

---

---

## BAB II

### STUDI PUSTAKA

#### 2.1 TINJAUAN UMUM

Dalam suatu perencanaan dibutuhkan pustaka yang dijadikan sebagai dasar perencanaan agar terwujud spesifikasi yang menjadi acuan dalam perhitungan dan pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Pada bab ini menyajikan teori-teori dari berbagai sumber yang bertujuan untuk memperkuat materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk menggunakan rumus-rumus tertentu dalam perencanaan suatu konstruksi.

#### 2.2 DASAR-DASAR PERENCANAAN

##### 2.2.1 Angin

Angin yaitu sirkulasi udara yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi. Data angin yang didapat biasanya diolah dan disajikan dalam bentuk tabel atau diagram yang disebut dengan mawar angin (*wind rose*).

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 berikut

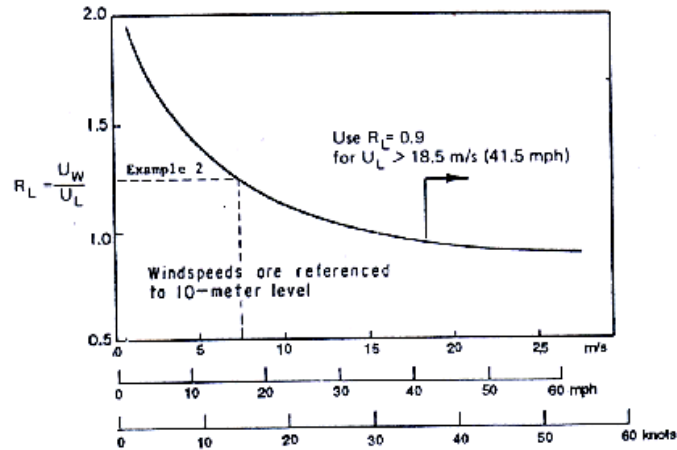
$$R_L = U_w/U_L \quad (\text{Triatmodjo, hal:154, 1999})$$

Dimana :

$U_L$  = Kecepatan angin yang diukur di darat (m/dt)

$U_w$  = Kecepatan angin di laut (m/dt)

$R_L$  = Tabel koreksi hubungan kecepatan angin di darat dan di laut  
(Grafik 2.1)



(after Resio & Vincent, 1977b)

Ratio,  $R_L$ , of windspeed over water,  $U_W$ , to windspeed over land,  $U_L$ , as a function of windspeed over land,  $U_L$ .

Grafik 2.1 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin di Laut dan Didarat  
Dari kecepatan angin yang didapat, dicari faktor tegangan angin (*wind stress factor*) dengan persamaan:

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \quad (\text{Triatmodjo, hal:155, 1999})$$

dimana U adalah kecepatan angin dalam m/dt.

### 2.2.2 Fetch

Fetch adalah panjang daerah dimana angin berhembus dengan kecepatan dan arah yang konstan. Di dalam peninjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh daratan yang mengelilingi. Di daerah pembangkitan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin.

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (\text{Triatmodjo, hal:155, 1999})$$

Dengan :

$F_{\text{eff}}$  = fetch rerata efektif

$X_i$  = 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

### 2.2.3 Peramalan Gelombang di Laut Dalam

Berdasarkan *wind stress factor* pada sub bab 2.2.1 dan panjang fetch pada sub bab 2.2.2, dilakukan peramalan gelombang di laut dalam dengan menggunakan grafik peramalan gelombang. Dari grafik peramalan gelombang, tinggi, durasi dan periode gelombang signifikan dapat diketahui. Berikut ini adalah grafik peramalan gelombang.

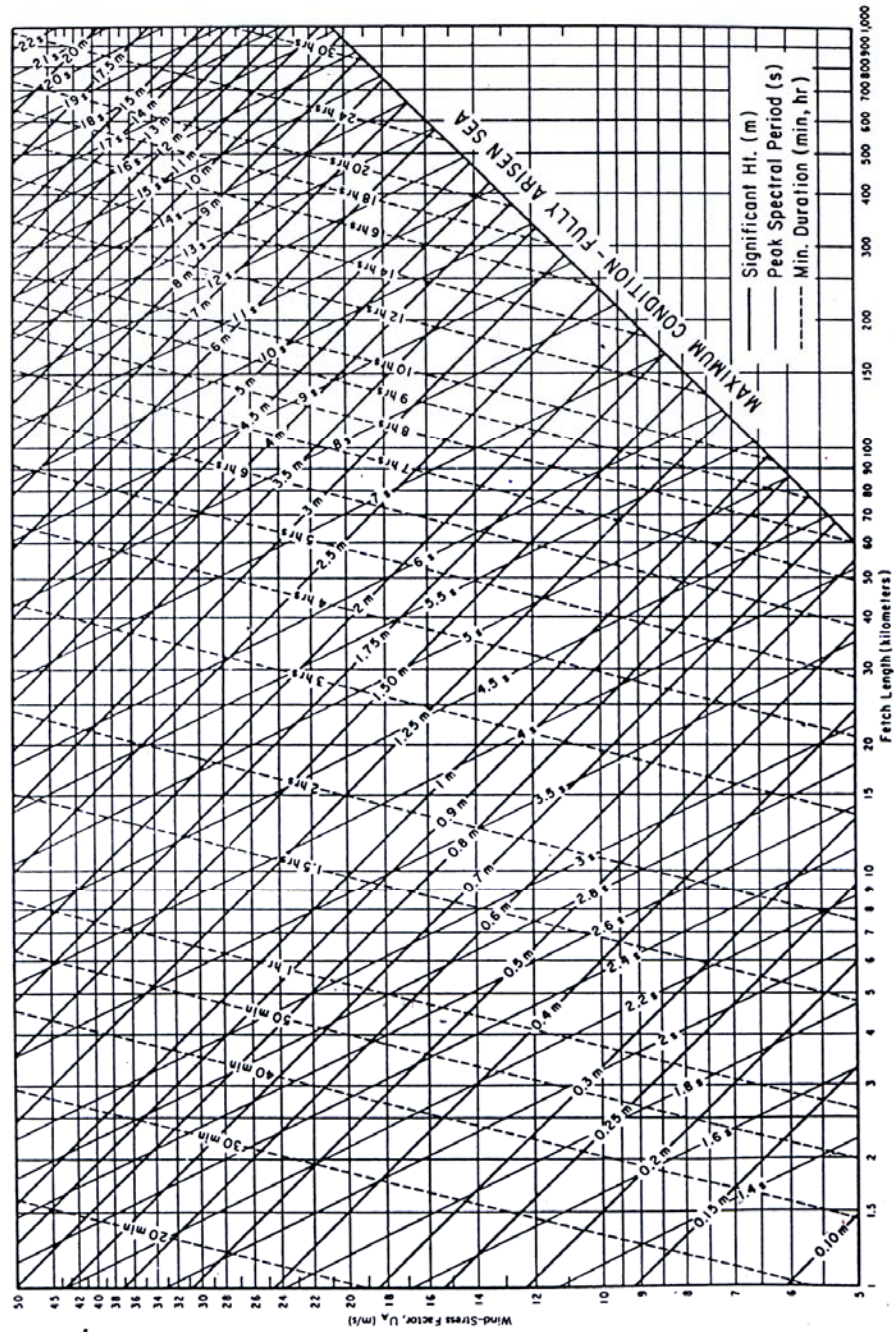


Figure 3-23. Nomograms of deepwater significant wave prediction curves as functions of windspeed, fetch length, and wind duration (metric units).

Grafik 2.2 Grafik Peramalan Gelombang

---

---

## 2.2.4 Gelombang

Gelombang dilaut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada daya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin, gelombang pasang surut, gelombang tsunami, dan lain sebagainya. Diantara beberapa bentuk gelombang yang paling penting adalah gelombang angin dan gelombang pasang surut. Pada umumnya bentuk gelombang sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidaklinieran, tiga dimensi dan bentuknya yang random. Ada beberapa teori yang menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan dari alam. Teori yang paling sederhana adalah teori gelombang linear. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga yaitu *deep water*, *transitional*, *shallow water*. Klasifikasi dari gelombang tersebut ditunjukkan dalam tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier

Klasifikasi	$d/L$	$2\pi d/L$	$\tan h(2\pi d/L)$
Deep water	$> 1/2$	$> \pi$	$\approx 1$
Transitional	$1/25 \leq d/L < 1/2$	$1/4 \leq 2\pi d/L < \pi$	$\tan h(2\pi d/L)$
Shallow Water	$< 1/25$	$< 1/4$	$\approx 2\pi d/L$

Sumber : Department Of The Army, hal: 2-9, 1984

Sedangkan persamaan dari profil gelombang, cepat rambat gelombang, dan panjang gelombang dari masing-masing gelombang diberikan pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Persamaan Gelombang

Relative Depth	Shallow Water $\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$	Transitional Water $\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	Deep Water $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
1. Wave Profile	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \theta$	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \theta$	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[ \frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \theta$
2. Wave Celerity	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left( \frac{2\pi d}{L} \right)$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
3. Wave Length	$L = T \sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left( \frac{2\pi d}{L} \right)$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = C_0 T$

Sumber : Department Of The Army, 1984, hal: 2-32

(Secara lengkap dapat dilihat di lampiran)

---

---

Masing-masing penggunaan rumus harus disesuaikan dengan kriteria gelombang tersebut apakah termasuk *shallow water*, *transitional water*, atau *deep water*.

### 2.2.5 Deformasi Gelombang

Gelombang merambat dari laut dalam ke laut dangkal. Selama perjalanan tersebut, gelombang mengalami perubahan-perubahan atau disebut deformasi gelombang. Deformasi gelombang bisa disebabkan karena variasi kedalaman di perairan dangkal atau karena terdapatnya penghalang / rintangan seperti struktur di perairan.

#### 1. Gelombang Laut Dalam Ekuivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen yaitu tinggi gelombang di laut dalam jika tidak mengalami refraksi. Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen diberikan dalam persamaan :

$$H'_0 = K' K_r H_0 \quad (\text{Triatmodjo, hal:66, 1999})$$

Dimana :

$H'_0$  = tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

$H_0$  = tinggi gelombang laut dalam

$K'$  = koefisien difraksi

$K_r$  = koefisien refraksi

#### 2. Wave Shoaling dan Refraksi

Akibat dari pendangkalan (wave shoaling) dan refraksi (berbeloknya gelombang akibat perubahan kedalaman) persamaan gelombang laut dalam menjadi :

$$H = K_s K_r H_0$$

$$K_s = \frac{H}{H'_0}$$

$$\frac{H}{H_0} = \frac{H}{H'_0} K_r$$

$$\frac{H'_0}{H_0} = K_r \quad \text{sehingga } H'_0 = K_r H_0 \quad (\text{Triatmodjo, hal:70, 1999})$$

Dimana :

$K_s$  = Koefisien pendangkalan ( $K_s$  bisa didapat langsung dari tabel fungsi  $d/L$  untuk penambahan nilai  $d/L_0$ )

$K_r$  = koefisien refraksi

$$= \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

$\alpha_0$  = sudut antara garis puncak gelombang dengan dasar dimana gelombang melintas

$\alpha$  = sudut yang sama yang diukur saat garis puncak gelombang melintas kontur dasar berikutnya.

### 3. Gelombang pecah

Gelombang yang merambat dari dalam laut 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.

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum dimana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh bentuk berikut :

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7} = 0,142 \quad (\text{Triatmodjo, hal:94, 1999})$$



---

---

Kedalaman gelombang pecah diberi notasi ( $d_b$ ) dan tinggi gelombang pecah  $H_b$ . Rumus untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah diberikan dalam persamaan berikut ini :

$$\frac{H}{H_0'} = \frac{1}{3,3(H_0'/L_0)^{1/3}}$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,28 \quad (\text{Triatmodjo, hal:94, 1999})$$

Parameter  $H_b/H_0'$  disebut dengan indek tinggi gelombang pecah. Pada grafik 2.4 menunjukkan hubungan antara  $H_b/H_0'$  dan  $H_b/L_0'$  untuk berbagai kemiringan dasar laut. Sedang grafik 2.5 menunjukkan hubungan antara  $d_b/H_b$  dan  $H_b/gT^2$  untuk berbagai kemiringan dasar. Grafik 2.5 dapat ditulis dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} \quad (\text{Triatmodjo, hal:95, 1999})$$

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

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

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \quad (\text{Triatmodjo, 1999, hal:95})$$

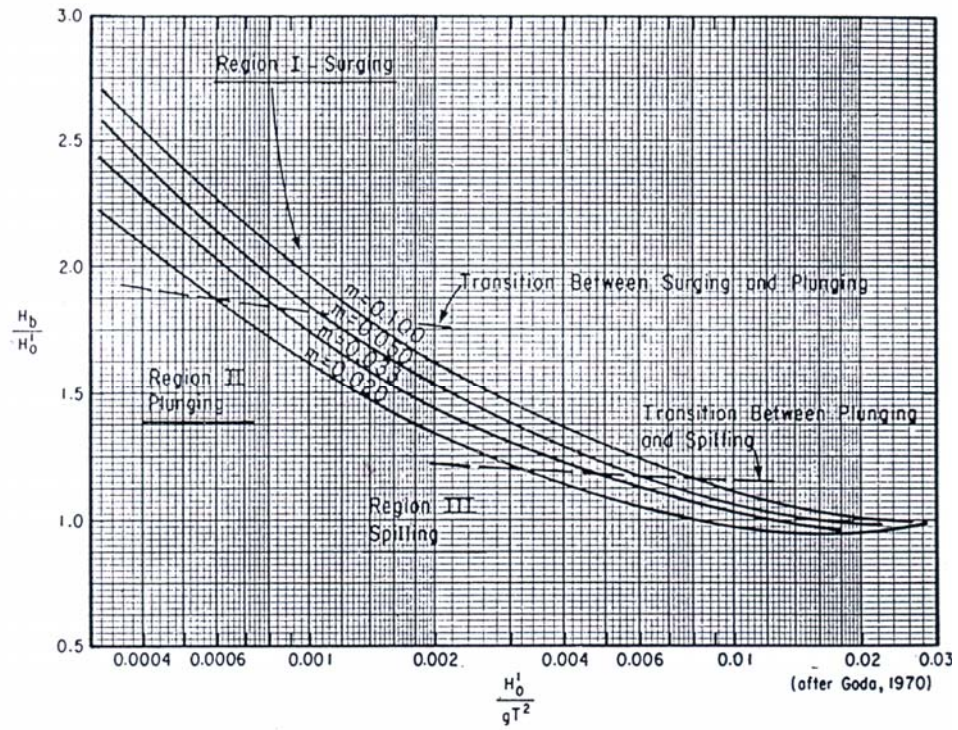


Figure 2-72. Breaker height index versus deepwater wave steepness,  $H_0/gT^2$ .

Grafik 2.3 Penentuan Tinggi Gelombang Pecah ( $H_b$ )

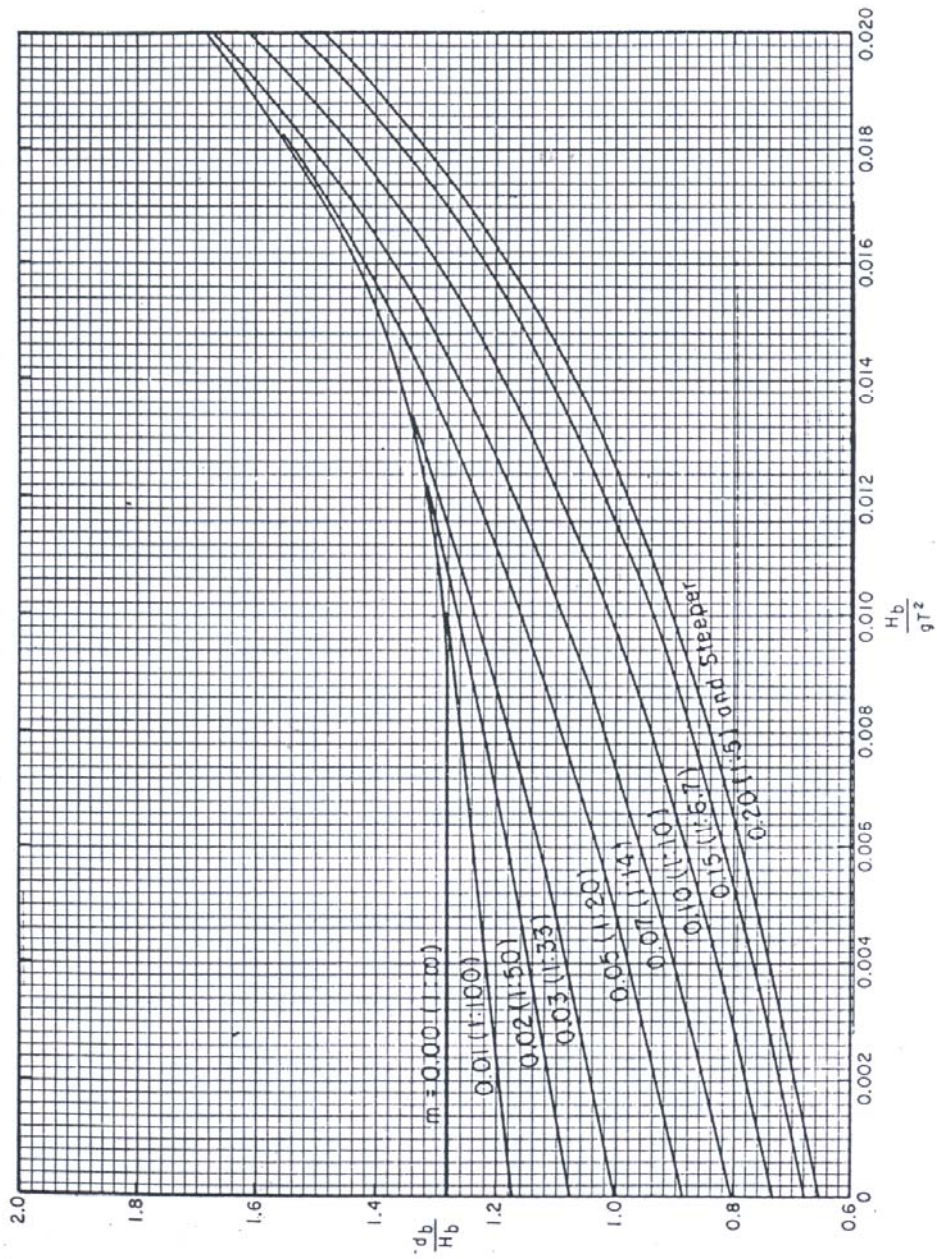


Figure 2-73. Dimensionless depth at breaking versus breaker steepness.

Grafik 2.4 Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah ( $d_b$ )

---

---

## 2.2.6 Fluktuasi Muka Air Laut

Fluktuasi muka air laut disebabkan oleh pasang surut, *wave set-up* dan *wind set-up*.

### 1. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di 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. (Triatmodjo, hal: 114, 1999)

Data pasang surut didapatkan dari pengukuran selama minimal 15 hari. Dari data tersebut dibuat grafik sehingga didapat HHWL, MHWL, MLWL, MSL. Dalam pengamatan selama 15 hari tersebut telah tercakup satu siklus pasang surut yang meliputi pasang purnama dan perbani. Pengamatan yang lebih lama akan memberikan data yang lebih lengkap.

### 2. *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*.

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

$$S_b = - \frac{0,536 H_b^{2/3}}{g^{1/2} T} \quad (\text{Triatmodjo, hal:107,1999})$$

Dimana :

- $S_b$  = *set-down* di daerah gelombang pecah
- $T$  = periode gelombang
- $H_0'$  = tinggi gelombang laut dalam ekivalen
- $d_b$  = kedalaman gelombang pecah
- $g$  = percepatan gravitasi

*Wave Set-Up* di pantai dihitung dengan rumus:

$$S_w = \Delta S - S_b \quad (\text{Triatmodjo, hal:107,1999})$$

Jika  $\Delta S = 0,15 d_b$  dan dianggap bahwa  $d_b = 1,28 H$  maka:

$$S_w = 0,19 \left[ 1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \quad (\text{Triatmodjo, hal:108,1999})$$

### 3. *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 dengan persamaan berikut:

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

$$\Delta h = F c \frac{V^2}{2gd} \quad (\text{Triatmodjo, hal:109, 1999})$$

Dengan :

- $\Delta h$  = kenaikan elevasi muka air karena badai (m)
- $F$  = panjang fetch (m)
- $I$  = kemiringan muka air
- $c$  = konstanta =  $3,5 \times 10^{-6}$
- $V$  = kecepatan angin (m/dt)
- $d$  = kedalaman air (m)
- $g$  = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

---

---

### 2.2.7 Design Water Level (DWL)

Untuk menentukan kedalaman rencana bangunan ( $d_s$ ) maka perlu dipilih suatu kondisi muka air yang memberikan gelombang terbesar, atau run-up tertinggi.  $d_s$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$d_s = (\text{HHWL} - \text{BL}) + \text{stormsurge} / \text{wind set-up} + \text{SLR}$$

(Triatmodjo, hal:III-11, 1992)

dimana:

- $d_s$  = kedalaman kaki bangunan pantai
- HHWL = *highest high water level* (muka air pasang tertinggi)
- BL = *bottom level* (elevasi dasar pantai di depan bangunan)
- SLR = *sea level rise* (kenaikan muka air laut)

Yang di maksud dengan *sea level rise* disini adalah kenaikan muka air yang disebabkan oleh perubahan cuaca, misal efek rumah kaca. Pada perencanaan ini kenaikan tersebut tidak diperhitungkan.

### 2.2.8 Run-up Gelombang

Run-Up sangat penting untuk perencanaan bangunan pantai. Nilai *run up* dapat diketahui dari grafik setelah terlebih dahulu menentukan bilangan Iribaren.

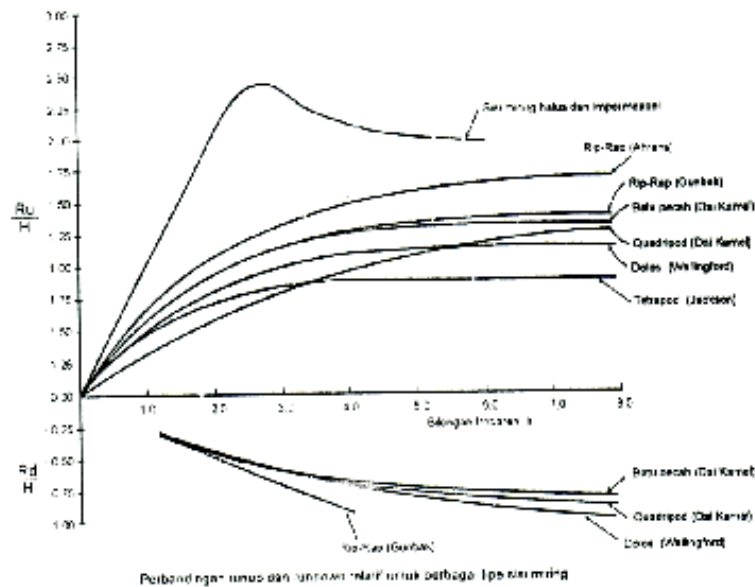
$$I_r = \frac{\text{tg } \theta}{(H / L_o)^{0.5}}$$

(Triatmodjo, hal:268, 1999)

Dimana:

- $I_r$  = bilangan Iribaren
- $\theta$  = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang
- H = tinggi gelombang di lokasi bangunan
- $L_o$  = panjang gelombang di laut dalam

Grafik tersebut juga dapat digunakan untuk menentukan run down ( $R_d$ ).



Grafik 2.5 Grafik Run-up Gelombang

Run-up digunakan untuk menentukan elevasi mercu bangunan pantai, sedangkan run-down digunakan untuk menghitung stabilitas rip-rap atau revetmen. Besarnya elevasi mercu dapat dihitung dengan persamaan:

$$EL_{\text{mercu}} = DWL + R_u + F_b \quad (\text{Triatmodjo, hal:349, 1999})$$

Dimana:

$$EL_{\text{mercu}} = \text{elevasi mercu bangunan pantai}$$

$$R_u = \text{Run-up gelombang}$$

$$F_b = \text{tinggi jagaan}$$

$$DWL = \text{design water level}$$

### 2.3 PROSES ABRASI

Abrasi adalah proses pengikisan pantai oleh tenaga gelombang laut dan arus laut yang bersifat merusak. ([http://rudycr.tripod.com/sem2\\_012/feira.doc](http://rudycr.tripod.com/sem2_012/feira.doc))

Material yang terkikis tersebut terbawa oleh arus ke tempat lain dan tidak kembali

ke tempat semula. Material tersebut akan mengendap di daerah yang lebih tenang dan akan mengakibatkan sedimentasi di daerah tersebut.

Abrasi pantai dapat disebabkan oleh 2 faktor yaitu proses alami dan kegiatan manusia.

Tabel 2.3 Penyebab Abrasi Pantai

Alami	Kegiatan Manusia
a. Kenaikan muka air laut	a. Penurunan muka tanah
b. Berubahnya jumlah suplai sedimen ke arah pantai	b. Gangguan dalam transpor material
c. Gelombang badai	c. Reduksi suplai sedimen sungai ke arah pantai
d. Gelombang dan ombak overwash	d. Pemusatan energi gelombang di pantai
e. Deflasi (perpindahan material lepas karena angin)	e. Peningkatan elevasi muka air
f. Transpor sedimen sejajar pantai	f. Perubahan perlindungan alami pantai
g. Pengurangan sedimen pantai	g. Pemindahan material dari pantai

Sumber : Department Of The Army, 1984, hal: 1-16

## 2.4 SEDIMEN PANTAI

Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai itu sendiri, dari daratan yang dibawa oleh sungai, dan dari laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai. (Triatmodjo, hal:166,1999).

Angkutan sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_s = K P_1^n$$

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (\text{Triatmodjo, hal:186,1999})$$



---

Dimana :

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

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

$\rho$  = rapat massa air laut ( $kg/m^3$ )

$H_b$  = tinggi gelombang pecah (m)

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

$\alpha_b$  = sudut datang gelombang pecah

$K,n$  = konstanta

## 2.5 BANGUNAN PELINDUNG PANTAI

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

- Memperkuat / melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang
- Mengubah laju transport sedimen sepanjang pantai
- Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai

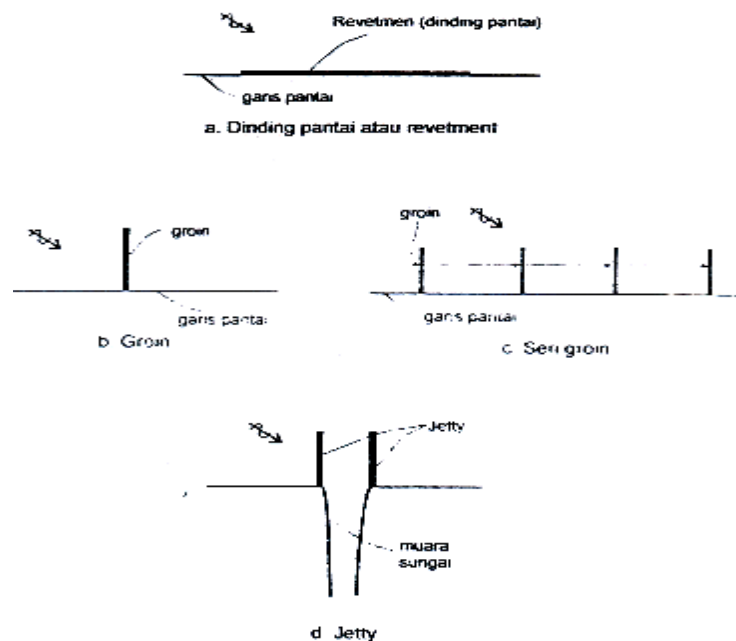
(Triatmodjo, hal:201, 1999)

### 2.5.1 Klasifikasi Bangunan

Sesuai dengan fungsinya, bangunan pantai dikelompokkan dalam tiga kelompok yaitu:

- Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai. Yang termasuk kelompok ini adalah dinding pantai/revetmen
- Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai. Yang termasuk kelompok ini adalah groin dan jetty.

- Konstruksi yang dibangun lepas pantai dan kira-kira sejajar dengan garis pantai. Yang termasuk kelompok ini yaitu pemecah gelombang. (Triatmodjo, hal:201, 1999)

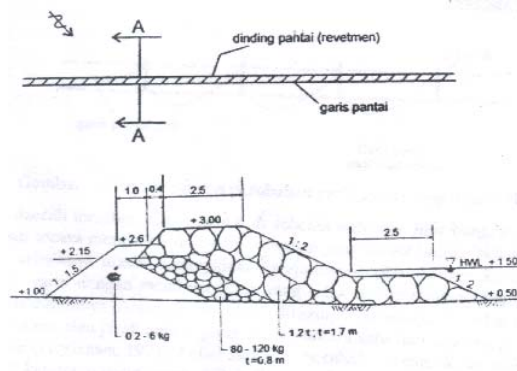


Gambar 2.1 Beberapa Tipe Bangunan Pelindung Pantai

### 2.5.2 Dinding Pantai dan Revetmen

Dinding pantai dan revetmen adalah bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai, yang terutama berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat. Daerah yang dilindungi adalah daratan tepat di belakang bangunan. Dinding pantai biasanya berbentuk dinding vertikal, sedang revetmen mempunyai sisi miring. Bangunan ini ditempatkan sejajar atau hampir sejajar dengan garis pantai, dan bisa terbuat dari pasangan batu, beton, tumpukan pipa beton, turap, kayu atau tumpukan batu. (Triatmodjo, hal:205, 1999)

Dalam perencanaan dinding pantai dan revetmen perlu ditinjau fungsi dan bentuk bangunan, lokasi, panjang, tinggi, stabilitas bangunan dan tanah pondasi, elevasi muka air baik di depan maupun di belakang bangunan, ketersediaan bahan bangunan dan sebagainya. (Triatmodjo, hal:205, 1999). Gambar 2.2 menunjukkan penempatan revetmen dan tampang melintangnya.

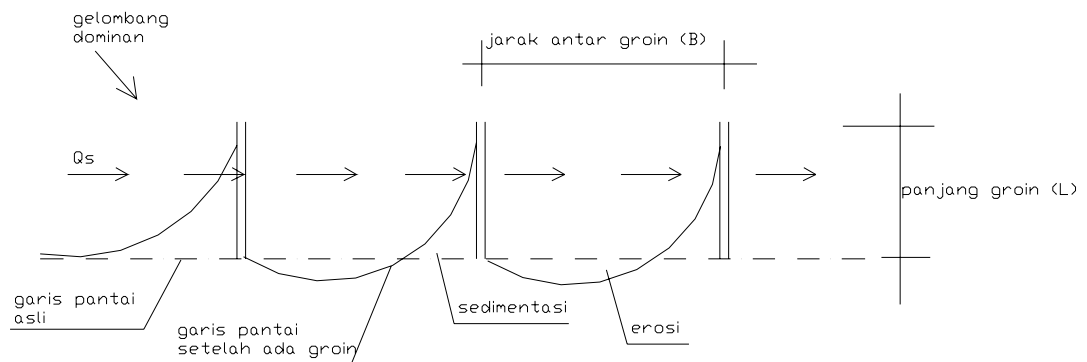


Gambar 2.2 Revetmen dan Tampang Melintang

Pada perencanaan bangunan pantai perlu diperhatikan stabilitas dinding pantai. Dinding pantai harus dicek terhadap stabilitas guling dan geser. Bila stabilitas geser belum memenuhi, diberikan sepatu di tengah atau di ujung tumitnya.

### 2.5.3 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. Groin hanya bisa menahan transpor sediman sepanjang pantai. (Triatmodjo, 1999, hal:213)



Gambar 2.3 Sket Penentuan Jarak Groin

Berikut ini adalah kriteria perencanaan groin:

1. Panjang groin  
Groin dibuat sepanjang 40% sampai dengan 60% dari lebar surf zone. (Triatmodjo, hal:214, 1999)
2. Tinggi groin  
Tinggi groin menurut Thorn dan Robert berkisar antara 50-60 cm di atas elevasi rencana, sedangkan berdasarkan Muir Wood dan Fleming antara 0,5-1,0 m di atas elevasi rencana.
3. Jarak groin  
Jarak groin pada pantai kerikil biasanya diambil 1-3 L, sedangkan pantai pasir diambil 2-4 L.  
(Triatmodjo, hal:214, 1999)
4. Elevasi groin  
Elevasi puncak groin dapat diambil di bawah HWL

---

#### 2.5.4 Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan dari gangguan gelombang. Pemecah gelombang dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Tipe pertama digunakan untuk perlindungan perairan pelabuhan sedang tipe kedua untuk perlindungan pantai terhadap erosi. (Triatmodjo, hal:224, 1999)

Pemecah gelombang lepas pantai bisa dibuat dari satu pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah. Di Indonesia, penggunaan pemecah gelombang sebagai pelindung pantai jarang digunakan.

Berat butir batu lapis lindung untuk pemecah gelombang sisi miring dapat dihitung dengan menggunakan rumus Hudson:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (s_r - 1) \cot \theta}$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

Dengan:

W = berat butir batu pelindung

$\gamma_r$  = berat jenis batu

$\gamma_a$  = berat jenis air laut

H = tinggi gelombang rencana

$\theta$  = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

$K_D$  = koefisien stabilitas yang tergantung pada bentuk batu pelindung, kekasaran permukaan batu, ketajaman sisi-sisinya, ikatan antar butir, dan keadaan pecahnya gelombang.

---

Lebar puncak pemecah gelombang dapat dihitung dengan rumus :

$$B = n k_{\Delta} \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Dengan:

B = Lebar puncak

n = Jumlah butir batu ( $n_{\text{minimum}} = 3$ )

$k_{\Delta}$  = koefisien lapis

W = berat butir batu pelindung

$\gamma_r$  = berat jenis batu pelindung

Sedangkan tebal lapis pelindung dan jumlah butir tiap satu luasan diberikan oleh rumus berikut ini:

$$t = n k_{\Delta} \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$N = A n k_{\Delta} \left[ 1 - \frac{P}{100} \right] \left[ \frac{\gamma_r}{W} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Dengan:

t = tebal lapis pelindung

n = jumlah lapis batu dalam lapis pelindung

$k_{\Delta}$  = koefisien lapis

A = luas permukaan

P = porositas rerata dari lapis pelindung (%)

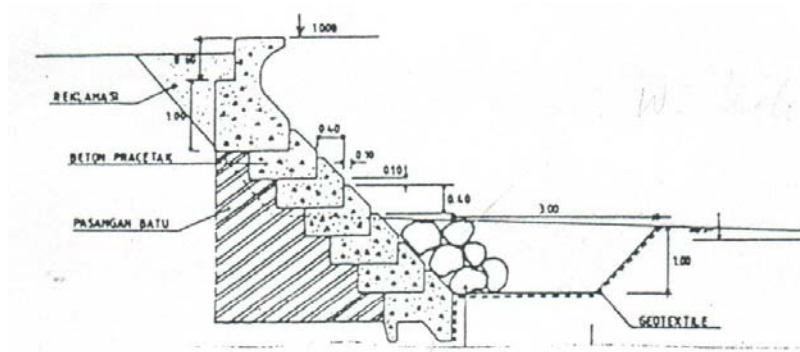
N = jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A

$\gamma_r$  = berat jenis batu pelindung

### 2.5.5 Tembok laut ( Sea Wall)

Tembok laut biasanya dipergunakan untuk melindungi pantai atau tebing dari gempuran gelombang laut sehingga tidak terjadi erosi atau abrasi. Agar fasilitas yang ada dibalik tembok laut dapat aman biasanya tembok laut direncanakan tidak boleh overtopping. Tembok laut ada dua macam yaitu tembok laut massif dan tidak massif. Tembok laut massif biasanya dibuat dari konstruksi beton atau pasangan batu sedangkan tembok laut tidak massif berupa tumpukan batu ( rubble mound ).

Konstruksi tembok laut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Sket Tembok Laut

Kriteria perencanaan tembok laut:

1. Elevasi mercu

$$El_{\text{mercu}} = DWL + R_u + F_b \quad (\text{Yuwono, hal: 14, 2004})$$

Dimana:

$El_{\text{mercu}}$  = elevasi mercu tembok laut ( m )

$R_u$  = Runup gelombang ( m )

$F_b$  =tinggi jagaan ( 1,0 s/d 1,5 m)

DWL = Design Water Level

2. Lebar mercu

Lebar mercu tembok laut paling tidak tiga kali diameter equivalen batu lapis lindung. Bila mercu dipergunakan untuk jalan maka lebar mercu dapat diambil antara 3,0 s/d 6,0m.

3. Berat lapis lindung

$$W = \frac{\gamma_b H^3}{K_D \Delta^3 \cot(\theta)} \quad (\text{Yuwono, hal: 15, 2004})$$

$$\Delta = (\gamma_b - \gamma_a) / \gamma_a$$

Dimana:

W = berat minimum batu (tf)

H = tinggi gelombang rencana (m)

$K_D$  = koefisien stabilitas batu lindung

$\theta$  = sudut lereng tembok laut

$\gamma_b$  = berat satuan batu lapis lindung (tf/m<sup>3</sup>)

$\gamma_a$  = berat satuan air laut (tf/m<sup>3</sup>)

4. Tebal lapis lindung

$$t = 2 d_e = 2 \left( \frac{W}{\gamma_b} \right)^{1/3} \quad (\text{Yuwono, hal: 16, 2004})$$

t = tebal lapis lindung (m)

$d_e$  = diameter equivalen (m)

W = berat lapis lindung (tf)

$\gamma_b$  = berat satuan batu lapis lindung (tf/m<sup>3</sup>)

5. Toe protection

Tebal toe protection = 1t – 2t, sedangkan berat batu lapis lindung dipergunakan kira-kira ½ dari yang dipergunakan di dinding tembok laut. (Yuwono, 2004, hal: 17). Menurut Triatmodjo, berat butir batu untuk fondasi dan pelindung kaki bangunan diberikan oleh persamaan berikut:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)} \quad (\text{Triatmodjo, hal: 268, 1999})$$



Dimana:

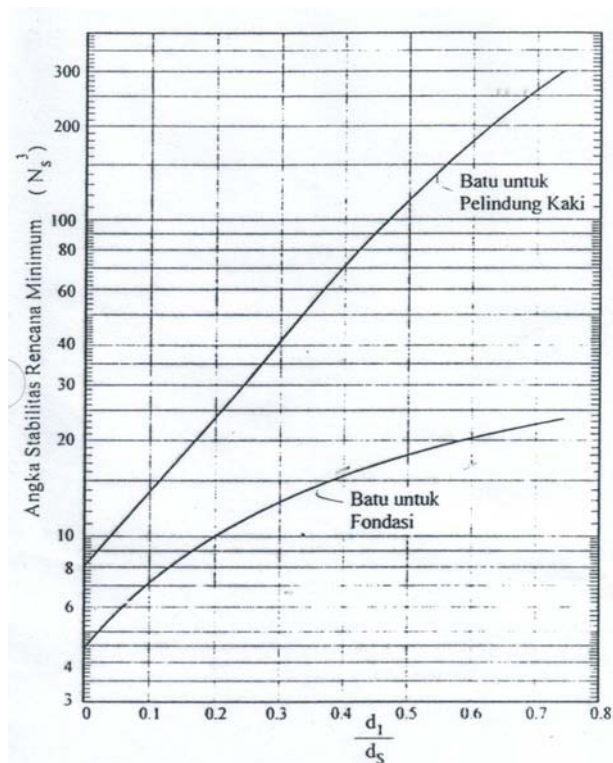
$W$  = berat rerata butir batu (ton)

$\gamma_r$  = berat jenis batu ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

$S_r$  = perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air laut  
 $= \gamma_r / \gamma_a$

$\gamma_a$  = berat jenis air laut ( $1,025-1,03 \text{ ton}/\text{m}^3$ )

$N_s$  = Angka stabilitas rencana untuk fondasi dan pelindung kaki bangunan seperti diberikan dalam gambar 2.6



Grafik 2.6 Angka Stabilitas  $N_s$  Untuk Fondasi Dan Pelindung Kaki

### 2.5.6 Training Jetty

Jetty adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakkan pada kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk mengurangi pendangkalan alur oleh sedimen pantai. Mengingat fungsinya, jetty dibagi menjadi tiga jenis:

- **Jetty panjang**  
Jetty ini ujungnya berada di luar gelombang pecah. Tipe ini efektif untuk menghalangi masuknya sedimen ke arah muara tetapi biaya konstruksinya sangat mahal. Jetty ini dibangun apabila daerah yang dilindungi sangat penting.
- **Jetty sedang**  
Jetty sedang ujungnya berada di antara muka air surut dan lokasi gelombang pecah dan dapat menahan transpor sedimen sepanjang pantai.
- **Jetty pendek**  
Jetty pendek ujungnya berada pada muka air surut. Fungsinya untuk menahan berbeloknya muara sungai dan mengkonsentrasikan aliran pada alur yang telah ditetapkan untuk bisa mengerosi endapan.