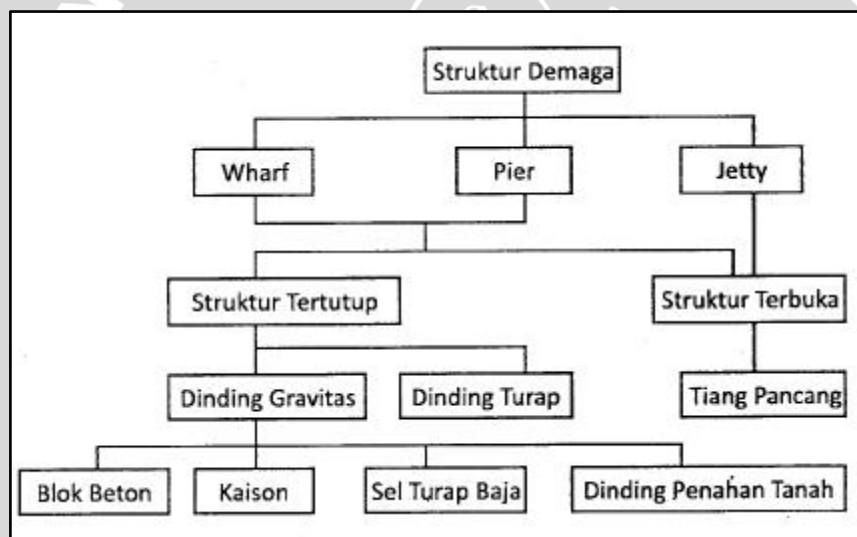


BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Definisi Dermaga

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan mendambatkan kapal yang melaksanakan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Dimensi dermaga didasarkan pada jenis dan ukuran kapal yang merapat dan bertambat pada dermaga tersebut, dalam mempertimbangkan ukuran dermaga harus didasarkan pada ukuran-ukuran minimal sehingga kapal dapat bertambat atau meninggalkan dermaga maupun melakukan bongkar muat barang dengan aman, cepat dan lancar.

Dermaga dibedakan menjadi tiga tipe yaitu *wharf* atau *quay*, *pier* dan *jetty*.



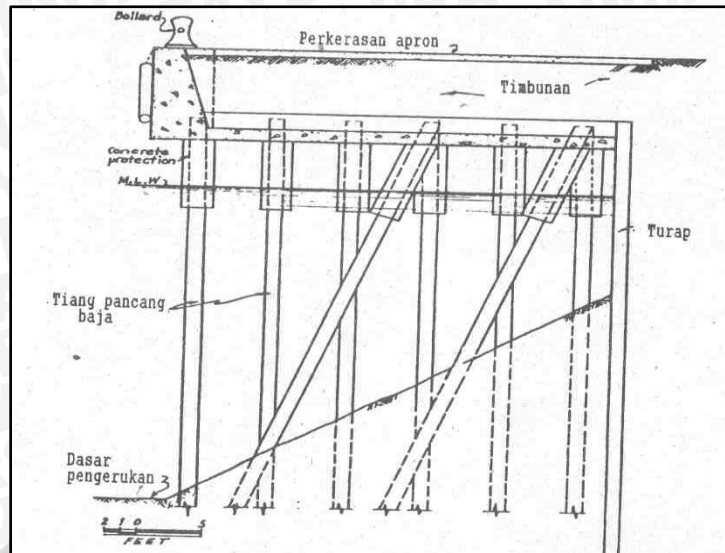
Gambar 2.1. Tipe Dermaga
Sumber: Triatmodjo, 2010 : 196

2.2. Tipe *Wharf*

Wharf adalah dermaga yang paralel dengan pantai atau dibuat sejajar pantai dan berimpit dengan garis pantai atau agak menjorok ke laut. *Wharf* dibangun apabila garis kedalaman laut hampir merata dan sejajar dengan garis pantai.

Menurut strukturnya *wharf* dibedakan menjadi 2 macam :

1. Dermaga konstruksi terbuka di mana lantai dermaga didukung oleh tiang-tiang pancang.
2. Dermaga konstruksi tertutup atau solid, seperti dinding massa, kaisan, turap dan dinding penahan tanah,

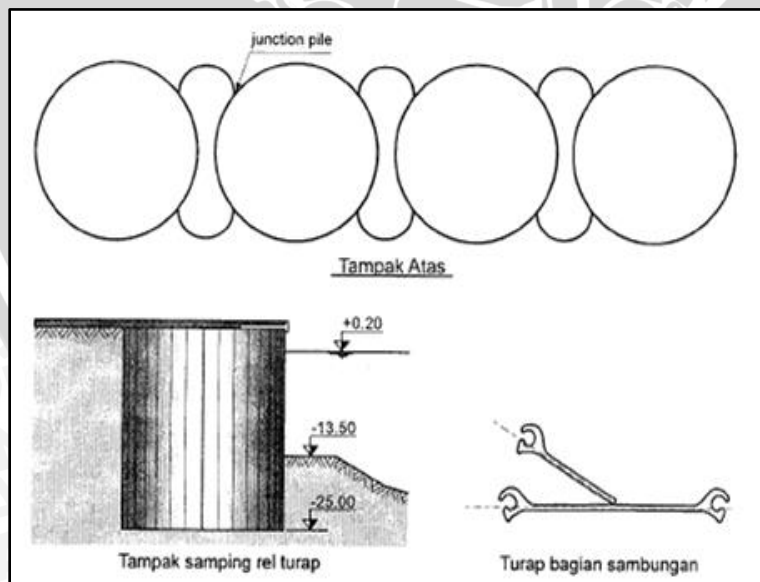


Gambar 2.2. Wharf Konstruksi Terbuka

Sumber: Triatmodjo, 1996:160

Gambar 2.2 adalah contoh *wharf* konstruksi terbuka. Balok dan slab struktur utama berada di bagian bawah yang didukung tiang-tiang dan di atasnya diberi timbunan untuk menambah berat sehingga mempunyai stabilitas yang lebih baik.

Wharf tipe tertutup biasanya berimpit dengan garis pantai dan berfungsi sebagai penahan tanah dibelakangnya. Gambar 2.3 adalah *wharf* tipe tertutup yang terbuat dari sel turap baja yang sering digunakan bila kedalaman air tidak besar dari 15 m, dan tanah dasar mampu mendukung bangunan di atasnya.



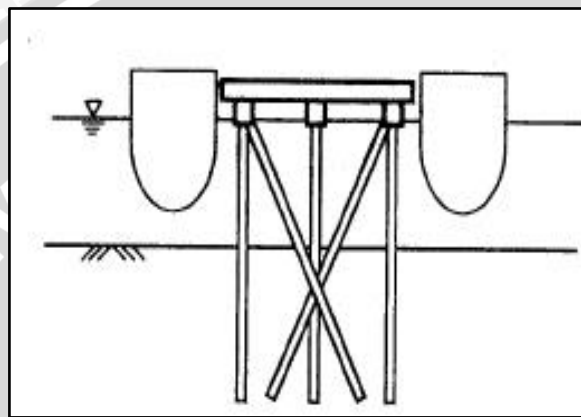
Gambar 2.3. Wharf Tipe Tertutup dari Sel Turap Baja

Sumber : Triatmodjo, 2010 : 206

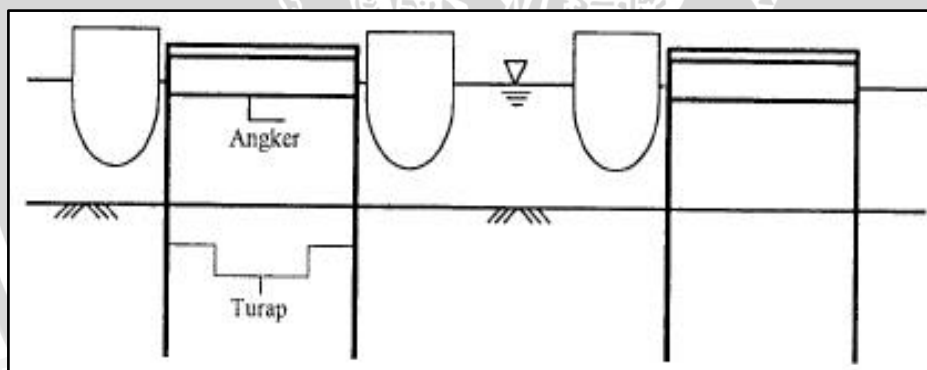
2.3. Tipe Pier

Pier adalah dermaga yang dibangun membentuk sudut terhadap garis pantai. *Pier* dapat digunakan untuk merapat kapal pada satu sisi atau dua sisinya. *Pier* berbentuk jari lebih efisien karena dapat digunakan untuk merapatnya kapal pada kedua sisinya dengan panjang dermaga yang sama. Perairan antara dua *pier* yang berdampingan disebut slip.

Seperti halnya dengan *wharf*, struktur *pier* juga bisa berupa struktur terbuka dan struktur tertutup. Pada struktur terbuka *pier* berupa balok-balok padat dan plat yang didukung tiang-tiang pancang. Gambar 2.4 adalah *Pier* tipe terbuka.



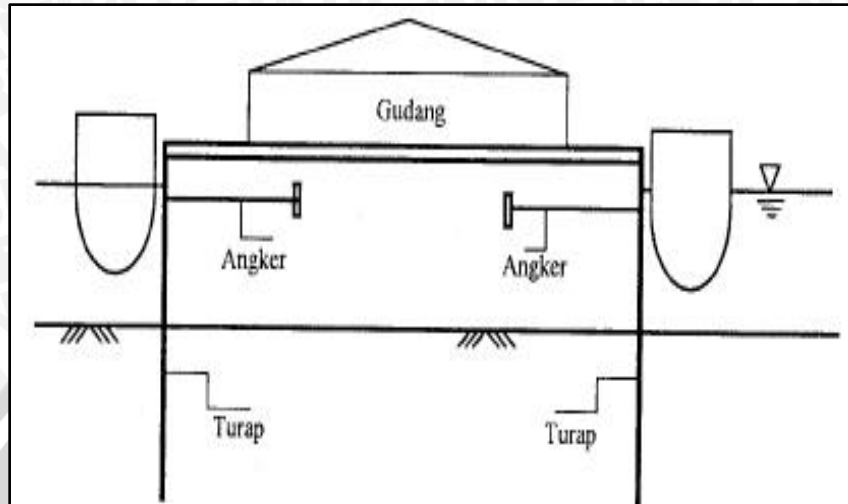
Gambar 2.4. *Pier* Tipe Terbuka
Sumber: Triatmodjo, 2010:210



Gambar 2.5. *Pier* Tipe Tertutup
Sumber: Triatmodjo, 2010:210

Pier struktur tertutup dibuat dari dua pasang turap baja beton yang dipancang secara berhadapan dan diantara kedua turap tersebut diisi pasir atau bahan timbunan lain, seperti gambar 2.5 sisi atasnya diperkeras dengan plat beton atau jenis perkerasan lainnya. Kedalaman pemancangan tergantung pada karakteristik tanah, bagian atas turap ditahan oleh angker baja untuk mengurangi momen yang terjadi pada turap dibagian bawah (jepit pada tanah). Apabila jarak antara kedua turap tidak panjang, angker tersebut dibuat menerus menghubungkan kedua turap.

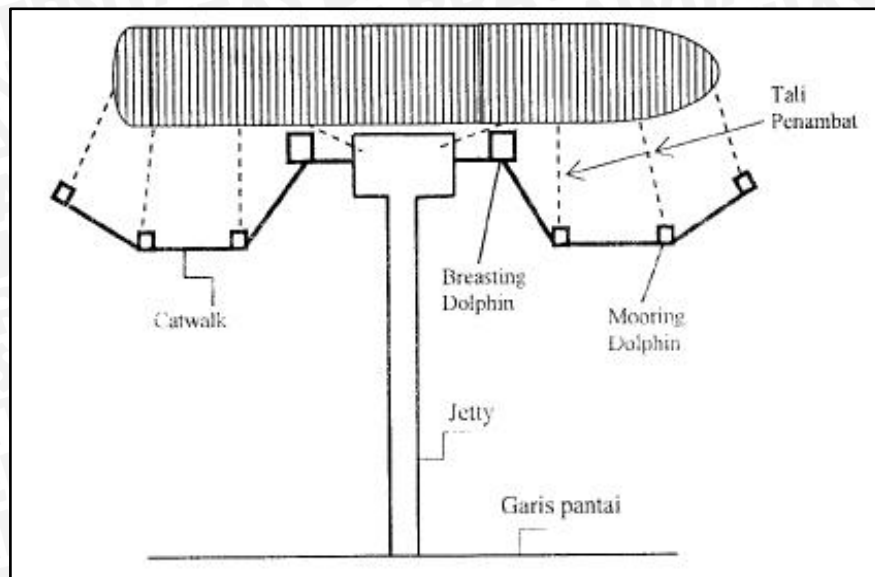
Apabila jarak antara kedua turap cukup lebar, angker yang menahan turap bagian atas bisa dibuat terpisah yang ditahan oleh plat beton (deadman) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.6. dihalaman dermaga dapat dibangun gudang dan lapangan penumpukan atau fasilitas dermaga lain.



Gambar 2.6. *Pier dengan Lebar Cukup Besar*
Sumber: Triatmodjo, 2010:210

2.4. *Jetty*

Jetty adalah dermaga yang dibangun menjorok jauh ke arah laut, dengan maksud agar ujung dermaga berada pada kedalaman yang cukup untuk merapat kapal. Pada umumnya *jetty* digunakan untuk merapat kapal tanker, kapal LNG, tongkang pengangkut batu bara. Untuk menahan benturan kapal yang merapat dipasang dolphin penahan benturan (*breasting dolphin*) di depan *jetty*. Sedang untuk mengikat kapal digunakan dolphin penambat (*mooring dolphin*). Dolphin-dolphin tersebut dihubungkan dengan *catwalk* (semacam jembatan kecil), yang berfungsi sebagai jalan petugas yang akan mengaitkan tali kapal ke dolphin. Gambar 2.7 adalah contoh *jetty* digunakan untuk merapat kapal tanker atau LNG.



Gambar 2.7. *Jetty* untuk Merapat Kapal Tangker atau LNG
Sumber: Triatmodjo, 2010:212

2.5. Pemilihan tipe dermaga

Dalam perencanaan dermaga pertimbangan-pertimbangan pokok yang diperlukan pada pemilihan tipe dermaga secara umum didasarkan pada tinjauan berikut ini.

2.5.1. Tinjauan topografi daerah pantai

Tinjauan topografi daerah pantai yang akan dibangun dermaga sangat penting dilakukan karena berkaitan dengan keamanan, efektifitas, kemudahan proses pengerjaan dan faktor ekonomis. Misalnya pada perairan yang dangkal sehingga kedalaman yang cukup agak jauh dari darat, penggunaan *jetty* akan lebih ekonomis karena tidak diperlukan pengerukan yang besar. Sedang pada lokasi dimana kemiringan dasar cukup curam, pembuatan *pier* dengan melakukan pemancangan tiang di perairan yang dalam menjadi tidak praktis dan sangat mahal. Dalam hal ini pembuatan *wharf* bisa dipandang lebih tepat. Jadi bisa disimpulkan kalau tinjauan topografi sangat mempengaruhi dalam pemilihan alternatif tipe dermaga yang direncanakan.

2.5.2. Jenis kapal yang dilayani

Jenis kapal yang dilayani berkaitan dengan dimensi dermaga yang direncanakan. Selain itu juga aktifitas yang mungkin harus dilakukan pada proses bongkar muat dan peruntukan dermaga akan mempengaruhi pertimbangan pemilihan tipe dermaga. Dermaga yang akan melayani kapal minyak (*tanker*) dan kapal barang curah mempunyai konstruksi yang ringan dibanding dengan dermaga barang potongan (*general cargo*), karena dermaga tersebut tidak memerlukan peralatan bongkar muat yang besar (*crane*), jalan kereta api, gudang-gudang dan sebagainya. Untuk melayani kapal tersebut, biasanya penggunaan *pier*

dipandang lebih ekonomis. Untuk keperluan melayani kapal tanker atau kapal barang curah yang sangat besar biasanya dibuat tambatan lepas pantai dan proses bongkar muat dilakukan menggunakan kapal yang lebih kecil atau tongkang dan barang akan dibongkar di dermaga tepi pantai yang berukuran relatif lebih kecil.

2.5.3. Aspek tanah dan geologi

Kondisi tanah sangat menentukan dalam pemilihan tipe dermaga. Pada umumnya tanah di dekat dataran memiliki daya dukung yang lebih besar dari pada tanah di dasar laut. Dasar laut umumnya terdiri dari endapan lumpur yang padat. Ditinjau dari daya dukung tanah, pembuatan *wharf* akan lebih menguntungkan. Tapi apabila tanah dasar berupa karang, pembuatan *wharf* akan mahal karena untuk mendapatkan kedalaman yang cukup di depan *wharf* diperlukan pengerukan yang besar. Dalam hal ini pembuatan *jetty* akan lebih ekonomis karena tidak diperlukan pengerukan dasar karang.

Fungsi survey penyelidikan tanah dan geologi untuk mengetahui kondisi lapisan tanah (*sub soil*) dimana hasilnya akan digunakan sebagai dasar perencanaan pondasi di lokasi dan untuk mengetahui sulit atau tidaknya melaksanakan pengerukan untuk menimbun di tempat lain. Penyelidikan tanah dilakukan dilapangan,

2.6. Kriteria Teknis Perencanaan Dermaga

2.6.1. Panjang dermaga

Untuk menentukan panjang dermaga yang akan dibangun digunakan persamaan sebagai berikut:

$$L_p = n L_{oa} + (n-1) 15,00 + (2 \times 25,00) \quad (2.1)$$

$$d = L_p - 2e \quad (2.2)$$

$$b = \frac{3A}{(d-2e)} \quad (2.3)$$

dengan:

L_p = panjang dermaga (m)

A = luas gudang (m²)

n = jumlah kapal yang bertambat

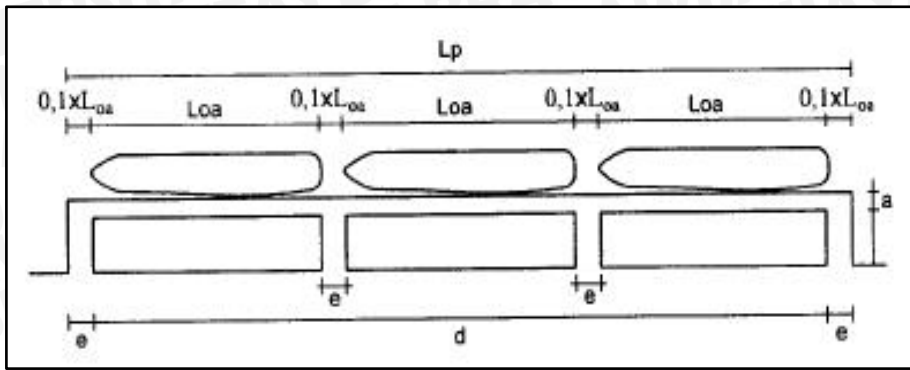
L_{oa} = panjang kapal (m)

b = lebar gudang (m)

a = lebar apron (m)

e = lebar jalan (m)

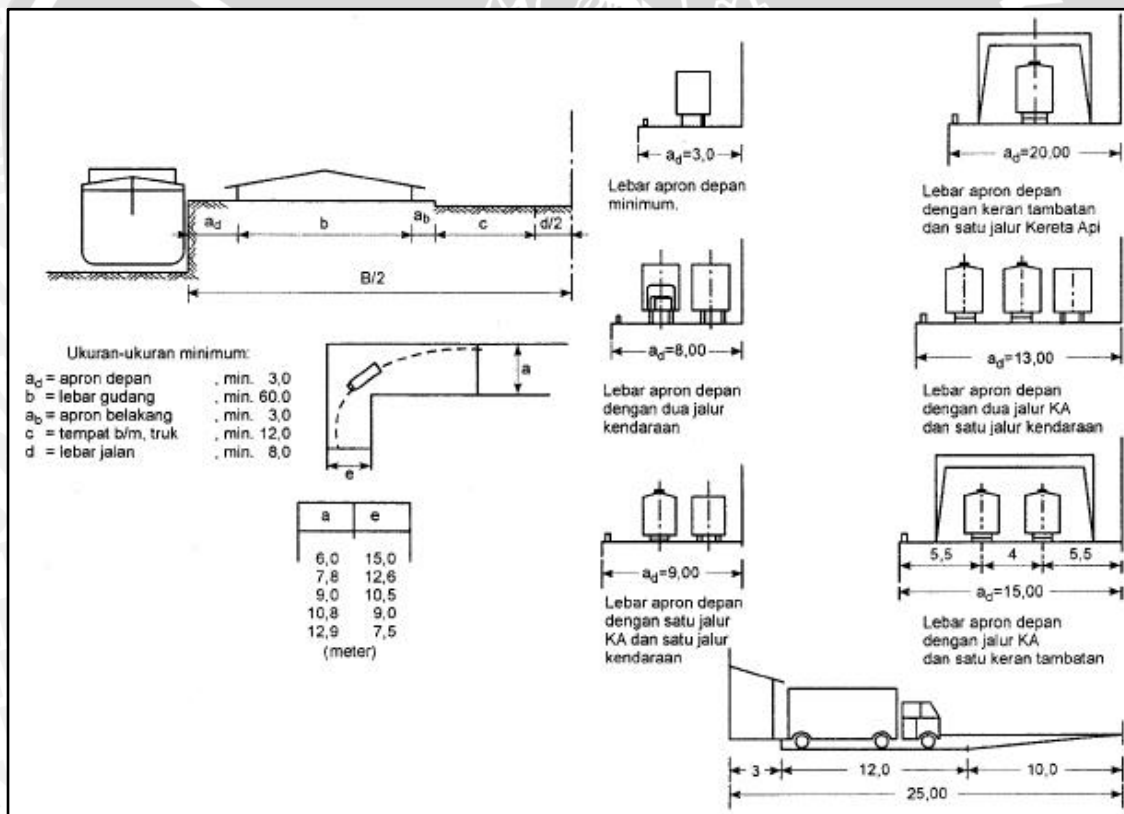
d = panjang gudang (m)



Gambar 2.8. Panjang Dermaga
 Sumber: Triatmodjo, 2010:215

2.6.2. Lebar dermaga

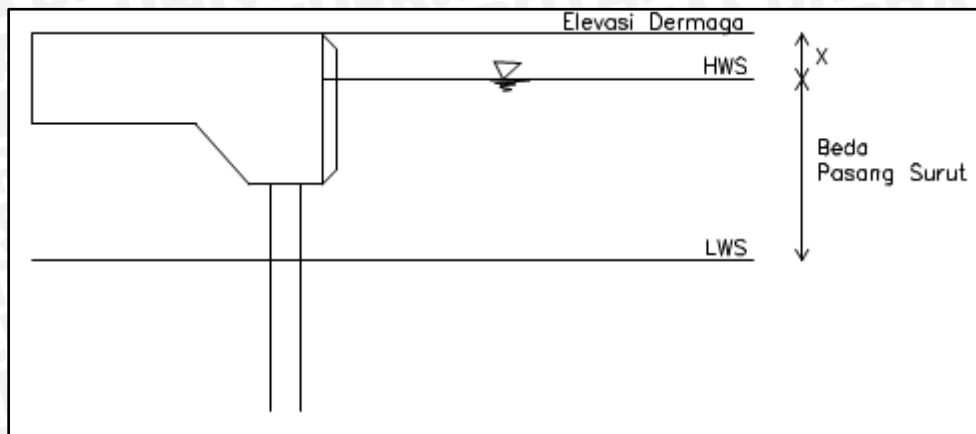
Lebar dermaga direncanakan sesuai dengan kebutuhan dermaga. Perhitungan lebar dermaga dilakukan dengan memperhitungkan jarak tepi, jarak kaki crane dan kebutuhan manuver peralatan yang berada diatas dermaga. Agar mempermudah proses bongkar muat maupun pelayanan keamanan tata letak masing masing bangunan dermaga.



Gambar 2.9. Penentuan Lebar Apron
 Sumber: Triatmodjo, 2010:216

2.6.3. Elevasi dermaga

Tinggi lantai dermaga dihitung dalam keadaan air pasang.



Gambar 2.10. Elevasi Lantai Dermaga

Sumber : hasil gambar

Elevasi dermaga menurut Bambang Triatmodjo, didapat dari elevasi hasil perhitungan pasang surut (HHWL) ditambah tinggi gelombang yang terjadi akibat angin/*fetch* di dalam kolam pelabuhan maksimum dalam pelabuhan 0,5m dan tinggi jagaan (1 m). Menurut *Standart Design Criteria of in Indonesia 1985*, elevasi dermaga ditentukan berdasarkan elevasi HWS ditambah dengan harga yang tertera pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Harga Penambahan ntuk elevasi dermaga

Kedalaman dermaga	Penambahan elevasi dermaga	
	Beda pasut > 3m	Beda pasut < 3m
Dermaga untuk kapal yang memerlukan kedalam dermaga > 4.5 m	0.5 – 1.5 m	1.0 – 3.0 m
Dermaga untuk kapal yang memerlukan kedalam dermaga < 4.5 m	0.3 – 1.0 m	0.5 – 1.5 m

Sumber : Triatmodjo, 2010 : 158

2.7. Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Dermaga

Gaya-gaya yang bekerja pada dermaga dapat dibedakan menjadi gaya lateral (horisontal) dan vertikal.

2.7.1. 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:

$$E = \frac{WV^2}{2g} \times C_m \times C_e \times C_s \times C_c \quad (2.4)$$

dengan:

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

V = kecepatan kapal saat merapat (m/det)

W = displacement tonnage (ton)

$$= 1,3 * DWT \times \frac{L \times B \times D}{35}$$

L = panjang kapal (m)

B = lebar kapal (m)

D = draft (m)

α = sudut penambatan kapal terhadap garis luar dermaga (10°)

g = gaya gravitasi bumi = $9,81 \text{ m/det}^2$

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:

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2 \times C_b} \frac{d}{B} \quad (2.5)$$

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} \times B \times d \times \gamma_0} \quad (2.6)$$

dengan:

C_b = koefisien blok kapal

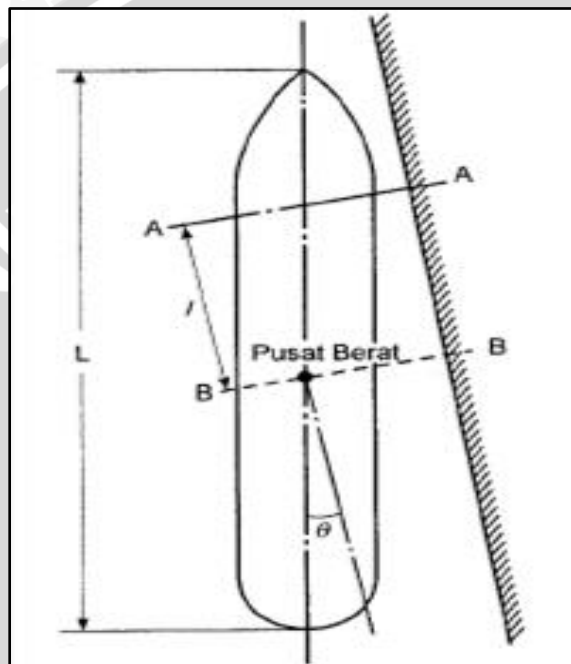
d = draft kapal (m)

B = lebar kapal (m)

L_{pp} = panjang garis air (m)

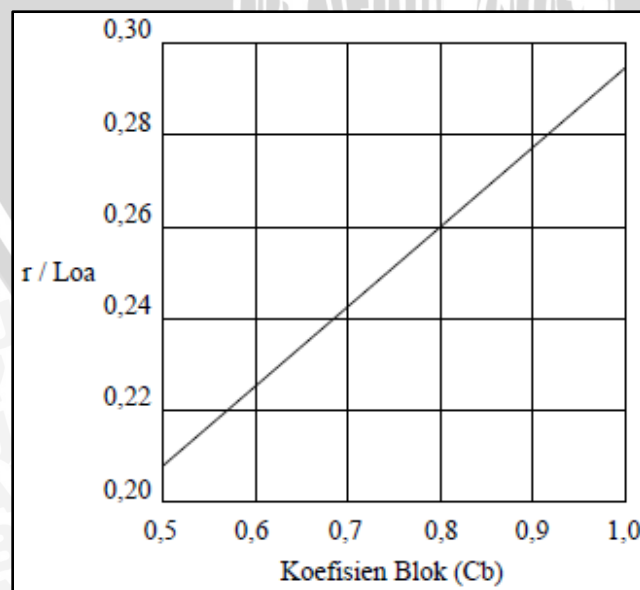
γ_o = berat jenis air laut (t/m^3)

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



Gambar 2.11. Jarak Sandar Kapal kepusat Berat Kapal

Sumber: Triatmodjo, 2010 : 121



Gambar 2.12. Grafik Koefisien Blok

Sumber: Triatmodjo, 2010 : 121

$$C_e = \frac{1}{1+(l/r)^2} \quad (2.7)$$

dengan:

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

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

Dolphin : $l = \frac{1}{6}$ Loa (m)

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

Tabel 2.2. Kecepatan Kapal

Ukuran kapal (GT)	Kecepatan merapat pelabuhan (m/dt)	Laut terbuka (m/dt)
Sampai 500	0,25	0,30
500-10.000	0,15	0,20
10.000-30.000	0,15	0,15
>30.000	0,12	0,15

Sumber: Triatmodjo, 2010 : 219

2.7.2. Gaya akibat angin

Angin yang berhembus ke arah badan kapal yang ditambat akan menyebabkan gerakan pada kapal yang bisa menimbulkan gaya terhadap dermaga. Apabila arah angin menuju ke dermaga, maka gaya tersebut akan berupa benturan kepada dermaga. Sedangkan apabila arah angin meninggalkan dermaga, maka gaya tersebut akan mengakibatkan gaya tarikan kepada alat penambat. Gaya akibat angin tergantung pada arah hembusan angin, namun hembusan maksimum terjadi saat angin dari arah lebar:

- Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah haluan ($\alpha = 0^\circ$)

$$R_w = 0,42 Q_a A_w \quad (2.8)$$

- Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah buritan ($\alpha = 180^\circ$)

$$R_w = 0,5 Q_a A_w \quad (2.9)$$

- Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah lebar ($\alpha = 90^\circ$)

$$R_w = 1,1 Q_a A_w \quad (2.10)$$

dengan:

R_w = gaya akibat angin (kg)

V = kecepatan angin (m/s)

Q_a = tekanan angin (kg/m^2)

$$= 0,063 V^2$$

A_w = proyeksi bidang yang tertiuap angin (m^2)

2.7.3. Gaya akibat arus

Seperti halnya angin, arus yang bekerja pada bagian kapal yang terendam air juga akan menyebabkan terjadinya gaya pada kapal yang kemudian diteruskan pada dermaga dan alat penambat.

Dalam perhitungan gaya arus ini diambil kondisi yang paling kritis yaitu tegak lurus (90°) terhadap sumbu memanjang kapal. Perhitungan tekanan arus menggunakan persamaan seperti di bawah ini:

$$P_C = C_C \cdot \gamma_C \cdot A_C \cdot \frac{V_C^2}{2g} \quad (2.11)$$

dengan:

γ_C = berat jenis air laut

A_C = luasan kapal dibawah air (panjang kapal x draft kapal)

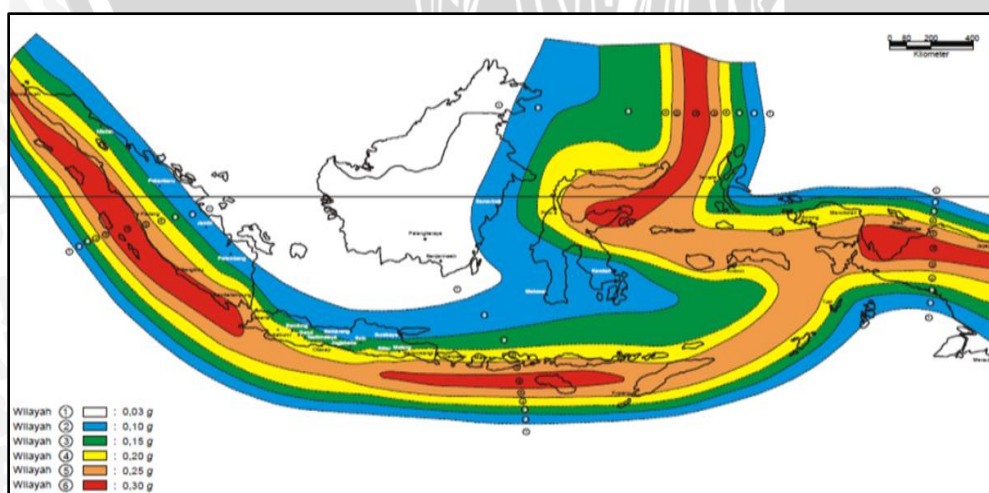
V_C = kecepatan arus

C_C = koefisien arus

g = percepatan gravitasi

2.7.4. Gaya Gempa

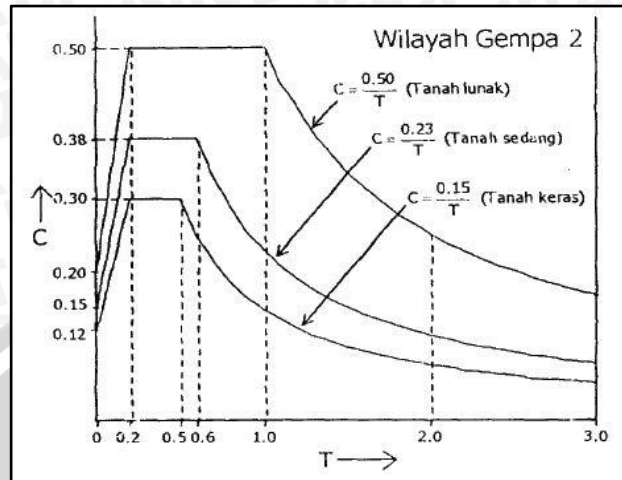
Wilayah gempa di Indonesia dibagi menjadi 6 zona berdasarkan percepatan puncak batuan dasarnya, pembagian zona ini dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13. Wilayah Gempa Indonesia

Sumber : SNI-1726-2002

Berdasarkan pembagian wilayah gempa pada Gambar 2.13 terlihat bahwa wilayah Kabupaten Gresik Provinsi Jawa Timur termasuk dalam zona gempa 2. Nilai faktor respon gempa bisa ditentukan berdasarkan grafik berikut ini.



Gambar 2.14. Respon Spektrum Gempa Rencana Untuk Wilayah Gempa 2
Sumber : SNI-1726-2002

Berdasarkan “SNI-1726-2002 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung” gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama terhadap pengaruh gempa rencana menurut persamaan :

$$V = \frac{C_i}{R_t} W_t \quad (2.12)$$

i = Faktor keutamaan

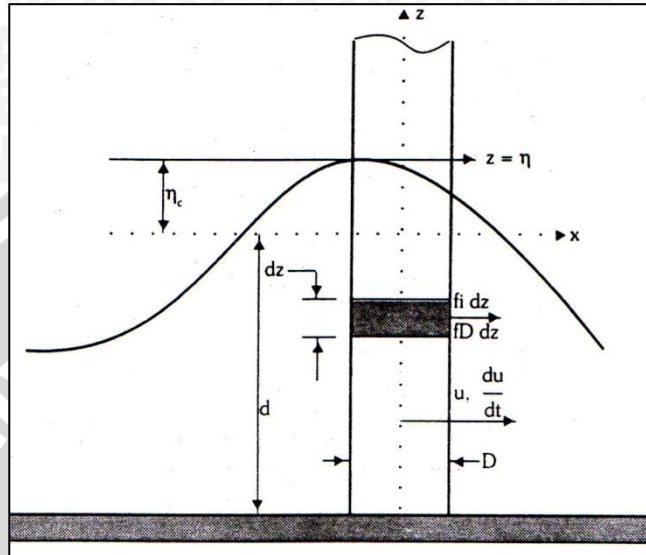
C = Faktor respon gempa

R_t = Faktor daktilitas

W_t = Berat total struktur

2.7.5. Gaya Gelombang Pada Tiang

Gaya gelombang pada tiang di bedakan menjadi 2 yaitu gaya gelombang tidak pecah dan gaya gelombang pecah. Karena kondisi perairan yang relatif dalam, pada perencanaan dermaga ini diperkirakan menerima gelombang tidak pecah. Gaya yang diakibatkan gelombang tidak pecah ada yaitu gaya inersia dan gaya drag.



Gambar 2.15. Definisi Gaya Gelombang Pada Tiang Silinder
Sumber : Perencanaan Fasilitas Pantai dan laut, 1996 : 76

Persamaan morison untuk gaya-gaya pada tiang pancang :

$$f = f_i + f_D \rightarrow F = \int_{z_0}^{z_1} (f_i + f_D) dz \quad (2.13)$$

dimana :

F = total gaya horisontal

f = total gaya horisontal per unit panjang

f_i = gaya-gaya inersia per unit panjang

f_D = gaya-gaya drag per unit panjang

$$f_i = C_M \frac{\gamma \pi D}{g} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.14)$$

$$f_D = C_D \frac{1}{2} \gamma D u |u| \quad (2.15)$$

Dimana :

C_M = koefisien inersia

C_D = koefisien drag

γ = berat jenis fluida (62,4 lb/ft³ untuk *fresh water* dan 64 lb/ft³ untuk *saltwater*)

u = kecepatan partikel air

$\frac{\partial u}{\partial t}$ = percepatan partikel air

Asumsi yang berkaitan dengan persamaan Morison :

1. Keberadaan tiang pancang tidak terganggu oleh bentuk aliran air
2. Tiang pancang bersifat kaku dan tidak berubah bentuk akibat gelombang
3. $D/L_A < 0,05$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

L_A = panjang gelombang pendekatan Airy

$$L_A / L_0 = f (d/gT^2)$$

$$L_0 = 5,12 T^2$$

(Sumber : Perencanaan Fasilitas Pantai dan laut, 1996 : 77)

2.8. Beban Vertikal

Beban vertikal pada dermaga disebabkan oleh beban mati dan beban hidup yang bekerja pada saat melakukan aktifitas bongkar muat barang di atas dermaga. Beban vertikal terdiri dari :

1. Beban mati diartikan secara umum tetap dan konstan selama waktu hidup konstruksi dari struktur plat, balok, tiang pancang, kepala tiang dan bangunan di atasnya.
2. Beban hidup diartikan muatan yang akan ditimbulk di atas struktur atau unit luasan (beban hidup merata), beban alat berat, beban roda kendaraan.

2.9. Perhitungan Plat

Dalam perencanaan plat lantai dermaga perlu diperhatikan perletakan pada plat. Dalam hal ini untuk perhitungan plat lantai dermaga diasumsikan menerus atau terjepit elastis, dikarenakan asumsi apabila plat dalam 1 tumpuan tersebut merupakan satu kesatuan monolit dengan balok pemikulnya yang relatif tidak terlalu kaku dan sesuai dengan kekakuanya yang memungkinkan plat untuk berputar pada tumpuan tersebut.

Penulangan plat lentur :

Sebelum perhitungan penulangan harus diketahui terlebih dahulu apakah termasuk plat 1 arah atau plat 2 arah

$$\text{Plat 1 arah terjadi jika : } \frac{\text{bentang panjang } (L_y)}{\text{bentang pendek } (L_x)} \geq 2 \quad (2.16)$$

Untuk plat 1 arah penulangan utamanya diberikan dalam arah sejajar bentang pendek (l_x) sedangkan untuk bentang panjang (L_y) di berikan tulangan susut dan suhu.

$$\text{Plat 2 arah terjadi jika : } \frac{\text{bentang panjang (Ly)}}{\text{bentang pendek (Lx)}} < 2 \quad (2.17)$$

Untuk plat 2 arah penulangan utamanya diberikan dalam arah memanjang dan melintang (arah x dan y).

- Menentukan data-data perencanaan, meliputi $f'c$, f_y , selimut beton dan momen *ultimate* (M_u) pada plat
- Perhitungan Momen Plat

Asumsi perhitungan-perhitungan yang dipakai adalah perletakan jepit elastis.

▪ **Perhitungan momen akibat beban terbagi rata :**

$$M_{lx} = M_{tx} = \pm 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot x \quad (2.18)$$

$$M_{ly} = M_{ty} = \pm 0.001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot x \quad (2.19)$$

dimana :

M_{lx} , M_{ly} = momen lentur plat per satuan panjang di lapangan arah bentang l_x , l_y (tm).

M_{tx} , M_{ty} = momen lentur plat per satuan panjang di tumpuan arah bentang l_x , l_y (tm).

q = beban total terbagi rata pada plat (t/m^1).

L_x = ukuran bentang terkecil plat, bentang yang memikul plat dalam satu arah (m).

x = koefisien pada tabel 13.3.2 PBI 1971

▪ **Perhitungan momen akibat beban terpusat**

$$M = \frac{a_1 \frac{bx}{lx} + a_2 \frac{by}{ly} + a_3}{\frac{bx}{lx} + \frac{by}{ly} + a_4} \cdot x \cdot w \quad (2.19)$$

dimana :

l_x = bentang pendek plat

l_y = bentang panjang plat

b_x = ukuran beban w arah bentang pendek (m)

b_y = ukuran beban w arah bentang panjang

M_x = momen positif maksimum arah bentang pendek

M_y = momen positif maksimum arah bentang panjang (m)

w = beban terpusat (ton)

a_1, a_2, a_3, a_4 = koefisien yang tergantung dari l_x/l_y dan derajat jepit masing- masing sisi (Balok dan Pelat Beton Bertulang 'Ali Asroni 2010 : 267)

Tabel 2.3. Harga Koefisien Momen

Momen	Koefisien			
	a ₁	a ₂	A ₃	a ₄
M _{lx}	-0.062	-0.017	0.130	0.390
M _{ly}	-0.017	-0.062	0.130	0.390
M _{tx}	0.062	0.136	-0.355	1.065
M _{ty}	0.136	0.062	-0.355	1.065

Sumber : Balok dan Pelat Beton Bertulang 'Ali Asroni 2010 : 267

- Menentukan koefisien tahanan $K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$ (2.20)

- dimana :

b = panjang penulangan plat

d = tinggi manfaat untuk penulangan

M_u = momen *ultimate*

- menentukan ρ_{perlu} untuk menghitung luas tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times k}{0.85 f'_c}} \right) \quad (2.21)$$

ρ : rasio tulangan, yaitu perbandingan luas penampang baja tulangan yang digunakan terhadap luas penampang beton.

dengan syarat : $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$

diamana :

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \quad (2.22)$$

$$\rho_{\text{max}} = \frac{\beta_1 0.85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.23)$$

$\beta_1 = 0.85$ jika $f'_c \leq 30$ Mpa

$\beta_1 = 0.85 - 8 \left(\frac{f'_c - 30}{1000} \right)$ jika $f'_c > 30$ Mpa

dari kedua β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65

- Menentukan $A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$ (2.24)

- Menghitung luas tulangan D 13 $\rightarrow A_{S1} = \frac{1}{4} \pi \times d^2$ (2.25)

- Menghitung jarak tulang (s) = $A_{S1} \times b / A_{S \text{ perlu}}$ (2.26)

- Menghitung $A_{s \text{ aktual}} = D \times 1000 / (\text{sesuai dengan perhitungan hasil s})$ (2.27)

- Menentukan jumlah dan diameter tulangan (\emptyset) yang terpasang dimana : $A_{s \text{ tulangan terpasang}} \geq A_{s \text{ tulangan perlu}}$

- Menghitung momen tersedia (M_t) $a = A_{S_{aktual}} \times f_y / 0.85 f'_c \times b$ (2.28)

- Menghitung momen nominal (M_n) $= A_{S_{aktual}} \times f_y (d - a/2)$ (2.29)

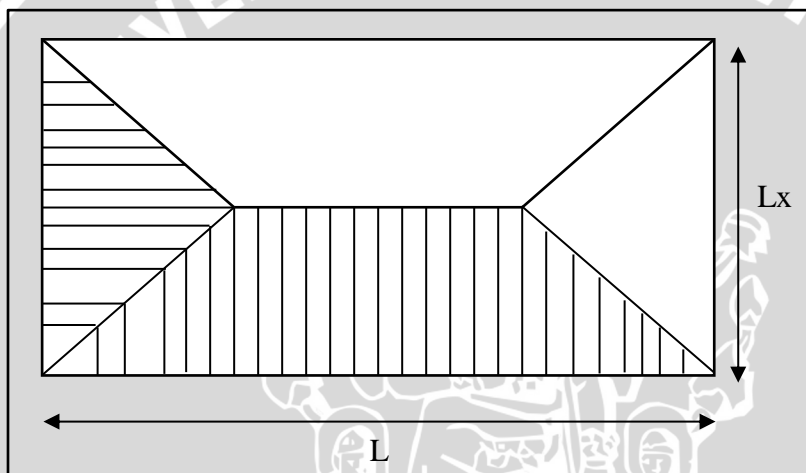
- $M_t = \phi \cdot M_n$ ($M_T \geq M_U$) (2.30)

2.10. Perhitungan Balok

Pada konstruksi balok dermaga ini, ada beberapa balok yang digunakan sebagai penopang struktur berdasarkan pembebanan yang ada di atasnya. Dermaga ini terdiri dari balok memanjang, balok melintang, balok *crane*, dan penulangan kepala tiang.

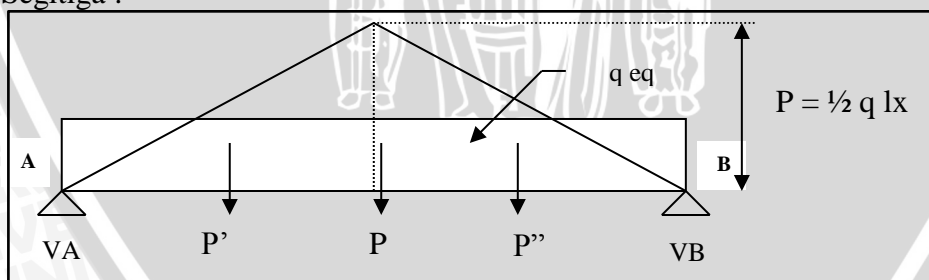
1. Distribusi Beban Pelat Pada Balok

Plat yang membebani balok harus didistribusikan terlebih dahulu sesuai dengan area yang dipikul, distribusi beban pelat dermaga terbagi atas :



Gambar 2.16. Penyaluran beban berdasarkan metode amplop

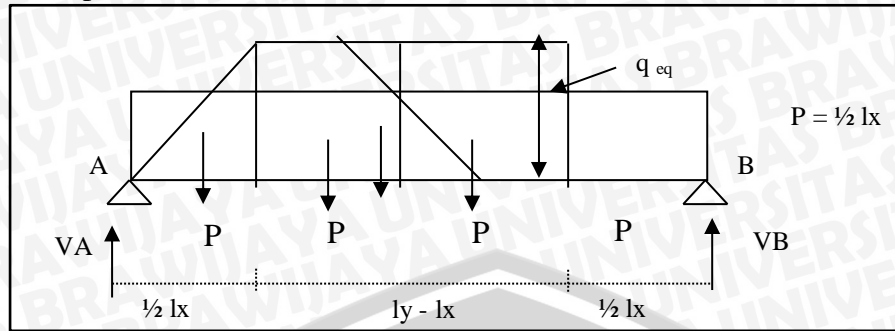
Beban Segitiga :



Gambar 2.17. Beban segitiga

- Dengan rumus $qDL_{\text{segitiga}} = q_{eq} = \frac{1}{2} \cdot P = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x = \frac{1}{3} \cdot q \cdot l_x$ (2.31)

Beban Trapesium :



Gambar 2.18. Beban trapesium

$$\bullet \quad qDL_{\text{trapesium}} = q_{eq} = P \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_x^2}{l_y^2} \right] = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_x^2}{l_y^2} \right] \quad (2.32)$$

2. Penulangan lentur balok :

Analisa dan perencanaan balok yang dicetak menjadi satu kesatuan monolit dengan plat lantai dan didasarkan pada anggapan bahwa plat antara plat dan balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok T, maka penampangnya akan membentuk huruf T dan dinamakan dengan balok T. Plat berlaku sebagai lapis sayap (flens) tekan dan balok berfungsi sebagai badan. Dalam analisa balok T perlu adanya pengecekan jenis balok T, balok berperilaku sebagai balok T murni atau balok T persegi, dengan menghitung momen tahan (M_R) yang menganggap seluruh flens mengalami tekan sehingga dasar blok tegangan tekan berhimpit dengan dasar flens. Jika $M_R > M_u$, maka balok T diperhitungkan sebagai balok T persegi dan sebaliknya. Pada umumnya, berdasarkan balok T flens menyediakan daerah tekan yang cukup sehingga balok tegangan tekan seluruhnya terletak di flens yang disebut dengan balok T persegi.

$$M_R = (\emptyset) 0.85 f'c b_e h_f (d - 1/2 h_f) \quad (2.33)$$

Untuk balok yang mempunyai plat hanya pada satu sisi, lebar efektif (b_e) dari sisi badan tidak boleh lebih dari :

- $b_e = 1/4 \times$ bentang balok (L)
- $b_e = 8 \times$ tebal plat (h_f)
- $b_e = 1/2 \times$ jarak bersih antara balok yang bersebelahan

Penulangan lentur untuk balok fender, perhitungannya berbeda dengan balok pada umumnya karena balok fender termasuk balok tinggi.

Syarat balok tinggi = bentang bersih (l_n) / tinggi efektif balok (d) < 5

Untuk penulangan tumpuan dan lapangan :

1. Data-data perencanaanya, yaitu : $f'c$, f_y , M_u dan V_u

a. Menghitung koefisien tahanan

$$K = M_u / \phi \times b \times d^2 \quad (2.34)$$

b. Menghitung rasio tulangan perlu

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0.85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times k}{0.85 \times f'c}} \right) \quad (2.35)$$

$$\rho_{\text{mak}} = 0.75 \times \rho \quad (2.36)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1.4}{f_y} \quad (2.37)$$

c. menghitung luas tulangan perlu (A_s perlu)

• dengan selimut beton 700 mm

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.38)$$

$$\text{Luas tulangan (rencana D) } A_{s1} = \frac{1}{4} \rho \times d^2 \quad (2.39)$$

• jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\circ n = A_s / A_{s1} \quad (2.40)$$

$$\circ A_{\text{saktual}} = A_{s1} \times n \quad (2.41)$$

$$\circ \rho_{\text{aktual}} = \frac{A_{\text{saktual}}}{b \times d} \quad (2.42)$$

• cek $\rho_{\text{min}} \gg \rho_{\text{aktual}} \ll \rho_{\text{mak}}$.. oke!!

• Kontrol momen tersedia (M_t)

$$\circ a = \frac{A_{\text{saktual}} \times f_y}{0.85 f'c \times b} \quad (2.43)$$

$$\circ M_n = A_{\text{saktual}} \times f_y \times (d - a/2) \quad (2.44)$$

$$\circ M_t = \phi \cdot M_n \quad (M_t > M_u) \text{.. oke!!} \quad (2.45)$$

2. Perhitungan tulangan geser tumpuan

• Menghitung gaya geser berdasarkan beban yang bekerja V_u

• menghitung kekuatan/kemampuan beton untuk menahan gaya geser tanpa tulangan geser (V_c)

$$\circ V_c = 1/6 \sqrt{f'c} \times b \times d \quad (2.46)$$

$$\circ \frac{1}{2} \phi V_c \quad (2.47)$$

• Jika dari hasil dari $V_c < V_u$ maka diperlukan sengkang, jika $> V_u$ secara teoritis tidak memerlukan sengkang tapi peraturan menganjurkan menggunakan sengkang dengan luas minimum.

- Menghitung gaya geser yang di sumbangkan oleh tulangan geser / sengkang pada tempat dukungan balok (V_s).

$$\circ V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.48)$$

- menghitung jarak sengkang dengan menggunakan tulangan D 13

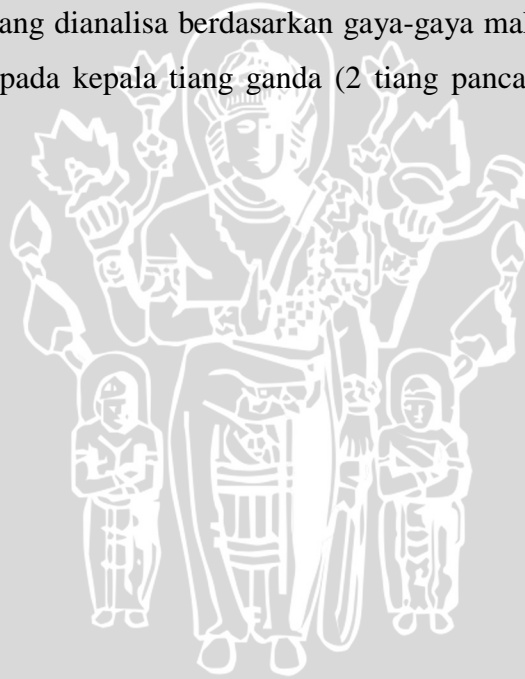
$$\circ A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (2.49)$$

$$\circ S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d_{\text{efektif}}}{V_{\text{perlu}}} \quad (2.50)$$

2.11. Perhitungan Kepala Tiang

Struktur kepala tiang berfungsi sebagai penyambung antara ujung atas tiang pancang dengan balok memanjang maupun melintang. Kepala tiang pada dermaga ini ada 2 macam, yaitu kepala tiang untuk 2 tiang pancang dan kepala tiang untuk 1 tiang pancang tegak.

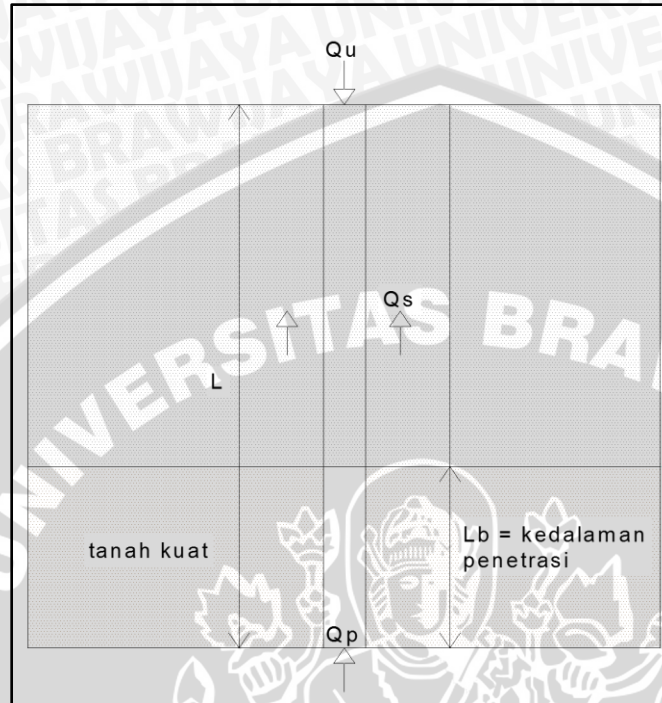
Penulangan kepala tiang dianalisa berdasarkan gaya-gaya maksimum yang bekerja pada balok yang bertumpu pada kepala tiang ganda (2 tiang pancang) dan kepala tiang tunggal (1 tiang tunggal)



2.12. Perhitungan Pondasi Tiang Pancang

Terdapat beberapa parameter dalam merencanakan suatu pondasi tiang pancang, antara lain :

1. Daya dukung tiang maksimum



Gambar 2.19. Skema Daya Dukung Tanah

Perhitungan dilakukan berdasarkan hasil SPT dengan metode Meyerhof (1956) berdasarkan kapasitas tahanan ujung dan tahanan gesek untuk tiang dengan *displacement* yang besar.

Karena digunakan point bearing pile maka daya dukung friksi sangat kecil (Q_s).

Jadi $Q_u = Q_p$

Daya dukung ultimit tiang (Q_u)

$$Q_u = 4 N_b A_b + 1/50 N A_s \quad (2.59)$$

dengan:

N_b = Nilai N dari uji SPT pada tanah di sekitar dasar tiang

N = Nilai N rata-rata uji SPT di sepanjang tiang $3 \leq N \leq 50$

A_s = Luas selimut tiang = $\pi B D$ (m^2) (m^2)

A_b = Luas dasar tiang (m^2)

2. Daya dukung terhadap beban tarik

Gaya tarik tiang yang diizinkan adalah suatu harga yang diperoleh dengan membagi gaya tarik maksimum sebuah tiang dengan suatu faktor keamanan. Gaya tarik yang

diizinkan ini dibatasi oleh gaya penahan tarikan dari tanah pondasi dan tegangan pada tubuh tiang (tegangan tarik/*tensile stress*).

Pada saat gaya tarik bekerja pada tiang, maka pergeseran (*displacement*) dan gaya pada tanah pondasi akan mengarah keatas. Akibat gaya ke atas ini, maka tegangan efektif dinding tiang pada tanah akan berkurang dan tanah pondasi cenderung menjadi “lepas” (*loose*). Selanjutnya, dengan meningkatkannya *displacement*, luas bidang sentuh dinding tiang (*press driving force*), gaya tarik tiang menimbulkan pengaruh besar yang mengenai hasil test atas gaya tarik ini yang terjadi setelah beberapa waktu kemudian. Berdasarkan masalah tersebut, maka penyusunan tiang dilakukan sedemikian rupa sehingga secara umum tidak terjadi tegangan tarik. Gaya tarik yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_u (\text{tarik}) = Q_s + W_p \quad (2.60)$$

dengan:

Q_u (tarik) = gaya tarik (kg)

Q_s = gaya geser dinding tiang

W_p = berat tiang (kg)

Gaya geser dinding melihat tiang dapat dihitung dengan memperhatikan nilai SPT pada lapisan tanah dengan melihat data Bor Log dan intensitas gaya geser dinding tiang dengan melihat Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang

Jenis Tiang Tanah Pondasi \ Jenis	Tiang Pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah berkohesif	C atau N (≤ 12)	$\frac{c}{2}$ atau $\frac{N}{2} (\leq 12)$

Sumber: Sosrodarsono, 1988:102

Persamaan yang digunakan untuk menghitung gaya geser dinding tiang adalah sebagai berikut :

$$R_f = U \cdot f_1 \cdot l_i \quad (2.61)$$

dengan:

- F_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m²)
 U = panjang keliling tiang (ton/m²)
 l_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (m)

3. Defleksi Tiang Vertikal

Pada defleksi tiang vertikal dipakai metode Broms untuk analisisnya. Metode Broms dapat digunakan untuk menghitung defleksi berupa tanah kohesif (lempung jenuh, $\phi=0$) atau granuler (pasir, $c=0$). Dijelaskan metode Broms untuk tanah granuler. Untuk tiang dalam tanah granuler (pasir, kerikil), defleksi tiang akibat beban lateral, dikaitkan dengan besaran tak berdimensi αL dengan (Christady,2010:321):

$$\alpha = \left(\frac{n_h}{E_p I_p} \right)^{1/5} \quad (2.62)$$

1. Tiang ujung bebas dan ujung jepit dianggap sebagai tiang pendek (kaku) bila $\alpha L < 2$.

- a. Defleksi lateral tiang ujung bebas di permukaan tanah

$$y_0 = \frac{18H(1+1,33e/L)}{L^2 n_h} \quad (2.63)$$

- Rotasi tiang (θ)

$$\theta = \frac{24H(1+1,5e/L)}{L^3 n_h} \quad (2.64)$$

- b. Defleksi lateral tiang ujung jepit

$$y_0 = \frac{2H}{L^2 n_h} \quad (2.65)$$

2. Tiang ujung bebas dan ujung jepit dianggap sebagai tiang panjang (tidak kaku), bila $\alpha L > 4$

- a. Defleksi lateral tiang ujung bebas

$$y_0 = \frac{2,4H}{(n_h)^{3/5} (E_p I_p)^{2/5}} + \frac{1,6He}{(n_h)^{2/5} (E_p I_p)^{3/5}} \quad (2.66)$$

- Rotasi tiang

$$\theta = \frac{1,6H}{(n_h)^{2/5} (E_p I_p)^{3/5}} + \frac{1,74He}{(n_h)^{1/5} (E_p I_p)^{4/5}} \quad (2.67)$$

- b. Defleksi lateral tiang ujung jepit

$$y_0 = \frac{0,93H}{(n_h)^{3/5} (E_p I_p)^{2/5}} \dots\dots\dots (2.68)$$

2.13. Perhitungan Fender dan Boulder

1. Fender

Fender berfungsi sebagai bantalan yang di tempatkan di depan dermaga pada waktu kapal mendekati dermaga untuk berlabuh seringkali terjadi benturan-benturan antara kapal dengan konstruksi dermaga yang disebabkan oleh pergerakan gelombang air laut, tiupan angin ataupun kesalahan teknis dari kapal waktu merapat. Untuk mencegah benturan yang menyebabkan rusaknya kapal atau dermaga maka digunakan fender. Berdasarkan OCDI (1991) memberikan jarak interval antara fender sebagai fungsi kedalaman air, yaitu :

Tabel 2.5. Jarak interval antara fender sebagai fungsi kedalam air

Kedalan Air (m)	Jarak Antara Fender (m)
4 – 6	4 – 7
6 – 8	7 – 10
8 – 10	10 – 15

Sumber : Triadmodjo 2010 : 279

Untuk menentukan ukuran fender, harus dihitung terlebih dahulu besarnya E yang merupakan *energy kinetic* saat kapal merapat. Formula yang digunakan :

$$E = \frac{W \times V^2}{2 \times g} \times K \quad (2.69)$$

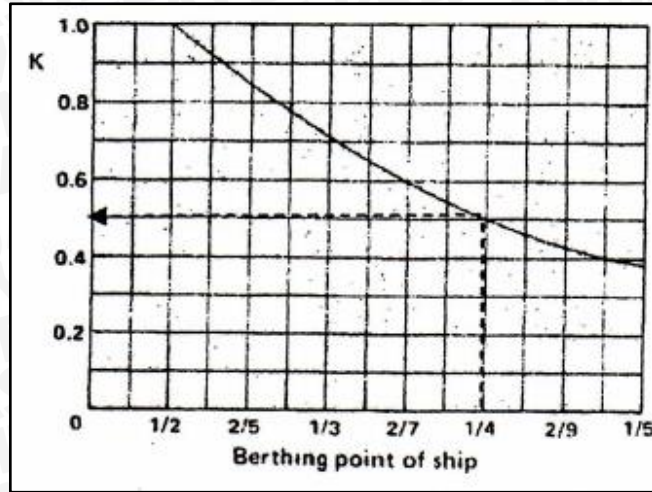
dimana :

E = energi/gaya benturan efektif g = percepatan gravitasi

W = berat kapal (*displacement tonnage*)

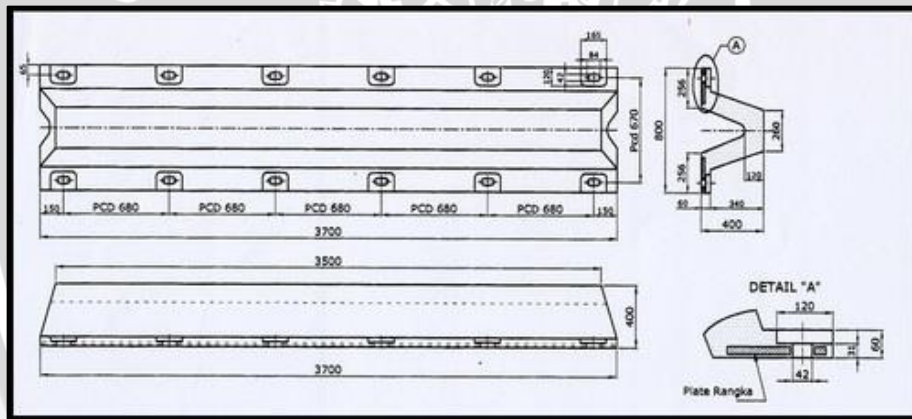
K = faktor eksentrisitas

= 0,5 untuk kapal menyentuh dermaga pada ¼ L



Gambar 2.20. Grafik Faktor Eksentrisitas
 Sumber : Triadmodjo 2010 : 267

Setelah nilai energi diketahui dari perhitungan diatas, maka ditentukan tipe fender yang akan digunakan sesuai dengan nilai energi yang terjadi. Tipe fender yang digunakan akan menentukan berapa reaksi yang terjadi pada ujung dermaga tipe fender dan reaksi yang terjadi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.



Gambar 2.21. Sistem Fender Ganda Tipe V
 Sumber : Triadmodjo 2010 : 268

Tabel 2.6. Dimensi dan kapasitas fender *Bridgestone super-Arch*

Tipe	Gbr.	Dimensi (cm)			Gaya (t)	Energi (tm)	Bidang kontak (m ²)	R/E
		A	B	C				
FV008-1-1	1	100	140	104	69	18,0	0,524	3,83
-1-2	1	100	140	104	60	16,0	0,524	3,75
-1-3	1	100	140	104	45	12,0	0,524	3,75
-1-4	1	100	140	104	30	8,1	0,524	3,70
FV008-2-1	2	150	190	77	103	27,0	0,786	3,81
-2-2	2	150	190	77	90	24,0	0,786	3,75
-2-3	2	150	190	77	68	18,0	0,786	3,78
-2-4	2	150	190	77	45	12,0	0,786	3,75
FV008-3-1	3	200	240	68	138	37,0	1,048	3,73
-3-2	3	200	240	68	120	32,0	1,048	3,75
-3-3	3	200	240	68	90	24,0	1,048	3,75
-3-4	3	200	240	68	60	16,0	1,048	3,75
FV008-4-1	3	250	290	84,5	172	45,0	1,310	3,82
-4-2	3	250	290	84,5	150	40,0	1,310	3,75
-4-3	3	250	290	84,5	113	30,0	1,310	3,77
-4-4	3	250	290	84,5	75	20,0	1,310	3,75

Sumber : Triadmodjo 2010 : 269

2. Boulder

Kapal yang berlabuh ditambatkan ke dermaga mengaitkan tali-tali penambat ke bagian haluan, buritan dan badan kapal. Tali-tali penambat tersebut diikatkan pada alat penambat disebut dengan bitt yang dipasang di sepanjang sisi dermaga. *Bitt* untuk mengikat kapal pada kondisi normal, kondisi badai dan untuk membelok atau memutar terhadap ujung dermaga. Tinggi bolder tidak boleh dari 50 cm di atas lantai dermaga karena dapat menghalangi keluarnya tali kapal yang diikatkan dan mengganggu kelancaran aktivitas di dermaga. Ketentuan penempatan *bitt* yaitu :

Tabel 2.7. Penempatan *bitt*

Ukuran kapal (GRT)	Jarak maksimum (m)	Σ minimum tambatan
2000	10 – 15	4
2001 – 5000	20	6
5001 - 20000	25	6
20001 – 50000	35	8
50001 - 100000	45	6

Sumber : Triadmodjo 1996 : 219