

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. UMUM

Dalam perencanaan suatu pekerjaan konstruksi dibutuhkan dasar-dasar perencanaan agar dapat diketahui spesifikasi yang menjadi acuan dalam perhitungan dan pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Dasar-dasar perencanaan dibutuhkan juga untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi perencanaan tersebut, masalah-masalah yang akan dihadapi dan cara penyelesaiannya.

Untuk mendapatkan hasil yang terbaik dalam pelaksanaan suatu pekerjaan dituntut adanya perencanaan yang matang dengan dasar-dasar perencanaan yang baik.

2.2. MACAM-MACAM PELABUHAN

Pelabuhan mempunyai arti yang luas, diantaranya :

a. Menurut Undang-Undang No. 21 Tahun 1992 tentang Pelayaran

Pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar berlabuh, naik turun penumpang maupun bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi.

b. Menurut Ensiklopedia Indonesia

Pelabuhan adalah tempat kapal berlabuh (membuang sauh). Pelabuhan modern cukup dilengkapi dengan los-los dan gudang besar, beserta pangkalan, *dok* dan *crane* yang kuat untuk membongkar dan memuat perbekalan, batubara dan lain-lain.

c. Menurut Bambang Triatmodjo

Pelabuhan adalah daerah perairan yang terlindung terhadap gelombang, yang dilengkapi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga di mana kapal dapat bertambat untuk bongkar muat barang. *Crane* untuk bongkar muat barang, gudang laut dan tempat-tempat penyimpanan di mana kapal membongkar muatannya, dan gudang-gudang di mana barang-barang dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama selama menunggu pengiriman ke daerah tujuan atau pengapalan.

Pelabuhan dapat dibagi dalam beberapa kategori menurut penggunaannya, antara lain pelabuhan ikan, pelabuhan minyak, pelabuhan barang, pelabuhan penumpang, pelabuhan campuran, pelabuhan militer. Dalam hal ini yang akan kita bahas adalah pelabuhan penumpang dan pelabuhan barang.

2.2.1. Pelabuhan Penumpang

Pelabuhan penumpang adalah pelabuhan yang dibangun untuk memberikan fasilitas bagi kegiatan yang berhubungan dengan kebutuhan orang yang bepergian. Pada pelabuhan penumpang dilengkapi dengan stasiun penumpang yang mencakup fasilitas-fasilitas seperti kantor imigrasi, keamanan, direksi pelabuhan, maskapai pelayaran, dan sebagainya. Barang-barang yang perlu dibongkar muat tidak begitu banyak, sehingga gudang barang tidak perlu besar. Untuk kelancaran keluar masuknya penumpang dan barang, sebaiknya jalan masuk dan keluar dipisahkan. Penumpang melalui lantai atas dengan menggunakan jembatan langsung ke kapal, sedang barang-barang melalui dermaga.

2.2.2. Pelabuhan Barang

Pelabuhan barang tidak banyak berbeda dengan pelabuhan penumpang. Pelabuhan ini mempunyai dermaga yang dilengkapi dengan fasilitas untuk bongkar muat barang. Pelabuhan dapat berada di pantai atau estuari dari sungai besar. Daerah perairan pelabuhan harus cukup tenang sehingga memudahkan bongkar muat barang. Pelabuhan barang ini bisa dibuat oleh pemerintah sebagai pelabuhan niaga atau perusahaan swasta untuk keperluan transpor hasil produksi seperti baja, aluminium, pupuk, batu bara, minyak dan sebagainya.

Pada dasarnya pelabuhan barang harus mempunyai perlengkapan-perengkapan sebagai berikut :

- a. Dermaga harus panjang dan harus dapat menampung seluruh panjang kapal atau setidaknya 80 % dari panjang kapal. Hal ini disebabkan karena muatan dibongkar muat melalui bagian muka, belakang dan di tengah kapal.
- b. Mempunyai halaman dermaga yang cukup lebar untuk keperluan bongkar muat barang. Barang yang akan dimuat disiapkan di atas dermaga dan kemudian diangkat dengan *crane* masuk kapal. Demikian pula pembongkarannya dilakukan dengan *crane* dan barang diletakkan di atas dermaga yang kemudian diangkut ke gudang.
- c. Mempunyai gudang transit/ penyimpanan di belakang halaman dermaga.
- d. Tersedia jalan dan halaman untuk pengambilan/ pemasukan barang dari dan ke gudang serta mempunyai fasilitas untuk reparasi.

Sebelum barang dimuat dalam kapal atau setelah diturunkan dari kapal maka barang muatan tersebut ditempatkan pada halaman dermaga. Bentuk halaman dermaga tergantung pada jenis muatannya yang bisa berupa :

- a. Barang-barang potongan (*gerenal cargo*) yaitu barang-barang yang dikirim dalam bentuk satuan seperti mobil, truk, mesin, dan

barang-barang yang dibungkus dalam peti, karung, drum, dan sebagainya.

- b. Muatan curah/ lepas (*bulk cargo*) yang dimuat tanpa pembungkus seperti batu bara, biji-bijian, minyak dan sebagainya.
- c. Peti kemas (*container*), yaitu suatu peti yang ukurannya telah distandarisasi sebagai pembungkus barang-barang yang dikirim. Karena ukurannya teratur dan sama maka penempatannya akan lebih cepat dan pengangkutannya dapat dilakukan dengan alat tersendiri yang lebih efisien.

2.3. DASAR-DASAR PERENCANAAN PELABUHAN PENUMPANG DAN BARANG

Dalam perencanaan pelabuhan penumpang dan barang harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Penyediaan fasilitas dasar pelabuhan penumpang dan barang.
- Tersedianya ruang gerak yang leluasa bagi kapal di dalam pelabuhan.
- Alur yang baik untuk memudahkan kapal keluar masuk pelabuhan.
- Tersedianya fasilitas pendukung seperti air bersih, BBM, dll.
- Mempunyai jaringan angkutan darat yang mudah dengan daerah pendukungnya.

Dalam perencanaan pembangunan pelabuhan ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan sehubungan dengan kondisi lapangan yang ada, antara lain :

- Topografi dan situasi
- Angin
- Pasang surut
- Gelombang
- Kondisi tanah
- Karakteristik kapal

Faktor-faktor tersebut harus sudah diperhitungkan dengan tepat untuk menghasilkan perencanaan pelabuhan yang benar-benar baik.

2.3.1. Topografi dan Situasi

Keadaan topografi daratan dan bawah laut harus memungkinkan untuk membangun suatu pelabuhan dan kemungkinan untuk pengembangan di masa mendatang. Daerah daratan harus cukup luas untuk membangun suatu fasilitas pelabuhan seperti dermaga, jalan, gudang dan juga daerah industri. Apabila daerah daratan sempit maka pantai harus cukup luas dan dangkal untuk memungkinkan perluasan daratan dengan melakukan penimbunan pantai tersebut. Daerah yang akan digunakan untuk perairan pelabuhan harus mempunyai kedalaman yang cukup sehingga kapal-kapal bisa masuk ke pelabuhan.

Selain keadaan tersebut, kondisi geologi juga perlu diteliti mengenai sulit tidaknya melakukan pengerukan daerah perairan dan kemungkinan menggunakan hasil pengerukan tersebut untuk menimbun tempat lain.

2.3.2. Angin

Angin terjadi karena perbedaan tekanan udara, sehingga udara mengalir dari tempat yang bertekanan rendah menuju daerah yang bertekanan tinggi. Angin sangat berpengaruh dalam perencanaan pelabuhan karena angin :

- Mengendalikan kapal pada gerbang.
- Memberikan gaya horisontal pada kapal dan bangunan pelabuhan.
- Mengakibatkan terjadinya gelombang laut yang menimbulkan gaya yang bekerja pada bangunan pelabuhan.
- Mempengaruhi kecepatan arus, dimana kecepatan arus yang rendah dapat menimbulkan sedimentasi.

2.3.3. Pasang Surut

Pasang surut terjadi karena adanya gaya tarik benda-benda langit yaitu matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Tinggi pasang surut adalah amplitudo total dari variasi muka air tertinggi (puncak air pasang) dan muka air terendah.

Permukaan air laut yang berubah berpengaruh terhadap perencanaan kedalaman alur pelabuhan dan elevasi dasar pelabuhan. Kedalaman kolam pelabuhan diperhitungkan terhadap keadaan surut rendah (LWL), *draft* kapal serta kelonggaran bawah. Elevasi lantai dermaga diperhitungkan terhadap keadaan pasang yang tinggi (HWL), disamping faktor-faktor yang lain seperti kenaikan air (*water set up*).

2.3.4. Gelombang

Gelombang dapat terjadi karena angin, pasang surut, gangguan buatan seperti gerakan kapal dan gempa bumi. Pengaruh gelombang terhadap perencanaan pelabuhan antara lain :

- Besar kecilnya gelombang sangat menentukan dimensi dan kedalaman bangunan pemecah gelombang.
- Gelombang menimbulkan gaya tambahan yang harus diterima oleh kapal dan bangunan dermaga.

Besarnya gelombang laut tergantung dari beberapa faktor, yaitu :

- Kecepatan angin.
- Lamanya angin bertiup.
- Kedalaman laut dan luasnya perairan.

Pada perencanaan pelabuhan penumpang dan barang diusahakan tinggi gelombang serendah mungkin, dengan pembuatan pemecah gelombang maka akan terjadi defraksi (pembelokan arah dan perubahan karakteristik) gelombang.

Gelombang merupakan faktor utama dalam penentuan tata letak (*lay out*) pelabuhan, alur pelayaran dan perencanaan bangunan pantai

(Triatmodjo, 1996). Oleh karena itu, pengetahuan tentang gelombang harus dipahami dengan baik.

Menurut Triatmodjo (1999), gelombang di laut menurut gaya pembangkitnya dapat dibedakan antara lain sebagai berikut :

1. Gelombang angin
2. Gelombang pasang surut
3. Gelombang tsunami
4. Gelombang karena pergerakan kapal

Untuk perencanaan bangunan pantai, yang paling penting dan berpengaruh adalah gelombang angin dan gelombang pasang surut.

2.3.4.1. Fetch

Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Cara untuk mendapatkan *fetch* efektif dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.1)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 100)

Di mana :

F_{eff} = *fetch* rerata efektif

X_i = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

α = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6^0 sampai sudut sebesar 42^0 pada kedua sisi dari arah angin.

2.3.4.2. Karakteristik Gelombang

Teori yang paling sederhana dan dasar adalah teori gelombang amplitudo kecil dan teori gelombang linier yang dikemukakan oleh Airy, dimana :

$$\text{Periode (T)} = \sqrt{\frac{2\pi d}{g}} \text{ atau } T^2 = \frac{2\pi d}{g} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Panjang gelombang (L)} = \frac{gT^2}{2\pi} \text{ (meter)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Kecepatan gelombang (C)} = \frac{L}{T} \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Frekuensi (f)} = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.5)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 62)

dimana :

T = Periode (detik)

π = Konstanta; 3,14

d = Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (meter)

g = Percepatan grafitasi bumi (m/s²)

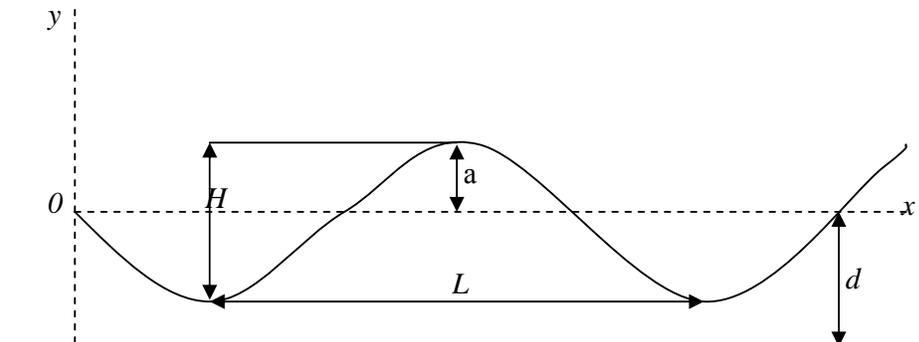
L = Panjang gelombang (meter)

C = Kecepatan gelombang (m/s)

f = Frekuensi (hertz)

2.3.4.3. Geometri Gelombang

Pada gambar dibawah ini menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat xy dan arah penjalaran gelombang.



Gambar 2.1. Sket gelombang (sumber Triatmodjo, 1996)

Keterangan notasi :

a = Amplitudo gelombang

H = Tinggi gelombang = $2 a$

L = Panjang gelombang (meter)

d = Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (meter)

Sehingga akan didapat nilai C sebagai fungsi T dan d yaitu

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

Dan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman yaitu :

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

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 62)

2.3.4.4 Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air (d) dan panjang gelombang (L), (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Gelombang di laut dangkal, jika $d/L \leq \frac{1}{20}$
2. Gelombang di laut transisi, jika $\frac{1}{20} < d/L < \frac{1}{2}$
3. Gelombang dilaut dalam, jika $d/L \geq \frac{1}{2}$

Apabila kedalaman relatif d/L adalah lebih besar dari 0,5 dan nilai $\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = 1,0$, persamaan 2.6 dan 2.7 menjadi :

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \dots\dots\dots (2.9)$$

Indeks $(_0)$ menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut adalah untuk kondisi laut dalam.

Apabila percepatan gravitasi (g) adalah 9,81 m/s², maka :

$$C_0 = 1,56 T$$

$$L_0 = 1,56 T^2$$

Apabila kedalaman relatif adalah kurang dari $\frac{1}{20}$ nilai $\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = \frac{2\pi d}{L}$, persamaan 2.6 dan 2.7 menjadi :

$$C = \sqrt{gd} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$L = \sqrt{gd} T = CT \dots\dots\dots (2.11)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 63-64)

Hal diatas menunjukkan bahwa di laut dangkal, cepat rambat (C) dan panjang gelombang (L) hanya tergantung pada kedalaman air.

Untuk kondisi gelombang di laut transisi, yaitu jika $\frac{1}{20} < d/L < \frac{1}{2}$, maka cepat rambat dan panjang gelombang di hitung dengan persamaan :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad \text{dan} \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}, \text{ sehingga}$$

persamaan 2.6 dan 2.7 menjadi :

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L}{L_0} = \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 64)

Persamaan di atas dapat digunakan untuk menghitung panjang gelombang di setiap kedalaman apabila panjang gelombang di laut dalam diketahui.

2.3.4.5 Deformasi Gelombang

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. Dalam perencanaan pelabuhan, pengetahuan akan deformasi gelombang sangat dibutuhkan karena faktor-faktor deformasi gelombang tersebut akan sangat mempengaruhi dalam pembuatan desain atau *lay out* pelabuhan sehingga fungsi dari pelabuhan menjadi efektif untuk meredam energi gelombang yang datang dari laut lepas (Triatmodjo, 1996)

a. Gelombang Laut Dalam Ekivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekivalen, yaitu tinggi gelombang di laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi.

Tinggi gelombang laut dalam ekivalen menurut Triatmodjo (1996) diberikan oleh bentuk :

$$H'_o = K'KrHo \dots\dots\dots (2.13)$$

(*Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 83*)

Dimana

H'_o = Tinggi gelombang laut dalam ekivalen

Ho = Tinggi gelombang laut dalam

K' = Koefisien difraksi

Kr = Koefisien refraksi

b. Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Tinjauan refleksi gelombang ini sangat penting dalam perencanaan pelabuhan. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidak-tenangan di dalam perairan pelabuhan. Untuk mendapatkan ketenangan di kolam pelabuhan, maka bangunan yang ada di pelabuhan harus bisa menyerap energi gelombang.

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

$$X = \frac{H_r}{H_i} \dots\dots\dots (2.14)$$

(*Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 83*)

Koefisien refleksi bangunan diperkirakan berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan menurut Triatmodjo (1996) diberikan pada Tabel 2.1.

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 : Triatmodjo (1996), Pelabuhan

c. Difraksi Gelombang

Difraksi gelombang terjadi ketika terdapat 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)

d. Refraksi Gelombang

Triatmodjo (1999) pada buku Teknik Pantai menyebutkan bahwa di laut dalam gelombang menjalar tanpa dipengaruhi oleh dasar laut. Akan tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Kecepatan rambat gelombang tergantung pada kedalaman air di mana gelombang menjalar, di

mana gelombang yang berada di air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil dari pada gelombang yang berada di air yang lebih dalam. Apabila cepat rambat gelombang berkurang, panjang gelombang juga berkurang secara linier. Variasi cepat rambat gelombang terjadi sepanjang garis puncak gelombang yang bergerak dengan membentuk sudut terhadap garis kedalaman laut. Variasi tersebut menyebabkan puncak gelombang membelok dan berusaha untuk sejajar dengan kontur dasar laut.

Pada studi refraksi, digunakan anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. Energi gelombang antara dua orthogonal adalah konstan
2. Arah penjalaran gelombang tegak lurus pada puncak gelombang, yaitu dalam arah orthogonal gelombang
3. Cepat rambat gelombang yang mempunyai periode tertentu di suatu tempat hanya tergantung pada kedalaman tempat tersebut
4. Perubahan topografi adalah berangsur-angsur
5. Gelombang mempunyai puncak yang panjang, periode konstan, amplitudo kecil dan monokromatik
6. Pengaruh angin, arus, dan refleksi dari pantai dan perubahan topografi dasar laut diabaikan

Persamaan cepat rambat gelombang mempunyai persamaan umum :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.15)$$

Di laut dalam persamaan di atas menjadi

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \dots\dots\dots (2.16)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 63)

dimana :

C = Cepat rambat gelombang (m/s)

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

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

L = Panjang gelombang (meter)

π = Konstanta; 3,14

d = Kedalaman laut (meter)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa Co 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 2.14 menjadi persamaan

$$C = \sqrt{gd} \dots\dots\dots (2.17)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 64)

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

$$H_1 = K_s.K_r.H_0 \dots\dots\dots (2.18)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 73)

dimana :

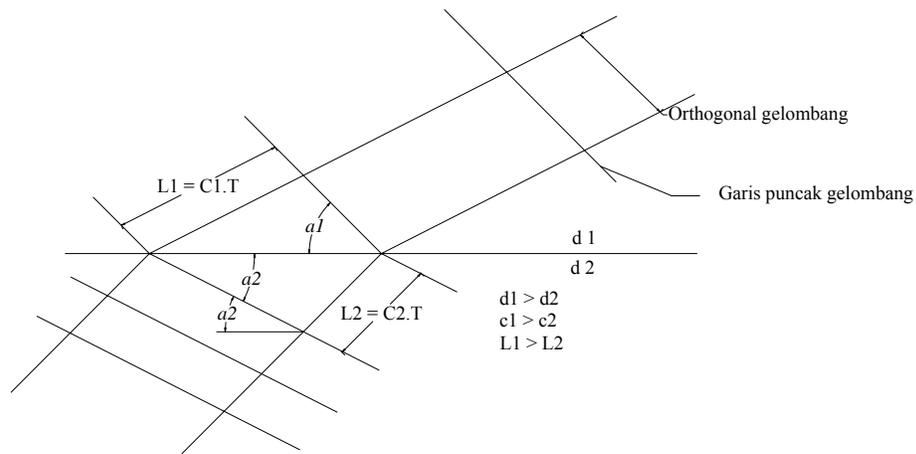
H₁ = Tinggi gelombang setelah mengalami refraksi

K_s = Koefisien pendangkalan

K_r = Koefisien refraksi

H₀ = Tinggi gelombang sebelum mengalami refraksi

Proses refraksi gelombang adalah sama dengan refraksi cahaya karena cahaya melintasi dua buah media perantara yang berbeda kerapatannya. Dengan kesamaan sifat tersebut, maka pemakaian hukum Snell pada optik dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah refraksi gelombang karena perubahan kedalaman



Gambar 2.2 Hukum Snell untuk refraksi gelombang

Sumber : Triatmodjo, 1996

Pada gambar di atas, suatu deretan gelombang menjalar dari laut dengan kedalaman d_1 menuju kedalaman d_2 . Karena adanya perubahan kedalaman maka cepat rambat dan panjang gelombang berkurang dari C_1 dan L_1 menjadi C_2 dan L_2 . Sesuai hukum Snell, berlaku :

$$\sin \alpha_2 = \left(\frac{C_2}{C_1} \right) \sin \alpha_1 \dots\dots\dots (2.19)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 73)

dimana :

α_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
- α_1 = Sudut antara garis puncak gelombang dengan garis kontur dasar laut dititik 1

Sehingga koefisien refraksi adalah

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} \dots\dots\dots (2.20)$$

(*Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 74*)

dimana :

- α_0 = Sudut antara garis puncak gelombang dilaut dalam dan garis kontur dasar laut
- Kr = Koefisien refraksi
- α_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.

e. Gelombang Pecah

Triatmodjo (1999) menyatakan bahwa 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 :

$$\frac{H_b}{H_o} = \frac{1}{3.3(H_o/L_o)^{1/3}} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} \dots\dots\dots (2.22)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 90)

Parameter H_b/H_o disebut dengan indek tinggi gelombang pecah.

Persamaan 2.21 dan 2.22 tidak memberikan pengaruh kemiringan dasar laut terhadap gelombang pecah. Beberapa peneliti lain (Iversen, Galvin, Goda : dalam CERC, 1984) membuktikan bahwa H_b/H_o dan d_b/H_b tergantung pada kemiringan pantai dan kemiringan gelombang datang. Untuk menunjukkan hubungan antara H_b/H_o dan H_b/L_o untuk berbagai kemiringan dasar laut, dibuat grafik. 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 persamaan 2.21 dan persamaan 2.22

Gelombang pecah menurut Triatmodjo (1996), dapat dibedakan menjadi tiga tipe berikut ini :

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.

2.3.4.6 Spektrum Gelombang

Prinsip analisis dari spektrum gelombang adalah menguraikan suatu gelombang *irregular* (tidak teratur) menjadi suatu susunan dari gelombang teratur dari berbagai frekuensi dan tinggi gelombang. Sedangkan yang dimaksud dengan spektrum energi gelombang adalah kurva hubungan antara kepadatan energi gelombang dan periode atau frekuensi dari suatu pencatatan gelombang. Luas area di bawah spektrum energi sama dengan energi rerata gelombang tercatat yang dibuat spektrumnya. Dari spektrum gelombang yang di dapat akan diperoleh harga tinggi dan periode gelombang (H dan T)

➤ Spektrum Pierson-Moskowitz

Spektrum ini diusulkan oleh Pearson dan Moskowitz (1964) sebagai formula yang baru untuk sebuah distribusi spektrum energi yang dibangkitkan oleh angin berdasarkan teori Kitaigorodskii dan pencatatan datanya yang lebih akurat. Model spektrum ini menggambarkan "*fully developed sea*" dengan parameter utama kecepatan angin. Persamaan model spektrum ini adalah :

$$S(\omega) = a g^2 \omega^{-5} \exp[(-0,74(\omega U_w / g)^{-4}] \dots\dots\dots (2.23)$$

(Chakrabakti, 1987)

dimana :

a = 0,0081

U_w = kecepatan angin

ω = $2\pi / T$

T = periode

2.3.5. Kondisi Tanah

Kondisi tanah ini sangat penting, terutama diperlukan dalam penentuan jenis pondasi yang digunakan dan perhitungan dimensinya berdasarkan daya dukung tanah di lokasi perencanaan bangunan.

2.3.6. Karakteristik Kapal

Selain data kapal perlu diketahui juga sifat dan fungsi kapal untuk mengetahui ukuran-ukuran teknis pelabuhan. Kapasitas angkut kapal biasanya diukur dalam DWT (*Dead Weight Tonage*) yaitu kemampuan daya angkut barang dalam kapal. Satuan kapal diukur dalam GT (*Gross Tonage*) yaitu jumlah isi dari ruang kapal secara keseluruhan. Satuan untuk ukuran ruang muat kapal disebut NRT (*Netto Registered Ton*) yaitu kapasitas jumlah isi ruang kapal yang dapat disewakan untuk dapat dimuati barang sebagai selisih dari BRT (*Bruto Registered Ton*) dengan jumlah isi ruang kapal yang tidak disewakan. Dari ukuran tersebut dapat ditentukan dimensi kapal.

2.4. PERENCANAAN FASILITAS DASAR

2.4.1. Kedalaman Alur

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kedalaman alur ideal yaitu:

$$H = d + G + R + P + S + K \dots\dots\dots (2.24)$$

(*Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 112*)

Dimana :

H = Kedalaman alur pelayaran (meter)

d = *Draft* kapal (meter)

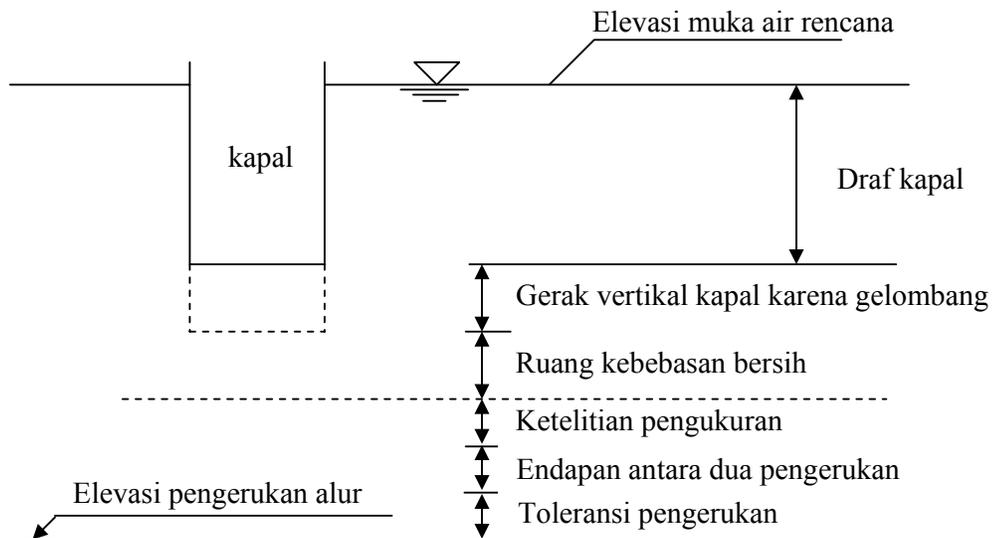
G = Gerak vertikal kapal karena gelombang (toleransi max 0,5 m)

R = Ruang kebebasan bersih, minimum 0,5 m untuk dasar laut berpasir dan 1,0 m untuk dasar karang)

P = Ketelitian pengukuran (meter)

S = Pengendalian sedimen antara dua pengerukan (meter)

K = Toleransi pengerukan (meter)



Gambar 2.3. Kedalaman Alur Pelayaran

2.4.2. Lebar Alur Pelayaran

Lebar alur tergantung pada beberapa faktor, yaitu :

1. Lebar, kecepatan dan gerakan kapal
2. *Trafic* kapal apakah alur direncanakan untuk satu atau dua jalur
3. Kedalaman alur
4. Apakah alur sempit atau lebar
5. Stabilitas tebing alur
6. Angin, gelombang, arus, dan arus melintang dalam alur

Belum ada persamaan yang baku untuk menghitung lebar alur tetapi dalam hal ini ditetapkan berdasarkan lebar kapal terbesar dan faktor-faktor yang ada. Pada alur untuk satu jalur (tidak bersimpangan) lebar alur adalah 3-4 kali lebar kapal terbesar. Jika kapal boleh bersimpangan, lebar alur 6-7 kali lebar kapal terbesar.

2.4.3. Dermaga

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Dasar pertimbangan dalam perancangan dermaga:

- Panjang dan lebar dermaga disesuaikan dengan kapasitas/ jumlah kapal yang akan berlabuh.
- Lebar dermaga dipilih sedemikian rupa sehingga paling menguntungkan terhadap fasilitas darat yang tersedia seperti kantor dan gudang dengan masih mempertimbangkan kedalaman air.

➤ Tipe Dermaga

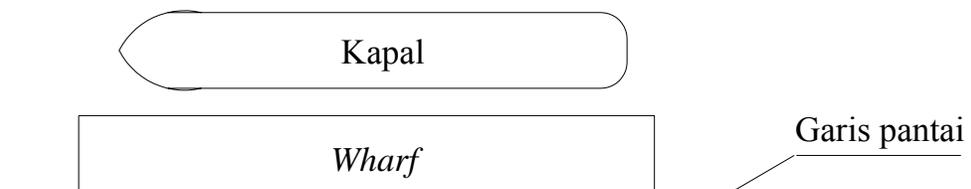
Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam pemilihan tipe dermaga adalah sebagai berikut :

- Topografi daerah pantai
- Jenis dan ukuran kapal yang dilayani
- Beban muatan yang harus dipikul dermaga
- Daya dukung tanah perairan yang bersangkutan

Ada dua macam tipe dermaga yaitu :

1. Tipe *Wharf*

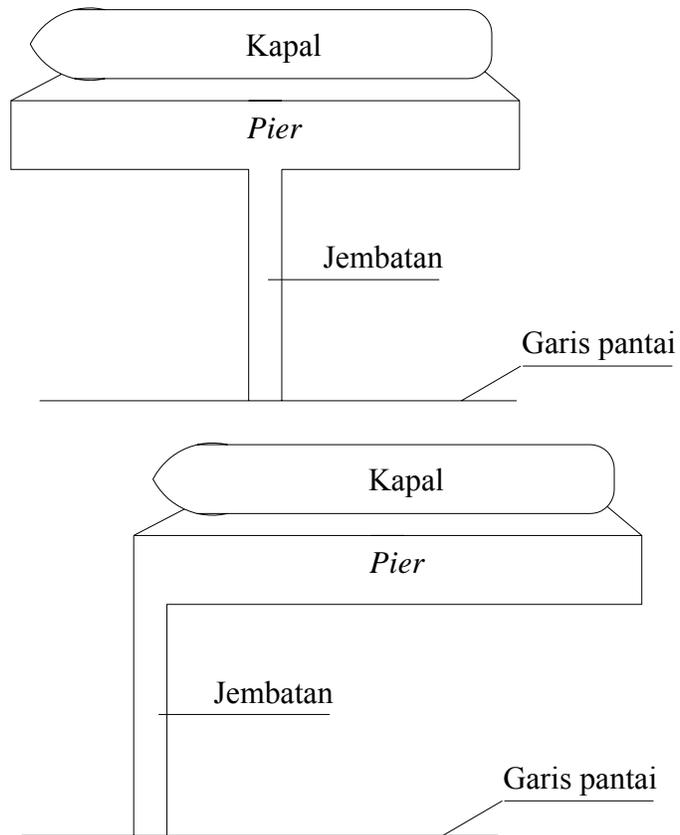
Adalah dermaga yang dibuat sejajar dengan garis pantai dan dapat dibuat berimpit dengan garis pantai atau agak menjorok.



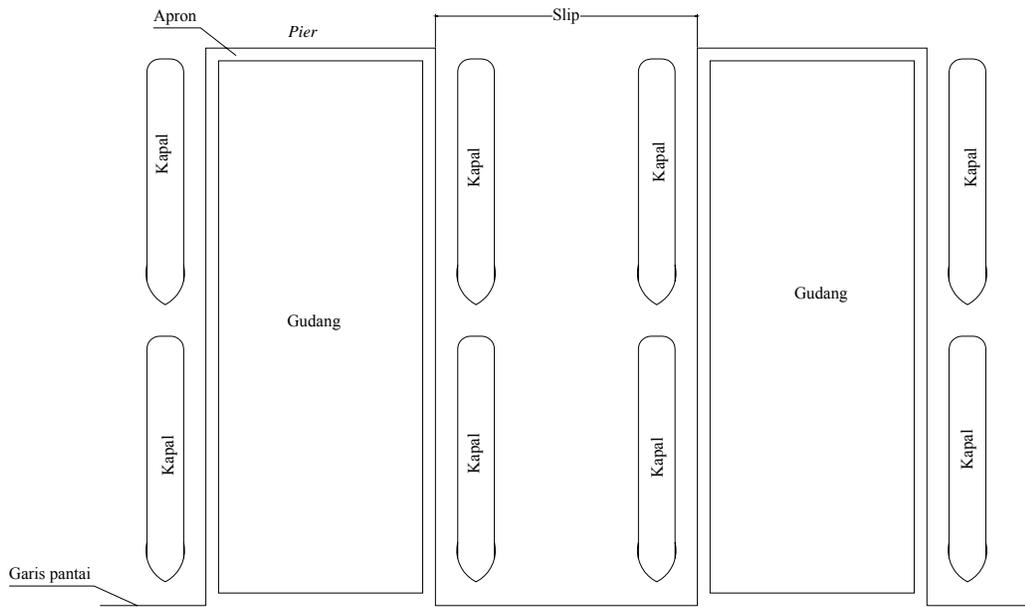
Gambar 2.4. Bentuk Wharf

2. Tipe *Pier*

Adalah dermaga yang dibangun dengan membentuk sudut terhadap garis pantai. Ada tiga macam bentuk *pier* yaitu bentuk T, bentuk L dan bentuk jari.



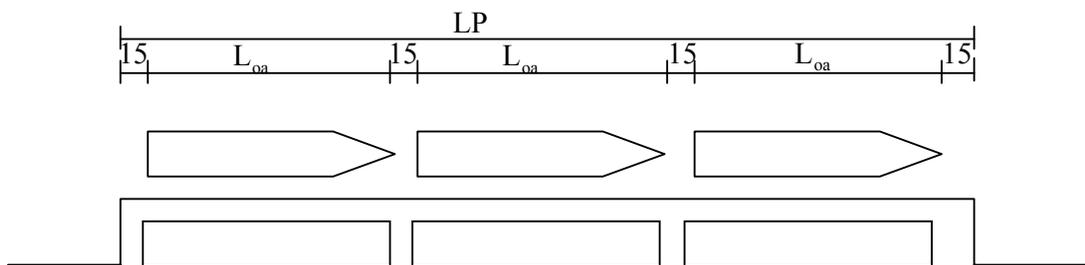
Gambar 2.5. Pier bentuk T dan L



Gambar 2.6. Pier bentuk jari

➤ **Panjang Dermaga**

Persamaan yang digunakan untuk menentukan panjang dermaga disesuaikan dengan jumlah kapal yang akan berlabuh dalam satu waktu. Misal ada tiga kapal yang berlabuh dalam satu waktu.



Gambar 2.7. Panjang Dermaga

$$L_p = n L_{oa} + (n - 1)15 + 30 \dots\dots\dots (2.25)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 167)

Dimana :

LP = Panjang dermaga (meter)

n = Jumlah kapal yang ditambat

L_{oa} = Panjang kapal yang ditambat

➤ **Lebar Dermaga**

Lebar dermaga yang disediakan untuk bongkar muat penumpang dan barang disesuaikan dengan kebutuhan ruang yang tergantung pada aktifitas bongkar muat dan persiapan berlayar.

➤ **Beban Rencana**

- Beban horisontal (*lateral load*)

Beban horisontal yang bekerja pada dermaga terdiri dari gaya benturan kapal saat bersandar dan gaya tarik kapal saat melakukan penambatan di dermaga. Untuk mencegah hancurnya dermaga karena pengaruh benturan kapal, maka gaya benturan kapal diperhitungkan berdasarkan bobot kapal dengan muatan penuh dan dengan memasang *fender* di sepanjang tepi dermaga.

- Beban vertikal (*vertical load*)

Beban vertikal terdiri dari total beban mati konstruksi dermaga dengan total beban hidup yang bekerja pada konstruksi dermaga tersebut.

➤ **Konstruksi Dermaga**

Perhitungan konstruksi dermaga meliputi perhitungan lantai dermaga dan perhitungan balok, yaitu balok tepi, balok memanjang, dan balok melintang. Pembebanan yang terjadi pada plat lantai dan balok dermaga meliputi beban mati (*dead load*) yang berupa beban sendiri, beban air hujan dan beban hidup (*life load*) yang berupa beban orang dan barang. Perencanaan beban tersebut berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku dan peraturan perencanaan beton bertulang menggunakan SKSNI-T15-1991-03.

2.4.4. Pondasi Dermaga

Pada umumnya pondasi tiang pancang dipancang kedalam tegak lurus ke dalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk dapat menahan gaya-gaya horisontal maka tiang pancang akan dipancang miring. Agar dapat merencanakan pondasi tiang pancang yang benar, maka perlu mengetahui beban-beban yang bekerja pada konstruksi di atas bangunan tersebut.

➤ Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

1. Terhadap kekuatan bahan

$$A \text{ tiang} = F_b + n F_e \dots\dots\dots (2.26)$$

$$P \text{ tiang} = \sigma_b \times A \text{ tiang} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\sigma_b = 0.33 \sigma_k \dots\dots\dots (2.28)$$

(Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II)

dimana :

F_b = Luas penampang dasar tiang pancang

nF_e = Luas selimut tiang pancang

P = Daya dukung

σ_b = $0.33 \sigma_k$

σ_k = Tegangan ijin bahan

2. Terhadap pemancangan

Dengan rumus pancang A. Hiley dengan tipe *single acting drop hammer*.

$$RU = \frac{E_f \times W \times H}{\delta + \frac{1}{2}(C_1 + C_2 + C_3)} \times \frac{W + e^2 \times w_p}{W + W_p} \dots\dots\dots (2.29)$$

(Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II)

Dimana :

E_f = Efisiensi alat pancang

W_p = Berat sendiri tiang pancang

W = Berat *hammer*

e = Koefisien pengganti beton

H = Tinggi jatuh *hammer*

δ = Penurunan tiang akibat pukulan terakhir

C1 = Tekanan izin sementara pada kepala tiang dan penutup

C2 = Simpangan tiang akibat tekanan izin sementara

C3 = Tekanan izin sementara

Ru = Batas maksimal beban (ton)

Pa = Batas beban izin yang diterima tiang

$Pa = 1/n \times Ru$

3. Terhadap kekuatan tanah

Dengan rumus daya dukung pondasi tiang pancang Mayerhoff (1956)

$$Q_{ult} = 40 N_b \cdot A_b + 0,2 \cdot \bar{N} \cdot A_s \dots\dots\dots (2.30)$$

(Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II)

Dimana :

Q_{ult} = Daya dukung batas pondasi tiang pancang (ton)

N_b = Nilai N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_b = Luas penampang dasar tiang (m²)

\bar{N} = Nilai N-SPT rata-rata

A_s = Luas selimut tiang (m²)

Dari perhitungan daya dukung tiang pancang di atas diambil nilai terkecil.

➤ **Perhitungan Efisiensi Tiang**

Efisiensi grup tiang pancang :

$$Eff = 1 - \frac{\theta}{90} \left\{ \frac{(n-1)m + (m-1)^n}{m \cdot n} \right\} \dots\dots\dots (2.31)$$

(Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II)

Dimana :

m = jumlah baris

n = jumlah tiang dalam satu baris

$$\theta = \text{arc tan } (d/s)$$

d = diameter tiang

s = jarak antar tiang (as ke as)

Dengan memperhitungkan efisiensi, maka daya dukung tiang pancang tunggal menjadi :

$$Q = \text{Eff} \times Q \text{ tiang} \dots\dots\dots (2.32)$$

(Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II)

➤ **Perhitungan Tekanan Pada Kelompok Tiang (gaya vertikal)**

$$P \text{ beban} = \frac{pv}{n} \pm \frac{My \times X_{\max}}{n_y \times \sum(x^2)} \pm \frac{Mx \times Y_{\max}}{n_x \times \sum(y^2)} \dots\dots\dots (2.33)$$

(Muhrozi, Diktat Mata Kuliah Rekayasa Pondasi II)

Dimana :

n = Banyaknya tiang pancang

X max = Jarak terjauh ditinjau dari sumbu x

Y max = Jarak terjauh ditinjau dari sumbu y

$\sum(x^2)$ = Jumlah kuadrat absis tiang pancang

$\sum(y^2)$ = Jumlah kuadrat ordinat tiang pancang

n_x = Jumlah tiang pancang tiap baris pada arah x

n_y = Jumlah tiang pancang tiap baris pada arah y

➤ **Penulangan Tiang pancang**

Untuk perhitungan penulangan tiang pancang, diambil pada kondisi momen-momen yang terjadi yaitu momen akibat pengangkatan satu titik dan pengangkatan dua titik serta akibat beban di atasnya.

2.4.5. Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang (*breakwater*) yang umum digunakan ada dua macam yaitu:

- a. Pemecah gelombang yang dihubungkan dengan pantai (*shore connected breakwater*).
- b. Pemecah gelombang lepas pantai (*off shore breakwater*)

Adapun tipe pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu :

1. Pemecah gelombang sisi miring
2. Pemecah gelombang sisi tegak
3. Pemecah gelombang campuran

Pemecah gelombang berfungsi untuk melindungi kolam pelabuhan, pantai dan fasilitas pelabuhan dari gangguan gelombang yang dapat mempengaruhi keamanan dan kelancaran aktifitas di pelabuhan. Pemilihan pemecah gelombang ditentukan dengan melihat hal-hal sebagai berikut :

- Bahan yang tersedia di sekitar lokasi
- Besar gelombang
- Pasang surut air laut
- Kondisi tanah dasar laut
- Peralatan yang dibuat untuk pembuatannya

Untuk perencanaan bentuk dan kestabilan pemecah gelombang perlu diketahui :

- Tinggi muka air laut akibat adanya pasang surut.
- Tinggi puncak gelombang dari permukaan air tenang.
- Perkiraan tinggi dan panjang gelombang.
- *Run up* gelombang

Berat batuan yang digunakan sebagai konstruksi pemecah gelombang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$W = \frac{\gamma H^3}{K_D (Sr - 1)^3 \cot \theta} \dots\dots\dots(2.34)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 133)

Dimana :

W = Berat batuan pelindung (ton)

Sr = *Specific gravity* = γ / γ_w

γ = Berat jenis batu (ton/m³)

γ_w = Berat jenis air laut (ton/m³)

H = Tinggi gelombang rencana (m)

K_D = Koefisien stabilitas (tergantung jenis lapis pelindung)

θ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

Rumus diatas hanya berlaku pada keadaan :

- Gerak gelombang tegak lurus *breakwater*
- Tidak terlalu *overlapping*

Semakin besar kedalaman, besar dan kekuatan gelombang semakin berkurang sehingga semakin bertambah kedalaman ukuran batu yang digunakan semakin kecil.

Dalam menentukan elevasi puncak *breakwater* digunakan rumus :

$$Elv = HWL + Ru + 0,5 \dots\dots\dots(2.35)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 143)

Dimana :

HWL = Muka air tinggi

Ru = *Run up* (tinggi rambat gelombang saat membentur *breakwater*)

0,5 = Tinggi kebebasan aman dari *run up* maksimal.

Penentuan lebar puncak *breakwater* dihitung dengan rumus :

$$B = nK\Delta \left[\frac{W}{\gamma r} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(2.36)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 137)

Dimana :

B = lebar puncak *breakwater*

n = Jumlah butir batu (min = 3)

K Δ = Koefisien lapis pelindung

W = Berat butir pelindung

γ r = berat jenis batu pelindung

Jumlah butir batu tiap satu luasan dihitung :

$$N = A n K \Delta \left[1 - \frac{P}{100} \right] \left[\frac{\gamma r}{W} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(2.37)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 138)

Dimana :

N = Jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A

A = Luas Permukaan

P = Porositas dari lapisan Pelindung (%)

2.4.6. Fender

Fender dibangun untuk meredam benturan kapal dengan dermaga sehingga kerusakan kapal maupun dermaga dapat dihindarkan. *Fender* ini berfungsi untuk menyerap setengah gaya yang dihasilkan akibat benturan kapal (0,5 E) dan sisanya ditahan oleh konstruksi dermaga

Besarnya energi yang terjadi akibat benturan dapat dipakai rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{W \cdot V^2}{2g} C_m C_e C_s C_c \dots\dots\dots(2.46)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 170)

Dimana :

E = Energi kinetik yang timbul akibat benturan kapal (tonmeter)

W = berat kapal (ton/m/detik²)

V = kecepatan kapal saat merapat (meter/detik)

g = gaya grafitasi bumi

C_m = Koefisien Massa

C_e = Koefisien Eksentrisitas

C_s = Koefisien Kekerasan (diambil 1)

C_c = Koefisien Bentuk dari tambatan (diambil 1)

Khusus untuk kecepatan kapal dapat ditentukan pada tabel di bawah ini

Tabel 2.2. Kecepatan kapal

Ukuran Kapal (DWT)	Kecepatan Merapat (m/det)	
	Pelabuhan	Laut Terbuka
Sampai 500	0,25	0,30
500-10.000	0,15	0,20
10.000-30.000	0,15	0,15
Lebih dari 30.000	0,12	0,15

Sumber : Triatmodjo (1996), Pelabuhan

Koefisien massa tergantung dari gerakan air di sekeliling kapal yang dihitung dengan persamaan :

$$T_m = 1 + \frac{\pi x d}{2 C_b \cdot B} \dots\dots\dots(2.47)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 170)

Dimana :

d = Draft kapal (m)

C_b = Koefisien blok kapal

B = Lebar kapal (m)

Sedangkan Cb didapat dari persamaan sebagai berikut :

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} \cdot B \cdot d \cdot \gamma_0} \dots\dots\dots(2.48)$$

(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 171)

Dimana :

L_{pp} = Panjang garis air

γ_0 = Berat jenis air = 1,025 Kg/m³

Sedangkan koefisien *eksentrisitas* adalah perbandingan antara energi sisa dengan energi kapal yang merapat dan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$C_c = \frac{1}{1 + (l/r)^2} \dots\dots\dots(2.49)$$

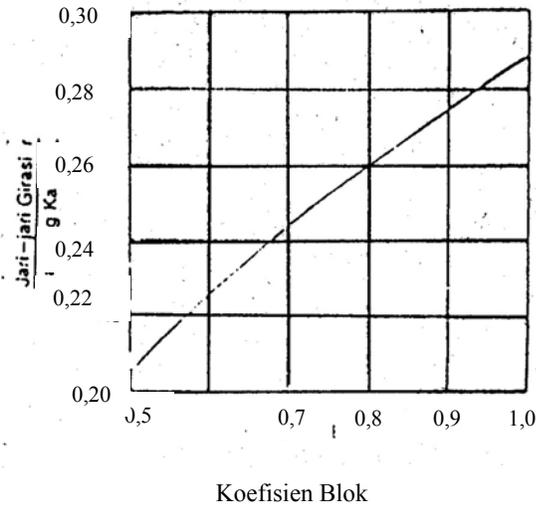
(Bambang Triatmodjo, Pelabuhan hal 171)

Dimana :

l = jarak sepanjang permukaan air dermaga dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal
= 1/4 Loa

Loa = Panjang kapal yang ditambat

r = jari-jari putaran di sekeliling pusat gerak kapal pada permukaan air, untuk nilai r didapat dari grafik nilai r



Gambar 2.8. Grafik Nilai r

2.4.8. *Bolder* (penambat kapal)

Fungsi *bolder* atau penambat kapal adalah untuk menambatkan kapal agar tidak mengalami pergerakan yang dapat mengganggu baik pada aktifitas bongkar maupun lalu lintas kapal yang lainnya.