

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1 UMUM**

Prinsip penting di dalam merencanakan pelabuhan adalah perlunya pemikiran jangka panjang mengenai kemungkinan bertambahnya arus muatan dan penumpang yang akan dilayani, sehingga di dalam proses pengoperasian pelabuhan di masa yang akan datang, tidak akan mengalami kendala di dalam proses pelayanannya.

#### **2.2 PENGERTIAN PELABUHAN PENUMPANG**

Pelabuhan penumpang adalah pelabuhan yang dibangun untuk memberikan dan melayani segala kegiatan yang berhubungan dengan kebutuhan orang yang bepergian (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, 1996). Pada umumnya *lay out* pelabuhan penumpang tidak jauh berbeda dengan pelabuhan barang. Perbedaan yang paling nyata hanyalah terdapat pada bangunan di belakang dermaga, kalau pada pelabuhan barang merupakan gudang tetapi kalau pada pelabuhan penumpang merupakan stasiun penumpang. Contoh pelabuhan penumpang yang ada di Indonesia terdapat di Tanjung Priok, yaitu di pelabuhan III.

#### **2.3 DERMAGA**

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Dimensi dermaga didasarkan pada jenis dan ukuran kapal yang merapat dan bertambat pada dermaga tersebut. Penentuan *lay out* dari dermaga dilakukan dengan memperhatikan aspek-aspek sebagai berikut :

- Penyediaan fasilitas-fasilitas dasar pelabuhan
- Navigasi kapal.
- Pengaruh sedimentasi, gelombang, angin, arus dan pasang surut.
- Pengembangan/perluasan pelabuhan di masa yang akan datang.

## 2.4 DASAR – DASAR PERENCANAAN

### 2.4.1 Angin

Angin adalah 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 (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal.154, 1996) :

$$R_L = U_w/U_L$$

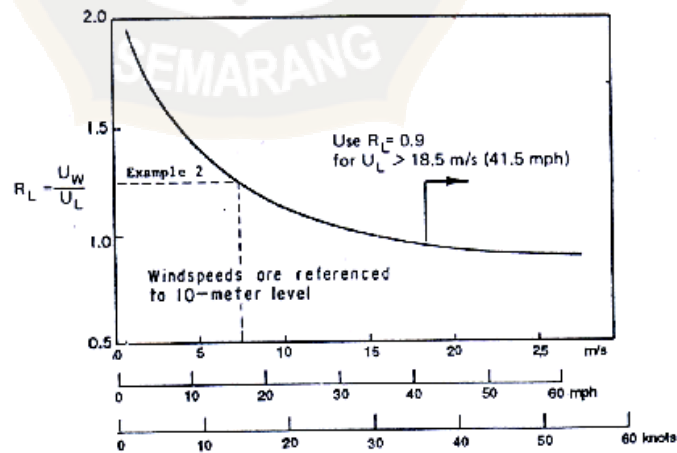
dimana :

$U_L$  = 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 Hubungan Antara Kecepatan Angin di Laut dan di Darat

Dari kecepatan angin yang didapat, dicari faktor tegangan angin (*wind stress factor*) dengan persamaan (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal:155, 1996) :

$$U_A = 0,71 U^{1,23}$$

dimana U adalah kecepatan angin dalam m/dt.

Dalam perencanaan bangunan pantai diperhitungkan gelombang representatif. Gelombang representatif dapat dinyatakan dengan karakteristik gelombang alam dalam bentuk gelombang tunggal. Misalnya H10 adalah tinggi rerata dari 10 % gelombang tertinggi dari pencatatan gelombang, namun bentuk yang banyak digunakan adalah H33 yaitu tinggi rerata dari 33 % nilai tertinggi dari pencatatan gelombang dan sering disebut sebagai tinggi gelombang signifikan (Hs). Adapun H10 dan H33 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$H10 = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$$

$$H33 = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$$

n = prosentase x jumlah data

#### 2.4.2 Fetch

Didalam tinjauan pembangkitan gelombang dilaut, *fetch* dibatasi oleh bentuk dataran yang mengelilingi laut. Gelombang dibangkitkan tidak hanya dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Adapaun *fetch* rerata efektif diberikan dalam persamaan sebagai berikut (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo hal.100,1996) :

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

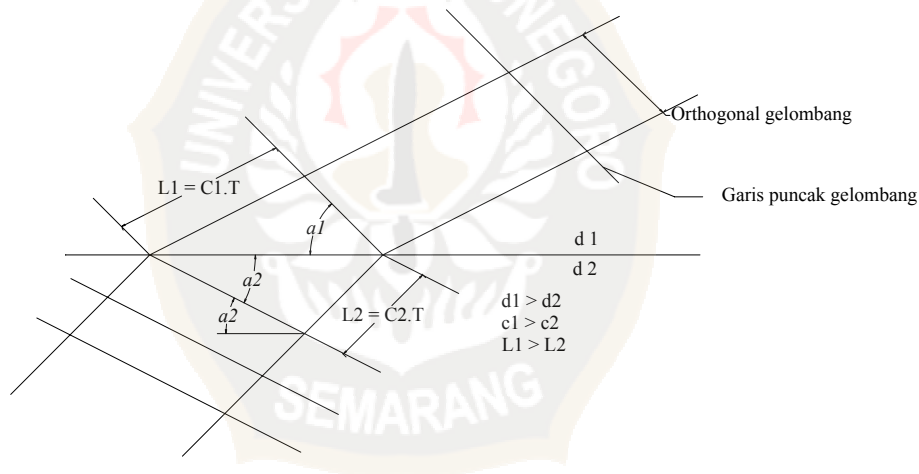
dimana  $F_{\text{eff}}$  = fetch rerata efektif  
 $X_i$  = panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*  
 $\alpha$  = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan  $6^\circ$  sampai sudut sebesar  $42^\circ$  pada kedua sisi dari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

### 2.4.3 Gelombang

Gelombang merupakan faktor penting dalam perencanaan pelabuhan. Dalam perencanaannya, gelombang yang terjadi akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah.

#### 2.4.3.1 Refraksi Gelombang

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pada prinsipnya refraksi gelombang sama dengan refraksi cahaya yang terjadi karena cahaya melintasi dua media perantara berbeda, sehingga pemakaian hukum Snell pada optik dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan refraksi gelombang yang disebabkan oleh perubahan kedalaman.



Gambar 2.1 Hukum Snell untuk Refraksi Gelombang

$$\sin \alpha_2 = \left( \frac{C_2}{C_1} \right) \sin \alpha_1$$

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 73,1996)

dimana :

$\alpha_2$  = Sudut antara garis puncak gelombang dengan garis kontur dasar laut dititik 2

$C_2$  = Cepat rambat gelombang pada kedalaman titik 2

$C_1$  = Cepat rambat gelombang pada kedalaman titik 1

$\alpha_1$  = Sudut antara garis puncak gelombang dengan garis kontur dasar laut dititik 1

Sehingga koefisien refraksi adalah,

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} \quad (\text{Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 74,1996})$$

dimana :

$\alpha_0$  = Sudut antara garis puncak gelombang dilaut dalam dan garis kontur dasar laut

$K_r$  = Koefisien refraksi

$\alpha_1$  = Sudut antara garis puncak gelombang dengan garis kontur dasar laut dititik yang ditinjau.

Untuk air dangkal, maka kecepatan gelombang tergantung pada kedalaman air dimana gelombang tersebut merambat. Di tempat yang dalam, gelombang bergerak lebih cepat dari pada di laut dangkal.

Untuk cepat rambat gelombang persamaan umum yang digunakan adalah

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

Di laut dalam persamaan di atas menjadi

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (\text{Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 63,1996})$$

dimana :

$C$  = Cepat rambat gelombang (m/s)

$C_0$  = Cepat rambat gelombang di laut dalam (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )

$L$  = Panjang gelombang (meter)

$d$  = Kedalaman laut (meter)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa  $C_0$  tidak tergantung pada kedalaman, jadi di laut dalam, gelombang tidak mengalami refraksi, pada laut transisi dan laut dangkal pengaruh refraksi akan semakin besar.

Di laut transisi, persamaan di atas menjadi,

$$C = \sqrt{gd} \quad (\text{Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 64,1996})$$

Untuk menghitung tinggi gelombang yang terjadi, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$H_1 = K_s \cdot K_r \cdot H_0 \quad (\text{Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 73,1996})$$

dimana :

$H_1$  = Tinggi gelombang setelah mengalami refraksi

$K_s$  = Koefisien pendangkalan

$K_r$  = Koefisien refraksi

$H_0$  = Tinggi gelombang sebelum mengalami refraksi

#### 2.4.3.2 Difraksi Gelombang

Difraksi gelombang terjadi karena adanya perbedaan energi gelombang yang tajam di sepanjang puncak gelombang. Pada awalnya, kondisi di daerah yang terlindung oleh penghalang cukup tenang (tidak terjadi gelombang), namun pada saat gelombang melintasi penghalang, perairan yang jauh dari penghalang memiliki energi gelombang yang lebih besar (energi gelombang awal) dibandingkan dengan perairan di belakang penghalang yang semula tenang, sehingga terjadi proses pemindahan energi di sepanjang puncak gelombang tersebut ke arah daerah yang terlindung penghalang. Dalam difraksi gelombang ini, terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah terlindung (W.A Praktiko, 1997).

### 2.4.3.3 Gelombang Laut Dalam Ekuivalen

Apabila gelombang tidak mengalami refraksi maka tinggi gelombang dilakukan dengan analisis transformasi gelombang laut dalam ekuivalen. Bentuk persamaannya adalah sebagai berikut,

$$H'_o = K'KrHo \quad (\text{Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 83,1996})$$

dimana

$H'_o$  = Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

$Ho$  = Tinggi gelombang laut dalam

$K'$  = Koefisien difraksi

$Kr$  = Koefisien refraksi

### 2.4.3.4 Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Tinjauan refleksi gelombang sangat penting dalam perencanaan pelabuhan. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidaktenangan di dalam perairan pelabuhan. Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi  $H_r$  dan tinggi gelombang datang  $H_i$ , atau untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut,

$$X = \frac{H_r}{H_i} \quad (\text{Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 83,1996})$$

Koefisien refleksi bangunan diperkirakan berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan disajikan pada tabel di bawah

Tabel 2.1 Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan

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

Sumber : Pelabuhan, Bambang Triatmodjo (1996),

#### 2.4.3.5 Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah panjang gelombang. Di laut dalam, profil gelombang adalah sinusoidal, semakin menuju ke perairan yang lebih dangkal, puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin datar. Selain itu, kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara berangsur-angsur sementara tinggi gelombang bertambah.

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum tersebut menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar dari kecepatan rambat gelombang, sehingga terjadi ketidak-stabilan dan pecah.

Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tersebut tergantung pada kedalaman relatif  $d/L$  dan kemiringan dasar laut  $m$ . Gelombang dari laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu yang disebut dengan kedalaman gelombang ( $d_b$ ), sedangkan tinggi gelombang pecah diberi notasi  $H_b$ . Munk (1949), dalam *Coastal Engineering Research Center (CERC, 1984)* memberikan persamaan untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah sebagai berikut :

$$\frac{H_b}{H_o} = \frac{1}{3.3(H_o/L_o)^{1/3}}$$

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

(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo, hal 90,1996)

Parameter  $H_b/H_o$  disebut dengan indeks tinggi gelombang pecah.

Persamaan di atas tidak memberikan pengaruh kemiringan dasar laut terhadap gelombang pecah. Beberapa peneliti lain membuktikan bahwa  $H_b/H_o$  dan  $d_b/H_b$  tergantung pada kemiringan pantai dan kemiringan gelombang datang. (Iversen, Galvin, Goda : dalam CERC, 1984).



Sedangkan untuk menunjukkan hubungan antara  $d_b/H_b$  dan  $H_b/gT^2$  untuk berbagai kemiringan dasar laut dibuat grafik. Untuk menghitung kedalaman dan tinggi gelombang pecah, disarankan penggunaan kedua jenis grafik tersebut dari pada menggunakan dua persamaan di atas

Tiga tipe gelombang pecah menurut Triatmodjo (1996) :

#### 1. *Spilling*

Biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar (kemiringan kecil). Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur.

#### 2. *Plunging*

Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, sebagian kecil dipantulkan pantai ke laut, dan tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yang dangkal.

#### 3. *Surging*

Terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam. Gelombang pecah tipe *Surging* mirip dengan *Plunging*, tetapi sebelum puncaknya terjun, dasar gelombang sudah pecah.

### 2.4.4 Perkiraan Gelombang dengan Periode Ulang (Analisis Frekuensi)

Frekuensi gelombang – gelombang besar merupakan faktor yang akan mempengaruhi perencanaan bangunan pantai. Untuk menetapkan gelombang dengan periode ulang tertentu dibutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran yang cukup panjang ( beberapa tahun ). Dari setiap tahun pencatatan dapat ditentukan gelombang representatif seperti  $H_s$ ,  $H_{10}$ ,  $H_1$ ,  $H_{maks}$ , dan sebagainya. Berdasarkan data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam  $T$  tahun, dan gelombang tersebut dikenal dengan gelombang dengan periode ulang  $T$  tahun.

Berikut diberikan dua metode dalam memprediksi gelombang dengan periode tertentu yaitu distribusi Gumbel ( Fisher – Tippett Type I ) dan distribusi Weibull ( CERC, 1992 ). Pada kedua metode tersebut prediksi dilakukan untuk memperkirakan tinggi gelombang signifikan dengan berbagai periode ulang. Kedua distribusi tersebut mempunyai bentuk persamaan sebagai berikut (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo hal.140 - 149,1999) :

1. Fisher-Tippet Type 1

$$P(H_s \leq \hat{H}_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12}$$

2. Weibull

$$P(H_s \leq \hat{H}_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}}$$

dimana :

$P(H_s \leq \hat{H}_{sm})$ : Probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui

$H_{sm}$  : Tinggi Gelombang urutan ke m

m : Nomor urutan tinggi gelombang signifikan = 1,2,.....,N

$N_T$  : jumlah kejadian gelombang selama pencatatan

Hitungan tinggi gelombang urutan ke m didasarkan pada analisis regresi linier sebagai berikut (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo hal.140 - 149,1999):

$$H_{sm} = \hat{A} y_m + B$$

Parameter A dan B di dalam persamaan di atas dihitung dari kuadrat terkecil untuk setiap tipe distribusi yang digunakan.

Dimana  $y_m$  diberikan oleh bentuk berikut (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo hal.140 - 149,1999) :

Untuk distribusi Fisher-Tippet Type I

$$y_m = -\ln\{-\ln P(H_s \leq H_{sm})\}$$

Untuk distribusi Weibull

$$y_m = [-\ln\{1 - P(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/k}$$

Dari semua perhitungan diatas maka tinggi gelombang signifikan dengan berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus sebagai berikut (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo hal.140 - 149,1999) :

$$H_{sr} = \hat{A} y_r + B$$

Dimana  $y_r$  diberikan oleh bentuk berikut (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo hal.140 - 149,1999) :

Untuk distribusi Fisher-Tippet Type I

$$y_r = -\ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{LTr}\right)\right\}$$

Untuk distribusi Weibull

$$y_r = [\ln(L.Tr)]^{1/k}$$

dimana :

$H_{nr}$  : tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang  $T_r$

$T_r$  : Periode ulang (tahun)

$K$  : Panjang data (tahun)

$L$  : Rerata jumlah kejadian per tahun =  $\frac{N_T}{K}$

#### 2.4.5 Spektrum Gelombang

Dalam perencanaan dermaga dan bangunan pemecah gelombang hal yang harus diperhatikan adalah tentang karakteristik gelombang yang terjadi. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk mengidentifikasi hasil dari pengolahan data tersebut dalam pengujian karakteristik gelombang. Ada dua jenis spektrum gelombang yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik gelombang yaitu spektrum gelombang teoritis dan spektrum gelombang lapangan.

Spektrum gelombang teoritis didapat dari formulasi *Pierson–Moskowitz* dan *JONSWAP* dengan input data angin, sedangkan spektrum lapangan didapat dari data gelombang acak yang diukur secara periodik (*time series*) yang dapat dinyatakan dalam deret *Fourier*.

#### 2.4.5.1 ISP dan $ISP_{rms}$

Sebagai hasil dari pegujian karakteristik gelombang tadi maka digunakan Indeks Kesalahan Peramalan (ISP) dan Indeks Kesalahan Peramalan *Root Mean Square* ( $ISP_{rms}$ ) yang diuraikan sebagai berikut :

ISP (Indeks Kesalahan Peramalan) adalah angka yang dianggap dapat memperlihatkan besar kesalahan yang terjadi pada hasil peramalan gelombang terhadap data gelombang lapangannya. Sedangkan  $ISP_{rms}$  adalah angka yang menunjukkan akar dari ISP. Bila harga ISP sama dengan nol ( $ISP = 0$ ) mengandung arti bahwa prosentase hasil peramalan sama dengan data lapangannya (kesalahan kecil, ketelitian baik). Sedangkan makin besar harga ISP, makin tidak teliti (hasil peramalan gelombang tidak tepat)

Harga ISP dan  $ISP_{rms}$  tersebut dihitung dengan rumus sebagai berikut (Penyelidikan Karakteristik Laut Jawa, Atie Tri Juniati, 1996) :

- Indeks Kesalahan Peramalan (ISP)

$$ISP = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{[PHP - PDL]}{(PDL)}}{N}$$

- Indeks Kesalahan *Root Mean Square* ( $ISP_{rms}$ )

$$ISP_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{[PHP - PDL]}{PDL} \right)^2}$$

dimana :

PHP = Prosentase Hasil Peramalan Gelombang, yaitu jumlah prosentase kejadian gelombang tiap kelompok gelombang dalam bulan yang bersangkutan

PDL = Prosentase Data Lapangan, adalah jumlah prosentase kejadian gelombang tiap kelompok gelombang dalam bulan yang bersangkutan, dari data gelombang pengukuran di lapangan.

#### 2.4.5.2 Distribusi Tinggi dan Periode Gelombang Individu

Karena gelombang mempunyai sifat random (tidak beraturan) maka untuk mengetahui karakteristik gelombang tersebut dipakai pendekatan dengan statistik. Oleh karena itu pendekatan analisis statistik dilakukan dengan meninjau distribusi statistik dari tinggi gelombang.

Apabila data tinggi gelombang diplot terhadap probabilitas kejadiannya, maka akan terlihat bahwa kejadian yaitu dimana  $P ( H_i )$  akan mengikuti distribusi *Rayleigh* yaitu dengan rumus sebagai berikut ( Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo, 1999 ) :

$$P(H_i) = \frac{2H_i}{(H_{rms})^2} e^{-\left(\frac{H_i}{H_{rms}}\right)^2}$$

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum H_i^2}$$

dimana :

$P ( H_i )$  : fungsi densitas probabilitas

$H_{rms}$  : tinggi gelombang *root-men-square*

$N$  : jumlah total data

Dalam perencanaan dermaga penumpang Pelabuhan Kendal digunakan pendekatan spektrum *Pierson–Moskowitz* dan *JONSWAP* untuk menentukan karakteristik gelombang yang terjadi di perairan Kendal.

### 2.4.5.3 Spektrum Pierson – Moskowitz

Spektrum *Pierson–Moskowitz* ( *PM* ) adalah spektrum khusus untuk *fully developed sea* ( kondisi dimana diperoleh tinggi gelombang maksimal ) dan tidak tergantung pada *fetch* dan durasi angin. Formulasi dari spektrum ini dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut ( M. G. Hallam dkk, hal 131, 1978 ) :

$$S ( \omega ) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp [ \{ -0.74 ( \omega U_w / g )^4 \}$$

dimana :

- $\alpha$  : konstanta Philip's (  $\alpha = 0,0081$  )
- $g$  : percepatan gravitasi (  $g = 9,81 \text{ m/det}^2$  )
- $\omega$  :  $2 \pi f$
- $f$  : frekuensi puncak gelombang (  $f = \frac{0,87g}{2\pi U}$  )
- $U_w$  : kecepatan angin ( m/det )

### 2.4.5.4 Spektrum JONSWAP

Spektrum *JONSWAP* ( *Joint North Sea Wave Program* ) merupakan modifikasi dari spektrum *PM* dengan perbedaan pada :

- Nilai  $\alpha$  : yang memperhatikan pengaruh *fetch*
- Nilai  $\gamma$  : yang memperbesar puncak spektrum

Formulasi dari spektrum gelombang *JONSWAP* dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$S ( \omega ) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp [ \{ -1.25 ( \omega / \omega_0 )^4 \} ] \gamma \cdot \exp( (\omega - \omega_0)^2 / 2\tau^2 \omega^2 )$$

dimana :

- $\gamma$  : 1.60 ~ 6.0 adalah faktor yang membentuk puncak spektrum  
Nilai rata – rata yang direkomendasikan adalah 3,3
- $\alpha$  : konstanta Philip's (  $\alpha = 0,0081$  )
- $\omega$  :  $2 \pi f$
- $f$  : frekuensi puncak gelombang (  $f = \frac{0,87g}{2\pi U}$  )
- $U$  : kecepatan angin ( m/det )
- $\tau$  : 0,09
- $\omega_0$  : 0,161  $g / H_s$
- $H_s$  : tinggi gelombang signifikan ( meter )

#### 2.4.5.5 Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan berdasarkan Spektrum gelombang

Spektrum gelombang dapat dinyatakan dalam grafik hubungan antara besarnya spektrum energi gelombang  $S(\omega)$  dengan frekuensi  $\omega$ . Maka apabila grafik spektrum energi gelombang besar maka akan sangat mempengaruhi dalam penentuan gelombang signifikan dan periodenya. Tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang dapat dihitung berdasarkan analisis spektrum gelombang dengan persamaan sebagai berikut (Penyelidikan Karakteristik Laut Jawa, Atie Tri Juniati, 1996) :

$$H_s = 4,01\sqrt{m_0}$$

$$T_s = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$$

$$m_0 = \int Y dx$$

Dimana

$H_s$  = Tinggi gelombang signifikan ( m )

$T_s$  = Periode gelombang signifikan ( detik )

$m_0$  = luas keseluruhan kurva spektrum gelombang (  $m^2$  )

$m_2$  =  $\sum$  ( luas per pias x lengan )

Dari data grafik yang ada persamaan kurva spektrum gelombang dapat dihitung dengan metode *transformasi log*. Adapun dasar – dasarnya adalah sebagai berikut:

Misal persamaan kurva yang dicari adalah  $y = a x^b$

Transformasi dengan menggunakan fungsi log yaitu (Diktat Analisa Numerik) :

$$\log y = \log a x^b$$

$$\log y = \log a + b \log x$$

Kemudian dilakukan transformasi sebagai berikut :

$$P = \log y$$

$$A = \log a$$

$$B = b$$

$$q = \log x$$

dari uraian diatas persamaan tersebut diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :  $P = A + B q$

dimana

$$q = \frac{\sum \log xi}{n}$$

$$P = \frac{\sum \log yi}{n}$$

$$B = \frac{n \sum qiPi - \sum qi \sum Pi}{n \sum qi^2 - (\sum qi)^2}$$

$$A = P - Bq$$

#### 2.4.6 Pemecah Gelombang ( *breakwater* )

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. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo, hal. 224, 1999)

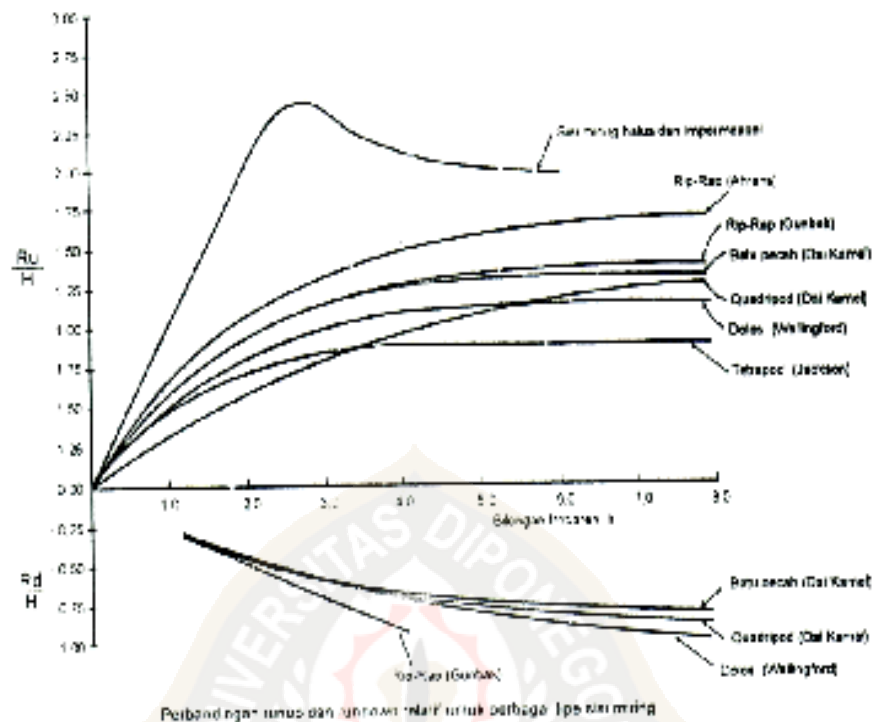
Pemecah gelombang lepas pantai bisa dibuat dari satu pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah. Di Indonesia, penggunaan pemecah gelombang sebagai pelindung pantai jarang digunakan.

Dalam merencanakan suatu bangunan pemecah gelombang harus diperhitungkan hal – hal yang mempengaruhi antara lain refraksi, tinggi dan kedalaman gelombang pecah, serta *run up* gelombang.

- Penentuan Bilangan *Irribaren*

Penentuan besarnya *run up* ditentukan oleh bilangan *Irribaren*. Dari nilai bilangan *Irribaren* dapat ditentukan nilai *run up* dengan menggunakan grafik *run up* gelombang.





Grafik 2.2 *Run up* gelombang

$$Ir = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{Lo}\right)^{0,5}}$$

dimana

$Ir$  = bilangan *Iribaren*

Dengan menggunakan grafik *run up* gelombang di atas, dapat dihitung nilai *run up* untuk masing – masing jenis lapis.

Berat butir batu lapis lindung untuk pemecah gelombang sisi miring dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Hudson* ( Teknik Pantai, Bambang Triadmodjo hal. 268, 1999 ) :

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

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

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 ( Teknik Pantai, Bambang Triadmodjo hal. 268, 1999 ) :

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

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 ( Teknik Pantai, Bambang Triadmodjo hal. 268, 1999 ):

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

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

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

Untuk bagian lengan dan ujung *breakwater* perhitungannya sama, hanya yang membedakan antara keduanya adalah besaran nilai  $K_D$  (koefisien lapis lindung).

#### 2.4.7 Alur Pelayaran

Alur pelayaran digunakan untuk mengarahkan kapal yang keluar masuk pelabuhan. Penentuan dimensi (lebar dan kedalaman) alur pelayaran dipengaruhi

- Karakteristik kapal yang menggunakan pelabuhan.
- Mode operasional alur pelayaran satu arah / dua arah.
- Kondisi pasang surut, angin dan gelombang yang terjadi.
- Kemudahan bagi navigasi untuk melakukan gerak manuver.

##### 2.4.7.1 Kedalaman Alur Pelayaran

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kedalaman alur ideal adalah :

$$H = D + G + z + P + R + S + K$$

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 167, 1996)

dimana :

H = Kedalaman total air di alur pelayaran saat muka air terendah

D = *draft* kapal (meter)

G = gerakan vertikal kapal karena gelombang..

$$= \frac{B}{2} \times \sin \alpha \longrightarrow \alpha = \text{sudut oleng kapal (diambil } 5^\circ)$$

B = lebar kapal (m)

$$z = \text{squat} = 2,4 \frac{\Delta \cdot Fr^2}{Lpp^2 \sqrt{1-Fr^2}}$$

$\Delta$  = volume air yang dipindahkan (m<sup>3</sup>)

Lpp = panjang garis air (m)

$$FR = \text{angka Fraude} = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

V = kecepatan kapal (m/s)

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

h = kedalaman air (m)

P = Ketelitian pengukuran.

R = Ruang kebebasan bersih (*clearance*) sebagai pengaman antara lunas dengan dasar laut.

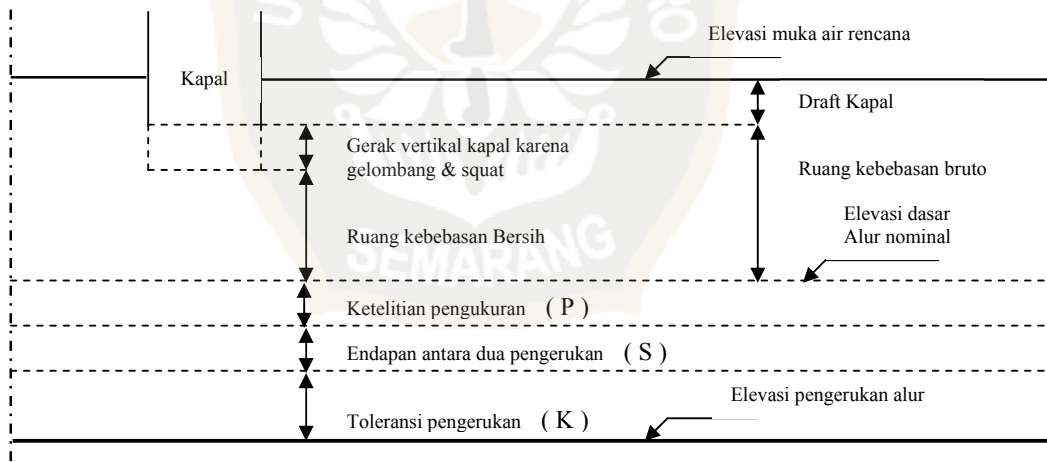
Pantai pasir = 0,50 m.

Karang = 1,00 m

S = Endapan sedimen diantara dua pengerukan.

K = Toleransi pengerukan.

$$P + S + K = 1 \text{ m}$$



Gambar 2.2 Kedalaman Alur Pelayaran

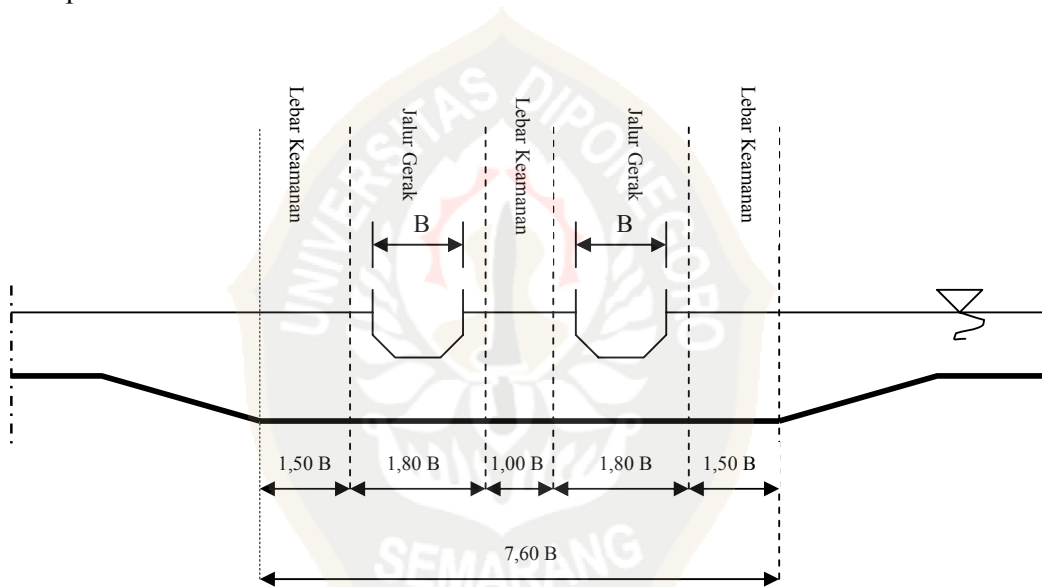
Selain menggunakan rumus di atas, kedalaman alur juga bisa dihitung berdasarkan Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, yang menyatakan bahwa kedalaman alur pelayaran tidak boleh kurang dari 1,15 kali draft maksimum kapal terbesar dan tidak boleh lebih dari 100 m. Hal ini perlu diperhatikan agar efisiensi dari pekerjaan pengerukan bisa tercapai.

### 2.4.7.2 Lebar Alur Pelayaran

Penentuan lebar alur dipengaruhi beberapa faktor :

- Lebar, kecepatan dan gerakan kapal.
- Lalu lintas kapal dan kedalaman alur.
- Angin, gelombang dan arus.

Belum ada persamaan baku yang digunakan untuk menghitung lebar alur tetapi telah ditetapkan berdasarkan lebar kapal dan faktor – faktor yang ada. Jika kapal bersimpangan maka lebar alur yang digunakan minimal adalah 3 – 4 lebar kapal.



Gambar 2.3 Lebar Alur Dua Jalur

### 2.4.7.3 Kolam Pelabuhan

Apabila dermaga digunakan untuk tambatan tiga kapal atau kurang lebar kolam diantara dermaga adalah sama dengan panjang kapal, sedangkan dermaga untuk empat kapal atau lebih lebar kolam adalah  $1,5Loa$ . Kolam pelabuhan merupakan salah satu sarana penting dalam perencanaan sebuah pelabuhan. Jari-jari kolam pelabuhan ditentukan dengan rumus

$$R = Loa + 6H \quad (\text{Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 122, 1996})$$

Dimana  $R$  = jari-jari kolam pelabuhan (m)

$Loa$  = panjang kapal (m)

$H$  = kedalaman air (m)

## 2.4.8 Perencanaan Dermaga Penumpang

### 2.4.8.1 Tipe Dermaga

Pemilihan tipe dermaga dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya :

- Tinjauan topografi daerah pantai
- Beban muatan yang harus dipikul oleh dermaga.
- Jenis kapal yang akan dilayani
- Daya dukung tanah

Dari pertimbangan tersebut di atas maka bisa dipilih dermaga tipe *wharf* dengan satu atau dua tambatan. *Wharf* adalah dermaga yang dibuat sejajar pantai dan dapat dibuat berhimpit dengan garis pantai atau agak menjorok kelaut. *Wharf* dibangun apabila garis kedalaman laut hampir merata dan sejajar dengan garis pantai ( Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, 1996 ). Adapun perhitungan dermaga dengan *wharf* dua tambatan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 167, 1996) :

- Panjang dermaga :

$$L_p = n L_oa + (n-1)15,00 + (2 \times 25,00)$$

$$d = L_p - 2e$$

$$b = 3A / (d - 2e)$$

dimana :

$L_p$  = panjang dermaga (m)

$A$  = luas gudang/bangunan pelabuhan

$n$  = jumlah kapal yang bertambat

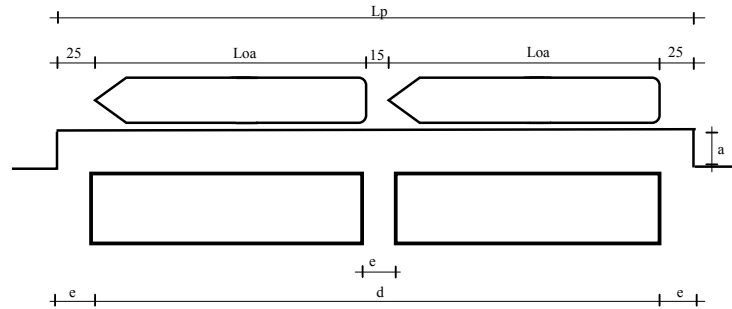
$a$  = lebar apron/dermaga

$L_oa$  = panjang kapal (m)

$b$  = lebar gudang/bangunan pelabuhan (m)

$e$  = lebar jalan (m)

$d$  = panjang gudang/bangunan pelabuhan (m)



Gambar 2.4 *Wharf* untuk dua tambatan

- Lebar dermaga

Lebar apron yang dalam hal ini juga merupakan lebar dermaga direncanakan dapat melayani lalu lintas dua jalur (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 168, 1996) :

#### 2.4.8.2 Elevasi Dermaga

Elevasi suatu dermaga dipengaruhi oleh adanya elevasi muka air rencana. Elevasi muka air rencana/*Design Water Level* (DWL) merupakan parameter yang sangat penting untuk merencanakan elevasi bangunan-bangunan pelabuhan. Elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter, yaitu pasang surut, tsunami, *wave set up*, *wind set up* dan kenaikan air laut pada permukaan (*wave run up*).

Namun dalam perencanaan ini hanya beberapa parameter saja yang menentukan diantaranya : pasang surut, *wave set up*, dan kenaikan air laut pada permukaan (*wave run up*) ditambah dengan tinggi jagaan 1 m.

- 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. Dari perhitungan pasang surut sebelumnya maka diambil muka air laut rerata (MWL), sebagai referensi untuk elevasi daratan. *Mean Water Level* (MWL) dianggap sebagai titik  $\pm 0.000$

- *Wave set up*

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *wave set down* sedangkan naiknya muka air disebut *wave set up*. Perhitungan *wave set up* adalah sebagai berikut :

*Wave set up* dihitung dengan rumus sebagai berikut (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo, hal 108, 1999) :

$$Sw = 0,19 \{ 1-2,82 \sqrt{[Hb/(gT^2)]} \} Hb$$

- *Wave run up*

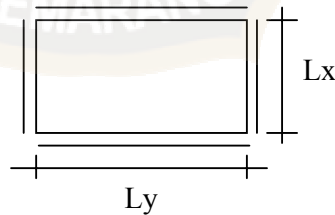
$$DWL = HWL + wave\ set\ up + wave\ run\ up$$

$$Elevasi\ DWL = HWL - MWL + wave\ set\ up + wave\ ru\ nup$$

$$Elevasi\ dermaga = DWL + tinggi\ jagaan$$

### 2.4.8.3 Plat Lantai Dermaga

Penentuan tebal plat lantai dermaga direncanakan memakai standar perhitungan dari SKSNI T-15-1991-03 yaitu untuk plat solid dua arah dengan asumsi keempat sisinya merupakan jepit, dari asumsi ini maka tebal plat dapat ditentukan sebagai berikut :



Gambar 2.5 Pemodelan plat dengan asumsi keempat sisinya jepit

$$\beta = Ly/Lx \quad (\text{SKSNI T-15-1991-03, hal 19})$$

$Ly/Lx < 3$  termasuk konstruksi penulangan 2 arah

$$h_{\min} = \frac{\ln(0,8 + fy/1500)}{36 + 9\beta}$$

$$h_{\max} = \frac{\ln(0,8 + fy/1500)}{36}$$



- Pembebanan plat lantai dan momen yang terjadi

Plat lantai dermaga direncanakan memikul beban-beban berupa beban roda, beban sendiri plat lantai dan beban hidup.

Beban mati dan beban hidup (*Dead Load* dan *Life Load*)

$$WU = 1,2 DL + 1,6 LL$$

Beban T (beban akibat roda kendaraan)

Beban akibat roda diperhitungkan hanya diterima oleh setengah dari tebal plat dan beban tersebut terdistribusi membentuk  $45^0$ . Untuk penentuan momen-momen yang ditimbulkan, perhitungannya menggunakan bantuan dari tabel bitner, yaitu sebagai berikut :

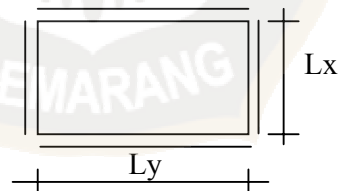
$$M_{xm} = f_{xm} \times T' \times \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{ym} = f_{ym} \times T' \times \text{luas bidang kontak}$$

Dimana nilai  $f_{xm}$  dan  $f_{ym}$  didapat dari tabel bitner.

- Penentuan momen pada plat lantai

Penentuan momen pada plat lantai mengacu pada buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang yang berdasarkan SKSNI T-15-1991-03, maka momen per meter lebar ditentukan sebagai berikut :



$$M_{lx} = 0,001 \cdot WU \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot WU \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{tx} = -0,001 \cdot WU \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot WU \cdot l_x^2 \cdot X$$

- Penulangan plat lantai

Penulangan pada plat lantai mengacu pada buku Grafik dan Perencanaan Beton Bertulang dengan rumus umum yang sering dipakai sebagai dasar adalah nilai  $\mu$  untuk masing-masing arah penulangan ( $x$  dan  $y$ ) yang didapat dari rumus sebagai berikut :

#### Penulangan lapangan dan tumpuan arah x

$$\frac{Mu}{b \cdot dx^2}$$

#### Penulangan lapangan dan tumpuan arah y

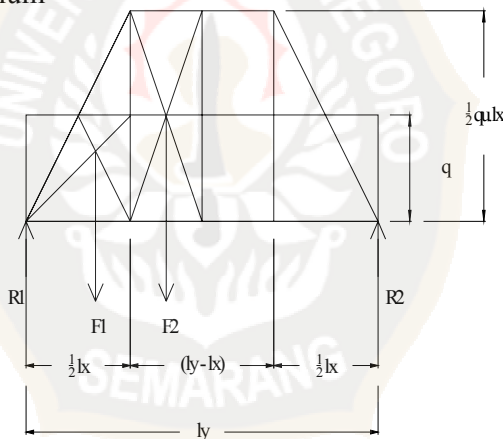
$$\frac{Mu}{b \cdot dy^2}$$

dimana Mu adalah momen yang terjadi pada plat.

#### 2.4.8.4 Balok Dermaga

Pada perhitungan balok dermaga, beban-beban yang berpengaruh pada suatu balok adalah beban trapesium dan beban segi tiga. Analisa pembebanan dan momen-momen yang terjadi untuk kedua beban tersebut adalah sebagai berikut :

- Beban Trapesium



Gambar 2.6 Pemodelan pembebanan berbentuk trapesium

$$F1 = \frac{1}{2} * (\frac{1}{2} \cdot qu \cdot lx) * (\frac{1}{2} \cdot lx) = \frac{1}{8} \cdot qu \cdot lx^2$$

$$F2 = \frac{1}{2} (ly - lx) * (\frac{1}{2} \cdot qu \cdot lx) = \frac{1}{4} qu \cdot lx \cdot ly - \frac{1}{4} qu \cdot lx^2$$

$$R1 = R2 = F1 + F2 = \frac{1}{4} qu \cdot lx \cdot ly - \frac{1}{8} qu \cdot lx^2$$

$$\begin{aligned} M_{maks \text{ trapesium}} &= R1 \cdot \frac{1}{2} ly - F1 \cdot X1 - F2 \cdot X2 \\ &= (\frac{1}{4} qu \cdot lx \cdot ly - \frac{1}{8} qu \cdot lx^2) \cdot \frac{1}{2} ly - \frac{1}{8} \cdot qu \cdot lx^2 (\frac{1}{2} ly - \\ &\quad \frac{1}{3} \cdot lx) - (\frac{1}{4} qu \cdot lx \cdot ly - \frac{1}{4} qu \cdot lx^2) \cdot (\frac{1}{4} ly - \frac{1}{4} lx) \\ &= \frac{1}{16} qu \cdot lx \cdot ly^2 - \frac{1}{48} qu \cdot lx^3 \end{aligned}$$

$$M_{maks \text{ segiempat}} = \frac{1}{8} q ly^2$$

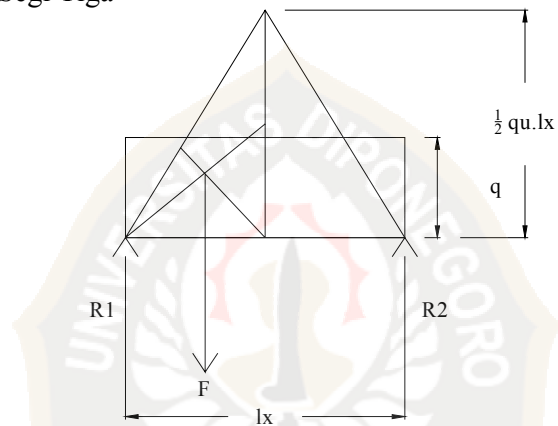
Mmaks trapesium = Mmaks segiempat

$$1/16 \text{ qu.lx.ly}^2 - 1/48 \text{ qu.lx}^3 = 1/8 \text{ q ly}^2$$

$$q = (1/2 \cdot \text{qu} \cdot \text{lx}) - (1/6 \text{ qu lx}^3/\text{ly}^2)$$

$$q = \frac{1}{2} \text{ qu lx} \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{\text{lx}}{\text{ly}} \right)^2 \right\}$$

- Beban Segi Tiga



Gambar 2.7 Pemodelan pembebanan berbentuk segi tiga

$$F = \frac{1}{2} * (1/2 \text{ qu lx}) * (1/2 \text{ lx}) = 1/8 \text{ qu lx}^2$$

$$R1 = F$$

$$\begin{aligned} \text{Mmaks segitiga} &= R1 \cdot 1/2 \text{ lx} - F \cdot 1/3 \text{ lx} \cdot 1/2 \\ &= 1/8 \text{ qu lx}^2 \cdot 1/2 \text{ lx} - 1/8 \text{ qu lx}^2 \cdot 1/6 \text{ lx} \\ &= 1/24 \text{ qu lx}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Mmaks segi empat} = 1/8 \text{ q lx}^2$$

$$\text{Mmaks segi empat} = \text{Mmaks segi tiga}$$

$$1/24 \text{ qu lx}^3 = 1/8 \text{ q lx}^2$$

$$q = 1/3 \text{ qu lx}$$

$$\text{Koefisien kejut } K = 1 + \frac{20}{50 + L}$$

(Buku Perencanaan Jembatan, Bambang Pudjianto dkk, hal 5, 2004)

$q = 2,2 \text{ ton/m}$  (untuk  $L < 30$  meter)

$q' = (q/2,75) \cdot \alpha \cdot S$  ,  $\alpha =$  faktor distribusi (diambil = 1)

$P = 12 \text{ ton}$

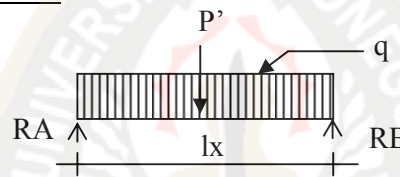
$P' = (P/2,75) \cdot \alpha \cdot S \cdot K$

$q_u = W_u + q'$

- Penulangan lentur dan geser

Penulangan lentur dan geser pada balok dermaga menggunakan acuan buku Tabel dan Perencanaan Beton Bertulang dengan memakai tabel sehingga bisa ditentukan jumlah dan diameter tulangan yang sesuai untuk balok yang telah direncanakan sebelumnya.

#### Tulangan Lentur



Momen tumpuan,  $MA = MB = (- 1/12 \cdot q \cdot l^2) + (- 1/8 \cdot P' \cdot l)$

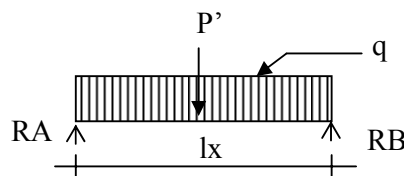
Momen lapangan (di tengah bentang )

$M_x = ( 1/24 \cdot q \cdot l^2) + (1/8 \cdot P' \cdot l)$

momen yang diambil sebagai dasar perencanaan tulangan lentur adalah momen maksimal.

#### Tulangan Geser

Dalam penentuan tulangan geser diambil gaya lintang terbesar yang terjadi pada balok



Dari pemodelan struktur di atas, maka gaya lintang yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
V_u &= (1/2 \cdot q \cdot l) + (1/2 \cdot P') \\
V_n &= V_u / \theta \\
V_c &= 0,17 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \\
V_s &= (V_n - V_c) \\
V_{s \text{ maks}} &= 0,667 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d
\end{aligned}$$

Jika  $V_{s \text{ maks}} > V_s$ , penampang dianggap cukup

Jika  $V_n > 0,5 \cdot V_c$ , maka perlu tulangan geser

Tulangan geser sengkang

$$A_v = 2.1/4 \cdot \pi \cdot d^2$$

Jarak sengkang

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{(V_n - V_c)}$$

#### 2.4.9 Tiang Pancang

Pondasi yang digunakan dalam merencanakan dermaga penumpang pelabuhan Kendal adalah pondasi tiang pancang. Daya dukung tiang pancang pada dermaga terhadap gaya horisontal yang diijinkan adakah 0,7 ton (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 184, 1996).

- Analisa Daya Dukung Tiang Pancang

1. Daya dukung terhadap kekuatan bahan

$$P \text{ tiang} = \sigma_b \cdot A \text{ tiang}$$

Menurut PBI 1997, tegangan tekan beton yang diijinkan yaitu :

$$\sigma_b = 0,33 \cdot f'c$$

dimana

$\sigma_b$  : tegangan tekan beton ( $\text{kg/cm}^2$ )

A tiang : luas tiang pancang ( $\text{cm}^2$ )

$f'c$  : mutu beton ( $\text{kg/cm}^2$ )

2. Daya dukung terhadap pemancangan

Dengan formula pancang A. Hiley dengan tipe *single acting drop hammer (diesel)* :

$$R_u = \frac{E_f \times W \times H}{\delta + \frac{1}{2}(C_1 + C_2 + C_3)} \times \frac{W + e^2 \times W_p}{W + W_p}$$

dimana :

$E_f$  = Efisiensi alat pancang = 1 \*

$W_p$  = Berat sendiri tiang pancang  
= 0,4 . 0,4 . 15 . 2,4 = 5,76 ton

$W$  = Berat *hammer*  
= 0,5  $W_p$  + 0,6 = (0,5 . 5760) + 0,6 = 3480 ton

$e$  = Koefisien pengganti beton = 0,25 \*

$H$  = Tinggi jatuh *hammer* = 2 m

$\delta$  = Penurunan tiang akibat pukulan terakhir = 0,02 \*

$C_1$  = Tekanan izin sementara pada kepala tiang dan penutup

$C_1$  = 0,01 \*

$C_2$  = Simpangan tiang akibat tekanan izin sementara

$C_2$  = 0,006xL = 0,006x15 = 0,93

$C_3$  = Tekanan izin sementara = 0,0025 \*

$R_u$  = Batas maksimal beban (ton)

\* ) Koefisien-koefisien yang ditentukan dari alat *hammer* rekomendasi dari PT. WIKA BETON

$P_a$  = Batas beban izin yang diterima tiang

$P_a$  = 1/n x  $R_u$  (n = angka keamanan, diambil 1,5)

3. Daya dukung terhadap kekuatan tanah (Berdasar data sondir )

Formula daya dukung keseimbangan tanah ini dipakai untuk tanah lempung

$$P_u = q_c . A + \sum f . R$$

dimana :

$P_u$  = Daya dukung batas pondasi tiang pancang (ton)

$q_c$  = Nilai konus ( $t/cm^2$ )

$A$  = Luas penampang tiang pancang ( $cm^2$ )

$\Sigma t_f$  = *total friction* ( $t/cm$ )

$R$  = Keliling penampang tiang pancang (cm)

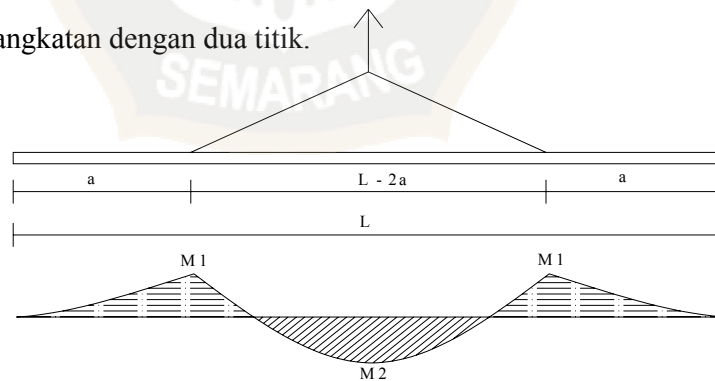
- **Pembebanan pada Tiang Pancang**

Beban yang bekerja pada tiang pancang adalah beban terbesar dari penyebaran beban dari plat dan balok.

- **Penulangan Pada Tiang Pancang**

Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan. Pengangkatan tiang pancang dapat dilaksanakan dengan 2 (dua) cara yang berbeda yaitu dengan dua titik atau satu titik pengangkatan. Adapun pemodelan struktur pada saat tiang pancang diangkat dapat dimodelkan sebagai berikut dengan dua kondisi yang berbeda :

1. Pengangkatan dengan dua titik.



Gambar 2.8 Pengangkatan tiang pancang dengan dua titik

Mencari momen yang terjadi pada titik 1 dan titik 2 dengan persamaan berikut

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L-2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$4 \cdot a^2 + 4 \cdot a \cdot L - L^2 = 0$$

$$a = 0,209 L$$

$$q = A \times \gamma_{\text{beton}}$$

dimana

M1 : besarnya momen yang terjadi pada titik 1 ( ton meter )

M2 : besarnya momen yang terjadi pada titik 2 ( ton meter )

L : panjang segmen tiang pancang ( meter )

q : berat segmen tiang pancang ( ton/meter )

## 2. Pengangkatan dengan satu titik



Gambar 2.9 Pengangkatan tiang pancang dengan satu titik

Mencari momen yang terjadi pada titik 1 dan titik 2 dengan persamaan berikut

$$M1 = M2$$

$$\frac{1}{2} q \cdot a^2 = \frac{1}{2} q \cdot [(L^2 - 2aL)^2 / 2 \cdot (L - a)]^2$$

$$a^2 = [(L^2 - 2aL)^2 / 2 \cdot (L - a)]^2$$

$$a = [(L^2 - 2aL)^2 / 2 \cdot (L - a)]$$

$$2 \cdot a^2 - 4 \cdot aL + L^2 = 0$$

$$q = A \times \gamma_{\text{beton}}$$

dimana

M1 : besarnya momen yang terjadi pada titik 1 ( ton meter )

M2 : besarnya momen yang terjadi pada titik 2 ( ton meter )

L : panjang segmen tiang pancang ( meter )

q : berat segmen tiang pancang ( ton/meter )



- Perhitungan penulangan tiang pancang

Dalam menentukan penulangan tiang pancang, besarnya momen yang digunakan dalam perhitungan adalah merupakan momen yang terbesar dari kedua kondisi yaitu pengangkatan dengan dua titik dan pengangkatan dengan satu titik.

Selanjutnya perhitungan dapat digunakan rumus – rumus berikut :

Tebal efektif beton

$$d = h - p - \emptyset_x - \frac{1}{2} \emptyset_y$$

dimana

d : tinggi efektif ( mm )

h : tinggi beton sebenarnya ( mm )

p : tebal penutup beton ( mm )

$\emptyset$ sengkang : diameter tulangan sengkang ( mm )

$\emptyset$ tul. utama : diameter tulangan utama ( mm )

Rasio tulangan

$$\rho = \frac{M_u}{b.d^2}$$

Syarat  $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ maks} \dots\dots\dots \text{aman}$

$$A_s = \rho . b . d$$

dimana

$\rho$  : rasio tulangan

$M_u$  : momen lentur (ton meter)

b : lebar beton (mm)

$A_s$  : luasan tulangan (mm<sup>2</sup>)

Untuk besarnya nilai  $\rho \text{ min}$  dan  $\rho \text{ maks}$  ditentukan menurut mutu baja (tulangan) dan mutu beton ( Dasar - Dasar Perencanaan Beton Bertulang, hal 51 s/d 53 )

Kontrol penampang :

$$\rho \text{ terpasang} = A_s \text{ terpasang} / b d$$

Syarat  $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ maks} \dots\dots\dots \text{aman}$

#### Tulangan geser

$$D = \frac{q(L^2 - 2.a.L)}{2.(L - a)}$$

$$Vu = D / \Phi$$

$$vu = \frac{Vu}{b.d}$$

dimana

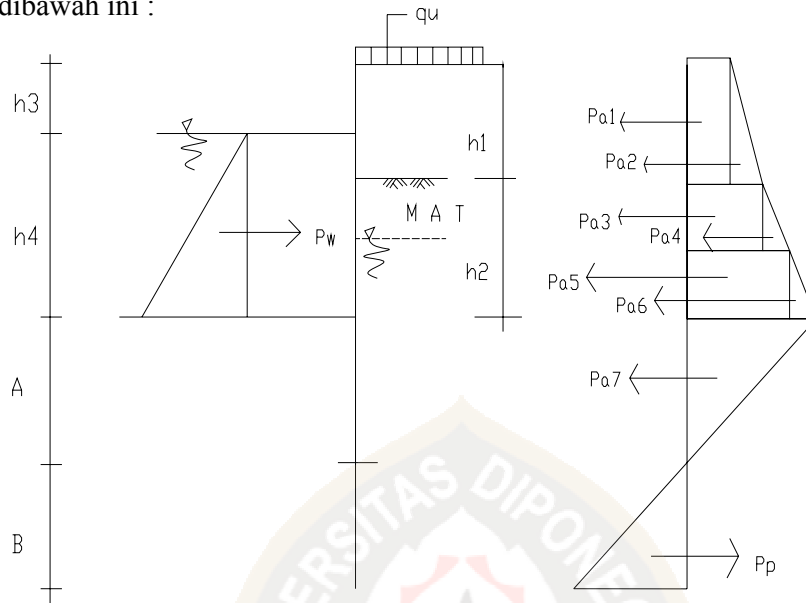
- q : beban tiang pancang
- L : panjang segmen tiang pancang
- D : besar gaya lintang
- Vu : gaya lintang setelah direduksi
- $\Phi$  : faktor reduksi kekuatan

Berdasarkan tabel 8.2b grafik dan tabel perhitungan beton bertulang, dengan mutu beto ( $f_c$ ) dengan besar  $vu$  maka dapat ditentukan besarnya tegangan geser beton ( $\phi v_c$ ), jika nilai  $\phi v_c > vu$ , berarti tidak perlu tulangan geser dan sebaliknya jika nilai  $\phi v_c < vu$ , berarti perlu tulangan geser

#### **2.4.10 Perencanaan *Sheet Pile***

*Sheet pile* yang direncanakan *sheet pile* (tanpa penjangkaran) yang terbuat dari material beton. Dalam perencanaan *sheet pile* ini diperhitungkan tekanan – tekanan tanah yang mungkin terjadi pada titik tiang pancang. Perencanaan ini menggunakan teori *Rankine*, dimana tekanan tanah yang terjadi merupakan tekanan tanah lateral. Sedangkan tekanan tanah lateral terdiri dari tekanan tanah aktif, tekanan tanah pasif dan tekanan tanah akibat residu air. Perencanaan *sheet pile* dilakukan berdasarkan metode penyederhanaan atau *simplified method*. (Konstruksi Penahan Tanah, Gunadarma, hal 94, 1997).

Pemodelan diagram tekanan tanah yang terjadi dapat dilihat tersebut dibawah ini :



Gambar 2.10 Diagram Tekanan Tanah

Cara menghitung gaya akibat tekanan tanah menurut *Rankine* :

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \theta/2)$$

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \theta/2)$$

akibat beban merata :

$$\sigma = q \cdot K_a$$

$$P = \sigma \cdot h$$

akibat tekanan tanah :

$$\sigma = h \cdot K_a \cdot \gamma$$

$$P = \frac{1}{2} \sigma \cdot h$$

dimana :

$K_a$  = koefisien tekanan tanah aktif

$K_p$  = koefisien tekanan tanah pasif

$\sigma$  = tegangan tanah ( $t/m^2$ )

$h$  = tebal lapisan (m)

$P$  = tekanan tanah (t/m)

Kedalaman pemancangan *sheet pile* ditentukan berdasarkan sigma momen tekanan – tekanan tanah yang terjadi terhadap dasar dari dinding *sheet pile*.

$$\Sigma M = 0$$

Menghitung dimensi *sheet pile* dengan menggunakan rumus tegangan lentur baja dengan terlebih dahulu mencari besarnya momen maksimum yang terjadi pada dinding *sheet pile*.

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

dimana :

$\sigma$  = tegangan lentur baja (kg/cm<sup>2</sup>)

M = momen lentur (kg cm)

W = modulus tampang (cm<sup>3</sup>)

Setelah didapatkan besarnya modulus tampang, dapat dicari dimensi *sheet pile* di dalam tabel profil baja.

#### 2.4.11 Fender

*Fender* dibangun untuk meredam pengaruh benturan kapal dengan dermaga sehingga kerusakan kapal maupun dermaga dapat dihindarkan. *Fender* harus dipasang sedemikian rupa sehingga dapat mengenai kapal. Oleh karena kapal mempunyai ukuran yang berlainan, maka *fender* harus dipasang agak tinggi pada sisi dermaga. Perencanaan *fender* dipengaruhi oleh gaya-gaya sebagai berikut :

##### Gaya benturan kapal

Pada waktu merapat ke dermaga, kapal masih mempunyai kecepatan sehingga terjadi benturan antara dermaga dengan kapal. Dalam perencanaan, dianggap bahwa benturan maksimum terjadi apabila kapal bermuatan penuh menghantam dermaga dengan sudut 10° terhadap sisi depan dermaga.

Besarnya energi benturan yang diberikan oleh kapal adalah sesuai dengan rumus berikut :

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 170, 1996)

$$E = \frac{W V^2}{2g} \times C_m \times C_e \times C_s \times C_c$$

dimana :

$E$  = energi kinetik yang timbul akibat benturan kapal (ton meter)

$V$  = komponen tegak lurus sisi dermaga dari kecepatan kapal saat membentur dermaga (m/det)

$W$  = bobot kapal (ton) ( Diktat Pelabuhan, Nirmolo, hal 91)

$$= k \times \frac{L \times B \times D}{35}$$

$k$  = koefisien kapal besar = 0,7

$L$  = panjang kapal (ft)

$B$  = lebar kapal (ft)

$D$  = *draft* (ft)

$\alpha$  = sudut penambatan kapal terhadap garis luar dermaga ( $10^\circ$ )

$g$  = gaya gravitasi bumi = 9,81 m/det<sup>2</sup>

$C_m$  = koefisien massa

$C_e$  = koefisien eksentrisitas

$C_s$  = koefisien kekerasan (diambil 1)

$C_c$  = koefisien bentuk dari tambatan ( diambil 1)

Koefisien massa tergantung pada gerakan air di sekeliling kapal yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 170 – 171, 1996)

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2 \times C_b} \frac{D}{B}$$

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} \times B \times D \times \gamma_o}$$

dimana :

$C_b$  = koefisien blok kapal

$D$  = *draft* kapal (m)

$B$  = lebar kapal (m)

$L_{pp}$  = panjang garis air (m)

$\gamma_o$  = berat jenis air laut (t/m<sup>3</sup>)

Koefisien eksentrisitas adalah perbandingan antara energi sisa dan energi kinetik kapal yang merapat, dan dapat dihitung dengan rumus :

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 171, 1996)

$$C_e = \frac{l}{l + (l/r)^2}$$

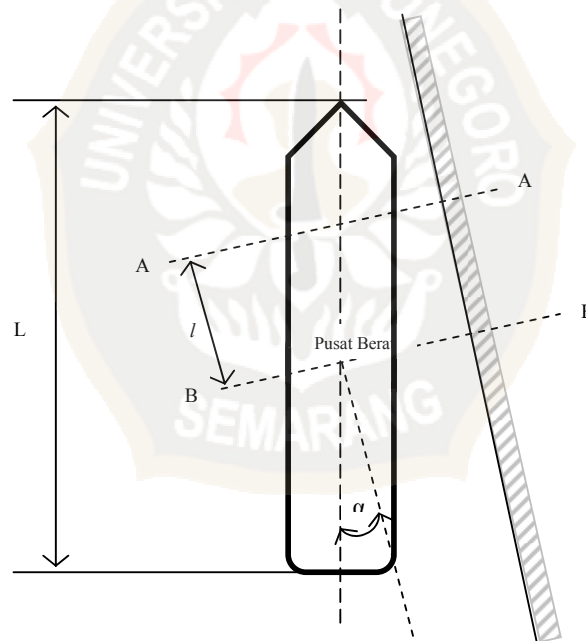
dimana :

$l$  = jarak sepanjang permukaan air dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal (m)

$l$  =  $\frac{1}{4}$  Loa (dermaga) (m)

$l$  =  $\frac{1}{6}$  Loa (*dolphin*) (m)

$r$  = jari – jari putaran disekeliling pusat berat kapal pada permukaan air (m)



Gambar 2.11 Sudut benturan kapal

dimana :

$L$  = Loa =panjang kapal

$A$  = titik sandar kapal

$B$  = pusat berat kapal

### Gaya perlawanan kapal

Energi yang diserap oleh sistem *fender* dan dermaga biasanya ditetapkan setengah dari gaya benturan kapal ( $1/2 E$ ), setengah gaya yang lain diserap oleh kapal dan air. Energi yang membentur dermaga adalah  $1/2 E$ . Karena benturan tersebut, *fender* memberikan gaya reaksi  $F$  yang mengakibatkan defleksi *fender* sebesar  $d$ , maka terdapat hubungan sebagai berikut (Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 205, 1996) :

$$F \cdot 1/2 \cdot \delta = 1/2 \cdot E$$

$$\frac{W}{2g} V^2 = 1/2 F \cdot d$$

$$F = \frac{W}{2g\delta} V^2$$

### Jarak maksimum antar fender

Jarak maksimum antar fender ( $L$ ) bisa dihitung dengan rumus :

(Pelabuhan, Bambang Triatmodjo, hal 207, 1996)

$$L = 2 \cdot \sqrt{r^2 - (r - h)^2}$$

Dari tabel dari OCDI (1991) untuk tiap-tiap kedalaman air memberikan jarak maksimum antar *fender* yang berbeda.

dimana :

$F$  = gaya benturan yang diserap oleh sistem fender (ton meter)

$W$  = bobot kapal bermuatan penuh (ton)

$\delta$  = defleksi fender (khusus kayu dibagi 20) (mm)

$V$  = komponen kecepatan kapal dalam arah tegak lurus sisi dermaga (m/det)

$g$  = percepatan gravitasi = 9,81 m/det<sup>2</sup>

$L$  = jarak antar fender (m)

$r$  = jari-jari kelengkungan sisi haluan kapal (m)

$h$  = tinggi fender (m)

#### 2.4.12 Alat Penambat (*Bolder*)

Pada perencanaan dermaga penumpang pelabuhan Kendal digunakan alat penambat tipe *bollard*. Adapun fungsi *bolder* adalah untuk menambatkan kapal agar tidak mengalami pergerakan yang dapat mengganggu baik pada aktifitas bongkar muat maupun lalu lintas kapal lainnya. *Bolder* yang digunakan pada perencanaan dermaga ini menggunakan bahan dari baja.





