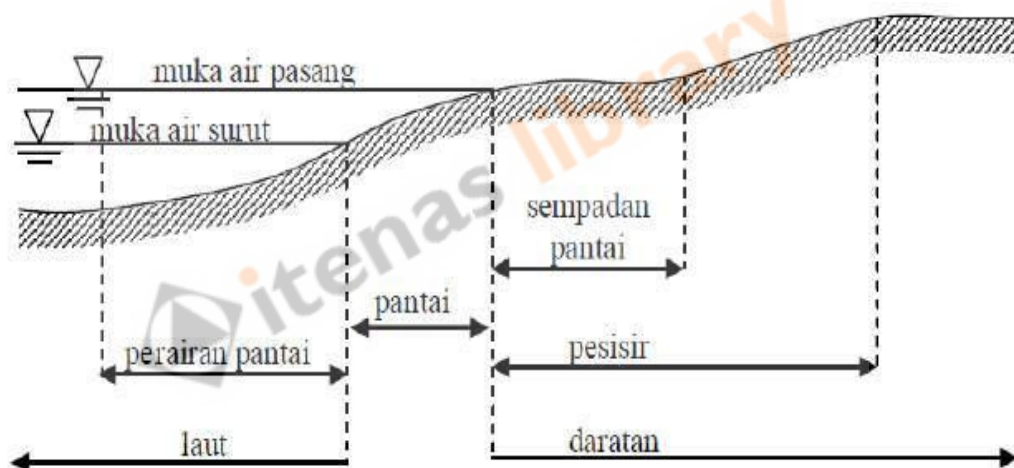


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pantai

Pantai disebut sebagai daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Sedangkan daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut, dan rembesan air laut disebut pesisir (*coast*). Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas garis pasang tertinggi. Daerah lautan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan laut dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bumi di bawahnya (Triatmodjo, 1999). Dapat di lihat pada **Gambar 2.1** menunjukkan batasan-batasan daerah di sekitar pantai.

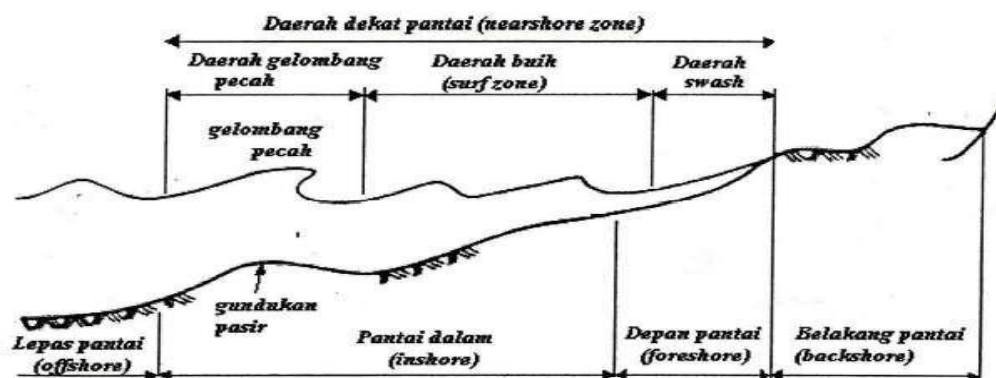


**Gambar 2.1.** Definisi dan Batasan Pantai

(sumber : Triatmodjo, 1999)

Bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh material yang membentuk pantai tersebut dan juga gaya-gaya pembentuknya. Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sedemikian sehingga mampu menghancurkan energy gelombang yang datang. Penyesuaian bentuk tersebut merupakan tanggapan dinamis alami pantai terhadap laut. Ada dua tipe tanggapan pantai dinamis terhadap gerak gelombang yaitu tanggapan terhadap kondisi gelombang normal dan tanggapan terhadap kondisi gelombang badai. Gelombang normal merupakan gelombang yang terjadi dalam waktu yang lebih lama dan energi gelombang dengan mudah dapat dihancurkan oleh mekanisme pertahanan alami

pantai. Gelombang badai adalah sebutan untuk fenomena gelombang laut yang terjadi karena tiupan angin badai yang ukurannya di atas ukuran gelombang normal, yang melanda ke daratan. Di Indonesia, secara umum masyarakat menyebut fenomena gelombang ini dengan gelombang pasang. Gelombang badai dapat menyebabkan air laut masuk ke daratan dan mencapai jarak 200 meter ke dalam daratan dari tepi pantai. Pada saat badai terjadi gelombang mempunyai energi besar. Sering pertahan alami pantai tidak mampu menahan serangan sehingga pantai dapat tererosi. Setelah gelombang besar reda, pantai akan kembali ke bentuk semula . Dengan demikian pantai tersebut mengalami erosi. Material yang terbawa arus tersebut diatas akan mengendap didaerah yang lebih tenang seperti di muara sungai , teluk, pelabuhan, dan sebagainya, sehingga mengakibatkan sedimentasi didaerah tersebut. Bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh material yang membentuk pantai tersebut dan juga gaya-gaya pembentuknya. Pantai dapat terbentuk dari material dasar yang berupa lumpur, pasir, kerikil, dan batu. Pantai lumpur mempunyai kemiringan sangat kecil sampai mencapai 1:5000. Kemiringan pantai pasir lebih besar yang berkisar antara 1:20 dan 1:50. Sedangkan kemiringan pantai berkerikil bisa mencapai 1:4. Pantai berlumpur banyak dijumpai di daerah pantai dimana banyak sungai yang mengangkut sedimen suspensi bermuara di daerah tersebut dan gelombang relatif kecil. Bentuk profil pantai pada umumnya seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2.2** berikut ini.



**Gambar 2.2** Bentuk Profil Pantai

(Sumber : Triatmodjo, 1999)

Dari **Gambar 2.2** di atas dapat dilihat bahwa profil pantai dapat dibagi kedalam empat bagian yaitu: daerah lepas pantai (*offshore*), daerah pantai dalam (*inshore*), daerah depan pantai (*foreshore*), dan daerah belakang pantai (*backshore*). Sedangkan menurut sudut pandang hidrodinamika, perairan pantai di daerah dekat pantai (*nearshore zone*) dibagi menjadi tiga daerah yaitu: daerah gelombang pecah (*breaker zone*), daerah buih (*surf zone*), dan daerah swash (*swash zone*). Penjelasan dari beberapa uraian di atas diberikan sebagai berikut (Triatmodjo,1999).

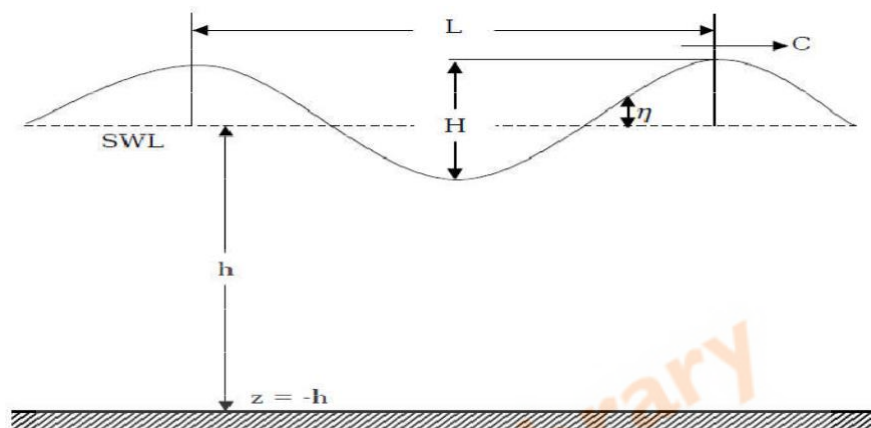
*Inshore* (daerah pantai dalam) adalah daerah profil pantai yang terbentang ke arah laut batas daerah depan pantai (*foreshore*) sampai ke bawah *breaker zone*. *Foreshore* (daerah depan pantai) adalah daerah yang meliputi garis pantai, daerah *swash* sampai dengan bagian yang tidak terlalu jauh dari garis pantai. *Backshore* (daerah belakang pantai) adalah daerah yang dibatasi oleh garis pantai ke arah daratan. *Offshore* (daerah lepas pantai) adalah daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut. *Breaker zone* (daerah gelombang pecah) adalah daerah dimana gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketidakstabilan dan akhirnya pecah. Di pantai yang landai gelombang pecah bisa terjadi dua kali. *Surf zone* (daerah buih) adalah daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik turunnya gelombang di pantai. Pantai yang landai mempunyai *surf zone* yang lebar. *Swash zone* (daerah *swash*) adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai. *Longshore bar* (gundukan sepanjang pantai) adalah tumpukan pasir yang paralel terhadap garis pantai. Tumpukan pasir tersebut dapat muncul pada saat air surut, pada saat lain dapat menjadi barisan tumpukan pasir yang sejajar pantai dengan kedalaman yang berbeda

## 2.2 Gelombang

Gelombang merupakan pergerakan naik turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal (Faiqun,2008). Proses ini terjadi akibat adanya gaya-gaya alam yang bekerja di laut seperti tekanan atau tekanan dari atmosfer (khusus melalui angin), gempa bumi, gaya gravitasi bumi

dan benda-benda angkasa (bulan dan matahari), gaya coriolis (akibat rotasi bumi), dan tegangan permukaan.

Gelombang yang sering terjadi di laut dan cukup penting adalah gelombang angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, bukit, hingga kemudian berubah menjadi gelombang. **Gambar 2.3** menunjukkan sketsa definisi gelombang.



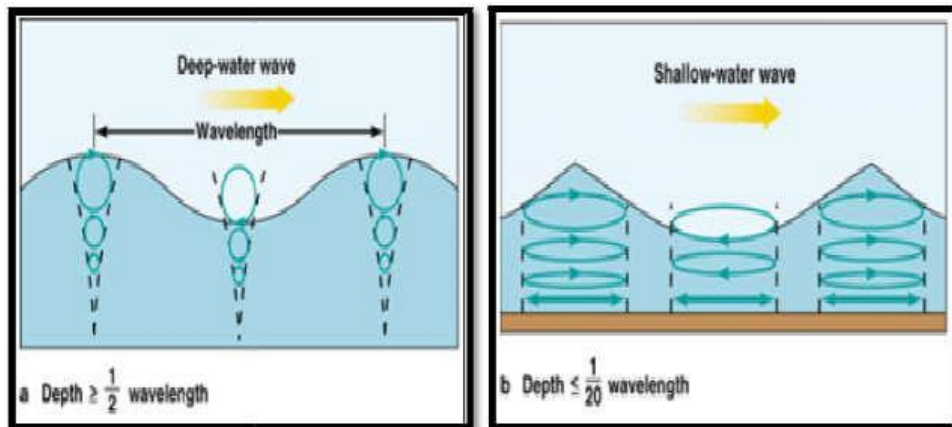
**Gambar 2.3** Sketsa Definisi Gelombang

(Sumber : Zakaria, 2009)

**Gambar 2.3** menunjukkan suatu gelombang yang berada pada system koordinat x-y. Gelombang menjalar pada arah sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan adalah:

- $h$  : Kedalaman laut (jarak antara muka air rerata dan dasar laut)
- $\eta$  : Fluktuasi muka air
- $H$  : Tinggi gelombang
- $L$  : Panjang gelombang, yaitu jarak antara dua gelombang yang berurutan
- $C$  : Kecepatan rambat gelombang =  $L/T$

Selama penjalaran gelombang dari laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk. **Gambar 2.3** menunjukkan perubahan dan pergerakan pada gelombang. Orbit perubahan partikel berbentuk lingkaran pada seluruh kedalaman di laut dalam. Di laut transisi dan dangkal, lintasan partikel ellips. Semakin besar kedalaman, bentuk ellips semakin pipih, dan di dasar gerak partikel adalah horizontal dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Pergerakan Partikel Zat Cair Pada Gelombang

(Sumber : Faiqun, 2008)

Gelombang dapat dibangkitkan oleh banyak hal seperti angin. Angin yang berhembus diatas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan 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 jika angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk.

Penentuan tinggi gelombang dapat dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan atau dengan menganalisa data angin yang ada. Pengukuran langsung di lapangan biasanya kurang representatif karena dilakukan dalam jangka waktu yang singkat. Jadi analisa gelombang menggunakan data angin dinilai paling baik, tetapi jangka waktu data angin harus tersedia minimal selama lima tahun.

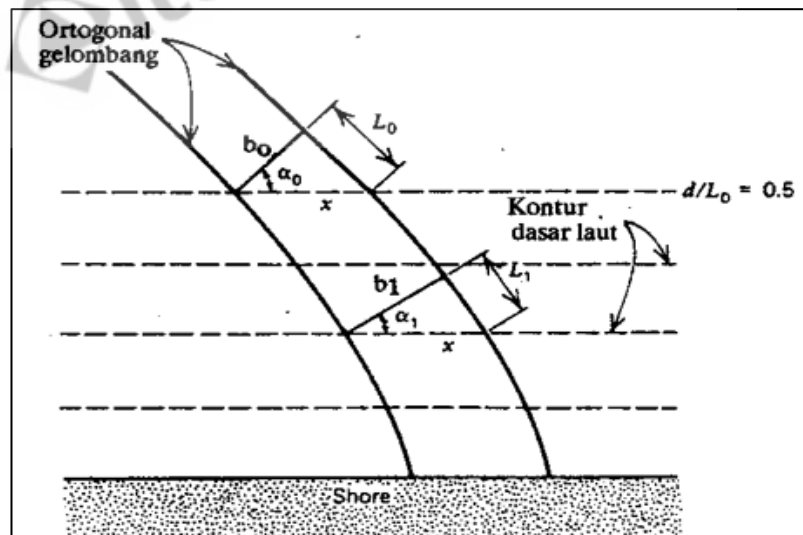
Kriteria laut dalam dan dangkal didasarkan pada perbandingan antara kedalaman air  $h$  dan panjang gelombang  $L$ . Nilai batasannya adalah sebagai berikut:

- a. Gelombang di laut dangkal jika  $h/L \leq 1/20$ ,
- b. Gelombang di laut transisi jika  $1/20 < h/L < 1/2$ ,
- c. Gelombang di laut dalam jika  $h/L \geq 1/2$ ,

Istilah deformasi gelombang dapat dijelaskan apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi dan gelombang pecah (Triatmodjo, 1999). Berikut adalah faktor-faktor yang menyebabkan gelombang mengalami deformasi:

#### 1. Refraksi Gelombang

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang yang datang dari perairan dalam ke perairan dangkal membentuk sudut dengan garis kontur kedalaman, maka perubahan kecepatan rambat gelombang akan mengakibatkan pembelokan arah gelombang menyesuaikan dengan kontur kedalamannya (Triatmodjo, 1999). Efek pembelokkan ini disebut refraksi gelombang. Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang karena refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai (Triatmodjo, 1999) dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5** Sketsa Refraksi Gelombang

(Sumber : Zakaria, 2009)

Menurut Yuwono dalam buku Teknik Pantai 2005, perubahan besarnya sudut akibat adanya pengaruh refraksi dihitung dengan rumus Snellius, yaitu:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 C_0}{nC}} = \sqrt{\frac{C_0}{2nC}} = K_S \quad \dots(2.1)$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{C_1}{C_2} \quad \dots(2.2)$$

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} \quad \dots(2.3)$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \frac{C}{C_0} \quad \dots(2.4)$$

$$\frac{b}{b_2} = \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0} \quad \dots(2.5)$$

$$\frac{H_x}{H_0} = K_S \cdot K_r = K_S \cdot \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_x}} \quad \dots(2.6)$$

dimana:

$\alpha_x$  = sudut datang gelombang pada kedalaman yang ditinjau ( $^\circ$ );

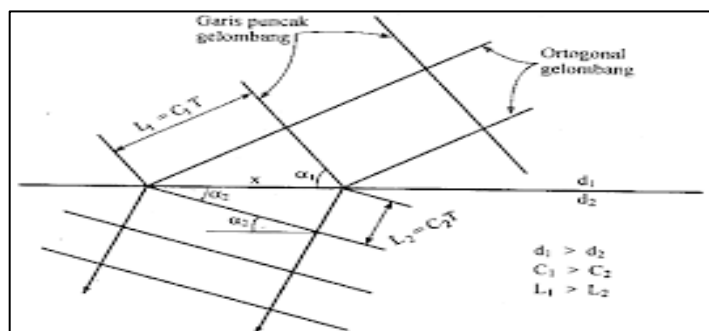
$\alpha_0$  = sudut datang gelombang di perairan dalam ( $^\circ$ );

$H_x$  = tinggi gelombang pada kedalaman x yang ditinjau (meter);

$H_0$  = tinggi gelombang pada perairan dalam (meter);

$K_r$  = koefisien refraksi gelombang,  $K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_x}}$ ;

$K_S$  = koefisien pendangkalan.



**Gambar 2.6** Hukum Snellius untuk Refraksi Gelombang

(Sumber : Zakaria, 2009)

## 2. Difraksi Gelombang

Menurut Triatmodjo (1999), 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. Fenomena ini dikenal dengan sebutan difraksi gelombang. Tinggi gelombang pada titik A dapat dihitung dengan rumus:

$$H_{(A)} = K_{D(A)} \cdot H_{(P)} \quad \dots(2.7)$$

dimana:

$H_{(A)}$  = tinggi gelombang di A;

$H_{(P)}$  = tinggi gelombang di P;

$K_{D(A)}$  = koefisien difraksi di titik A.

## 3. Shoaling

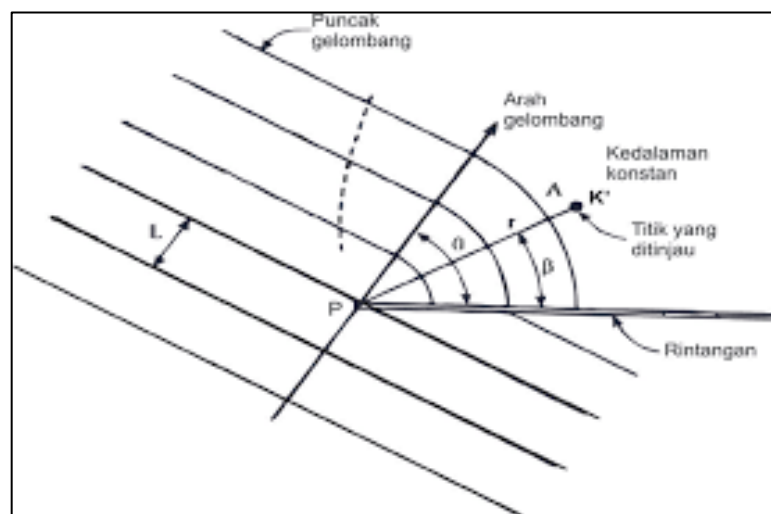
Shoaling adalah proses dimana terjadi kenaikan tinggi suatu gelombang akibat gelombang tersebut memasuki kawasan perairan yang lebih dangkal. Tinggi gelombang bisa meningkat lebih dari dua kali amplitudo awal. Karena adanya perubahan kedalaman tersebut, maka terjadi perubahan kecepatan gelombang. Kecepatan gelombang tersebut menurun, sehingga berada pada posisi stasioner. Keadaan ini harus diimbangi oleh kepadatan energi yang meningkat. Meningkatnya kepadatan energi inilah yang menyebabkan meningkatnya ketinggian gelombang.

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{nL}} \quad \dots(2.8)$$

Keterangan :

$K_s$	: Koefisien Pendangkalan ( <i>shoaling</i> )
$L$	: Panjang gelombang (m)
$L_o$	: Panjang gelombang di laut dalam (m)



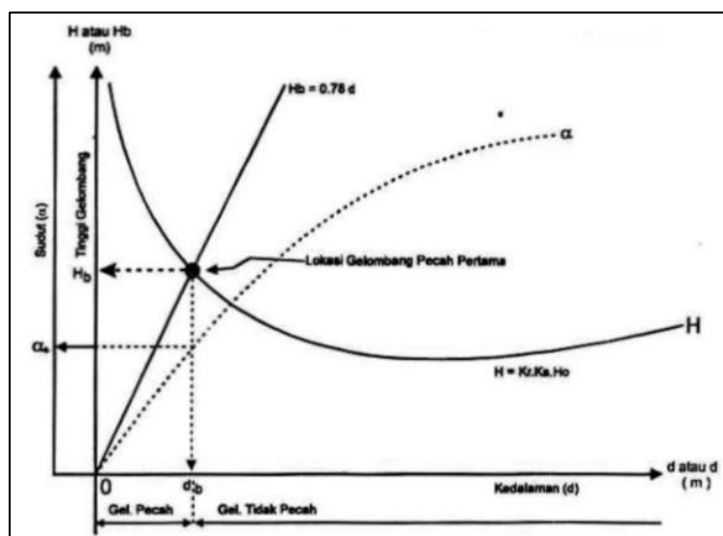


**Gambar 2.7** Difraksi Gelombang di Belakang Rintangannya

(Sumber : Zakaria, 2009)

#### 4. Gelombang Pecah

Perubahan kedalaman laut menyebabkan gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk. Perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang atau yang disebut sebagai kemiringan merupakan faktor yang mempengaruhi gelombang pecah. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar dari kecepatan rambat gelombang. Oleh karena itu, gelombang menjadi tidak stabil dan terjadi gelombang pecah. Pecahnya gelombang ini biasanya terjadi pada saat gelombang mendekati pantai, dimana puncak gelombang menjadi tajam dan kedalamannya mencapai seperempat dari tinggi gelombang sehingga terjadinya gelombang pecah. Menurut Triatmodjo (1999), kedalaman di mana terjadinya gelombang dinotasikan  $d_b$ , tinggi gelombang dinotasikan  $H_b$ , dan sudut datang gelombang pecah terhadap normal kontur dinotasikan  $\alpha_b$ . Salah satu cara untuk menentukan lokasi gelombang pecah adalah dengan membuat grafik hubungan antara  $H$ ,  $d$ , dan  $\alpha$  dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Grafik Hubungan antara  $H$ ,  $d$ , dan  $\alpha$ .

(Sumber : Zakaria, 2009)

### 2.3 Pasut

Pasang surut adalah flutuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adalah gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari (Triatmodjo, 1999).

Gaya tarik menarik dan fakta bahwasanya matahari, bulan dan bumi selalu dalam gerakan relative satu terhadap yang lain, menyebabkan air di daerah pantai bergerak. Gerakan pasang surut dari air ini adalah bentuk gerkan gelombang priode yang sangat panjang yang menghasilkan peningkatan dan penurunan permukaan air pada titik tertentu yang menghasilkan pasang surut permukaan air.

Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka air rerata ke posisi yang sama berikutnya. Periode pasang surut bisa 12 jam 25 menit atau 24 jam 50 menit, yang tergantung pada tipe pasang surut. Periode pada muka air naik disebut pasang, sedang pada saat air turun disebut surut.

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu:

1. Pasang Surut Harian Tunggal (*Diurnal Tide*) yaitu dalam satu hari terdapat satu kali pasang dan satu kali surut.
2. Pasang Surut Harian Ganda (*Semi Diurnal Tide*) yaitu dalam satu hari terdapat dua kali pasang dan dua kali surut.
3. Pasang Surut Campuran condong keharian tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*) yaitu dalam satu hari terdapat satu kali pasang dan satu kali surut tapi kadang-kadang terjadi dua kali pasang atau dua kali surut.
4. Pasang surut campuran condong keharian ganda (*Mixed Tide prevailing Semidiurnal*) yaitu dalam satu hari terdapat dua kali pasang dan dua kali surut namun tinggi dan periodenya sangat berbeda (Triatmodjo, 1999).

#### 2.4 Arus

Arus laut merupakan pergerakan air secara vertikal maupun horizontal yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti angin, salinitas, perbedaan densitas dan lainnya.

Arus yang berada di perairan dangkal atau di sekitar pantai yaitu *longshore current* dan *crossshore current*. *Longshore Current* adalah arus laut yang arahnya sejajar dengan garis pantai. Arus ini dapat membentuk garis pantai menjadi berkelok-kelok. *Longshore current* terjadi diantara daerah gelombang pecah dan garis pantai, dimana saat gelombang datang membentuk sudut miring dengan garis pantai pecah maka terjadi *longshore current* akibat gradien momentum *flux* di daerah *surf zone*.

Arus sejajar pantai mempunyai kecepatan yang relatif kecil rata-rata 0,3 m/det, meskipun arus sejajar pantai ini umumnya mempunyai kecepatan rendah, tetapi sangat mempengaruhi proses-proses litoral transport karena bergerak sepanjang pantai dalam waktu yang lama dan terus menerus selama ada gelombang, sehingga mampu memindahkan sedimen untuk itu perlu dibahas kecepatan arus sejajar pantai sebagai penggerakannya.

*Rip Current* adalah arus yang arah gerakannya tegak lurus dengan garis pantai. Arus ini berawal dari gelombang yang datang dari arah laut menuju pantai. Setelah sampai di pantai arus tersebut kemudian akan menemukan jalan kembali ke arah laut. Arus ini biasanya sering terjadi di daerah sempit seperti di pantai yang terdapat gosong pasir atau dermaga. *Rip Current* sangat berbahaya karena dapat menyeret wisatawan ke tengah laut. Di Indonesia contoh pantai yang sering terdapat *rip current* adalah Pantai Parangtritis.

## 2.5 Sedimentasi

Menurut Anwas (1994), sedimentasi adalah peristiwa pengendapan batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin. Pada saat pengikisan terjadi, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai ke laut. Pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air. Karena itu pengendapan ini bisa terjadi di sungai, danau dan laut. Batuan hasil pelapukan secara berangsur diangkut ke tempat lain oleh tenaga air, angin, dan gletser (es yang mengalir secara lambat). Kombinasi antara gelombang dan arus menyebabkan angkutan sedimen menyusur pantai. Arus menyusur pantai adalah arus yang disebabkan oleh gelombang yang datangnya menyudut terhadap pantai. Arus pantai ini terjadi terutama di daerah surf zone, yaitu daerah yang terletak di antara gelombang yang mulai pecah sampai ke garis pantai. Gelombang yang menuju pantai menyebabkan perpindahan energi dari laut ke pantai dan pada saat gelombang pecah di daerah surf zone, energi tersebut sebagian berubah menjadi arus menyusur pantai (Syamsudin, dkk., 2004). Air mengalir di permukaan tanah atau sungai membawa batuan halus baik terapung, melayang atau digeser di dasar sungai menuju tempat yang lebih rendah. Hembusan angin juga dapat mengangkut debu, pasir, bahkan bahan material yang lebih besar. Makin kuat hembusan itu, maka besar pula daya angkutnya. Di padang pasir misalnya, timbunan pasir yang luas dapat dihembuskan angin dan berpindah ke tempat lain. Sedangkan gletser, walaupun lambat gerakannya, tetapi memiliki daya angkut besar.

Menurut Soewarno (1991), proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (*deposition*) dan pemadatan (*compaction*) dari sedimentasi itu sendiri. Proses tersebut berjalan sangat kompleks, dimulai dari

jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen.

Sedimen yang terbawa hanyut oleh aliran air terdiri dari dua muatan yaitu berupa muatan dasar (*bed load*) maupun muatan melayang (*suspended load*). Muatan dasar yaitu berupa material yang bergerak dalam aliran sungai dengan cara bergulir, meluncur, dan meloncat-loncat di atas permukaan dasar sungai. Sedangkan muatan melayang yaitu butiran-butiran halus yang ukurannya lebih kecil yang senantiasa melayang di dalam air (Tominaga, 1985).

## **2.6 Program Delft3d**

Delft3D adalah salah satu software yang dikembangkan oleh delftares sebagai suite perangkat lunak komputer terpadu yang unik untuk Multi-Disiplin. Pendekatan dan perhitungan di daerah pesisir, sungai dan muara dapat dilakukan simulasi arus, transport sedimen, gelombang, kualitas air, perkembangan morfologi, dan ekologi. Para ahli dan non-ahli merancang Suite *Delft3D* tersusun dari beberapa modul yang sementara mampu berinteraksi. Adapun *Delft3D-FLOW* manual salah satu dari modul ini adalah simulasi hidronamika multi dimensi (2D dan 3D), program yang menghitung fenomena aliran dan arus yang dihasilkan dari pasang surut dan Meteorolgi yang memaksa pada persegi panjang atau lengkung, grid yang dipasang batas untuk mencapai pendekatan koordinat.

### **2.6.1 Delft3D Flow**

Pada aplikasi Delft3D , pemodelan menggunakan Delft3D Flow dan Delft3D Wave. Delft3D-Flow adalah sistem pada bagian Delft3D yang digunakan untuk menghitung SWE (*Shallow Water Equation*) atau persamaan pada kondisi air dangkal dalam variabel kecepatan dan tinggi ke dalam bentuk dua atau tiga dimensi pada sebuah grid atau garis bantu (Arizal, 2011).

Delft3D-FLOW memakai beberapa persamaan pembangun yaitu, persamaan momentum, persamaan kontinuitas, dan persamaan transport (Lesser et al, 2004; Delftares, 2014).

**a. Persamaan momentum**

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{V^2 \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{uv \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} \dots(2.9)$$

$$- Fv = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{uv \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{V^2 \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} \dots(2.10)$$

$$- Fv = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta$$

**b. Persamaan Kontinuitas**

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial [(d + \zeta)U \sqrt{G\eta\eta}]}{\partial \zeta} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial [(d + \zeta)V \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}]}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q \dots(2.11)$$

Dengan U dan V dirata – ratakan terhadap kedalaman :

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 u dz = \int_{-1}^0 u d\sigma \dots(2.12)$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 v dz = \int_{-1}^0 v d\sigma \dots(2.13)$$

Dimana Q menunjukkan faktor per unit area :

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \dots(2.14)$$

Keterangan :

$\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}$  = koefisien transformasi kurvalimier menjadi koordinat persegi (m).

$\sqrt{G\eta\eta}$  = koefisien transformasi kurvalimier menjadi koordinat persegi (m).

$G$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$M\zeta$  = sumber/keluaran momentum dalam arah  $X/\zeta$  (kg m/s)

$M\eta$  = sumber/keluaran momentum dalam arah  $Y/\eta$  (kg m/s)

$U$  = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah  $X/\zeta$  (m/s)

$u$  = kecepatan aliran dalam tanah  $X/\zeta$  (m/s)

- $V$  = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah  $Y/\eta$  (m/s)  
 $u$  = kecepatan aliran dalam tanah  $Y/\eta$  (m/s)  
 $\omega$  = frekuensi sudut pasang surut dan atau komponen Fourier  
 $\zeta$  = elevasi muka air (m)

### c. Persamaan transpor sedimen

$$|Sb| = 0.006\eta\rho_w d_{50}^1 M^{0.5} M^{0.7} \quad \dots(2.15)$$

Keterangan :

- $Sb$  = transport sedimen dasar (kg/m/s)  
 $\eta$  = fraksi sedimen pada lapisan campuran (mixing layers)  
 $M$  = pergerakan sedimen akibat gelombang dan arus  
 $Mc$  = pergerakan kelebihan sedimen  
 $Wl$  = kecepatan jatuh

Dengan nilai yang didefinisikan sebagai :

$$M = \frac{V_{eff}^2}{(s-1)gd_{50}} \quad \dots(2.16)$$

$$M = \frac{(V_{eff} - V_{eff})^2}{(s-1)gd_{50}} \quad \dots(2.17)$$

$$V_{eff} = \sqrt{V_R^2 + V_{50}^2} \quad \dots(2.18)$$

Keterangan :

- $U_{on}$  = kecepatan orbital dekat dasar berdasarkan pada tinggi gelombang signifikan (m/s)  
 $V_{eff}$  = kecepatan efektif yang disebabkan oleh gelombang dan arus  
 $V_R$  = Kecepatan yang dirata-ratakan terhadap kedalaman di lapisan dasar  
 $S$  = densitas relative dari fraksi sedimen Densitas relative dari fraksi sedimen  
 $G$  = percepatan gravitasi Percepatan gravitasi

### 2.6.2 Delft3D Wave

Delft 3D-WAVE adalah sistem bagian dari Delft3D yang berfungsi untuk mensimulasikan perambatan gelombang yang dihasilkan di perairan pantai dan juga dapat diterapkan di perairan dalam, menengah dan dangkal. MDW-file ini berisi semua data yang diperlukan untuk pemodelan gelombang dan menjalankan perhitungan gelombang. MDW-file adalah input untuk simulasi gelombang. MDW-file akan di impor ke WAVE-GUI (Graphical User Interface), dimana WAVE-GUI (*Graphical User Interface*) adalah alat yang digunakan untuk memberikan nilai pada semua parameter yang digunakan.

## 2.7 Pemilhan Tipe Bangunan Pengaman Pantai

Berikut adalah macam-macam bangunan pengaman pantai

### 2.7.1 Revetment / Dinding Pantai

Revetment adalah konstruksi tidak massif (berongga/ tidak padat) yang fungsinya untuk perlindungan terhadap pengaruh gelombang dan arus. Revetment tidak berfungsi sebagai penahan tanah di belakang konstruksi. Bahan yang umum digunakan adalah susunan batu kosong, blok-blok beton, pasangan batu dan beton. Revetment yang terbuat dari susunan batu kosong atau blok-blok beton dengan kemiringan tertentu disebut konstruksi dengan tipe (*rubble mound*). Konstruksi ini mempunyai lapisan pelindung luar yang langsung terhempas gelombang yang disebut armor. Nama lain untuk revetment dari susunan armor yang terdiri dari campuran batu kosong yang tidak seragam disebut rip-rap. Untuk mencegah hanyutnya material pantai yang halus antara pantai yang dilindungi dan revetment harus dipasang lapisan filter (Yuwono, 2005).

### 2.7.2 Jetty

Jetty adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakan di kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk mengurangi pendangkalan alur oleh sedimen pantai. Pada penggunaan muara sungai sebagai alur pelayaran, pengendapan dimuara dapat mengganggu lalu lintas kapal. Untuk keperluan tersebut jetty harus panjang sampai ujungnya berada di luar sediment sepanjang pantai juga sangat berpengaruh terhadap pembentukan endapan tersebut. Pasir yang melintas didepan muara gelombang pecah. Dengan jetty panjang transport sediment sepanjang pantai dapat



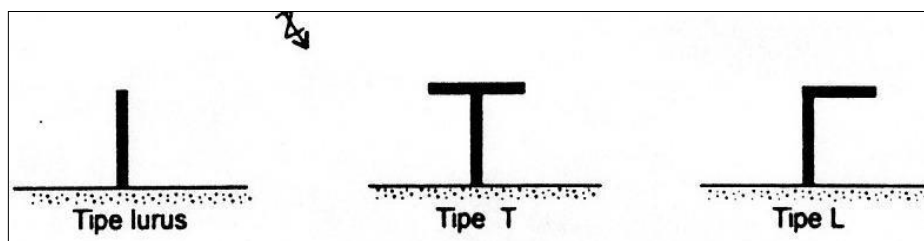
tertahan, dan pada alur pelayaran kondisi gelombang tidak pecah, sehingga memungkinkan kapal masuk ke muara sungai. Selain untuk melindungi alur pelayaran, jetty juga dapat digunakan untuk mencegah pendangkalan di muara dalam kaitannya dengan pengendalian banjir. Sungai-sungai yang bermuara pada pantai yang berpasir dengan gelombang yang cukup besar sering mengalami penyumbatan muara oleh endapan pasir. Karena pengaruh gelombang dan angin, endapan pasir terbentuk di muara. Transport akan terdorong oleh gelombang masuk ke muara dan kemudian diendapkan. Endapan yang sangat besar dapat menyebabkan tersumbatnya muara sungai. Penutupan muara sungai dapat menyebabkan terjadinya banjir di daerah sebelah hulu muara. Pada musim penghujan air banjir dapat mengerosi endapan sehingga sedikit demi sedikit muara sungai terbuka kembali. Selama proses penutupan dan pembukaan kembali tersebut biasanya disertai dengan membeloknya muara sungai dalam arah yang sama dengan arah transport sediment sepanjang pantai. Jetty dapat digunakan untuk menanggulangi masalah tersebut. Mengingat fungsinya hanya untuk penanggulangan banjir, maka dapat digunakan salah satu dari bangunan.

### 2.7.3 Groin

Groin adalah bangunan pelindung pantai yang biasanya dibuat tegak lurus garis pantai dan berfungsi untuk menahan transport sediment sepanjang pantai sehingga bisa mengurangi atau menghentikan erosi yang terjadi (Triatmodjo, 1999).

Groin hanya bisa menahan transport sediment sepanjang pantai. Apabila groin ditempatkan pada pantai yang terabrasi, maka groin akan menahan gerak sediment tersebut, sehingga sediment mengendap di hulu (terhadap arah transport sediment sepanjang pantai). Sedangkan di sebelah hilir groin, angkutan sediment masih tetap terjadi sementara, sementara suplai sediment dari hulu terhalang oleh bangunan, akibatnya daerah hilir mengalami defisit sediment sehingga pantai mengalami erosi. Keadaan tersebut akan menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai yang akan terus berlangsung sampai dicapai satu keseimbangan baru. Keseimbangan baru tersebut tercapai pada saat sudut yang dibentuk oleh gelombang pecah terhadap garis pantai adalah nol ( $\alpha = 0$ ), di mana tidak terjadi lagi angkutan sediment sepanjang pantai (Triatmodjo, 1999).

Groin memiliki beberapa tipe, ada tipe lurus, tipe T ataupun tipe L yang dapat dilihat pada **Gambar 2.9**. Pemilihan tipe-tipe groin bergantung kepada kegunaan dan kebutuhan perencanaannya.



**Gambar 2.9** Tipe Groin

(Sumber : Triatmodjo, 1999)

#### 2.7.4 Breakwater/ Pemecah gelombang

Pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Pengaturan tata letak pemecah gelombang sedemikian rupa sehingga mulut pelabuhan tidak menghadap ke arah gelombang dan arus dominan. Dimensi pemecah gelombang tergantung pada banyak faktor, di antaranya adalah ukuran dan layout perairan pelabuhan, kedalaman laut, tinggi pasang surut dan gelombang.

#### 2.7.5 Analisis dan desain hidraulik perbaikan muara sungai

Analisis dan desain hidraulik untuk perbaikan muara sungai pada studi ini berdasarkan pedoman umum perbaikan muara sungai dengan jetty yang diterbitkan oleh Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, KemenPUPR, pada tahun 2004.

##### a. Kedalaman Alur

Muara sungai biasanya dimanfaatkan untuk keperluan lalu lintas perahu nelayan sehingga kedalaman alur harus disesuaikan dengan kebutuhan tersebut. Oleh karena itu, jika memungkinkan (ditinjau dari segi dana), kapal terbesar yang lewat di muara tersebut akan dipergunakan sebagai referensi penentuan ukuran kedalaman alur. Rumus penentuan kedalaman alur pelayaran tersebut menurut rumus Nur Yuwono :

$$EL \text{ bed} = LLWL - dn \quad \dots(2.19)$$

$$dn = df + gl + rb \quad \dots(2.20)$$

$$gl + rb = 50\%(df) \quad \dots(2.21)$$

dengan :

$ELbed$  : elevasi dasar alur (pada kedalaman minimum), (m);

$LLWL$  : elevasi muka air pada surut terendah ( $\pm 0,00$ ), (m);

$dn$  : kedalaman alur nominal, (m);

$df$  : draft kapal pada muatan penuh, (m),

$gl$  : gerakan kapal akibat gelombang, (m);

$rb$  : ruang bebas di bawah kapal, (m).

$gl+rb$  bisa diambil =  $50\% df$  ... (2.22)

### b. Lebar Alur

Lebar minimum alur ini sangat tergantung pada ukuran kapal, kecepatan arus di muara, keadaan gelombang dan kepandaian nelayan dalam melakukan manuver. Rumus untuk menentukan lebar alur minimum, yaitu sebagai berikut.

a) Untuk lalu lintas satu jalur

$$Wn > 4,8 B \quad \dots(2.23)$$

b) Untuk lalu lintas dua jalur

$$Wn > 7,6 B \quad \dots(2.24)$$

dengan:

$Wn$  : lebar alur minimum, (m);

$B$  : lebar kapal yang berukuran terbesar, (m).

### 2.7.6 Perencanaan Jetty

Perencanaan jetty pada studi ini mengacu pada pedoman perencanaan jetty tipe *rubble mound* untuk penanggulangan penutupan muara sungai oleh sedimen yang diterbitkan oleh Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan Sipil, Departemen Pekerjaan Umum, KemenPUPR pada tahun 2005.

#### a. Panjang Jetty

Panjang bangunan jetty sangat ditentukan oleh untuk tujuan apa bangunan jetty tersebut dibuat. Di bawah ini diberikan tiga jenis jetty yang disesuaikan dengan tujuan pembangunan

- Jetty panjang

Bangunan jetty dibuat cukup panjang, menjorok ke laut sampai jauh di luar daerah gelombang pecah. Dengan bangunan sejajar ini, muara akan terlindung dari gerakan pasir/lumpur menyusur pantai.

- Jetty pendek

Bangunan jetty biasanya dibuat sampai kedalaman  $\pm 0,00$  LWS. Tujuan utama sistem jetty ini ialah untuk stabilisasi muara, yaitu supaya muara tidak berpindah-pindah tempat.

**Panjang minimum jetty** ditentukan pada lokasi gelombang pecah (db) atau sesuai dengan jarak gelombang pecah dari garis pantai.

#### b. Elevasi Mercu

Elevasi mercu bangunan jetty dapat ditentukan sebagai berikut :

$$EL_{\text{mercu}} = HHWL + R \quad \dots(2.25)$$

dengan:

$EL_{\text{mercu}}$  : elevasi mercu bangunan jetty, (m);

$HHWL$  : muka air pasang tertinggi, (m);

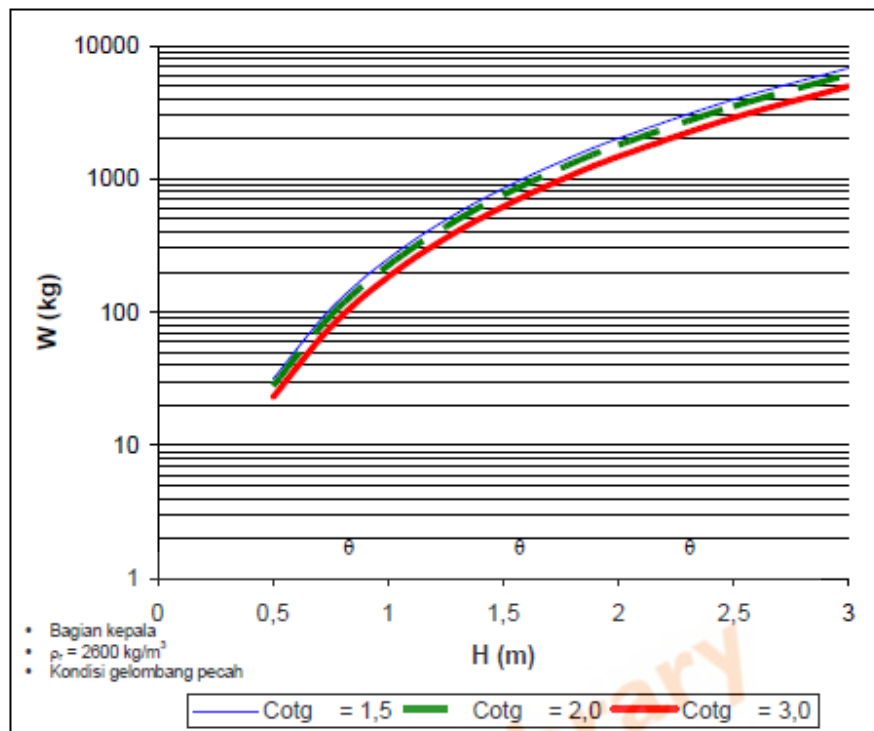
$R$  : tambahan ketinggian yang besarnya, yaitu : 1,00 meter pada bagian pangkal dan tengah, 1,50 meter untuk bagian ujung (kepala)

#### c. Dimensi Armor dan Lapisan Pengisi

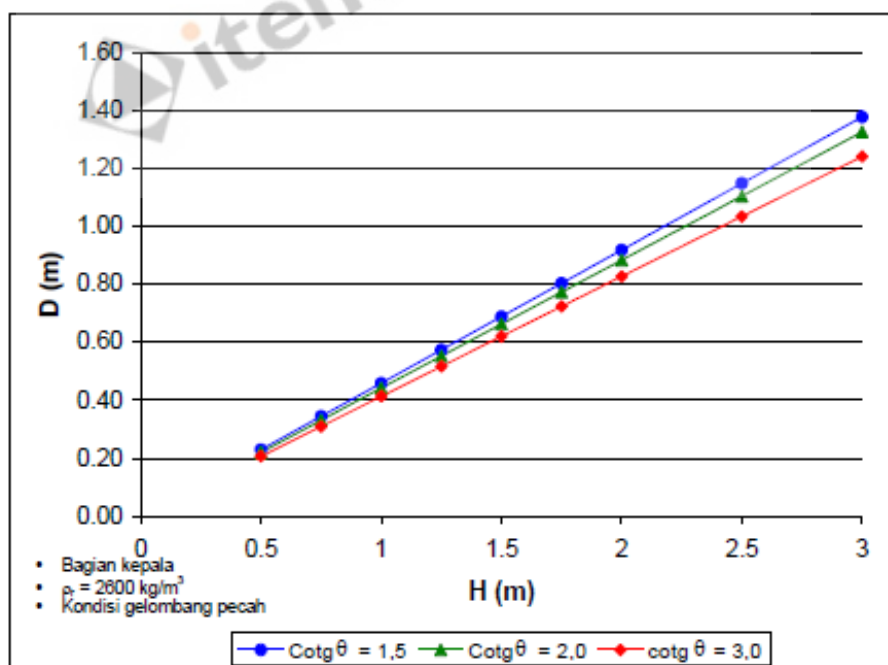
Tabel 2.1 Koefisien stabilitas KD untuk berbagai jenis butir

LAPIS LINDUNG	n	PENEMPATAN	LENGAN BANGUNAN ( KD )		LENGAN BANGUNAN ( KD )		KEMIRINGAN <i>Cot. θ</i>
			GELOMBANG		GELOMBANG		
			PECAH	TIDAK PECAH	PECAH	TIDAK PECAH	
<b>Batu Pecah</b>							
- Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
- Bulat halus	3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	2
- Bersudut kasar	1	Acak	1	2,9	1	2,3	3
<b>Bersudut kasar</b>							
- Bersudut kasar	3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	2
- Bersudut kasar	2	Khusus	5,8	7,0	5,3	6,4	2
- Paralel epiped	2	Khusus	7-20	8,5-24	-	-	2
<b>Tetrapo da Dan Quadripod</b>							
- Tetrapo da Dan Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	3,5	4,0	1
<b>Tribar</b>							
- Tribar	2	Acak	9,0	10,0	6,0	6,5	3,0
<b>Dolos</b>							
- Dolos	2	Acak	15,8	31,8	7,0	14,0	3,0

(sumber : Syamsudin, Dkk, 2005)



**Gambar 2.10** Grafik hubungan antara  $H$  dan  $W$  armor dari batu belah bulat kasar  
(sumber : Syamsudin, Dkk, 2005)



**Gambar 2.11** Grafik hubungan antara  $H$  dan  $D$  armor dari batu belah bulat kasar  
(sumber : Syamsudin, Dkk, 2005)

- Berat Batu Pelindung

$$W_A = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad \dots(2.26)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \quad \dots(2.27)$$

- Lebar Mercu

$$B = n K \Delta \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \dots(2.28)$$

- Dimensi Lapis kedua

$$\frac{w}{10} \quad \dots(2.29)$$

- Lapisan Pengisi

$$\frac{w}{200} \quad \dots(2.30)$$

- Diameter Batu

$$D = K \Delta \left[ \frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \dots(2.31)$$

dengan :

$W_A$  : Berat Batu Pelindung ( Armour )/Unit ( Ton)

$W_S$  : Berat Batu Lapis Kedua ( Armour )/Unit ( Ton)

$\Gamma_r$  : Berat Jenis Batu

$\Gamma_a$  : Berat Jenis Air Laut

$H$  : Tinggi Gelombang Rencana

$\theta$  : Sudut Kemiringan Sisi Pemecah Gelombang

$N$  : Jumlah Susunan Butir Batu Lapis Pelindung.

$S_r$  : *Specific Gravity*

$D$  : Diameter Batu

$K_\Delta$  : Koefisien Bentuk

$\Gamma_r$  : Berat Jenis Batu

$B$  : Lebar Mercu

- Tinggi Rayapan ( Ru )

$$L_o = 1,56 \times T^2 \quad \dots(2.32)$$

$$I_r = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{L_o}\right)^{0,5}} \quad \dots(2.33)$$

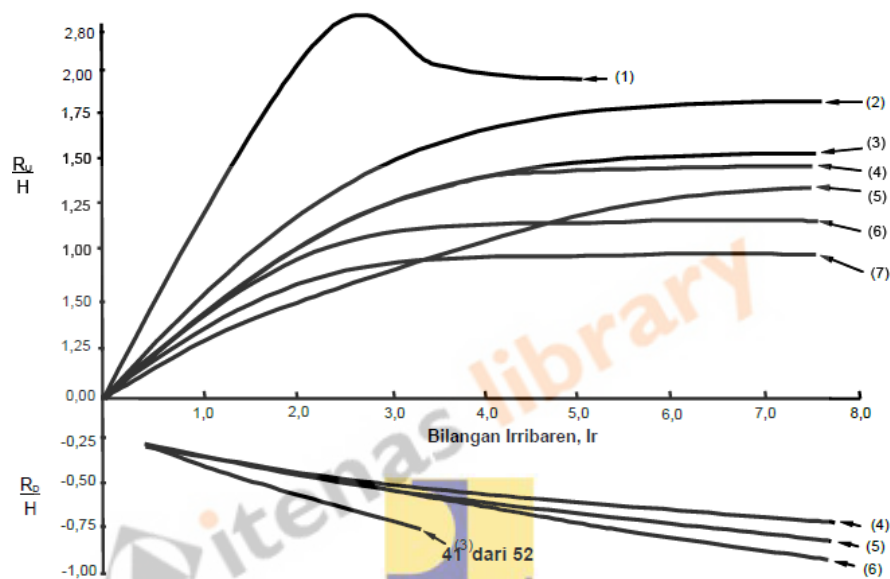
dengan :

$I_r$  : bilangan *Irribaren*

$\theta$  : sudut kemiringan sisi pemecah gelombang ( $^{\circ}$ )

$H$  : tinggi gelombang di lokasi bangunan (m)

$L_o$  : panjang gelombang di laut dalam



Gambar 2.12 Grafik hubungan antara  $R_u/H$  dan bilangan *Irribaren*

(sumber : Syamsudin, Dkk, 2005)

#### d. Gerusan Lokal

Bangunan jetty harus aman terhadap gerusan lokal, terutama pada saat terjadi banjir. Karena sulitnya menaksir kedalaman gerusan tersebut, bangunan pelindung kaki sangat dianjurkan untuk dibuat. Beberapa rumus yang dapat dipergunakan untuk menaksir kedalaman gerusan lokal telah disajikan dalam banyak literatur, tetapi yang sama persis dengan permasalahan yang terdapat di bangunan jetty tidaklah ada. Kedalaman gerusan ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$dS = k H \quad \dots(2.34)$$

dengan:

$dS$  : kedalaman gerusan akibat gelombang, (m);

$H$  : tinggi gelombang rencana, (m);

$k$  : koefisien yang besarnya berkisar antara 0,4 s.d. 0,8.

**e. Tinggi struktur total**

**Tinggi struktur total** = Cadangan penurunan struktur + Tinggi rayapan + Beda pasang surut + Kedalaman air saat LLWL + Gerusan Lokal

- Tinggi struktur berdasarkan kedalaman alur

**Tinggi struktur berdasarkan kedalaman alur** = Cadangan penurunan struktur + Tinggi rayapan + Beda pasang surut + Kedalaman alur saat LLWL

