaikan muka air karena angin (*wind set up*)

Angin dengan kecepatan besar (badai) yang terjadi di atas permukaan laut bisa membangkitkan fluktuasi muka air laut yang besar di sepanjang pantai jika badai tersebut cukup kuat dan daerah pantai dangkal dan luas.

### 2.2.3.3 Pemanasan Global

Peningkatan konsentrasi gas – gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan kenaikan suhu bumi sehingga mengakibatkan kenaikan muka air laut. Di dalam perencanaan bangunan pantai, kenaikan muka air karena pemanasan global harus

diperhitungkan karena memberikan perkiraan besarnya kenaikan muka air laut dari tahun 1990 sampai 2100 Gambar 2.14., gambar tersebut berdasarkan anggapan bahwa suhu bumi meningkat seperti yang terjadi saat ini.



(Triatmodjo, 1999)

Gambar 2.14. Perkiraan kenaikan muka air laut

#### 2.2.3.4 Pasang Surut

Definisi pasang surut adalah suatu gerakan naik – turunnya permukaan air laut, dimana amplitudo dan fasenya berhubungan langsung terhadap gaya geofisika yang periodik, yakni gaya yang ditimbulkan oleh gerak reguler benda – benda angkasa, terutama bulan – bumi – matahari.

Tipe pasang surut dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) bentuk dasar berdasarkan pada nilai *Formzahl*, F yang diperoleh dari persamaan :

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} \quad (2.42)$$

dimana :

F = nilai *formzahl*

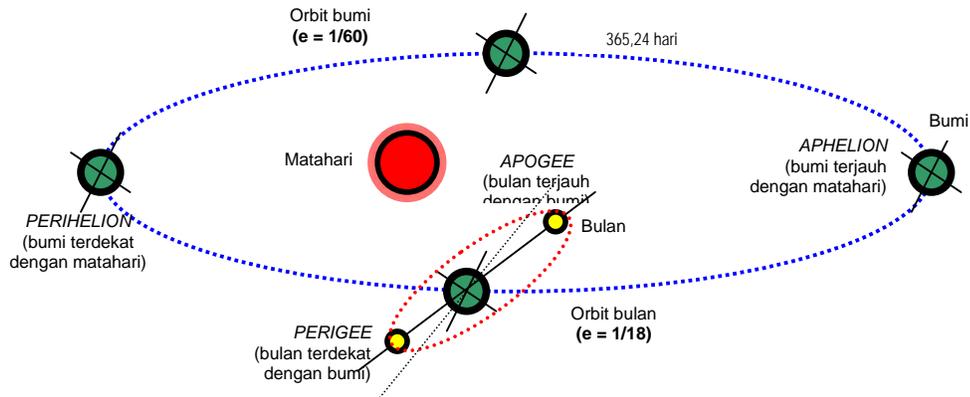
K1 dan O1 = konstanta pasang surut harian utama

M2 dan S2 = konstanta pasang surut ganda utama

1. Pasang surut ganda (*semi diurnal tides*) :  $F \leq 0,25$
2. Pasang surut campuran :  $0,25 < F \leq 3,00$ 
  - Pasang surut campuran dominan ganda (*mixed dominant semi diurnal*) untuk  $0,25 < F \leq 0,50$ ; dan

- Pasang surut campuran dominan tunggal (*mixed dominant diurnal*) untuk  $0,50 < F \leq 3,00$

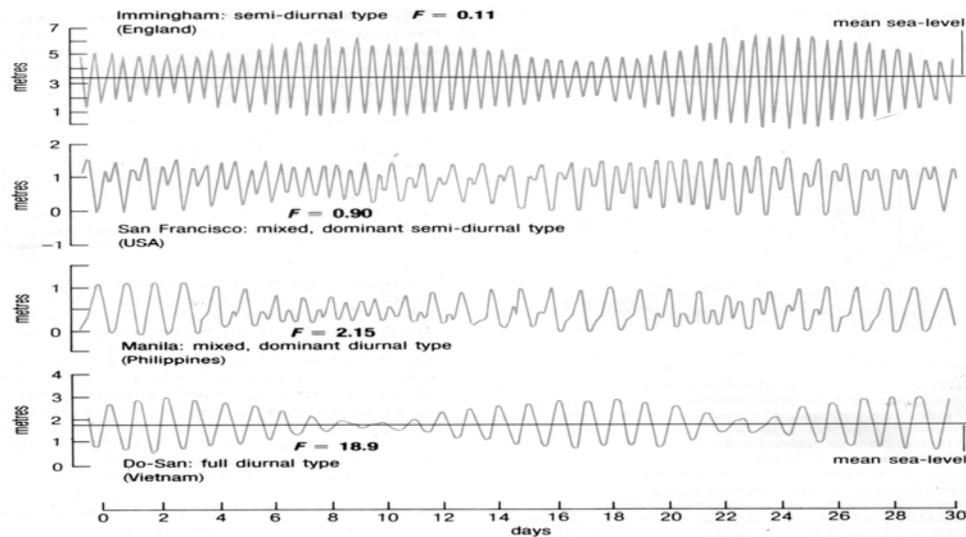
3. Pasang surut diurnal :  $F > 3,00$



**Gambar 2.15.** Posisi Matahari – Bulan – Bumi saat terjadi Pasang Surut

Secara umum pasang surut di berbagai daerah di Indonesia dapat dibagi menjadi 4 jenis, yaitu:

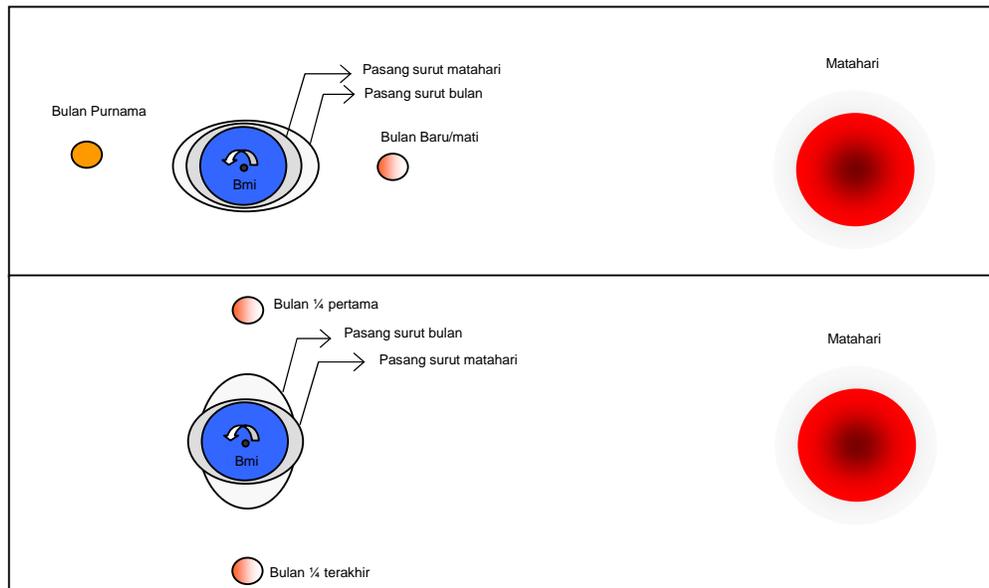
1. Pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*), yaitu pasang yang memiliki sifat dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan juga dua kali surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi berurutan secara teratur.
2. Pasang surut harian tunggal (*Diurnal Tide*), yaitu tipe pasang surut yang apabila dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut.
3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*Mixed Tide Prevailling Semidiurnal*), yaitu pasang surut yang dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*Mixed Tide Prevealling Diurnal*), yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.



**Gambar 2.16.** Tipe Pasang Surut

Beberapa posisi yang penting untuk diketahui adalah:

1. Matahari–bulan–bumi terletak pada satu sumbu yang berupa garis lurus.  
 Pada posisi ini bumi menghadapi sisi bulan yang tidak kena sinar matahari (sisi gelap), jadi bulan tidak dapat dilihat dari bumi. Karenanya keadaan tersebut sering dikatakan “bulan mati”. Posisi seperti ini akan mengakibatkan adanya gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi yang saling menguatkan.
2. Matahari–bumi–bulan terletak pada sumbu garis lurus  
 Pada posisi kedua ini, bulan sedang purnama, karena bulan dapat dilihat penuh dari bumi, dan memberikan akibat pada pembangkitan pasang yang sama dengan posisi pertama. Akibat posisi tersebut terjadi pasang tinggi. Pasang seperti ini dikenal sebagai pasang purnama.
3. Bulan terletak menyiku (membuat sudut  $90^0$ ) dari sumbu bersama matahari – bumi.  
 Pada posisi semacam ini, maka gaya tarik bulan akan diperkecil oleh gaya tarik matahari terhadap massa air di bumi. Hasilnya terjadi pasang yang kecil, yang disebut pasang perbani.



**Gambar 2.17.** Posisi bumi-bulan-matahari

Beberapa definisi muka air laut berdasarkan data pasang surut yaitu :

1. MHHWL : *Mean Highest High Water Level*, tinggi rata-rata dari air tinggi yang terjadi pada pasang surut purnama atau bulan mati (*spring tides*).
2. MLLWL : *Mean Lowest Low Water Level*, tinggi rata-rata dari air rendah yang terjadi pada pasang surut pasang surut purnama atau bulan mati (*spring tides*).
3. MHWL : *Mean High Water Level*, tinggi rata-rata dari air tinggi selama periode 19,6 tahun.
4. MLWL : *Mean Low Water Level*, tinggi air rata-rata dari air rendah selama 18,6 tahun.
5. MSL : *Mean Sea Level*, tinggi rata-rata dari muka air laut pada setiap tahap pasang surut selama periode 18,6 tahun, biasanya ditentukan dari pembacaan jam-jaman.
6. HWL : *High Water Level (High Tide)*, elevasi maksimum yang dicapai oleh tiap air pasang.
7. HHWL : *Highest High Water Level*, air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati (*spring tides*).

8. LWL : *Low Water Level (Low Tide)*, elevasi minimum yang dicapai oleh tiap air surut.
9. LLWL : *Lowest Low Water Level*, air terendah pada saat pasang surut bulan purnama atau bulan mati (*spring tides*).

### 2.3 Peramalan Garis pantai

Penyesuaian bentuk pantai merupakan tanggapan yang dinamis alami pantai terhadap laut. Proses dinamis pantai sangat dipengaruhi oleh *littoral transport*, yang didefinisikan sebagai gerak sedimen di daerah dekat pantai (*nearshore zone*) oleh gelombang dan arus. *Littoral transport* dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu transpor sepanjang pantai (*longshore transport*) dan transpor tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*). Material pasir yang ditranspor disebut dengan *littoral drift*. Transpor tegak lurus pantai terutama ditentukan oleh kemiringan gelombang, ukuran sedimen dan kemiringan pantai. Pada umumnya gelombang dengan kemiringan besar menggerakkan material ke arah laut (abrasi), dan gelombang kecil dengan periode panjang menggerakkan material ke arah darat (akresi).

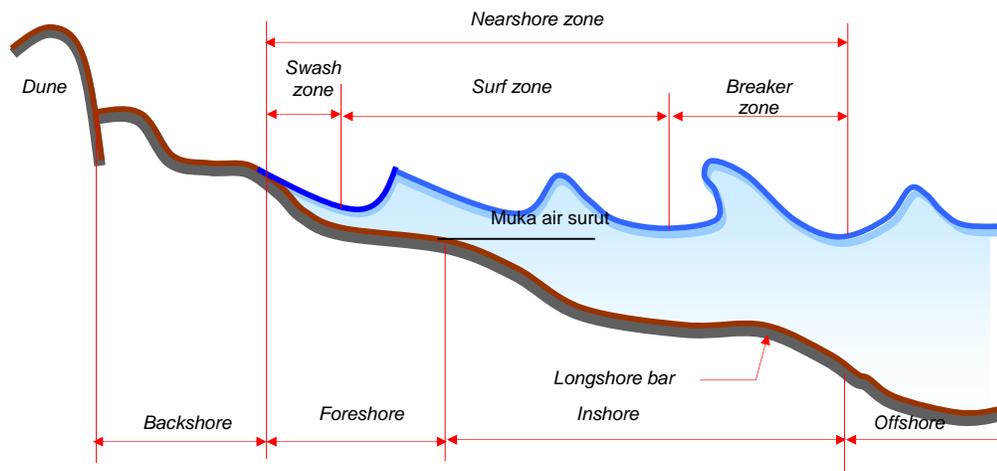
Bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh serangan gelombang, sifat-sifat sedimen seperti rapat massa dan tahanan terhadap erosi, ukuran dan bentuk partikel, kondisi gelombang dan arus, serta bathimetri pantai.

#### 2.3.1 Bentuk Pantai

Pantai bisa terbentuk dari material dasar berupa lumpur, pasir, atau kerikil (*gravel*). Kemiringan dasar pantai tergantung pada bentuk dan ukuran material dasar. Pada pantai kerikil kemiringan pantai bisa mencapai 1:4, pantai pasir mempunyai kemiringan 1:20 - 1:50 dan untuk pantai berlumpur mempunyai kemiringan sangat kecil mencapai 1:5000.

Pantai berlumpur terjadi di daerah pantai dimana terdapat banyak muara sungai yang membawa sedimen suspensi dalam jumlah besar ke laut. Selain itu kondisi gelombang di pantai tersebut relatif tenang sehingga tidak mampu membawa sedimen tersebut ke perairan dalam laut lepas.

Pada pantai berpasir mempunyai bentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18. Dalam gambar tersebut pantai dibagi menjadi *backshore* dan *foreshore*. Batas antara kedua zona adalah puncak *berm*, yaitu titik dari *run up* maksimum pada kondisi gelombang normal (biasa). *Run up* adalah naiknya gelombang akibat benturan pada puncak *berm* atau pada permukaan bangunan. *Run up* gelombang mencapai batas antara pesisir dan pantai hanya selama terjadi gelombang badai. *Surf zone* terbentang dari titik di mana gelombang pertama kali pecah sampai titik *run up* di sekitar lokasi gelombang pecah. Di lokasi gelombang pecah terdapat *longshore bar*, yaitu gundukan pasir di dasar yang memanjang sepanjang pantai.



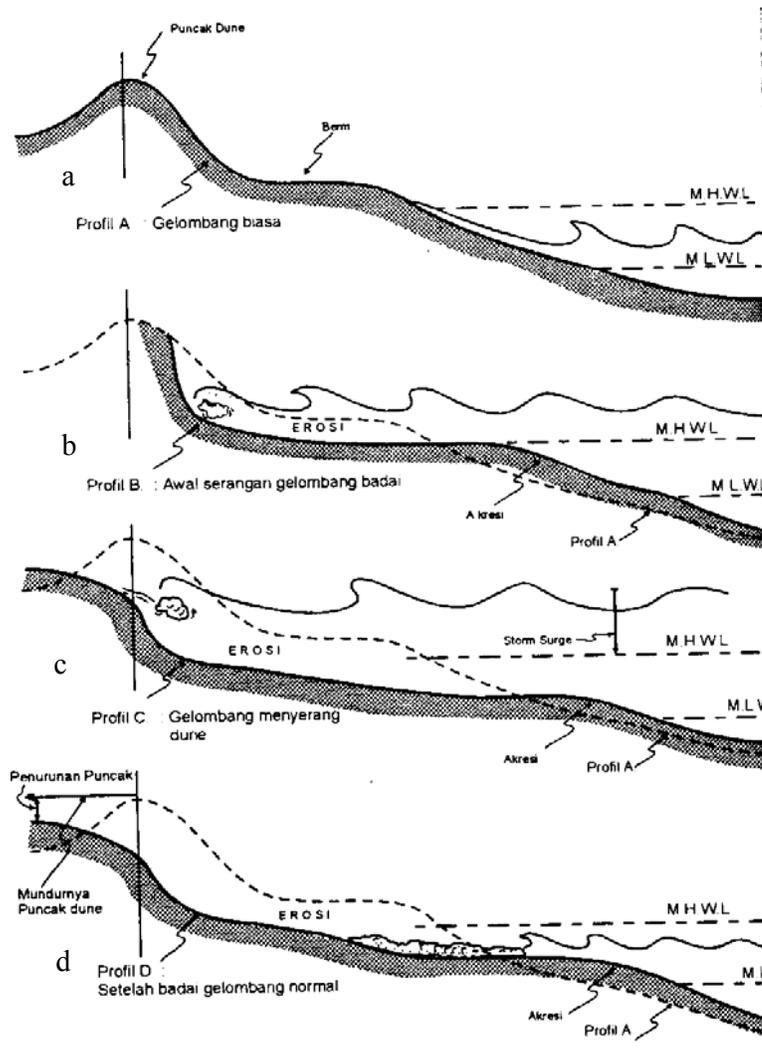
**Gambar 2.18.** Profil pantai

Pada kondisi gelombang normal pantai membentuk profilnya yang mampu menghancurkan energi gelombang. Jika pada suatu saat terjadi gelombang yang lebih besar, pantai tidak mampu meredam energi gelombang sehingga terjadi erosi. Pasir yang tererosi akan bergerak ke arah laut. Setelah sampai di daerah dimana kecepatan air di dasar kecil, pasir tersebut mengendap. Akumulasi endapan tersebut akan membentuk *offshore bar*, yaitu gundukan pasir di dasar pantai yang biasanya memanjang sejajar garis pantai (*longshore bar*). *Offshore bar* ini, yang kedalaman airnya kecil, menyebabkan lokasi gelombang pecah berada lebih jauh dari garis pantai yang memperlebar *surf zone* dimana sisa energi

gelombang dihancurkan. Dengan demikian *offshore bar* juga berfungsi sebagai pertahanan pantai terhadap serangan gelombang. Pembentukan *offshore bar* ini semakin besar pada waktu terjadinya gelombang badai. Selama terjadinya badai yang tinggi dan kemiringan gelombang besar. Angin dan gelombang tersebut dapat menyebabkan kenaikan elevasi muka air laut (*wind setup* dan *wave setup*), sehingga serangan gelombang dapat mengenai bagian pantai yang lebih tinggi. Bagian tersebut biasanya tidak terkena serangan gelombang. Kenaikan elevasi muka air tersebut memungkinkan gelombang besar melewati *offshore bar* tanpa pecah. Gelombang tersebut akan pecah pada lokasi yang sudah dekat garis pantai, sehingga lebar *surf zone* tidak cukup untuk menghancurkan energi gelombang badai tersebut. Akibatnya pantai, terbuka terhadap serangan gelombang dan tererosi. Material yang tererosi tersebut dibawa ke arah laut (*offshore*) dalam jumlah besar yang kemudian diendapkan di dasar *nearshore* dan membentuk *offshore bar*. *Bar* tersebut akhirnya tumbuh cukup besar untuk memecah gelombang datang lebih jauh ke *offshore*, sehingga penghancuran energi gelombang di *surf zone* lebih efektif.

Pada saat terjadi badai, di mana gelombang besar dan elevasi muka air diam lebih tinggi karena adanya setup gelombang dan angin, pantai dapat mengalami erosi. Gambar 2.19. menunjukkan proses terjadinya erosi pantai oleh gelombang badai (SPM, 1984) dengan puncak gelombang sejajar garis pantai. (Gambar 2.19a.) adalah profil pantai dengan gelombang normal sehari – hari. Pada saat terjadinya badai dengan bersamaan muka air tinggi, gelombang mulai mengerosi *sand dunes*, dan membawa material ke arah laut kemudian mengendap (Gambar 2.19b.). Gelombang badai yang berlangsung cukup lama semakin banyak mengerosi bukit pasir (*sand dunes*) seperti terlihat dalam (Gambar 2.19c.). Setelah badai reda gelombang normal kembali. Selama terjadi badai tersebut terlihat perubahan profil pantai. Dengan membandingkan profil pantai sebelum dan sesudah badai, dapat diketahui volume sedimen yang tererosi dan mundurnya garis pantai (Gambar 2.19d.).

Setelah badai berlalu, kondisi gelombang normal kembali. Gelombang ini akan mengangkut sedimen yang telah diendapkan di perairan dalam selama badai, kembali ke pantai. Gelombang normal yang berlangsung dalam waktu panjang tersebut akan membentuk pantai kembali ke profil semula. Dengan demikian profil pantai yang ditinjau dalam satu periode panjang menunjukkan kondisi yang stabil dinamis.



**Gambar 2.19.** Proses pembentukan pantai

Apabila gelombang yang terjadi membentuk sudut dengan garis pantai, maka akan terjadi dua proses angkutan sedimen yang bekerja secara bersamaan, yaitu komponen tegak lurus dan sejajar garis pantai. Sedimen yang tererosi oleh komponen tegak lurus dan sejajar pantai akan terangkut oleh arus sepanjang pantai sampai ke lokasi yang cukup jauh. Akibatnya apabila ditinjau di suatu lokasi, pantai yang mengalami erosi pada saat terjadinya badai tidak bisa terbentuk kembali pada saat gelombang normal, karena material yang terbawa ke tempat lain. Dengan demikian, untuk suatu periode waktu panjang, gelombang yang datang dengan membentuk sudut terhadap garis pantai dapat menyebabkan mundurnya garis pantai.

### **2.3.2 Sifat-Sifat Sedimen Pantai**

Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai itu sendiri, dari daratan yang dibawa oleh sungai, dan / atau dari laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai. Sifat-sifat tersebut adalah ukuran partikel dan distribusi butir sedimen, rapat massa, bentuk, kecepatan endap, tahanan terhadap erosi.

#### **A. Ukuran Partikel Sedimen**

Sedimen pantai diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir menjadi lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (*pebble*) dan batu (*boulder*). Ukuran butir median  $D_{50}$  adalah paling banyak digunakan untuk ukuran butir basir.  $D_{50}$  adalah ukuran butir dimana 50% dari berat sampel.

#### **B. Rapat Massa, Berat Jenis dan Rapat Relatif**

Rapat massa  $\rho$  adalah massa tiap satuan volume, sedang berat jenis  $\gamma$  adalah berat tiap satuan volume. Terhadap hubungan antar berat jenis dan rapat massa, yang membentuk  $\gamma = \rho g$ . Rapat massa atau berat jenis sedimen merupakan fungsi dari komposisi mineral. Rapat relatif adalah perbandingan antara rapat massa suatu zat dengan rapat massa air pada 4°. Rapat massa air pada temperatur tersebut adalah  $1000 \text{ kg/m}^3$  dan rapat relatif pasir adalah sekitar 2,65.

#### **C. Kecepatan Endap**

Untuk sedimen non kohesif kecepatan endap tergantung pada rapat massa sedimen dan air, viskositas air, dimensi dan bentuk partikel sedimen.

### 2.3.3 Transpor Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen dibedakan menjadi 2 macam yaitu : transpor menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore transport*) yang mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedangkan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*) mempunyai arah rata-rata sejajar pantai.

Sifat-sifat sedimen pantai dapat mempengaruhi laju transpor sedimen di sepanjang pantai. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju sedimen antara lain :

- Karakteristik material sedimen (distribusi dan gradasi butir, kohesifitas faktor bentuk, ukuran, rapat massa, dan sebagainya)
- Karakteristik gelombang dan arus (arah dan kecepatan angin, posisi pembangkitan gelombang, pasang surut, dan kondisi topografi pantai yang bersangkutan)

Transpor sedimen sepanjang pantai, terbagi dalam 2 kondisi :

- Transpor sedimen dasar, yaitu angkutan sedimen dimana bahan sedimen bergerak menggelinding, menggeser atau meloncat di dasar atau dekat sekali di atas dasar.
- Transpor sedimen suspensi, yaitu angkutan sedimen yang terjadi ketika bahana sedimen yang telah terangkat terbawa bersama – sama dengan massa air yang bergerak dan selalu terjaga di atas dasar oleh turbulensi air.

Meskipun pada kenyataannya sangat sulit diketahui kapan transpor sedimen dasar berakhir dan mulai disebut sebagai transpor sedimen suspensi, namun pengertian akan adanya mekanisme tersebut perlu diperhatikan untuk memahami sifat – sifat angkutan sedimen di pantai dalam hubungannya dengan permulaan gerak sedimen. Pada umumnya, di daerah pantai transpor sedimen dasar lebih besar dari pada transpor sedimen suspensi.

Pada dasarnya terdapat 4 metode dasar dalam memperkirakan transpor sedimen sepanjang pantai :

- Mengukur debit sedimen di lokasi yang ditinjau, cara ini adalah cara terbaik untuk memperkirakan transpor sedimen sepanjang pantai.
- Menghitung berdasarkan data yang memperlihatkan perubahan historis topografi daerah pantai yang bersangkutan. Beberapa indikatornya adalah : perubahan garis pantai, pola pendangkalan, dan laju pengendapan pada inlet dan endapan di sekitar *groin* atau *jetty*.
- Menggunakan kurva / rumus empiris yang menghubungkan komponen sepanjang pantai dari fluks energi gelombang (*Wave Energy Flux*) dengan laju angkutan sedimen sejajar pantai, sehingga diperoleh data gelombang lokal. Cara ini digunakan apabila 2 cara di atas tidak dapat diterapkan.
- Metode empiris berdasarkan pada tinggi gelombang pecah rerata tahunan dapat digunakan untuk memperkirakan transpor sedimen sepanjang pantai apabila ketiga metode di atas tidak bisa diterapkan.

Di antara keempat metode di atas, metode fluks energi gelombang paling banyak di pakai untuk menghitung transpor sedimen sepanjang pantai. Rumus angkutan sedimen sepanjang pantai menurut CERC (Coastal Engineering Research Center) :

$$Q_s = K \cdot P_I \quad (2.43)$$

Dimana :

$Q_s$  = Angkutan sedimen sepanjang pantai ( $m^3$ /hari)

$K$  = koefisien

$P_I$  = Komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah  
(Nm/d/m)

$$P_I = \frac{\rho g}{32} H_b^2 C_b K_{RBR}^2 \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (2.44)$$

$$Q_s = K \cdot \frac{\rho g}{32} H_b^2 C_b K_{RBR}^2 \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (2.45)$$

$$K' = K \cdot \frac{\rho g}{32} \quad (2.46)$$

Didapatkan harga  $K' = 0,014$  (koefisien CERC), maka :

$$Q_s = 0,014 \cdot H_b^2 C_b K_{RBR}^2 \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (2.47)$$

Dimana :

$Q_s$  = Angkutan sedimen sepanjang pantai ( $m^3/hari$ )

$\rho$  = berat jenis air

$P_1$  = Komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah  
(Nm/d/m)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81m/d^2$ )

$H_b$  = Tinggi gelombang pecah (m)

$C_b$  = Cepat rambat gelombang pecah (m/d) =  $\sqrt{gd_b}$

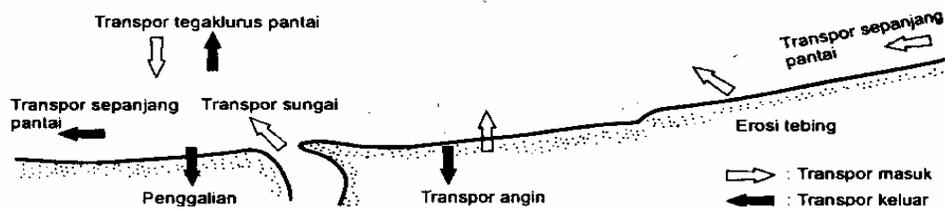
$\alpha_b$  = Sudut datang gelombang pecah

$K_{RBR}$  = Koefisien refraksi di sisi luar breaker zone

**Tabel 2.3.** Beberapa rumus transpor sedimen sepanjang pantai

No	Nama	Rumus	Keterangan
1	Caldwell	$Q_s = 1,200 P_1^{0,8}$	$Q_s$ = angkutan sedimen sepanjang pantai ( $m^3/hari$ ) $P_1$ = komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (ton m/hari/m)
2	Savage	$Q_s = 0,219 P_1$	
3	Ijima,Sato,Aono,Ishii	$Q_s = 0,130 P_1^{0,54}$	
4	Tanaka	$Q_s = 0,120 P_1$	

(Triatmodjo, 1999)



**Gambar 2.20.** Imbangan sedimen pantai

Model perubahan garis pantai didasarkan pada persamaan kontinuitas sedimen. Untuk itu pantai dibagi menjadi sejumlah sel (ruas). Pada tiap sel ditinjau angkutan sedimen yang masuk dan keluar. Sesuai dengan hukum kekekalan massa, jumlah laju aliran massa netto di dalam sel adalah sama dengan laju perubahan massa dalam sel dalam tiap satuan waktu. Laju aliran massa sedimen netto di dalam sel adalah :

$$M_n = \rho_s(Q_m - Q_k) = -\rho_s(Q_k - Q_m) = -\rho_s \Delta Q \quad (2.48)$$

Laju perubahan massa dalam setiap satuan waktu adalah

$$M_t = \frac{\rho_s V}{\Delta t} \quad (2.49)$$

Dimana  $\rho_s$  adalah rapat massa sedimen,  $Q_m$  dan  $Q_k$  masing – masing adalah debit sedimen masuk dan keluar sel (ruas).

Dengan menyamakan persamaan tersebut, didapat persamaan

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = -\frac{1}{d} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \quad (2.50)$$

dengan

- y : jarak antara garis pantai dan garis referensi
- Q : transpor sedimen sepanjang pantai
- t : waktu
- x : absis searah panjang pantai
- d : kedalaman air yang tergantung pada profil pantai

## 2.4 Program GENESIS

Prediksi perubahan garis pantai tanpa atau dengan bangunan pantai dimaksudkan untuk mengetahui / memprediksi perubahan garis pantai selama beberapa tahun ke depan dengan perlakuan tanpa atau dengan bangunan pelindung pantai serta mengetahui jenis bangunan pelindung pantai yang efektif dalam penanganan masalah abrasi. Prediksi ini dilakukan dengan menggunakan program **GENESIS** (*GENERalized Model For SIMulating Shoreline Change*) dari *US Army Corps Of Engineers* (ASCE).

Berikut ini adalah uraian metodologi analisis dari program simulasi GENESIS :

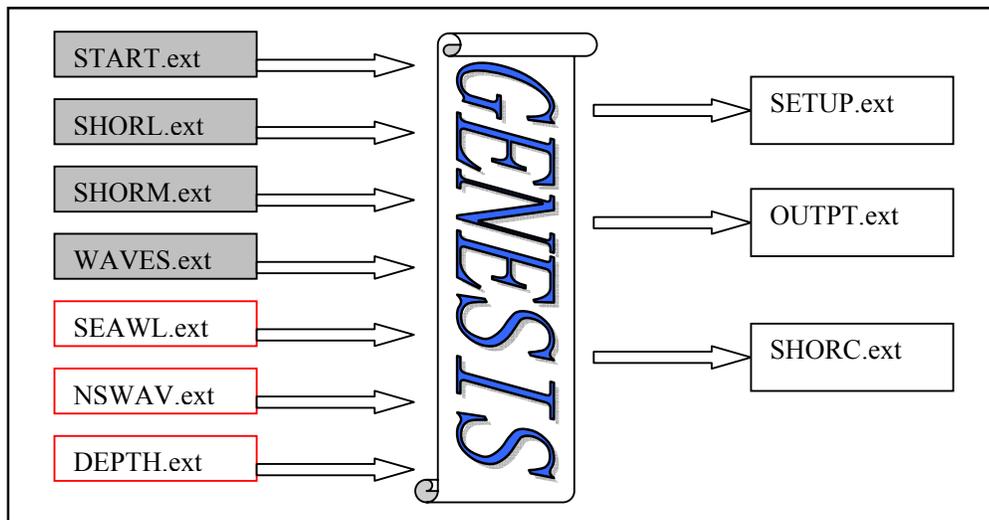
*Longshore transport rate* ( $Q$ ), atau tingkat angkutan sedimen sejajar pantai, lazim mempunyai satuan meter kubik / tahun ( dalam SI ). Karena pergerakannya sejajar pantai maka ada dua alternatif pergerakan, yaitu ke arah kanan dan kiri relatif terhadap seorang pengamat yang berdiri di pantai menghadap ke arah laut. Pergerakan dari kanan ke kiri diberi notasi ( $Q_{lt}$ ), dan pergerakan ke arah kanan ( $Q_{rt}$ ), sehingga didapatkan tingkat angkutan sedimen 'kotor' (*gross*)  $Q_g = Q_{lt} + Q_{rt}$ , dan tingkat angkutan 'bersih' (*netto*),  $|Q_n| = Q_{lt} - Q_{rt}$  . Nilai  $Q_g$  digunakan untuk meramalkan tingkat pendangkalan pada suatu alur perairan terbuka.  $Q_n$  digunakan untuk desain alur yang dilindungi dan perkiraan erosi pantai, sedangkan  $Q_{lt}$  dan  $Q_{rt}$  untuk penumpukan sedimen di bagian belakang sebuah struktur pantai yang menahan pergerakan sedimen.

Data masukan yang dibutuhkan pada **GENESIS** adalah sebagai berikut :

1. Data posisi awal garis pantai berupa koordinat (x,y). *Fixed boundaries* dari garis pantai yang akan ditinjau adalah posisi dimana perubahan garis pantai tersebut dianggap tidak signifikan terhadap hasil simulasi. Atau terhadap sebuah struktur yang rigid (misalnya karang).
2. *Time series* data gelombang lepas pantai atau gelombang laut dalam, tinggi gelombang, periode dan arah rambat gelombang.
3. Grid simulasi yang melingkupi garis pantai serta perairan dimana gelombang akan merambat. Jumlah grid maksimal 100 buah.

4. Struktur bangunan pantai eksisting atau yang direncanakan dan data struktur – struktur laut lainnya yang berada pada perairan yang ditinjau.
5. Data-data lainnya seperti ukuran butiran ( $d_{50}$ ), parameter kalibrasi, posisi bangunan pantai dan *beach fill* akibat masuknya sedimen dari sungai.

Dalam program **GENESIS** ini, dengan *input/* data-data masukan di atas akan menghasilkan *output* berupa perkiraan nilai *longshore transport rate* serta perubahan garis pantai akibat angkutan sedimen tersebut tanpa maupun dengan adanya struktur bangunan pantai untuk jangka waktu tertentu. Secara rinci dapat dilihat pada Gambar 2.21. berikut :



**Gambar 2.21.** Struktur *File Input* dan *Output* GENESIS

Untuk menjalankan Genesis, 4 jenis *file input* harus ada dalam bentuk dan jumlah data yang tepat seperti yang ditunjukkan pada gambar dengan bolder hitam (START.ext, SHORL.ext, SHORM.ext, WAVES.ext). Untuk *file-file* dengan bolder merah (SEAWL.ext, NSWAV.ext, DEPTH.ext) hanya dibutuhkan apabila ada bangunan pantai.

- *File Start* berisi perintah-perintah yang mengontrol simulasi perubahan garis pantai dan prinsip *interface* antara GENESIS dan *user*. Beberapa data penting dalam *file* ini antara lain data tanggal selama simulasi garis pantai berakhir (berapa tahun kedepan), nilai K1, K2 (Koefisien kalibrasi

transpor sedimen), kedalaman gelombang di laut lepas, diameter *grain size* efektif ( $d_{50}$ ), dll.

- *SHORL.ext* terdiri dari posisi awal garis pantai yang direferensikan, sebagai garis tetap yang tidak mengalami perubahan dalam perhitungan.
- *SHORM* berupa posisi garis pantai yang bisa dibandingkan dengan posisi garis pantai awal, jika tidak ada maka dapat dibuat sama dengan data *SHORL*.
- *WAVE* terdiri dari informasi gelombang berupa tinggi gelombang, periode dan arah rambat gelombang.
- *SEAWL* terdiri dari lokasi *seawall* yang dimodelkan. Jika tidak ada *seawall* pada *file START*, maka *SEAWL* tidak bisa membaca. Jadi *SEAWL* digunakan bila ada bangunan pantai yang akan di analisis.
- *NSWAV* terdiri dari arah dan tinggi gelombang dekat pantai pada masing – masing penghalang gelombang sepanjang pantai pada garis pantai yang sudah dikembangkan oleh *user*. Informasi dari *NSWAV* biasanya diberikan oleh model gelombang external.
- *DEPTH* terdiri dari kedalaman air sepanjang garis pantai yang akan menyebarkan gelombang pecah dari nilai yang sudah disediakan oleh *NSWAV*. *DEPTH* tidak akan bisa dibaca bila model gelombang eksternal tidak digunakan untuk mensuplai data gelombang.
- *File SETUP* merupakan *output* yang berisi koordinat perubahan garis pantai dan jumlah angkutan sedimen yang terjadi, yang dalam proses *running* akan memberikan peringatan (*warning message*) jika ada kesalahan selama simulasi.
- *OUTPT* terdiri dari hasil umum simulasi, diantaranya grafik *Net Transport Rate*, *Shoreline Change*, dan *Shoreline Positions*.
- *SHORC* merupakan *output* berupa koordinat posisi garis pantai dalam jangka waktu tertentu yang telah ditetapkan sebelumnya.

### **Arus**

Gelombang yang menjalar menuju pantai membawa massa air dan momentum dalam arah penjalaran gelombang. Transpor massa dan momentum

tersebut menimbulkan arus di dekat pantai. Gelombang dapat menimbulkan arus dan turbulensi yang sangat besar yang dapat menggerakkan sedimen dasar. Setelah pecah, gelombang melintasi *surf zone* menuju pantai. Di *swash zone*, gelombang yang sampai di garis pantai menyebabkan massa air bergerak ke atas dan kemudian turun kembali pada permukaan pantai. Gerak massa air tersebut disertai dengan terangkutnya sedimen.

Longuet-Higgins menurunkan rumus untuk menghitung arus sepanjang pantai yang ditimbulkan oleh gelombang pecah yang membentuk sudut terhadap garis pantai sebagai berikut ini :

$$V = 1.17 (g H_b)^{1/2} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (2.51)$$

Dengan :

- V : kecepatan arus sepanjang pantai
- g : percepatan gravitasi
- H<sub>b</sub> : tinggi gelombang pecah
- α<sub>b</sub> : sudut datang gelombang pecah

## 2.5 Kriteria Desain Bangunan Pengaman

Salah satu permasalahan besar yang ada di daerah pantai adalah abrasi pantai. Abrasi pantai dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar dengan rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada di wilayah tersebut. Langkah pertama yang harus ditempuh dalam melindungi pantai adalah mencari penyebab terjadinya abrasi. Dengan diketahui penyebabnya, maka perlindungan dapat dilakukan dengan :

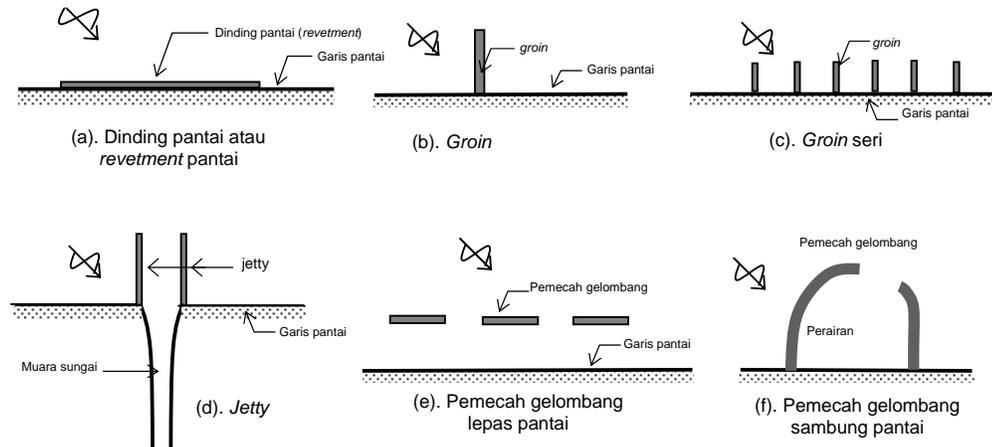
1. bangunan pantai,
2. menambah suplai sedimen, atau
3. perlindungan dengan tumbuhan

Bangunan pantai digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Beberapa cara untuk melindungi pantai:

1. Memperkuat / melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang
2. Mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai
3. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai
4. Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain

Berdasarkan fungsinya, bangunan pantai dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar garis pantai : dinding pantai (*revetment*).
2. Konstruksi yang dibangun kira – kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai : *groin* dan *jetty*.
3. Konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan kira – kira sejajar dengan garis pantai: pemecah gelombang (*break water*), pemecah gelombang lepas pantai maupun pemecah gelombang sambung pantai.



**Gambar 2.22.** Bangunan Pelindung Pantai

Berdasarkan bentuknya, bangunan pantai dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Bangunan sisi miring : bangunan dari tumpukan batu – batu yang bagian luarnya diberi pelindung dari batu – batu yang lebih besar, blok beton, batu buatan dengan bentuk khusus, misalnya *tetrapod*, *quadripod*, dan lain sebagainya.
2. Bangunan sisi tegak : bangunan dari pasangan batu, kaisan beton, tumpukan buis beton, dinding turap baja, turap beton, dan lain sebagainya.

Macam perlindungan pantai baik secara teknis maupun non teknis, yaitu :

A. Menggunakan *mangrove* sebagai perkuatan pantai.

Penggunaan tanaman *mangrove* sebagai perkuatan pantai banyak digunakan. Penggunaan *mangrove* memiliki beberapa kelebihan terutama umur rencana, semakin lama perkuatan yang menggunakan *mangrove* akan semakin kuat dan efektif di dalam menanggulangi bahaya abrasi pantai. Tetapi perkuatan dengan menggunakan *mangrove* hanya bisa digunakan pada daerah – daerah dengan kondisi perairan yang memungkinkan bagi tanaman *mangrove* untuk tumbuh.

Penggunaan *mangrove* perlu dilakukan penanganan yang sangat hati – hati terutama jika umur *mangrove* masih muda, hal ini dikarenakan tanaman *mangrove* yang masih muda rawan akan kematian.

B. Menggunakan bangunan pantai sebagai perkuatan pantai.

Klasifikasi bangunan pantai :

**Tabel. 2.4.** Klasifikasi Bangunan Pantai

		Keuntungan	Kerugian
1	<i>Seawall</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Macam <i>Seawall</i> :                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Curved – face Seawall</i> cocok digunakan untuk menahan energi gelombang yang besar dan mengurangi gerusan yang terjadi pada dasar bangunan</li> <li>2. <i>Concrete ste -face Seawall</i> digunakan untuk jenis gelombang yang tidak terlalu besar</li> <li>3. <i>Rubble Mound Seawall</i>, untuk menahan getaran yang disebabkan gelombang yang cukup keras.</li> </ol> </li> <li>- Berfungsi unruk menahan gempuran gelombang laut secara penuh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilihat strukturnya maka <i>seawalls</i> memiliki ukuran yang relatif lebih besar</li> <li>- Kurang efektif terhadap gelombang (limpasan) dan erosi dasar jika dasar di air dangkal</li> </ul>
2	<i>Revetment</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Revetment</i> merupakan struktur paling ringan, hal ini dikarenakan struktur <i>revetments</i> hanya digunakan untuk melindungi struktur pantai dari bahaya erosi dan gelombang kecil</li> <li>- Macam <i>Revetment</i> :                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. struktur <i>rigid</i> keunggulan terletak pada perlindungan terhadap lapisan pasir, tetapi pada saat pelaksanaan perlu di lakukan proses <i>dewatering</i> terlebih dahulu</li> <li>2. struktur <i>flexible</i> keunggulan terletak pada perlindungan yang baik terhadap lapisan pasir, dapat mengatasi kegagalan struktur yang di akibatkan oleh konsolidasi atau <i>settlement</i> dan pada saat pelaksanaan pekerjaan tidak perlukan proses <i>dewatering</i> terlebih dahulu</li> </ol> </li> <li>- Struktur <i>revetment</i> lebih stabil di banding <i>Seawall</i></li> <li>- Dapat menyerap dan menghancurkan energi gelombang</li> <li>- Mengurangi kenaikan gelombang, limpasan gelombang dan erosi dasar</li> <li>- <i>Revetment</i> digunakan untuk untuk melindungi pantai terbuka dan pantai dengan daerah yang cukup terbuka</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Revetment</i> hanya bisa digunakan untuk kedalaman 3 - 5 meter saja</li> <li>- <i>Revetment</i> tidak cocok digunakan untuk pantai yang mempunyai gelombang cukup besar</li> </ul>
3	<i>Groin</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berfungsi mengurangi laju angkutan sedimen sejajar pantai (<i>LongShore Transport</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kelemahan <i>groin</i>, erosi yang sering terjadi di sebelah hilirnya (<i>down drift</i>) arah laut lepas</li> </ul>

**Tabel. 2.4. Klasifikasi Bangunan Pantai (lanjutan)**

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Groin</i> dapat dibuat dengan menggunakan peralatan dari arah pantai</li> <li>- Material yang digunakan untuk membuatnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kemudahan pengadaan bahan dan kemudahan dalam pemasangan</li> <li>- <i>Groin</i> tidak merubah <i>surf zone</i> sehingga tidak mengganggu fungsi pantai secara garis besar</li> <li>- Mampu melepaskan pasir ke arah laut jika terjadi penumpukan sedimen yang terlalu besar</li> <li>- Jenis - Jenis <i>groin</i> :             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Timber Groin</i></li> <li>2. <i>Steel Groin</i></li> <li>3. <i>Concrete Groin</i></li> <li>4. <i>Rubble-Mound Groin</i></li> <li>5. <i>Asphalt Groin</i></li> </ol> <p><i>concrete groins</i> dan <i>rubble mound groins</i> memiliki kekuatan yang lebih tahan lama dibandingkan dengan <i>groins</i> tipe lainnya</p> <p><i>concrete groins</i> dan <i>rubble mound groins</i> lebih mudah dalam pemeliharaan dan biaya pembangunan lebih murah</p> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Groin</i> tidak efektif jika dipasang pada daerah <i>off shore</i></li> <li>- Tidak dapat digunakan pada daerah pantai dengan kadar lumpur tinggi</li> <li>- Terjadi <i>scouring</i> pada bagian hilirnya</li> <li>- Pada pembuatan <i>concrete sheet pile groins</i> memakan biaya yang cukup besar dibandingkan dengan <i>groins</i> tipe lainnya</li> <li>- Dalam pembangunan <i>groins</i> yang lebih dari satu akan menyebabkan abrasi dan sedimentasi pada daerah antar <i>groins</i></li> </ul>
4	<i>Breakwater</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Macam-macam <i>breakwater</i> :             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Breakwater</i> lepas pantai</li> <li>2. <i>Breakwater</i> sambung pantai</li> </ol> <p>Berfungsi untuk melindungi pantai dari hantaman gelombang yang datang dari arah lepas pantai</p> </li> <li>- Prinsip kerja dari <i>breakwater</i> adalah dengan memanfaatkan difraksi gelombang</li> <li>- Tidak dibangun sepanjang garis pantai yang akan di lindungi sehingga volume bahan yang lebih sedikit</li> <li>- Berfungsi juga untuk mengurangi ketinggian gelombang</li> <li>- Berfungsi untuk menahan laju sedimen ke arah laut</li> <li>- Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai</li> <li>- Macam <i>breakwater</i> menurut material yang digunakan :</li> </ul>	<p>Pada <i>breakwater</i> lepas pantai, proses pembuatan relatif lebih sulit dikarenakan pembangunan dilakukan terpisah dari pantai sehingga membutuhkan teknik khusus guna menempatkan peralatan konstruksi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Membutuhkan waktu agar dapat bekerja sesuai dengan fungsi karena harus menunggu terjadinya <i>tombolo</i> dan <i>cusate</i></li> <li>- Kerugian <i>breakwater</i> untuk <i>shear connected</i> dan <i>offshore</i> :             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dari segi biaya cukup mahal jika dibandingkan dengan <i>breakwater</i> untuk penanggulangan <i>offshore</i></li> <li>2. Tidak dapat dibangun untuk semua jenis pantai yang ada sehingga harus memilih bahan apa yang cocok untuk membuat pelindung pantai</li> </ol> </li> </ul>

**Tabel. 2.4.** Klasifikasi Bangunan Pantai (lanjutan)

	<p>A. <i>Breakwater</i> untuk <i>Shear Connected</i>, ada beberapa tipe yakni :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Rubble Mound Breakwater</i></li> <li>2. <i>Stone – Asphalt Breakwater</i></li> <li>3. <i>Cellular Steel Sheet Pile Breakwater</i></li> <li>4. <i>Concrete Caison Breakwater</i></li> </ol> <p>B. <i>Breakwater</i> untuk <i>Offshore</i>, ada beberapa tipe :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Rubble Mound Breakwater</i></li> <li>2. <i>Cellular Steel Sheet Pile Breakwater</i></li> <li>3. <i>Segmented Offshore Breakwater</i></li> </ol> <p>- Keuntungan <i>breakwater</i> untuk <i>shear connected</i> :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dapat digunakan untuk berbagai kedalaman dasar laut</li> <li>2. Dapat didesain untuk laut yang bergelombang cukup besar</li> </ol> <p>- Keuntungan <i>breakwater</i> untuk <i>offshore</i> :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dapat digunakan untuk melindungi pelabuhan untuk kapal – kapal kecil dengan ombak yang relatif kecil</li> <li>2. Pada <i>breakwater</i> yang segmental dapat digunakan dapat digunakan untuk melindungi <i>offshore</i> dan <i>onshore</i> yang lebih panjang</li> <li>3. Pada <i>breakwater</i> yang segmental dapat dibangun pada air yang memiliki kedalaman cukup dan juga dapat melindungi dari badai di sepanjang garis pantai</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Pada <i>concrete caison breakwater</i> hanya dapat dibangun pada pantai dengan kedalaman laut 3 – 10 meter dengan bahan untuk pondasi yang harus mendukung dengan keadaan tanah di dasar pantai tersebut, yang biasanya terdiri dari tumpukan batu dalam pembuatan <i>Mound Rubble Stone Breakwater</i> dan harus sesuai dengan struktur dan kadar pasir tertentu.</li> </ol>
--	---	---

### C. Penimbunan Pasir di Sekitar Garis Pantai

Di dalam melakukan penimbunan pasir terdapat dua cara yang biasa dilakukan yaitu dengan melakukan pengangkutan menggunakan jalan darat, atau bisa juga dengan menggunakan *floating dredger* untuk melakukan pengambilan pasir dari *quary* dan disalurkan menggunakan pipa menuju daerah penimbunan.

Metode penimbunan pasir di sekitar garis pantai dibagi menjadi dua macam :

1. *Sand nourishment* adalah penambahan pasir pada garis pantai yang terabrasi atau pantai yang akan di reklamasi dengan cara pasir di daerah yang terkena sedimentasi dipindahkan melalui pipa ke daerah yang terkena abrasi dengan menggunakan pompa.
2. *Sand by passing* adalah dengan memindahkan material dasar pantai dari daerah yang terakresi ke daerah yang tererosi yang ditimbulkan dari pengaruh bangunan pengaman pantai terhadap garis pantai dengan menggunakan kapal keruk.

## 2.6 Aspek Pemilihan Bangunan Pengaman

Di dalam perencanaan bangunan pengaman pantai dapat diklasifikasikan ke dalam 4 kategori umum antara lain : *Shoreline stabilitation*, *backshore protection*, *inlet stabilizaton* dan *harbor protection*. Permasalahan pantai memiliki banyak kategori dan banyak sekali alternatif pemecahan masalah yang dapat diambil oleh seorang sarjana teknik pantai. Beberapa masalah merupakan permasalahan struktural, sebagian lagi merupakan permasalahan akibat manajemen pemanfaatan lahan pantai. Pada bab ini penulis hanya menjelaskan mengenai pemecahan masalah struktural saja. Hal ini dikarenakan permasalahan menyangkut manajemen pemanfaatan lahan penanggulangannya sangat tergantung dari segi perencana dan pemilik proyek. Sedangkan penanggulangan masalah struktural penulis mengambil acuan berdasarkan pada SPM ( *Shore Protection Manual* ). Berdasarkan SPM 1984 penanganan masalah struktural dapat dipecahkan dengan langkah seperti diagram alir berikut ini :



Gambar 2.23. Bagan Alir Perencanaan Bangunan Pengaman