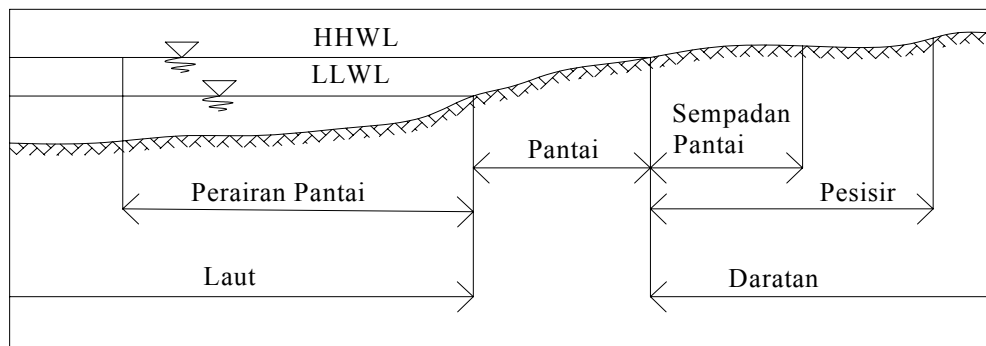


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Pantai

Pantai adalah jalur yang merupakan batas antara darat dan laut, diukur pada saat pasang tertinggi dan surut terendah, dipengaruhi oleh fisik laut dan sosial ekonomi bahari, sedangkan ke arah darat dibatasi oleh proses alami dan kegiatan manusia di lingkungan darat (Triatmodjo, 1999, hal. 1). Penjelasan mengenai definisi daerah pantai dapat dilihat dalam Gambar 2.1 berikut:



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 2

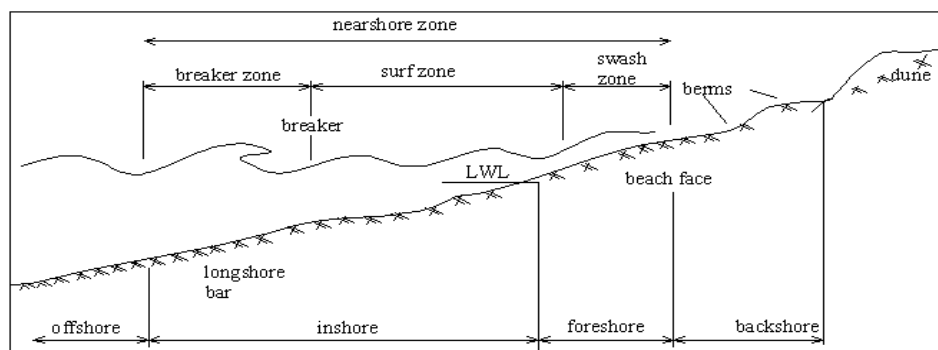
Gambar 2.1. Definisi daerah pantai

- Pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut.
- Pantai adalah daerah di tepi perairan sebatas antara surut terendah dan pasang tertinggi.
- Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat bergerak sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi.
- Sempadan pantai adalah daerah sepanjang pantai yang diperuntukkan bagi pengamanan dan pelestarian pantai.
- Perairan pantai adalah daerah yang masih dipengaruhi aktivitas daratan.

Morfologi pantai dan dasar laut dekat pantai akibat pengaruh gelombang dibagi menjadi empat kelompok yang berurutan dari darat ke laut sebagai berikut:

1. **Backshore** merupakan bagian dari pantai yang tidak terendam air laut kecuali bila terjadi gelombang badai
2. **Foreshore** merupakan bagian pantai yang dibatasi oleh *beach face* atau muka pantai pada saat surut terendah hingga *uprush* pada saat air pasang tinggi.
3. **Inshore** merupakan daerah dimana terjadinya gelombang pecah, memanjang dari surut terendah sampai ke garis gelombang pecah.
4. **Offshore** yaitu bagian laut yang terjauh dari pantai (lepas pantai), yaitu daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari Gambar 2.2 berikut:



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 3

Gambar 2.2. Definisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai

Pantai merupakan gambaran nyata interaksi dinamis antara air, gelombang dan material (tanah). Angin dan air bergerak membawa material tanah dari satu tempat ke tempat lain, mengikis tanah dan kemudian mengendapkannya lagi di daerah lain secara terus-menerus. Dengan kejadian ini menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai. Dalam kondisi normal, pantai selalu bisa menahan gelombang dan mempunyai pertahanan alami (*sand dune*, hutan bakau, terumbu karang) untuk melindungi diri dari serangan arus dan gelombang.

Jenis-jenis atau tipe pantai berpengaruh pada kemudahan terjadinya erosi pantai. Berikut adalah penggolongan pantai di Indonesia berdasarkan tipe-tipe paparan (*shelf*) dan perairan (Pratikto, dkk., hal. 7):

1. Pantai Paparan

Pantai paparan merupakan pantai dengan proses pengendapan yang lebih dominan dibanding proses erosi/abrasi. Pantai paparan umumnya terdapat di Pantai Utara Jawa, Pantai Timur Sumatera, Pantai Timur dan Selatan Kalimantan dan Pantai Selatan Papua, dan mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- a. Muara sungai memiliki delta, airnya keruh mengandung lumpur dan terdapat proses sedimentasi.
- b. Pantainya landai dengan perubahan kemiringan ke arah laut bersifat *gradual* dan teratur.
- c. Daratan pantainya dapat lebih dari 20 km.

2. Pantai Samudra

Pantai samudra merupakan pantai dimana proses erosi lebih dominan dibanding proses sedimentasi. Terdapat di Pantai Selatan Jawa, Pantai Barat Sumatera, Pantai Utara dan Timur Sulawesi serta Pantai Utara Papua, dan mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- a. Muara sungai berada dalam teluk, delta tidak berkembang baik dan airnya jernih.
- b. Batas antara daratan pantai dan garis pantai (yang umumnya lurus) sempit.
- c. Kedalaman pantai ke arah laut berubah tiba-tiba (curam).

3. Pantai Pulau

Pantai pulau merupakan pantai yang mengelilingi pulau kecil. Pantai ini dibentuk oleh endapan sungai, batu gamping, endapan gunung berapi atau endapan lainnya. Pantai pulau umumnya terdapat di Kepulauan Riau, Kepulauan Seribu, dan Kepulauan Nias.

2.2. Kerusakan Pantai

Proses kerusakan pantai yang berupa abrasi/erosi pantai dapat terjadi karena sebab alami dan buatan. Pemahaman akan sebab abrasi/erosi merupakan dasar yang penting dalam perencanaan perlindungan pantai. Perlindungan pantai yang baik seharusnya bersifat komprehensif dan efektif untuk menanggulangi permasalahan kerusakan yang ada. Hal itu akan dapat tercapai apabila penyebab kerusakan pantai dapat diketahui, yaitu :

- a. Kerusakan pantai secara alami :
 - Sifat dataran pantai yang masih muda dan belum berimbang, dimana sumber sedimen (*source*) lebih kecil dari kehilangan sedimen (*sink*).
 - Naiknya ketinggian gelombang.
 - Hilangnya perlindungan pantai (bakau, terumbu karang, *sand dune*).
 - Naiknya muka air karena pengaruh *global warming*.
- b. Kerusakan pantai karena sebab buatan :
 - Perusakan perlindungan pantai alami, seperti kegiatan penebangan bakau, perusakan terumbu karang, pengambilan pasir di pantai, dan lain-lain.
 - Perubahan imbalanced transportasi sedimen sejajar pantai akibat pembuatan bangunan pantai, seperti: jetty, pemecah gelombang, pelabuhan, dan lain-lain.
 - Perubahan suplai sedimen dari daratan, contohnya: perubahan aliran sungai atau sudetan sungai, pembuatan bendungan di hulu sungai, dan lain-lain.
 - Pengembangan pantai yang tidak sesuai dengan proses pantai.

Pada umumnya sebab-sebab kerusakan pantai merupakan gabungan dari beberapa faktor diatas. Agar penanganan masalah abrasi/erosi pantai dapat dilakukan dengan baik, maka penyebabnya harus diidentifikasi terlebih dahulu. Secara umum, gaya yang menyebabkan terjadinya kerusakan pantai adalah gelombang angin.

Gelombang angin adalah gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut. Gelombang angin merupakan faktor paling dominan dalam analisis gelombang. Dalam penjalaran ke pantai, gelombang mengalami proses

shoaling refraksi dan difraksi yang menyebabkan gelombang selalu berusaha tegak lurus garis pantai. Gerakan osilasi partikel air berperan penting dalam transportasi sedimen pantai. Pada zona *surf zone* turbulensi yang dibangkitkan oleh gelombang pecah mendominasi proses pantai. Selain ombak di *surf zone* menimbulkan kemungkinan arus sejajar pantai (*longshore current*) dan arus tegak lurus pantai (*ripp current*) serta arus sirkulasi yang sangat berperan dalam pembentukan garis pantai.

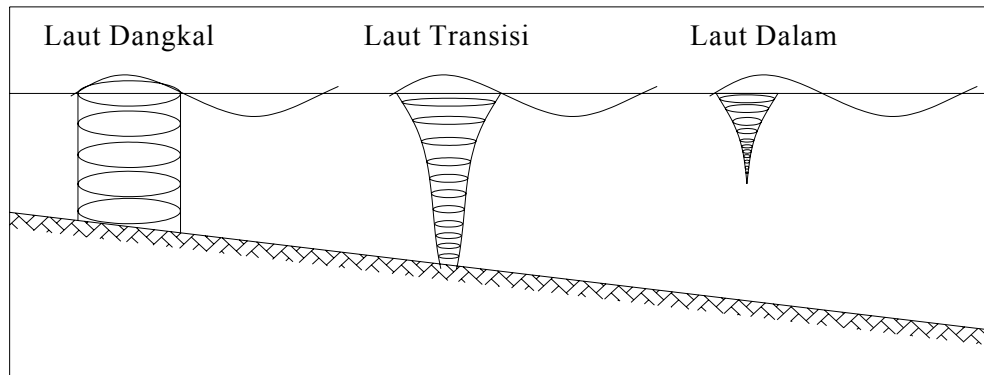
Dengan adanya pengembangan pantai untuk berbagai kepentingan, maka perimbangan dan perlindungan alami pantai yang ada dapat terusik ataupun rusak. Hal ini menyebabkan pantai menjadi terbuka dan rentan terhadap erosi atau abrasi. Maka dalam hal ini perlu dilakukan penanganan terhadap masalah tersebut.

2.3. Gelombang

Gelombang merupakan faktor penting dalam perencanaan pelabuhan dan bangunan pantai lainnya. Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam tergantung pada daya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak.

Pada umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut. Daerah di mana gelombang itu dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (*wave generating area*). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut *sea*, sedangkan gelombang yang terbentuk di luar daerah pembangkitan disebut *swell*. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, bagian bawah gelombang akan mulai bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan terjadi putaran

pada dasar laut yang dapat membawa material dari dasar pantai serta menyebabkan perubahan profil pantai.



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 29

Gambar 2.3 Gerak partikel air di laut dangkal, transisi dan dalam

Pada umumnya bentuk gelombang sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidaklinieran, tiga dimensi dan bentuknya acak (*random*). Ada beberapa teori yang menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan dari alam. Teori yang sederhana adalah teori gelombang linier. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga yaitu *deep water* (gelombang di laut dangkal), *transitional water* (gelombang laut transisi), *shallow water* (gelombang di laut dalam). Klasifikasi dari gelombang ditunjukkan dalam Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Klasifikasi gelombang menurut teori gelombang linier.

Klasifikasi	d/L	$2\pi d/L$	$\tan h (2\pi d/L)$
Gelombang Laut Dalam	$>1/2$	$>\pi$	≈ 1
Gelombang Laut Transisi	$1/25 \leq d/L < 1/2$	$\pi/4 \leq 2\pi d/L < \pi$	$\tan h (2\pi d/L)$
Gelombang Laut Dangkal	$<1/25$	$<\pi/4$	$\approx 2\pi d/L$

Sumber : Yuwono, 1982, hal 5

2.4. Deformasi Gelombang

Gelombang merambat dari laut dalam ke laut dangkal. Selama perjalanan tersebut, gelombang mengalami perubahan-perubahan atau disebut deformasi

gelombang. Deformasi gelombang dapat disebabkan karena variasi kedalaman air laut dan juga karena terdapatnya rintangan (pantai atau bangunan pantai).

Apabila suatu gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi, pendangkalan gelombang, difraksi, dan refleksi. (Triatmodjo, 1999, hal. 65)

Refraksi, pendangkalan gelombang, difraksi, dan refleksi akan menentukan tinggi gelombang dan pola (bentuk) garis puncak gelombang di suatu tempat di daerah pantai.

2.4.1 Gelombang Laut Dalam Ekivalen

Analisis deformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekivalen, yaitu tinggi gelombang di laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Tinggi gelombang laut dalam ekivalen diberikan dalam persamaan:

$$H'o = K' Kr Ho \quad (2.1)$$

Dimana :

$H'o$: tinggi gelombang laut dalam ekivalen (m)

Ho : tinggi gelombang laut dalam (m)

K' : koefisien difraksi

Kr : koefisien refraksi

(Triatmodjo,1999 hal. 66)

2.4.2 Refraksi Gelombang dan *Wave Shoaling*

Refraksi terjadi dikarenakan adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Refraksi dan pendangkalan gelombang (*Wave Shoaling*) dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai. (Triatmodjo, 1999).

➤ Tinggi Gelombang

Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi gelombang dan pendangkalan (*wave shoaling*), diberikan oleh rumus :

$$H = Ks \times Kr \times Ho \quad (2.2)$$

Dimana :

H : Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi

H_o : Tinggi gelombang laut dalam (m)

K_s : Koefisien pendangkalan (*Shoaling*), berdasarkan Tabel L-1
(Triatmodjo, 1999, hal. 377)

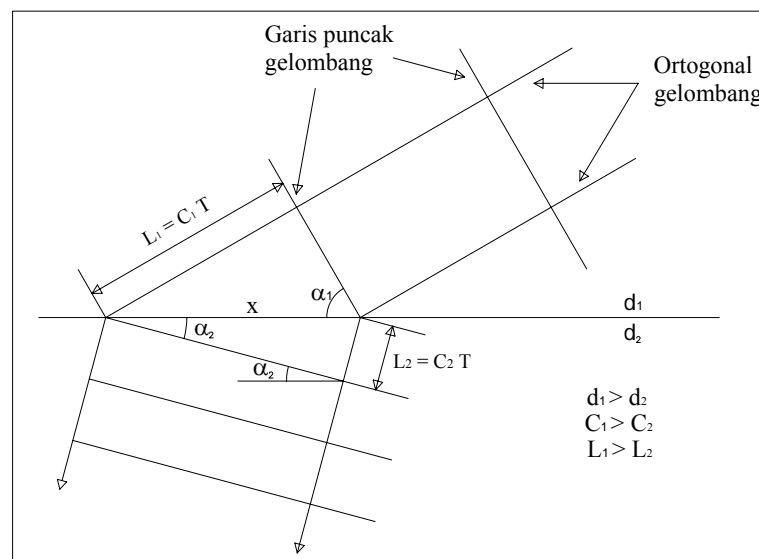
K_r : Koefisien refraksi

(Triatmodjo, hal. 70, 1999)

➤ Koefisien Refraksi

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}} \quad (2.3)$$

Dimana pada hukum Snell berlaku apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau, yaitu:



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal. 71

Gambar 2.4. Hukum Snell untuk refraksi gelombang

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_o} \right) \sin \alpha_o \quad (2.4)$$

Dimana :

K_r : Koefisien refraksi

α : Sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut
di titik yang ditinjau

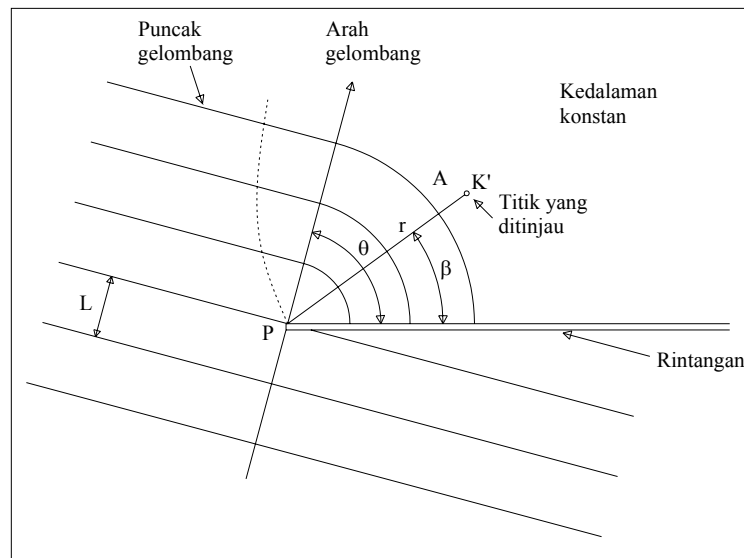
α_0 : Sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai

C : Kecepatan rambat gelombang (m/s)

C_0 : Kecepatan rambat gelombang di laut dalam (m/s)

(Triatmodjo, hal. 72, 1999)

2.4.3 Difraksi Gelombang



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal. 79

Gambar 2.5. Difraksi gelombang dibelakang rintangan

Difraksi terjadi apabila tinggi gelombang di suatu titik pada garis puncak gelombang lebih besar daripada titik di dekatnya, yang menyebabkan perpindahan energi sepanjang puncak gelombang ke arah tinggi gelombang yang lebih kecil. Difraksi gelombang terjadi apabila gelombang datang terhalang oleh suatu pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah terlindung di belakangnya. Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K' , dapat dijelaskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$H_A = K' H_P ;$$

$$K' = f(\theta, \beta, r/L) \quad (2.5)$$

Dimana :

H_A : Tinggi gelombang di belakang rintangan (m)

H_P : Tinggi gelombang di ujung pemecah gelombang (m)

K' : Koefisien difraksi

(Triatmodjo, hal. 80, 1999)

2.4.4 Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai atau membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang yang lebih banyak dibanding dengan bangunan yang tegak dan masif.

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

$$X = H_r / H_i \quad (2.6)$$

Dimana :

X : Koefisien refleksi

H_r : Tinggi gelombang refleksi (m)

H_i : Tinggi gelombang datang (m)

(Triatmodjo, 1999, hal. 91)

Koefisien refleksi beberapa tipe bangunan diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 2.2. Koefisien refleksi

Tipe Bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak di atas air	0,7 – 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 – 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 - 0,6
Tumpukkan blok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lubang)	0,05 – 0,2

Sumber :Triatmodjo, 1999, hal. 91

2.4.5 Gelombang Pecah

Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Perubahan tersebut ditandai dengan puncak gelombang semakin tajam sampai akhirnya pecah pada kedalaman tertentu.

Kedalaman gelombang pecah (d_b) dan tinggi gelombang pecah (H_b) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{H_b}{H_o'} = \frac{1}{3,3(H_o'/L_o)^{1/3}} \quad (2.7)$$

(Triatmodjo, 1999, hal. 94)

Parameter H_b/H_o' disebut dengan indeks tinggi gelombang pecah. Gambar 2.6 menunjukkan hubungan antara H_b/H_o' dan H_o/L_o' untuk berbagai kemiringan dasar laut. Gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara d_b/H_b dan H_b/gT^2 untuk berbagai kemiringan dasar. Gambar 2.7 dapat dituliskan dalam bentuk rumus berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} \quad (2.8)$$

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

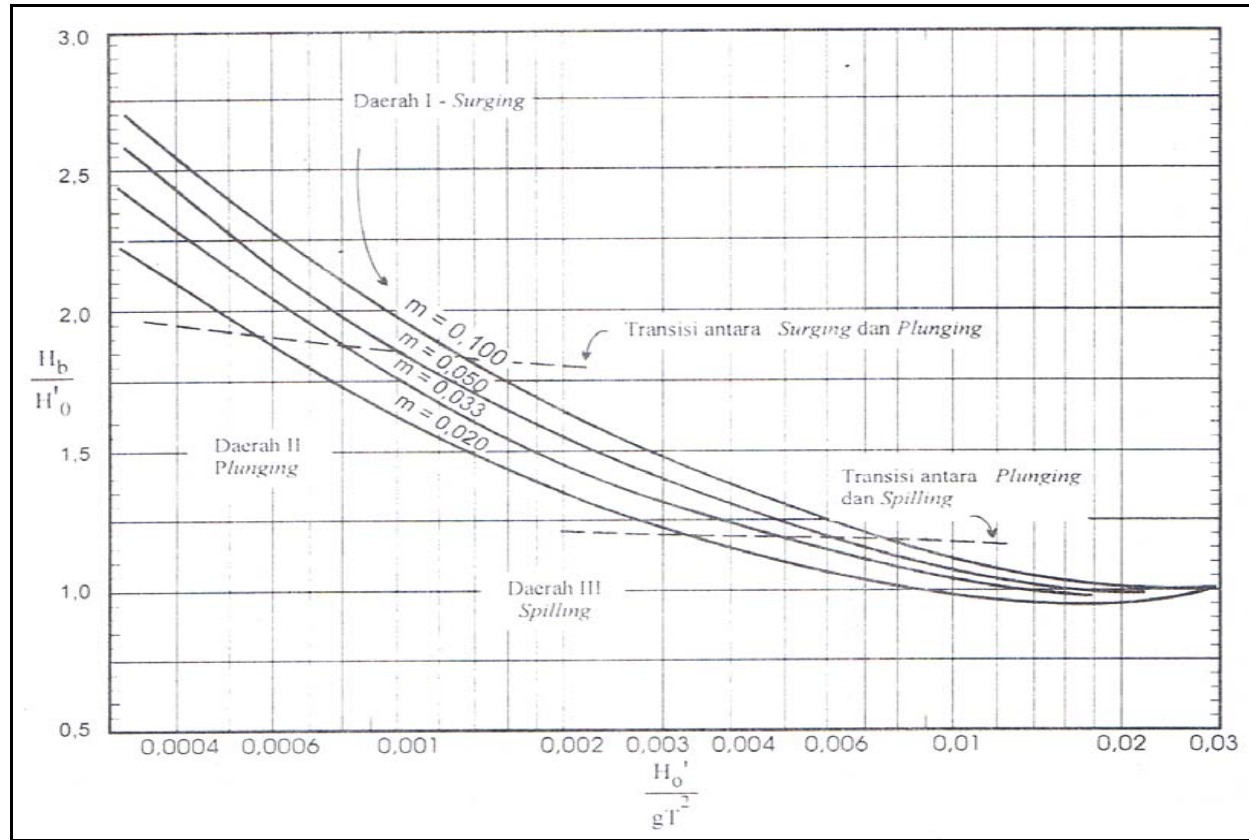
$$a = 43.75(1 - e^{-19m})$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \quad (2.9)$$

(Triatmodjo, 1999 hal. 95)

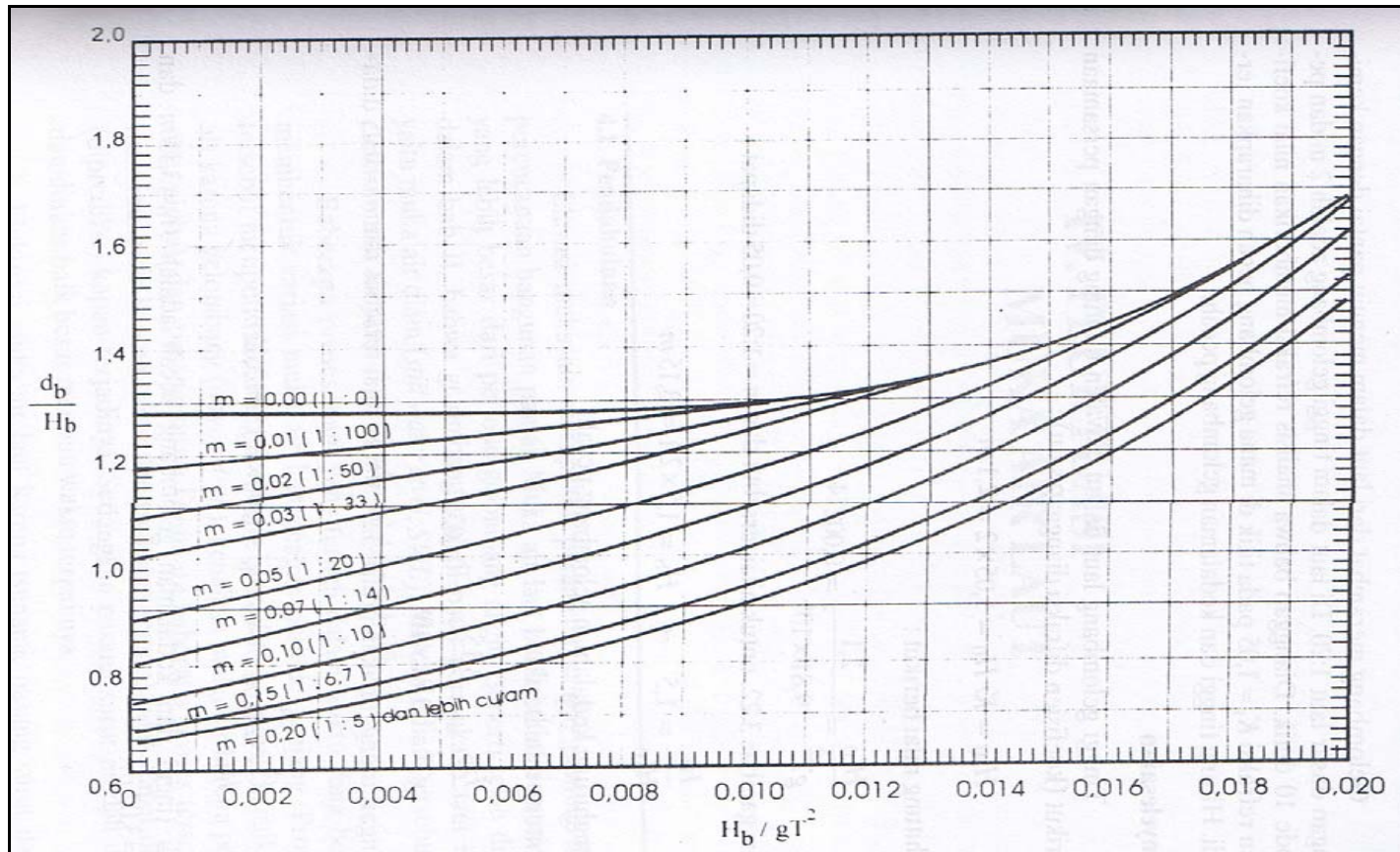
2.5. Fluktuasi Muka Air Laut

Elevasi muka air laut merupakan parameter penting dalam perencanaan bangunan pantai. Fluktuasi muka air laut dapat disebabkan oleh kenaikan muka air karena gelombang (*Wave set-up*), kenaikan muka air karena angin (*Wind set-up*) dan pasang surut.



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal. 96

Gambar 2.6. Grafik penentuan tinggi gelombang pecah (H_b)

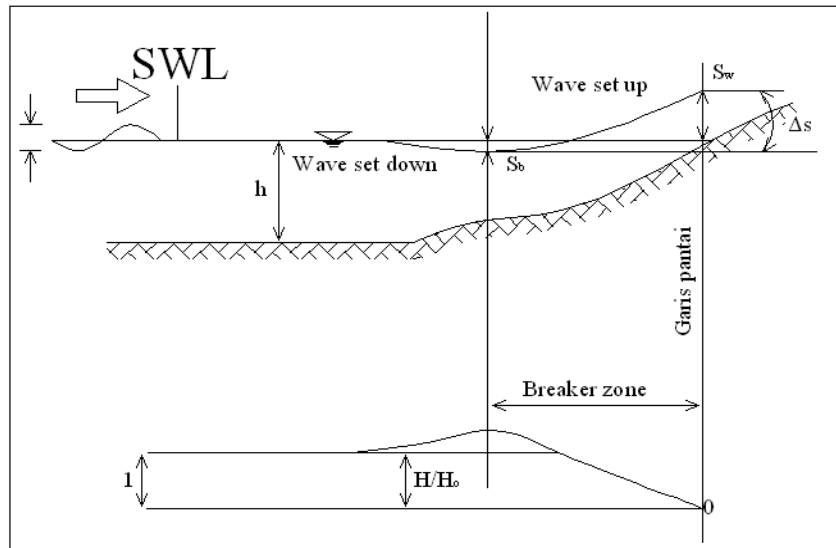


Sumber : Triatmodjo, 1999, hal. 97

Gambar 2.7. Grafik penentuan kedalaman gelombang pecah (d_b)

2.5.1 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. Turunnya muka air dikenal dengan *wave set-down*, sedang naiknya muka air laut disebut *wave set up*, seperti diperlihatkan Gambar 2.8 berikut:



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 107

Gambar 2.8. *Wave set-up* dan *wave set-down*

Besar *wave set-down* di daerah gelombang pecah diberikan oleh persamaan berikut:

$$S_b = -\frac{0,536Hb^{2/3}}{g^{1/2}T} \quad (2.10)$$

Dimana :

S_b : *set-down* didaerah gelombang (m)

T : periode gelombang (detik)

H_0 : tinggi gelombang laut dalam ekivalen (m)

d_b : kedalaman gelombang pecah (m)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

(Triatmodjo, 1999,hal. 107)

Wave set-up di pantai dihitung dengan rumus berikut:

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \quad (2.11)$$

Dimana :

S_w = *Wave set-up* (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

T = Periode gelombang (detik)

H_b = Tinggi gelombang pecah (m)

S_b = *set-down* didaerah gelombang (m)

(Triatmodjo, 1999, hal. 108)

2.5.2 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. Kenaikan elevasi muka air karena badai dapat dihitung:

$$\Delta h = \frac{Fi}{2}$$

$$\Delta h = Fc \frac{V^2}{2gd} \quad (2.12)$$

Dimana :

Δh : Kenaikan elevasi muka air karena badai (m)

F : Panjang *fetch* (m)

i : Kemiringan muka air

c : Konstanta = $3,3 \times 10^{-6}$

V : Kecepatan angin (m/s)

d : Kedalaman air (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

(Triatmodjo, 1999, hal. 109)

2.5.3 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan muka air terendah (surut) sangat penting untuk perencanaan bangunan pantai.

Pasang surut mengakibatkan kedalaman air di pantai selalu berubah sepanjang waktu, sehingga diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut sebagai berikut: (Triatmodjo, 1999, hal. 115).

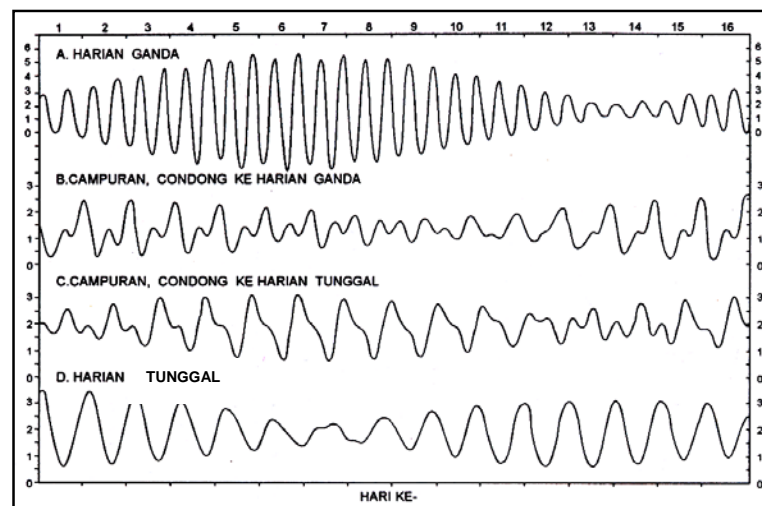
- a. Muka air tertinggi (*Highest High Water Level*, HHWL), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- b. Muka air tinggi rata-rata (*Mean High Water Level*, MHWL) adalah rata-rata muka air tertinggi yang dicapai selama pengukuran minimal 15 hari
- c. Muka air laut rata-rata (*Mean Water Level*, MWL) adalah muka air rata-rata antara muka air tinggi rata-rata dan muka air rendah rata-rata.
- d. Muka air terendah (*Lowest Low Water Level*, LLWL) adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- e. Muka air rendah rata-rata (*Mean Low Water Level*, MLWL) adalah rata-rata muka air terendah yang dicapai selama pengukuran minimal 15 hari.

Secara umum pasang surut diberbagai daerah di Indonesia dapat dibagi menjadi 4 jenis (Triatmodjo, 1999, hal. 119-121), 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.

Pada *diurnal tide* dan *semi diurnal tide*, muka air tertinggi harian disebut dengan *high water* dan muka air terendah disebut dengan *low water*. Sedangkan pada *mixed tide*, muka air tertinggi harian disebut dengan *higher high water* dan muka air tertinggi harian yang lebih rendah disebut dengan *lower high water*. Dan muka air terendah harian disebut dengan *lower low water*, sedangkan muka air terendah yang lebih tinggi disebut *higher low water*. Gambar 2.9 menunjukkan tipe-tipe pasang surut di Indonesia.



Sumber : Triatmodjo,1999, hal 120

Gambar 2.9. Tipe pasang surut yang terjadi di Indonesia.

2.6. *Design Water Level (DWL)*

Elevasi muka air rencana hanya didasarkan pada pasang surut, *wave* setup dan pemanasan global. (Triatmodjo, 1999, hal.347):

1. Pasang surut

Dari data pengukuran pasang surut akan didapat *MHWL*, *MSL* dan *MLWL*

2. *Wave Setup*

Setup gelombang dihitung dengan Rumus 2.11

3. Kenaikan muka air laut karena pemanasan global

Kenaikan muka air laut karena pemanasan global (*Sea Level Rise*, *SLR*) didapat berdasarkan pada Gambar 2.10.

Elevasi muka air rencana (*Design Water Level*, *DWL*), ditetapkan berdasarkan ketiga faktor tersebut, sehingga :

a. Berdasarkan *MHWL*

$$DWL = MHWL + S_w + SLR \quad (2.13)$$

b. Berdasarkan *MLWL*

$$DWL = LWL + S_w \quad (2.14)$$

Dimana :

DWL = *Design Water Level*

MHWL = *Mean High Water Level*

S_w = *Wave Setup*

SLR = *Sea Level Rise*

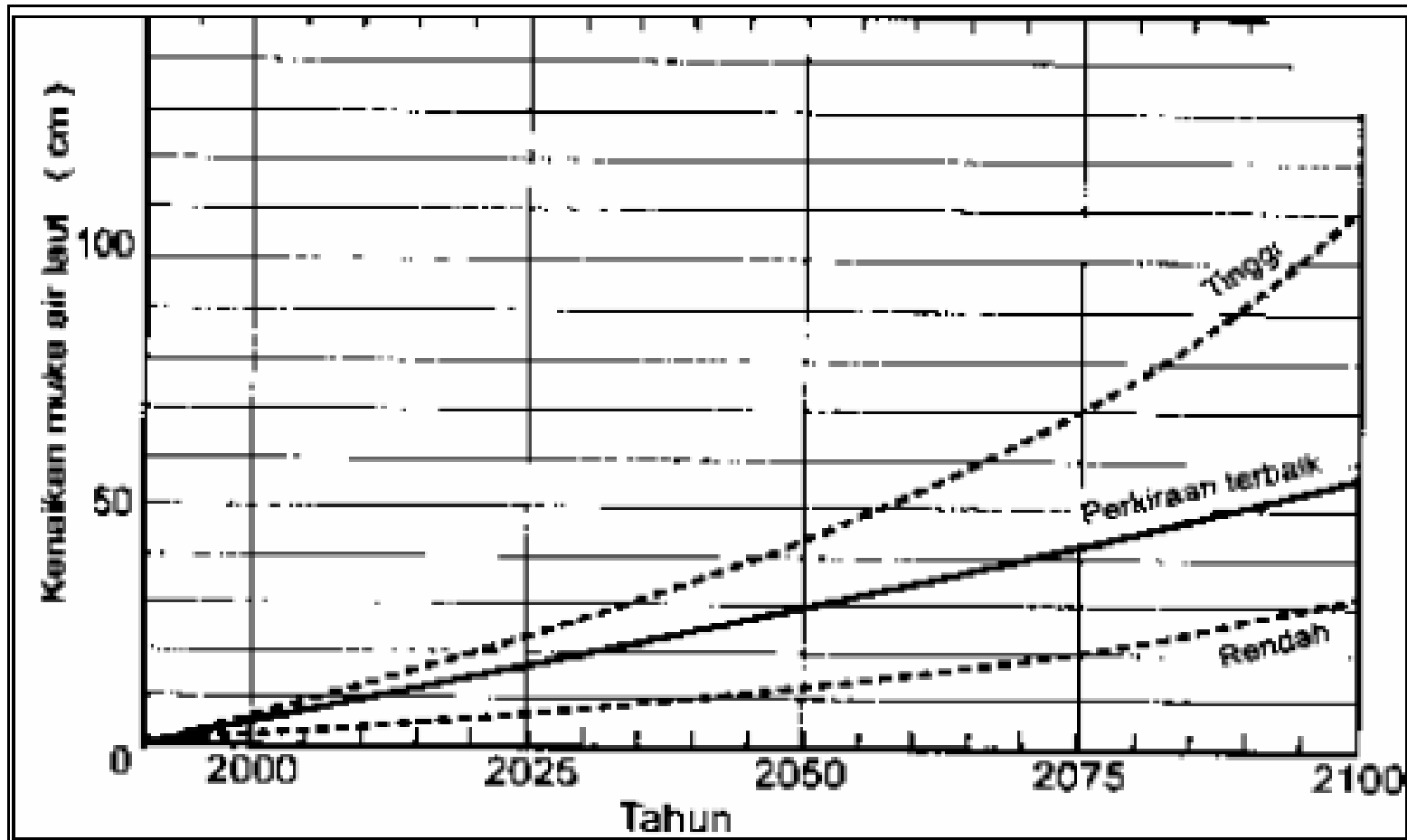
LWL = *Low Water Level*

(Triatmodjo, 1999, hal.347)

2.7. **Pembangkitan Gelombang oleh Angin**

Angin merupakan Sirkulasi udara yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi. Gerakan udara ini disebabkan oleh perubahan temperatur atmosfer. Pada waktu udara dipanasi, rapat massanya berkurang, yang berakibat

naiknya udara tersebut yang kemudian digantikan oleh udara yang lebih dingin di sekitarnya sehingga terjadi pergerakan udara yang disebut angin. Perubahan



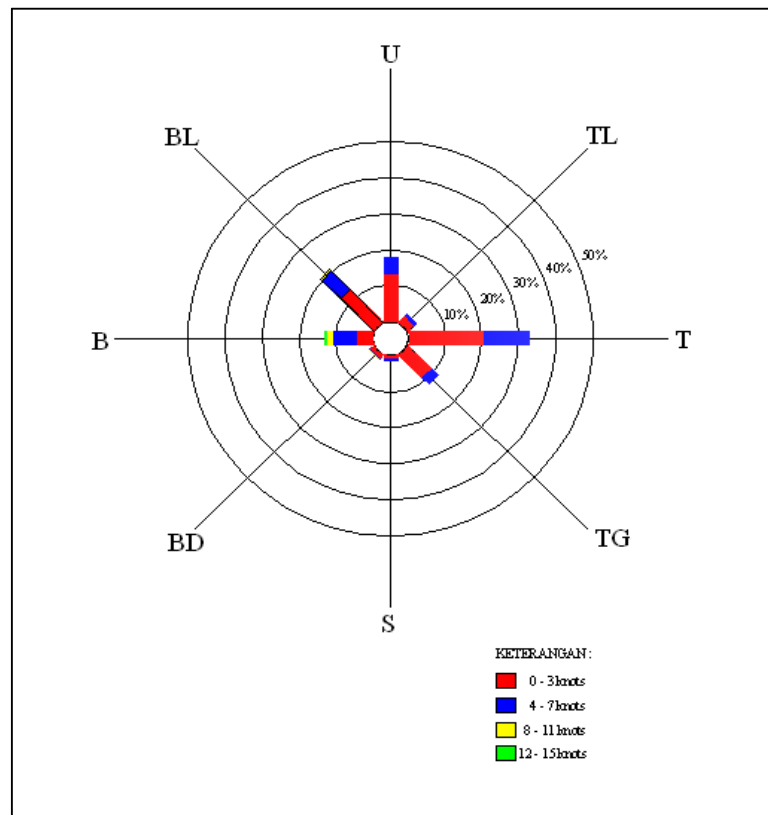
Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 115

Gambar 2.10. Prediksi kenaikan muka air laut karena pemanasan global

temperatur di atmosfer disebabkan oleh perbedaan penyerapan panas oleh tanah dan air, atau perbedaan panas di gunung dan lembah, atau perubahan yang disebabkan oleh siang dan malam, atau perbedaan suhu pada belahan bumi utara dan selatan karena adanya perbedaan musim dingin dan musim panas.

Daratan lebih cepat menerima panas daripada laut dan sebaliknya daratan juga lebih cepat melepaskan panas. Oleh karena itu pada waktu siang hari daratan lebih panas dari pada laut. Udara di atas daratan akan naik dan diganti oleh udara dari laut, sehingga terjadi angin laut. Sebaliknya, pada waktu malam hari daratan lebih dingin daripada laut, udara di atas laut akan naik dan diganti oleh udara dari daratan sehingga terjadi angin darat.

Data angin yang didapat biasanya diolah dan disajikan dalam bentuk tabel atau diagram yang disebut diagram mawar angin (*wind rose*).



Gambar 2.11. Contoh mawar angin (*wind rose*).

Kecepatan angin dinyatakan dalam satuan *knot*. Satu *knot* adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau $1\text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam} = 0,5 \text{ m/d}$.

Untuk memperkirakan pengaruh kecepatan angin terhadap pembangkitan gelombang maka kecepatan angin harus diukur pada ketinggian 10 m diatas permukaan air. Apabila angin tidak diukur pada elevasi 10 m, maka kecepatan angin harus dikonversi pada elevasi tersebut dengan menggunakan rumus berikut:

$$U_{(10)} = U_{(y)} \left(\frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (2.15)$$

Dimana :

$U_{(10)}$: Kecepatan angin pada elevasi 10 m (m/s)

$U_{(y)}$: Kecepatan angin pada elevasi (y) m (m/s)

y : Elevasi terhadap permukaan air (m)

(Triatmodjo, 1999, hal 151)

Pada umumnya pengukuran angin dilakukan di daratan, sedangkan di dalam rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh persamaan dan Gambar 2.12 berikut ini:

$$R_L = U_W / U_L \quad (2.16)$$

Dimana :

U_L : Kecepatan angin yang diukur di darat (m/s)

U_W : Kecepatan angin di laut (m/s)

R_L : Tabel koreksi hubungan kecepatan angin di darat dan di laut.

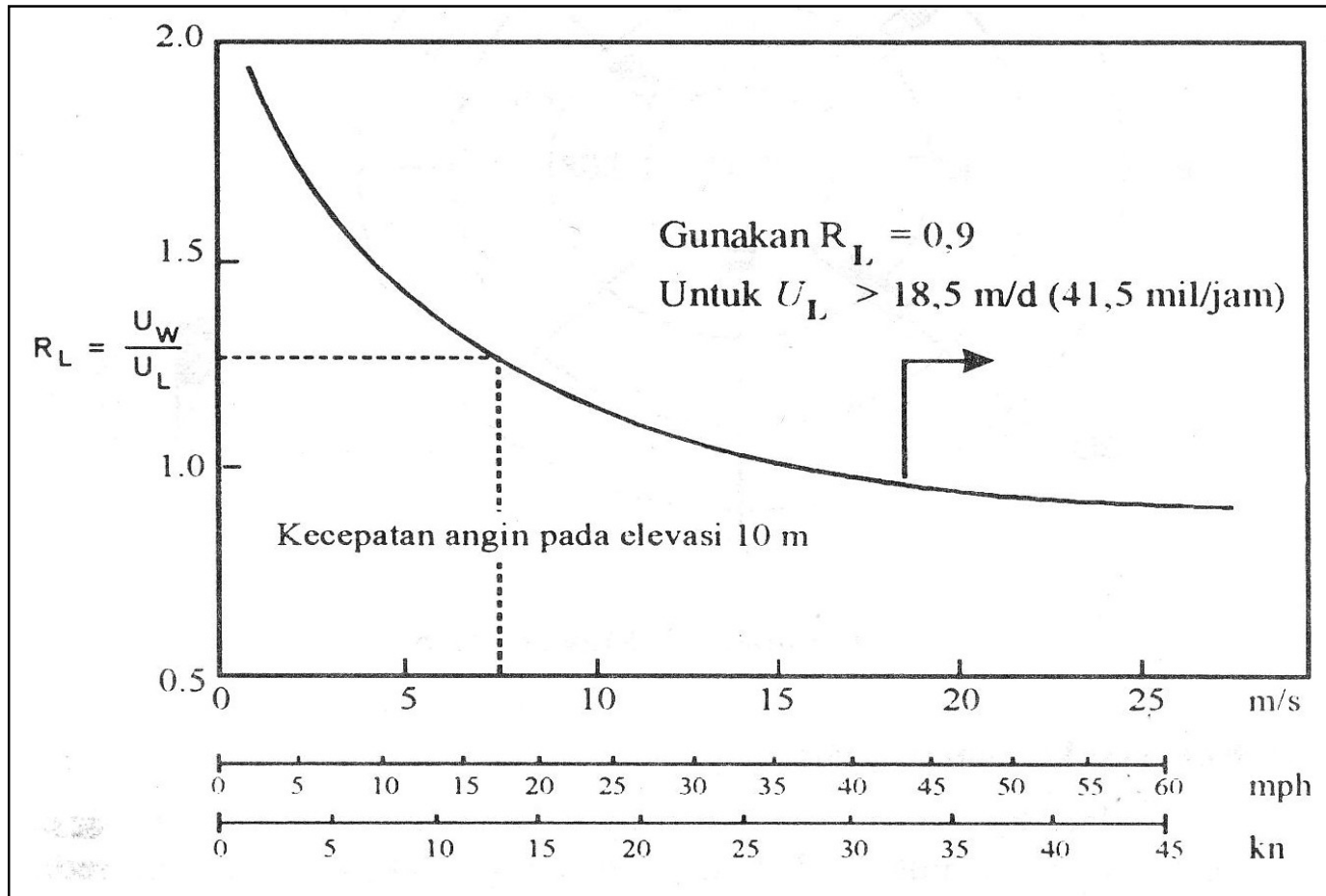
(Triatmodjo, 1999, hal. 154)

Dari kecepatan angin yang didapat, dicari faktor tegangan angin (*wind stress factor*) dengan persamaan sebagai berikut:

$$U_A = 0,71 U_W^{1,23} \quad (2.17)$$

Dimana U adalah kecepatan angin (m/dt)

(Triatmodjo, 1999, hal. 155)



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 154

Gambar 2.12. Grafik hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat

2.8. Fetch

Fetch adalah panjang daerah dimana angin dapat berhembus dengan kecepatan dan arah konstan. Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut. Di dalam pembentukan 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:

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2.18)$$

Dimana :

F_{eff} : Fetch rerata efektif (m)

Xi : Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch (m)

α : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6^0 sampai 42^0 pada kedua sisi dari arah angin.

(Triatmodjo, 1999, hal. 155)

2.9. Peramalan Gelombang

2.9.1 Cara Analitis

Dalam menetapkan data gelombang berhubung data gelombang untuk jangka panjang sulit atau terlalu mahal untuk dilaksanakan, maka digunakan data angin. Disini akan dilaksanakan peramalan gelombang (*hindcasting*) dengan metode SMB. Metode SMB dikemukakan oleh Svedrup, Munk dan Bretchsneider pada tahun 1958. Hasil peramalan gelombang ini berupa tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang.

Formulasi metode SMB adalah sebagai berikut:

- Untuk kondisi *fetch limited*

$$\frac{gH_{m0}}{U^2_A} = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U^2_A} \right)^{1/2} \quad (2.19)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \quad (2.20)$$

$$\frac{gt}{U_A^2} = 6,88x \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \quad (2.21)$$

- Untuk kondisi *fully developed*

$$\frac{gH_{m0}}{U_A^2} = 2,433 \times 10^{-1} \quad (2.22)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 8,134 \quad (2.23)$$

$$\frac{gt}{U_A^2} = 7,15 \times 10^4 \quad (2.24)$$

- Untuk kondisi *shallow water wave*

$$H = 0,283x \tanh \left[0,53 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right) \right]^{3/4} x \tanh \left[\frac{0,00565 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)}{\tanh \left[0,53 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right) \right]^{3/4}} \right]^{1/2} x \frac{U_A^2}{g} \quad (2.25)$$

$$T = 7,54x \tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right) \right]^{3/8} x \tanh \left[\frac{0,00379 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right) \right]^{3/8}} \right] x \frac{U_A^2}{g} \quad (2.26)$$

Dimana:

- F : panjang *fetch* efektif
g : percepatan gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/dt}^2$)
 H_{m0} : tinggi gelombang hasil peramalan
 T_m : periode gelombang puncak
 U_A : kecepatan angin yang sudah dikoreksi
t : lama angin berhembus

(SPM, 1984, hal 3-44)

2.9.2 Cara Grafik

Berdasarkan pada faktor tegangan angin (U_A) dan panjang fetch, maka dilakukan peramalan gelombang dengan menggunakan Gambar 2.13. Dari peramalan gelombang tersebut akan didapat tinggi dan periode gelombang signifikan.

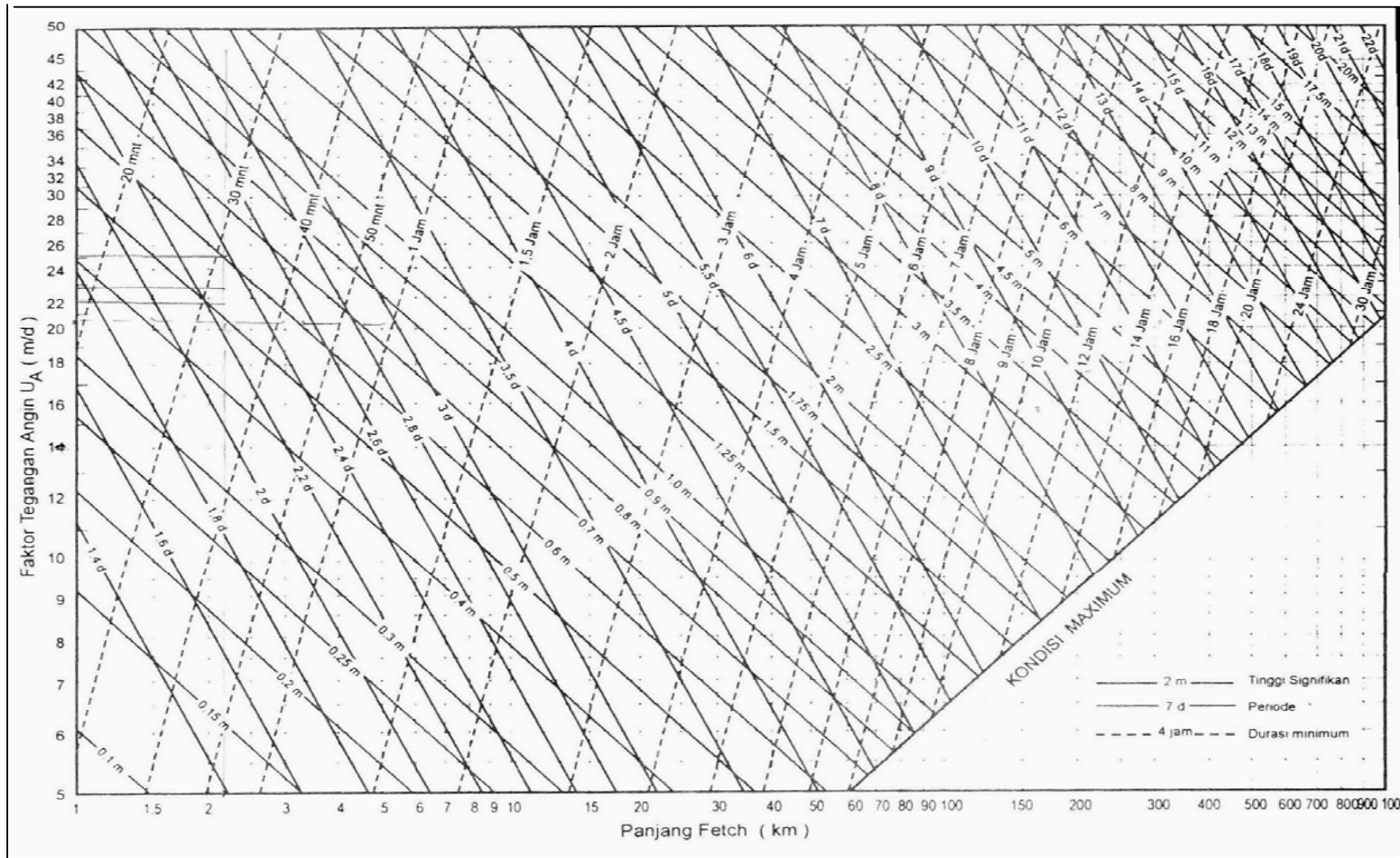
2.10. Teori Sedimentasi

Sedimentasi terjadi akibat adanya gelombang yang datang dan membentuk sudut terhadap garis pantai sehingga mengakibatkan lepasnya sedimen pada suatu daerah pantai dan berpindah sejajar arah pantai tersebut ke daerah pantai lain kemudian mengendap dan terjadilah sedimentasi.

Sifat-sifat sedimen pantai dapat mempengaruhi laju transpor sedimen di sepanjang pantai. Sifat-sifat tersebut adalah ukuran partikel, rapat massa, berat jenis, kecepatan endap. Di antara beberapa sifat tersebut, distribusi ukuran butir adalah yang paling penting.

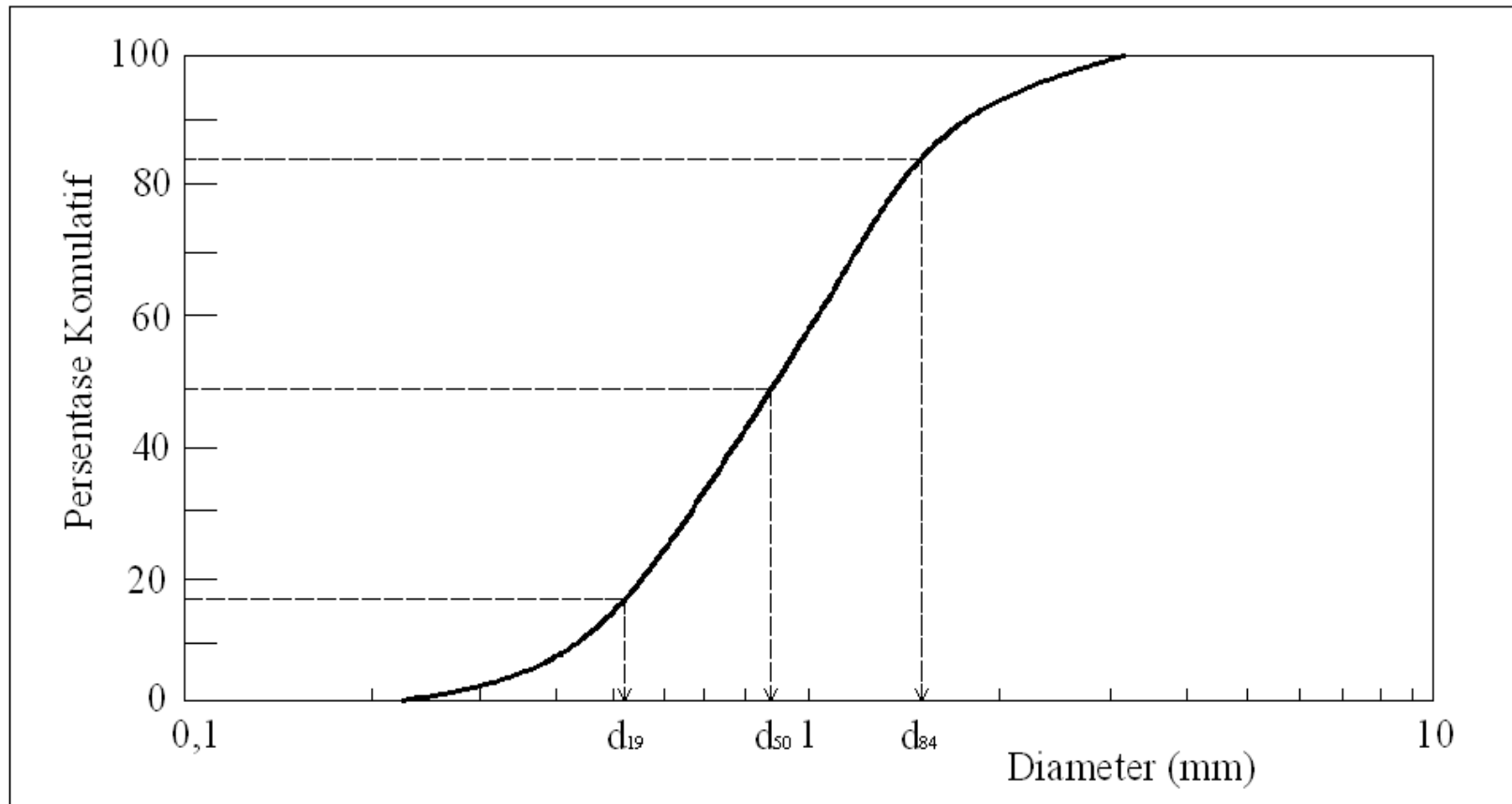
2.10.1 Ukuran Partikel Sedimen

Sedimen pantai diklasifikasikan berdasar ukuran butir menjadi lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (*pebble*), Cobble dan batu (*boulder*). Klasifikasi ukuran butir dan sedimen dapat dilihat pada Tabel 2.3. Distribusi ukuran butir biasanya dianalisis dengan saringan dan dipresentasikan dalam bentuk kurva persentase berat kumulatif seperti terlihat pada Gambar 2.14. Ukuran butir median D_{50} adalah ukuran yang sering digunakan sebagai ukuran butir pasir.



(Triatmodjo, 1999, hal. 155)

Gambar 2.13. Grafik peramalan gelombang



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 168

Gambar 2.14. Grafik distribusi ukuran butir

Tabel 2.3 Klasifikasi ukuran butir dan sedimen.

Klasifikasi		Diameter Partikel	
		mm	Satuan phi
Batu (Boulder)		256	-8
Cobble		128	-7
Koral (Pebble)	Besar	64	-6
	Sedang	32	-5
	Kecil	16	-4
	Sangat kecil	8	-3
Kerikil		4	-2
Pasir	Sangat kasar	2	-1
	Kasar	1	0
	Sedang	0,5	1
	Halus	0,25	2
	Sangat halus	0,125	3
Lumpur	Kasar	0,063	4
	Sedang	0,031	5
	Halus	0,015	6
	Sangat halus	0,0075	7
Lempung	Kasar	0,0037	8
	Sedang	0,0018	9
	Halus	0,0009	10
	Sangat halus	0,0005	11
		0.0003	12

Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 167

2.10.2 Rapat Massa dan Berat Jenis

Rapat massa ρ adalah massa tiap satuan volume, sedang berat jenis γ adalah berat tiap satuan volume. Terdapat hubungan antara berat jenis dan rapat massa, yang mempunyai bentuk $\gamma = \rho \times g$.

2.10.3 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.

- Pada komponen tegak lurus, sedimen pada dasar laut terangkut dan membawa sedimen ke daerah pantai sehingga terjadi sedimentasi/akresi pada garis pantai.
- Pada komponen sejajar garis pantai, sedimen akan terangkut oleh arus sepanjang pantai sampai ke lokasi yang cukup jauh sehingga di lokasi tertentu terjadi kemunduran garis pantai dan pada lokasi tertentu terjadi sedimentasi, contohnya di muara sungai, teluk.

Transpor sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = K P_i^n \quad (2.27)$$

$$P_i = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin a_b \cos a_b \quad (2.28)$$

Dimana :

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

P_i : Komponen fluks energi gelombang pada saat pecah ($Nm/s/m$)

ρ : Rapat massa air laut (kg/m^3)

H_b : Tinggi gelombang pecah (m)

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

a_b : Sudut datang gelombang pecah

K, n : Konstanta

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

CERC (1984) memberikan hubungan sebagai berikut:

$$Q_s = 1.290 P_i \text{ untuk satuan } m^3/\text{tahun}$$

$$Q_s = 3,534 P_i \text{ untuk satuan } m^3/\text{hari}$$

(Triatmodjo, 1999, hal. 186)

2.11. Kajian Mekanika Tanah

Tanah pada kondisi alami, terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran tersebut dapat dengan mudah dipisahkan satu sama lainnya dengan kocokan air. Material ini

berasal dari hasil pelapukan batuan, baik secara fisik, biologis maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut.

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu: udara, air, dan bahan padat. Udara dianggap tak mempunyai pengaruh teknis, sedang air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Bila rongga terisi oleh udara dan air, tanah kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering adalah tanah yang tak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol.

Berdasarkan kandungan butiran-butirannya, tanah dapat dibagi kedalam 2 kelompok besar, yaitu tanah granular dan tanah kohesif. Tanah granular adalah tanah berbutir kasar yang tidak mempunyai komponen kohesi, maka kuat gesernya hanya bergantung pada gesekan antar butir tanahnya, seperti pasir dan kerikil. Sementara tanah kohesif mempunyai kandungan butiran yang halus, seperti lempung, lanau, dan koloid.

▲ Tanah Granular

Tanah-tanah granular seperti pasir, kerikil, batuan dan campurannya umumnya mempunyai sifat-sifat teknis yang sangat baik. Sifat-sifat teknis tersebut antara lain:

- a. Merupakan material yang baik untuk mendukung bangunan dan jalan, karena mempunyai daya dukung yang tinggi dan penurunannya kecil asalkan tanahnya relatif padat.
- b. Merupakan material yang baik untuk tanah urug pada dinding penahan tanah, struktur bawah tanah, dan lain-lain, karena menghasilkan tekanan lateral yang kecil. Mudah dipadatkan dan merupakan material drainase yang baik.
- c. Tanah yang baik untuk timbunan, karena mempunyai kuat geser yang tinggi.

- d. Bila tidak dicampur dengan material kohesif, tak dapat digunakan sebagai material untuk tanggul, bendungan, kolam, karena permeabilitasnya yang besar.

Kuat geser dan kompresibilitas tanah granular tergantung dari kepadatan butiran yang biasanya dinyatakan dalam kerapatan relatif. Hal lain yang penting mengenai tanah granular adalah bentuk dan ukuran butirannya. Semakin besar dan kasar permukaan butiran, semakin besar kuat gesernya. Tanah granular juga mempunyai daya dukung yang tinggi.

▲ Tanah Kohesif

Tanah kohesif umumnya mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Kuat gesernya rendah, material kedap air
- b. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat
- c. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
- d. Berkurang kuat gesernya bila kadar air bertambah
- e. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan (*creep*) pada beban konstan
- f. Material yang jelek untuk tanah urug karena menghasilkan tekanan lateral yang tinggi.

Salah satu karakteristik tanah berbutir halus yang kohesif adalah plastisitas, yaitu kemampuan butiran untuk tetap melekat satu sama lain. Batas-batas keplastisan tanah bergantung pada sejarah terjadinya dan komposisi mineral yang dikandungnya.

Kajian geoteknik dan mekanika tanah dalam hal ini adalah kajian terhadap sifat-sifat tanah dan hubungannya dengan daya dukung tanah. Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban. Pengujian di lapangan untuk mengetahui kuat dukung tanah dapat dilakukan dengan cara pengambilan sampel (*boring*), *sondir* maupun SPT (*Standard Penetration Test*). Perlu juga dilakukan *vane shear test* untuk tanah lempung. Pengujian di laboratorium dapat dilaksanakan dengan pengujian terhadap contoh sampel yang diambil saat pengeboran. Pengujian di laboratorium terhadap sampel tanah dapat digunakan

untuk mengetahui parameter tanah seperti berat jenis tanah, sudut gesek internal tanah, indeks plastisitas, koefisien konsolidasi ataupun yang lain.

Berdasarkan parameter tanah dapat dihitung daya dukung batas tanah (Q_{ult}) dengan menggunakan persamaan Terzaghi berikut ini:

$$Q_{ult} = C N_c + D_f \gamma N_q + 0,5B \gamma N_\gamma \quad (2.29)$$

Dimana :

Q_{ult} : Kuat dukung batas

N_c, N_γ, N_q : Konstanta tanah tergantung dari ϕ

D_f : Kedalaman pondasi (m)

B : Lebar Pondasi (m)

C : Kohesi tanah

γ : Berat jenis tanah (ton/m^3)

2.12. Perubahan Garis Pantai Dengan Program Genesis

Garis pantai merupakan garis batasan pertemuan antara daratan dan air laut dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan kondisi pasang air laut dan erosi pantai yang terjadi (Triatmodjo, 1999, hal. 1).

Pada umumnya perubahan garis pantai yang terjadi adalah perubahan maju (akresi) dan perubahan mundur (abrasi). Garis pantai dikatakan mengalami akresi bila ada petunjuk mengenai adanya pengendapan atau deposisi secara terus-menerus, sedangkan garis pantai dikatakan abrasi jika terjadi penenggelaman daratan. Pada Pantai Tambak Mulyo telah terjadi abrasi yaitu terkikisnya pantai, tambak dan bangunan di sekitarnya oleh gerakan ombak, sehingga garis pantai cenderung mendekati ke arah daratan dan mengancam fasilitas yang digunakan warga.

Untuk mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi pada Pantai Tambak Mulyo dalam jangka waktu tertentu dapat digunakan program *GENESIS*, yaitu suatu program komputer yang dapat menganalisis perubahan garis pantai dan memperkirakan besarnya transpor sedimen.

GENESIS (***GENE***ralized Model For ***SI***mulating ***Sh***oreline Change), dipublikasikan oleh *US Army Corps Of Engineers* (ASCE). *GENESIS* menggunakan pemodelan numerik dalam menganalisa perubahan garis pantai. Metodologi analisis dari program simulasi *GENESIS* diuraikan sebagai berikut:

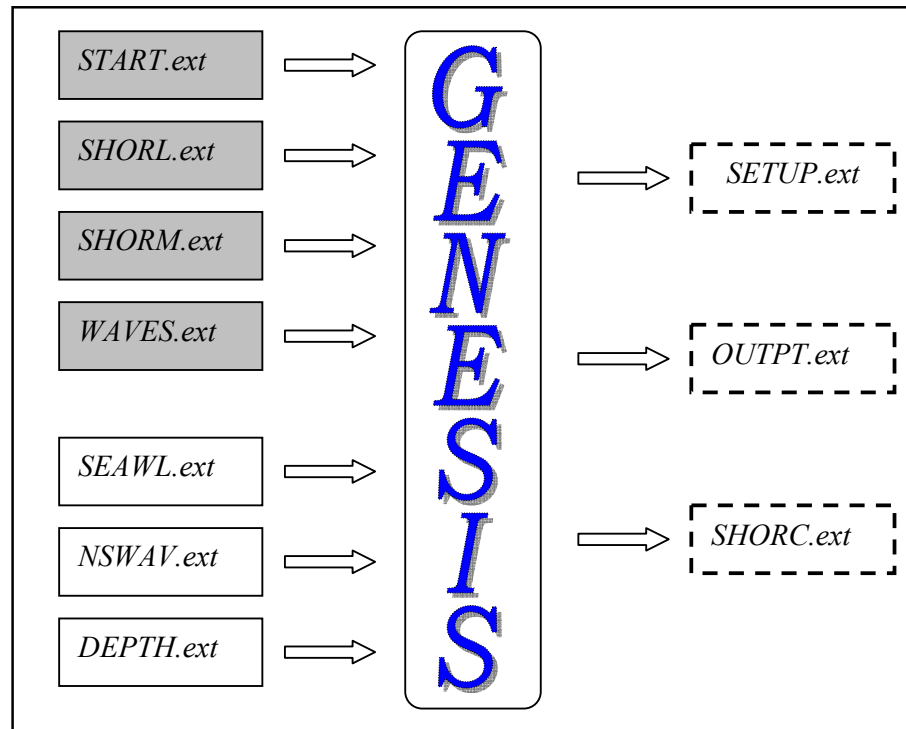
Longshore transport rate (Q), atau tingkat angkutan sedimen sejajar pantai, lazim mempunyai satuan meter kubik / tahun (dalam SI). Karena pergerakannya sejajar pantai maka ada dua alternatif pergerakan, yaitu ke arah kanan dan kiri relatif terhadap seorang pengamat yang berdiri di pantai menghadap ke arah laut. Pergerakan dari kanan ke kiri diberi notasi (Qlt), dan pergerakan ke arah kanan (Qrt), 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 Qlt dan Qrt untuk penumpukan sedimen di 'belakang' sebuah struktur pantai yang menahan pergerakan sedimen.

Data masukan yang diperlukan oleh program *GENESIS* adalah sebagai berikut:

1. Data posisi awal garis pantai berupa koordinat (x,y) untuk simulasi awal.
2. Data gelombang yang terjadi, meliputi arah, periode dan tinggi gelombang.
3. Profil pantai, ukuran butir pantai dan kemiringan pantai.
4. Struktur bangunan pantai eksisting atau yang direncanakan dan data struktur-struktur laut lainnya yang berada pada perairan yang ditinjau.
5. Batas-batas pantai yang akan dianalisis, yang masih berpengaruh terhadap perubahan garis pantai.

Dalam program *GENESIS* ini, dengan input/data-data masukan diatas 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 2.15 berikut:



Gambar 2.15. 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 arsiran (*START.ext*, *SHORL.ext*, *SHORM.ext*, *WAVES.ext*). Untuk file-file tanpa arsiran (*SEAWL.ext*, *NSWAV.ext*, *DEPTH.ext*) dapat tidak disertakan tergantung pada ketersediaan data dan simulasi yang diinginkan. Berikut penjelasan mengenai *file input* dan *output* pada program *GENESIS*.

1. *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 (beberapa tahun ke depan), nilai K1, K2 (Koefisien kalibrasi transpor sedimen), kedalaman gelombang di laut lepas, diameter *grain size* efektif (D50) dan kemiringan pantai.
2. *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 (beberapa tahun ke depan), nilai K1, K2 (Koefisien kalibrasi transpor sedimen), kedalaman gelombang di laut lepas, diameter *grain size* efektif (D50) dan kemiringan pantai.

3. *SHORL* terdiri dari posisi awal garis pantai yang direferensikan, sebagai garis tetap yang tidak mengalami perubahan dalam perhitungan
4. *SHORM* berupa posisi garis pantai yang bisa dibandingkan dengan posisi garis pantai awal, jika tidak ada maka dapat dibuat sama dengan data *SHORL*.
5. *WAVE* terdiri dari informasi gelombang berupa tinggi gelombang, periode dan arah rambat gelombang
6. *SEAWL* terdiri dari lokasi *seawall* yang dimodelkan. Jika tidak ada *seawall* maka *SEAWL* tidak akan dibaca *GENESIS*.
7. *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 eksternal, jika gelombang eksternal tidak digunakan *NSWAV* tidak akan dibaca oleh *GENESIS*.
8. *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.
9. *SETUP* merupakan *file 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.
10. *OUTPT* terdiri dari hasil umum simulasi, diantaranya grafik *Net Transport Rate*, *Shoreline Change* dan *Shoreline Positions*
11. *SHORC* merupakan *file output* berupa koordinat posisi garis pantai akhir setelah dilakukan simulasi.

2.13. Bangunan Pelindung Pantai

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

1. Memperkuat atau 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

(Triatmodjo, 1999, hal. 201)

Sesuai dengan fungsinya, bangunan pantai diklasifikasikan menjadi 3 kelompok, yaitu:

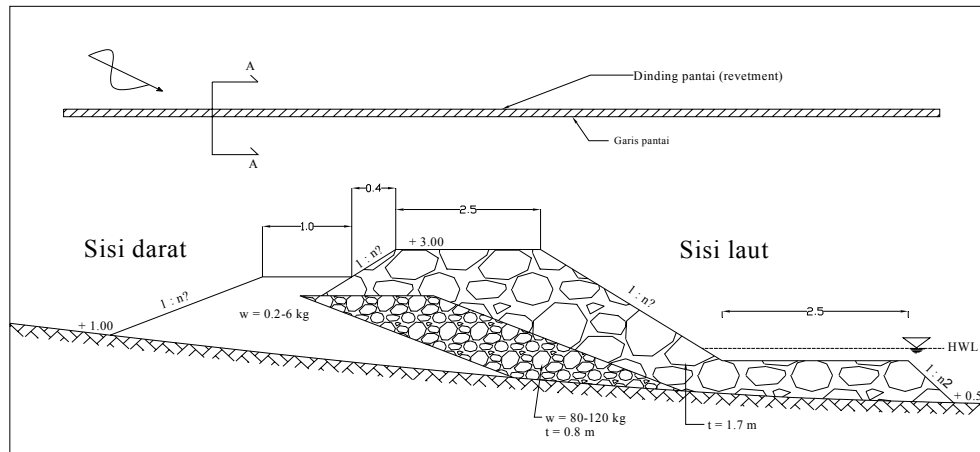
1. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai, misalnya dinding pantai (*revetment*) dan tembok laut (*seawall*)
2. Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan tersambung ke pantai, misalnya groin dan jetty.
3. Konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan kira-kira sejajar garis pantai, misalnya pemecah gelombang (*breakwater*).

(Triatmodjo, 1999, hal.202).

2.13.1 Dinding Pantai (Revetment)

Dinding pantai (*revetmet*) adalah bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai, yang berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat. Daerah yang dilindungi adalah daratan tepat di belakang bangunan. Gambar 2.16 menunjukkan penempatan dinding pantai (*revetmet*) dan detailnya.

Dalam perencanaan dinding pantai perlu diperhatikan kemungkinan terjadinya erosi di kaki bangunan. Kedalamam erosi yang terjadi tergantung pada bentuk sisi bangunan, kondisi gelombang dan sifat tanah dasar. (Triatmodjo, 1999, hal. 205-207)



Gambar 2.16. Dinding pantai (revetment) dan penampang melintangnya.

2.13.2 Tembok Laut

Tembok laut digunakan untuk melindungi pantai atau tebing dari gempuran gelombang sehingga tidak terjadi erosi atau abrasi. Tembok laut ada dua macam yaitu tembok laut masif, dibuat dari konstruksi beton atau pasangan batu dan tembok laut tidak masif, berupa tumpukan batu. Gambar 2.17 adalah salah satu contoh tembok laut masif.

Kriteria perencanaan tembok laut:

1. Lebar mercu

Lebar mercu tembok laut minimal 3x diameter equivalen batu lapis lindung. Bila digunakan untuk jalan maka lebar mercu diambil 3,0 s/d 6,0 meter.

2. Elevasi mercu

$$El_{\text{mercu}} = DWL + R_U + F_b \quad (2.30)$$

Dimana :

El_{mercu} : Elevasi mercu tembok laut (m)

R_U : *Run-up* gelombang (m)

F_b : Tinggi jagaan (1,0 s/d 1,5 m)

DWL : *Design water level* (m)

(Triatmodjo, 1996, hal. 143)

3. Berat lapis pelindung

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \text{Cot}(\theta)} \quad (2.31)$$

$$S_r = \gamma_r / \gamma_a$$

Dimana :

W : Berat butir batu pelindung (ton)

H : Tinggi gelombang rencana (m)

K_D : Koefisien stabilitas batu lindung, Tabel 2.4.

θ : Sudut lereng tembok laut

γ_r : Berat jenis batu pelindung (ton/m³)

γ_a : Berat jenis air laut (ton/m³) (Triatmodjo, 1996, hal. 133)

4. Tebal lapis lindung

$$t = n K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (2.32)$$

Dimana :

t : Tebal lapis lindung (m)

n : Jumlah lapis batu dalam lapis pelindung, Tabel 2.6.

K_{Δ} : Koefisien lapis, Tabel 2.6.

γ_r : Berat jenis batu (ton/m³)

(Triatmodjo, 1996, hal. 138)

Tabel 2.4. Koefisien Stabilitas Lapis Lindung (K_D)

No	Jenis material lapis lindung	n	Cara penempatan armor	Lengan bangunan (K_D)		Ujung bangunan (K_D)		Sudut (m)
				Gelombang		Gelombang		
				Pecah	Tidak pecah	Pecah	Tidak pecah	1 : m
1	Batu quarry, Bulat	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5
		>3		1,6	3,2	1,4	2,3	3,0

2	Batu quarry, Kasar dan bersudut	2	Acak	2,0	4,0	1,9 1,6 1,3	3,2 2,8 2,3	1,5 2,0 3,0
3	Tetrapod, Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	5,0 4,5 3,5	6,0 5,5 4,4	1,5 2,0 3,0
4	Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3 7,8 6,0	9,0 8,5 6,5	1,5 2,0 3,0
5	Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0 7,0	16,0 14,0	2,0 3,0
6	Kubus dimodifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	2,0

Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 261

5. Toe protection

Menurut Triatmodjo, berat butir batu untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan diberikan dengan persamaan:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (2.33)$$

Dimana :

W : Berat rerata butir batu (ton)

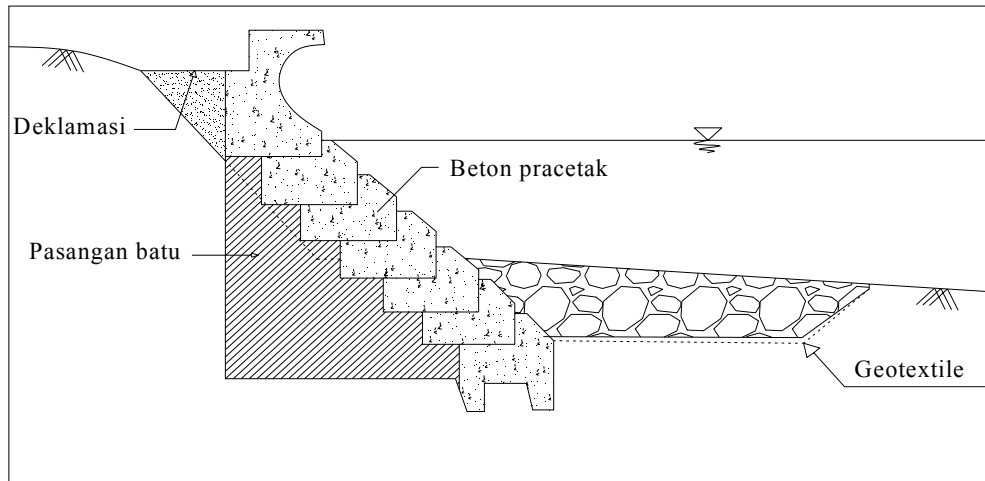
γ_r : Berat jenis batu (ton/m³)

S_r : Perbandingan berat jenis batu dan berat jenis air laut = γ_r / γ_a

γ_a : Berat jenis air laut (1,025-1,03 ton/m³)

N_s : Angka stabilitas rencana untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan.

(Triatmodjo, 1999, hal. 268)



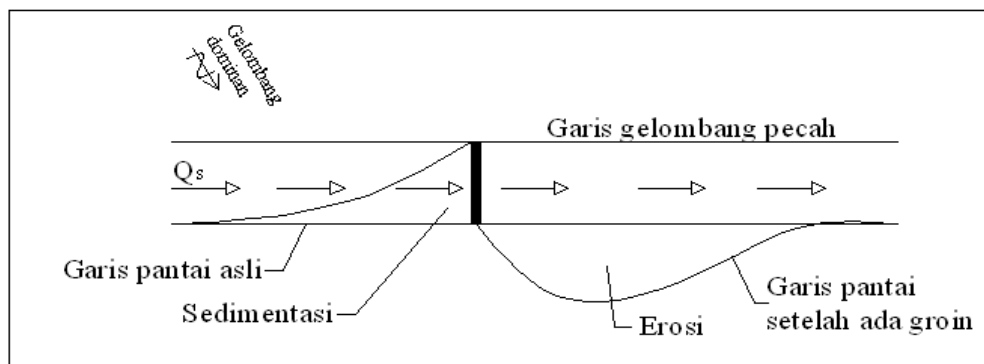
Gambar 2.17. Tembok laut (*seawall*) masif.

2.13.3 Groin

Groin adalah bangunan pelindung pantai yang biasanya dibuat tegak lurus garis pantai, dan berfungsi untuk menahan transpor sedimen sepanjang pantai, sehingga bisa mengurangi atau menghentikan erosi yang terjadi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18. (Triatmodjo, 1999, hal.213)

Kriteria perencanaan groin:

1. Panjang groin, 40%-60% dari lebar rerata *surf zone*.
2. Jarak antar groin, 1 sampai 3 kali panjang groin.
3. Tinggi Groin, antara 50 cm – 60 cm diatas elevasi rencana.
4. Elevasi puncak groin diambil di bawah HWL.



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 213

Gambar 2.18. Groin dan perubahan garis pantai yang ditimbulkannya.

2.13.4 Jetty

Jetty adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakkan pada kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk mengurangi pedangkalan alur oleh sedimen pantai (Triatmodjo, 1999, hal.220).

Jetty dibagi menjadi tiga jenis menurut fungsinya, yaitu:

1. Jetty panjang

Jetty ini ujungnya berada diluar gelombang pecah, tipe ini efektif untuk mencegah masuknya sedimen ke muara, tetapi biaya konstruksi sangat mahal. Jetty ini dibangun apabila daerah yang dilindungi sangat penting.

2. Jetty sedang

Jetty sedang ujungnya berada antara muka air surut dan gelombang pecah, dapat menahan sebagian transpor sedimen sepanjang pantai, alur diujung jetty masih memungkinkan terjadinya endapan pasir.

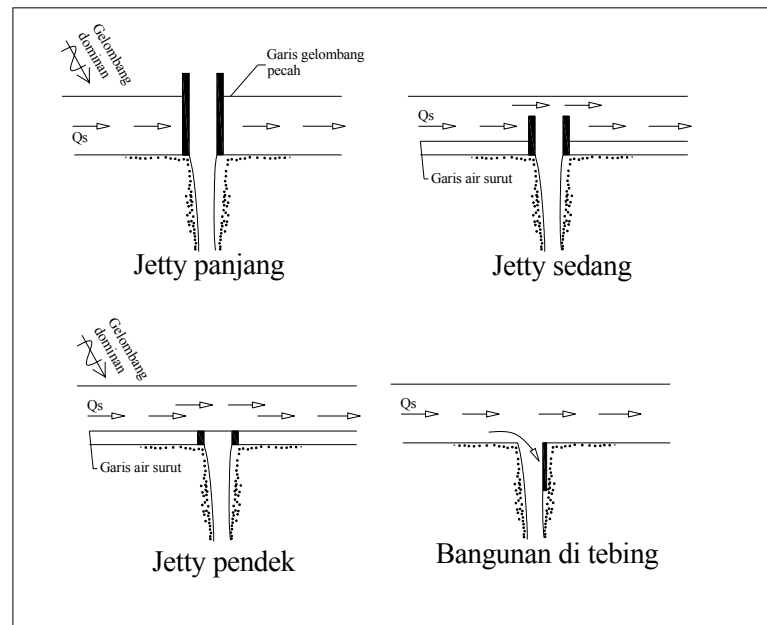
3. Jetty pendek

Dimana kaki ujung bangunan berada pada muka air surut, fungsi utama bangunan ini adalah menahan berbeloknya muara sungai dan mengkonsentrasikan aliran pada alur yang telah ditetapkan untuk bisa mengerosi endapan.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.19.

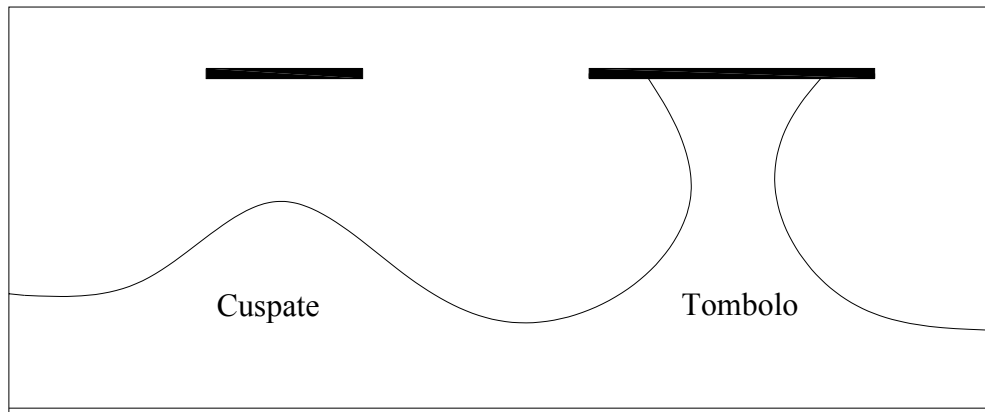
2.13.5 Krib Sejajar Pantai/Pemecah Gelombang (*Breakwater*)

Krib sejajar pantai adalah bangunan maritim yang dibangun kurang lebih sejajar dengan garis pantai dengan tujuan untuk melindungi pantai. Bangunan ini dapat mencegah terjadinya erosi pantai. Dengan adanya bangunan ini, energi gelombang dapat tereduksi yang besarnya reduksi sesuai dengan panjang dan tinggi mercu bangunan. Bila bangunan memiliki panjang yang cukup, maka pantai akan maju mendekat ke arah bangunan untuk membentuk *Cuspate* atau *Tombolo* (lihat Gambar 2.20).



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 222

Gambar 2.19. Beberapa tipe *jetty*.



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 225

Gambar 2.20 Pengaruh panjang krib terhadap garis pantai.

1. Tipe, Bahan dan Bagian-Bagian

Dari elevasi mercunya, krib sejajar pantai dibedakan menjadi 3 macam yaitu (lihat Gambar 2.21):

- *Non overtopping breakwater*
- *Overtopping breakwater*
- *Submerged breakwater*, struktur bangunannya dibuat dari tumpukan batu

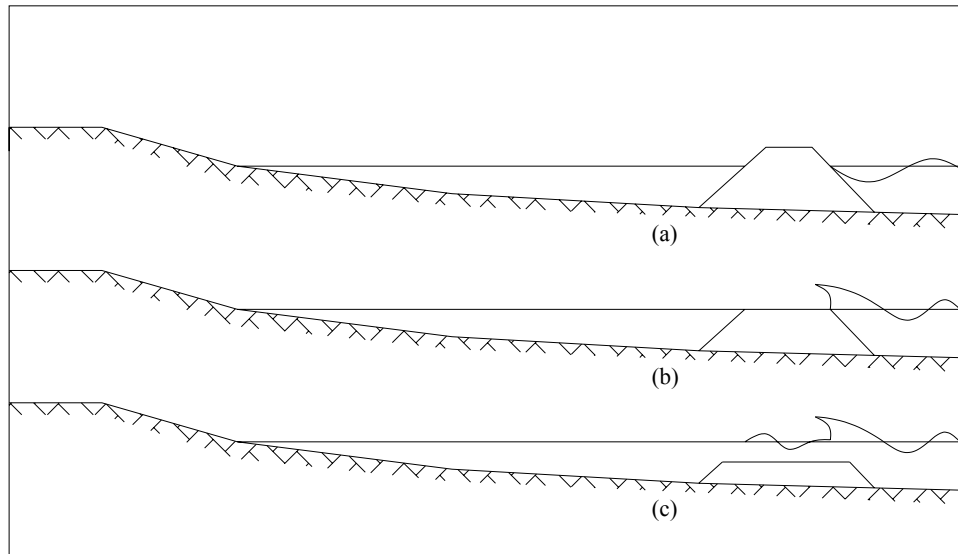
Keunggulan struktur ini adalah :

- a. dapat meredam gelombang dengan baik dan hampir tidak merefleksikan gelombang
- b. merupakan bangunan yang fleksibel dan tidak butuh persyaratan khusus untuk tanah pondasi
- c. kerusakan struktur mudah diperbaiki dengan mengganti batu yang tergeser dengan yang baru
- d. mudah diperbaiki bila rusak

Batu yang dipakai untuk lapis lindung berupa batu alam maupun batu buatan (*artificial*) misalnya seperti tetrapod, kubus beton, dolos ataupun akmond. Bangunan ini dapat dipadukan dengan jetty untuk perlindungan pantai pasir buatan.

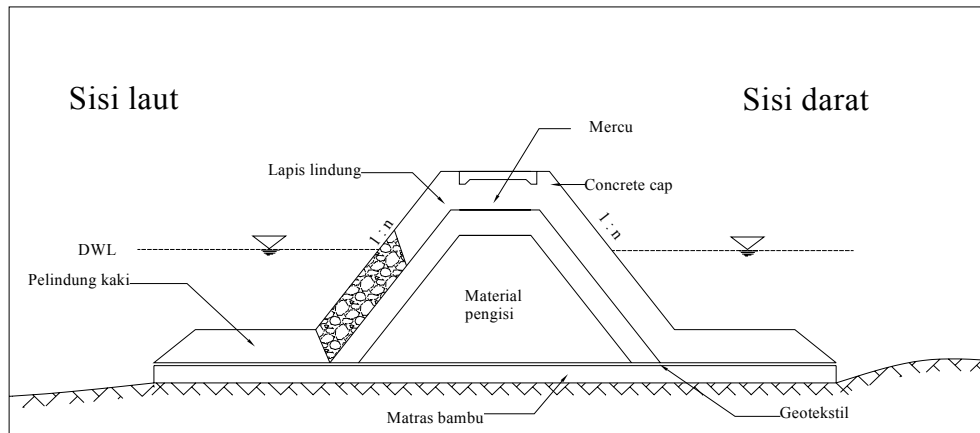
Bagian- bagian krib sejajar pantai terdiri dari (lihat Gambar 2.22) :

- a. Kepala/mercu tembok
- b. Badan tembok
- c. Pondasi Tembok
- d. Pelindung kaki (*toe protection*)



Gambar 2.21. Tipikal bangunan pemecah gelombang atau krib sejajar pantai.

(a) *Non Overtopping*, (b) *Overtopping*, (c) *Submerged*
(b)



Gambar 2.22. Bagian- bagian krib sejajar pantai.

2. Pertimbangan Pemakaian

Pertimbangan pemakaian krib sejajar pantai untuk keperluan perlindungan pantai antara lain :

- a. Untuk mencegah agar pantai tidak tererosi, yaitu dengan mengurangi energi gelombang yang menghantam pantai
- b. Untuk menjaga posisi garis pantai, agar tetap sesuai dengan rencana, misalnya untuk pembentukan *Tombolo* atau *Cuspate*

- c. Menjaga agar perairan pantai tetap ada gelombang namun tingginya terbatas (dengan *submerged breakwater* atau *artificial reef breakwater*)
- d. Menjaga agar material tidak berpindah dari kawasan pantai pasir buatan

Selama ini krib sejajar pantai atau *detached breakwater* banyak dimanfaatkan untuk perlindungan pantai di kawasan wisata. Keunggulan utamanya adalah keberadaan bangunan tidak mengganggu wisatawan yang sedang menikmati pantai pasir maupun perairannya.

Untuk keperluan perancangan diperlukan data pendukung yang terdiri dari:

- a. Bathimetri dan Topografi
 - b. Pasang surut
 - c. Gelombang
 - d. Kondisi tanah dasar
 - e. Data Angin
3. Penentuan Kala Ulang Gelombang Rencana (*Return Period*)

Penentuan kala ulang gelombang rencana biasanya didasarkan pada nilai daerah yang akan dilindungi dan jenis konstruksi yang akan dibangun. Makin tinggi nilai ekonomis daerah yang dilindungi, makin besar pula kala ulang gelombang rencana yang dipilih. Makin besar kemungkinan korban jiwa apabila terjadi kegagalan konstruksi, makin besar pula kala ulang gelombang rencana yang dipilih. Untuk menentukan kala ulang gelombang dilakukan studi kelayakan (*feasibility study*) untuk memilih kala ulang yang memberikan kelayakan terbaik (dapat dilihat dari *Net benefit* terbaik, *Benefit Cost Ratio* terbaik, *Total cost* terendah, pertimbangan korban jiwa yang mungkin terjadi. Penentuan kala ulang gelombang rencana dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Pemakaian pedoman tersebut memerlukan pemahaman permasalahan yang cukup mendalam terutama pada jenis konstruksi yang akan dibangun, nilai ekonomis daerah yang dilindungi, dan kemungkinan kerugian harta,

benda dan jiwa bila terjadi kegagalan. Misalnya akan dibangun krib sejajar pantai, yang dilindungi adalah pantai dan perairan ke arah sisi daratan. Kegagalan konstruksi krib laut tidak menimbulkan kerugian material yang tinggi dan tidak menimbulkan korban jiwa yang besar. Bila krib terbuat dari tumpukan batu, disarankan kala ulang gelombang yang dipakai adalah 5 s/d 25 tahun saja. Apabila perbaikan dan perawatan sulit dilakukan pada lapis lindung maka kala ulang gelombang (H_{33}) diambil agak tinggi, misalnya 20 tahun.

Tabel 2.5 Pedoman Pemilihan Gelombang Rencana

No	Jenis struktur	Gelombang rencana	
		Jenis Gelombang	Kala Ulang(tahun)
1	Struktur fleksibel	H_{so} (H_{33})	
	a. Resiko rendah		5-10
	b. Resiko sedang		10-100
	c. Resiko tinggi		100-1.000
2	Struktur semi kaku	$H_{10} - H_1$	
	a. Resiko rendah		5-10
	b. Resiko sedang		10-100
	c. Resiko tinggi		100-1.000
3	Struktur kaku	$H_1 - H_{maks}$	
	a. Resiko rendah		5-10
	b. Resiko sedang		10-100
	c. Resiko tinggi		100-1.000

Sumber : Pedoman Teknis Perencanaan Tembok Laut, *Revetment* dan Krib Tegak Lurus Pantai, Direktorat Bina Teknik, 2004.

4. Tinggi Gelombang Rencana

Tinggi gelombang rencana terpilih adalah tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi di lokasi pekerjaan. Apabila gelombang pecah sebelum mencapai lokasi pekerjaan, maka gelombang rencana yang dipakai adalah tinggi gelombang pecah (H_b) di lokasi pekerjaan. Tinggi

gelombang pecah ini biasanya dikaitkan dengan kedalaman perairan (d_s) dan landai pantai (m). Untuk menentukan tinggi gelombang pecah dapat dipergunakan grafik pada Gambar 2.23. Apabila pantai relatif datar maka tinggi gelombang pecah dapat ditentukan dengan formula:

$$H_b = 0,78 d_s \quad (2.34)$$

Dimana :

H_b : Tinggi gelombang pecah (m)

d_s : Kedalaman air di lokasi bangunan (m)

(Triatmodjo, 1999, hal.61)

Dengan demikian tinggi gelombang rencana (H_D) dapat ditentukan dengan rumus:

a. Untuk gelombang pecah di lokasi tembok laut

$$H_D = H_b \quad (2.35)$$

b. Untuk gelombang tidak pecah di lokasi bangunan

$$H_D = H_o K_D K_R K_S \quad (2.36)$$

Dimana :

H_D : Tinggi gelombang rencana (m)

H_b : Tinggi gelombang pecah di lokasi bangunan (m)

H_o : Tinggi gelombang di laut dalam (m)

K_D : Koefisien difraksi jika mengalami hal ini

K_R : Koefisien refraksi

K_S : Koefisien *shoaling*

5. Perencanaan

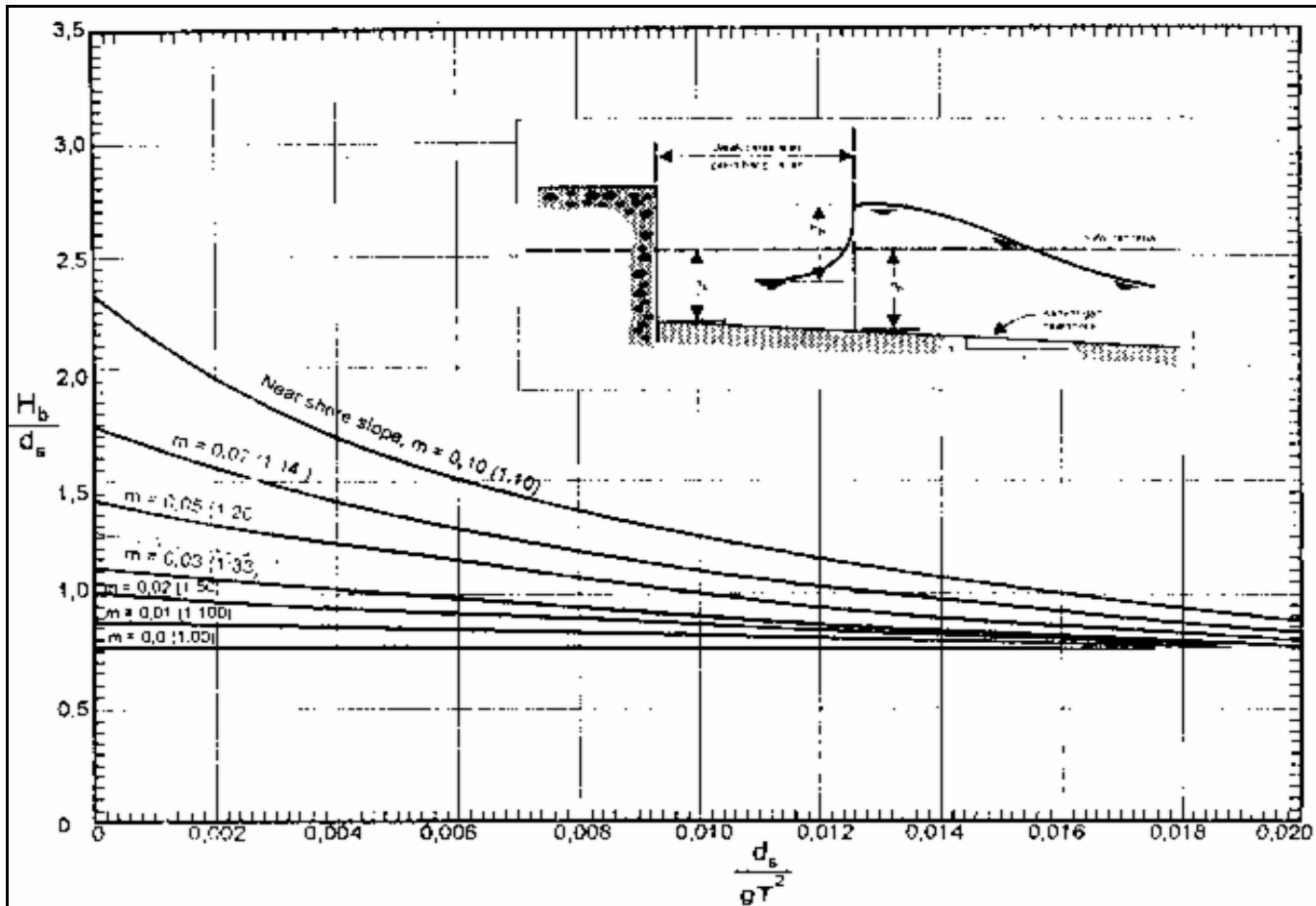
a) Umum

Tipikal struktur krib sejajar pantai dapat dilihat pada Gambar 2.21.

Dalam perencanaan krib sejajar pantai dapat dilakukan pendekatan dari dua sisi, yaitu sisi hidraulik dan sisi geoteknik.

Dari sisi hidraulik krib sejajar pantai harus aman dari:

- Kerusakan struktur akibat gaya gelombang
- Erosi arus dan gaya gelombang
- Kerusakan struktur akibat limpasan



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 236

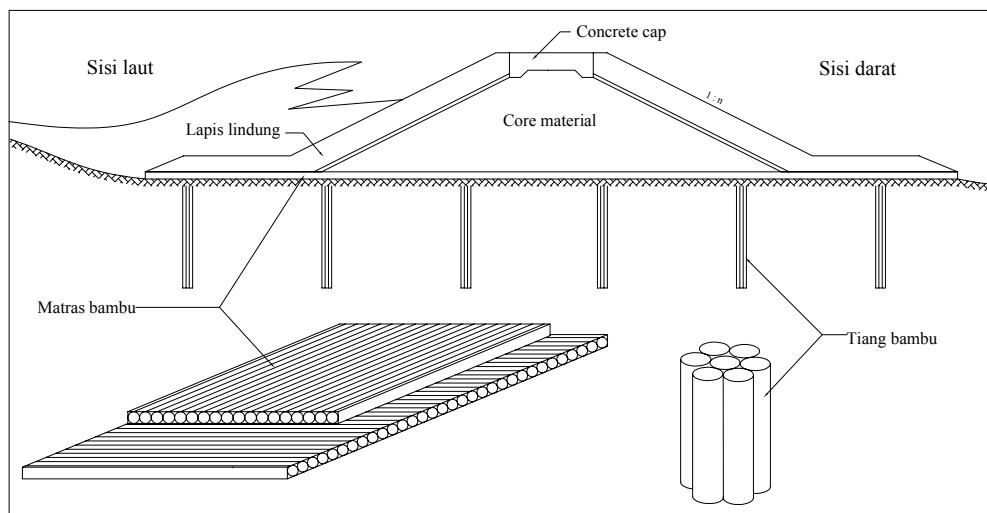
Gambar 2.23 Hubungan antara (H_b/d_s) versus (d_s/gT^2) .

Dari sisi geoteknik krib sejajar pantai harus aman dari:

- Kelongsoran tebing (*slip circle*)
- Kerusakan struktur akibat konsolidasi
- Kerusakan struktur akibat *settlement*

b. Pondasi

Krib sejajar pantai biasanya dibangun pada tanah dasar yang lunak, baik berupa pasir halus maupun lumpur. Oleh karena itu pemilihan tumpukan batu dengan ukuran tapak yang luas adalah sangat tepat. Perbaikan tanah dasar dapat dilakukan dengan mengganti tanah dasar dengan lapisan pasir dengan ketebalan tertentu, atau dengan pondasi bambu yang dirakit (*matras*) menjadi landasan tembok laut tersebut. Apabila tanahnya sangat lunak, maka di bawah *matras* bambu tersebut masih diperlukan tiang bambu penyangga. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.24 berikut ini:



Gambar 2.24 Tipikal pondasi krib sejajar pantai pada tanah lunak dengan *matras* dan tiang bambu.

b) Rayapan Gelombang

Tinggi rayapan gelombang dapat dicari dengan formula berikut:

$$\frac{R_u}{H} = f(Ir) \quad (2.37)$$

$$I_r = \frac{tg\theta}{(H/L_o)^{0.5}} \quad (2.38)$$

Dimana:

R_u : Tinggi rayapan gelombang (m)

H : Tinggi gelombang datang (m)

I_r : Bilangan Iribaren

θ : Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

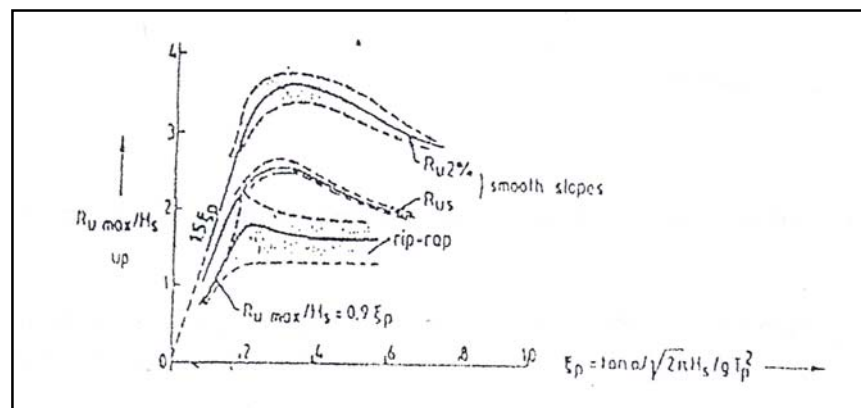
$f(I_r)$: Koefisien rayapan gelombang (Gambar 2.25 dan 2.26)

L_o : Panjang gelombang $1,56 T^2$ (m)

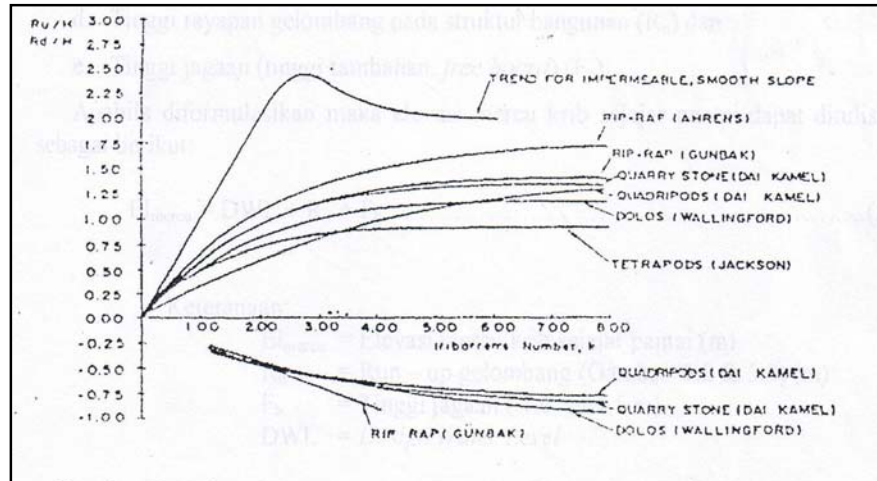
T : Periode gelombang (detik)

(Triatmodjo, 1999, hal.268)

Dari Gambar 2.25 terlihat bahwa tinggi rayapan gelombang acak yang dihitung dengan menggunakan tinggi gelombang signifikan (H_s), dan dihitung dengan gelombang $H_{0,02}$ memberikan nilai yang berbeda. Hal ini memberikan gambaran bahwa penentuan tinggi rayapan gelombang acak dengan tinggi rayapan gelombang signifikan pada saat-saat tertentu akan dilampaui. Sedangkan tinggi rayapan gelombang dari berbagai lapis lindung dapat dilihat pada Gambar 2.26



Gambar 2.25. Tinggi rayapan gelombang (*wave run-up*) pada gelombang acak .

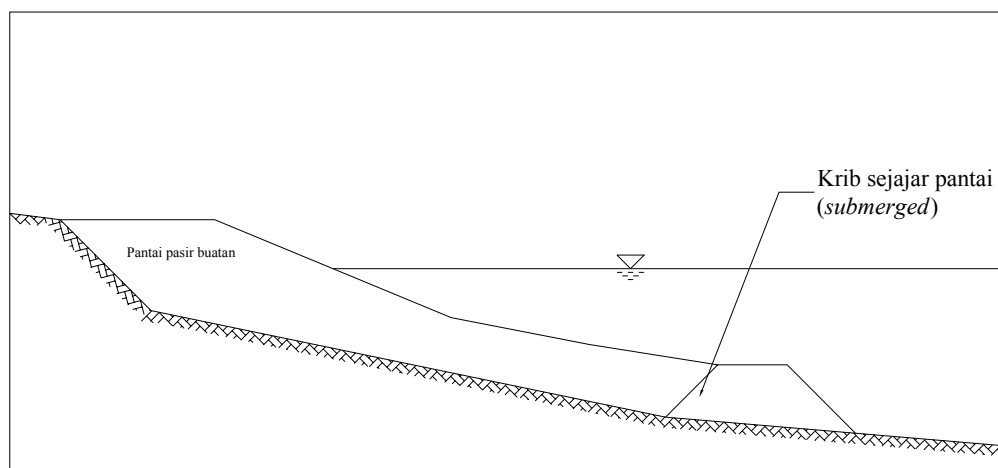


Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 269

Gambar 2.26. Tinggi rayapan gelombang pada berbagai jenis lapis lindung.

c) Penentuan Elevasi Mercu

Pada bangunan krib sejajar pantai tidak ada persyaratan bahwa elevasi harus cukup tinggi agar tidak terjadi *overtopping*. Justru pada bangunan ini diberi kesempatan luas untuk memilih apakah bangunan tersebut *overtopping*, *non-overtopping* ataupun *submerged*. Bila diinginkan gelombang yang menuju pantai kecil, maka harus dipilih bangunan yang *non-overtopping*. Namun jika krib sejajar pantai tersebut hanya digunakan agar sedimen tidak lari ke *off shore*, maka ukuran krib sejajar pantai dapat sangat rendah (*submerged*), secara sketsa dapat dilihat pada gambar 2.27 sebagai berikut:



Gambar 2.27. Struktur krib sejajar pantai untuk penahan material.

Bilamana krib sejajar pantai direncanakan dengan kriteria *non-overtopping*, maka perencanaan elevasi mercu harus didasarkan pertimbangan terhadap:

1. Muka air tinggi akibat pasang surut (HWS)
2. Kenaikan muka air akibat *Wind Set-up* (WS), ataupun *Storm Surge* (SS)
3. Kenaikan muka air laut akibat pemanasan global (SLR)
4. Tinggi rayapan gelombang pada struktur bangunan (R_u) dan
5. Tinggi jagaan (Tinggi tambahan, *free board*) (F_b)

d) Penentuan Tata Letak dan Ukuran-Ukuran Pokok

Tata letak krib sejajar pantai dalam rangka melindungi pantai ataupun pantai pasir buatan dapat diatur sesuai maksud dan tujuan perlindungan tersebut. Rumus atau formula yang eksak untuk keperluan tersebut tidak tersedia, namun dari hasil penelitian dan pengalaman (CUR,1987, US Army Corps of Engineers,1994) dapat dipergunakan sebagai pedoman tata letak krib sejajar pantai tersebut.

- a. Panjang krib sejajar pantai didasarkan pada tujuan pembentukan garis pantai,yaitu membentuk tombolo atau cusplate
- b. Ukuran pokok untuk membentuk cusplate atau tombolo dapat dihitung dengan menggunakan formula :

$L/y > 1,5$: Tombolo

$L/y = 0,5 - 1,5$: Well developed cusplate

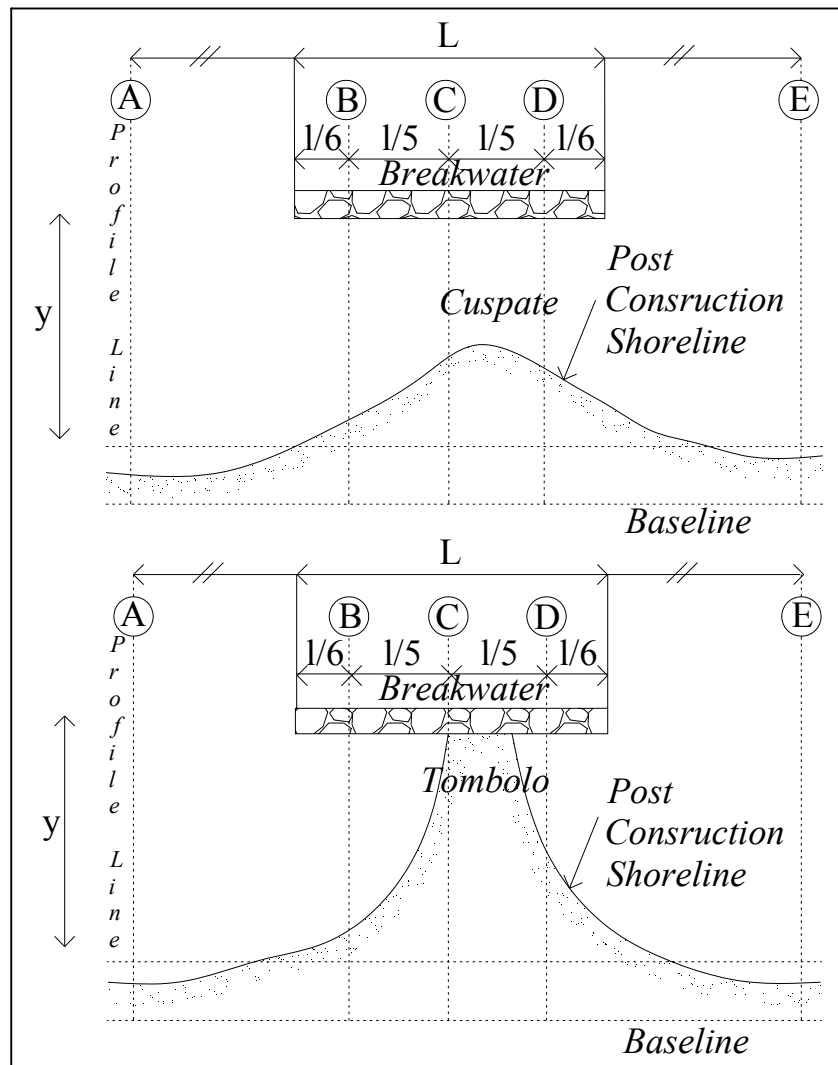
$L/y = 0,2 - 0,5$: Cusplate

$L/y < 0,2$: Tidak berpengaruh pada pantai

Dimana :

L = Panjang krib sejajar pantai (m)

y = Jarak krib ke garis pantai (m)



Gambar 2.28. Tombolo dan Cuspate, Akibat Adanya Krib Sejajar Pantai.

e) Stabilitas batu lapis pelindung

Di dalam perencanaan pemecah gelombang sisi miring, ditentukan berat butir batu pelindung, yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus Hudson, pada Rumus 2.31.

Sedang tebal lapis lindung (t) ditentukan minimal setebal dua kali diameter equivalen butiran armor, sedangkan diameter equivalen butiran nilainya diperkirakan sama dengan sisi kubus. Atau dapat dihitung dengan menggunakan Rumus 2.32.

Untuk mengetahui jumlah batu yang digunakan untuk lapis lindung dapat menggunakan rumus :

$$N = A n K_A \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{2/3} \quad (2.39)$$

Dimana :

N : Jumlah butir batu

A : Luas permukaan

n : Jumlah lapis batu dalam lapis pelindung, Tabel 2.6.

K_A : Koefisien lapis, Tabel 2.6.

W : Berat butir batu pelindung.

γ_r : Berat jenis batu.

P : Porositas rerata dari lapis pelindung

(Triatmodjo, 1999, hal. 265)

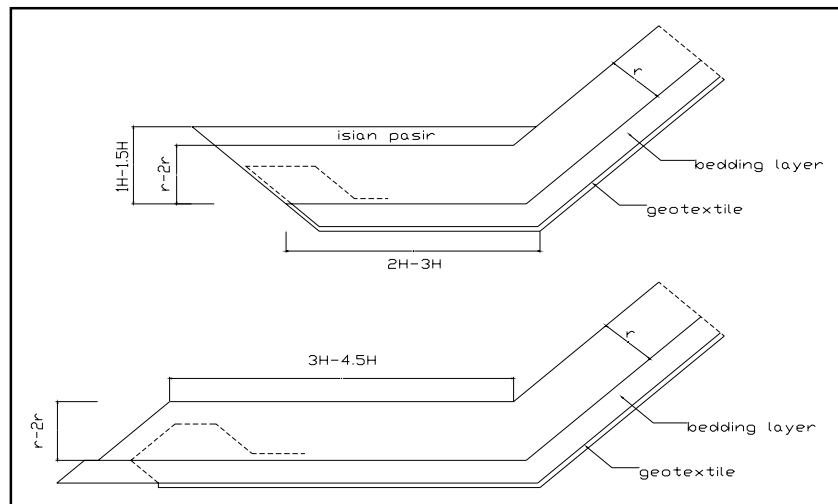
Tabel 2.6 Koefisien lapis

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (K_A)	Porositas (%)
Batu alam (halus)	2	Random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	Random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	Random (acak)	1,10	40
Kubus	2	Random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	Random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	Random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	Random (acak)	1,15	47
Tribard	2	Random (acak)	1,02	54
Dolos	2	Random (acak)	1,00	63
Tribar	1	Seragam	1,13	47
Batu alam		Random (acak)		37

Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 265

f) Struktur Pelindung Kaki

Kaki bangunan harus dilindungi dari erosi. Struktur pelindung yang biasa disebut *toe protection*. Struktur ini diletakkan pada kaki bangunan selebar 3 sampai 4,5 kali tinggi gelombang rencana (H_D) sehingga dapat melindungi krib sejajar pantai (lihat Gambar 2.29). Berat batu lapis lindung diperkirakan kira-kira setengah dari yang digunakan pada dinding krib sejajar pantai (Bambang Triatmodjo, 1999).



Gambar 2.29 Konstruksi *Toe Protection* (Pelindung Kaki).

g) Jenis dan Spesifikasi Lapis Lindung

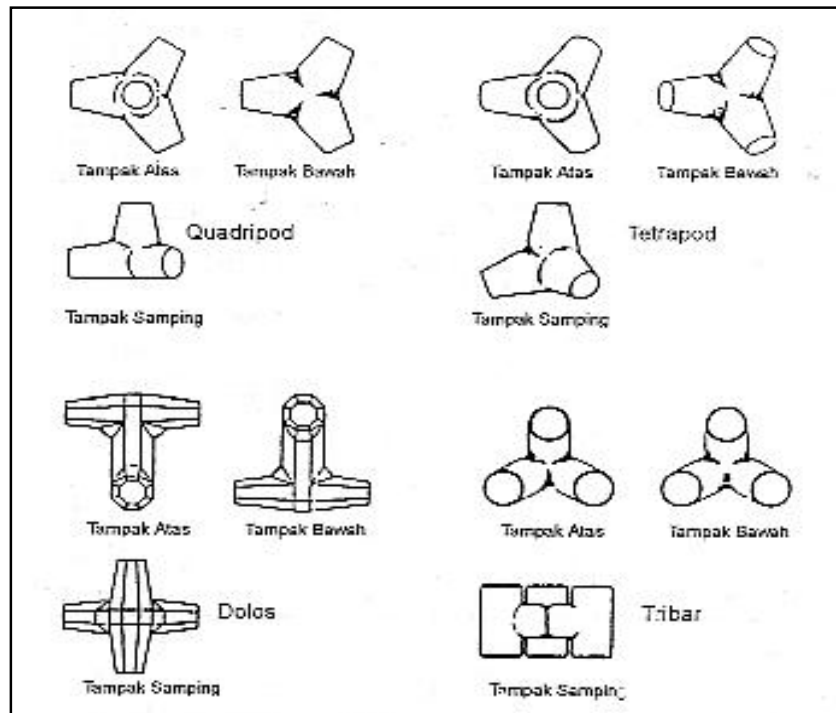
Bahan lapis lindung (armor) harus memenuhi syarat berikut ini :

- Harus tahan terhadap keadaan lingkungan, tidak mudah lapuk, tidak rusak karena bahan kimia, tahan terhadap gaya dinamik yang berasal dari gelombang pecah atau benturan antar bahan lapis lindung
- Batu (alam maupun buatan) harus mempunyai berat jenis yang cukup besar ($>2,5$). Makin besar berat jenis bahan yang dipakai, makin kecil ukuran batu yang dipergunakan sehingga mempermudah pekerjaan.
- Beton yang digunakan minimum 30 Mpa atau K-350 pada umur 28 hari.

- Bahan lapis lindung harus kasar sehingga mampu menahan gaya gelombang. Untuk menambah kekasaran dapat dibuat tonjolan atau kaitan.

Batu alam yang biasa dipakai adalah Batu Granit (rapat masa 2.650 s/d 3.000 kg/m³) atau Batu Basalt (2.700 kg/m³). Batu Limestone (2.300 s/d 2.750 kg/m³) kurang bagus karena tidak tahan terhadap lingkungan dan kepadatannya tidak merata.

Batu buatan yang biasa digunakan adalah Tetrapod, Quadripod, Tribar dan Dolos. Koefisien stabilitasnya (K_D) tidak banyak dipublikasikan, dan sketnya dapat dilihat pada Gambar 2.30.



Sumber : Triatmodjo, 1999, hal 260

Gambar 2.30. Batu lapis pelindung buatan